



# Výskum a inovácie pre dekarbonizáciu stavebnej činnosti prostredníctvom nízkoemisných stavebných procesov a materiálov v cirkulárnej ekonomike (DEKAST)

Kód projektu: 09I04-03-V02-00051

Financované Európskou úniou  
z prostriedkov Plánu obnovy  
a odolnosti SR



Financovaný  
Európskou úniou  
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD PODPRESEDU VLÁDY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY  
PRE PLÁN OBNOVY  
A ZNALOSTNÚ EKONOMIKU



VÝSKUMNÁ  
AGENTÚRA

## Výstup 8. Usmernenie – nízkouhlíková budova

k projektu s názvom „Výskum a inovácie pre dekarbonizáciu stavebnej činnosti prostredníctvom nízkoemisných stavebných procesov a materiálov v cirkulárnej ekonomike“

v rámci pracovného balíka KPB5 s názvom Nízkouhlíková budova

# NÍZKOUHLÍKOVÁ BUDOVA

júl 2026

Technická univerzita v Košiciach  
Zväz stavebného priemyslu Slovenska

[www.tuke.sk/dekast](http://www.tuke.sk/dekast)



Financované  
Európskou úniou  
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



MINISTERSTVO  
ŠKOLSTVA, VEDY,  
VÝSKUMU A ŠPORTU  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Obsah

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Zoznam obrázkov .....                                                                    | 9  |
| Zoznam tabuliek .....                                                                    | 11 |
| Zoznam skratiek .....                                                                    | 12 |
| Matematické označenia a symboly .....                                                    | 14 |
| Prehľad použitých vzorcov .....                                                          | 15 |
| 1 Úvod .....                                                                             | 16 |
| 2 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV .....                                      | 17 |
| 2.1 Trvalo udržateľný rozvoj .....                                                       | 18 |
| 2.2 Ciele udržateľného rozvoja OSN .....                                                 | 19 |
| 2.3 Koncept Green Building .....                                                         | 22 |
| 2.4 Obehové hospodárstvo (Circular Economy) .....                                        | 26 |
| 2.5 Nízkouhlíkové budovy .....                                                           | 29 |
| 2.6 Uhlíková neutralita .....                                                            | 32 |
| 2.7 Net Zero Buildings .....                                                             | 34 |
| 2.8 Inteligentné budovy .....                                                            | 37 |
| 2.9 Smernica EPBD 2024 a jej význam pre nízkouhlíkové budovy .....                       | 40 |
| 2.10 Európsky rámec Level(s) pre hodnotenie udržateľnosti budov .....                    | 41 |
| 3 UHLÍKOVÁ STOPA BUDOV .....                                                             | 44 |
| 3.1 Úvod .....                                                                           | 44 |
| 3.2 Definícia uhlíkovej stopy .....                                                      | 45 |
| 3.3 Skleníkové plyny .....                                                               | 46 |
| 3.4 Životný cyklus budovy .....                                                          | 48 |
| 3.5 Zabudovaný uhlík (Embodied Carbon) .....                                             | 53 |
| 3.5.1 Význam zabudovaného uhlíka .....                                                   | 54 |
| 3.6 Prevádzkový uhlík (Operational Carbon) .....                                         | 56 |
| 3.6.1 Definícia .....                                                                    | 56 |
| 3.6.2 Výpočet .....                                                                      | 57 |
| 3.6.3 Faktory ovplyvňujúce prevádzkové emisie .....                                      | 58 |
| 3.7 Whole Life Carbon .....                                                              | 60 |
| 3.8 Metóda LCA .....                                                                     | 62 |
| 3.9 Normatívne požiadavky pre LCA .....                                                  | 64 |
| 3.10 Environmentálne vyhlásenie o produkte .....                                         | 66 |
| 3.11 Uhlíková stopa budov podľa typu .....                                               | 68 |
| 3.12 Digitálne nástroje pre hodnotenie .....                                             | 69 |
| 3.13 Trendy do roku 2050 .....                                                           | 71 |
| 4 LEGISLATÍVNY RÁMEC NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV V EURÓPSKEJ ÚNII A SLOVENSKEJ REPUBLIKE ..... | 74 |
| 4.1 Úvod .....                                                                           | 74 |
| 4.2 Európska zelená dohoda (European Green Deal) .....                                   | 75 |
| 4.3 Balík Fit for 55 .....                                                               | 79 |
| 4.4 Smernica o energetickej hospodárnosti budov (EPBD) .....                             | 82 |
| 4.5 Budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) .....                                | 84 |
| 4.5.1 Definícia .....                                                                    | 84 |
| 4.5.2 Požiadavky .....                                                                   | 85 |
| 4.5.3 Zavedenie v Slovenskej republike .....                                             | 86 |
| 4.6 Budovy s nulovými emisiami (ZEB) .....                                               | 86 |
| 4.6.1 Nový štandard EÚ .....                                                             | 86 |
| 4.6.2 Harmonogram zavádzania ZEB .....                                                   | 87 |
| 4.6.3 Rozdiel medzi nZEB a ZEB .....                                                     | 88 |
| 4.7 Renovation Wave .....                                                                | 89 |
| 4.7.1 Prioritné oblasti .....                                                            | 90 |
| 4.7.2 Očakávané výsledky .....                                                           | 91 |

|                                                      |            |
|------------------------------------------------------|------------|
| <b>4.8 Taxonómia EÚ</b>                              | 92         |
| 4.8.1 Význam taxonómie v stavebníctve                | 93         |
| 4.8.2 Vplyv taxonómie na financovanie projektov      | 94         |
| <b>4.9 ESG</b>                                       | 96         |
| 4.9.1 ESG v nehnuteľnostiach                         | 96         |
| 4.9.2 ESG reporting                                  | 98         |
| <b>4.10 Slovenská legislatíva</b>                    | 99         |
| 4.10.1 Zákon č. 555/2005 Z.z.                        | 99         |
| 4.10.2 Vyhláška č. 364/2012 Z.z.                     | 100        |
| 4.10.3 Stavebný zákon                                | 101        |
| <b>4.11 Energetická certifikácia budov</b>           | 102        |
| 4.11.1 Energetické triedy                            | 103        |
| 4.11.2 Povinnosť certifikácie                        | 104        |
| <b>4.12 Finančné nástroje podpory v SR</b>           | 106        |
| <b>4.13 Budúci vývoj legislatívy</b>                 | 107        |
| <b>5 NÍZKOUHLÍKOVÉ STAVEBNÉ MATERIÁLY</b>            | <b>110</b> |
| 5.1 Úvod                                             | 110        |
| 5.2 Environmentálne hodnotenie stavebných materiálov | 110        |
| 5.3 Drevo ako nízkouhlíkový materiál                 | 111        |
| 5.3.1 Výhody dreva                                   | 112        |
| 5.3.2 Nevýhody dreva                                 | 113        |
| 5.4 CLT – Cross Laminated Timber                     | 115        |
| 5.4.1 Výhody CLT                                     | 115        |
| 5.4.2 Príklady využitia                              | 117        |
| 5.5 Glulam (GLT)                                     | 119        |
| 5.5.1 Výhody                                         | 120        |
| 5.6 Betón a cement                                   | 121        |
| 5.6.1 Význam betónu a cementu                        | 121        |
| 5.6.2 Zdroj emisií                                   | 122        |
| 5.6.3 Uhlíková stopa cementu                         | 123        |
| 5.7 Nízkouhlíkový betón                              | 125        |
| 5.7.1 Princíp                                        | 125        |
| 5.7.2 Výhody                                         | 126        |
| 5.8 Geopolymérny betón                               | 127        |
| 5.8.1 Výhody                                         | 129        |
| 5.8.2 Nevýhody                                       | 130        |
| 5.9 Oceľ                                             | 131        |
| 5.9.1 Environmentálne dopady                         | 133        |
| 5.10 Recyklovaná oceľ                                | 134        |
| 5.10.1 Výhody                                        | 134        |
| 5.10.2 Potenciál recyklovanej ocele                  | 135        |
| 5.11 Hliník                                          | 136        |
| 5.11.1 Charakteristika                               | 136        |
| 5.11.2 Environmentálny dopad                         | 137        |
| 5.11.3 Recyklovaný hliník                            | 138        |
| 5.12 Prírodné izolačné materiály                     | 139        |
| 5.12.1 Konope                                        | 139        |
| 5.12.2 Celulóza                                      | 140        |
| 5.12.3 Korok                                         | 141        |
| 5.12.4 Ovčia vlna                                    | 142        |
| 5.12.5 Drevovláknité dosky                           | 143        |
| 5.12.6 Slama                                         | 144        |
| 5.13 Minerálne izolácie                              | 145        |
| 5.13.1 Minerálna vlna                                | 145        |



|                                                                                                        |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.13.2 Penové sklo .....                                                                               | 147        |
| <b>5.14 Biokompozity</b> .....                                                                         | 148        |
| <b>5.15 Porovnanie uhlíkovej stopy materiálov</b> .....                                                | 150        |
| <b>5.16 Kritériá výberu stavebných materiálov</b> .....                                                | 152        |
| <b>5.17 Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)</b> .....                                            | 154        |
| <b>5.18 Nové nariadenie o stavebných výrobkoch (Construction Products Regulation – CPR 2024)</b> ..... | 155        |
| <b>5.19 Digitálny produktový pas (Digital Product Passport – DPP)</b> .....                            | 156        |
| <b>5.20 Budúce trendy</b> .....                                                                        | 158        |
| <b>6 TECHNOLOGIE NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV</b> .....                                                       | <b>161</b> |
| <b>6.1 Úvod</b> .....                                                                                  | 161        |
| <b>6.2 Tepelné čerpadlá</b> .....                                                                      | 162        |
| 6.2.1 Princíp fungovania .....                                                                         | 162        |
| 6.2.2 Koeficient výkonnosti .....                                                                      | 164        |
| 6.2.3 Typy tepelných čerpadiel .....                                                                   | 165        |
| 6.2.4 Environmentálne prínosy .....                                                                    | 168        |
| <b>6.3 Fotovoltické systémy</b> .....                                                                  | 169        |
| 6.3.1 Charakteristika .....                                                                            | 169        |
| 6.3.2 Princíp výroby elektriny .....                                                                   | 170        |
| 6.3.3 Typy panelov .....                                                                               | 171        |
| <b>6.4 Solárne termické systémy</b> .....                                                              | 174        |
| 6.5.1 Typy kolektorov .....                                                                            | 175        |
| <b>6.5 Rekuperácia tepla</b> .....                                                                     | 177        |
| 6.6.1 Význam v nízkouhlíkových budovách .....                                                          | 177        |
| 6.6.1 Princíp .....                                                                                    | 178        |
| 6.6.2 Účinnosť .....                                                                                   | 179        |
| <b>6.6 Geotermálne systémy</b> .....                                                                   | 180        |
| 6.7.1 Typy .....                                                                                       | 182        |
| 6.7.2 Výhody .....                                                                                     | 184        |
| <b>6.7 Batériové úložiská</b> .....                                                                    | 185        |
| 6.8.1 Význam .....                                                                                     | 185        |
| 6.8.2 Typy batérií .....                                                                               | 186        |
| <b>6.8 Smart Building</b> .....                                                                        | 188        |
| 6.9.2 Hlavné funkcie .....                                                                             | 189        |
| <b>6.9 Building Management System (BMS)</b> .....                                                      | 190        |
| 6.10.1 Výhody .....                                                                                    | 192        |
| <b>6.10 Internet vecí (IoT)</b> .....                                                                  | 193        |
| 6.11.1 Aplikácie .....                                                                                 | 194        |
| <b>6.11 Umelá inteligencia v budovách</b> .....                                                        | 195        |
| 6.11.1 Využitie .....                                                                                  | 195        |
| 6.12.2 Prediktívne riadenie .....                                                                      | 197        |
| <b>6.12 Digitálne dvojča budovy</b> .....                                                              | 198        |
| 6.13.1 Výhody .....                                                                                    | 199        |
| <b>6.13 Energetický manažment budov</b> .....                                                          | 201        |
| 6.14.2 Kľúčové ukazovatele .....                                                                       | 202        |
| <b>6.14 Mikrogridy</b> .....                                                                           | 203        |
| 6.15.2 Výhody .....                                                                                    | 205        |
| <b>6.15 Nabíjacie stanice elektromobilov</b> .....                                                     | 206        |
| <b>6.16 Integrácia technológií</b> .....                                                               | 207        |
| <b>6.17 Budúce trendy</b> .....                                                                        | 209        |
| <b>7 NÁVRH A PROJEKTOVANIE NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV</b> .....                                             | <b>213</b> |
| <b>7.1 Úvod</b> .....                                                                                  | 213        |
| <b>7.2 Integrovaný proces navrhovania</b> .....                                                        | 214        |
| 7.2.1 Výhody .....                                                                                     | 217        |

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| <b>7.3 Pasívne princípy navrhovania</b>           | 218 |
| <b>7.4 Orientácia budovy</b>                      | 221 |
| 7.4.1 Význam orientácie                           | 221 |
| 7.4.2 Južná orientácia                            | 223 |
| <b>7.5 Kompaktnosť budovy</b>                     | 224 |
| 7.5.1 Faktor tvaru                                | 224 |
| 7.5.2 Význam                                      | 225 |
| 7.5.3 Príklady                                    | 226 |
| <b>7.6 Tepelnotechnické vlastnosti obálky</b>     | 227 |
| 7.6.1 Obvodové steny                              | 227 |
| 7.6.2 Strecha                                     | 228 |
| 7.6.3 Podlaha                                     | 229 |
| <b>7.7 Okná a transparentné konštrukcie</b>       | 230 |
| 7.7.1 Význam                                      | 230 |
| 7.7.2 Trojsklá                                    | 231 |
| 7.7.3 Solárny faktor                              | 232 |
| <b>7.8 Tepelné mosty</b>                          | 233 |
| 7.8.2 Dôsledky                                    | 234 |
| 7.8.3 Eliminácia                                  | 234 |
| <b>7.9 Vzduchotesnosť budov</b>                   | 235 |
| 7.9.1 Význam                                      | 235 |
| 7.9.2 Blower Door Test                            | 236 |
| <b>7.10 Denné osvetlenie</b>                      | 237 |
| 7.10.2 Daylight Factor                            | 238 |
| <b>7.11 Prirodzené vetranie</b>                   | 238 |
| <b>7.12 Ochrana proti prehrievaniu</b>            | 239 |
| 7.12.1 Význam                                     | 239 |
| <b>7.13 Zelené strechy</b>                        | 240 |
| 7.13.1 Typy                                       | 240 |
| 7.13.2 Prínosy zelených striech                   | 241 |
| <b>7.14 Modrozelená infraštruktúra</b>            | 243 |
| 7.14.1 Definícia                                  | 243 |
| 7.14.2 Funkcie                                    | 244 |
| <b>7.15 BIM v projektovaní</b>                    | 245 |
| 7.15.2 Výhody                                     | 246 |
| 7.15.3 BIM a LCA                                  | 247 |
| <b>7.16 Parametrické navrhovanie</b>              | 249 |
| 7.16.2 Využitie                                   | 250 |
| <b>7.17 Simulačné nástroje</b>                    | 252 |
| <b>7.18 Optimalizácia uhlíkovej stopy</b>         | 253 |
| <b>7.19 Adaptácia na klimatické zmeny</b>         | 255 |
| <b>7.20 Zásady návrhu nízkouhlíkovej budovy</b>   | 257 |
| <b>8 EKONOMICKÉ ASPEKTY NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV</b> | 260 |
| <b>8.1 Náklady počas životného cyklu budovy</b>   | 261 |
| <b>8.2 Investičné náklady (CAPEX)</b>             | 263 |
| 8.3.2 CAPEX nízkouhlíkových budov                 | 265 |
| 8.3.3 Hlavné dôvody vyšších nákladov              | 266 |
| <b>8.3 Prevádzkové náklady (OPEX)</b>             | 267 |
| 8.3.1 Úspory                                      | 267 |
| <b>8.4 Life Cycle Costing (LCC)</b>               | 268 |
| 8.5.2 Výpočet                                     | 269 |
| 8.5.3 Význam metodiky Life Cycle Costing          | 270 |
| <b>8.5 Návratnosť investícií (ROI)</b>            | 270 |
| 8.6.2 Výpočet ukazovateľa ROI                     | 271 |

|                                                       |            |
|-------------------------------------------------------|------------|
| 8.6.3 Interpretácia .....                             | 272        |
| 8.7.2 Výpočet čistej súčasnej hodnoty .....           | 273        |
| 8.7.3 Interpretácia výsledkov .....                   | 274        |
| <b>8.6 Analýza fotovoltaických systémov .....</b>     | <b>275</b> |
| 8.6.1 Modelový príklad .....                          | 275        |
| 8.6.2 Ročná úspora .....                              | 275        |
| 8.6.3 Návratnosť .....                                | 276        |
| <b>8.7 Analýza tepelných čerpadiel .....</b>          | <b>277</b> |
| 8.7.1 Modelový príklad .....                          | 277        |
| 8.7.2 Faktory ovplyvňujúce návratnosť .....           | 277        |
| <b>8.8 Hodnota nehnuteľnosti .....</b>                | <b>278</b> |
| <b>8.9 Zelené financovanie .....</b>                  | <b>280</b> |
| 8.9.1 Definícia .....                                 | 280        |
| 8.9.2 Nástroje zeleného financovania .....            | 280        |
| <b>8.10 Green Bonds .....</b>                         | <b>281</b> |
| 8.12.2 Výhody Green Bonds .....                       | 282        |
| <b>8.11 ESG investície .....</b>                      | <b>283</b> |
| 8.13.2 Vplyv na budovy .....                          | 284        |
| <b>8.12 Dotácie a podporné programy .....</b>         | <b>284</b> |
| <b>8.13 Uhlíková cena .....</b>                       | <b>286</b> |
| 8.13.1 Dopad uhlíkovej ceny na sektor budov .....     | 287        |
| <b>8.14 Ekonomické bariéry .....</b>                  | <b>288</b> |
| <b>8.15 Ekonomické prínosy .....</b>                  | <b>289</b> |
| <b>8.16 Scenáre vývoja do roku 2050 .....</b>         | <b>289</b> |
| <b>8.17 Odporúčania pre investorov .....</b>          | <b>291</b> |
| <b>9 PRÍPADOVÉ ŠTÚDIE NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV .....</b> | <b>294</b> |
| <b>9.1 Úvod .....</b>                                 | <b>294</b> |
| <b>9.2 Powerhouse Brattørkaia (Nórsko) .....</b>      | <b>295</b> |
| 9.2.1 Základná charakteristika .....                  | 295        |
| 9.2.2 Koncept budovy .....                            | 296        |
| 9.2.3 Technológie .....                               | 297        |
| <b>9.3 Bosco Verticale (Taliansko) .....</b>          | <b>299</b> |
| 9.3.1 Charakteristika .....                           | 299        |
| 9.3.2 Koncept .....                                   | 300        |
| 9.3.3 Environmentálne prínosy .....                   | 300        |
| 9.3.4 Energetické riešenia .....                      | 301        |
| <b>9.4 BedZED (Spojené kráľovstvo) .....</b>          | <b>301</b> |
| 9.4.1 Charakteristika .....                           | 301        |
| 9.4.2 Ciele projektu .....                            | 302        |
| 9.4.3 Technológie .....                               | 303        |
| <b>9.5 Bullitt Center (USA) .....</b>                 | <b>304</b> |
| 9.5.1 Charakteristika .....                           | 304        |
| 9.5.2 Filozofia .....                                 | 305        |
| 9.5.3 Technológie .....                               | 306        |
| 9.5. The Edge (Holandsko) .....                       | 306        |
| 9.6.2 Inteligentné technológie .....                  | 307        |
| 9.6.3 Prevádzkové výsledky .....                      | 308        |
| <b>9.6 Slovenské príklady .....</b>                   | <b>309</b> |
| 9.7.1 Administratívna budova Einpark .....            | 309        |
| 9.7.2 Ekocentrum SOSNA .....                          | 310        |
| 9.7.3 Pasívne rodinné domy .....                      | 312        |
| <b>9.7 Porovnanie analyzovaných budov .....</b>       | <b>313</b> |
| <b>9.8 Energetické ukazovatele .....</b>              | <b>315</b> |
| <b>9.9 Uhlíkové ukazovatele .....</b>                 | <b>316</b> |

|           |                                                                   |            |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.10      | Faktory úspechu.....                                              | 317        |
| 9.11      | Bariéry realizácie.....                                           | 319        |
| 9.12      | Prenositelnosť riešení na Slovensko.....                          | 320        |
| 9.13      | Diskusia výsledkov .....                                          | 321        |
| <b>10</b> | <b>HODNOTENIE ŽIVOTNÉHO CYKLU A MERANIE UHLÍKOVEJ STOPY BUDOV</b> | <b>324</b> |
| 10.1      | Úvod .....                                                        | 324        |
| 10.2      | Význam komplexného hodnotenia .....                               | 325        |
| 10.3      | Metodika Life Cycle Assessment (LCA).....                         | 326        |
| 10.4      | Funkčná jednotka .....                                            | 329        |
| 10.5      | Indikátory environmentálnych dopadov .....                        | 330        |
| 10.5.1    | Global Warming Potential (GWP) .....                              | 330        |
| 10.5.2    | Acidification Potential .....                                     | 331        |
| 10.5.3    | Eutrophication Potential .....                                    | 332        |
| 10.5.4    | Ozone Depletion Potential.....                                    | 333        |
| 10.6      | Výpočet uhlíkovej stopy budovy .....                              | 334        |
| 10.7      | Environmentálne databázy .....                                    | 336        |
| 10.8      | Environmentálne vyhlásenie o produkte (EPD).....                  | 338        |
| 10.8.1    | Charakteristika .....                                             | 338        |
| 10.8.2    | Obsah EPD .....                                                   | 339        |
| 10.8.3    | Význam .....                                                      | 339        |
| 10.9      | Softvérové nástroje .....                                         | 341        |
| 10.9.1    | One Click LCA.....                                                | 341        |
| 10.9.2    | OpenLCA .....                                                     | 341        |
| 10.9.3    | SimaPro .....                                                     | 341        |
| 10.9.4    | Tally .....                                                       | 342        |
| 10.9.5    | DesignBuilder.....                                                | 342        |
| 10.10     | Monitorovanie prevádzky budovy .....                              | 342        |
| 10.10.1   | Monitoring energií.....                                           | 342        |
| 10.10.2   | Smart Metering.....                                               | 343        |
| 10.11     | Building Performance Evaluation .....                             | 344        |
| 10.11.2   | Hodnotenú parametre .....                                         | 345        |
| 10.12     | Carbon Accounting .....                                           | 346        |
| 10.12.1   | Definícia .....                                                   | 346        |
| 10.12.2   | Význam .....                                                      | 347        |
| 10.13     | Certifikácie budov .....                                          | 348        |
| 10.14     | Digitálne pasy budov .....                                        | 350        |
| 10.15     | Budúce smerovanie hodnotenia .....                                | 352        |
| <b>11</b> | <b>Diskusia.....</b>                                              | <b>356</b> |
| 11.1      | Interpretácia výsledkov .....                                     | 356        |
| 11.2      | Hlavné bariéry.....                                               | 357        |
| 11.3      | Oporúčania pre prax .....                                         | 359        |
| <b>12</b> | <b>ZÁVER .....</b>                                                | <b>362</b> |
|           | <b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>                           | <b>364</b> |

## Zoznam obrázkov

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| Obrázok 1 Nízkouhlíkové budovy a ciele udržateľného rozvoja .....       | 20  |
| Obrázok 2 Piliere udržateľnosti.....                                    | 22  |
| Obrázok 3 Obehové hospodárstvo .....                                    | 28  |
| Obrázok 4 Nízkouhlíkové budovy .....                                    | 31  |
| Obrázok 5 Smart buildings .....                                         | 38  |
| Obrázok 6 Uhlíková stopa .....                                          | 40  |
| Obrázok 7 Level(s) .....                                                | 43  |
| Obrázok 8 Význam uhlíkovej stopy .....                                  | 46  |
| Obrázok 9 Fázy LCA .....                                                | 52  |
| Obrázok 10 Fázy LCA počas celého životného cyklu .....                  | 54  |
| Obrázok 11 Podiel emisií počas životného cyklu .....                    | 56  |
| Obrázok 12 Prevádzkové emisie .....                                     | 57  |
| Obrázok 13 Faktory ovplyvňujúce prevádzkové emisie .....                | 59  |
| Obrázok 14 Komplexný vplyv faktorov na prevádzkové emisie .....         | 60  |
| Obrázok 15 Fázy LCA, definícia cieľa a rozsahu .....                    | 63  |
| Obrázok 16 Emisné faktory .....                                         | 67  |
| Obrázok 17 Hlavné oblasti Green Deal .....                              | 76  |
| Obrázok 18 ESB požiadavky .....                                         | 97  |
| Obrázok 19 Tri piliere ESG .....                                        | 98  |
| Obrázok 20 Biokompozity .....                                           | 149 |
| Obrázok 21 Kritériá výberu stavebných materiálov .....                  | 154 |
| Obrázok 22 Tepelná čerpadlá .....                                       | 163 |
| Obrázok 23 Rekuperácia .....                                            | 179 |
| Obrázok 24 AI v budovách .....                                          | 197 |
| Obrázok 25 Budúce trendy .....                                          | 211 |
| Obrázok 26 Technológie v nízkouhlíkových budovách .....                 | 212 |
| Obrázok 27 Vplyv projektových rozhodnutí na životný cyklus budovy ..... | 214 |
| Obrázok 28 Integrované navrhovanie budov .....                          | 215 |
| Obrázok 29 Integrovaný proces navrhovania budov .....                   | 217 |
| Obrázok 30 Zelené strechy.....                                          | 243 |
| Obrázok 31 Modorzelená infraštruktúra .....                             | 244 |
| Obrázok 32 BIM počas životného cyklu budovy .....                       | 246 |
| Obrázok 33 BIM v projektovaní .....                                     | 246 |

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Obrázok 34 Integrácia BIM a LCA .....                                                          | 248 |
| Obrázok 35 Parametrické navrhovanie.....                                                       | 250 |
| Obrázok 36 Optimalizácia uhlíkovej stopy počas návrhu budovy .....                             | 255 |
| Obrázok 37 Zásady návrhu nízkouhlíkovej budovy .....                                           | 259 |
| Obrázok 38 Life Cycle Costing (LCC) – hodnotenie nákladov počas životného<br>cyklu budovy..... | 263 |
| Obrázok 39 Scenáre vývoja do roku 2050.....                                                    | 290 |
| Obrázok 40 Powerhouse Brattørkaia (Nórsko) .....                                               | 296 |
| Obrázok 41 Tepelné čerpadlá .....                                                              | 298 |
| Obrázok 42 Bosco Verticale (Taliansko).....                                                    | 300 |
| Obrázok 43 BedZED (Spojené kráľovstvo).....                                                    | 302 |
| Obrázok 44 Bullitt Center (USA).....                                                           | 305 |
| Obrázok 45 The Edge (Holandsko) .....                                                          | 307 |
| Obrázok 46 Administratívna budova Einpark.....                                                 | 310 |
| Obrázok 47 Ekocentrum SOSNA .....                                                              | 312 |
| Obrázok 48 Digitálny pas budovy – informačný model počas životného cyklu                       | 352 |
| Obrázok 49 Odporúčania pre rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva .....                           | 361 |

## Zoznam tabuliek

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabuľka 1 Porovnanie jednotlivých konceptov.....                                              | 36  |
| Tabuľka 2 Najvýznamnejšie skleníkové plyny zohľadňované pri výpočtoch<br>uhlíkovej stopy..... | 47  |
| Tabuľka 3 Orientačné hodnoty uhlíkovej stopy podľa typu budovy .....                          | 68  |
| Tabuľka 4 Porovnanie digitálnych nástrojov na hodnotenie uhlíkovej stopy .....                | 71  |
| Tabuľka 5 Základné rozdiely medzi oboma štandardmi .....                                      | 88  |
| Tabuľka 6 V Charakteristika energetických tried od A0 po G .....                              | 104 |
| Tabuľka 7 Orientačné hodnoty uhlíkovej stopy vybraných druhov cementu ...                     | 124 |
| Tabuľka 8 Orientačné hodnoty uhlíkovej stopy vybraných stavebných materiálov                  | 150 |
| Tabuľka 9 Hodnoty COP pre moderné tepelné čerpadlá .....                                      | 164 |
| Tabuľka 10 Porovnanie kolektorov .....                                                        | 176 |
| Tabuľka 11 Orientačné hodnoty energetického štandardu .....                                   | 203 |
| Tabuľka 12 Orientačné hodnoty faktoru tvaru.....                                              | 226 |
| Tabuľka 13 Orientačné hodnoty vzduchotesnosti.....                                            | 236 |
| Tabuľka 14 Orientačné hodnoty Daylight Factor .....                                           | 238 |
| Tabuľka 15 Orientačné rozdelenie nákladov počas životného cyklu budovy ..                     | 262 |
| Tabuľka 16 Navýšenie CAPEX.....                                                               | 265 |
| Tabuľka 17 Orientačné hodnoty úspor energie.....                                              | 268 |
| Tabuľka 18 Interpretácia ROI .....                                                            | 272 |
| Tabuľka 19 Hodnota NPV.....                                                                   | 274 |
| Tabuľka 20 Nárast hodnoty u jednotlivých certifikácií.....                                    | 279 |
| Tabuľka 21 Základné údaje o budove Powerhouse Brattørkaia .....                               | 295 |
| Tabuľka 22 Základné údaje o projekte Bosco Verticale.....                                     | 299 |
| Tabuľka 23 Základné údaje o projekte BedZED .....                                             | 301 |
| Tabuľka 24 Základné údaje o budove Bullitt Center .....                                       | 304 |
| Tabuľka 25 Základné údaje o budove The Edge .....                                             | 307 |
| Tabuľka 26 Základné údaje o budove Einpark .....                                              | 309 |
| Tabuľka 27 Porovnanie projektov .....                                                         | 313 |
| Tabuľka 28 Dominantné prínosy jednotlivých projektov .....                                    | 314 |
| Tabuľka 29 Spotreby energií jednotlivých budov .....                                          | 315 |
| Tabuľka 30 Orientačné hodnoty uhlíkovej stopy vybraných typov budov .....                     | 316 |
| Tabuľka 31 Porovnanie systémov z pohľadu uhlíkovej stopy .....                                | 350 |

## Zoznam skratiek

| <b>Skratka</b>     | <b>Význam</b>                                                   |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|
| AI                 | Artificial Intelligence (Umelá inteligencia)                    |
| BIM                | Building Information Modeling                                   |
| BMS                | Building Management System                                      |
| BPE                | Building Performance Evaluation                                 |
| BREEAM             | Building Research Establishment Environmental Assessment Method |
| CAPEX              | Capital Expenditure                                             |
| CLT                | Cross Laminated Timber                                          |
| CO <sub>2</sub>    | Oxid uhličitý                                                   |
| CO <sub>2</sub> eq | Ekvivalent oxidu uhličitého                                     |
| COP                | Coefficient of Performance                                      |
| DGNB               | Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen                    |
| DF                 | Daylight Factor                                                 |
| EC                 | Embodied Carbon                                                 |
| EIA                | Environmental Impact Assessment                                 |
| EN                 | European Norm                                                   |
| EOL                | End of Life                                                     |
| EPD                | Environmental Product Declaration                               |
| EPBD               | Energy Performance of Buildings Directive                       |
| ESG                | Environmental, Social and Governance                            |
| ETS                | Emissions Trading System                                        |
| ETS II             | Emissions Trading System for Buildings and Transport            |
| EU                 | Európska únia                                                   |
| EUI                | Energy Use Intensity                                            |
| FV                 | Fotovoltaika                                                    |
| GDP                | Gross Domestic Product                                          |
| GLT                | Glued Laminated Timber                                          |
| GWP                | Global Warming Potential                                        |
| HVAC               | Heating, Ventilation and Air Conditioning                       |
| ICE                | Inventory of Carbon and Energy                                  |
| ICT                | Information and Communication Technologies                      |
| IPCC               | Intergovernmental Panel on Climate Change                       |
| IPMVP              | International Performance Measurement and Verification Protocol |
| ISO                | International Organization for Standardization                  |
| IEA                | International Energy Agency                                     |
| IoT                | Internet of Things                                              |
| kWh                | Kilowatthodina                                                  |
| kWp                | Kilowatt peak                                                   |
| LCA                | Life Cycle Assessment                                           |
| LCBI               | Low Carbon Building Initiative                                  |
| LCC                | Life Cycle Costing                                              |
| LEED               | Leadership in Energy and Environmental Design                   |



| <b>Skratka</b> | <b>Význam</b>                                        |
|----------------|------------------------------------------------------|
| LVL            | Laminated Veneer Lumber                              |
| $n_{50}$       | Intenzita výmeny vzduchu pri tlakovom rozdieli 50 Pa |
| NPV            | Net Present Value                                    |
| nZEB           | Nearly Zero Energy Building                          |
| OC             | Operational Carbon                                   |
| OPEX           | Operational Expenditure                              |
| OZE            | Obnoviteľné zdroje energie                           |
| PHPP           | Passive House Planning Package                       |
| PV             | Photovoltaics                                        |
| RES            | Renewable Energy Sources                             |
| ROI            | Return on Investment                                 |
| SDGs           | Sustainable Development Goals                        |
| SR             | Slovenská republika                                  |
| STN            | Slovenská technická norma                            |
| TZB            | Technické zariadenia budov                           |
| U-value        | Súčiniteľ prechodu tepla                             |
| UK             | United Kingdom                                       |
| USA            | United States of America                             |
| WLC            | Whole Life Carbon                                    |
| WorldGBC       | World Green Building Council                         |
| ZEB            | Zero Emission Building                               |

## Matematické označenia a symboly

| Symbol          | Význam                                               | Anglický ekvivalent           | Jednotka                       |
|-----------------|------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| A               | Plocha                                               | Area                          | m <sup>2</sup>                 |
| CAPEX           | Investičné náklady                                   | Capital Expenditure           | €                              |
| CF              | Uhlíková stopa                                       | Carbon Footprint              | kg CO <sub>2</sub> eq          |
| CF <sub>t</sub> | Peňažný tok v roku t                                 | Cash Flow                     | €                              |
| CO <sub>2</sub> | Oxid uhličitý                                        | Carbon Dioxide                | kg                             |
| COP             | Koeficient výkonnosti tepelného čerpadla             | Coefficient of Performance    | of –                           |
| Cost            | Náklady                                              | Cost                          | €                              |
| DF              | Činiteľ denného osvetlenia                           | Daylight Factor               | %                              |
| E               | Energia                                              | Energy                        | kWh                            |
| E <sub>p</sub>  | Energia vyrobená z obnoviteľných zdrojov             | Produced Energy               | kWh                            |
| E <sub>c</sub>  | Energia spotrebovaná budovou                         | Consumed Energy               | kWh                            |
| EC              | Zabudovaný uhlík                                     | Embodied Carbon               | kg CO <sub>2</sub> eq          |
| EF              | Emisný faktor                                        | Emission Factor               | kg CO <sub>2</sub> eq/jednotku |
| E <sub>i</sub>  | Vnútrotná osvetlenosť                                | Indoor Illuminance            | lx                             |
| E <sub>e</sub>  | Vonkajšia osvetlenosť                                | Outdoor Illuminance           | lx                             |
| f               | Faktor tvaru budovy                                  | Shape Factor                  | m <sup>-1</sup>                |
| H               | Doba využitia slnečného žiarenia                     | Annual Solar Irradiation Time | h                              |
| I <sub>0</sub>  | Počiatočná investícia                                | Initial Investment            | €                              |
| n               | Počet hodnotených položiek                           | Number of Items               | –                              |
| n <sub>50</sub> | Intenzita výmeny vzduchu pri tlakovom rozdieli 50 Pa | Air Change Rate at 50 Pa      | h <sup>-1</sup>                |
| NPV             | Čistá súčasná hodnota                                | Net Present Value             | €                              |
| OC              | Prevádzkový uhlík                                    | Operational Carbon            | kg CO <sub>2</sub> eq          |
| P               | Inštalovaný výkon                                    | Installed Power               | kW                             |
| Payback         | Doba návratnosti investície                          | Payback Period                | roky                           |
| Q               | Tepelná energia                                      | Heat Energy                   | kWh                            |
| r               | Diskontná sadzba                                     | Discount Rate                 | %                              |
| ROI             | Návratnosť investície                                | Return on Investment          | %                              |
| t               | Časové obdobie                                       | Time                          | rok                            |
| U               | Súčiniteľ prechodu tepla                             | Thermal Transmittance         | W/(m <sup>2</sup> ·K)          |
| V               | Objem budovy                                         | Volume                        | m <sup>3</sup>                 |
| W               | Dodaná elektrická energia                            | Electrical Energy Input       | kWh                            |
| WLC             | Uhlík počas celého životného cyklu                   | Whole Life Carbon             | kg CO <sub>2</sub> eq          |
| η               | Účinnosť                                             | Efficiency                    | %                              |
| Σ               | Suma hodnôt                                          | Summation                     | –                              |

## Prehľad použitých vzorcov

| Vzorec                                          | Použitie                                       | Kapitola |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------|
| $CF = \sum(A_i \times EFi)$                     | Výpočet uhlíkovej stopy                        | 3        |
| $CO_2 = E \times EF$                            | Výpočet emisií $CO_2$ zo spotreby energie      | 3        |
| $WLC = EC + OC$                                 | Hodnotenie uhlíka počas životného cyklu budovy | 3        |
| Emisie – Kompenzácie = 0                        | Podmienka uhlíkovej neutrality                 | 2        |
| $E_p \geq E_c$                                  | Energetická bilancia Net Zero Building         | 2        |
| $COP = Q/W$                                     | Hodnotenie účinnosti tepelného čerpadla        | 6        |
| $E = P \times H \times \eta$                    | Odhad výroby elektrickej energie z fotovoltiky | 6        |
| $\eta = E_{výstup} / E_{vstup} \times 100$      | Účinnosť rekuperácie tepla                     | 6        |
| $EUI = E/A$                                     | Energetická náročnosť budovy                   | 7        |
| $f = A/V$                                       | Faktor tvaru budovy                            | 7        |
| $U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$             | Odporúčaná hodnota súčiniteľa prechodu tepla   | 7        |
| $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$                | Hodnotenie vzduchotesnosti budovy              | 7        |
| $DF = E_i/E_e \times 100$                       | Činiteľ denného osvetlenia                     | 7        |
| $LCC = CAPEX + OPEX$                            | Náklady počas životného cyklu budovy           | 8        |
| $ROI = (Benefit - Cost)/Cost \times 100$        | Návratnosť investície                          | 8        |
| $NPV = \sum CF_t/(1+r)^t - I_0$                 | Čistá súčasná hodnota investície               | 8        |
| $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$                 | Emisie pri výrobe cementu (kalcinácia)         | 5        |
| $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ | Fotosyntéza – biologické viazanie $CO_2$       | 5        |

# 1 ÚVOD

Nízkouhlíkové budovy predstavujú jeden z najvýznamnejších nástrojov na znižovanie emisií skleníkových plynov v stavebnom sektore a zohrávajú kľúčovú úlohu pri dosahovaní cieľov klimatickej neutrality. V súčasnosti sa pozornosť odborníkov, projektantov aj tvorcov environmentálnych politík čoraz viac sústreďuje na navrhovanie a realizáciu budov s minimálnou uhlíkovou stopou počas celého ich životného cyklu. Táto práca analyzuje technické, environmentálne, ekonomické a spoločenské aspekty nízkouhlíkového stavebníctva, pričom sa zameriava na princípy energetickej efektívnosti, využívanie obnoviteľných zdrojov energie, nízkouhlíkové stavebné materiály, hodnotenie životného cyklu budov, princípy cirkulárnej ekonomiky a skúsenosti z realizovaných projektov na Slovensku aj v zahraničí.

Stavebný sektor patrí medzi najvýznamnejších spotrebiteľov energie a zároveň medzi hlavné zdroje emisií skleníkových plynov na globálnej úrovni. Budovy počas svojho životného cyklu spotrebúvajú značné množstvo energie na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody, osvetlenie a prevádzku technických zariadení. Významnú environmentálnu záťaž však nepredstavuje iba samotná prevádzka budov, ale aj výroba stavebných materiálov, proces výstavby, údržba, rekonštrukcie a likvidácia objektov po skončení ich životnosti.

Podľa údajov Programu Organizácie Spojených národov pre životné prostredie (UNEP) a Medzinárodnej energetickej agentúry (IEA) je sektor budov zodpovedný približne za 37 % celosvetových emisií oxidu uhličitého súvisiacich so spotrebou energie a za viac ako jednu tretinu celkovej spotreby energie. Tieto údaje poukazujú na skutočnosť, že bez zásadnej transformácie stavebného sektora nebude možné naplniť ciele Parížskej dohody ani dosiahnuť klimatickú neutralitu Európskej únie do roku 2050.

V posledných desaťročiach dochádza k postupnému presunu od tradičného hodnotenia budov založeného prevažne na ekonomických a technických ukazovateľoch ku komplexnému posudzovaniu ich environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu. Moderné budovy sú preto navrhované s dôrazom na minimalizáciu energetickej náročnosti, efektívne využívanie prírodných zdrojov, znižovanie emisií skleníkových plynov a optimalizáciu prevádzkových aj investičných nákladov.

Významným impulzom pre rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva je aj pokračujúca urbanizácia a rastúci dopyt po novej bytovej a občianskej výstavbe. Očakáva sa, že do roku 2050 bude v mestských oblastiach žiť približne 70 % svetovej populácie, čo bude sprevádzané intenzívnou výstavbou novej infraštruktúry. Bez uplatňovania princípov nízkouhlíkového navrhovania by tento trend mohol viesť k ďalšiemu nárastu spotreby energie, využívania prírodných zdrojov a produkcie emisií skleníkových plynov.

V reakcii na tieto výzvy sa postupne rozvinul koncept nízkouhlíkových budov (Low Carbon Buildings), ktorého cieľom je minimalizovať uhlíkovú stopu počas celého životného cyklu stavby. Tento prístup integruje energeticky efektívne architektonické riešenia, využívanie obnoviteľných zdrojov energie, aplikáciu nízkouhlíkových stavebných materiálov, inteligentné systémy riadenia budov a metodiky hodnotenia životného cyklu (Life Cycle Assessment – LCA). Výsledkom je nielen znižovanie prevádzkových a zabudovaných emisií, ale aj vyššia energetická efektívnosť, lepšia kvalita vnútorného prostredia a dlhodobá ekonomická udržateľnosť budov.

Nízkouhlíkové budovy sa tak stávajú jedným z hlavných nástrojov transformácie stavebného sektora smerom ku klimaticky neutrálnej ekonomike. Ich význam bude v nasledujúcich desaťročiach naďalej narastať v súvislosti so sprísňujúcou sa európskou legislatívou, rozvojom inovatívnych technológií a rastúcim dôrazom na environmentálnu, ekonomickú a spoločenskú udržateľnosť výstavby.

## 2 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV

Problematika nízkouhlíkových budov patrí medzi najvýznamnejšie oblasti súčasného udržateľného stavebníctva. Jej význam neustále rastie v dôsledku prehlbujúcich sa klimatických zmien, rastúcej spotreby energie, vyčerpávania prírodných zdrojov a sprísňujúcich sa environmentálnych požiadaviek. Stavebný sektor patrí medzi najväčších spotrebiteľov energie a materiálových zdrojov a zároveň predstavuje jeden z hlavných zdrojov emisií skleníkových plynov. Z uvedených dôvodov sa čoraz väčšia pozornosť venuje navrhovaniu budov, ktoré minimalizujú svoju uhlíkovú stopu počas celého životného cyklu a zároveň spĺňajú vysoké požiadavky na energetickú efektívnosť, kvalitu vnútorného prostredia a ekonomickú udržateľnosť.

Súčasný prístup k navrhovaniu budov vychádza z poznania, že environmentálne dopady stavieb nemožno hodnotiť výlučne na základe ich prevádzkovej spotreby energie. Rozhodujúci význam nadobúda komplexné posudzovanie všetkých emisií vznikajúcich počas životného cyklu budovy – od získavania surovín, výroby stavebných materiálov a samotnej výstavby cez prevádzku, údržbu a obnovu až po demoláciu a spracovanie stavebného odpadu. Takýto prístup umožňuje objektívnejšie hodnotiť environmentálnu výkonnosť budov a vytvára predpoklady na hľadanie riešení vedúcich k minimalizácii ich uhlíkovej stopy.

Rozvoj nízkouhlíkových budov úzko súvisí s globálnymi iniciatívami zameranými na zmierňovanie klimatických zmien a dosiahnutie klimateckej neutrality. Medzinárodné dokumenty, ako sú Parížska dohoda, Agenda 2030 Organizácie Spojených národov alebo Európska zelená dohoda (European Green Deal), vytvárajú strategický rámec pre transformáciu stavebného sektora smerom k udržateľnejšiemu a energeticky efektívnejšiemu fungovaniu. Budovy sa v tomto kontexte prestávajú vnímať iba ako spotrebiteľia energie a stávajú sa aktívnymi prvkami energetického systému schopnými efektívne využívať obnoviteľné zdroje energie, optimalizovať vlastnú spotrebu a znižovať environmentálne zaťaženie.

Významný technologický pokrok v oblasti stavebných materiálov, technických zariadení budov a digitálnych nástrojov vytvára nové možnosti na navrhovanie objektov s výrazne nižšou energetickou náročnosťou a uhlíkovou stopou. Moderné stavebníctvo využíva vysokoúčinné tepelnoizolačné systémy, obnoviteľné zdroje energie, inteligentné systémy riadenia budov, nízkouhlíkové stavebné materiály a metodiky hodnotenia environmentálnych dopadov založené na princípoch životného cyklu. Vzájomná integrácia týchto riešení umožňuje navrhovať budovy, ktoré spĺňajú vysoké požiadavky na energetickú efektívnosť, environmentálnu zodpovednosť aj ekonomickú udržateľnosť.

Teoretické východiská nízkouhlíkových budov vychádzajú z viacerých navzájom prepojených konceptov, ktoré spoločne vytvárajú základ moderného prístupu k navrhovaniu, výstavbe a prevádzke budov. Medzi najvýznamnejšie patria princípy trvalo udržateľného rozvoja, koncept zelených budov (Green Buildings), obehové hospodárstvo (Circular Economy), uhlíková neutralita (Carbon Neutrality), energetická efektívnosť, ESG princípy, inteligentné budovy (Smart Buildings) a budovy s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings). Hoci každý z uvedených konceptov rieši odlišnú oblasť udržateľnosti, ich vzájomná integrácia vytvára predpoklady na systematické znižovanie environmentálnych dopadov stavebného sektora.

Základný filozofický rámec predstavuje trvalo udržateľný rozvoj, ktorý zdôrazňuje potrebu rovnováhy medzi environmentálnymi, ekonomickými a sociálnymi aspektmi rozvoja spoločnosti. Na tieto princípy nadväzuje koncept zelených budov, orientovaný na efektívne využívanie energie, vody a materiálových zdrojov pri súčasnom zabezpečení kvalitného vnútorného prostredia. Obehové hospodárstvo rozširuje tento prístup o efektívne využívanie materiálových tokov, podporu recyklácie, opätovného využitia stavebných prvkov a minimalizáciu produkcie odpadu. Dlhodobým strategickým cieľom všetkých uvedených prístupov je dosiahnutie uhlíkovej neutrality prostredníctvom systematického znižovania emisií skleníkových plynov. Neoddeliteľnou súčasťou moderného nízkouhlíkového stavebníctva je energetická efektívnosť, ktorá patrí medzi najúčinnnejšie nástroje na znižovanie prevádzkových

emisii budov. Význam nadobúdajú aj ESG princípy rozširujúce hodnotenie budov o environmentálne, sociálne a riadiace aspekty, ktoré zohrávajú čoraz významnejšiu úlohu pri investičnom rozhodovaní a financovaní stavebných projektov. Rozvoj digitalizácie zároveň umožnil vznik inteligentných budov využívajúcich automatizáciu, internet vecí (IoT) a umelú inteligenciu na optimalizáciu prevádzky a spotreby energie. Najvyššiu úroveň environmentálnej výkonnosti predstavujú budovy s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings), ktoré smerujú k úplnej eliminácii emisií skleníkových plynov počas prevádzky a postupne aj počas celého životného cyklu. Pochopenie uvedených teoretických východísk je základným predpokladom správneho hodnotenia možností znižovania uhlíkovej stopy budov a navrhovania riešení podporujúcich dekarbonizáciu stavebného sektora. Jednotlivé podkapitoly preto podrobnejšie analyzujú základné princípy, metodiky a koncepcie, ktoré tvoria odborný základ moderného nízkouhlíkoveho stavebníctva.

## 2.1 Trvalo udržateľný rozvoj

Koncept trvalo udržateľného rozvoja (Sustainable Development) predstavuje jeden zo základných pilierov súčasných environmentálnych politík a zároveň tvorí teoretický základ moderného udržateľného stavebníctva. Vznikol ako reakcia na rastúce environmentálne problémy, nadmerné využívanie prírodných zdrojov a nepriaznivé dôsledky hospodárskeho rozvoja na kvalitu životného prostredia. Jeho hlavným cieľom je vytvoriť model rozvoja spoločnosti, ktorý umožní uspokojovať potreby súčasnej generácie bez narušenia ekologickej rovnováhy a bez obmedzenia možností budúcich generácií zabezpečovať vlastné potreby.

Za významný medzník vo vývoji tejto koncepcie sa považuje publikovanie správy Our Common Future (Naša spoločná budúcnosť) v roku 1987, ktorú vypracovala Svetová komisia OSN pre životné prostredie a rozvoj pod vedením nórskej premiérky Gro Harlem Brundtlandovej. Dokument po prvýkrát systematicky definoval princípy trvalo udržateľného rozvoja a vytvoril východisko pre formovanie medzinárodných environmentálnych stratégií a politík.

Brundtlandovej komisia definovala trvalo udržateľný rozvoj nasledovne:

„Trvalo udržateľný rozvoj je rozvoj, ktorý uspokojuje potreby súčasnej generácie bez ohrozenia schopnosti budúcich generácií uspokojovať svoje vlastné potreby.“

Táto definícia zdôrazňuje potrebu vyváženého rozvoja ekonomických, sociálnych a environmentálnych aspektov spoločnosti a zároveň poukazuje na zodpovednosť súčasnej generácie za zachovanie prírodných zdrojov a kvality životného prostredia pre budúce generácie. Význam konceptu trvalo udržateľného rozvoja sa v nasledujúcich desaťročiach postupne rozširoval a stal sa základným rámcom medzinárodných environmentálnych politík. Jeho princípy boli premietnuté do viacerých strategických dokumentov, medzi ktoré patrí Agenda 21 prijatá na Konferencii OSN o životnom prostredí a rozvoji v Rio de Janeiro v roku 1992, Agenda 2030 pre udržateľný rozvoj a Ciele udržateľného rozvoja Organizácie Spojených národov (Sustainable Development Goals – SDGs). V súčasnosti predstavuje trvalo udržateľný rozvoj jeden z rozhodujúcich princípov pri tvorbe environmentálnych, hospodárskych a sociálnych politík na národnej aj medzinárodnej úrovni. V oblasti stavebníctva sa princípy trvalo udržateľného rozvoja premietajú do komplexného prístupu k navrhovaniu, realizácii a prevádzke budov počas celého ich životného cyklu. Zahŕňajú efektívne využívanie energie a prírodných zdrojov, znižovanie emisií skleníkových plynov, podporu recyklácie stavebných materiálov, ochranu zdravia používateľov a zabezpečenie ekonomickej efektívnosti stavebných projektov. Moderné nízkouhlíkové budovy predstavujú praktickú aplikáciu týchto princípov, pretože sú navrhované s cieľom dosahovať environmentálnu, ekonomickú aj sociálnu udržateľnosť súčasne. Koncept trvalo udržateľného rozvoja zároveň vytvoril teoretický základ pre vznik ďalších prístupov, ktoré dnes formujú moderné stavebníctvo. Medzi najvýznamnejšie patria koncept zelených budov (Green Buildings), obehové hospodárstvo (Circular Economy), uhlíková neutralita (Carbon Neutrality) a budovy s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings). Tieto prístupy predstavujú vzájomne prepojený systém opatrení smerujúcich k znižovaniu environmentálnych dopadov stavebného sektora a k dosahovaniu klimateckej neutrality. Z uvedeného vyplýva, že trvalo udržateľný

rozvoj nepredstavuje iba environmentálnu koncepciu, ale komplexný strategický rámec ovplyvňujúci spôsob navrhovania, výstavby a prevádzky moderných budov. Jeho princípy sa stali neoddeliteľnou súčasťou súčasného nízkouhlíkového stavebníctva a vytvárajú základ pre dlhodobý rozvoj kvalitného, energeticky efektívneho a environmentálne zodpovedného zastavaného prostredia.

## **2.2 Ciele udržateľného rozvoja OSN**

V roku 2015 prijala Organizácia Spojených národov (OSN) dokument Agenda 2030 pre udržateľný rozvoj, ktorý predstavuje základný globálny rámec na riešenie najvýznamnejších ekonomických, sociálnych a environmentálnych výziev súčasnosti. Jadrom Agendy 2030 je sedemnást' Cielov udržateľného rozvoja (Sustainable Development Goals – SDGs) a 169 čiastkových cieľov, ktorých spoločným zámerom je podporiť vznik spravodlivejšej, prosperujúcej a environmentálne udržateľnej spoločnosti. Jednotlivé ciele udržateľného rozvoja tvoria vzájomne prepojený systém, ktorého úspešná realizácia si vyžaduje spoluprácu verejného sektora, podnikateľského prostredia, akademickej obce aj občianskej spoločnosti. Stavebný sektor zohráva pri ich napĺňaní významnú úlohu, pretože budovy ovplyvňujú spotrebu energie, využívanie prírodných zdrojov, produkciu emisií skleníkových plynov, kvalitu životného prostredia aj kvalitu života obyvateľstva. z pohľadu nízkouhlíkového stavebníctva majú rozhodujúci význam predovšetkým ciele SDG 7, SDG 9, SDG 11, SDG 12 a SDG 13, ktoré vytvárajú základný rámec pre transformáciu stavebného sektora smerom k udržateľnému rozvoju.

### **SDG 7 – Dostupná a čistá energia**

Cieľ SDG 7 je zameraný na zabezpečenie prístupu k cenovo dostupnej, spoľahlivej, udržateľnej a modernej energii pre všetkých. V oblasti stavebníctva sa premieta predovšetkým do zvyšovania energetickej efektívnosti budov, podpory obnoviteľných zdrojov energie a postupného znižovania závislosti od fosílnych palív. Nízkouhlíkové budovy prispievajú k napĺňaniu tohto cieľa prostredníctvom minimalizácie energetickej potreby a integrácie technológií, akými sú fotovoltické systémy, tepelné čerpadlá, solárne kolektory alebo inteligentné systémy energetického manažmentu. Kombinácia uvedených riešení podporuje prechod k nízkoemisným energetickým systémom a zvyšuje energetickú sebestačnosť budov.

### **SDG 9 – Priemysel, inovácie a infraštruktúra**

Cieľ SDG 9 podporuje budovanie odolnej infraštruktúry, rozvoj udržateľného priemyslu a zavádzanie inovácií. V stavebníctve sa tento cieľ prejavuje najmä využívaním moderných technológií, digitálnych nástrojov a progresívnych stavebných materiálov. Moderné nízkouhlíkové budovy využívajú informačné modelovanie budov (BIM), digitálne dvojčatá, inteligentné systémy riadenia a nové generácie nízkouhlíkových materiálov. Tieto inovácie prispievajú k efektívnejšiemu využívaniu zdrojov, vyššej produktivite stavebného sektora a celkovej modernizácii stavebných procesov.

### **SDG 11 – Udržateľné mestá a komunity**

Cieľ SDG 11 sa zameriava na vytváranie bezpečných, odolných, inkluzívnych a udržateľných miest a komunít. Vzhľadom na pokračujúcu urbanizáciu patrí medzi najvýznamnejšie ciele z pohľadu rozvoja stavebníctva a územného plánovania.

Budovy predstavujú základnú súčasť mestského prostredia a významne ovplyvňujú jeho environmentálnu kvalitu. Nízkouhlíkové budovy prispievajú k rozvoju udržateľných miest prostredníctvom znižovania emisií skleníkových plynov, efektívneho hospodárenia s energiou, vytvárania zdravého vnútorného prostredia a zvyšovania odolnosti voči dôsledkom klimatických zmien.

### **SDG 12 – Zodpovedná výroba a spotreba**

Cieľ SDG 12 podporuje udržateľné modely výroby a spotreby založené na efektívnom využívaní prírodných zdrojov a minimalizácii vzniku odpadu. V stavebníctve sa tento princíp uplatňuje predovšetkým prostredníctvom obehového hospodárstva, recyklácie stavebných materiálov a hodnotenia environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu budovy. Nízkouhlíkové budovy využívajú materiály s nižšou uhlíkovou stopou, podporujú opätovné využitie stavebných prvkov a implementujú princípy cirkulárnej ekonomiky. Takýto prístup vedie k efektívnejšiemu hospodáreniu s materiálovými zdrojmi, znižovaniu spotreby primárnych surovín a obmedzovaniu produkcie stavebného odpadu.

### SDG 13 – Klimatické opatrenia

Cieľ SDG 13 je priamo zameraný na zmierňovanie klimatických zmien a adaptáciu na ich dôsledky. Vzhľadom na vysoký podiel stavebného sektora na globálnych emisiách skleníkových plynov patrí medzi najvýznamnejšie ciele z pohľadu nízkouhlíkového stavebníctva.



**Obrázok 1** Nízkouhlíkové budovy a ciele udržateľného rozvoja

Redukcia emisií CO<sub>2</sub>, zvyšovanie energetickej efektívnosti, rozširovanie využívania obnoviteľných zdrojov energie a aplikácia nízkouhlíkových stavebných materiálov predstavujú základné opatrenia, prostredníctvom ktorých budovy prispievajú k zmierňovaniu klimatických zmien. Súčasne sa zvyšuje ich odolnosť voči extrémnym prejavom počasia, čím podporujú adaptačné stratégie reagujúce na meniace sa klimatické podmienky (Obrázok 1).

### Prínos nízkouhlíkových budov k napĺňaniu SDGs

Nízkouhlíkové budovy významne prispievajú k dosahovaniu viacerých cieľov udržateľného rozvoja. Prostredníctvom znižovania energetickej náročnosti, obmedzovania emisií skleníkových plynov, efektívneho využívania prírodných zdrojov, podpory inovácií a vytvárania kvalitného vnútorného prostredia predstavujú jeden z rozhodujúcich nástrojov na dosiahnutie environmentálnej, ekonomickej a sociálnej udržateľnosti.



V kontexte Agendy 2030 možno preto nízkouhlíkové stavebníctvo považovať za strategickú oblasť, ktorá významne podporuje transformáciu spoločnosti smerom ku klimaticky neutrálnej, konkurencieschopnej a dlhodobo udržateľnej budúcnosti.

## **Piliere udržateľnosti**

Koncept trvalo udržateľného rozvoja je založený na rovnováhe troch základných pilierov – environmentálneho, sociálneho a ekonomického. Tieto piliere predstavujú základný rámec na hodnotenie udržateľnosti ľudských aktivít a vytvárajú predpoklady pre dlhodobý harmonický rozvoj spoločnosti. Udržateľný rozvoj možno dosiahnuť iba vtedy, ak sú všetky tri oblasti rozvíjané súčasne a žiadna z nich nie je uprednostňovaná na úkor ostatných.

V stavebníctve majú jednotlivé piliere osobitný význam, pretože budovy počas celého svojho životného cyklu ovplyvňujú životné prostredie, ekonomiku aj kvalitu života ich používateľov. Moderné nízkouhlíkové budovy preto musia rešpektovať požiadavky všetkých troch pilierov a zabezpečovať ich vzájomnú integráciu už vo fáze návrhu, počas realizácie aj následnej prevádzky.

### **Environmentálny pilier**

Environmentálny pilier predstavuje základnú zložku udržateľného rozvoja a je orientovaný na ochranu životného prostredia a efektívne využívanie prírodných zdrojov. Jeho hlavným cieľom je minimalizovať negatívne environmentálne dopady ľudskej činnosti a zachovať ekologickú stabilitu pre budúce generácie.

V oblasti stavebníctva zahŕňa najmä ochranu prírodných zdrojov, znižovanie emisií skleníkových plynov, ochranu biodiverzity, efektívne hospodárenie s energiou a minimalizáciu produkcie odpadu. Dôležitou súčasťou environmentálne orientovaného prístupu je využívanie obnoviteľných zdrojov energie, aplikácia nízkouhlíkových stavebných materiálov a implementácia princípov obehového hospodárstva.

Nízkouhlíkové budovy naplňajú požiadavky environmentálneho piliera predovšetkým prostredníctvom znižovania energetickej náročnosti, optimalizácie uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu a využívania technológií s minimálnymi dopadmi na životné prostredie. Tieto opatrenia prispievajú nielen k zmierňovaniu klimatických zmien, ale aj k efektívnejšiemu hospodáreniu s prírodnými zdrojmi.

### **Sociálny pilier**

Sociálny pilier sa sústreďuje na človeka, jeho zdravie, bezpečnosť a kvalitu života. Jeho cieľom je vytvárať zdravé, bezpečné a inkluzívne prostredie podporujúce fyzickú aj psychickú pohodu jednotlivcov a komunit.

V stavebníctve sa tento pilier prejavuje predovšetkým zabezpečením kvalitného vnútorného prostredia, ochranou zdravia používateľov, bezpečnosťou stavieb a dostupnosťou bývania. Významnými aspektmi sú dostatok denného osvetlenia, kvalita vnútorného ovzdušia, tepelný komfort, akustická pohoda a bezbariérovosť. Moderné budovy by mali zároveň podporovať sociálnu inklúziu a vytvárať prostredie priaznivé pre dlhodobý pobyt a každodenné fungovanie používateľov.

Výsledky viacerých výskumov potvrdzujú, že kvalita vnútorného prostredia významne ovplyvňuje zdravie, produktivitu aj celkovú spokojnosť používateľov. Z tohto dôvodu sa pri navrhovaní nízkouhlíkových budov kladie dôraz nielen na energetickú efektívnosť, ale aj na vytváranie zdravého, komfortného a bezpečného vnútorného prostredia.

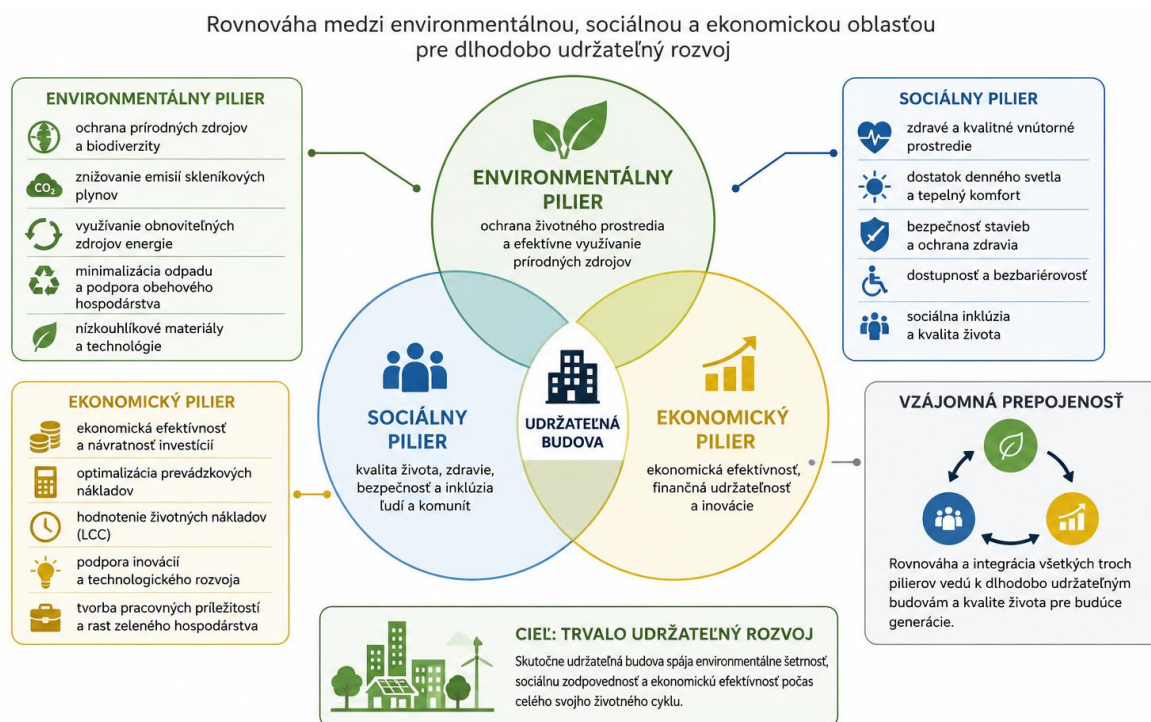
### **Ekonomický pilier**

Ekonomický pilier predstavuje predpoklad dlhodobej finančnej udržateľnosti rozvojových aktivít. Jeho cieľom je zabezpečiť efektívne využívanie finančných zdrojov, podporovať hospodársky rast a vytvárať podmienky na rozvoj inovácií a technologického pokroku.

V stavebníctve zahŕňa ekonomickú efektívnosť projektov, návratnosť investícií, optimalizáciu prevádzkových nákladov a zabezpečenie dlhodobej funkčnosti budov. Súčasťou

Hoci realizácia nízkouhlíkových budov spravidla vyžaduje vyššie počiatočné investície, počas prevádzky prinášajú významné úspory energie a nižšie prevádzkové náklady. Z dlhodobého hľadiska tak často predstavujú ekonomicky výhodnejšie riešenie než konvenčné budovy. Súčasne podporujú rozvoj inovatívnych technológií, vytváranie nových pracovných príležitostí a rozvoj zeleného hospodárstva.

Jednotlivé piliere trvalo udržateľného rozvoja nemožno posudzovať izolovane, pretože tvoria vzájomne prepojený systém, v ktorom opatrenia prijaté v jednej oblasti ovplyvňujú výsledky v ostatných oblastiach. Environmentálne riešenia často prinášajú ekonomické úspory a zároveň zvyšujú kvalitu života používateľov. Naopak, zanedbanie ktoréhokolvek z pilierov môže negatívne ovplyvniť celkovú udržateľnosť projektu.



## Obrázok 2 Piliere udržateľnosti

## 2.3 Konsep Green Building

Koncept Green Building (zelené budovy) predstavuje environmentálne orientovaný prístup k navrhovaniu, realizácii, prevádzke a správe budov, ktorého hlavným cieľom je minimalizovať negatívne environmentálne dopady stavebného sektora pri súčasnom vytváraní zdravého, komfortného a kvalitného vnútorného prostredia pre používateľov. Vznik tohto konceptu bol reakciou na rastúcu spotrebu energie, intenzívne využívanie prírodných zdrojov a narastajúce emisie skleníkových plynov, ktoré významne prispievajú ku klimatickým zmenám.

Počiatky environmentálne orientovaného stavebníctva siahajú do druhej polovice 20. storočia, keď sa začali objavovať prvé iniciatívy zamerané na znižovanie energetickej náročnosti budov a efektívnejšie hospodárenie s energiou. Významným impulzom bola najmä energetická kríza v 70. rokoch minulého storočia, ktorá poukázala na vysokú závislosť stavebného sektora od fosílnych palív a potrebu zvyšovania energetickej efektívnosti budov. V tomto období sa začali formovať princípy energeticky úsporného navrhovania, ktoré sa neskôr stali základom moderného konceptu Green Building.

Rozvoj zeleného stavebníctva výrazne urýchlilo aj rastúce povedomie o klimatických zmenách a ich dôsledkoch na životné prostredie. Postupne sa ukázalo, že budovy významne ovplyvňujú environmentálnu kvalitu nielen počas svojej prevádzky, ale aj vo fáze výroby stavebných materiálov, výstavby, údržby, obnovy a likvidácie. Z tohto dôvodu sa začal presadzovať komplexný prístup založený na hodnotení environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu budovy.

Hlavným cieľom konceptu Green Building je minimalizovať spotrebu energie a vody, obmedzovať produkciu odpadu, znižovať emisie skleníkových plynov a vytvárať zdravé vnútorné prostredie pri súčasnom efektívnom využívaní prírodných zdrojov. Dôležitou súčasťou tohto prístupu je aj ochrana biodiverzity, podpora využívania obnoviteľných zdrojov energie a aplikácia stavebných materiálov s nízkym environmentálnym dopadom. Moderné zelené budovy preto integrujú princípy energetickej efektívnosti, inteligentného riadenia technických systémov, hospodárneho nakladania so zdrojmi a environmentálne zodpovedného projektovania.

Významným medzníkom vo vývoji konceptu Green Building bolo vytvorenie prvých certifikačných systémov environmentálneho hodnotenia budov v 90. rokoch 20. storočia. Za prvý komplexný systém sa považuje BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), ktorý bol zavedený vo Veľkej Británii v roku 1990. Následne vznikli ďalšie medzinárodne uznávané systémy, medzi ktoré patria LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) v Spojených štátoch amerických, DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) v Nemecku a WELL Building Standard, orientovaný predovšetkým na zdravie, komfort a pohodu používateľov budov.

S postupným vývojom sa koncept Green Building transformoval z pôvodne energeticky orientovaného prístupu na komplexný model udržateľného stavebníctva, ktorý zohľadňuje environmentálne, ekonomické aj sociálne aspekty. Súčasné zelené budovy už nie sú hodnotené iba podľa spotreby energie, ale aj podľa uhlíkovej stopy, kvality vnútorného prostredia, hospodárenia s vodou, výberu stavebných materiálov, odpadového hospodárstva a celkovej environmentálnej výkonnosti počas celého životného cyklu.

Koncept Green Building vytvoril teoretický aj praktický základ pre rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva a významne ovplyvnil súčasné prístupy k navrhovaniu budov s minimálnou uhlíkovou stopou. Mnohé princípy zelených budov sa dnes považujú za štandard moderného stavebníctva a predstavujú jeden z najvýznamnejších nástrojov na dosahovanie cieľov trvalo udržateľného rozvoja, dekarbonizácie stavebného sektora a klimatickej neutrality.

## **Charakteristiky zelených budov**

Zelené budovy (Green Buildings) predstavujú komplexný prístup k navrhovaniu, realizácii a prevádzke stavieb, ktorého cieľom je minimalizovať negatívne environmentálne dopady stavebného sektora pri súčasnom vytváraní zdravého, komfortného a ekonomicky efektívneho prostredia pre používateľov. Na rozdiel od tradičného prístupu, orientovaného predovšetkým na technické a ekonomické ukazovatele, koncept zelených budov zohľadňuje environmentálne aspekty počas celého životného cyklu stavby – od návrhu a výstavby až po jej prevádzku, obnovu a ukončenie životnosti.

Charakteristickými znakmi zelených budov sú vysoká energetická efektívnosť, efektívne hospodárenie s vodou, využívanie udržateľných stavebných materiálov a zabezpečenie kvalitného vnútorného prostredia. Vzájomná integrácia týchto prvkov vytvára základ environmentálne zodpovedného stavebníctva a významne prispieva k znižovaniu uhlíkovej stopy budov.

### **Energetická efektívnosť**

Energetická efektívnosť patrí medzi základné charakteristiky zelených budov a predstavuje jeden z najúčinnnejších nástrojov na znižovanie spotreby energie počas ich prevádzky. Jej cieľom je minimalizovať energetickú náročnosť pri zachovaní požadovanej úrovne vnútorného komfortu a funkčnosti objektu. Dosahuje sa optimalizáciou stavebných konštrukcií, využívaním moderných technológií a efektívnym riadením energetických tokov.

Medzi najvýznamnejšie opatrenia patrí kvalitná tepelná izolácia obvodového plášťa, ktorá obmedzuje tepelné straty v zimnom období a zároveň znižuje riziko prehrievania budovy počas leta. Významnú úlohu zohrávajú aj vysokoúčinné výplne otvorov, eliminácia tepelných mostov a zabezpečenie dostatočnej vzduchotesnosti obálky budovy.

Neoddeliteľnou súčasťou moderných zelených budov sú systémy riadeného vetrania so spätným získavaním tepla, ktoré umožňujú efektívne využívať tepelnú energiu odvádzaného vzduchu na predohrev privádzaného čerstvého vzduchu. Súčasne sa čoraz širšie uplatňujú inteligentné systémy energetického manažmentu schopné priebežne monitorovať a optimalizovať spotrebu energie. Kombinácia uvedených opatrení vedie k výraznému znižovaniu energetickej náročnosti budov a súvisiacich prevádzkových emisií.

### **Efektívne hospodárenie s vodou**

Významnou charakteristikou zelených budov je aj efektívne hospodárenie s vodnými zdrojmi. Vzhľadom na rastúci tlak na zásoby pitnej vody sa čoraz väčšia pozornosť venuje technickým riešeniam umožňujúcim znižovanie spotreby vody a jej opätovné využívanie.

Medzi najčastejšie aplikované opatrenia patrí zachytávanie dažďovej vody využívané na zavlažovanie vegetácie, splachovanie toaliet alebo technické účely. Významné úspory umožňuje aj recyklácia sivej vody pochádzajúcej z umývadiel, sprách a vaní, ktorá môže byť po primeranej úprave opätovne využitá v prevádzke budovy.

K znižovaniu spotreby vody prispievajú aj úsporné vodovodné armatúry, perlátory, bezdotykové batérie a moderné sanitárne zariadenia s optimalizovanou spotrebou vody. Efektívne hospodárenie s vodou prináša nielen environmentálne prínosy, ale zároveň významne znižuje prevádzkové náklady budovy.

### **Udržateľné stavebné materiály**

Dôležitým prvkom zelených budov je výber stavebných materiálov s nízkym environmentálnym dopadom. Pri ich hodnotení sa zohľadňuje nielen technická kvalita a životnosť, ale aj energetická náročnosť výroby, uhlíková stopa, možnosti recyklácie a pôvod použitých surovín. Preferované sú recyklované materiály, ktoré znižujú potrebu využívania primárnych prírodných zdrojov a zároveň obmedzujú produkciu stavebného odpadu. Významné postavenie majú aj obnoviteľné materiály biologického pôvodu, ako sú drevo, drevovláknité izolácie, konope alebo celulóza, ktoré sa vyznačujú priaznivými environmentálnymi vlastnosťami a nízkou uhlíkovou stopou.

Environmentálnu výkonnosť stavebných projektov podporuje aj využívanie lokálnych stavebných materiálov, ktoré skracujú dopravné vzdialenosti, znižujú emisie vznikajúce počas prepravy a zároveň podporujú regionálne hospodárstvo.

### **Kvalita vnútorného prostredia**

Jedným z hlavných cieľov zelených budov je vytváranie zdravého, bezpečného a komfortného vnútorného prostredia. Kvalita vnútorného prostredia významne ovplyvňuje zdravie, pohodu, produktivitu aj celkovú spokojnosť používateľov budov.

Významným faktorom je zabezpečenie dostatočného prístupu denného svetla, ktoré priaznivo ovplyvňuje biologické rytmy človeka, znižuje potrebu umelého osvetlenia a zvyšuje vizuálny komfort. Rovnako dôležité je kvalitné vetranie zabezpečujúce dostatočný prísun čerstvého vzduchu a účinné odstraňovanie škodlivých látok z vnútorného prostredia.

Pri navrhovaní zelených budov sa preto uprednostňujú nízkoemisné stavebné materiály s minimálnym obsahom prchavých organických látok (VOC). Súčasťou hodnotenia kvality

vnútorného prostredia je aj zabezpečenie tepelného komfortu, akustickej pohody a optimálnej vlhkosti vzduchu.

### **Význam charakteristík zelených budov**

Energetická efektívnosť, efektívne hospodárenie s vodou, využívanie udržateľných stavebných materiálov a vysoká kvalita vnútorného prostredia tvoria základné charakteristiky moderných zelených budov. Ich vzájomná integrácia umožňuje znižovať spotrebu prírodných zdrojov, obmedzovať emisie skleníkových plynov, optimalizovať prevádzkové náklady a zároveň vytvárať zdravšie a komfortnejšie prostredie pre používateľov.

Z uvedeného vyplýva, že charakteristiky zelených budov predstavujú základné princípy moderného udržateľného stavebníctva a vytvárajú východisko pre ďalší rozvoj nízkouhlíkových budov, ktorých cieľom je dosiahnutie klimatickej neutrality pri zachovaní vysokej kvality vystavaného prostredia.

## **Certifikačné systémy**

S rastúcim významom udržateľného stavebníctva vznikla potreba objektívneho hodnotenia environmentálnej kvality budov. Na tento účel boli vyvinuté certifikačné systémy, ktoré umožňujú komplexne posudzovať budovy na základe vopred definovaných environmentálnych, ekonomických a sociálnych kritérií. Certifikácia predstavuje nezávislé potvrdenie úrovne udržateľnosti budovy a zároveň vytvára spoločný rámec pre porovnávanie jednotlivých projektov z hľadiska ich environmentálnej výkonnosti. Okrem informačnej funkcie zohráva významnú úlohu aj pri zvyšovaní kvality projektovania, výstavby a prevádzky budov. Moderné certifikačné systémy hodnotia budovy komplexne počas celého ich životného cyklu. Posudzujú nielen energetickú hospodárnosť, ale aj hospodárenie s vodou, výber stavebných materiálov, kvalitu vnútorného prostredia, dopravnú dostupnosť, odpadové hospodárstvo, environmentálny manažment a ďalšie ukazovatele udržateľnosti. Medzi medzinárodne najvýznamnejšie certifikačné systémy patria LEED, BREEAM, DGNB a WELL Building Standard.

### **LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)**

LEED patrí medzi najrozšírenejšie systémy environmentálnej certifikácie budov na svete. Vyvinula ho organizácia U.S. Green Building Council (USGBC) v Spojených štátoch amerických a od svojho vzniku sa stal medzinárodne uznávaným štandardom hodnotenia udržateľných budov.

Hodnotenie je založené na bodovom systéme, ktorý zahŕňa viacero oblastí, ako sú energetická efektívnosť, hospodárenie s vodou, využívanie stavebných materiálov, kvalita vnútorného prostredia, výber lokality a implementácia inovatívnych riešení. Na základe dosiahnutého počtu bodov môže budova získať certifikáciu na úrovni Certified, Silver, Gold alebo Platinum. Význam systému LEED spočíva predovšetkým v podpore integrovaného projektovania a motivovaní investorov k využívaniu environmentálne zodpovedných riešení. V súčasnosti sa používa vo viac ako 180 krajinách sveta a patrí medzi najuznávanejšie nástroje hodnotenia udržateľných budov.

### **BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)**

BREEAM predstavuje historicky prvý komplexný systém environmentálnej certifikácie budov. Bol vyvinutý organizáciou Building Research Establishment (BRE) vo Veľkej Británii v roku 1990 a dodnes patrí medzi najrozšírenejšie certifikačné systémy v Európe.

Systém hodnotí široké spektrum oblastí vrátane energetickej efektívnosti, hospodárenia s vodou, zdravia a pohody používateľov, dopravy, použitých materiálov, odpadového hospodárstva, využívania územia, ekologických aspektov a manažmentu projektu. Výsledkom hodnotenia je zaradenie budovy do jednej z certifikačných úrovní od Pass až po Outstanding.

Silnou stránkou systému BREEAM je jeho komplexnosť a flexibilita, ktorá umožňuje prispôbiť hodnotenie rôznym typom budov a regionálnym podmienkam. Vďaka tomu významne ovplyvnil rozvoj udržateľného stavebníctva nielen v Európe, ale aj v ďalších častiach sveta.

### **DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)**

DGNB je nemecký systém certifikácie budov vytvorený organizáciou Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. Na rozdiel od viacerých iných certifikačných systémov kladie dôraz na vyvážené hodnotenie environmentálnych, ekonomických a sociálnych aspektov počas celého životného cyklu budovy.

Systém zohľadňuje environmentálne ukazovatele, ako sú uhlíková stopa a spotreba zdrojov, ekonomické aspekty vrátane životných nákladov budovy (*Life Cycle Costing – LCC*) a sociálne kritériá zahŕňajúce kvalitu vnútorného prostredia, komfort používateľov a funkčnosť objektu. Významnou charakteristikou DGNB je intenzívne využívanie metodiky Life Cycle Assessment (LCA), ktorá umožňuje komplexné posudzovanie environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu stavby. Práve dôraz na dlhodobú udržateľnosť robí zo systému DGNB jeden z najprogressívnejších nástrojov environmentálneho hodnotenia budov.

### **WELL Building Standard**

WELL Building Standard predstavuje špecifický certifikačný systém orientovaný predovšetkým na zdravie, pohodu a komfort používateľov budov. Na rozdiel od systémov LEED, BREEAM alebo DGNB, ktoré sa primárne zameriavajú na environmentálnu výkonnosť, hodnotí WELL najmä vplyv budovy na fyzické a psychické zdravie človeka.

Hodnotenie zahŕňa kvalitu vnútorného ovzdušia, kvalitu vody, osvetlenie, tepelný komfort, akustické podmienky, podporu fyzickej aktivity, výživu, psychickú pohodu a ďalšie faktory ovplyvňujúce kvalitu života používateľov.

Rastúci význam systému WELL súvisí s čoraz väčším dôrazom na zdravé vnútorné prostredie, najmä v administratívnych budovách, školských zariadeniach, zdravotníckych objektoch a obytných budovách.

### **Význam certifikačných systémov**

Certifikačné systémy predstavujú významný nástroj podpory udržateľného stavebníctva a rozvoja nízkouhlíkových budov. Poskytujú jednotný metodický rámec na hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov, podporujú implementáciu inovatívnych riešení a zvyšujú transparentnosť stavebných projektov. Ich uplatňovanie zároveň prispieva k znižovaniu spotreby energie, emisií skleníkových plynov, spotreby prírodných zdrojov aj prevádzkových nákladov. V súčasnosti zohrávajú certifikačné systémy významnú úlohu aj pri investičnom rozhodovaní. Certifikované budovy dosahujú spravidla vyššiu trhovú hodnotu, nižšie prevádzkové náklady, lepšie výsledky v oblasti ESG hodnotenia a vyššiu atraktivitu pre investorov aj používateľov. Z tohto dôvodu sa stávajú dôležitou súčasťou transformácie stavebného sektora smerom k princípom trvalo udržateľného rozvoja, dekarbonizácie a klimateckej neutrality.

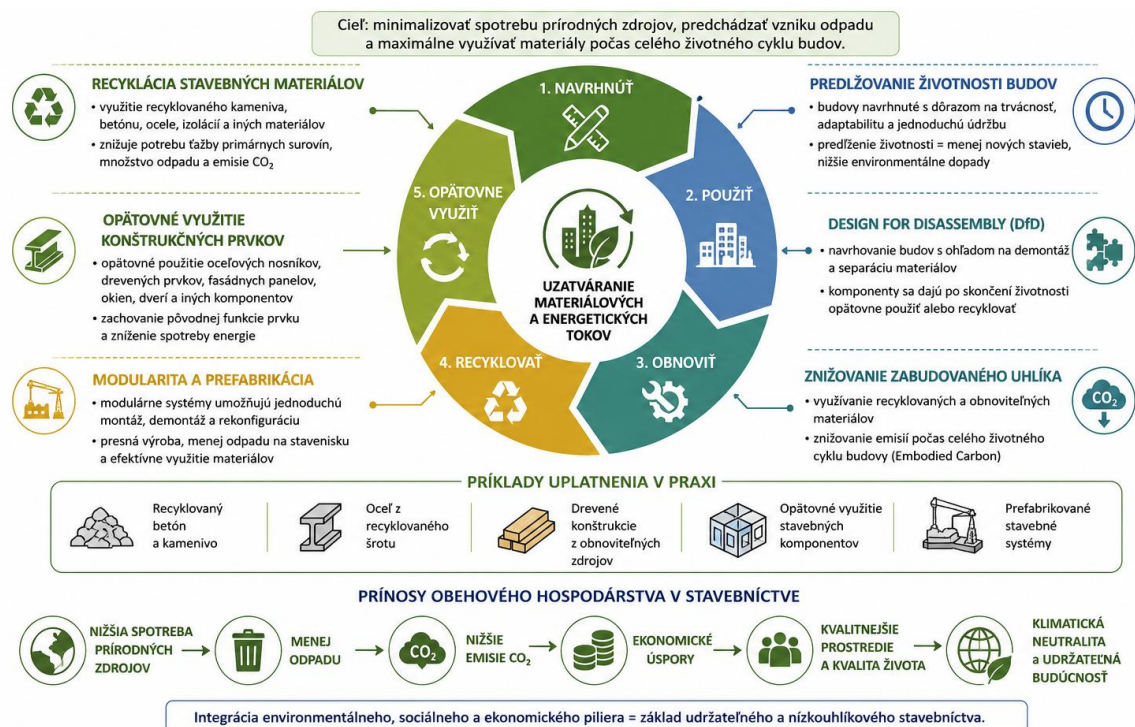
## **2.4 Obehové hospodárstvo (Circular Economy)**

Koncept obehového hospodárstva (Circular Economy) predstavuje moderný ekonomický model založený na efektívnom využívaní prírodných zdrojov, minimalizácii vzniku odpadu a zachovaní hodnoty materiálov počas čo najdlhšieho obdobia ich životného cyklu. Vznikol ako reakcia na rastúce environmentálne problémy spojené s nadmerným využívaním prírodných zdrojov, zvyšujúcou sa produkciou odpadu a negatívnymi dôsledkami tradičného lineárneho modelu hospodárstva. Tradičný ekonomický model je založený na princípe „vyťažiť – vyrobiť – použiť – vyhodiť“, ktorý predpokladá neobmedzenú dostupnosť prírodných zdrojov. Takýto prístup vedie k ich postupnému vyčerpaniu, rastúcej produkcii odpadu, zvyšovaniu emisií skleníkových plynov a narastajúcemu tlaku na prírodné ekosystémy. V podmienkach rastúcej

svetovej populácie a zvyšujúcej sa spotreby sa ukazuje, že lineárny model hospodárstva nie je z dlhodobého hľadiska udržateľný. Na rozdiel od lineárneho modelu je obehové hospodárstvo založené na uzatváraní materiálových a energetických tokov. Jeho základnou filozofiou je navrhovať výrobky, budovy a technické systémy tak, aby bolo možné materiály opakovane využívať počas čo najdlhšieho obdobia. Charakteristický princíp obehového hospodárstva možno vyjadriť postupnosťou „navrhnuť – používať – obnoviť – recyklovať – opätovne využiť“, pričom cieľom je zachovať materiály v ekonomickom obehu čo najdlhšie. Kľúčovým prvkom tohto prístupu je už samotná fáza návrhu. Počas nej sa zohľadňuje opraviteľnosť, demontovateľnosť, recyklovateľnosť a budúce opätovné využitie jednotlivých materiálov a konštrukčných prvkov. Základnou filozofiou preto nie je iba znižovanie množstva odpadu, ale predovšetkým predchádzanie jeho vzniku prostredníctvom inteligentného navrhovania výrobkov a stavebných systémov. Materiály, ktoré by sa v lineárnom hospodárstve stali odpadom, predstavujú v cirkulárnom modeli vstupné suroviny pre ďalšie výrobné procesy. Koncept Circular Economy je založený na zachovaní hodnoty materiálov, výrobkov a prírodných zdrojov počas čo najdlhšieho obdobia ich využívania. Zahŕňa predlžovanie životnosti výrobkov, ich opravu, modernizáciu, renováciu, opätovné použitie a recykláciu. Takýto prístup významne znižuje potrebu ťažby nových surovín, obmedzuje energetickú náročnosť výroby a redukuje environmentálne dopady spojené s produkciou nových výrobkov. Význam obehového hospodárstva v posledných rokoch výrazne vzrástol v súvislosti s klimatickými zmenami a snahami o dekarbonizáciu hospodárstva. Európska únia považuje princípy cirkulárnej ekonomiky za jeden z rozhodujúcich nástrojov na dosiahnutie klimatickej neutrality a efektívnejšieho využívania zdrojov. Z tohto dôvodu podporuje ich implementáciu vo všetkých hospodárskych odvetviach prostredníctvom Akčného plánu EÚ pre obehové hospodárstvo, ktorý vytvára strategický rámec pre postupný prechod od lineárnej k cirkulárnej ekonomike. V oblasti nízkouhlíkového stavebníctva predstavuje obehové hospodárstvo významný nástroj na znižovanie zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) a celkových environmentálnych dopadov stavebných materiálov. Využívanie recyklovaných materiálov, opätovné použitie stavebných prvkov a navrhovanie budov s dôrazom na budúcu demontáž a recykláciu umožňujú významne znižovať spotrebu prírodných zdrojov aj emisie skleníkových plynov počas celého životného cyklu budovy. Stavebný sektor patrí medzi odvetvia s najvyššou spotrebou materiálových zdrojov a zároveň produkuje značné množstvo stavebných a demolačných odpadov. Implementácia princípov obehového hospodárstva preto predstavuje jednu z najúčinnějších ciest na znižovanie environmentálnych dopadov stavebníctva. Cirkulárny prístup umožňuje efektívnejšie využívať stavebné materiály, predlžovať životnosť konštrukčných prvkov a minimalizovať množstvo odpadu ukladaného na skládky. Významnú úlohu zohráva recyklácia stavebných materiálov, pri ktorej možno materiály získané z demolácií alebo rekonštrukcií po vhodnej úprave opätovne využiť pri výstavbe nových objektov. Takýto prístup znižuje potrebu využívania primárnych surovín, obmedzuje množstvo stavebného odpadu a zároveň redukuje emisie vznikajúce pri výrobe nových stavebných materiálov. Praktické uplatnenie nachádzajú najmä recyklované kamenivo, recyklovaný betón, recyklovaná oceľ či izolačné materiály vyrobené zo sekundárnych surovín. Dôležitým princípom cirkulárneho stavebníctva je aj opätovné využívanie stavebných prvkov. Na rozdiel od recyklácie sa pri tomto postupe zachováva pôvodná funkcia konštrukčného prvku, čím sa výrazne znižuje potreba výroby nových komponentov. V praxi ide napríklad o opätovné využitie oceľových nosníkov, drevených konštrukcií, fasádnych panelov, okien alebo dverí. Takýto prístup významne redukuje energetickú náročnosť stavebných procesov a environmentálne dopady spojené s likvidáciou stavebných materiálov. Rastúci význam nadobúda aj modulárne projektovanie založené na princípe Design for Disassembly (DfD). Modulárne konštrukcie umožňujú jednoduchšiu montáž, demontáž, rekonfiguráciu a opätovné využitie stavebných prvkov bez ich poškodenia. Tento prístup podporuje flexibilitu budov, znižuje množstvo odpadu pri rekonštrukciách a vytvára predpoklady na efektívnejšie využívanie stavebných materiálov počas viacerých životných cyklov. Nemenej významným opatrením je predlžovanie životnosti budov prostredníctvom kvalitného návrhu, adaptabilných konštrukčných riešení a jednoduchej



údržby. Budovy navrhnuté s dôrazom na flexibilitu dokážu reagovať na meniace sa požiadavky používateľov bez potreby rozsiahlych stavebných zásahov. Z environmentálneho hľadiska patrí predĺženie životnosti existujúcich budov medzi najefektívnejšie opatrenia na znižovanie uhlíkovej stopy stavebného sektora. Implementácia princípov obehového hospodárstva prináša environmentálne, ekonomické aj spoločenské prínosy. Prispieva k efektívnejšiemu využívaniu prírodných zdrojov, znižovaniu emisií skleníkových plynov, obmedzovaniu produkcie odpadu a zároveň vytvára podmienky na rozvoj inovatívnych stavebných technológií a nových podnikateľských modelov. V kontexte nízkouhlíkového stavebníctva preto predstavuje jeden z kľúčových predpokladov úspešnej transformácie stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite a princípom trvalo udržateľného rozvoja (Obrázok 3).



**Obrázok 3** Obehové hospodárstvo

## Výhody

Implementácia princípov obehového hospodárstva prináša široké spektrum prínosov, ktoré výrazne presahujú rámec ochrany životného prostredia. Pozitívne dopady cirkulárnej ekonomiky sa prejavujú v environmentálnej, ekonomickej aj sociálnej oblasti, pričom jednotlivé prínosy sú vzájomne prepojené a spoločne vytvárajú predpoklady pre dlhodobu udržateľný rozvoj spoločnosti. V stavebníctve sa tieto prínosy prejavujú predovšetkým efektívnejším využívaním materiálových zdrojov, znižovaním uhlíkovej stopy budov, podporou technologických inovácií a vytváraním nových ekonomických príležitostí.

### Environmentálne výhody

Z environmentálneho hľadiska patrí obehové hospodárstvo medzi najúčinnnejšie nástroje na znižovanie negatívnych dopadov stavebnej činnosti na životné prostredie. Jeho základným princípom je obmedzovanie vzniku odpadu prostredníctvom opätovného využívania materiálov, recyklácie a predlžovania životnosti stavebných výrobkov a konštrukcií.

V stavebnom sektore, ktorý patrí medzi najväčších producentov odpadu, umožňuje cirkulárny prístup významne redukovať množstvo stavebných a demolačných odpadov ukladaných na skládky. Súčasne dochádza k znižovaniu emisií skleníkových plynov, keďže recyklácia a opätovné využívanie materiálov sú vo väčšine prípadov energeticky menej náročné než výroba nových produktov z primárnych surovín.



Významným environmentálnym prínosom je aj znižovanie spotreby prírodných zdrojov. Efektívnejšie využívanie materiálov a predlžovanie ich životnosti obmedzuje potrebu ťažby nerastných surovín, spracovania dreva či výroby energeticky náročných stavebných materiálov. Tým sa zmiernuje tlak na prírodné ekosystémy, obmedzuje degradácia krajiny a podporuje ochrana biodiverzity.

### **Ekonomické výhody**

Obehové hospodárstvo prináša významné ekonomické prínosy investorom, stavebným spoločnostiam aj verejnému sektoru. Jedným z hlavných benefitov je efektívnejšie využívanie materiálových zdrojov, ktoré prispieva k znižovaniu nákladov na obstarávanie stavebných materiálov. Recyklované a sekundárne suroviny môžu v mnohých prípadoch predstavovať ekonomicky výhodnejšiu alternatívu k materiálom vyrábaným z primárnych zdrojov.

Významné úspory vznikajú aj pri nakladaní so stavebným odpadom. Minimalizácia jeho množstva a opätovné využitie materiálov znižujú náklady na zber, dopravu a likvidáciu odpadu, pričom zároveň obmedzujú potrebu obstarávania nových surovín.

Rozvoj cirkulárnej ekonomiky zároveň podporuje vznik nových podnikateľských modelov založených na zdieľaní zdrojov, renovácii stavebných prvkov, recyklácii materiálov alebo digitálnych platformách umožňujúcich obchodovanie so sekundárnymi stavebnými produktmi. Tieto prístupy podporujú technologické inovácie, zvyšujú konkurencieschopnosť podnikov a vytvárajú nové príležitosti na trhu stavebných materiálov.

### **Sociálne výhody**

Princípy obehového hospodárstva prinášajú významné prínosy aj v sociálnej oblasti. Rozvoj cirkulárnych činností vytvára nové pracovné príležitosti najmä v oblastiach recyklácie, opráv, renovácií, environmentálnych služieb a manažmentu materiálových tokov. V porovnaní s tradičným lineárnym modelom hospodárstva si mnohé z týchto činností vyžadujú vyšší podiel kvalifikovanej pracovnej sily, čím podporujú rozvoj odborných znalostí a zamestnanosti.

Významným prínosom je aj vyššia odolnosť ekonomiky voči výkyvom cien energií a primárnych surovín. Efektívnejšie využívanie materiálových zdrojov a nižšia závislosť od ich dovozu prispievajú k stabilite hospodárstva a zvyšujú jeho schopnosť reagovať na ekonomické aj geopolitické zmeny.

Z širšieho spoločenského hľadiska podporuje obehové hospodárstvo zodpovednejšie nakladanie s prírodnými zdrojmi, rozvoj environmentálneho povedomia a vytváranie udržateľnejších komunít. Jeho prínosy sa preto neobmedzujú iba na ochranu životného prostredia, ale významne prispievajú aj k zvyšovaniu kvality života súčasných aj budúcich generácií.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

V podmienkach nízkouhlíkoveho stavebníctva predstavuje obehové hospodárstvo jeden z rozhodujúcich nástrojov na znižovanie uhlíkovej stopy budov. Redukcia odpadu, efektívnejšie využívanie prírodných zdrojov, aplikácia recyklovaných materiálov a predlžovanie životnosti stavebných konštrukcií vedú k významnému obmedzovaniu zabudovaných emisií a podporujú dosahovanie cieľov klimateckej neutrality.

Z uvedených dôvodov sa princípy Circular Economy stávajú neoddeliteľnou súčasťou moderného udržateľného stavebníctva. Ich implementácia vytvára predpoklady na transformáciu stavebného sektora smerom k efektívnejšiemu využívaniu zdrojov, nižšej uhlíkovej stope a dlhodobu udržateľnému rozvoju.

## **2.5 Nízkouhlíkové budovy**

Nízkouhlíkové budovy (Low Carbon Buildings) predstavujú jeden z najvýznamnejších nástrojov na znižovanie environmentálnych dopadov stavebného sektora a zároveň tvoria dôležitý prvok pri naplňaní princípov trvalo udržateľného rozvoja. Vzhľadom na vysoký podiel budov na celkovej spotrebe energie, využívaní prírodných zdrojov a produkcii skleníkových

plynov zohrávajú rozhodujúcu úlohu pri dosahovaní národných aj medzinárodných klimatických cieľov vrátane záväzkov vyplývajúcich z Parížskej dohody a Európskej zelenej dohody (European Green Deal).

Podstatou nízkouhlíkových budov je systematické znižovanie emisií skleníkových plynov počas celého životného cyklu stavby. Tento cieľ sa dosahuje kombináciou energeticky efektívneho architektonického návrhu, využívania obnoviteľných zdrojov energie, aplikácie stavebných materiálov s nízkou uhlíkovou stopou a implementácie inteligentných systémov riadenia budovy. Výsledkom je nielen znižovanie celkovej uhlíkovej stopy, ale aj obmedzenie závislosti od fosílnych palív a redukcia spotreby primárnej energie.

Významným prínosom nízkouhlíkových budov je aj posilňovanie energetickej bezpečnosti. Využívanie lokálnych obnoviteľných zdrojov energie, ako sú fotovoltické systémy, tepelné čerpadlá alebo solárne termické kolektory, znižuje závislosť od dovozu energetických surovín a zvyšuje odolnosť budov voči výkyvom cien energií. Tento aspekt nadobúda čoraz väčší význam najmä v podmienkach rastúcej volatility energetických trhov a geopolitických neistôt.

Okrem environmentálnych benefitov prinášajú nízkouhlíkové budovy aj významné ekonomické výhody. Hoci ich realizácia spravidla vyžaduje vyššie počiatočné investície než výstavba konvenčných objektov, počas prevádzky dochádza k výraznému zníženiu nákladov na energiu, údržbu a obnovu technických zariadení. Z pohľadu celého životného cyklu sa preto zvýšené investičné náklady vo väčšine prípadov postupne kompenzujú prevádzkovými úsporami, pričom pri kvalitne navrhnutých projektoch môžu celkové ekonomické prínosy výrazne prevýšiť počiatočné investície.

Neoddeliteľnou súčasťou konceptu nízkouhlíkových budov je aj vytváranie kvalitného vnútorného prostredia. Kvalitná tepelná ochrana obálky budovy, riadené vetranie so spätným získavaním tepla, dostatočný prístup denného svetla a stabilné mikroklimatické podmienky pozitívne ovplyvňujú zdravie, komfort aj produktivitu používateľov. Výsledky viacerých štúdií zároveň potvrdzujú, že kvalitné vnútorné prostredie významne prispieva k vyššej spokojnosti používateľov a k zníženiu zdravotných problémov spojených s pobytom v budovách.

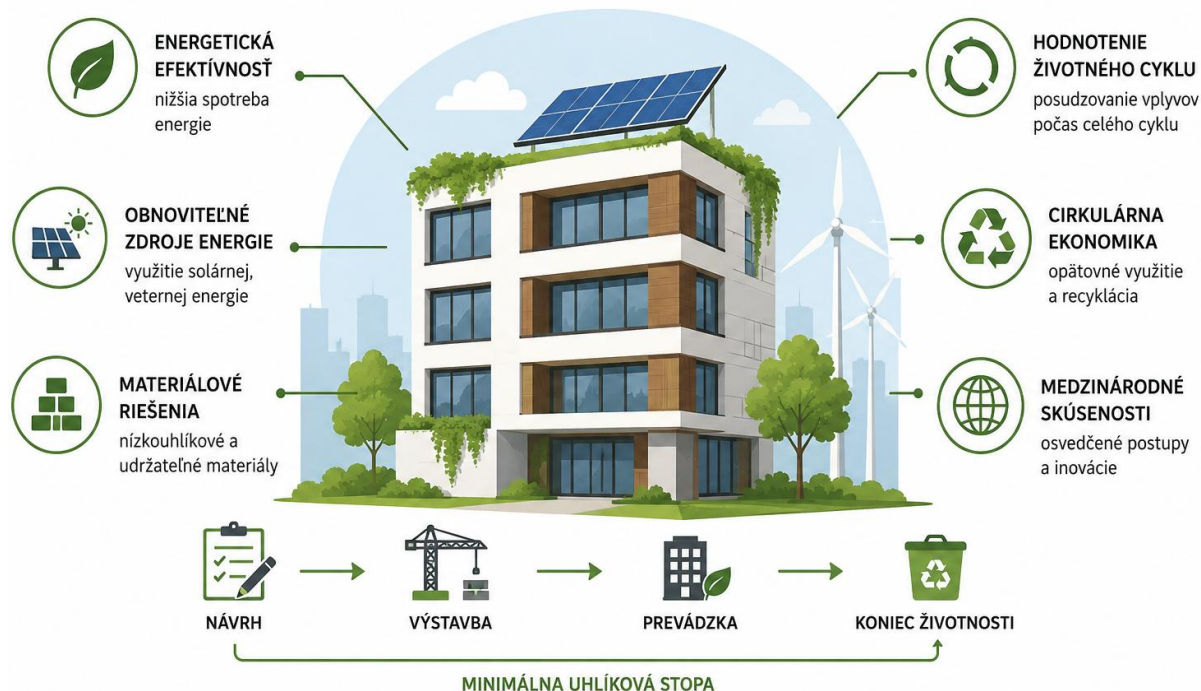
V podmienkach prebiehajúcich klimatických zmien predstavujú nízkouhlíkové budovy aj významný adaptačný nástroj. Vďaka kvalitnej obálke budovy, vysokej energetickej efektívnosti a inteligentným systémom riadenia dokážu lepšie reagovať na extrémne klimatické javy, ako sú vlny horúčav, dlhodobé obdobia sucha alebo výrazné teplotné výkyvy. Ich význam preto presahuje rámec samotnej dekarbonizácie a stáva sa súčasťou širšej stratégie zvyšovania klimatickej odolnosti zastavaného prostredia.

Z uvedených dôvodov možno nízkouhlíkové budovy považovať za jeden z hlavných pilierov budúceho rozvoja stavebného sektora. Predstavujú riešenie, ktoré spája environmentálne, ekonomické aj spoločenské prínosy a významne podporuje transformáciu stavebníctva smerom ku klimaticky neutrálnej a dlhodobo udržateľnej budúcnosti.

Napriek čoraz širšiemu využívaniu pojmu Low Carbon Building v odbornej literatúre, technických normách a strategických dokumentoch zatiaľ neexistuje jednotná medzinárodná akceptovaná definícia. Vo všeobecnosti možno nízkouhlíkovú budovu charakterizovať ako objekt navrhnutý, realizovaný a prevádzkovaný tak, aby počas celého svojho životného cyklu produkoval minimálne množstvo emisií skleníkových plynov pri súčasnom zachovaní požadovanej funkčnosti, komfortu používateľov a ekonomickej efektívnosti.

Na rozdiel od tradičného prístupu, orientovaného predovšetkým na znižovanie spotreby energie počas prevádzky budovy, súčasné chápanie nízkouhlíkových budov vychádza z komplexného hodnotenia emisií vznikajúcich vo všetkých etapách ich životného cyklu. Tento prístup je založený na metodike Life Cycle Assessment (LCA), ktorá umožňuje identifikovať a kvantifikovať environmentálne dopady stavby od získavania surovín cez výrobu stavebných materiálov, výstavbu, prevádzku a údržbu až po demoláciu a spracovanie stavebného odpadu. Pri hodnotení uhlíkovej stopy budovy sa spravidla rozlišujú dve základné skupiny emisií – prevádzkové emisie (Operational Carbon) a zabudované emisie (Embodied Carbon). Ich vzájomný podiel závisí od typu budovy, použitých stavebných materiálov, technických systémov a spôsobu prevádzky. Znižovanie uhlíkovej stopy preto vyžaduje komplexný prístup,

ktorý zahŕňa optimalizáciu energetickej hospodárnosti budovy aj výber materiálov s nízkym environmentálnym dopadom počas celého jej životného cyklu (Obrázok 4).



**Obrázok 4** Nízkouhlíkové budovy

Klimatické zmeny predstavujú jednu z najvýznamnejších globálnych výziev súčasnosti, ktorá zásadným spôsobom ovplyvňuje environmentálne, ekonomické aj sociálne fungovanie spoločnosti. Podľa poznatkov Medzivládneho panelu pre zmenu klímy (IPCC) je hlavnou príčinou súčasného globálneho otepľovania rast koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére spôsobený predovšetkým ľudskou činnosťou. Medzi najvýznamnejšie skleníkové plyny patria oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), metán ( $\text{CH}_4$ ), oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a fluorované plyny, pričom dominantný podiel na antropogénnych emisiách predstavuje oxid uhličitý vznikajúci spaľovaním fosílnych palív a priemyselnými procesmi.

Dôsledky klimatických zmien sa prejavujú rastom priemernej globálnej teploty, častejším výskytom extrémnych poveternostných javov, zvyšovaním hladiny svetových oceánov, zmenami zrážkových režimov a postupnou degradáciou prírodných ekosystémov. Mnohé regióny sveta čelia čoraz intenzívnejším vlnám horúčav, obdobiam sucha, prívalovým zrážkam či povodňami, ktoré negatívne ovplyvňujú kvalitu života obyvateľstva, hospodárstvo aj technickú infraštruktúru. Tieto zmeny zároveň zvyšujú požiadavky na energetickú hospodárnosť budov, predovšetkým v súvislosti s rastúcou potrebou ich chladenia počas letných mesiacov.

Významný podiel na globálnych emisiách skleníkových plynov má aj výroba základných stavebných materiálov. Cementársky priemysel je zodpovedný približne za 7 až 8 % celosvetových emisií oxidu uhličitého, pričom emisie vznikajú nielen spaľovaním palív potrebných na výrobu cementu, ale aj chemickým procesom kalcinácie vápenca. Výroba ocele predstavuje ďalší významný zdroj emisií a podieľa sa na globálnych emisiách približne ôsmimi percentami. K energeticky najnáročnejším priemyselným procesom patrí aj výroba hliníka. Vzhľadom na rozsiahle využívanie týchto materiálov v stavebníctve sa ich dekarbonizácia stáva nevyhnutnou podmienkou transformácie celého odvetvia.

Vývoj prístupov k znižovaniu environmentálnych dopadov budov zároveň poukazuje na výraznú zmenu spôsobu ich hodnotenia. Kým v minulosti sa pozornosť sústreďovala predovšetkým na znižovanie prevádzkovej spotreby energie, súčasné poznatky potvrdzujú, že významnú časť uhlíkovej stopy budovy tvoria aj emisie vznikajúce počas výroby stavebných

materiálov, výstavby, údržby a ukončenia životnosti stavby. Efektívne znižovanie uhlíkovej stopy preto vyžaduje komplexné hodnotenie všetkých etáp životného cyklu budovy a optimalizáciu environmentálnych dopadov od návrhu až po demoláciu.

Rastúci význam stavebného sektora pri zmiernovaní klimatických zmien sa odráža aj v strategických dokumentoch Európskej únie a medzinárodných organizácií. Iniciatívy, ako sú Európska zelená dohoda (European Green Deal), balík Fit for 55 alebo smernica Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), vytvárajú legislatívny rámec na postupnú dekarbonizáciu budov a podporujú širšie využívanie nízkouhlíkových stavebných materiálov, obnoviteľných zdrojov energie a princípov obehového hospodárstva. Stavebný sektor sa tak stáva jednou z rozhodujúcich oblastí pri dosahovaní klimatickej neutrality Európskej únie do roku 2050.

Transformácia stavebníctva smerom k nízkouhlíkovým budovám preto predstavuje jeden z rozhodujúcich predpokladov na zmiernenie dôsledkov klimatických zmien. Efektívne navrhovanie, realizácia a prevádzka budov s minimálnou uhlíkovou stopou významne prispievajú k ochrane klímy, znižovaniu spotreby prírodných zdrojov a vytváraniu kvalitného, odolného a dlhodobo udržateľného zastavaného prostredia pre budúce generácie.

## 2.6 Uhlíková neutralita

Uhlíková neutralita (Carbon Neutrality) predstavuje stav, pri ktorom sú celkové emisie skleníkových plynov vyjadrené ako ekvivalent oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>eq) vyvážené rovnakým množstvom emisií odstránených z atmosféry alebo kompenzovaných vhodnými opatreniami. Inými slovami, čistá bilancia emisií skleníkových plynov je nulová. V súčasnosti patrí uhlíková neutralita medzi hlavné ciele globálnych klimatických politík a predstavuje jeden zo základných predpokladov na zmiernenie dôsledkov klimatických zmien.

Podstata uhlíkovej neutrality však nespočíva iba v kompenzácii emisií, ale predovšetkým v ich systematickom znižovaní priamo pri zdroji. Kompenzačné mechanizmy by mali predstavovať až posledný krok po využití všetkých technicky aj ekonomicky realizovateľných možností redukcie emisií. V praxi to znamená zvyšovanie energetickej efektívnosti, širšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie, dekarbonizáciu priemyselných procesov a implementáciu nízkouhlíkových technológií vo všetkých hospodárskych sektoroch.

Matematicky možno princíp uhlíkovej neutrality vyjadriť nasledovne:

Celkové emisie CO<sub>2</sub> – Zachytené alebo kompenzované emisie CO<sub>2</sub> = 0

alebo ekvivalentne:

Celkové emisie CO<sub>2</sub> = Celkové odstránenie alebo kompenzácia CO<sub>2</sub>

Dosiahnutie uhlíkovej neutrality teda predpokladá vytvorenie rovnováhy medzi množstvom emisií vypustených do atmosféry a množstvom emisií, ktoré sú z atmosféry odstránené prirodzenými alebo technologickými procesmi. Medzi prirodzené mechanizmy zachytávania uhlíka patrí najmä viazanie oxidu uhličitého lesnými ekosystémami, vegetáciou a pôdou. Významnú úlohu však zohrávajú aj technologické riešenia, predovšetkým systémy Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS), ktoré umožňujú zachytávať, využívať alebo dlhodobo ukladať oxid uhličitý vznikajúci pri priemyselných procesoch. V medzinárodnom kontexte sa pojem uhlíková neutralita často zamieňa s pojmom klimatická neutralita (Climate Neutrality). Hoci sú oba pojmy úzko prepojené, ich význam nie je úplne totožný. Uhlíková neutralita sa primárne vzťahuje na emisie oxidu uhličitého, zatiaľ čo klimatická neutralita zahŕňa všetky skleníkové plyny vrátane metánu (CH<sub>4</sub>), oxidu dusného (N<sub>2</sub>O) a fluorovaných plynov. Napriek tomuto rozdielu sa oba pojmy v strategických dokumentoch Európskej únie aj medzinárodných organizácií často používajú ako vzájomne zameniteľné. V stavebnom sektore predstavuje uhlíková neutralita dlhodobý strategický cieľ smerujúci k minimalizácii

prevádzkových aj zabudovaných emisií počas celého životného cyklu budovy. Jej dosiahnutie si vyžaduje kombináciu energeticky efektívneho architektonického návrhu, využívania obnoviteľných zdrojov energie, aplikácie stavebných materiálov s nízkou uhlíkovou stopou a implementácie princípov obehového hospodárstva. Moderné nízkouhlíkové a nulovoemisné budovy preto predstavujú jeden z najvýznamnejších nástrojov dekarbonizácie stavebného sektora. Význam uhlíkovej neutrality výrazne vzrástol po prijatí Parížskej dohody v roku 2015, ktorej cieľom je obmedziť rast priemernej globálnej teploty výrazne pod hranicu 2 °C a usilovať sa o jeho obmedzenie na 1,5 °C v porovnaní s predindustriálnym obdobím. Na tieto záväzky nadviazala Európska únia prijatím cieľa dosiahnuť klimatickú neutralitu do roku 2050, pričom stavebný sektor patrí medzi rozhodujúce oblasti, v ktorých je potrebné realizovať rozsiahle opatrenia na znižovanie emisií skleníkových plynov. Uhlíková neutralita tak dnes nepredstavuje iba environmentálny cieľ, ale komplexný strategický princíp ovplyvňujúci smerovanie moderného stavebníctva, energetiky aj hospodárstva. Jej dosiahnutie si vyžaduje koordinovaný prístup založený na technologických inováciách, efektívnom využívaní zdrojov a systematickom znižovaní emisií počas celého životného cyklu budov.

## **Cesta k uhlíkovej neutralite**

Dosiahnutie uhlíkovej neutrality v sektore budov predstavuje komplexný proces, ktorý si vyžaduje koordinované uplatňovanie technických, materiálových a prevádzkových opatrení počas celého životného cyklu stavby. Keďže budovy patria medzi najvýznamnejších spotrebiteľov energie a zároveň predstavujú významný zdroj emisií skleníkových plynov, ich transformácia zohráva rozhodujúcu úlohu pri napĺňaní klimatických cieľov na národnej aj medzinárodnej úrovni. Cesta k uhlíkovej neutralite preto nespočíva v jedinom technickom riešení, ale v integrovanom prístupe založenom na znižovaní energetickej spotreby, využívaní obnoviteľných zdrojov energie, dekarbonizácii technických systémov, aplikácii nízkouhlíkových stavebných materiálov a v nevyhnutných prípadoch aj na kompenzácii zostávajúcich emisií.

### **Znižovanie energetickej spotreby**

Najdôležitejším krokom na ceste k uhlíkovej neutralite je minimalizácia energetickej potreby budovy. Energia, ktorú nie je potrebné vyrobiť ani spotrebovať, predstavuje z environmentálneho aj ekonomického hľadiska najefektívnejší spôsob znižovania emisií skleníkových plynov. Moderné nízkouhlíkové budovy sú preto navrhované s dôrazom na vysokú energetickú efektívnosť už od počiatočných fáz projektovania. Rozhodujúci význam má kvalitná tepelná ochrana obálky budovy, eliminácia tepelných mostov, použitie vysokoúčinných výplní otvorov a zabezpečenie dostatočnej vzduchotesnosti konštrukcie. Významné úspory energie prinášajú aj pasívne architektonické opatrenia, medzi ktoré patrí optimálna orientácia budovy, kompaktný tvar objektu, efektívne využívanie denného svetla a prirodzeného vetrania. Minimalizácia energetickej spotreby vytvára základný predpoklad na efektívne dosiahnutie uhlíkovej neutrality.

### **Využívanie obnoviteľných zdrojov energie**

Po minimalizovaní energetickej potreby nasleduje zabezpečenie čo najväčšieho podielu energie z obnoviteľných zdrojov. Ich využívanie významne znižuje emisie skleníkových plynov spojené s prevádzkou budov a zároveň obmedzuje závislosť od fosílnych palív.

V podmienkach budov sa najčastejšie uplatňujú fotovoltické systémy na výrobu elektrickej energie, solárne termické kolektory na prípravu teplej vody, geotermálne systémy a biomasa. Význam nadobúdajú aj komunitné energetické systémy a lokálne energetické siete založené na obnoviteľných zdrojoch energie. Ich integrácia umožňuje pokrývať významnú časť vlastnej spotreby energie a v niektorých prípadoch dosahovať vysokú mieru energetickej sebestačnosti.

## **Elektrifikácia technických systémov**

Významným krokom smerom k uhlíkovej neutralite je postupné nahrádzanie technológií využívajúcich fosílnu palivá elektrickými systémami s vysokou energetickou účinnosťou. Tento proces je označovaný ako elektrifikácia budov. Dominantné postavenie v tejto oblasti majú tepelné čerpadlá, ktoré dokážu efektívne využívať energiu okolitého prostredia na vykurovanie a prípravu teplej vody. V kombinácii s elektrickou energiou vyrábanou z obnoviteľných zdrojov umožňujú takmer úplnú elimináciu emisií súvisiacich s vykurovaním budov. Elektrifikácia sa zároveň týka systémov chladenia, vetrania aj prípravy teplej vody, čím sa postupne vytvárajú podmienky na úplné vyradenie fosílnych palív z prevádzky budov.

## **Využívanie nízkouhlíkových stavebných materiálov**

S rastúcou energetickou efektívnosťou budov sa čoraz väčšia pozornosť sústreďuje na zabudované emisie vznikajúce počas výroby stavebných materiálov a realizácie stavby. Výber materiálov s nízkou uhlíkovou stopou sa preto stáva neoddeliteľnou súčasťou procesu dekarbonizácie stavebníctva. Perspektívne riešenia predstavujú drevené konštrukcie, CLT panely, recyklované stavebné materiály, nízkouhlíkové betóny, geopolymérne kompozity a ďalšie materiály s nižšou energetickou náročnosťou výroby. Významnú úlohu zohrávajú aj princípy obehového hospodárstva podporujúce recykláciu stavebných materiálov, opätovné využitie konštrukčných prvkov a predlžovanie životnosti budov.

## **Kompenzačné mechanizmy**

Aj pri maximálnom využití dostupných technológií môžu vznikať zvyškové emisie, ktoré nie je možné technicky ani ekonomicky eliminovať. V takýchto prípadoch možno uplatniť kompenzačné mechanizmy umožňujúce vyrovnať zostávajúcu uhlíkovú stopu.

Kompenzácia môže byť realizovaná prostredníctvom zalesňovacích projektov, obnovy prírodných ekosystémov, ochrany lesných porastov alebo investícií do projektov obnoviteľných zdrojov energie. Rastúci význam nadobúdajú aj technológie Carbon Capture and Storage (CCS) a Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS), ktoré umožňujú zachytávať oxid uhličitý priamo z priemyselných procesov alebo z atmosféry.

Kompenzačné opatrenia však predstavujú až poslednú fázu procesu dekarbonizácie. Moderný prístup k uhlíkovej neutralite je založený na princípe „najprv redukovať, potom kompenzovať“, ktorého cieľom je dosiahnuť reálne znižovanie emisií skleníkových plynov.

### **Integrovaný prístup**

Úspešné dosiahnutie uhlíkovej neutrality si vyžaduje súčasné uplatňovanie všetkých uvedených opatrení. Samotné využívanie obnoviteľných zdrojov energie alebo kompenzácia emisií bez dôsledného znižovania energetickej spotreby nemôžu zabezpečiť dlhodobú environmentálnu udržateľnosť budov.

Integrovaný prístup spája energeticky efektívny návrh, využívanie nízkouhlíkových stavebných materiálov, obnoviteľných zdrojov energie, inteligentných systémov riadenia a princípov obehového hospodárstva do jedného funkčného celku. Práve vzájomná synergia týchto opatrení vytvára predpoklady na vznik budov, ktoré dokážu významne prispieť k dosiahnutiu klimatekovej neutrality stavebného sektora a napĺňaniu globálnych cieľov ochrany klímy.

## **2.7 Net Zero Buildings**

Koncept Net Zero Building (NZB) predstavuje jeden z najpokročilejších prístupov k navrhovaniu a prevádzke budov v súlade s princípmi udržateľného rozvoja a dekarbonizácie stavebného sektora. Jeho základnou myšlienkou je dosiahnuť rovnováhu medzi množstvom energie, ktoré budova počas hodnoteného obdobia spotrebuje, a množstvom energie vyrobenej z obnoviteľných zdrojov. Takýto prístup významne prispieva k znižovaniu spotreby primárnej energie, obmedzovaniu emisií skleníkových plynov a zvyšovaniu energetickej sebestačnosti budov.

Vo všeobecnosti možno Net Zero Building definovať ako budovu, ktorá počas jedného roka vyrobí minimálne rovnaké množstvo energie, aké spotrebuje na svoju prevádzku. Takáto

budova dosahuje nulovú alebo takmer nulovú energetickú bilanciu, pričom výroba energie je zabezpečovaná predovšetkým prostredníctvom obnoviteľných zdrojov integrovaných priamo do budovy alebo umiestnených v jej bezprostrednom okolí.

Podmienku energetickej neutrality možno vyjadriť vzťahom:

$$E_p \geq E_c$$

kde:

$E_p$  – energia vyrobená z obnoviteľných zdrojov počas hodnoteného obdobia,

$E_c$  – celková spotreba energie budovy počas rovnakého obdobia.

V praktických podmienkach to znamená, že budova prostredníctvom fotovoltických systémov, solárnych termických kolektorov, geotermálnych systémov alebo iných obnoviteľných zdrojov vyprodukuje minimálne také množstvo energie, aké potrebuje na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody, osvetlenie a prevádzku technických zariadení.

Koncept Net Zero Building sa začal intenzívne rozvíjať začiatkom 21. storočia ako reakcia na rastúce požiadavky na znižovanie energetickej náročnosti budov a obmedzovanie emisií skleníkových plynov. Významnú podporu získal predovšetkým v krajinách Európskej únie, Spojených štátoch amerických a Kanade, kde sa stal súčasťou národných stratégií zameraných na transformáciu stavebného sektora smerom k nízkouhlíkovému hospodárstvu. Dosiahnutie statusu Net Zero Building si vyžaduje uplatnenie viacerých vzájomne prepojených opatrení. Základným predpokladom je maximalizácia energetickej efektívnosti prostredníctvom kvalitnej tepelnej ochrany obálky budovy, eliminácie tepelných mostov, využívania pasívnych solárnych ziskov a implementácie vysokoúčinných technických systémov. Až po minimalizovaní energetickej potreby možno zostávajúcu spotrebu pokryť výrobou energie z obnoviteľných zdrojov.

Je potrebné zdôrazniť, že pojem Net Zero Building sa vzťahuje predovšetkým na energetickú bilanciu budovy a nemožno ho automaticky stotožňovať s nulovou uhlíkovou stopou. Budova môže dosiahnuť energetickú neutralitu, pričom stále produkuje významné emisie súvisiace s výrobou stavebných materiálov, výstavbou, údržbou alebo ukončením životnosti. Z tohto dôvodu sa v súčasnosti čoraz väčší dôraz kladie na širší koncept Net Zero Carbon Building, ktorý zohľadňuje nielen energetickú bilanciu, ale aj emisie vznikajúce počas celého životného cyklu budovy.

Budovy typu Net Zero Building preto predstavujú významný medzistupeň na ceste k budovám s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings). Ich rozvoj vytvára predpoklady na ďalšie znižovanie spotreby energie, redukciu emisií skleníkových plynov a postupný prechod stavebného sektora k udržateľnej, energeticky efektívnej a klimaticky neutrálnej výstavbe.

## Typy Net Zero budov

Koncept Net Zero Buildings sa v súčasnosti rozvíja vo viacerých formách, ktoré sa odlišujú spôsobom hodnotenia energetickej alebo uhlíkovej bilancie budovy. Jednotlivé kategórie reflektujú postupný vývoj prístupov k dekarbonizácii stavebného sektora – od budov zameraných predovšetkým na energetickú efektívnosť až po objekty usilujúce sa o úplnú uhlíkovú neutralitu alebo dokonca pozitívnu energetickú bilanciu. Medzi najvýznamnejšie koncepcie patria Net Zero Energy Building (NZE), Net Zero Carbon Building (NZCB) a Net Positive Building (NPB).

### Net Zero Energy Building (NZE)

Net Zero Energy Building predstavuje budovu, ktorá počas hodnoteného obdobia, spravidla jedného kalendárneho roka, vyrobí z obnoviteľných zdrojov minimálne také množstvo energie, aké sama spotrebuje na svoju prevádzku. Výsledkom je nulová alebo takmer nulová ročná energetická bilancia.

Dosiahnutie energetickej neutrality je podmienené kombináciou vysokej energetickej efektívnosti a lokálnej výroby energie prostredníctvom obnoviteľných zdrojov, predovšetkým fotovoltických systémov, solárnych kolektorov alebo geotermálnych technológií. Nevyhnutným predpokladom je minimalizácia energetickej potreby budovy prostredníctvom kvalitnej tepelnej ochrany, využívania pasívnych architektonických princípov a implementácie vysokoúčinných technických systémov.

Hoci koncept Net Zero Energy Building významne prispieva k znižovaniu spotreby energie a prevádzkových emisií, jeho hodnotenie sa sústreďuje predovšetkým na energetickú bilanciu. Zabudované emisie vznikajúce počas výroby stavebných materiálov alebo samotnej realizácie stavby pritom nemusia byť plne zohľadnené.

### **Net Zero Carbon Building (NZCB)**

Net Zero Carbon Building predstavuje vyšší stupeň environmentálnej výkonnosti budovy. Na rozdiel od energeticky neutrálnych budov sa nezameriava iba na energetickú bilanciu, ale na dosiahnutie nulovej uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu stavby.

Pri hodnotení sa zohľadňujú nielen prevádzkové emisie súvisiace so spotrebou energie, ale aj zabudované emisie vznikajúce pri výrobe stavebných materiálov, doprave, výstavbe, údržbe, rekonštrukciách a likvidácii budovy. Dosiahnutie nulovej uhlíkovej bilancie si preto vyžaduje kombináciu energeticky efektívneho návrhu, využívania obnoviteľných zdrojov energie, aplikácie nízkouhlíkových stavebných materiálov a princípov obehového hospodárstva.

Budovy typu Net Zero Carbon Building predstavujú jeden z hlavných smerov ďalšieho rozvoja udržateľného stavebníctva a významne prispievajú k napĺňaniu cieľov klimatickej neutrality.

### **Net Positive Building**

Najvyššiu úroveň environmentálnej výkonnosti predstavujú Net Positive Buildings. Tieto budovy neprodukujú iba také množstvo energie, aké samy spotrebujú, ale vytvárajú energetický prebytok, ktorý možno dodávať do verejnej distribučnej siete alebo využívať na pokrytie energetických potrieb okolitých objektov.

Ročná výroba energie z obnoviteľných zdrojov je v tomto prípade vyššia než celková spotreba budovy. Okrem dosahovania energetickej neutrality tak tieto budovy aktívne podporujú dekarbonizáciu energetického systému tým, že nahrádzajú výrobu elektrickej energie z fosílnych palív.

Moderné Net Positive Buildings využívajú rozsiahle fotovoltické elektrárne, batériové úložiská, inteligentné systémy energetického manažmentu a vysoko efektívne technické zariadenia. V niektorých prípadoch dokážu počas svojho životného cyklu odstrániť alebo kompenzovať viac emisií, než samy vyprodukujú, čím dosahujú pozitívnu uhlíkovú bilanciu.

### **Porovnanie jednotlivých konceptov**

Rozdiel medzi jednotlivými typmi Net Zero Buildings spočíva predovšetkým v rozsahu hodnotených parametrov. Net Zero Energy Buildings sú orientované na energetickú bilanciu budovy, Net Zero Carbon Buildings rozširujú hodnotenie o emisie vznikajúce počas celého životného cyklu stavby a Net Positive Buildings presahujú rámec neutrality tým, že vytvárajú aktívny environmentálny prínos prostredníctvom výroby energetických prebytkov alebo dosahovania pozitívnej uhlíkovej bilancie.

Vývoj moderného stavebníctva smeruje od energeticky efektívnych budov cez budovy s nulovou energetickou alebo uhlíkovou bilanciou až k budovám, ktoré sa stávajú aktívnou súčasťou energetických systémov a významne prispievajú k dekarbonizácii hospodárstva. Uvedené koncepty preto predstavujú dôležitý medzník na ceste k dosiahnutiu klimatickej neutrality a dlhodobu udržateľného rozvoja stavebného sektora (Tabuľka 1).

**Tabuľka 1** Porovnanie jednotlivých konceptov

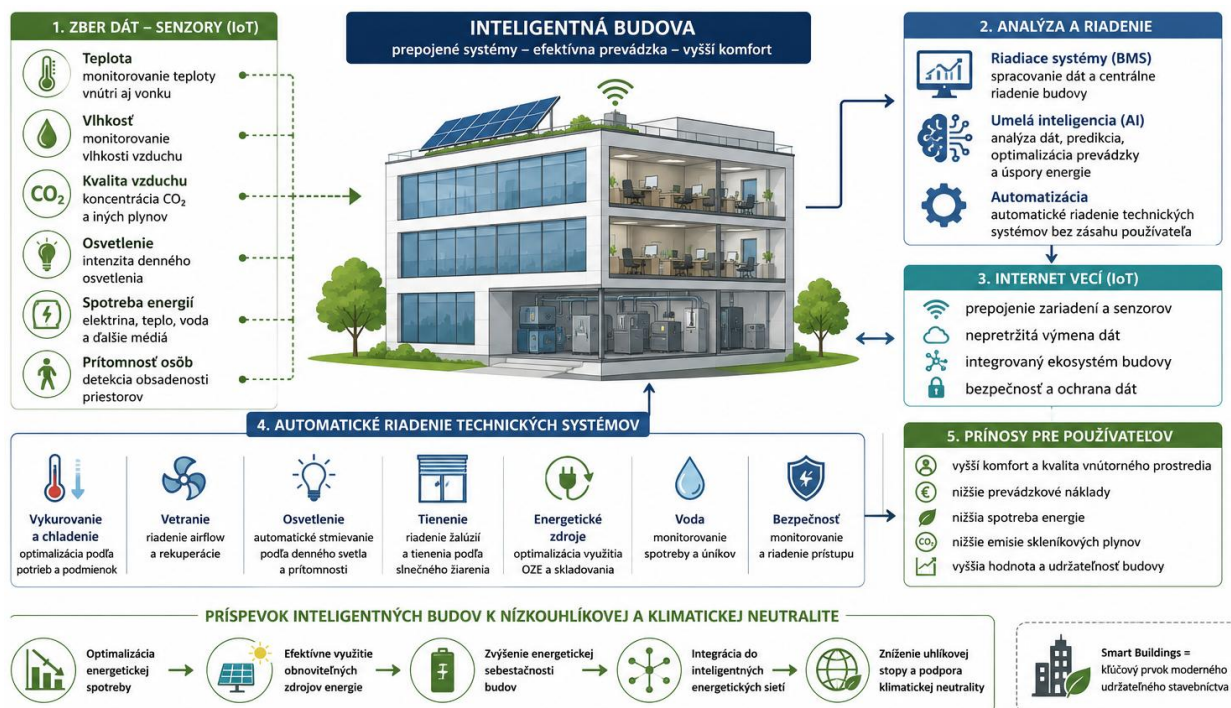
| <b>Charakteristika</b> | <b>NZEB</b> | <b>NZCB</b> | <b>Net Positive</b> |
|------------------------|-------------|-------------|---------------------|
| Energetická bilancia   | ✓           | ✓           | ✓ (+ prebytok)      |



|                    |            |            |            |
|--------------------|------------|------------|------------|
| Zabudované emisie  | ×          | ✓          | ✓          |
| Prevádzkové emisie | ✓          | ✓          | ✓          |
| Výroba energie     | = spotreba | = spotreba | > spotreba |

## 2.8 Inteligentné budovy

Koncept inteligentných budov (Smart Buildings) predstavuje moderný prístup k navrhovaniu, prevádzke a správe budov založený na využívaní digitálnych technológií na optimalizáciu ich funkčnosti, energetickej efektívnosti a komfortu používateľov. Inteligentné budovy sú schopné v reálnom čase monitorovať, analyzovať a riadiť svoje technické systémy, pričom dynamicky reagujú na meniace sa prevádzkové podmienky aj potreby používateľov. Takýto spôsob riadenia významne prispieva k znižovaniu spotreby energie, prevádzkových nákladov a emisií skleníkových plynov. Rozvoj inteligentných budov úzko súvisí s digitalizáciou stavebníctva, rozvojom internetu vecí (Internet of Things – IoT), umelej inteligencie (Artificial Intelligence – AI) a pokročilých komunikačných technológií. Tieto inovácie umožňujú prepojenie jednotlivých technických systémov budovy do jedného integrovaného celku, ktorý dokáže efektívne spravovať energetické zdroje, monitorovať prevádzkové parametre a automaticky optimalizovať fungovanie objektu. Základným prvkom inteligentných budov sú senzory zabezpečujúce nepretržitý zber údajov o stave budovy a jej prevádzke. Monitorujú teplotu, relatívnu vlhkosť vzduchu, koncentráciu oxidu uhličitého, intenzitu osvetlenia, spotrebu energií, kvalitu vnútorného prostredia alebo prítomnosť používateľov v jednotlivých priestoroch. Získané údaje predstavujú vstupné informácie pre riadiace systémy, ktoré na ich základe optimalizujú prevádzku technických zariadení. Významnou charakteristikou inteligentných budov je vysoký stupeň automatizácie. Automatizované riadiace systémy umožňujú regulovať vykurovanie, chladenie, vetranie, osvetlenie alebo tienenie bez potreby priameho zásahu používateľa. Prevádzka jednotlivých technických zariadení sa prispôsobuje aktuálnym podmienkam prostredia aj skutočným potrebám používateľov, čím sa dosahuje vyšší komfort, efektívnejšie využívanie energie a znižovanie prevádzkových nákladov. Osobitný význam nadobúda využívanie umelej inteligencie, ktorá umožňuje analyzovať rozsiahle objemy prevádzkových údajov a identifikovať vzory správania budovy. Moderné algoritmy dokážu predvídať energetické zaťaženie objektu, optimalizovať prevádzku technických systémov, identifikovať potenciálne poruchy ešte pred ich vznikom alebo navrhovať opatrenia vedúce k ďalšiemu znižovaniu spotreby energie. Vďaka schopnosti priebežného učenia sa z historických údajov sa inteligentné budovy stávajú postupne efektívnejšími, adaptabilnejšími a spoľahlivejšími. Technologickým základom konceptu Smart Buildings je internet vecí, ktorý zabezpečuje vzájomnú komunikáciu medzi senzormi, meracími zariadeniami, riadiacimi jednotkami a technickými systémami prostredníctvom dátových sietí. Takto vytvorený digitálny ekosystém umožňuje nepretržitú výmenu informácií a vytvára podmienky na inteligentné riadenie budovy založené na aktuálnych prevádzkových dátach. V kontexte nízkouhlíkoveho stavebníctva predstavujú inteligentné technológie jeden z rozhodujúcich nástrojov na zvyšovanie energetickej efektívnosti a znižovanie uhlíkovej stopy budov. Umožňujú optimalizovať spotrebu energie, efektívnejšie využívať obnoviteľné zdroje energie, zvyšovať energetickú sebestačnosť budov a podporovať ich integráciu do inteligentných energetických sietí (Smart Grids). Inteligentné budovy sa tak stávajú neoddeliteľnou súčasťou moderného udržateľného stavebníctva a významne prispievajú k napĺňaniu cieľov klimateckej neutrality, digitalizácie a dekarbonizácie stavebného sektora (Obrázok 5).



Obrázok 5 Smart buildings

Implementácia inteligentných technológií prináša budovám široké spektrum prínosov, ktoré sa prejavujú vo zvýšení energetickej efektívnosti, kvalite prevádzky, ekonomickej návratnosti aj environmentálnej udržateľnosti. Vďaka schopnosti nepretržite monitorovať a riadiť technické systémy v reálnom čase dokážu inteligentné budovy efektívnejšie využívať dostupné zdroje, optimalizovať prevádzku technických zariadení a vytvárať komfortnejšie prostredie pre svojich používateľov. Tieto vlastnosti z nich robia jeden z rozhodujúcich nástrojov moderného nízkouhlíkoveho stavebníctva.

### Energetické výhody

Najvýznamnejším prínosom inteligentných budov je znižovanie spotreby energie prostredníctvom automatizovaného riadenia technických systémov. Sensory, inteligentné riadiace algoritmy a pokročilé analytické nástroje umožňujú priebežne optimalizovať prevádzku vykurovania, chladenia, vetrania, osvetlenia aj ďalších technických zariadení podľa aktuálnych podmienok a potrieb používateľov. Praktické skúsenosti aj výsledky výskumov ukazujú, že inteligentné systémy riadenia môžu znížiť spotrebu energie približne o 15 až 40 % v porovnaní s konvenčnými budovami. Energetické úspory sú dosahované predovšetkým prostredníctvom automatickej regulácie prevádzky, optimalizácie energetických tokov a eliminácie zbytočnej spotreby. Inteligentné budovy zároveň vytvárajú predpoklady na efektívnejšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie a podporujú integráciu lokálnych energetických systémov.

### Prevádzkové výhody

Významné prínosy inteligentných budov sa prejavujú aj v oblasti správy a prevádzky objektov. Nepretržitý monitoring technických zariadení umožňuje včas identifikovať odchýlky od štandardného prevádzkového režimu a predchádzať vzniku závažných porúch. Kľúčovým prvkom moderných systémov je prediktívna údržba, ktorá využíva údaje zo senzorov a analytické algoritmy na predvídanie technických problémov ešte pred ich vznikom. Takýto prístup umožňuje efektívnejšie plánovať servisné zásahy, znižovať náklady na opravy a predlžovať životnosť technických zariadení. Správcovia budov zároveň získavajú detailný prehľad o prevádzke jednotlivých technických systémov, čo vedie k vyššej spoľahlivosti budov, efektívnejšiemu riadeniu technickej infraštruktúry a nižším prevádzkovým nákladom.

### **Environmentálne výhody**

Z environmentálneho hľadiska predstavujú inteligentné budovy významný nástroj na znižovanie negatívnych dopadov stavebného sektora na životné prostredie. Optimalizácia spotreby energie vedie k redukcii emisií skleníkových plynov a znižovaniu uhlíkovej stopy budovy počas jej prevádzky. Inteligentné systémy zároveň podporujú efektívnejšie využívanie energie, vody aj materiálových zdrojov. Neustále monitorovanie spotreby umožňuje identifikovať neefektívne procesy a prijímať opatrenia vedúce k ich optimalizácii. Významným prínosom je aj schopnosť inteligentných budov spolupracovať s obnoviteľnými zdrojmi energie, batériovými úložiskami a inteligentnými energetickými sieťami. V kontexte klimatickej neutrality predstavujú inteligentné technológie jeden z najefektívnejších nástrojov na zvyšovanie energetickej efektívnosti budov a znižovanie emisií CO<sub>2</sub>. Ich význam bude naďalej narastať spolu s rozvojom umelej inteligencie, internetu vecí a digitalizácie stavebného sektora.

### **Celkový prínos inteligentných budov**

Vzájomná integrácia energetických, prevádzkových a environmentálnych prínosov robí z inteligentných budov jeden z kľúčových prvkov moderného nízkouhlíkového stavebníctva. Inteligentné technológie nielen znižujú spotrebu energie a emisie skleníkových plynov, ale zároveň zvyšujú komfort používateľov, efektívnosť správy budov a ich ekonomickú udržateľnosť. Smart Buildings sa preto postupne stávajú štandardnou súčasťou moderných budov a významne podporujú transformáciu zastavaného prostredia smerom ku klimaticky neutrálnej budúcnosti.

Teoretické východiská nízkouhlíkových budov vytvárajú komplexný rámec na pochopenie princípov, nástrojov a stratégií smerujúcich k znižovaniu environmentálnych dopadov stavebného sektora. Súčasné prístupy k navrhovaniu, realizácii a prevádzke budov vychádzajú z princípov trvalo udržateľného rozvoja, ktoré zdôrazňujú potrebu vyváženého uplatňovania environmentálnych, ekonomických a sociálnych aspektov počas celého životného cyklu stavby. Významnú úlohu pri formovaní moderného stavebníctva zohráva koncept Green Building, ktorý presadzuje environmentálne zodpovedný prístup založený na vysokej energetickej efektívnosti, hospodárnom využívaní vody, aplikácii udržateľných stavebných materiálov a vytváraní kvalitného vnútorného prostredia. Objektívne hodnotenie týchto parametrov umožňujú medzinárodne uznávané certifikačné systémy LEED, BREEAM, DGNB a WELL, ktoré významne podporujú implementáciu princípov udržateľného stavebníctva do praxe. Dôležitou súčasťou teoretických východísk je aj koncept Circular Economy, ktorý predstavuje alternatívu k tradičnému lineárnemu hospodárstvu. Jeho princípy podporujú recykláciu stavebných materiálov, opätovné využívanie konštrukčných prvkov, modularitu budov a predlžovanie ich životnosti, čím významne prispievajú k znižovaniu spotreby prírodných zdrojov, produkcie odpadu aj zabudovaných emisií. Neoddeliteľnou súčasťou transformácie stavebného sektora je dosahovanie uhlíkovej neutrality prostredníctvom kombinácie energeticky efektívneho návrhu, obnoviteľných zdrojov energie, elektrifikácie technických systémov a využívania stavebných materiálov s nízkou uhlíkovou stopou. Vývoj smeruje od budov s nulovou energetickou bilanciou (Net Zero Energy Buildings) cez budovy s nulovou uhlíkovou stopou (Net Zero Carbon Buildings) až po Net Positive Buildings, ktoré aktívne prispievajú k dekarbonizácii energetických systémov. Význam moderného stavebníctva zároveň výrazne ovplyvňuje rozvoj ESG princípov, ktoré rozširujú hodnotenie budov o environmentálne, sociálne a riadiace aspekty. Rastúci význam nadobúdajú aj inteligentné technológie využívajúce senzory, internet vecí, automatizáciu a umelú inteligenciu na optimalizáciu prevádzky budov, znižovanie spotreby energie a efektívnejšie využívanie dostupných zdrojov. Jednotlivé koncepty predstavené v tejto kapitole nemožno vnímať izolovane. Naopak, vytvárajú vzájomne prepojený systém, ktorého spoločným cieľom je navrhovať budovy s minimálnou uhlíkovou stopou, vysokou energetickou efektívnosťou a dlhou životnosťou pri zachovaní zdravého a komfortného vnútorného prostredia. Práve ich vzájomná integrácia predstavuje teoretický základ moderného

nízkouhlíkového stavebníctva a vytvára predpoklady na úspešnú transformáciu stavebného sektora smerom ku klimaticky neutrálnej spoločnosti (Obrázok 6).



**Obrázok 6** Uhlíková stopa

## 2.9 Smernica EPBD 2024 a jej význam pre nízkouhlíkové budovy

Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2024/1275 o energetickej hospodárnosti budov (Energy Performance of Buildings Directive – EPBD) predstavuje jeden z najvýznamnejších legislatívnych nástrojov Európskej únie podporujúcich transformáciu stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite. Novelizovaná smernica bola prijatá v roku 2024 ako súčasť balíka opatrení Fit for 55 a Európskej zelenej dohody (European Green Deal) s cieľom urýchliť dekarbonizáciu fondu budov a prispieť k dosiahnutiu klimatickej neutrality Európskej únie do roku 2050. Význam smernice vyplýva zo skutočnosti, že sektor budov patrí medzi najväčších spotrebiteľov energie v Európskej únii. Budovy sú zodpovedné približne za 40 % celkovej konečnej spotreby energie a približne 36 % emisií skleníkových plynov súvisiacich so spotrebou energie. Znižovanie energetickej náročnosti budov preto predstavuje jednu z rozhodujúcich podmienok úspešného plnenia klimatických a energetických cieľov Európskej únie. Nová smernica EPBD predstavuje významný posun oproti predchádzajúcim verziám. Kým staršie znenia smernice boli orientované predovšetkým na energetickú hospodárnosť počas prevádzky budovy, aktuálna verzia rozširuje hodnotenie aj o environmentálne aspekty počas celého životného cyklu stavby. Osobitný dôraz kladie na znižovanie prevádzkových emisií skleníkových plynov, podporu obnoviteľných zdrojov energie, digitalizáciu stavebného sektora a postupné zavádzanie hodnotenia uhlíkovej stopy budov.

### Hlavné požiadavky smernice EPBD 2024

Smernica zavádza viaceré opatrenia, ktoré budú v nasledujúcich rokoch zásadne ovplyvňovať projektovanie, výstavbu aj prevádzku budov v členských štátoch Európskej únie. Medzi najvýznamnejšie patrí zavedenie štandardu budov s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB), urýchlenie obnovy energeticky neefektívnych budov, podpora využívania obnoviteľných zdrojov energie, rozvoj infraštruktúry pre elektromobilitu, implementácia inteligentných systémov riadenia budov, digitalizácia údajov o budovách a postupné zavádzanie hodnotenia uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu.

### **Budovy s nulovými emisiami**

Jednou z najvýznamnejších zmien je zavedenie štandardu Zero Emission Buildings (ZEB), ktorý postupne nahrádza doterajší koncept budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB). Nové budovy budú musieť dosahovať veľmi vysokú energetickú hospodárnosť a ich zostávajúca potreba energie bude vo veľkej miere pokrývaná z obnoviteľných zdrojov energie vyrábaných priamo na mieste alebo v jeho bezprostrednom okolí. Tento prístup predstavuje významný krok smerom k minimalizácii prevádzkových emisií skleníkových plynov a podporuje rozvoj energeticky sebestačných budov.

### **Hodnotenie uhlíkovej stopy počas životného cyklu**

Významnou novinkou smernice je postupné zavádzanie povinného hodnotenia uhlíkovej stopy budov počas celého ich životného cyklu. Pozornosť sa tak presúva od hodnotenia prevádzkovej energetickej hospodárnosti k posudzovaniu environmentálnych dopadov vo všetkých etapách existencie stavby – od výroby stavebných materiálov až po ukončenie jej životnosti. V tejto súvislosti nadobúdajú mimoriadny význam metodiky Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a využívanie Environmentálnych produktových deklarácií (EPD). Projektanti budú čoraz častejšie povinní preukazovať environmentálne parametre navrhovaných budov už vo fáze projektovej dokumentácie, čo významne podporí využívanie nízkouhlíkových stavebných materiálov a optimalizáciu návrhu z hľadiska celkovej uhlíkovej stopy.

### **Digitalizácia stavebníctva**

Smernica EPBD 2024 zároveň podporuje rozsiahlu digitalizáciu stavebného sektora počas celého životného cyklu budovy. Významnú úlohu zohrávajú najmä technológie Building Information Modeling (BIM), systémy Building Management System (BMS), digitálne pasy budov (Digital Building Passport) a automatizované systémy monitorovania prevádzkových údajov. Digitalizácia vytvára predpoklady na efektívnejšie riadenie budov, presnejšie monitorovanie ich energetickej hospodárnosti a environmentálnej výkonnosti, ako aj na systematické zhromažďovanie údajov potrebných pre hodnotenie životného cyklu, ESG reporting a plánovanie budúcich renovácií.

### **Význam smernice pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Nová smernica EPBD predstavuje zásadný legislatívny rámec pre transformáciu stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite. Po prvýkrát systematicky prepája požiadavky na energetickú hospodárnosť budov s hodnotením ich environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu a zároveň podporuje širšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie, digitálnych technológií, inteligentných systémov riadenia a princípov obehového hospodárstva. Možno očakávať, že implementácia smernice bude v nasledujúcich rokoch významne ovplyvňovať projektovanie, výstavbu aj prevádzku budov vo všetkých členských štátoch Európskej únie. Z pohľadu nízkouhlíkoveho stavebníctva predstavuje EPBD 2024 základný legislatívny rámec podporujúci navrhovanie budov s minimálnou uhlíkovou stopou, vysokou energetickou efektívnosťou a dlhodobou environmentálnou udržateľnosťou. Súčasne vytvára predpoklady na systematickú integráciu metodík Life Cycle Assessment, Whole Life Carbon a digitálnych nástrojov do projektovej a prevádzkovej praxe, čím významne prispieva k transformácii európskeho stavebného sektora smerom ku klimaticky neutrálnemu hospodárstvu.

## **2.10 Európsky rámec Level(s) pre hodnotenie udržateľnosti budov**

Level(s) predstavuje dobrovoľný európsky rámec na hodnotenie udržateľnosti budov, ktorý vypracovala Európska komisia s cieľom podporiť transformáciu stavebného sektora smerom k vyššej environmentálnej, ekonomickej a spoločenskej udržateľnosti. Jeho hlavným cieľom je vytvoriť jednotný metodický prístup umožňujúci hodnotenie budov počas celého ich životného cyklu a podporiť rozhodovanie založené na objektívnych environmentálnych ukazovateľoch.

Na rozdiel od certifikačných systémov, ako sú BREEAM, LEED alebo DGNB, Level(s) nepredstavuje systém udeľovania certifikátov, ale spoločný metodický rámec určený pre projektantov, investorov, vlastníkov budov, verejnú správu aj tvorcov politík. Jeho význam spočíva najmä v harmonizácii hodnotenia environmentálnej výkonnosti budov v rámci členských štátov Európskej únie. Rámec Level(s) vychádza z princípov Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC) a Whole Life Carbon (WLC). Zohľadňuje environmentálne dopady počas celého životného cyklu budovy a zároveň podporuje efektívne využívanie zdrojov, obehové hospodárstvo a adaptáciu budov na klimatické zmeny.

### **Šesť makrocieľov rámca Level(s)**

Level(s) je založený na šiestich vzájomne prepojených makrocieľoch, ktoré predstavujú základné oblasti hodnotenia udržateľnosti budov.

#### **1. Emisie skleníkových plynov počas životného cyklu**

Prvý makrocieľ je zameraný na znižovanie uhlíkovej stopy budov prostredníctvom hodnotenia emisií vznikajúcich počas celého životného cyklu stavby. Využíva metodiku Whole Life Carbon, ktorá zahŕňa prevádzkové aj zabudované emisie skleníkových plynov.

#### **2. Efektívne využívanie zdrojov a obehové hospodárstvo**

Druhý makrocieľ podporuje efektívne využívanie stavebných materiálov, minimalizáciu produkcie odpadu a zvyšovanie miery recyklácie a opätovného využitia stavebných prvkov. Je úzko prepojený s princípmi Circular Economy.

#### **3. Efektívne využívanie vodných zdrojov**

Tretí makrocieľ sa zameriava na znižovanie spotreby pitnej vody, efektívne hospodárenie so zrážkovou vodou a podporu opätovného využívania vody počas prevádzky budov.

#### **4. Zdravé a komfortné vnútorné prostredie**

Štvrtý makrocieľ hodnotí kvalitu vnútorného prostredia budovy. Posudzuje najmä kvalitu vnútorného ovzdušia, tepelný komfort, akustické podmienky, denné osvetlenie a celkovú pohodu používateľov.

#### **5. Adaptácia na klimatické zmeny**

Piaty makrocieľ podporuje navrhovanie budov odolných voči dôsledkom klimatických zmien, ako sú prehrievanie, extrémne zrážky, dlhodobé obdobia sucha alebo zvyšovanie priemernej teploty ovzdušia.

#### **6. Celkové náklady a hodnota počas životného cyklu**

Posledný makrocieľ je založený na metodike Life Cycle Costing (LCC) a hodnotí ekonomickú efektívnosť budovy počas celého jej životného cyklu. Zohľadňuje investičné, prevádzkové, údržbové aj likvidačné náklady a podporuje prijímanie ekonomicky udržateľných projektových rozhodnutí (Obrázok 7).





**Obrázok 7 Level(s)**

### Význam Level(s) pre nízkouhlíkové budovy

Rámec Level(s) vytvára jednotný metodický základ na hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov počas celého ich životného cyklu. Jeho význam spočíva najmä v prepájaní metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC) a princípov obehového hospodárstva do jedného integrovaného systému hodnotenia.

Výsledky hodnotenia podľa Level(s) možno využiť pri projektovaní nízkouhlíkových budov, environmentálnych certifikáciách, ESG reportingu aj pri plnení požiadaviek novej smernice EPBD 2024. Rámec zároveň podporuje využívanie digitálnych technológií, metodiky Building Information Modeling (BIM) a environmentálnych produktových deklarácií (EPD), čím vytvára predpoklady pre objektívne hodnotenie udržateľnosti budov v podmienkach Európskej únie. Možno predpokladať, že význam rámca Level(s) bude v nasledujúcich rokoch ďalej narastať a stane sa jedným z hlavných metodických nástrojov hodnotenia nízkouhlíkových budov v Európe.

## 3 UHLÍKOVÁ STOPA BUDOV

### 3.1 Úvod

Uhlíková stopa budov predstavuje jeden z rozhodujúcich ukazovateľov environmentálnej udržateľnosti stavebného sektora a v súčasnosti patrí medzi základné kritériá hodnotenia environmentálnej výkonnosti budov. Vzhľadom na významný podiel stavebníctva na celosvetovej spotrebe energie, využívaní prírodných zdrojov a produkcii skleníkových plynov sa pozornosť odborníkov, projektantov, investorov aj tvorcov legislatívy čoraz intenzívnejšie sústreďuje na identifikáciu a systematické znižovanie emisií vznikajúcich počas celého životného cyklu stavieb. Po dlhé obdobie bolo hodnotenie environmentálnej kvality budov založené predovšetkým na ich energetickej hospodárnosti počas prevádzky. Hlavným cieľom bolo minimalizovať spotrebu energie potrebnej na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody a osvetlenie. Tento prístup významne prispel k rozvoju nízkoenergetických, pasívnych a energeticky efektívnych budov. Postupne sa však ukázalo, že samotné znižovanie prevádzkovej spotreby energie neposkytuje dostatočne komplexný obraz o skutočných environmentálnych dopadoch stavebného sektora. Súčasné vedecké poznatky poukazujú na to, že významnú časť celkovej uhlíkovej stopy budovy tvoria emisie vznikajúce ešte pred začiatkom jej prevádzky. Ide predovšetkým o emisie súvisiace s ťažbou surovín, výrobou stavebných materiálov, ich dopravou, samotnou výstavbou, následnou údržbou, rekonštrukciami a ukončením životnosti stavby. Tieto emisie sa označujú ako zabudovaný uhlík (Embodied Carbon) a pri moderných energeticky efektívnych budovách môžu predstavovať významný podiel celkových emisií počas životného cyklu objektu.

Na základe týchto poznatkov sa v súčasnosti presadzuje komplexný prístup založený na hodnotení celého životného cyklu budovy. Tento prístup vychádza z metodiky Life Cycle Assessment (LCA), ktorá umožňuje systematicky analyzovať environmentálne dopady vo všetkých etapách existencie stavby – od získavania surovín a výroby stavebných materiálov cez výstavbu, prevádzku, údržbu až po demoláciu a spracovanie stavebného odpadu. Hodnotenie životného cyklu poskytuje realističejší obraz o skutočnom environmentálnom zaťažení budovy a umožňuje identifikovať rozhodujúce zdroje emisií skleníkových plynov.

V nadväznosti na tento prístup sa v odbornej literatúre aj medzinárodných normách čoraz častejšie uplatňuje koncept Whole Life Carbon (WLC), ktorý zahŕňa všetky emisie vznikajúce počas celého životného cyklu budovy. Na rozdiel od tradičného hodnotenia prevádzkovej spotreby energie integruje prevádzkové emisie (Operational Carbon) aj zabudované emisie (Embodied Carbon), čím poskytuje komplexný pohľad na uhlíkovú stopu stavebného diela. Práve tento prístup sa v súčasnosti považuje za základný nástroj environmentálneho hodnotenia budov a tvorí metodický základ navrhovania nízkouhlíkových a nulovoemisných stavieb. Význam hodnotenia uhlíkovej stopy budov v posledných rokoch výrazne vzrástol aj v dôsledku klimatických záväzkov Európskej únie a medzinárodného spoločenstva. Dosiahnutie klimatickej neutrality do roku 2050 si vyžaduje nielen ďalšie znižovanie prevádzkovej spotreby energie, ale aj systematickú redukciu emisií spojených s výrobou stavebných materiálov, výstavbou a obnovou budov. Uhlíková stopa sa preto stáva jedným z rozhodujúcich ukazovateľov pri posudzovaní udržateľnosti stavebných projektov, environmentálnych certifikáciách, hodnotení životného cyklu aj ESG reportingu.

Cieľom tejto kapitoly je charakterizovať pojem uhlíková stopa budov, analyzovať jednotlivé zdroje emisií počas životného cyklu stavby a predstaviť metodiky a nástroje používané na ich hodnotenie. Pozornosť bude venovaná najmä prevádzkovému a zabudovanému uhlíku, metodike Life Cycle Assessment (LCA), konceptu Whole Life Carbon (WLC), príslušným technickým normám a aktuálnym trendom dekarbonizácie stavebného sektora. Pochopenie uvedených princípov predstavuje nevyhnutný predpoklad pre navrhovanie budov s minimálnou uhlíkovou stopou a úspešné dosahovanie cieľov klimatickej neutrality.



### 3.2 Definícia uhlíkovej stopy

Uhlíková stopa (Carbon Footprint) predstavuje celkové množstvo emisií skleníkových plynov vznikajúcich priamo alebo nepriamo v dôsledku určitej činnosti, produktu, organizácie alebo budovy. V súčasnosti patrí medzi najvýznamnejšie ukazovatele environmentálnej výkonnosti a predstavuje základný nástroj na hodnotenie príspevku jednotlivých sektorov hospodárstva ku klimatickým zmenám.

Keďže jednotlivé skleníkové plyny majú rozdielny potenciál prispievať ku globálnemu otepľovaniu, ich účinok sa pri hodnotení uhlíkovej stopy vyjadruje prostredníctvom ekvivalentu oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>eq). Tento ukazovateľ umožňuje previesť emisie rôznych skleníkových plynov na spoločnú porovnateľnú jednotku zohľadňujúcu ich potenciál globálneho otepľovania (Global Warming Potential – GWP). Vďaka tomu je možné objektívne porovnávať environmentálne dopady rôznych činností, materiálov alebo stavebných riešení.

V oblasti stavebníctva uhlíková stopa vyjadruje celkové množstvo emisií skleníkových plynov vznikajúcich počas celého životného cyklu budovy. Zahŕňa emisie spojené s výrobou stavebných materiálov, ich dopravou, samotnou výstavbou, prevádzkou, údržbou, rekonštrukciami aj ukončením životnosti objektu. Uhlíková stopa tak poskytuje komplexný obraz o environmentálnych dopadoch budovy a patrí medzi základné kritériá pri hodnotení jej udržateľnosti.

Význam hodnotenia uhlíkovej stopy v posledných rokoch výrazne vzrástol v súvislosti s rastúcimi požiadavkami na dekarbonizáciu stavebného sektora. Jej kvantifikácia umožňuje identifikovať najvýznamnejšie zdroje emisií počas jednotlivých etáp životného cyklu budovy, porovnávať alternatívne návrhové riešenia a prijímať opatrenia smerujúce k systematickému znižovaniu environmentálneho zaťaženia.

Výpočet uhlíkovej stopy je založený na využití emisných faktorov, ktoré vyjadrujú množstvo emisií pripadajúce na jednotku spotrebovanej energie, použitého materiálu alebo inej hodnotenej aktivity. Celková uhlíková stopa sa následne určuje ako súčet emisií zo všetkých relevantných zdrojov počas hodnoteného obdobia alebo počas celého životného cyklu budovy. Matematicky možno uhlíkovú stopu vyjadriť nasledovne:

$$CF = \sum_{i=1}^n A_i \times EF_i$$

kde:

CF – uhlíková stopa (Carbon Footprint),

A<sub>i</sub> – aktivita alebo množstvo spotrebovaného zdroja (napr. energia, materiál, palivo),

EF<sub>i</sub> – emisný faktor príslušnej aktivity,

n – počet zdrojov emisií zahrnutých do hodnotenia.

Princíp výpočtu spočíva v tom, že každá aktivita produkujúca emisie sa vynásobí príslušným emisným faktorom. Následným sčítaním všetkých čiastkových emisií sa získa celková uhlíková stopa hodnoteného systému.

V stavebníctve môžu byť aktivitami napríklad spotreba elektrickej energie počas prevádzky budovy, množstvo použitého betónu, ocele alebo dreva, spotreba pohonných hmôt pri doprave materiálov alebo množstvo odpadu vznikajúceho počas výstavby. Emisné faktory sú spravidla získavané z databáz environmentálnych produktových deklarácií (EPD), národných emisných inventúr alebo medzinárodných databáz využívaných pri metodike Life Cycle Assessment (LCA).

Jednotkou uhlíkovej stopy je najčastejšie:

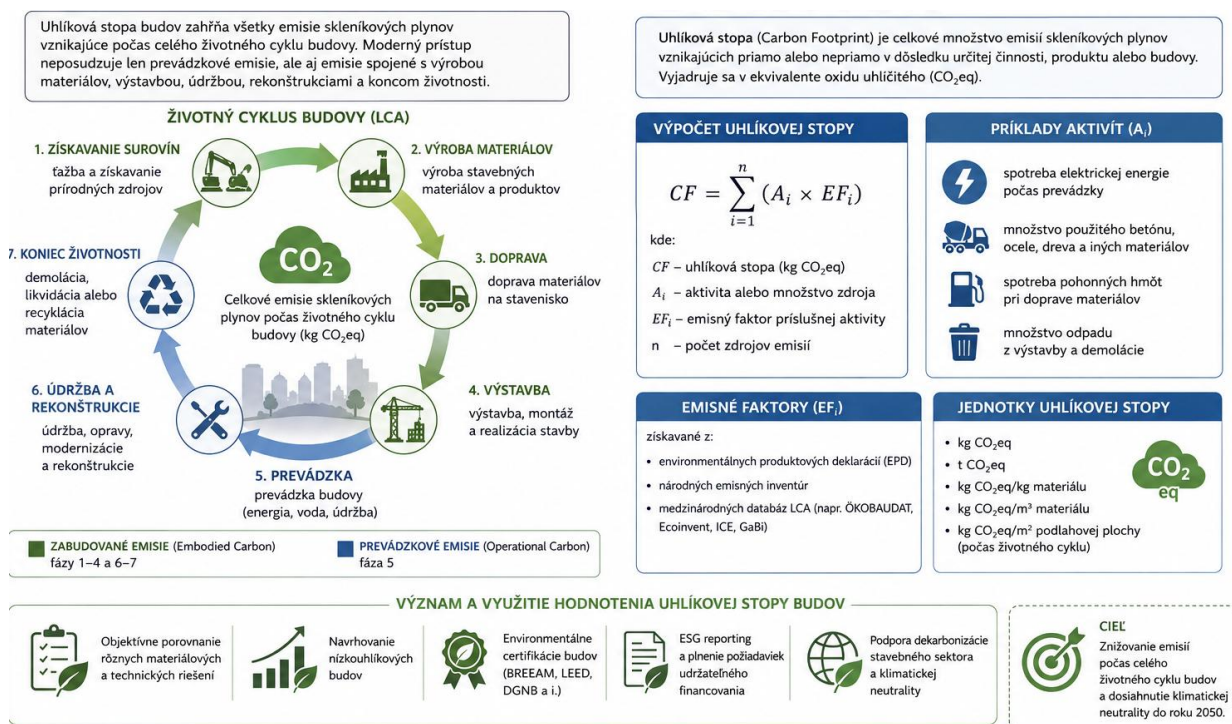
- kilogram ekvivalentu oxidu uhličitého (kg CO<sub>2</sub>eq),
- tona ekvivalentu oxidu uhličitého (t CO<sub>2</sub>eq).

Pri hodnotení stavebných materiálov sa uhlíková stopa najčastejšie vyjadruje na jednotku hmotnosti alebo objemu materiálu, napríklad kg CO<sub>2</sub>eq/kg alebo kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>. Pri hodnotení budov sa spravidla používa ukazovateľ vzťahovaný na jednotku podlahovej plochy, najčastejšie kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, pričom sa posudzuje za definované časové obdobie alebo počas celého životného cyklu stavby. Takýto spôsob vyjadrenia umožňuje objektívne porovnávať environmentálnu výkonnosť budov rôznej veľkosti, konštrukčného riešenia a funkčného využitia.

Význam uhlíkovej stopy spočíva predovšetkým v možnosti kvantifikovať environmentálne dopady stavebných materiálov, technológií a stavebných riešení prostredníctvom jednotného ukazovateľa. Jej hodnotenie umožňuje identifikovať hlavné zdroje emisií skleníkových plynov počas jednotlivých etáp životného cyklu budovy, porovnávať alternatívne návrhové riešenia a prijímať kvalifikované rozhodnutia smerujúce k znižovaniu environmentálneho zaťaženia.

V podmienkach moderného nízkouhlíkového stavebníctva predstavuje uhlíková stopa jeden zo základných nástrojov pri navrhovaní budov, výbere stavebných materiálov, hodnotení technických systémov a tvorbe stratégií zameraných na dekarbonizáciu stavebného sektora. Jej význam zároveň presahuje rámec samotného projektovania, keďže sa stáva dôležitým kritériom pri environmentálnom hodnotení budov, uplatňovaní princípov Whole Life Carbon, spracovaní ESG reportingu, udeľovaní environmentálnych certifikácií a plnení legislatívnych požiadaviek Európskej únie (Obrázok 8).

Z uvedeného vyplýva, že uhlíková stopa už nepredstavuje iba environmentálny ukazovateľ, ale stáva sa strategickým nástrojom podporujúcim rozhodovanie počas celého procesu navrhovania, realizácie a prevádzky budov. Jej systematické hodnotenie vytvára predpoklady na efektívnejšie znižovanie emisií skleníkových plynov a predstavuje jeden zo základných pilierov transformácie stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite.



Obrázok 8 Význam uhlíkovej stopy

### 3.3 Skleníkové plyny

Pri hodnotení uhlíkovej stopy sa nezohľadňujú iba emisie oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), ale všetky významné skleníkové plyny, ktoré prispievajú ku globálnemu otepľovaniu. Hoci jednotlivé plyny vznikajú v odlišných procesoch a v atmosfére sa správajú rozdielne, spoločným znakom je ich

schopnosť absorbovať a zadržiavať dlhovoľné tepelné žiarenie. Tým ovplyvňujú radiačnú bilanciu Zeme a významne prispievajú ku klimatickým zmenám.

Jednotlivé skleníkové plyny sa však navzájom výrazne líšia svojím potenciálom globálneho otepľovania aj dobou zotrvania v atmosfére. Na objektívne porovnanie ich vplyvu sa preto využíva ukazovateľ Global Warming Potential (GWP), ktorý vyjadruje schopnosť daného plynu prispievať ku globálnemu otepľovaniu v porovnaní s oxidom uhličitým počas stanoveného časového horizontu. V medzinárodnej praxi sa najčastejšie používa referenčné obdobie 100 rokov (GWP100), ktoré predstavuje štandard pri hodnotení uhlíkovej stopy podľa metodík Life Cycle Assessment (LCA) a medzinárodných noriem.

Referenčným plynom je oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), ktorému je priradená hodnota GWP = 1. Potenciál ostatných skleníkových plynov sa následne vyjadruje ako násobok jeho účinku. Napríklad metán ( $\text{CH}_4$ ) alebo oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ) vykazujú podstatne vyšší potenciál globálneho otepľovania než oxid uhličitý, a preto môžu aj pri nižších koncentráciách významne ovplyvňovať celkovú uhlíkovú stopu.

Použitie ukazovateľa GWP umožňuje previesť emisie všetkých skleníkových plynov na spoločnú porovnateľnú jednotku – ekvivalent oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ). Tento prístup predstavuje základ metodiky hodnotenia uhlíkovej stopy a umožňuje objektívne porovnávať environmentálne dopady stavebných materiálov, technológií aj celých budov bez ohľadu na druh emitovaných skleníkových plynov. Prehľad najvýznamnejších skleníkových plynov a ich hodnôt potenciálu globálneho otepľovania je uvedený v Tabuľke 2.

**Tabuľka 2** Najvýznamnejšie skleníkové plyny zohľadňované pri výpočtoch uhlíkovej stopy

| Plyn             | Skratka              | GWP*      |
|------------------|----------------------|-----------|
| Oxid uhličitý    | $\text{CO}_2$        | 1         |
| Metán            | $\text{CH}_4$        | 28        |
| Oxid dusný       | $\text{N}_2\text{O}$ | 265       |
| Fluórované plyny | F-gases              | až 23 000 |

\*GWP = Global Warming Potential (potenciál globálneho otepľovania)

### **Oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ )**

Oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) predstavuje najvýznamnejší antropogénny skleníkový plyn a zároveň referenčný ukazovateľ pri hodnotení uhlíkovej stopy. Jeho emisie vznikajú predovšetkým spaľovaním fosílnych palív, priemyselnými procesmi, výrobou cementu a zmenami vo využívaní krajiny. V stavebnom sektore patria medzi hlavné zdroje emisií oxidu uhličitého výroba cementu, ocele a hliníka, ako aj spotreba energie počas prevádzky budov.

Hoci potenciál globálneho otepľovania oxidu uhličitého slúži ako referenčná hodnota (GWP = 1), jeho dominantné zastúpenie v atmosfére spôsobuje, že predstavuje najvýznamnejší príspevok ku klimatickým zmenám. Znižovanie emisií  $\text{CO}_2$  preto patrí medzi hlavné ciele dekarbonizácie stavebného sektora a tvorí základ navrhovania nízkouhlíkových budov.

### **Metán ( $\text{CH}_4$ )**

Metán ( $\text{CH}_4$ ) patrí medzi významné skleníkové plyny s potenciálom globálneho otepľovania približne 28-krát vyšším než oxid uhličitý pri hodnotení počas 100 rokov (GWP100). Jeho emisie vznikajú najmä v poľnohospodárstve, pri skládkovaní odpadu, ťažbe a distribúcii zemného plynu alebo pri anaeróbnom rozklade organických látok.

V stavebníctve sa metán podieľa na uhlíkovej stope predovšetkým nepriamo, najmä prostredníctvom využívania zemného plynu na vykurovanie budov alebo počas výroby niektorých stavebných materiálov. Napriek nižším koncentráciám v atmosfére predstavuje vzhľadom na svoj vysoký potenciál globálneho otepľovania významný faktor pri hodnotení klimatických dopadov.

### **Oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ )**

Oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ) patrí medzi najúčinnejšie skleníkové plyny. Jeho potenciál globálneho otepľovania dosahuje približne 265-násobok účinku oxidu uhličitého počas 100 rokov. Do

atmosféry sa uvoľňuje predovšetkým v dôsledku poľnohospodárskej činnosti, chemického priemyslu a spaľovacích procesov. Hoci emisie oxidu dusného nie sú v stavebnom sektore dominantné, môžu vzniknúť počas výroby niektorých stavebných materiálov alebo energetických nosičov využívaných počas životného cyklu budovy. Vzhľadom na veľmi vysokú hodnotu GWP môže aj relatívne malé množstvo tohto plynu významne ovplyvniť celkovú uhlíkovú stopu stavebného projektu.

### **Fluórované plyny (F-gases)**

Fluórované skleníkové plyny (F-gases) predstavujú skupinu syntetických látok využívaných najmä v chladiacich a klimatizačných zariadeniach, tepelných čerpadlách, hasiacich systémoch a niektorých priemyselných technológiách. Patria sem predovšetkým hydrofluórované uhľovodíky (HFC), perfluórované uhľovodíky (PFC) a fluorid sírový ( $\text{SF}_6$ ).

Ich potenciál globálneho otepľovania dosahuje v závislosti od konkrétnej zlúčeniny hodnoty od niekoľkých stoviek až po desaťtisíce násobkov účinku oxidu uhličitého. Práve z tohto dôvodu patrí obmedzovanie používania fluórovaných plynov medzi priority klimateckej politiky Európskej únie, ktorá podporuje postupný prechod na chladivá s nižším potenciálom globálneho otepľovania.

### **Prepočet na ekvivalent oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2\text{eq}$ )**

Keďže jednotlivé skleníkové plyny vykazujú rozdielny potenciál globálneho otepľovania, pri hodnotení uhlíkovej stopy sa ich emisie prevádzajú na spoločnú porovnateľnú jednotku – ekvivalent oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ). Tento prepočet umožňuje zlúčiť emisie rôznych skleníkových plynov do jednej hodnoty a objektívne posudzovať ich celkový klimatický dopad. Napríklad emisia 1 kg metánu zodpovedá približne 28 kg  $\text{CO}_2\text{eq}$ , zatiaľ čo 1 kg oxidu dusného predstavuje približne 265 kg  $\text{CO}_2\text{eq}$ . Použitie ekvivalentu oxidu uhličitého preto umožňuje porovnávať environmentálne dopady rôznych materiálov, technológií aj stavebných riešení prostredníctvom jednotného ukazovateľa. Zohľadnenie všetkých významných skleníkových plynov predstavuje základný predpoklad presného hodnotenia uhlíkovej stopy budov. Je nevyhnutnou súčasťou metodiky Life Cycle Assessment (LCA), konceptu Whole Life Carbon (WLC) aj moderných prístupov k navrhovaniu nízkouhlíkových a klimaticky neutrálnych budov.

## **3.4 Životný cyklus budovy**

Životný cyklus budovy predstavuje obdobie od získavania surovín potrebných na výrobu stavebných materiálov až po demoláciu objektu a spracovanie vzniknutého odpadu. Každá fáza životného cyklu je spojená so spotrebou energie, využívaním prírodných zdrojov a produkciou emisií skleníkových plynov. Z pohľadu hodnotenia uhlíkovej stopy je preto nevyhnutné analyzovať všetky etapy existencie budovy a identifikovať ich environmentálne dopady. Moderné hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov vychádza z metodiky Life Cycle Assessment (LCA), ktorá umožňuje systematicky posudzovať emisie vznikajúce počas celého životného cyklu stavby. Na tento účel sa v Európe využíva norma EN 15978, ktorá definuje metodický rámec pre hodnotenie environmentálnych dopadov budov a rozdeľuje životný cyklus do jednotlivých fáz označovaných písmenami A až D. Tento prístup umožňuje identifikovať zdroje emisií v každej etape existencie budovy a vytvára základ pre výpočet konceptu Whole Life Carbon (WLC).

### **Fáza A – Výroba a výstavba**

Fáza A zahŕňa všetky procesy spojené so získavaním surovín, výrobou stavebných materiálov a samotnou realizáciou stavby. Táto etapa predstavuje významný zdroj zabudovaných emisií (Embodied Carbon), ktoré vznikajú ešte pred uvedením budovy do prevádzky.

#### **A1 – Ťažba a získavanie surovín**

Podfáza A1 zahŕňa získavanie primárnych surovín potrebných na výrobu stavebných materiálov. Ide napríklad o ťažbu kameniva, piesku, ílu, železnej rudy, bauxitu alebo

spracovanie drevnej hmoty. Táto etapa je spojená s využívaním mechanizmov, spotrebou palív a zásahmi do prírodného prostredia.

## **A2 – Doprava surovín**

Po získaní surovín nasleduje ich transport do výrobných závodov. Emisie v tejto fáze vznikajú najmä v dôsledku spotreby pohonných hmôt pri cestnej, železničnej alebo lodnej doprave. Význam dopravných emisií závisí od vzdialenosti medzi miestom ťažby a výrobným závodom, ako aj od použitého spôsobu dopravy.

## **A3 – Výroba stavebných materiálov**

Fáza A3 zahŕňa samotnú výrobu stavebných materiálov a výrobkov. Ide o jednu z najvýznamnejších častí z pohľadu uhlíkovej stopy budovy, pretože mnohé výrobné procesy sú energeticky náročné a produkujú značné množstvo emisií skleníkových plynov.

Významnými zdrojmi emisií sú najmä výroba cementu, ocele, hliníka, tehál a izolačných materiálov. Naopak, niektoré materiály na biologickej báze, ako napríklad drevo, môžu počas svojej životnosti viazať uhlík a prispievať k zníženiu celkovej uhlíkovej stopy budovy.

## **A4 – Doprava na stavbu**

Po výrobe sú stavebné materiály transportované na miesto realizácie stavby. Emisie vznikajúce počas tejto etapy závisia od hmotnosti prepravovaných materiálov, vzdialenosti dopravy a typu dopravného prostriedku. Využívanie lokálnych stavebných materiálov môže významne prispieť k zníženiu emisií v tejto fáze.

## **A5 – Realizácia stavby**

Poslednou časťou fázy A je samotná výstavba objektu. Zahŕňa prevádzku stavebných strojov, spotrebu energií na stavenisku, využívanie pomocných materiálov a vznik stavebného odpadu. Hoci emisie tejto etapy zvyčajne nepredstavujú najväčší podiel na celkovej uhlíkovej stope budovy, ich význam môže narastať pri rozsiahlych a technicky náročných projektoch. Fáza výroby a výstavby je zodpovedná za väčšinu zabudovaných emisií budovy. V minulosti boli tieto emisie často prehliadané, pretože hlavná pozornosť bola venovaná spotrebe energie počas prevádzky. S rastúcou energetickou efektívnosťou moderných budov sa však význam zabudovaného uhlíka výrazne zvyšuje. Pri pasívnych a nulovoemisných budovách môže fáza A predstavovať významnú časť celkových emisií počas životného cyklu objektu. Znižovanie environmentálnych dopadov v tejto etape si vyžaduje využívanie nízkouhlíkových stavebných materiálov, optimalizáciu dopravných procesov, minimalizáciu odpadu a efektívne riadenie stavebných činností. Práve tieto opatrenia predstavujú jeden z najvýznamnejších nástrojov na redukciu uhlíkovej stopy budov už v počiatočných fázach ich životného cyklu.

## **Fáza B – Prevádzka**

Fáza B predstavuje obdobie používania budovy po jej dokončení a uvedení do prevádzky. Ide o najdlhšiu časť životného cyklu stavby, ktorá môže trvať niekoľko desaťročí. Počas tejto etapy vznikajú prevádzkové emisie (Operational Carbon) spojené so spotrebou energie, vody, údržbou a obnovou jednotlivých stavebných a technických prvkov budovy. Z environmentálneho hľadiska bola fáza prevádzky dlhodobo považovaná za najvýznamnejší zdroj emisií skleníkových plynov. Vďaka zvyšujúcej sa energetickej efektívnosti budov sa jej relatívny podiel postupne znižuje, napriek tomu však zostáva rozhodujúcou súčasťou hodnotenia uhlíkovej stopy počas životného cyklu budovy. Norma EN 15978 rozdeľuje prevádzkovú fázu na sedem podkategórií označených B1 až B7.

## **B1 – Používanie**

Podfáza B1 zahŕňa environmentálne dopady vyplývajúce z bežného používania budovy bez zásahov do jej konštrukcie alebo technických systémov. V mnohých prípadoch sú emisie tejto

fázy relatívne nízke, avšak môžu zahŕňať napríklad emisie súvisiace s prevádzkou určitých materiálov alebo technologických procesov počas používania objektu.

## **B2 – Údržba**

Fáza B2 zahŕňa pravidelnú údržbu potrebnú na zachovanie funkčnosti a technického stavu budovy. Patrí sem čistenie, servisné zásahy, nátery, ošetrovanie povrchov, kontrola technických zariadení alebo drobné opravy. S údržbou sú spojené emisie vznikajúce pri výrobe a doprave použitých materiálov, ako aj spotreba energie a zdrojov počas servisných činností.

## **B3 – Opravy**

Podfáza B3 zahŕňa opravy stavebných konštrukcií a technických zariadení v prípade ich poškodenia alebo poruchy. Môže ísť o opravy strechy, fasády, rozvodov technických médií alebo technologických systémov budovy. Rozsah emisií závisí od charakteru opravy, množstva použitých materiálov a energetickej náročnosti vykonaných prác.

## **B4 – Výmena prvkov**

Počas životnosti budovy dochádza k postupnému opotrebovaniu niektorých stavebných a technických komponentov, ktoré je potrebné vymeniť. Fáza B4 zahŕňa environmentálne dopady spojené s výrobou, dopravou a montážou nových prvkov, ako aj odstránením pôvodných komponentov. Typickými príkladmi sú výmena okien, strešných krytín, podlahových vrstiev, vykurovacích zariadení, klimatizačných jednotiek alebo osvetľovacích systémov.

## **B5 – Rekonštrukcie a modernizácie**

Podfáza B5 zahŕňa rozsiahlejšie zásahy do budovy, ktorých cieľom je zvýšenie jej funkčnosti, energetickej efektívnosti alebo predĺženie životnosti. Môže ísť o zateplenie obálky budovy, modernizáciu technických zariadení, prestavby vnútorných priestorov alebo komplexné obnovy objektov.

Hoci rekonštrukcie prinášajú dodatočné emisie spojené s použitými materiálmi a stavebnými prácami, často vedú k významnému zníženiu prevádzkových emisií počas ďalšieho obdobia používania budovy.

## **B6 – Spotreba energie**

Fáza B6 predstavuje najvýznamnejšiu časť prevádzkového hodnotenia budovy. Zahŕňa všetku energiu spotrebovanú počas prevádzky objektu, vrátane energie na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody, osvetlenie a prevádzku technických zariadení. Množstvo emisií v tejto fáze závisí od energetickej hospodárnosti budovy, účinnosti technických systémov a emisných faktorov použitých zdrojov energie. Práve znižovanie emisií v kategórii B6 bolo historicky hlavným cieľom energeticky efektívneho stavebníctva.

## **B7 – Spotreba vody**

Posledná podfáza prevádzkovej etapy zahŕňa environmentálne dopady spojené so spotrebou vody počas používania budovy. Hodnotí sa nielen samotné množstvo spotrebovanej vody, ale aj energia potrebná na jej úpravu, dopravu, distribúciu a následné čistenie odpadových vôd. Význam tejto kategórie rastie najmä v oblastiach s nedostatkom vodných zdrojov a pri budovách využívajúcich systémy hospodárenia s dažďovou alebo sivou vodou.

## **Význam prevádzkovej fázy**

Prevádzková fáza predstavuje najdlhšie obdobie životného cyklu budovy a tradične tvorila dominantnú časť jej celkovej uhlíkovej stopy. Aj keď moderné nízkoenergetické a pasívne budovy výrazne znižujú emisie spojené so spotrebou energie, kategórie B6 a B7 zostávajú kľúčovými oblasťami environmentálneho hodnotenia. Optimalizácia prevádzkovej fázy prostredníctvom energetickej efektívnosti, inteligentného riadenia budov, využívania obnoviteľných zdrojov energie a efektívneho hospodárenia s vodou predstavuje jeden z

najdôležitejších nástrojov na znižovanie uhlíkovej stopy budov a dosahovanie cieľov klimateckej neutrality.

### **Fáza C – Koniec životnosti**

Fáza C predstavuje záverečné obdobie životného cyklu budovy, ktoré začína po ukončení jej prevádzky a zahŕňa všetky procesy spojené s odstránením stavby a nakladaním so vzniknutým odpadom. Hoci sa táto etapa realizuje až po desiatkach rokov od výstavby objektu, z pohľadu hodnotenia uhlíkovej stopy má významný vplyv na celkovú environmentálnu bilanciu budovy. Počas fázy konca životnosti vznikajú emisie skleníkových plynov súvisiace s demoláciou stavby, dopravou stavebných odpadov, ich spracovaním a konečnou likvidáciou. Súčasne sa v tejto etape rozhoduje o tom, aká časť materiálov bude recyklovaná, opätovne využitá alebo zneškodnená. Efektívne riadenie tejto fázy môže významne prispieť k znižovaniu environmentálnych dopadov a podpore princípov obehového hospodárstva.

Norma EN 15978 rozdeľuje fázu konca životnosti na štyri podkategórie označené C1 až C4.

#### **C1 – Demolácia**

Podfáza C1 zahŕňa proces demolácie alebo demontáže budovy po ukončení jej životnosti. Táto etapa zahŕňa využívanie stavebných mechanizmov, demolačných zariadení a spotrebu energie potrebnej na rozobratie alebo odstránenie jednotlivých konštrukčných prvkov.

Množstvo emisií vznikajúcich počas demolácie závisí od typu budovy, použitých stavebných materiálov, zvoleného spôsobu demolácie a rozsahu využitej mechanizácie. Moderné prístupy k udržateľnému stavebníctvu uprednostňujú selektívnu demontáž, ktorá umožňuje oddeliť jednotlivé materiály a pripraviť ich na ďalšie využitie alebo recykláciu.

#### **C2 – Doprava odpadu**

Po demolácii je potrebné stavebný odpad dopraviť na miesta ďalšieho spracovania, recyklácie alebo likvidácie. Fáza C2 zahŕňa všetky emisie vznikajúce počas prepravy odpadu z miesta demolácie do spracovateľských alebo zneškodňovacích zariadení. Výška emisií závisí od množstva odpadu, dopravnej vzdialenosti, spôsobu dopravy a efektívnosti logistických procesov. Využívanie regionálnych recyklačných centier a optimalizácia dopravných trás môžu významne prispieť k znižovaniu emisií v tejto etape.

#### **C3 – Spracovanie odpadu**

Podfáza C3 zahŕňa všetky procesy potrebné na prípravu stavebných materiálov na ďalšie využitie. Môže ísť o triedenie, drvenie, čistenie, separáciu jednotlivých materiálov alebo iné technologické operácie umožňujúce recykláciu alebo opätovné použitie stavebných komponentov. Táto etapa je mimoriadne významná z pohľadu princípov obehového hospodárstva. Kvalitné spracovanie odpadu umožňuje získať druhotné suroviny, ktoré môžu nahradiť primárne materiály pri výstavbe nových objektov. Vďaka tomu dochádza k úsporám energie, znižovaniu emisií a obmedzovaniu spotreby prírodných zdrojov.

#### **C4 – Likvidácia**

Poslednou etapou životného cyklu budovy je konečná likvidácia odpadu, ktorý nemožno recyklovať alebo opätovne využiť. Zahŕňa najmä skládkovanie, spaľovanie alebo iné formy zneškodňovania stavebných materiálov. Environmentálne dopady tejto fázy závisia od druhu odpadu a použitej metódy likvidácie. Skládkovanie predstavuje najmenej preferované riešenie, pretože vedie k trvalému znehodnoteniu materiálových zdrojov a môže byť spojené s ďalšími environmentálnymi rizikami. Moderné stratégie udržateľného stavebníctva preto smerujú k minimalizácii množstva odpadu, ktorý končí na skládkach.

Hoci fáza C predstavuje relatívne krátke obdobie v porovnaní s prevádzkovou etapou budovy, jej význam z pohľadu uhlíkovej stopy a obehového hospodárstva neustále rastie. Správne navrhnuté budovy umožňujú jednoduchšiu demontáž, vyššiu mieru recyklácie a efektívnejšie opätovné využívanie materiálov po skončení ich životnosti. V súčasnosti sa čoraz viac



presadzuje koncept Design for Disassembly (DfD), ktorý podporuje navrhovanie budov s dôrazom na budúcu demontáž a recykláciu jednotlivých komponentov. Takýto prístup umožňuje výrazne znižovať environmentálne dopady fázy konca životnosti a podporuje prechod stavebného sektora od lineárneho modelu hospodárstva k princípom cirkulárnej ekonomiky. Efektívne riadenie procesov v etape C1 až C4 preto predstavuje dôležitú súčasť stratégií zameraných na znižovanie uhlíkovej stopy budov a dosahovanie cieľov klimatickej neutrality v stavebníctve.

## Modul D – Potenciálne prínosy po skončení životného cyklu

Modul D predstavuje špecifickú časť metodiky hodnotenia životného cyklu budov podľa normy EN 15978. Na rozdiel od predchádzajúcich fáz nezahŕňa emisie vznikajúce priamo počas životného cyklu budovy, ale hodnotí potenciálne environmentálne prínosy, ktoré možno dosiahnuť prostredníctvom recyklácie, opätovného využitia alebo energetického zhodnotenia materiálov po skončení životnosti stavby. Základnou myšlienkou modulu D je zohľadnenie pozitívnych efektov, ktoré vznikajú vtedy, keď stavebné materiály alebo komponenty neskončia ako odpad, ale sú využité v ďalších životných cykloch. Takéto využitie môže znižovať potrebu výroby nových materiálov z primárnych surovín, čím dochádza k úsporám energie, prírodných zdrojov a emisií skleníkových plynov. Medzi najvýznamnejšie prínosy patrí recyklácia stavebných materiálov. Typickým príkladom je recyklácia ocele, hliníka alebo stavebného kameniva, pri ktorej možno dosiahnuť výrazne nižšiu energetickú náročnosť v porovnaní s výrobou nových materiálov z primárnych zdrojov. Recyklované materiály môžu byť následne použité pri výstavbe nových budov alebo v iných priemyselných odvetviach (Obrázok 9).



**Obrázok 9** Fázy LCA

Významnú úlohu v module D zohráva aj opätovné využitie stavebných prvkov bez potreby ich materiálového spracovania. Ide predovšetkým o oceľové nosníky, drevené konštrukcie, fasádne panely, okná alebo ďalšie stavebné komponenty, ktoré možno po demontáži opätovne zabudovať do nových stavebných objektov. Z environmentálneho hľadiska predstavuje opätovné použitie jednu z najefektívnejších stratégií znižovania uhlíkovej stopy, pretože zachováva pôvodnú hodnotu materiálov, eliminuje potrebu energeticky náročnej recyklácie a súčasne obmedzuje spotrebu primárnych surovín. Do modulu D možno zaradiť aj energetické zhodnotenie materiálov, predovšetkým výrobkov na biologickej báze. Typickým príkladom je drevo alebo iné organické materiály, ktoré môžu po skončení svojej životnosti slúžiť ako



obnoviteľný zdroj energie. Takéto využitie prispieva k čiastočnej náhrade fosílnych palív a zároveň podporuje znižovanie emisií skleníkových plynov v energetickom sektore. V metodike Life Cycle Assessment (LCA) sa potenciálne environmentálne prínosy modulu D spravidla vyjadrujú prostredníctvom tzv. kreditov za zabránené emisie (avoided emissions credits). Predstavujú množstvo emisií, ktorým možno v budúcnosti predísť vďaka recyklácii, opätovnému využitiu alebo energetickému zhodnoteniu stavebných materiálov. Tieto kredity sa vykazujú oddelene od emisií vznikajúcich počas samotného životného cyklu budovy, čím sa zabezpečuje transparentnosť hodnotenia a objektívne posúdenie environmentálnych prínosov jednotlivých riešení. Význam modulu D neustále narastá v súvislosti s rozvojom princípov obehového hospodárstva a cirkulárneho stavebníctva. Moderné budovy sú čoraz častejšie navrhované s dôrazom na jednoduchú demontáž, triedenie stavebných materiálov a ich následné opätovné využitie. Koncepty ako Design for Disassembly (DfD), materiálové pasy budov (Material Passports) alebo digitálne databázy stavebných prvkov vytvárajú predpoklady na efektívnejšie využívanie materiálových zdrojov aj po ukončení životnosti stavby. Z pohľadu hodnotenia uhlíkovej stopy predstavuje modul D významný potenciál ďalšieho znižovania environmentálnych dopadov stavebného sektora. Hoci formálne nepatrí do samotného životného cyklu budovy, poskytuje dôležité informácie o možnostiach recyklácie, opätovného využitia a energetického zhodnotenia stavebných materiálov. Súčasne poukazuje na strategický význam princípov cirkulárnej ekonomiky pri dosahovaní klimateckej neutrality a dlhodobu udržateľného rozvoja stavebníctva.

### 3.5 Zabudovaný uhlík (Embodied Carbon)

Zabudovaný uhlík (Embodied Carbon) predstavuje množstvo emisií skleníkových plynov vznikajúcich počas výroby stavebných materiálov, realizácie stavebných procesov a ďalších etáp životného cyklu budovy mimo jej samotnej prevádzky. Na rozdiel od prevádzkového uhlíka (Operational Carbon), ktorý je spojený so spotrebou energie počas používania budovy, zahŕňa zabudovaný uhlík emisie vznikajúce pred uvedením objektu do prevádzky, ako aj emisie súvisiace s jeho údržbou, obnovou, rekonštrukciou a ukončením životnosti.

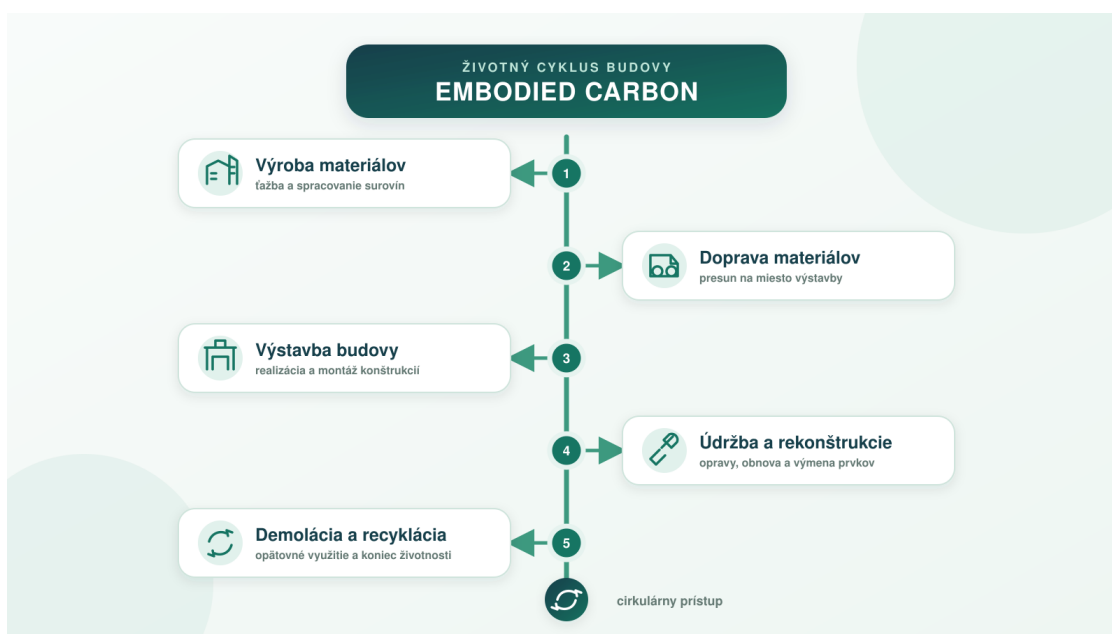
V súčasnosti patrí zabudovaný uhlík medzi najvýznamnejšie zložky celkovej uhlíkovej stopy budov. Jeho význam neustále rastie v dôsledku zvyšovania energetickej efektívnosti moderných stavieb. Kým pri starších budovách tvorili dominantnú časť celkových emisií prevádzkové emisie spojené so spotrebou energie, pri nízkoenergetických, pasívnych a nulovoemisných budovách predstavuje čoraz väčší podiel práve zabudovaný uhlík. V niektorých prípadoch môže tvoriť viac ako polovicu celkových emisií počas životného cyklu objektu.

Zabudovaný uhlík zahŕňa emisie vznikajúce počas:

- výroby stavebných materiálov,
- dopravy materiálov a stavebných výrobkov,
- realizácie stavebných prác,
- údržby, opráv a rekonštrukcií,
- demolácie a spracovania stavebného odpadu.

Najvýznamnejší podiel na zabudovaných emisiách majú spravidla stavebné materiály s vysokou energetickou náročnosťou výroby, ako sú cement, betón, ocel, hliník alebo sklo. Výroba týchto materiálov si vyžaduje značné množstvo energie a zároveň zahŕňa technologické procesy spojené s priamymi emisiami oxidu uhličitého. Typickým príkladom je výroba cementu, pri ktorej emisie vznikajú nielen spaľovaním palív potrebných na výrobný proces, ale aj chemickou reakciou kalcinácie vápenca. Významnou zložkou zabudovaného uhlíka sú aj emisie vznikajúce počas dopravy stavebných materiálov z výrobných závodov na miesto realizácie stavby. Ich rozsah závisí od hmotnosti prepravovaných materiálov, dopravnej vzdialenosti a použitého spôsobu dopravy. Z tohto dôvodu patrí využívanie lokálnych stavebných materiálov medzi základné opatrenia na znižovanie uhlíkovej stopy budov už vo fáze návrhu. Do hodnotenia zabudovaného uhlíka sa zahŕňajú aj emisie vznikajúce počas samotnej realizácie stavby. Patria sem emisie spojené s prevádzkou stavebných

mechanizmov, spotrebou energie na stavenisku, využívaním pomocných materiálov a nakladaním so stavebným odpadom. Hoci ich podiel na celkových emisiách býva spravidla nižší než pri výrobe stavebných materiálov, pri rozsiahlych alebo technicky náročných projektoch môžu predstavovať významnú časť celkovej uhlíkovej stopy. Súčasťou zabudovaného uhlíka sú aj emisie vznikajúce počas údržby, opráv, výmeny stavebných prvkov a rekonštrukcií realizovaných počas životnosti budovy. Každá obnova stavebných konštrukcií alebo technických zariadení si vyžaduje výrobu nových komponentov, ich dopravu a montáž, čo vedie k ďalším environmentálnym dopadom. Z tohto dôvodu sa pri navrhovaní nízkouhlíkových budov uprednostňujú materiály a technické systémy s dlhou životnosťou, vysokou odolnosťou a nízkymi nárokmi na údržbu. Poslednú časť zabudovaného uhlíka predstavujú emisie vznikajúce počas demolácie budovy a spracovania stavebného odpadu po skončení jej životnosti. Zahŕňajú spotrebu energie pri demolačných prácach, dopravu odpadu, jeho triedenie, recykláciu alebo konečné zneškodnenie. Environmentálne dopady tejto etapy možno významne obmedziť dôsledným uplatňovaním princípov obehového hospodárstva, recyklácie a opätovného využívania stavebných materiálov. Z pohľadu moderného nízkouhlíkoveho stavebníctva predstavuje zabudovaný uhlík jednu z najväčších výziev pri znižovaní environmentálnych dopadov budov. Jeho redukcia si vyžaduje komplexný prístup založený na využívaní nízkouhlíkových stavebných materiálov, optimalizácii konštrukčných riešení, efektívnom hospodárení so zdrojmi a dôslednom uplatňovaní metodiky Life Cycle Assessment (LCA). Práve systematické hodnotenie zabudovaného uhlíka umožňuje identifikovať rozhodujúce zdroje emisií a navrhovať opatrenia smerujúce k významnému zníženiu uhlíkovej stopy budov počas celého ich životného cyklu (Obrázok 10).



**Obrázok 10** Fázy LCA počas celého životného cyklu

### 3.5.1 Význam zabudovaného uhlíka

Význam zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) pri hodnotení environmentálnej výkonnosti budov v posledných rokoch výrazne vzrástol. Kým tradičné prístupy k navrhovaniu budov boli orientované predovšetkým na znižovanie prevádzkovej spotreby energie, súčasné vedecké poznatky poukazujú na nevyhnutnosť komplexného hodnotenia emisií počas celého životného cyklu stavby. Zabudovaný uhlík sa preto stáva jedným z rozhodujúcich ukazovateľov pri navrhovaní nízkouhlíkových, nulovoemisných a klimaticky neutrálnych budov.

Pri tradičných budovách s vysokou energetickou náročnosťou predstavovali emisie vznikajúce počas výroby stavebných materiálov, výstavby a ukončenia životnosti približne 10 až 20 % celkovej uhlíkovej stopy. Dominantný podiel tvorili prevádzkové emisie súvisiace so spotrebou energie na vykurovanie, chladenie, prípravu teplej vody a prevádzku technických zariadení počas niekoľkých desaťročí používania budovy.

Vývoj smerom k energeticky efektívnym stavbám však zásadne mení vzájomný pomer jednotlivých zdrojov emisií. Moderné nízkoenergetické, pasívne a nulovoemisné budovy dosahujú veľmi nízku spotrebu energie počas prevádzky, čím sa podiel prevádzkového uhlíka postupne znižuje. V dôsledku toho rastie relatívny význam emisií vznikajúcich vo fázach výroby stavebných materiálov, výstavby, údržby a obnovy objektu.

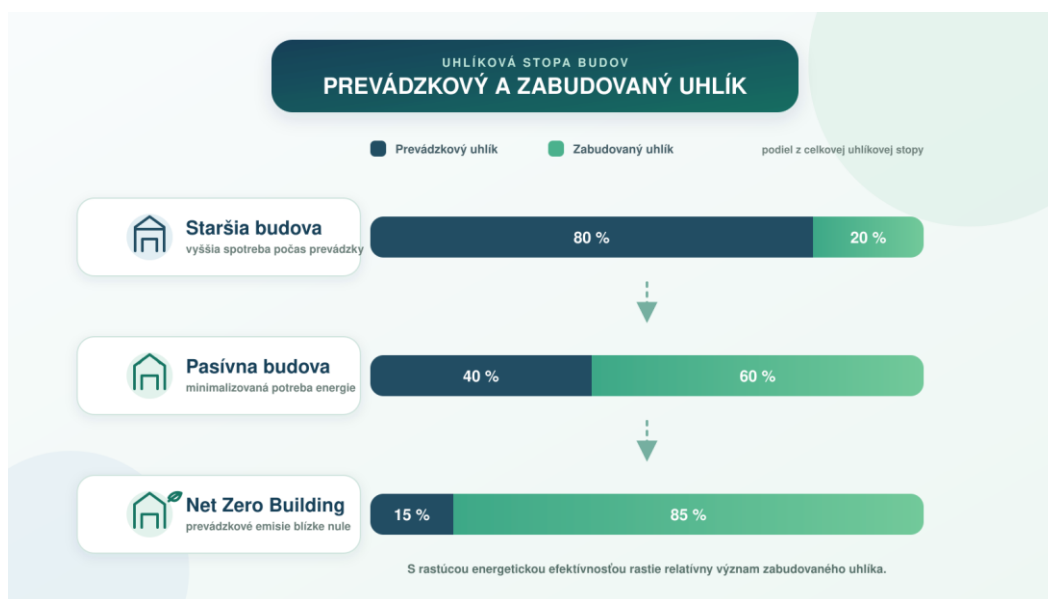
Pri súčasných pasívnych budovách môže zabudovaný uhlík predstavovať 40 až 60 % celkových emisií počas životného cyklu stavby. V niektorých prípadoch, najmä pri budovách využívajúcich energiu výlučne z obnoviteľných zdrojov, môže byť jeho podiel ešte vyšší. To znamená, že aj budova s minimálnou prevádzkovou spotrebou energie môže vykazovať významnú uhlíkovú stopu, pokiaľ boli pri jej realizácii použité stavebné materiály s vysokou emisnou náročnosťou.

Osobitný význam zabudovaného uhlíka spočíva v tom, že rozhodujúca časť týchto emisií vzniká ešte pred uvedením budovy do prevádzky. Na rozdiel od prevádzkových emisií, ktoré možno počas životnosti objektu postupne znižovať modernizáciou technických zariadení alebo využívaním obnoviteľných zdrojov energie, zabudovaný uhlík je po dokončení stavby prakticky nezvratný. Emisie vzniknuté pri výrobe stavebných materiálov, doprave a realizácii výstavby sú totiž uvoľnené do atmosféry už v počiatočných etapách životného cyklu a ich dodatočná eliminácia nie je možná.

Z pohľadu klimatických cieľov Európskej únie do roku 2050 je preto nevyhnutné venovať rovnakú pozornosť výberu stavebných materiálov, konštrukčných riešení a technologických postupov ako znižovaniu prevádzkovej spotreby energie. Efektívna redukcia zabudovaného uhlíka si vyžaduje využívanie materiálov s nízkou uhlíkovou stopou, optimalizáciu materiálovej náročnosti konštrukcií, podporu recyklácie a opätovného využitia stavebných prvkov, ako aj dôsledné uplatňovanie princípov obehového hospodárstva.

Rastúci význam zabudovaného uhlíka sa odráža aj v európskej legislatíve, technických normách a systémoch environmentálnej certifikácie budov. Európska únia postupne zavádza požiadavky na hodnotenie uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu stavieb, pričom moderné certifikačné systémy už dnes zohľadňujú emisie spojené s použitými stavebnými materiálmi a stavebnými procesmi. Očakáva sa, že hodnotenie zabudovaného uhlíka bude v blízkej budúcnosti rovnako významným kritériom ako energetická hospodárnosť budovy.

Z uvedených skutočností vyplýva, že zabudovaný uhlík predstavuje jednu z rozhodujúcich oblastí súčasného výskumu aj stavebnej praxe. Jeho systematické hodnotenie vytvára predpoklady na prijímanie kvalifikovaných rozhodnutí už vo fáze návrhu budovy a umožňuje efektívnejšie znižovať environmentálne dopady stavebného sektora. Práve integrácia hodnotenia zabudovaného a prevádzkového uhlíka predstavuje základ moderného prístupu Whole Life Carbon, ktorý je dnes považovaný za kľúčový nástroj pri navrhovaní klimaticky neutrálnych budov (Obrázok 11).



Obrázok 11 Podiel emisií počas životného cyklu

### 3.6 Prevádzkový uhlík (Operational Carbon)

#### 3.6.1 Definícia

Prevádzkový uhlík (*Operational Carbon*) predstavuje emisie skleníkových plynov vznikajúce počas používania a prevádzky budovy. Súvisí predovšetkým so spotrebou energie potrebnej na zabezpečenie požadovaných prevádzkových podmienok, technického fungovania objektu a komfortu jeho používateľov. Na rozdiel od zabudovaného uhlíka, ktorý vzniká najmä vo fázach výroby stavebných materiálov a výstavby, prevádzkový uhlík sprevádza budovu počas celej doby jej využívania.

V tradičnom prístupe k environmentálnemu hodnoteniu budov predstavoval prevádzkový uhlík dominantnú zložku celkovej uhlíkovej stopy. Dôvodom bola vysoká spotreba energie na vykurovanie, chladenie, prípravu teplej vody, vetranie, osvetlenie a prevádzku technických zariadení počas niekoľkých desaťročí životnosti objektu. Práve znižovanie týchto emisií bolo preto dlhodobým hlavným cieľom energetických politík, technických noriem aj legislatívnych opatrení v stavebníctve.

Rozsah prevádzkových emisií ovplyvňuje viacero navzájom prepojených faktorov. Rozhodujúci význam má energetická hospodárnosť budovy, kvalita obálky stavby, účinnosť technických zariadení, klimatické podmienky, spôsob využívania objektu a emisná intenzita použitých zdrojov energie. Budovy s vysokou energetickou náročnosťou preto produkujú počas prevádzky podstatne viac emisií skleníkových plynov než nízkoenergetické, pasívne alebo nulovoemisné budovy.

Prevádzkový uhlík zahŕňa emisie vznikajúce pri spotrebe energie potrebnej na:

- vykurovanie budovy,
- chladenie vnútorného prostredia,
- prípravu teplej vody,
- vetranie a klimatizáciu,
- osvetlenie,
- prevádzku elektrických zariadení a technických systémov budovy.

Najvýznamnejší podiel na prevádzkových emisiách spravidla predstavuje vykurovanie a príprava teplej vody, predovšetkým v budovách využívajúcich fosílnu palivá, ako sú zemný plyn, vykurovací olej alebo uhlie. V oblastiach s teplejším podnebím narastá význam energie potrebnej na chladenie budov. Súčasne rastie aj spotreba elektrickej energie na prevádzku

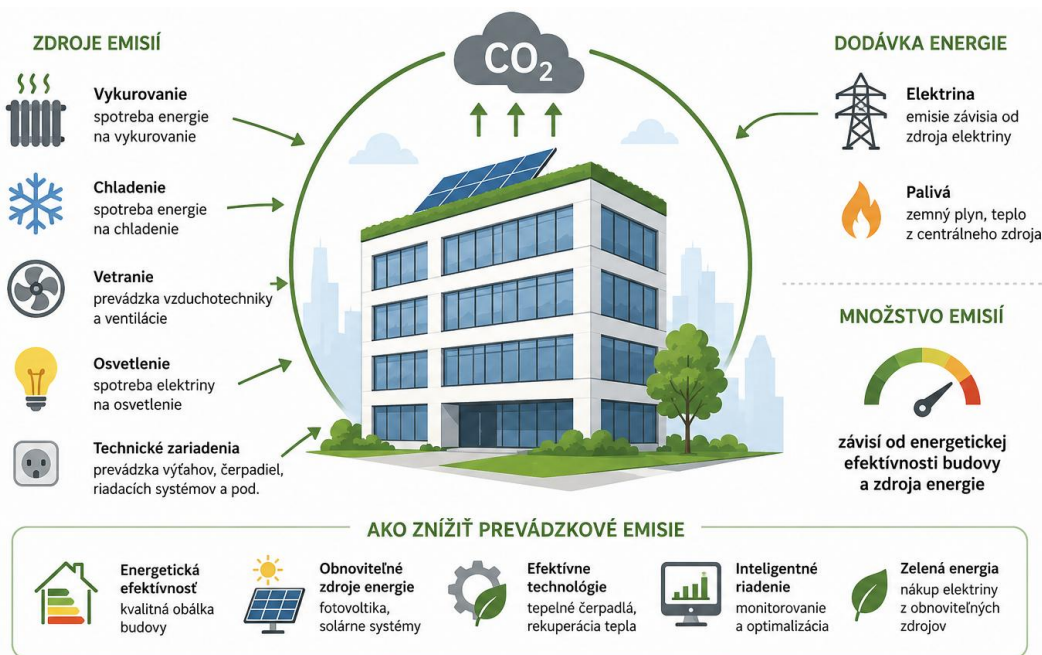
informačných technológií, domácich spotrebičov, osvetlenia, automatizačných systémov a ďalších technických zariadení.

Výška prevádzkového uhlíka úzko súvisí aj s energetickým mixom krajiny alebo regiónu. Budovy využívajúce elektrickú energiu vyrábanú prevažne z obnoviteľných zdrojov produkujú podstatne nižšie emisie než objekty závislé od energie vyrábanej z fosílnych palív. Z tohto dôvodu sa pri hodnotení prevádzkového uhlíka využívajú emisné faktory jednotlivých energetických nosičov, ktoré umožňujú previesť spotrebovanú energiu na množstvo emisií vyjadrených ako ekvivalent oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>eq).

Významné znižovanie prevádzkových emisií bolo v posledných desaťročiach dosiahnuté prostredníctvom zavádzania štandardov nízkoenergetických budov, pasívnych domov, budov s takmer nulovou potrebou energie (*nZEB*) a budov s nulovými emisiami (*ZEB*). Rozhodujúcu úlohu pritom zohráva kvalitná tepelná ochrana budov, využívanie vysokoúčinných technických zariadení, inteligentné riadenie prevádzky a integrácia obnoviteľných zdrojov energie.

S rastúcou energetickou efektívnosťou moderných budov sa relatívny podiel prevádzkového uhlíka na celkovej uhlíkovej stope postupne znižuje, zatiaľ čo význam zabudovaného uhlíka narastá. To však neznamená, že prevádzkové emisie strácajú svoj význam. Naopak, ich systematické znižovanie zostáva jedným z hlavných predpokladov dosiahnutia klimateckej neutrality stavebného sektora.

Z pohľadu metodiky Whole Life Carbon (WLC) preto nemožno prevádzkový a zabudovaný uhlík posudzovať oddelene. Iba ich spoločné hodnotenie umožňuje objektívne posúdiť environmentálnu výkonnosť budovy počas celého jej životného cyklu a navrhnúť riešenia vedúce k efektívnej dekarbonizácii stavebného sektora (Obrázok 12).



Obrázok 12 Prevádzkové emisie

### 3.6.2 Výpočet

Množstvo emisií vznikajúcich počas prevádzky budovy možno určiť na základe spotreby energie a príslušného emisného faktora energetického zdroja. Emisný faktor vyjadruje množstvo emisií oxidu uhličitého alebo ekvivalentu oxidu uhličitého, ktoré vznikne pri výrobe alebo spotrebe jednej jednotky energie.

Základný vzťah na výpočet prevádzkových emisií možno vyjadriť nasledovne:

$$CO_2 = E \times EF$$

kde:

CO<sub>2</sub> – množstvo vyprodukovaných emisií (kg CO<sub>2</sub>/rok),

E – ročná spotreba energie (kWh/rok),

EF – emisný faktor použitého energetického zdroja (kg CO<sub>2</sub>/kWh).

Výsledná hodnota predstavuje množstvo emisií vznikajúcich v dôsledku spotreby energie počas prevádzky budovy za sledované obdobie, spravidla jeden rok.

Pri komplexnejšom hodnotení budov sa výpočet realizuje samostatne pre jednotlivé energetické nosiče, ako sú elektrická energia, zemný plyn, biomasa alebo teplo zo systému centralizovaného zásobovania teplom. Celkové prevádzkové emisie sa následne určia ako súčet emisií zo všetkých zdrojov energie využívaných v budove.

### **3.6.3 Faktory ovplyvňujúce prevádzkové emisie**

Množstvo emisií skleníkových plynov vznikajúcich počas prevádzky budovy je výsledkom vzájomného pôsobenia viacerých technických, prevádzkových a používateľských faktorov. Rozhodujúci vplyv majú predovšetkým kvalita obálky budovy, spôsob zabezpečenia vykurovania a prípravy teplej vody, účinnosť technických zariadení, uhlíková intenzita využívaných zdrojov energie a správanie používateľov. Komplexné pochopenie vzájomných súvislostí medzi týmito faktormi predstavuje základný predpoklad na navrhovanie budov s nízkou uhlíkovou stopou a na prijímanie opatrení smerujúcich k znižovaniu prevádzkových emisií.

#### **Kvalita obálky budovy**

Obálka budovy patrí medzi najvýznamnejšie prvky ovplyvňujúce jej energetickú hospodárnosť a následne aj množstvo prevádzkových emisií. Tepelnoizolačné vlastnosti obvodových konštrukcií určujú veľkosť tepelných strát počas vykurovacieho obdobia a zároveň významne ovplyvňujú prehrievanie interiéru počas letných mesiacov. Čím kvalitnejšia je tepelná ochrana budovy, tým nižšia je potreba energie na vykurovanie a chladenie, čo sa priamo premieta do nižších emisií skleníkových plynov.

Rozhodujúci význam majú najmä tepelnoizolačné vlastnosti obvodových stien, strechy a podlahy, kvalita výplní otvorov, vzduchotesnosť obálky budovy a eliminácia tepelných mostov. Nedostatočná tepelná ochrana vedie k vyšším tepelným stratám, zvýšenej spotrebe energie a následne aj k rastu prevádzkových emisií. Moderné nízkoenergetické a pasívne budovy preto využívajú vysokoúčinné tepelnoizolačné materiály, okná s trojitým zasklením a konštrukčné riešenia minimalizujúce vznik tepelných mostov.

#### **Zdroj energie na vykurovanie**

Významný vplyv na množstvo prevádzkových emisií má aj spôsob zabezpečenia vykurovania a prípravy teplej vody. Jednotlivé zdroje energie sa výrazne líšia svojou uhlíkovou intenzitou, čo sa priamo odráža na množstve emisií produkovaných počas prevádzky budovy.

Najvyššie prevádzkové emisie sú spojené so spaľovaním uhlia, ktoré patrí medzi energetické zdroje s najvyššou uhlíkovou intenzitou. Nižšie emisie vznikajú pri využívaní vykurovacieho oleja a zemného plynu, ktorý napriek nižšej emisnej náročnosti zostáva fosílnym palivom prispievajúcim ku klimatickým zmenám. Významný potenciál znižovania prevádzkového uhlíka predstavujú tepelné čerpadlá využívajúce energiu okolitého prostredia, najmä ak sú napájané elektrickou energiou z obnoviteľných zdrojov. Najnižšiu uhlíkovú stopu spravidla dosahujú budovy využívajúce fotovoltické systémy, geotermálnu energiu alebo solárne termické kolektory.

#### **Účinnosť technických zariadení**

Dôležitým faktorom ovplyvňujúcim prevádzkové emisie je účinnosť technických zariadení budovy. Moderné vykurovacie systémy, riadené vetranie so spätným získavaním tepla,



energeticky úsporné osvetlenie a inteligentné systémy riadenia umožňujú významne znižovať spotrebu energie pri zachovaní požadovaného komfortu vnútorného prostredia. Zvyšovanie účinnosti technických systémov patrí medzi najefektívnejšie opatrenia na redukciiu prevádzkového uhlíka, pretože umožňuje dosahovať energetické úspory bez negatívneho vplyvu na funkčnosť budovy.

### Správanie používateľov

Prevádzkové emisie budovy sú významne ovplyvnené aj spôsobom jej využívania. Aj technicky kvalitná a energeticky efektívna budova môže vykazovať vyššiu spotrebu energie v dôsledku nevhodného správania používateľov. Významný vplyv má nastavenie požadovanej vnútornej teploty, spôsob a intenzita vetrania, využívanie elektrických spotrebičov, prevádzka osvetlenia alebo spotreba teplej vody.

Výskumy ukazujú, že zvýšenie požadovanej teploty interiéru o 1 °C môže viesť k nárastu potreby energie na vykurovanie približne o 5 až 7 %. Podobne nevhodné vetranie počas vykurovacieho obdobia alebo nadmerné využívanie elektrických zariadení zvyšuje energetickú náročnosť budovy a jej uhlíkovú stopu. V moderných inteligentných budovách sa negatívny vplyv ľudského faktora minimalizuje prostredníctvom systémov automatizácie a inteligentného riadenia, ktoré prispôbujú prevádzku technických zariadení aktuálnym podmienkam a obsadenosti budovy (Obrázok 13).



Obrázok 13 Faktory ovplyvňujúce prevádzkové emisie

### Komplexný vplyv faktorov na prevádzkové emisie

Prevádzkové emisie budovy sú výsledkom vzájomného pôsobenia technických vlastností budovy, použitých technológií a správania používateľov. Najvýraznejšie zníženie emisií možno dosiahnuť kombináciou kvalitnej obálky budovy, nízkouhlíkových zdrojov energie, energeticky efektívnych technológií a zodpovedného správania používateľov.

Práve integrovaný prístup k navrhovaniu a prevádzke budov predstavuje základný predpoklad pre dosahovanie nízkej uhlíkovej stopy a napĺňanie cieľov klimatickej neutrality v stavebnom sektore (Obrázok 14).



Obrázok 14 Komplexný vplyv faktorov na prevádzkové emisie

### 3.7 Whole Life Carbon

Koncept Whole Life Carbon (WLC) predstavuje komplexný prístup k hodnoteniu uhlíkovej stopy budov počas celého ich životného cyklu. Na rozdiel od tradičných metód, ktoré sa zameriavali prevažne na emisie vznikajúce počas prevádzky budovy, Whole Life Carbon zahŕňa všetky emisie skleníkových plynov spojené s existenciou stavby od získavania surovín až po jej demoláciu a následné spracovanie materiálov.

Cieľom konceptu WLC je poskytnúť čo najpresnejší obraz o celkovom klimatickom dopade budovy. Takýto prístup umožňuje identifikovať najvýznamnejšie zdroje emisií v jednotlivých fázach životného cyklu a prijímať efektívne opatrenia na ich znížovanie. Whole Life Carbon sa preto v súčasnosti považuje za jeden z najdôležitejších ukazovateľov environmentálnej výkonnosti budov a tvorí základ moderného nízkouhlíkového stavebníctva.

Whole Life Carbon zahŕňa dve základné zložky:

- Embodied Carbon (EC) – zabudovaný uhlík,
- Operational Carbon (OC) – prevádzkový uhlík.

Matematicky možno vzťah vyjadriť nasledovne:

$$WLC = EC + OC + EOL$$

kde:

WLC – Whole Life Carbon (celkový uhlík počas životného cyklu),

EC – Embodied Carbon (zabudovaný uhlík),

OC – Operational Carbon (prevádzkový uhlík).

Zabudovaný uhlík zahŕňa emisie vznikajúce pri ťažbe surovín, výrobe stavebných materiálov, doprave, výstavbe, údržbe, rekonštrukciách a demolácii budovy. Tieto emisie vznikajú prevažne pred začiatkom prevádzky objektu alebo počas jeho obnovy a predstavujú významnú časť uhlíkovej stopy moderných energeticky efektívnych budov.

Prevádzkový uhlík zahŕňa emisie spojené so spotrebou energie počas používania budovy. Ide najmä o emisie vznikajúce pri vykurovaní, chladení, vetraní, osvetlení, príprave teplej vody a



prevádzke technických zariadení. Množstvo prevádzkových emisií závisí od energetickej hospodárnosti budovy, typu využívanej energie a správania používateľov.

Význam konceptu Whole Life Carbon spočíva v tom, že umožňuje hodnotiť budovu ako jeden integrovaný systém počas celej jej existencie. V minulosti boli mnohé opatrenia zamerané výlučne na znižovanie prevádzkovej spotreby energie, čo mohlo viesť k používaniu materiálov s vysokou uhlíkovou stopou. Takéto riešenia síce znižovali prevádzkové emisie, no zároveň zvyšovali zabudovaný uhlík. Koncept WLC preto umožňuje posudzovať environmentálne dopady komplexne a predchádzať presunu emisií z jednej fázy životného cyklu do druhej.

V súčasnosti sa Whole Life Carbon stáva dôležitou súčasťou environmentálnych certifikácií budov, ESG reportingu a pripravovaných legislatívnych požiadaviek Európskej únie. Očakáva sa, že hodnotenie WLC bude v budúcnosti štandardnou súčasťou projektovania a povoľovania budov, podobne ako je dnes energetická certifikácia. Z pohľadu nízkouhlíkového stavebníctva predstavuje Whole Life Carbon najkomplexnejší ukazovateľ environmentálnej výkonnosti budovy. Jeho využívanie umožňuje prijímať informované rozhodnutia pri výbere stavebných materiálov, technológií a projektových riešení a vytvára predpoklady pre efektívne dosahovanie cieľov klimateckej neutrality v stavebnom sektore.

## Význam Whole Life Carbon

Význam konceptu Whole Life Carbon v posledných rokoch výrazne narastá v dôsledku sprísňujúcich sa klimatických cieľov a rastúceho dôrazu na komplexné hodnotenie environmentálnych dopadov budov. Tradičný prístup, ktorý sa sústreďoval predovšetkým na znižovanie spotreby energie počas prevádzky, už nedokáže dostatočne vystihnúť celkový klimatický vplyv stavebných projektov. Moderné budovy musia byť preto hodnotené z pohľadu všetkých emisií vznikajúcich počas ich životného cyklu. Koncepcia Whole Life Carbon vychádza z predpokladu, že celkovú uhlíkovú stopu budovy tvoria dve základné zložky – prevádzkové emisie (Operational Carbon) a zabudované emisie (Embodied Carbon). Obe kategórie emisií významne ovplyvňujú environmentálnu výkonnosť budovy a ich vzájomný význam sa v súčasnosti postupne mení. V minulosti predstavovali dominantnú časť uhlíkovej stopy prevádzkové emisie spojené s vykurovaním, chladením a spotrebou energie počas používania budovy. Z tohto dôvodu sa hlavná pozornosť sústreďovala na zlepšovanie energetickej hospodárnosti, zvyšovanie tepelnej ochrany budov a znižovanie spotreby energie. Tento prístup viedol k vzniku nízkoenergetických, pasívnych a budov s takmer nulovou potrebou energie. S rastúcou energetickou efektívnosťou však význam prevádzkových emisií postupne klesá. Súčasne sa do popredia dostávajú zabudované emisie vznikajúce počas výroby stavebných materiálov, výstavby, údržby a likvidácie budovy. Pri moderných nízkoenergetických a pasívnych budovách môžu zabudované emisie predstavovať významný podiel celkovej uhlíkovej stopy, pričom v niektorých prípadoch dokonca prevyšujú prevádzkové emisie počas celej životnosti objektu. Z tohto dôvodu už nestačí zameriavať sa iba na jednu zložku uhlíkovej stopy. Budovy navrhované výlučne s cieľom minimalizovať prevádzkovú spotrebu energie môžu využívať materiály s vysokou uhlíkovou stopou, čím sa časť environmentálnych dopadov presúva z prevádzkovej fázy do fázy výroby a výstavby. Podobne ani využívanie nízkouhlíkových materiálov nedokáže zabezpečiť celkovú environmentálnu udržateľnosť, ak budova počas prevádzky spotrebúva nadmerné množstvo energie.

Moderné budovy preto musia optimalizovať súčasne:

- prevádzkové emisie (Operational Carbon),
- zabudované emisie (Embodied Carbon).

Takýto integrovaný prístup umožňuje dosahovať skutočné znižovanie uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy a zabraňuje presúvaniu environmentálnych dopadov medzi jednotlivými fázami životného cyklu.

Význam konceptu Whole Life Carbon sa odráža aj v pripravovaných legislatívnych požiadavkách Európskej únie. Nové smerovania v oblasti udržateľného stavebníctva počítajú s povinným hodnotením uhlíkovej stopy budov počas celého životného cyklu, pričom sa očakáva postupné zavádzanie limitov pre celkové emisie budov. WLC sa zároveň stáva

dôležitou súčasťou ESG reportingu, environmentálnych certifikácií a systémov hodnotenia udržateľnosti budov. Z pohľadu nízkouhlíkového stavebníctva predstavuje Whole Life Carbon jeden z najkomplexnejších nástrojov na hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov. Umožňuje prijímať informované rozhodnutia pri výbere stavebných materiálov, technológií a projektových riešení a vytvára základ pre dosahovanie klimatickej neutrality v stavebnom sektore. Práve preto sa hodnotenie WLC považuje za kľúčový prvok budúceho rozvoja udržateľného a nízkouhlíkového stavebníctva.

### **3.8 Metóda LCA**

Life Cycle Assessment (LCA), v slovenskom preklade hodnotenie životného cyklu, predstavuje medzinárodne uznávanú metodiku určenú na komplexné hodnotenie environmentálnych dopadov výrobkov, procesov, služieb alebo budov počas celého ich životného cyklu. Ide o jeden z najvýznamnejších nástrojov environmentálneho manažmentu, ktorý umožňuje identifikovať, kvantifikovať a vyhodnocovať vplyvy na životné prostredie od získavania surovín až po ukončenie životnosti hodnoteného systému. Metodika LCA vychádza z princípu „od kolísky po hrob“ (cradle-to-grave), čo znamená, že zohľadňuje všetky fázy životného cyklu produktu alebo budovy. V prípade stavebných objektov zahŕňa ťažbu a spracovanie surovín, výrobu stavebných materiálov, dopravu, výstavbu, prevádzku, údržbu, rekonštrukcie, demoláciu a nakladanie so stavebným odpadom. V niektorých prípadoch sa hodnotenie rozširuje aj o potenciálne prínosy recyklácie a opätovného využitia materiálov po skončení životnosti budovy. Hlavným cieľom metodiky LCA je poskytovať objektívne a kvantifikovateľné informácie o environmentálnych dopadoch jednotlivých riešení. Na základe získaných výsledkov možno porovnávať rôzne stavebné materiály, technologické systémy alebo projektové varianty a identifikovať opatrenia vedúce k znižovaniu environmentálnej záťaže. Metodika tak predstavuje dôležitý podklad pre rozhodovanie v oblasti udržateľného stavebníctva a nízkouhlíkového navrhovania budov.

V súčasnosti sa LCA považuje za základný nástroj hodnotenia uhlíkovej stopy budov a konceptu Whole Life Carbon. Umožňuje analyzovať nielen prevádzkové emisie, ale aj zabudované emisie vznikajúce počas výroby stavebných materiálov, výstavby a likvidácie objektu. Práve vďaka tomuto komplexnému prístupu poskytuje presnejší obraz o skutočných environmentálnych dopadoch budovy než tradičné hodnotenie založené iba na energetickej spotrebe počas prevádzky. Metodika LCA je štandardizovaná prostredníctvom medzinárodných noriem ISO 14040 a ISO 14044, ktoré definujú základné princípy, požiadavky a postupy realizácie hodnotenia životného cyklu. V oblasti stavebníctva je jej aplikácia podporená aj normou EN 15978, ktorá stanovuje pravidlá pre hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov počas celého životného cyklu. Význam LCA neustále rastie v súvislosti s cieľmi dekarbonizácie stavebného sektora, rozvojom ESG reportingu a sprísňovaním environmentálnych požiadaviek Európskej únie. V mnohých krajinách sa postupne stáva štandardnou súčasťou projektovej prípravy budov a významným nástrojom pri navrhovaní nízkouhlíkových a klimaticky neutrálnych stavieb. Prostredníctvom identifikácie najvýznamnejších zdrojov environmentálnych dopadov umožňuje efektívnejšie využívanie zdrojov, znižovanie emisií skleníkových plynov a podporu princípov trvalo udržateľného rozvoja v stavebníctve.

### **Fázy LCA**

Metodika Life Cycle Assessment (LCA) je založená na systematickom postupe, ktorý umožňuje identifikovať a vyhodnocovať environmentálne dopady počas celého životného cyklu hodnoteného systému. Medzinárodné normy ISO 14040 a ISO 14044 definujú štyri základné fázy LCA, ktoré na seba logicky nadväzujú a zabezpečujú jednotný prístup k environmentálnemu hodnoteniu výrobkov, procesov a budov. Jednotlivé fázy pozostávajú zo

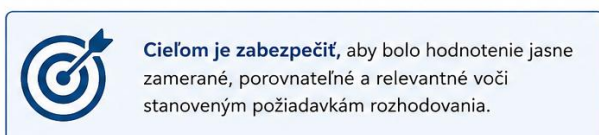
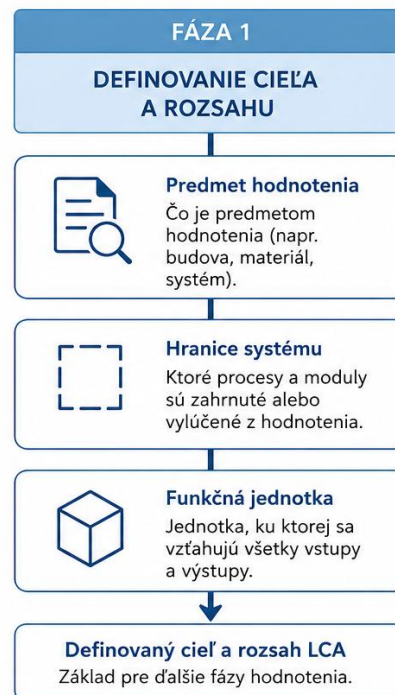
stanovenia cieľa a rozsahu štúdie, inventarizácie životného cyklu, hodnotenia environmentálnych dopadov a interpretácie výsledkov (Obrázok 15).

## 1. Definovanie cieľa a rozsahu

Táto prvá fáza LCA je kľúčová, pretože určuje, čo sa bude hodnotiť, ako a v akom rozsahu.

### Stanovenie:

- **predmetu hodnotenia** – napr. budova, stavebný materiál, technologický systém;
- **hraníc systému** – ktoré procesy a životné cykly (moduly) budú zahrnuté do hodnotenia a ktoré budú vylúčené (napr. od „brány ku bráne“ alebo „od kolísky po hrob“);
- **funkčnej jednotky** – jednotka, ku ktorej sa vzťahujú všetky vstupy a výstupy systému (napr. 1 m<sup>2</sup> podlahovej plochy budovy za 50 rokov, 1 kg materiálu, 1 kWh tepla).



Obrázok 15 Fázy LCA, definícia cieľa a rozsahu

### Stanovenie cieľa a rozsahu hodnotenia

Prvou fázou metodiky LCA je definovanie cieľa a rozsahu hodnotenia. V tejto etape sa určuje účel štúdie, predmet hodnotenia, hranice systému a metodický prístup, ktorý bude použitý pri spracovaní analýzy.

Pri hodnotení budov je potrebné presne špecifikovať, ktoré fázy životného cyklu budú zahrnuté do analýzy, aké environmentálne ukazovatele budú sledované a aká bude funkčná jednotka hodnotenia. Funkčnou jednotkou môže byť napríklad jeden meter štvorcový podlahovej plochy budovy počas určitého obdobia jej životnosti.

Správne definovanie cieľa a rozsahu predstavuje základný predpoklad pre získanie relevantných a porovnateľných výsledkov. Súčasne umožňuje zabezpečiť, aby boli do analýzy zahrnuté všetky významné zdroje environmentálnych dopadov.

### Inventarizácia životného cyklu (Life Cycle Inventory – LCI)

Druhou fázou je inventarizácia životného cyklu, ktorá predstavuje zber a spracovanie údajov potrebných na environmentálne hodnotenie. V tejto etape sa kvantifikujú všetky vstupy a výstupy súvisiace s hodnoteným systémom.

Pri hodnotení budov sa zhromažďujú údaje najmä o:

- spotrebe energií,
- použitých stavebných materiáloch,
- doprave materiálov a výrobkov,
- spotrebe vody,
- produkcii odpadu,
- emisiách do ovzdušia, vody a pôdy.

Inventarizačná fáza patrí medzi najnáročnejšie časti metodiky LCA, pretože kvalita výsledkov závisí od presnosti a spoľahlivosti vstupných údajov. Na získanie potrebných informácií sa využívajú environmentálne produktové deklarácie (EPD), databázy emisných faktorov, technické listy výrobkov a špecializované LCA databázy.

### **Hodnotenie environmentálnych dopadov (Life Cycle Impact Assessment – LCIA)**

Po spracovaní inventarizačných údajov nasleduje fáza hodnotenia environmentálnych dopadov. V tejto etape sa zhromaždené údaje transformujú na konkrétne environmentálne ukazovatele, ktoré umožňujú vyhodnotiť vplyv hodnoteného systému na životné prostredie.

Pri nízkouhlíkových budovách je najčastejšie sledovaným ukazovateľom potenciál globálneho otepľovania (Global Warming Potential – GWP), ktorý sa vyjadruje v jednotkách kg CO<sub>2</sub>eq alebo t CO<sub>2</sub>eq. Okrem uhlíkovej stopy možno hodnotiť aj ďalšie environmentálne dopady, ako sú:

- spotreba primárnej energie,
- acidifikácia prostredia,
- eutrofizácia vôd,
- tvorba fotochemického smogu,
- využívanie prírodných zdrojov,
- produkcia odpadu.

Výsledkom tejto fázy je kvantifikácia environmentálnych dopadov jednotlivých materiálov, procesov alebo celej budovy počas jej životného cyklu.

### **Interpretácia výsledkov**

Poslednou fázou metodiky LCA je interpretácia získaných výsledkov. Jej cieľom je analyzovať a vyhodnotiť výsledky predchádzajúcich etáp, identifikovať najvýznamnejšie zdroje environmentálnych dopadov a formulovať odporúčania na ich znižovanie.

V rámci interpretácie sa posudzuje spoľahlivosť použitých údajov, citlivosť výsledkov na vstupné parametre a význam jednotlivých faktorov ovplyvňujúcich environmentálnu výkonnosť budovy. Súčasne sa identifikujú oblasti, v ktorých možno dosiahnuť najväčšie environmentálne prínosy prostredníctvom zmeny materiálov, technológií alebo projektových riešení.

Výsledky interpretácie predstavujú dôležitý podklad pre rozhodovanie projektantov, investorov a správcov budov. Umožňujú prijímať informované rozhodnutia smerujúce k znižovaniu uhlíkovej stopy a k zvyšovaniu environmentálnej udržateľnosti stavebných projektov.

### **Význam jednotlivých fáz LCA**

Štyri základné fázy metodiky Life Cycle Assessment vytvárajú komplexný rámec pre hodnotenie environmentálnych dopadov budov. Ich systematické uplatňovanie umožňuje objektívne posudzovať uhlíkovú stopu stavebných materiálov, technológií a budov počas celého životného cyklu. Vďaka tomu sa metodika LCA stala jedným z najvýznamnejších nástrojov podporujúcich rozvoj nízkouhlíkoveho stavebníctva a dosahovanie cieľov klimateckej neutrality.

## **3.9 Normatívne požiadavky pre LCA**

Metodika Life Cycle Assessment (LCA) je založená na medzinárodne uznávaných normách, ktoré zabezpečujú jednotný, transparentný a vedecky podložený postup hodnotenia environmentálnych dopadov výrobkov, procesov a budov. Používanie štandardizovaných metodík umožňuje porovnateľnosť výsledkov medzi jednotlivými štúdiami a vytvára dôveryhodný základ pre environmentálne rozhodovanie v stavebníctve.

V oblasti hodnotenia životného cyklu budov patria medzi najvýznamnejšie normy ISO 14040, ISO 14044, EN 15978 a ISO 21931. Tieto dokumenty definujú základné princípy, metodické požiadavky a postupy pre environmentálne hodnotenie stavebných objektov počas celého ich životného cyklu.

### **ISO 14040 – Základná metodika LCA**

Norma ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework predstavuje základný dokument metodiky hodnotenia životného cyklu. Definuje princípy, rámec a všeobecné požiadavky na realizáciu LCA štúdií.

Norma opisuje základné ciele metodiky, vysvetľuje jednotlivé fázy hodnotenia životného cyklu a stanovuje pravidlá pre interpretáciu výsledkov. Zároveň zdôrazňuje potrebu systematického prístupu, transparentnosti a využívania vedecky podložených údajov pri environmentálnom hodnotení.

ISO 14040 vytvára metodický základ pre všetky ďalšie normy súvisiace s hodnotením životného cyklu a predstavuje východiskový dokument pre aplikáciu LCA v stavebníctve.

### **ISO 14044 – Požiadavky na realizáciu LCA**

Norma ISO 14044: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines nadväzuje na ISO 14040 a podrobnejšie špecifikuje požiadavky na realizáciu jednotlivých etáp hodnotenia životného cyklu.

Dokument stanovuje pravidlá pre:

- definovanie cieľa a rozsahu štúdie,
- inventarizáciu životného cyklu (LCI),
- hodnotenie environmentálnych dopadov (LCIA),
- interpretáciu výsledkov,
- kontrolu kvality údajov,
- prezentáciu a komunikáciu výsledkov.

Norma zároveň poskytuje metodické odporúčania pre zabezpečenie konzistentnosti a reprodukovateľnosti výsledkov. Vďaka tomu umožňuje realizovať environmentálne hodnotenia na vysokej odbornej úrovni a zabezpečuje ich medzinárodnú porovnateľnosť.

### **EN 15978 – Hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov**

Norma EN 15978: Sustainability of Construction Works – Assessment of Environmental Performance of Buildings – Calculation Method predstavuje kľúčový dokument pre aplikáciu metodiky LCA v stavebníctve.

Jej hlavným cieľom je stanoviť jednotnú metodiku hodnotenia environmentálnej výkonnosti budov počas celého životného cyklu. Norma rozdeľuje životný cyklus budovy na jednotlivé fázy A, B, C a D a definuje spôsob výpočtu environmentálnych ukazovateľov pre každú z nich.

EN 15978 umožňuje hodnotiť:

- zabudovaný uhlík (Embodied Carbon),
- prevádzkový uhlík (Operational Carbon),
- spotrebu energie,
- využívanie zdrojov,
- produkciu odpadu,
- potenciál globálneho otepľovania (GWP),
- ďalšie environmentálne dopady.

Táto norma tvorí základ súčasného hodnotenia konceptu Whole Life Carbon a je široko využívaná pri navrhovaní nízkouhlíkových budov, environmentálnych certifikáciách a ESG reportingu.

### **ISO 21931 – Udržateľnosť v stavebníctve**

Norma ISO 21931: Sustainability in Buildings and Civil Engineering Works – Framework for Methods of Assessment of the Environmental Performance of Construction Works poskytuje rámec pre hodnotenie udržateľnosti budov a stavebných diel.

Jej cieľom je vytvoriť metodický základ na posudzovanie environmentálnych aspektov stavebných projektov v širšom kontexte trvalo udržateľného rozvoja. Norma podporuje integráciu environmentálnych, ekonomických a sociálnych kritérií do procesu navrhovania, výstavby a prevádzky budov.

ISO 21931 zdôrazňuje potrebu komplexného hodnotenia stavebných objektov počas celého životného cyklu a vytvára prepojenie medzi metodikou LCA a širšími princípmi udržateľného stavebníctva.

### **Význam noriem pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Uvedené normy predstavujú základný metodický rámec pre hodnotenie environmentálnych dopadov budov a stavebných materiálov. Ich využívanie umožňuje objektívne identifikovať zdroje emisií, porovnávať rôzne projektové riešenia a navrhovať opatrenia na znižovanie uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu stavby.

V súčasnosti sa normy ISO 14040, ISO 14044, EN 15978 a ISO 21931 stávajú neoddeliteľnou súčasťou projektovej prípravy moderných budov, environmentálnych certifikácií, ESG reportingu a pripravovaných legislatívnych požiadaviek Európskej únie. Predstavujú tak jeden z najdôležitejších nástrojov podporujúcich rozvoj nízkouhlíkového a udržateľného stavebníctva.

### **3.10 Environmentálne vyhlásenie o produkte**

Environmentálne vyhlásenie o produkte (EPD, Environmental Product Declaration) predstavuje štandardizovaný dokument poskytujúci transparentné a nezávisle overené informácie o environmentálnych vlastnostiach stavebného výrobku počas jeho životného cyklu. Environmentálna produktová deklarácia je založená na metodike hodnotenia životného cyklu (Life Cycle Assessment – LCA) a umožňuje objektívne posúdiť environmentálne dopady jednotlivých materiálov a výrobkov.

EPD slúži ako dôležitý zdroj údajov pri navrhovaní nízkouhlíkových budov, výpočte zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) a hodnotení environmentálnej výkonnosti stavebných projektov. Poskytuje projektantom, investorom a odborníkom na udržateľné stavebníctvo relevantné informácie potrebné na výber materiálov s nižšou uhlíkovou stopou a menším dopadom na životné prostredie.

Environmentálne produktové deklarácie spravidla obsahujú údaje o:

- uhlíkovej stope výrobku,
- spotrebe energie počas životného cyklu,
- spotrebe prírodných zdrojov,
- environmentálnych dopadoch materiálu,
- potenciáli globálneho otepľovania (GWP),
- produkcii odpadu,
- možnostiach recyklácie a opätovného využitia.

EPD sú vypracovávané podľa medzinárodných štandardov, najmä noriem ISO 14025 a EN 15804, ktoré zabezpečujú jednotný spôsob výpočtu a prezentácie environmentálnych údajov. Vďaka tomu je možné objektívne porovnávať výrobky rôznych výrobcov a hodnotiť ich environmentálnu výkonnosť na základe rovnakých metodických princípov.

V súčasnosti sa EPD stávajú nevyhnutnou súčasťou environmentálneho hodnotenia budov, certifikačných systémov LEED, BREEAM a DGNB, ako aj ESG reportingu. Ich využívanie významne podporuje znižovanie uhlíkovej stopy stavebného sektora a napĺňanie cieľov klimateckej neutrality.

#### **Príklad údajov EPD**

Environmentálne produktové deklarácie poskytujú kvantifikované údaje o environmentálnych dopadoch jednotlivých stavebných materiálov. Jedným z najčastejšie sledovaných ukazovateľov je potenciál globálneho otepľovania (Global Warming Potential – GWP), ktorý sa vyjadruje v kilogramoch ekvivalentu oxidu uhličitého na jednotku materiálu (kg CO<sub>2</sub>e/kg).

Z uvedených hodnôt vyplýva, že medzi materiály s najvyššou uhlíkovou stopou patrí hliník a oceľ. Ich výroba je energeticky veľmi náročná a spojená s vysokými emisiami skleníkových plynov. Naopak, betón a tehla vykazujú nižšie emisné hodnoty na kilogram materiálu, avšak vzhľadom na veľké objemy používané pri výstavbe môžu predstavovať významný zdroj celkových emisií budovy.

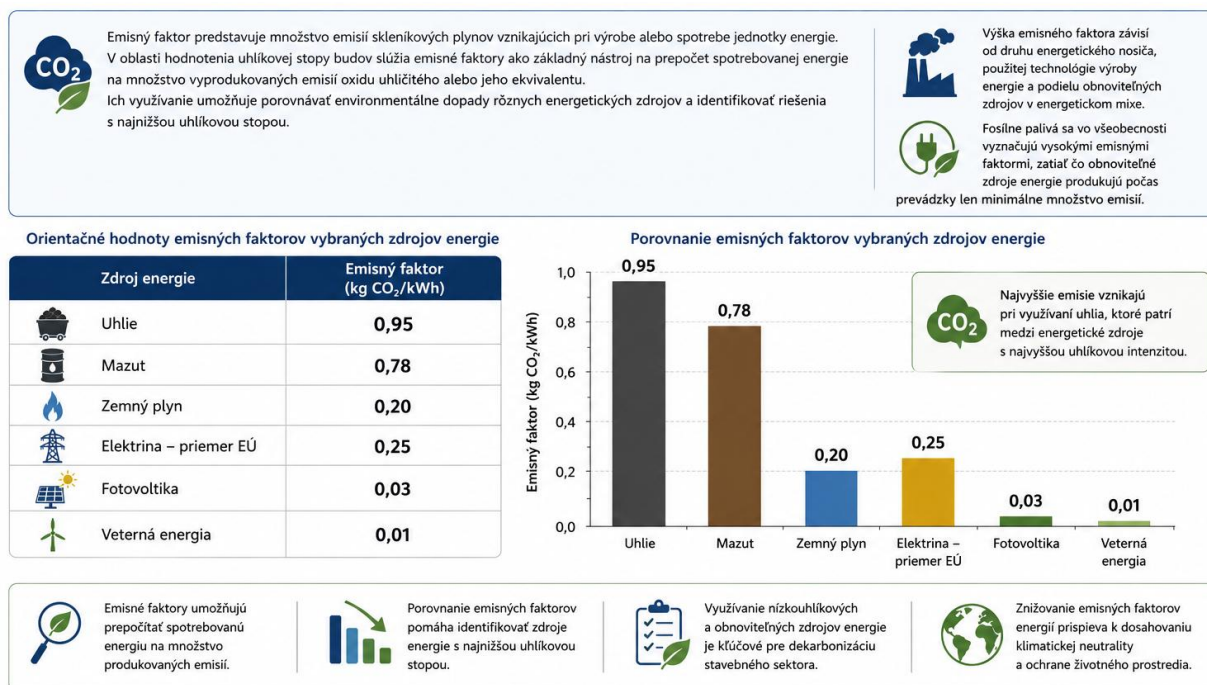
Osobitné postavenie má drevo, ktoré sa od ostatných materiálov odlišuje schopnosťou viazať uhlík počas rastu stromov. V závislosti od metodiky hodnotenia a rozsahu započítania

sekvestrácie uhlíka môžu niektoré drevené výrobky dosahovať dokonca záporné hodnoty uhlíkovej stopy. To znamená, že počas svojej životnosti ukladajú viac uhlíka, než bolo emitované pri ich výrobe a spracovaní.

Je potrebné zdôrazniť, že uvedené hodnoty sú orientačné a môžu sa líšiť v závislosti od výrobcu, použitej technológie výroby, energetického mixu krajiny, podielu recyklovaných materiálov a ďalších faktorov. Pri presnom hodnotení uhlíkovej stopy budovy je preto potrebné využívať aktuálne údaje z konkrétnych environmentálnych produktových deklarácií jednotlivých výrobkov.

Analýza údajov z EPD umožňuje projektantom a investorom identifikovať materiály s nižšou uhlíkovou stopou a prijímať rozhodnutia vedúce k znižovaniu zabudovaného uhlíka budov. Z tohto dôvodu sa EPD stávajú jedným z najvýznamnejších nástrojov pri navrhovaní nízkouhlíkových a udržateľných stavieb.

Z tabuľky vyplýva, že najvyššie emisie vznikajú pri využívaní uhlia, ktoré patrí medzi energetické zdroje s najvyššou uhlíkovou intenzitou. Spaľovanie uhlia produkuje približne 0,95 kg CO<sub>2</sub> na každú spotrebovanú kilowatthodinu energie, čo z neho robí jeden z hlavných zdrojov emisií skleníkových plynov v energetike (Obrázok 16).



**Obrázok 16** Emisné faktory

Vysokou emisnou náročnosťou sa vyznačuje aj mazut, ktorý sa využíva najmä v priemyselných a energetických zariadeniach. Jeho emisný faktor dosahuje približne 0,78 kg CO<sub>2</sub>/kWh. Hoci sa jeho využívanie v Európe postupne obmedzuje, v niektorých regiónoch stále predstavuje významný zdroj emisií.

Zemný plyn produkuje podstatne nižšie emisie než uhlie alebo mazut. Jeho emisný faktor sa pohybuje približne na úrovni 0,20 kg CO<sub>2</sub>/kWh, vďaka čomu bol dlhodobo považovaný za prechodné palivo pri transformácii energetiky. Napriek nižším emisiám však zostáva fosílnym zdrojom energie a jeho využívanie je spojené s produkciou oxidu uhličitého a únikmi metánu. Emisný faktor elektrickej energie závisí od energetického mixu konkrétnej krajiny alebo regiónu. Priemerný emisný faktor elektriny v Európskej únii sa pohybuje približne na úrovni 0,25 kg CO<sub>2</sub>/kWh. Táto hodnota sa postupne znižuje v dôsledku rastúceho podielu obnoviteľných zdrojov energie a postupného odstavovania uhoľných elektrární.

Najnižšie emisné faktory dosahujú obnoviteľné zdroje energie. Fotovoltické systémy produkujú počas svojho životného cyklu približne 0,03 kg CO<sub>2</sub>/kWh, pričom väčšina emisií vzniká počas



výroby panelov a nie počas samotnej prevádzky. Ešte nižšiu uhlíkovú stopu vykazuje veterná energia, ktorej emisný faktor dosahuje približne 0,01 kg CO<sub>2</sub>/kWh.

Z pohľadu nízkouhlíkového stavebníctva majú emisné faktory zásadný význam pri hodnotení prevádzkového uhlíka budov. Výber zdroja energie môže výrazne ovplyvniť celkovú uhlíkovú stopu objektu aj pri rovnakej spotrebe energie. Budovy využívajúce obnoviteľné zdroje energie alebo elektrinu z nízkoemisného energetického mixu preto dosahujú podstatne nižšie prevádzkové emisie než budovy závislé od fosílnych palív.

V súvislosti s cieľmi klimateckej neutrality sa očakáva ďalšie znižovanie emisných faktorov elektrickej energie v dôsledku rastúceho podielu obnoviteľných zdrojov a rozvoja bezemisných technológií. Tento trend bude mať významný pozitívny vplyv na uhlíkovú stopu budov a podporí ďalší rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva.

### 3.11 Uhlíková stopa budov podľa typu

Uhlíková stopa budovy je výsledkom vzájomného pôsobenia viacerých faktorov, medzi ktoré patrí architektonický návrh, energetická hospodárnosť, použité stavebné materiály, technické systémy, spôsob prevádzky a zdroj energie využívaný počas životnosti objektu. V dôsledku rozdielnych konštrukčných a prevádzkových charakteristík sa jednotlivé typy budov výrazne odlišujú aj z pohľadu celkovej uhlíkovej stopy. Pri hodnotení environmentálnej výkonnosti sa uhlíková stopa budov najčastejšie vyjadruje v kilogramoch ekvivalentu oxidu uhličitého na meter štvorcový podlahovej plochy (kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>) počas celého životného cyklu. Tento ukazovateľ umožňuje objektívne porovnávať budovy rôznych veľkostí, konštrukčných riešení a energetických štandardov na jednotnej báze (Tabuľka 3).

**Tabuľka 3** Orientačné hodnoty uhlíkovej stopy podľa typu budovy

| Typ budovy       | Uhlíková stopa (kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> ) | Dominantný zdroj emisií  | Charakteristika                            |
|------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|
| Konvenčná        | 800–1200                                               | Prevádzkový uhlík        | Fosílna palivá, vysoká spotreba energie    |
| Nízkoenergetická | 500–800                                                | Prevádzkový uhlík        | Lepšia tepelná ochrana                     |
| Pasívna          | 300–600                                                | Zabudovaný + prevádzkový | Veľmi nízka spotreba energie               |
| Net Zero         | 150–350                                                | Zabudovaný uhlík         | OZE, energetická neutralita                |
| Low Carbon       | <300                                                   | Zabudovaný uhlík         | Whole Life Carbon, nízkouhlíkové materiály |

#### Konvenčné budovy

Konvenčné budovy predstavujú tradičné stavebné objekty navrhnuté bez výrazného dôrazu na energetickú efektívnosť alebo minimalizáciu uhlíkovej stopy. Charakterizuje ich vysoká spotreba energie na vykurovanie, chladenie a prevádzku technických zariadení, čo vedie k významným prevádzkovým emisiám počas celej životnosti budovy.

Ich celková uhlíková stopa sa spravidla pohybuje v rozmedzí 800 až 1200 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, pričom dominantný podiel tvoria prevádzkové emisie súvisiace s využívaním fosílnych palív a menej účinných technických systémov.

#### Nízkoenergetické budovy

Nízkoenergetické budovy sú navrhované s cieľom systematicky znižovať spotrebu energie prostredníctvom kvalitnej tepelnej ochrany obálky, efektívnych technických systémov a optimalizácie energetických tokov.



V porovnaní s konvenčnými budovami dosahujú podstatne nižšie prevádzkové emisie, čo sa odráža aj na ich celkovej uhlíkovej stope, ktorá sa spravidla pohybuje v rozmedzí 500 až 800 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> počas celého životného cyklu.

### **Pasívne budovy**

Pasívne budovy predstavujú vyšší stupeň energetickej efektívnosti založený na minimalizácii potreby energie prostredníctvom kvalitnej tepelnej izolácie, eliminácie tepelných mostov, vysokej vzduchotesnosti a riadeného vetrania so spätným získavaním tepla.

Vďaka veľmi nízkej prevádzkovej spotrebe energie dosahujú uhlíkovú stopu približne 300 až 600 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>. Súčasne sa pri tomto type budov výraznejšie prejavuje význam zabudovaného uhlíka, ktorý môže predstavovať podstatnú časť celkových emisií počas životného cyklu stavby.

### **Net Zero Buildings**

Budovy typu Net Zero Building sú navrhnuté tak, aby počas roka vyprodukovali minimálne rovnaké množstvo energie, aké samy spotrebujú. Tento cieľ dosahujú kombináciou vysokej energetickej efektívnosti, inteligentného riadenia budovy a integrácie obnoviteľných zdrojov energie, predovšetkým fotovoltických systémov a tepelných čerpadiel.

Ich uhlíková stopa sa spravidla pohybuje v rozmedzí 150 až 350 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>. Vzhľadom na výrazne redukované prevádzkové emisie nadobúda pri týchto budovách rozhodujúci význam optimalizácia zabudovaného uhlíka.

### **Low Carbon Buildings**

Budovy typu Low Carbon Building predstavujú súčasný smer vývoja udržateľného stavebníctva. Ich návrh je založený na systematickej minimalizácii uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu prostredníctvom kombinácie energetickej efektívnosti, obnoviteľných zdrojov energie, nízkouhlíkových stavebných materiálov, princípov obehového hospodárstva a metodiky Whole Life Carbon.

Ich celková uhlíková stopa spravidla nepresahuje 300 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, pričom najpokročilejšie projekty dosahujú ešte výrazne nižšie hodnoty. Takéto budovy predstavujú perspektívny smer ďalšieho rozvoja stavebného sektora a významne prispievajú k napĺňaniu cieľov klimateckej neutrality.

### **Interpretácia výsledkov**

Uvedené hodnoty predstavujú orientačné rozpätia, ktoré sa môžu meniť v závislosti od geografickej polohy, klimatických podmienok, použitých stavebných materiálov, energetického mixu, spôsobu prevádzky aj metodiky hodnotenia. Napriek tomu jednoznačne poukazujú na trend postupného znižovania uhlíkovej stopy v závislosti od rastúcej energetickej efektívnosti a uplatňovania nízkouhlíkových technológií.

Porovnanie jednotlivých typov budov zároveň dokumentuje vývoj moderného stavebníctva – od konvenčných objektov s vysokou energetickou náročnosťou až po budovy navrhnuté na princípoch Whole Life Carbon, ktoré kombinujú nízkoemisné stavebné materiály, obnoviteľné zdroje energie, inteligentné technológie a komplexné hodnotenie životného cyklu. Práve tento integrovaný prístup predstavuje jeden z rozhodujúcich nástrojov na znižovanie environmentálnych dopadov stavebného sektora a dosahovanie klimateckej neutrality.

## **3.12 Digitálne nástroje pre hodnotenie**

S rastúcim dôrazom na znižovanie uhlíkovej stopy budov a uplatňovanie metodiky Life Cycle Assessment (LCA) nadobúdajú čoraz väčší význam špecializované digitálne nástroje určené na hodnotenie environmentálnych dopadov stavebných projektov. Tieto softvérové riešenia umožňujú projektantom, investorom aj environmentálnym konzultantom analyzovať uhlíkovú stopu budov už vo fáze návrhu, porovnávať alternatívne projektové riešenia a identifikovať opatrenia vedúce k znižovaniu emisií skleníkových plynov.

Moderné digitálne platformy využívajú rozsiahle databázy stavebných materiálov, emisných faktorov a environmentálnych produktových deklarácií (Environmental Product Declarations – EPD), pričom umožňujú komplexné hodnotenie budov počas celého ich životného cyklu. Ich význam spočíva nielen vo výpočte uhlíkovej stopy, ale aj v podpore rozhodovania pri výbere stavebných materiálov, optimalizácii konštrukčných riešení a plnení požiadaviek environmentálnych certifikačných systémov, ESG reportingu a pripravovanej európskej legislatívy.

### **One Click LCA**

One Click LCA patrí medzi najrozšírenejšie softvérové riešenia na hodnotenie uhlíkovej stopy budov v Európe. Je založený na metodike Life Cycle Assessment a umožňuje analyzovať environmentálne dopady stavebných materiálov, konštrukčných riešení aj celých budov počas ich životného cyklu.

Významnou výhodou platformy je rozsiahla databáza environmentálnych produktových deklarácií a možnosť priamej integrácie s BIM modelmi. Softvér podporuje požiadavky certifikačných systémov LEED, BREEAM, DGNB a európskeho rámca Level(s), vďaka čomu patrí medzi najvýznamnejšie nástroje pri navrhovaní nízkouhlíkových budov a hodnotení konceptu Whole Life Carbon.

### **Athena Impact Estimator**

Athena Impact Estimator predstavuje špecializovaný nástroj vyvinutý organizáciou Athena Sustainable Materials Institute a patrí medzi najpoužívanéjšie LCA softvéry v Severnej Amerike. Umožňuje komplexne hodnotiť environmentálne dopady budov počas celého životného cyklu a poskytuje podrobné údaje o uhlíkovej stope stavebných materiálov a konštrukčných systémov.

Jeho hlavnou prednosťou je možnosť porovnávať alternatívne konštrukčné riešenia a podporovať výber materiálov s nižším environmentálnym dopadom. Vďaka rozsiahlej databáze severoamerických stavebných výrobkov patrí medzi štandardné nástroje využívané pri udržateľnom projektovaní budov.

### **Tally**

Tally predstavuje nástroj na hodnotenie životného cyklu integrovaný priamo do prostredia Autodesk Revit. Funguje ako rozšírenie BIM modelu, ktoré umožňuje analyzovať environmentálne dopady stavebných materiálov už počas procesu projektovania.

Najväčšou výhodou systému je možnosť priebežného hodnotenia uhlíkovej stopy navrhovanej budovy bez potreby exportu dát do externých aplikácií. Projektanti tak môžu okamžite vyhodnocovať dôsledky navrhovaných zmien a optimalizovať materiálové riešenia ešte pred začiatkom realizácie stavby.

### **eTool**

eTool je cloudová platforma určená na hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov prostredníctvom metodiky Life Cycle Assessment. Umožňuje realizovať analýzy životného cyklu a hodnotiť uhlíkovú stopu stavebných projektov prostredníctvom online prostredia dostupného z rôznych zariadení.

Výhodou systému je jednoduché spracovanie údajov, možnosť rýchleho porovnávania projektových variantov a podpora spolupráce jednotlivých členov projektového tímu. Vďaka cloudovej architektúre nachádza uplatnenie pri medzinárodných stavebných projektoch aj pri hodnotení budov podľa rôznych národných metodík.

### **DesignBuilder**

Na rozdiel od predchádzajúcich nástrojov je DesignBuilder orientovaný predovšetkým na energetické simulácie budov. Je založený na výpočtovom jadre EnergyPlus a umožňuje podrobne analyzovať energetickú náročnosť budovy počas jej prevádzky.

Hoci primárne nie je určený na hodnotenie zabudovaného uhlíka, poskytuje dôležité vstupné údaje pre výpočet prevádzkového uhlíka (*Operational Carbon*). Umožňuje simulovať

vykurovanie, chladenie, vetranie, osvetlenie aj ďalšie energetické procesy, čím významne podporuje navrhovanie energeticky efektívnych budov. V kombinácii s nástrojmi na hodnotenie životného cyklu predstavuje dôležitú súčasť digitálneho projektovania nízkouhlíkových stavieb.

### Význam digitálnych nástrojov

Digitálne nástroje umožňujú presnejšie identifikovať zdroje emisií počas jednotlivých etáp životného cyklu budov a prijímať projektové rozhodnutia založené na objektívnych údajoch. Integrácia s BIM modelmi, databázami EPD, energetickými simuláciami a metodikou Life Cycle Assessment vytvára komplexný rámec na hodnotenie environmentálnej výkonnosti stavebných projektov.

Ich význam bude v nasledujúcich rokoch ďalej narastať v súvislosti s rozvojom ESG reportingu, povinným hodnotením Whole Life Carbon, digitalizáciou stavebníctva a sprísňovaním environmentálnych požiadaviek Európskej únie. Digitálne nástroje sa tak stávajú neoddeliteľnou súčasťou moderného projektovania a predstavujú jeden z rozhodujúcich nástrojov podporujúcich transformáciu stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite (Tabuľka 4).

**Tabuľka 4** Porovnanie digitálnych nástrojov na hodnotenie uhlíkovej stopy

| Softvér                 | LCA | BIM | EPD | Whole Life Carbon | Energetická simulácia |
|-------------------------|-----|-----|-----|-------------------|-----------------------|
| One Click LCA           | ✓   | ✓   | ✓   | ✓                 | –                     |
| Athena Impact Estimator | ✓   | –   | ✓   | ✓                 | –                     |
| Tally                   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓                 | –                     |
| eTool                   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓                 | –                     |
| DesignBuilder           | –   | ✓   | –   | častočne          | ✓                     |

### 3.13 Trendy do roku 2050

Vývoj stavebného sektora v nasledujúcich desaťročiach bude výrazne ovplyvnený globálnymi klimatickými cieľmi, technologickými inováciami a sprísňujúcimi sa legislatívnymi požiadavkami. Európska únia aj ďalšie vyspelé ekonomiky smerujú k dosiahnutiu klimatickej neutrality do roku 2050, pričom budovy predstavujú jeden z kľúčových sektorov, v ktorých možno dosiahnuť významné zníženie emisií skleníkových plynov. Z tohto dôvodu sa očakáva zásadná transformácia spôsobu navrhovania, výstavby a prevádzky budov.

Jedným z najvýznamnejších trendov bude rozšírenie hodnotenia životného cyklu budov prostredníctvom metodiky Life Cycle Assessment (LCA). Predpokladá sa, že v mnohých krajinách Európskej únie sa LCA stane povinnou súčasťou projektovej dokumentácie nových budov. Environmentálne hodnotenie už nebude založené iba na energetickej hospodárnosti počas prevádzky, ale bude zahŕňať všetky emisie vznikajúce počas celého životného cyklu stavby. Takýto prístup umožní presnejšie identifikovať zdroje emisií a podporí využívanie nízkouhlíkových stavebných riešení.

Súčasne sa očakáva zavádzanie uhlíkových limitov pre stavebné materiály a budovy. Podobne ako dnes existujú požiadavky na energetickú hospodárnosť, v budúcnosti môžu byť stanovené maximálne prípustné hodnoty zabudovaného uhlíka pre jednotlivé typy stavieb. Tieto opatrenia budú motivovať výrobcov k vývoju nízkoemisných materiálov a podporia širšie využívanie recyklovaných a obnoviteľných zdrojov v stavebníctve.

Významným trendom bude aj zavedenie digitálnych pasov budov (Digital Building Passports). Digitálny pas bude obsahovať komplexné informácie o použitých materiáloch, technických systémoch, energetickej hospodárnosti, uhlíkovej stope a možnostiach budúcej recyklácie

alebo opätovného využitia stavebných prvkov. Takýto systém zvýši transparentnosť stavebného sektora, podporí princípy obehového hospodárstva a umožní efektívnejšie riadenie budov počas celého ich životného cyklu.

V oblasti stavebných materiálov sa očakáva ďalšie rozširovanie drevených konštrukčných systémov, predovšetkým technológie CLT (Cross Laminated Timber). Vďaka schopnosti viazať uhlík, nízkej uhlíkovej stope a vysokej prefabrikovateľnosti sa CLT stáva jednou z najperspektívnejších alternatív ku konvenčným konštrukciám z betónu a ocele. Predpokladá sa, že drevostavby budú postupne prenikať aj do segmentu viacpodlažných obytných, administratívnych a verejných budov.

Významnú úlohu bude zohrávať aj digitalizácia stavebníctva. Rozvoj informačného modelovania budov (BIM), digitálnych dvojčiat (Digital Twin), umelej inteligencie a pokročilých analytických nástrojov umožní presnejšie hodnotenie environmentálnych dopadov a optimalizáciu návrhu budov už v počiatočných fázach projektovania. Digitálne technológie zároveň podporia efektívnejšie riadenie prevádzky budov a ďalšie znižovanie ich uhlíkovej stopy.

Najvýznamnejším dlhodobým trendom je postupný prechod k nulovoemisným budovám (Zero Emission Buildings – ZEB). Očakáva sa, že budovy s minimálnou alebo nulovou uhlíkovou stopou sa stanú novým štandardom výstavby. Takéto budovy budú kombinovať vysokú energetickú efektívnosť, obnoviteľné zdroje energie, nízkouhlíkové stavebné materiály, inteligentné riadenie a princípy obehového hospodárstva. Prevádzkové emisie budú prakticky eliminované a významná pozornosť bude venovaná aj redukcii zabudovaného uhlíka.

Do roku 2050 možno očakávať, že hodnotenie uhlíkovej stopy sa stane rovnako dôležitým ukazovateľom ako energetická hospodárnosť budovy. Stavebný sektor sa bude postupne transformovať z odvetvia s vysokou spotrebou zdrojov na systém založený na efektívnom využívaní materiálov, recyklácii, obnoviteľných zdrojoch energie a digitálnom riadení. Uvedené trendy vytvárajú predpoklady na dosiahnutie klimatickej neutrality a na vznik budov, ktoré budú nielen energeticky efektívne, ale aj environmentálne a spoločensky udržateľné počas celého svojho životného cyklu.

Problematika uhlíkovej stopy budov predstavuje jednu z najvýznamnejších oblastí súčasného udržateľného stavebníctva a zohráva kľúčovú úlohu pri dosahovaní klimatických cieľov na národnej aj medzinárodnej úrovni. Budovy patria medzi významných spotrebiteľov energie a zdrojov emisií skleníkových plynov, preto je ich environmentálna výkonnosť čoraz častejšie hodnotená nielen z pohľadu energetickej hospodárnosti, ale aj z pohľadu celkových emisií vznikajúcich počas celého životného cyklu stavby.

V kapitole boli charakterizované základné princípy hodnotenia uhlíkovej stopy budov vrátane definície uhlíkovej stopy, významu jednotlivých skleníkových plynov a spôsobov ich prepočtu na ekvivalent oxidu uhličitého. Osobitná pozornosť bola venovaná životnému cyklu budovy podľa normy EN 15978, ktorá rozdeľuje environmentálne dopady do jednotlivých fáz od získavania surovín a výstavby až po demoláciu a potenciálne prínosy recyklácie a opätovného využitia materiálov.

Významnou súčasťou kapitoly bolo rozlíšenie medzi prevádzkovým uhlíkom (Operational Carbon) a zabudovaným uhlíkom (Embodied Carbon). Kým prevádzkový uhlík zahŕňa emisie vznikajúce počas používania budovy v dôsledku spotreby energie, zabudovaný uhlík predstavuje emisie spojené s výrobou stavebných materiálov, výstavbou, údržbou, rekonštrukciami a likvidáciou objektu. Rastúca energetická efektívnosť moderných budov spôsobuje, že význam zabudovaného uhlíka neustále rastie a stáva sa jedným z rozhodujúcich faktorov pri hodnotení environmentálnej výkonnosti stavieb.

Kľúčovým konceptom moderného hodnotenia budov je Whole Life Carbon (WLC), ktorý integruje prevádzkové aj zabudované emisie a poskytuje komplexný pohľad na celkovú uhlíkovú stopu počas životného cyklu budovy. Tento prístup umožňuje identifikovať najvýznamnejšie zdroje emisií a prijímať efektívne opatrenia na ich znižovanie bez presúvania environmentálnych dopadov medzi jednotlivými fázami životného cyklu.

Významné postavenie pri hodnotení environmentálnych dopadov budov má metodika Life Cycle Assessment (LCA). Táto medzinárodne uznávaná metóda umožňuje systematicky analyzovať environmentálne aspekty budov od ťažby surovín až po ich koniec životnosti. Jej aplikácia je podporená normami ISO 14040, ISO 14044, EN 15978 a ISO 21931, ktoré vytvárajú metodický rámec pre objektívne a porovnateľné hodnotenie environmentálnej výkonnosti stavebných projektov.

Kapitola zároveň poukázala na význam environmentálnych vyhlásení o produkte (EPD), ktoré poskytujú spoľahlivé údaje o uhlíkovej stope a environmentálnych dopadoch stavebných materiálov. Tieto informácie umožňujú projektantom a investorom prijímať informované rozhodnutia pri výbere materiálov a podporujú využívanie nízkouhlíkových riešení v stavebnej praxi. Analýza uhlíkovej stopy jednotlivých stavebných materiálov ukázala, že významné rozdiely existujú najmä medzi materiálmi s vysokou energetickou náročnosťou výroby, ako sú oceľ a hliník, a materiálmi na biologickej báze, predovšetkým drevom a CLT konštrukciami. Práve výber vhodných materiálov predstavuje jeden z najúčinnějších nástrojov na znižovanie zabudovaného uhlíka budov. Významnú úlohu pri hodnotení uhlíkovej stopy zohrávajú aj digitálne nástroje, ako One Click LCA, Athena Impact Estimator, Tally, eTool alebo DesignBuilder. Tieto systémy umožňujú efektívne analyzovať environmentálne dopady budov už v štádiu návrhu a vytvárajú predpoklady na optimalizáciu projektových riešení z pohľadu uhlíkovej stopy. Na základe identifikovaných trendov možno konštatovať, že budúcnosť stavebníctva smeruje k povinnému hodnoteniu životného cyklu budov, zavádzaniu uhlíkových limitov pre stavebné materiály, využívaniu digitálnych pasov budov a rozširovaní nízkouhlíkových konštrukčných systémov. Očakáva sa, že do roku 2050 sa budovy s minimálnou uhlíkovou stopou a nulovými prevádzkovými emisiami stanú štandardom novej výstavby. Uhlíková stopa budov tak predstavuje jeden z najdôležitejších ukazovateľov environmentálnej udržateľnosti stavebného sektora. Jej systematické hodnotenie a znižovanie vytvára predpoklady pre efektívnu dekarbonizáciu stavebníctva a významne prispieva k dosahovaniu cieľov klimateckej neutrality a trvalo udržateľného rozvoja.

## **4 LEGISLATÍVNY RÁMEC NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV V EURÓPSKEJ ÚNII A SLOVENSKEJ REPUBLIKE**

### **4.1 Úvod**

Legislatíva predstavuje jeden z najvýznamnejších nástrojov transformácie stavebného sektora smerom k nízkouhlíkovej a klimaticky neutrálnej budúcnosti. Prostredníctvom právnych predpisov, strategických dokumentov a regulačných mechanizmov vytvára podmienky na znižovanie energetickej náročnosti budov, podporu využívania obnoviteľných zdrojov energie, znižovanie emisií skleníkových plynov a rozvoj udržateľného stavebníctva. Vzhľadom na významný podiel budov na celkovej spotrebe energie a produkcii emisií sa legislatívne opatrenia stali jedným z hlavných nástrojov klimatickej politiky Európskej únie.

Stavebný sektor patrí medzi najvýznamnejších spotrebiteľov energie v Európe. Podľa údajov Európskej komisie sú budovy zodpovedné približne za 40 % celkovej spotreby energie a viac ako 35 % emisií skleníkových plynov súvisiacich so spotrebou energie. Zároveň značná časť existujúceho stavebného fondu vznikla v období, keď neexistovali prísne požiadavky na energetickú hospodárnosť, čo vedie k vysokej spotrebe energie a zvýšeným prevádzkovým emisiám. Práve preto sú budovy považované za jednu z prioritných oblastí klimatickej a energetickej politiky Európskej únie.

V posledných desaťročiach Európska únia postupne prijímala legislatívne opatrenia zamerané na zvyšovanie energetickej efektívnosti budov a podporu dekarbonizácie stavebného sektora. Významným míľnikom bolo prijatie smernice o energetickej hospodárnosti budov (EPBD), ktorá vytvorila základný rámec pre energetickú certifikáciu budov a zavádzanie budov s takmer nulovou potrebou energie. Na tieto opatrenia nadviazali ďalšie iniciatívy, ako Európska zelená dohoda (European Green Deal), balík Fit for 55, Renovation Wave či nová generácia budov s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB).

Legislatívny rámec Európskej únie zároveň reflektuje meniace sa chápanie environmentálnej výkonnosti budov. Kým v minulosti sa pozornosť sústreďovala predovšetkým na spotrebu energie počas prevádzky, súčasné smerovanie postupne rozširuje hodnotenie aj na uhlíkovú stopu počas celého životného cyklu budovy. Do popredia sa dostávajú otázky zabudovaného uhlíka, využívania nízkouhlíkových stavebných materiálov, princípov obehového hospodárstva a ESG reportingu.

Významnú úlohu zohráva aj slovenská legislatíva, ktorá implementuje európske smernice a požiadavky do národného právneho prostredia. Slovenská republika postupne zaviedla systém energetickej certifikácie budov, požiadavky na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a podporu energetických renovácií existujúceho stavebného fondu. Súčasne sa pripravuje na implementáciu nových európskych požiadaviek týkajúcich sa budov s nulovými emisiami a hodnotenia uhlíkovej stopy počas životného cyklu.

Legislatívny rámec vytvára podmienky najmä pre:

- výstavbu energeticky efektívnych budov,
- renováciu existujúceho fondu budov,
- zavádzanie obnoviteľných zdrojov energie,
- znižovanie emisií skleníkových plynov,
- hodnotenie uhlíkovej stopy budov,
- podporu nízkouhlíkových stavebných materiálov,
- implementáciu princípov obehového hospodárstva,
- rozvoj udržateľného financovania a ESG kritérií.

Cieľom tejto kapitoly je analyzovať najvýznamnejšie legislatívne nástroje Európskej únie a Slovenskej republiky, ktoré ovplyvňujú rozvoj nízkouhlíkových budov. Pozornosť bude venovaná strategickým dokumentom, smerniciam, národným právnym predpisom a finančným mechanizmom podporujúcim transformáciu stavebného sektora smerom k energetickej efektívnosti, dekarbonizácii a klimatickej neutralite.

## 4.2 Európska zelená dohoda (European Green Deal)

Európska zelená dohoda (European Green Deal) predstavuje najvýznamnejšiu stratégiu Európskej únie zameranú na transformáciu európskeho hospodárstva smerom k udržateľnému a klimaticky neutrálnemu rozvoju. Bola predstavená Európskou komisiou v decembri 2019 ako komplexný politický a hospodársky program, ktorého cieľom je reagovať na klimatické zmeny, znižovanie biodiverzity, nadmerné využívanie prírodných zdrojov a ďalšie environmentálne výzvy 21. storočia.

Európska zelená dohoda vytvára rámec pre transformáciu všetkých sektorov hospodárstva vrátane energetiky, dopravy, priemyslu, poľnohospodárstva, stavebníctva a finančného sektora. Jej základnou filozofiou je oddeliť hospodársky rast od rastúcej spotreby prírodných zdrojov a zabezpečiť, aby sa ekonomický rozvoj uskutočňoval spôsobom, ktorý rešpektuje environmentálne limity planéty.

Hlavným cieľom Európskej zelenej dohody je dosiahnuť klimatickú neutralitu Európskej únie do roku 2050.

Tento cieľ bol následne právne zakotvený v Európskom klimatickom zákone (European Climate Law), ktorý stanovuje záväzný rámec pre postupné znižovanie emisií skleníkových plynov vo všetkých členských štátoch Európskej únie.

Klimatická neutralita znamená stav, v ktorom sú emisie skleníkových plynov produkované hospodárskou činnosťou vyvážené ich odstránením alebo kompenzáciou. Na dosiahnutie tohto cieľa je potrebné výrazne znížiť emisie vo všetkých hospodárskych sektoroch a súčasne podporovať technológie a opatrenia umožňujúce zachytávanie uhlíka.

Európska zelená dohoda nie je zameraná iba na ochranu klímy. Zahŕňa aj ďalšie oblasti, ako sú:

- prechod na čistú energiu,
- podpora obehového hospodárstva,
- ochrana biodiverzity,
- znižovanie znečistenia životného prostredia,
- udržateľná mobilita,
- ekologizácia priemyslu,
- podpora inovácií a výskumu,
- rozvoj udržateľného financovania.

Významné postavenie v rámci Green Deal má stavebný sektor, ktorý patrí medzi najväčších spotrebiteľov energie a producentov emisií skleníkových plynov v Európe. Budovy sú preto identifikované ako jedna z kľúčových oblastí, v ktorých možno dosiahnuť významné zníženie emisií prostredníctvom energetických renovácií, výstavby nízkouhlíkových budov a využívania obnoviteľných zdrojov energie.

V nadväznosti na Európsku zelenú dohodu vzniklo viacero strategických iniciatív, ktoré priamo ovplyvňujú stavebníctvo. Medzi najvýznamnejšie patria Renovation Wave, balík Fit for 55, revízia smernice o energetickej hospodárnosti budov (EPBD), Taxonómia EÚ a pripravované požiadavky na budovy s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB).

Pre oblasť nízkouhlíkových budov predstavuje Európska zelená dohoda zásadný impulz k transformácii stavebného sektora. Podporuje výstavbu energeticky efektívnych budov, znižovanie uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu, využívanie nízkouhlíkových stavebných materiálov a integráciu obnoviteľných zdrojov energie do budov. Súčasne vytvára legislatívne a finančné podmienky na rozsiahlu obnovu existujúceho stavebného fondu.

Európska zelená dohoda tak predstavuje základný strategický dokument, ktorý určuje smerovanie európskeho stavebníctva v nasledujúcich desaťročiach a vytvára predpoklady na postupný prechod k nízkouhlíkovej a klimaticky neutrálnej výstavbe.

### 4.2.1 Hlavné oblasti Green Deal

Európska zelená dohoda predstavuje komplexnú stratégiu transformácie európskeho hospodárstva, ktorá zasahuje do všetkých kľúčových sektorov ekonomiky. Jej cieľom nie je iba znižovanie emisií skleníkových plynov, ale aj podpora udržateľného hospodárskeho rastu, efektívnejšie využívanie prírodných zdrojov a zvyšovanie konkurencieschopnosti Európskej únie. Medzi najvýznamnejšie oblasti, na ktoré sa Green Deal zameriava, patria energetika, doprava, priemysel a stavebníctvo.

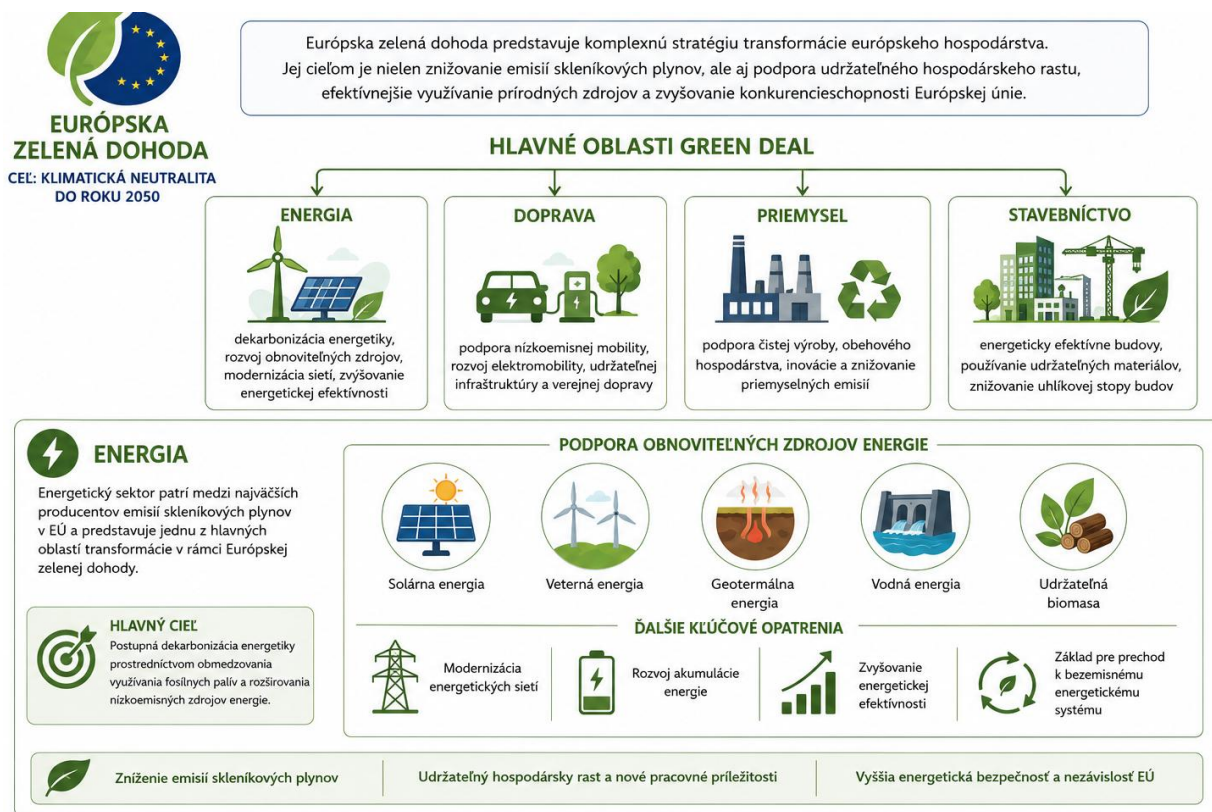
## Energia

Energetický sektor patrí medzi najväčších producentov emisií skleníkových plynov v Európskej únii, a preto predstavuje jednu z hlavných oblastí transformácie v rámci Európskej zelenej dohody. Hlavným cieľom je postupná dekarbonizácia energetiky prostredníctvom obmedzovania využívania fosílnych palív a rozširovania nízkoemisných zdrojov energie.

Dôležitú úlohu zohráva najmä podpora obnoviteľných zdrojov energie, ako sú:

- solárna energia,
- veterná energia,
- geotermálna energia,
- vodná energia,
- udržateľná biomasa.

Súčasne sa podporuje modernizácia energetických sietí, rozvoj akumulácie energie a zvyšovanie energetickej efektívnosti vo všetkých sektoroch hospodárstva. Tieto opatrenia vytvárajú základ pre postupný prechod k bezemisnému energetickému systému (Obrázok 17).



Obrázok 17 Hlavné oblasti Green Deal

## Doprava



Dopravný sektor predstavuje jeden z najvýznamnejších zdrojov emisií skleníkových plynov v Európskej únii a zároveň patrí medzi oblasti, v ktorých sa emisie v posledných desaťročiach znižovali najpomalšie. Európska zelená dohoda preto kladie dôraz na transformáciu dopravy smerom k nízkoemisným a bezemisným formám mobility s cieľom znížiť závislosť od fosílnych palív a podporiť udržateľný dopravný systém.

Kľúčové opatrenia zahŕňajú rozvoj elektromobility, budovanie infraštruktúry pre nabíjanie elektrických vozidiel, podporu verejnej a železničnej dopravy, širšie využívanie alternatívnych palív a rozvoj aktívnych foriem mobility, predovšetkým cyklistickej a pešej dopravy. Významná pozornosť sa venuje aj inteligentným dopravným systémom a integrácii obnoviteľných zdrojov energie do sektora dopravy.

Realizácia týchto opatrení má prispieť k postupnému znižovaniu emisií oxidu uhličitého, zlepšeniu kvality ovzdušia a vytvoreniu udržateľnejšieho dopravného systému, ktorý bude kompatibilný s cieľom klimateckej neutrality Európskej únie do roku 2050.

### **Priemysel**

Transformácia priemyselného sektora predstavuje jednu z najnáročnejších oblastí Európskej zelenej dohody. Významná časť priemyselnej výroby je založená na energeticky náročných procesoch, ktoré sú spojené s vysokými emisiami skleníkových plynov. Európska únia preto podporuje prechod na nízkouhlíkovú výrobu prostredníctvom zavádzania inovatívnych technológií, zvyšovania energetickej efektívnosti a širšieho využívania obnoviteľných zdrojov energie.

Dôležitým prvkom tejto transformácie je uplatňovanie princípov obehového hospodárstva (Circular Economy), ktoré podporujú efektívnejšie využívanie prírodných zdrojov, minimalizáciu produkcie odpadu, recykláciu materiálov, opätovné využívanie výrobkov a predlžovanie ich životnosti. Cieľom je znižovať spotrebu primárnych surovín a obmedzovať environmentálne dopady priemyselnej výroby.

Významnú úlohu zohráva aj rozvoj pokročilých nízkouhlíkových technológií, medzi ktoré patria výroba zeleného vodíka, technológie zachytávania, využívania a ukladania oxidu uhličitého (Carbon Capture, Utilisation and Storage – CCUS), nízkoemisná výroba ocele a cementu, ako aj digitalizácia a inteligentné riadenie výrobných procesov. Tieto opatrenia majú zásadný význam aj pre stavebný sektor, keďže priamo ovplyvňujú uhlíkovú stopu stavebných materiálov a environmentálnu výkonnosť budov počas ich životného cyklu.

### **Budovy**

Budovy predstavujú jednu z hlavných priorít Európskej zelenej dohody, keďže sektor budov patrí medzi najväčších spotrebiteľov energie a zároveň významných producentov emisií skleníkových plynov. Strategickým cieľom Európskej únie je zvyšovanie energetickej efektívnosti existujúceho stavebného fondu a podpora výstavby nových budov s minimálnou uhlíkovou stopou.

Jednou z najvýznamnejších iniciatív je program Renovation Wave, ktorého cieľom je výrazné zrýchlenie tempa energetických renovácií budov v členských štátoch Európskej únie. Program podporuje komplexnú obnovu stavebných konštrukcií, zlepšovanie tepelnoizolačných vlastností obálky budov, modernizáciu technických zariadení, integráciu obnoviteľných zdrojov energie a zvyšovanie kvality vnútorného prostredia.

Súčasne dochádza k postupnému sprísňovaniu požiadaviek na energetickú hospodárnosť nových budov prostredníctvom smernice EPBD 2024, ktorá zavádza koncept budov s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB). Významnou novinkou je aj postupné zavádzanie hodnotenia uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy, podpora využívania nízkouhlíkových stavebných materiálov a širšie uplatňovanie metodík Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC). Tieto opatrenia predstavujú základný predpoklad dekarbonizácie stavebného sektora a dosahovania klimateckej neutrality.

### **Význam hlavných oblastí Európskej zelenej dohody pre stavebníctvo**

Jednotlivé oblasti Európskej zelenej dohody tvoria vzájomne prepojený systém opatrení smerujúcich k transformácii európskeho hospodárstva na klimaticky neutrálne hospodárstvo. Energetika, doprava, priemysel a stavebníctvo sú navzájom úzko prepojené a ich koordinovaný rozvoj predstavuje základnú podmienku úspešného plnenia klimatických cieľov Európskej únie.

Z pohľadu stavebného sektora vytvára Európska zelená dohoda priaznivé podmienky na širšie využívanie energeticky efektívnych technológií, obnoviteľných zdrojov energie, nízkouhlíkových stavebných materiálov a princípov obehového hospodárstva. Súčasne podporuje digitalizáciu stavebníctva, hodnotenie životného cyklu budov a systematické znižovanie uhlíkovej stopy počas ich prevádzky aj výstavby. Tieto opatrenia predstavujú základný predpoklad ďalšieho rozvoja nízkouhlíkového stavebníctva a postupného dosiahnutia klimatickej neutrality európskeho stavebného fondu do roku 2050.

#### **4.2.2 Význam pre stavebníctvo**

Európska zelená dohoda predstavuje zásadný impulz pre transformáciu stavebného sektora smerom k udržateľnejšiemu a nízkouhlíkovému fungovaniu. Vzhľadom na skutočnosť, že budovy patria medzi najväčších spotrebiteľov energie a významné zdroje emisií skleníkových plynov, považuje Európska únia stavebníctvo za jednu z kľúčových oblastí pri dosahovaní klimatickej neutrality do roku 2050. Green Deal preto vytvára strategický rámec, ktorý ovplyvňuje spôsob navrhovania, výstavby, obnovy a prevádzky budov v celej Európe.

Jedným z hlavných cieľov Európskej zelenej dohody je znižovanie emisií budov počas celého ich životného cyklu. Pozornosť sa už nesústreďuje iba na spotrebu energie počas prevádzky, ale aj na emisie spojené s výrobou stavebných materiálov, výstavbou, údržbou a likvidáciou objektov. Tento prístup podporuje využívanie metodiky Life Cycle Assessment (LCA) a konceptu Whole Life Carbon, ktoré umožňujú komplexne hodnotiť environmentálne dopady budov.

Významnou súčasťou stratégie je podpora využívania nízkouhlíkových stavebných materiálov. Európska únia postupne vytvára podmienky na širšie využívanie materiálov s nižšou uhlíkovou stopou, ako sú drevené konštrukcie, recyklované materiály, nízkouhlíkové druhy betónu alebo výrobky s overenými environmentálnymi parametrami prostredníctvom environmentálnych produktových deklarácií (EPD). Cieľom je znižovať zabudovaný uhlík budov a podporovať rozvoj obehového hospodárstva v stavebníctve.

Ďalšou prioritou Green Deal je modernizácia existujúceho stavebného fondu. Veľká časť budov v Európe bola postavená v období, keď neexistovali prísne požiadavky na energetickú hospodárnosť. Tieto budovy preto vykazujú vysokú spotrebu energie a značné prevádzkové emisie. Európska únia podporuje ich postupnú obnovu prostredníctvom modernizácie technických systémov, zlepšovania tepelnej ochrany a integrácie obnoviteľných zdrojov energie.

Kľúčovým nástrojom v tejto oblasti je iniciatíva Renovation Wave, ktorej cieľom je výrazne zvýšiť tempo energetických renovácií budov v členských štátoch Európskej únie. Program podporuje komplexné obnovy budov s cieľom znižovať spotrebu energie, zlepšovať kvalitu vnútorného prostredia a predlžovať životnosť stavebného fondu. Energetické renovácie sú považované za jedno z najefektívnejších opatrení na redukcii emisií v stavebnom sektore, pričom zároveň prinášajú ekonomické úspory a zvyšujú komfort používateľov.

Green Deal zároveň podporuje zavádzanie inteligentných technológií, obnoviteľných zdrojov energie a digitálnych nástrojov umožňujúcich efektívnejšie riadenie budov. Tieto opatrenia vytvárajú predpoklady pre vznik budov s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB), ktoré sa postupne stanú novým štandardom európskeho stavebníctva.

Z pohľadu nízkouhlíkových budov predstavuje Európska zelená dohoda zásadný strategický dokument, ktorý určuje smerovanie stavebného sektora na nasledujúce desaťročia. Prostredníctvom legislatívnych, finančných a technologických opatrení podporuje znižovanie emisií, využívanie udržateľných materiálov, modernizáciu existujúcich budov a rozvoj energeticky efektívnej výstavby. Tým vytvára základné podmienky na dosiahnutie klimatickej

neutrality a transformáciu stavebníctva na jeden z pilierov udržateľného hospodárstva Európskej únie.

### **4.3 Balík Fit for 55**

Balík Fit for 55 predstavuje súbor legislatívnych opatrení a politických nástrojov prijatých Európskou úniou v roku 2021 s cieľom urýchliť prechod k nízkouhlíkovému hospodárstvu a zabezpečiť plnenie cieľov Európskej zelenej dohody. Ide o jeden z najvýznamnejších legislatívnych balíkov v histórii klimateckej politiky Európskej únie, ktorý zásadným spôsobom ovplyvňuje všetky sektory hospodárstva vrátane energetiky, dopravy, priemyslu, poľnohospodárstva a stavebníctva.

Názov „Fit for 55“ vychádza z hlavného klimateckého cieľa Európskej únie znížiť emisie skleníkových plynov o minimálne 55 % do roku 2030 v porovnaní s úrovňou emisií z roku 1990.

Tento cieľ predstavuje medzník na ceste k dosiahnutiu klimateckej neutrality Európskej únie do roku 2050 a bol právne zakotvený prostredníctvom Európskeho klimateckého zákona. Balík Fit for 55 preto vytvára konkrétne legislatívne mechanizmy, ktoré majú zabezpečiť naplnenie tohto záväzku vo všetkých členských štátoch.

Fit for 55 zahŕňa revíziu existujúcich právnych predpisov a zavedenie nových opatrení zameraných na znižovanie emisií skleníkových plynov, zvyšovanie energetickej efektívnosti a podporu obnoviteľných zdrojov energie. Medzi najvýznamnejšie oblasti patria reforma systému obchodovania s emisnými kvótami (EU ETS), sprísnenie požiadaviek na energetickú hospodárnosť budov, podpora elektromobility, rozvoj obnoviteľných zdrojov energie a zavádzanie uhlíkových mechanizmov v medzinárodnom obchode.

Významnou charakteristikou balíka je jeho komplexnosť. Na rozdiel od predchádzajúcich klimateckých opatrení sa nezameriava iba na energetiku alebo priemysel, ale vytvára koordinovaný rámec pre transformáciu celého hospodárstva. Opatrenia sú navrhnuté tak, aby podporovali technologické inovácie, znižovali závislosť od fosílnych palív a zároveň zachovali konkurencieschopnosť európskej ekonomiky.

Pre stavebný sektor má Fit for 55 mimoriadny význam, pretože budovy patria medzi najväčších spotrebiteľov energie v Európe. Balík podporuje rozsiahlu obnovu existujúceho stavebného fondu, zvyšovanie energetickej efektívnosti budov a postupný prechod na bezemisné technológie vykurovania a chladenia. Zároveň vytvára podmienky pre širšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie a podporuje rozvoj budov s nulovými emisiami.

Fit for 55 zároveň reflektuje rastúci význam hodnotenia uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budov. Postupne sa tak vytvára legislatívny základ pre širšie využívanie metodiky Life Cycle Assessment (LCA), hodnotenie zabudovaného uhlíka a implementáciu princípov obehového hospodárstva v stavebníctve.

Z pohľadu nízkouhlíkových budov predstavuje balík Fit for 55 významný krok smerom k dekarbonizácii stavebného sektora. Jeho opatrenia vytvárajú legislatívne, ekonomické a technologické predpoklady na znižovanie emisií skleníkových plynov a podporujú transformáciu európskeho stavebníctva smerom k energeticky efektívnym, nízkouhlíkovým a klimatecky neutrálnym budovám.

#### **4.3.1 Hlavné opatrenia**

Na dosiahnutie cieľa zníženia emisií skleníkových plynov o minimálne 55 % do roku 2030 zavádza balík Fit for 55 viacero legislatívnych a regulačných opatrení. Tieto opatrenia zasahujú do všetkých hlavných sektorov hospodárstva a vytvárajú podmienky pre postupnú dekarbonizáciu Európskej únie. Z pohľadu stavebníctva a nízkouhlíkových budov majú osobitný význam reforma systému obchodovania s emisnými kvótami, zavedenie systému ETS II, sprísňovanie požiadaviek na energetickú efektívnosť a podpora obnoviteľných zdrojov energie.

## **Reforma systému ETS**

Jedným z kľúčových prvkov balíka Fit for 55 je reforma systému obchodovania s emisnými kvótami Európskej únie (European Union Emissions Trading System – EU ETS). Tento systém funguje na princípe „cap and trade“, pri ktorom je stanovený maximálny objem emisií a podniky musia disponovať emisnými kvótami zodpovedajúcimi množstvu vyprodukovaných emisií.

Reforma ETS prináša postupné znižovanie celkového počtu dostupných emisných kvót, čím sa zvyšuje tlak na investície do nízkoemisných technológií a znižovanie uhlíkovej stopy. Vyššia cena emisných povoleniek zároveň zvyšuje ekonomickú motiváciu prechodom od fosílnych palív k čistejším zdrojom energie.

Hoci sa pôvodný systém ETS zameriaval najmä na energetiku a priemysel, jeho reforma významne ovplyvňuje aj stavebný sektor prostredníctvom rastúcich cien energií a zvýšeného dôrazu na energetickú efektívnosť budov.

## **ETS II**

Významnou novinkou balíka Fit for 55 je vytvorenie samostatného systému obchodovania s emisnými kvótami označovaného ako ETS II. Tento systém rozširuje princíp emisného obchodovania na sektory budov a cestnej dopravy, ktoré doteraz neboli priamo zahrnuté do pôvodného systému ETS.

Zahrnutie budov do emisného obchodovania vytvára dodatočný ekonomický stimul na znižovanie spotreby energie a využívanie nízkoemisných technológií. Predpokladá sa, že rast cien fosílnych palív zvýši záujem o energetické renovácie budov, využívanie tepelných čerpadiel, obnoviteľných zdrojov energie a ďalších opatrení vedúcich k redukcii emisií.

ETS II zároveň podporuje financovanie sociálnych opatrení prostredníctvom Sociálneho klimatického fondu, ktorý má pomáhať domácnostiam a zraniteľným skupinám pri adaptácii na nové klimatické politiky.

## **Energetická efektívnosť**

Energetická efektívnosť patrí medzi základné piliere balíka Fit for 55. Európska únia vychádza z princípu „Energy Efficiency First“, podľa ktorého je najlacnejšou a najekologickejšou energiou energia, ktorú nie je potrebné vyrobiť ani spotrebovať.

Fit for 55 preto prináša sprísnenie požiadaviek na energetickú hospodárnosť budov a podporuje rozsiahle energetické renovácie existujúceho stavebného fondu. Členské štáty sú motivované prijímať opatrenia vedúce k znižovaniu spotreby energie v budovách, modernizácii technických systémov a zlepšovaniu tepelnej ochrany obálky budov.

Tieto opatrenia majú významný potenciál na znižovanie prevádzkových emisií a predstavujú jeden z najefektívnejších nástrojov dekarbonizácie stavebného sektora.

## **Obnoviteľné zdroje energie**

Ďalšou prioritou balíka Fit for 55 je zvýšenie podielu obnoviteľných zdrojov energie (OZE) v energetickom mixe Európskej únie. Súčasťou opatrení je revízia smernice o obnoviteľných zdrojoch energie (RED), ktorá stanovuje ambicióznejšie ciele pre využívanie energie z obnoviteľných zdrojov.

V sektore budov sa podpora OZE prejavuje najmä prostredníctvom:

- rozširovania fotovoltických systémov,
- využívania tepelných čerpadiel,
- podpory geotermálnej energie,
- využívania solárnych termických systémov,
- integrácie obnoviteľných zdrojov do nových aj existujúcich budov.

Zvyšovanie podielu obnoviteľných zdrojov energie umožňuje výrazne znižovať prevádzkové emisie budov a vytvára základ pre rozvoj budov s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB).

## **Význam opatrení pre nízkouhlíkové budovy**

Kombinácia reformy ETS, zavedenia systému ETS II, sprísňovania energetických požiadaviek a podpory obnoviteľných zdrojov energie vytvára komplexný rámec na transformáciu stavebného sektora. Tieto opatrenia motivujú investorov, projektantov a vlastníkov budov k využívaniu energeticky efektívnych technológií, realizácii renovácií a výstavbe budov s minimálnou uhlíkovou stopou.

Balík Fit for 55 tak predstavuje jeden z najvýznamnejších legislatívnych nástrojov podporujúcich rozvoj nízkouhlíkových budov a dosahovanie klimateckej neutrality Európskej únie do roku 2050.

#### **4.3.2 Dopad stratégií na budovy**

Opatrenia prijaté v rámci balíka Fit for 55 budú mať významný vplyv na celý stavebný sektor a zásadným spôsobom ovplyvnia navrhovanie, výstavbu, obnovu aj prevádzku budov v Európskej únii. Sprísňovanie klimateckých a energetických požiadaviek vytvára tlak na znižovanie emisií skleníkových plynov a urýchljuje transformáciu smerom k energeticky efektívnym a nízkouhlíkovým budovám.

Jedným z najvýznamnejších dôsledkov implementácie balíka Fit for 55 je očakávaný rast cien fosílnych palív. Rozšírenie systému obchodovania s emisnými kvótami prostredníctvom ETS II zvyšuje náklady spojené s využívaním zemného plynu, vykurovacieho oleja a ďalších fosílnych zdrojov energie. Vyššie prevádzkové náklady budú motivovať vlastníkov budov k hľadaniu efektívnejších a ekologickejších alternatív vykurovania a prípravy teplej vody.

V dôsledku rastúcich cien energie sa zároveň očakáva väčší tlak na renovácie existujúceho stavebného fondu. Veľká časť budov v Európe bola postavená v období s nižšími energetickými štandardmi a vyznačuje sa vysokou spotrebou energie. Energetické obnovy budov sa preto stávajú jedným z najefektívnejších spôsobov znižovania prevádzkových nákladov a emisií skleníkových plynov. Očakáva sa výrazný nárast investícií do zateplovania budov, výmeny okien, modernizácie technických systémov a zavádzania inteligentných technológií riadenia budov.

Významným trendom bude aj rýchlejší prechod na tepelné čerpadlá. Európska únia podporuje postupné obmedzovanie využívania fosílnych palív v budovách a elektrifikáciu vykurovania. Tepelné čerpadlá predstavujú jednu z najperspektívnejších technológií, pretože umožňujú efektívne využívať energiu z okolitého prostredia a pri kombinácii s obnoviteľnou elektrickou energiou dosahujú veľmi nízke emisie. Predpokladá sa, že ich podiel v nových aj rekonštruovaných budovách bude v nasledujúcich rokoch výrazne narastať.

Ďalším dôsledkom Fit for 55 bude vyšší podiel fotovoltických systémov na budovách. Európska únia považuje lokálnu výrobu elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov za kľúčový nástroj dekarbonizácie. V dôsledku legislatívnych zmien a rastúcich cien elektrickej energie sa očakáva rozširovanie fotovoltických inštalácií na strechách obytných, administratívnych aj priemyselných budov. Fotovoltika bude čoraz častejšie kombinovaná s batériovými úložiskami, inteligentnými systémami riadenia a elektromobilitou.

Balík Fit for 55 zároveň podporuje širšie využívanie energeticky efektívnych technológií, inteligentných systémov riadenia budov a obnoviteľných zdrojov energie. Tieto opatrenia prispievajú k postupnému znižovaniu prevádzkových emisií a vytvoria predpoklady na prechod k budovám s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB), ktoré sa stanú novým štandardom európskeho stavebníctva.

Z pohľadu vlastníkov a investorov bude implementácia Fit for 55 znamenať potrebu zohľadňovať environmentálne a energetické aspekty už v počiatočných fázach projektovania a investičného rozhodovania. Budovy s vysokou energetickou náročnosťou budú postupne strácať konkurencieschopnosť a ich prevádzka bude ekonomicky menej výhodná. Naopak, energeticky efektívne a nízkouhlíkové budovy získajú vyššiu trhovú hodnotu, lepšiu investičnú atraktivitu a väčšiu odolnosť voči budúcim legislatívnym a ekonomickým zmenám.

Fit for 55 tak predstavuje významný katalyzátor transformácie stavebného sektora, ktorý urýchljuje prechod k energeticky efektívnym, nízkouhlíkovým a klimatecky neutrálnym budovám v celej Európskej únii.

## 4.4 Smernica o energetickej hospodárnosti budov (EPBD)

Smernica o energetickej hospodárnosti budov (Energy Performance of Buildings Directive – EPBD) predstavuje jeden z najvýznamnejších legislatívnych nástrojov Európskej únie v oblasti energetickej efektívnosti budov. Jej cieľom je znižovať energetickú náročnosť stavebného fondu, podporovať využívanie obnoviteľných zdrojov energie a prispievať k dosahovaniu klimatických cieľov Európskej únie.

Vznik smernice EPBD bol reakciou na rastúcu spotrebu energie v budovách a potrebu znižovať emisie skleníkových plynov v sektore, ktorý patrí medzi najvýznamnejších spotrebiteľov energie v Európe. Od svojho prijatia prešla smernica viacerými významnými revíziami, ktoré postupne sprísňovali požiadavky na energetickú hospodárnosť budov a rozširovali jej pôsobnosť.

Prvá verzia smernice EPBD bola prijatá v roku 2002 ako smernica 2002/91/ES. Jej hlavným cieľom bolo vytvoriť jednotný rámec pre hodnotenie energetickej hospodárnosti budov v členských štátoch Európskej únie. Zaviedla základné požiadavky na energetickú certifikáciu budov, pravidelnú kontrolu technických zariadení a stanovila povinnosť určovať energetickú hospodárnosť nových aj existujúcich budov.

Významným míľnikom bola revízia smernice prijatá v roku 2010 pod označením 2010/31/EÚ. Táto verzia zaviedla koncept budov s takmer nulovou potrebou energie (Nearly Zero Energy Buildings – nZEB), ktoré sa mali stať štandardom pre novú výstavbu. Členské štáty boli povinné vytvoriť národné plány na zavedenie nZEB a zabezpečiť postupné zvyšovanie energetickej efektívnosti budov.

Ďalšia významná aktualizácia bola prijatá v roku 2018 prostredníctvom smernice 2018/844/EÚ. Táto revízia reagovala na ciele Európskej energetickej únie a Európskej zelenej dohody. Posilnila požiadavky na renováciu existujúceho stavebného fondu, podporila inteligentné technológie v budovách a zaviedla koncept ukazovateľa pripravenosti budovy na inteligentné riešenia (Smart Readiness Indicator – SRI). Zároveň zdôraznila význam dlhodobých stratégií obnovy budov ako nástroja na znižovanie emisií skleníkových plynov.

Najnovšou etapou EPBD je smernica 2024/1275/EÚ, ktorá predstavuje zásadný krok smerom k dekarbonizácii stavebného sektora. Nová verzia smernice je úzko prepojená s Európskou zelenou dohodou a balíkom Fit for 55 a vytvára legislatívny základ pre prechod na budovy s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB). Zavádza nové požiadavky na energetickú hospodárnosť budov, podporuje hodnotenie uhlíkovej stopy počas životného cyklu a stanovuje rámec pre postupné odstraňovanie fosílnych palív z budov.

Vývoj smernice EPBD odráža postupnú transformáciu európskej energetickej politiky. Kým pôvodné verzie sa zameriavali najmä na znižovanie spotreby energie počas prevádzky budov, súčasné smerovanie kladie dôraz aj na znižovanie uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu stavby, integráciu obnoviteľných zdrojov energie a rozvoj inteligentných technológií.

Pre stavebný sektor predstavuje EPBD základný legislatívny rámec, ktorý určuje minimálne požiadavky na energetickú hospodárnosť budov v Európskej únii. Jej postupné sprísňovanie významne ovplyvnilo vývoj energetickej efektívnosti budov, podporilo rozvoj nízkouhlíkových technológií a vytvorilo podmienky pre prechod k budovám s nulovými emisiami ako novému štandardu európskeho stavebníctva.

### Hlavné ciele

Smernica o energetickej hospodárnosti budov (EPBD) predstavuje základný legislatívny nástroj Európskej únie na zvyšovanie energetickej efektívnosti budov a znižovanie emisií skleníkových plynov v stavebnom sektore. Jej hlavným cieľom je zabezpečiť postupnú transformáciu európskeho stavebného fondu smerom k budovám s minimálnou spotrebou energie a nízkou uhlíkovou stopou. Prostredníctvom jednotného regulačného rámca vytvára podmienky na znižovanie energetickej náročnosti nových aj existujúcich budov a podporuje dosahovanie klimatických cieľov Európskej únie.

Medzi hlavné ciele smernice EPBD patria stanovenie minimálnych energetických požiadaviek, zavedenie energetickej certifikácie budov, implementácia štandardu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a postupný prechod na budovy s nulovými emisiami (ZEB).

### **Minimálne energetické požiadavky**

Jedným zo základných cieľov smernice je zabezpečiť, aby všetky nové budovy a významne obnovované objekty spĺňali minimálne požiadavky na energetickú hospodárnosť. Tieto požiadavky stanovujú členské štáty na základe spoločných metodických princípov definovaných Európskou úniou.

Energetické požiadavky sa týkajú najmä:

- tepelnoizolačných vlastností obálky budovy,
- energetickej účinnosti technických systémov,
- spotreby primárnej energie,
- využívania obnoviteľných zdrojov energie,
- kvality vnútorného prostredia.

Pravidelné sprísňovanie týchto požiadaviek vedie k postupnému znižovaniu energetickej náročnosti nových budov a podporuje rozvoj energetickej efektívnych technológií.

### **Energetická certifikácia budov**

Významným nástrojom smernice EPBD je systém energetickej certifikácie budov. Energetický certifikát poskytuje objektívne informácie o energetickej hospodárnosti budovy a umožňuje porovnávať jednotlivé objekty z hľadiska ich energetickej efektívnosti.

Certifikácia hodnotí najmä:

- spotrebu energie,
- potrebu primárnej energie,
- emisie CO<sub>2</sub>,
- energetickú triedu budovy.

Energetický certifikát je povinný pri novostavbách, významných obnovách, predaji alebo prenájme budov. Jeho cieľom je zvýšiť transparentnosť trhu s nehnuteľnosťami a motivovať vlastníkov k zlepšovaniu energetických parametrov budov.

### **Povinnosť budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB)**

Jedným z najvýznamnejších opatrení smernice EPBD bolo zavedenie konceptu budov s takmer nulovou potrebou energie (Nearly Zero Energy Buildings – nZEB). Tento štandard predstavuje budovy s veľmi vysokou energetickou hospodárnosťou, ktorých potreba energie je minimálna a vo významnej miere pokrytá z obnoviteľných zdrojov energie.

V súlade so smernicou boli členské štáty povinné zabezpečiť, aby všetky nové budovy spĺňali štandard nZEB. Na Slovensku sa táto požiadavka premietla do energetickej triedy A0, ktorá je od roku 2021 povinná pre všetky nové budovy.

Zavedenie štandardu nZEB významne prispelo k znižovaniu prevádzkových emisií budov a vytvorilo základ pre ďalšie sprísňovanie požiadaviek na energetickú hospodárnosť.

### **Postupný prechod na budovy s nulovými emisiami (ZEB)**

Najnovšou prioritou smernice EPBD je postupný prechod od budov s takmer nulovou potrebou energie k budovám s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB). Tento koncept predstavuje novú generáciu budov, ktoré sa vyznačujú veľmi nízkou spotrebou energie, minimálnymi emisiami skleníkových plynov a vysokým podielom obnoviteľných zdrojov energie.

Budovy s nulovými emisiami budú postupne nahrádzať súčasný štandard nZEB a stanú sa novým referenčným rámcom pre výstavbu v Európskej únii. Ich cieľom je prakticky eliminovať prevádzkové emisie a významne prispieť k dosiahnutiu klimatickej neutrality do roku 2050.

### **Význam cieľov EPBD pre nízkouhlíkové budovy**

Ciele smernice EPBD vytvárajú základný legislatívny rámec pre rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva v Európe. Prostredníctvom sprísňovania energetických požiadaviek, energetickej certifikácie, zavádzania štandardu nZEB a prechodu na budovy s nulovými emisiami smernica

podporuje znižovanie spotreby energie, redukciu emisií skleníkových plynov a širšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie.

EPBD tak predstavuje jeden z najvýznamnejších nástrojov Európskej únie na transformáciu stavebného sektora smerom k energeticky efektívnym, nízkouhlíkovým a klimaticky neutrálnym budovám.

## **4.5 Budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB)**

### **4.5.1 Definícia**

Budovy s takmer nulovou potrebou energie (Nearly Zero Energy Buildings – nZEB) predstavujú významný medzistupeň na ceste k budovám s nulovými emisiami a patria medzi základné nástroje Európskej únie na znižovanie energetickej náročnosti stavebného sektora. Koncept nZEB bol zavedený smernicou o energetickej hospodárnosti budov (EPBD) s cieľom výrazne obmedziť spotrebu energie v nových budovách a podporiť využívanie obnoviteľných zdrojov energie.

Podľa smernice EPBD je budova s takmer nulovou potrebou energie charakterizovaná ako budova s veľmi vysokou energetickou hospodárnosťou, pri ktorej je veľmi nízka potreba energie vo významnej miere pokrytá energiou z obnoviteľných zdrojov, vrátane energie vyrobenej priamo na mieste alebo v jeho blízkosti.

Základné princípy budov nZEB možno zhrnúť nasledovne:

- minimálna potreba energie na prevádzku budovy,
- významný podiel energie z obnoviteľných zdrojov.

Dosiahnutie štandardu nZEB si vyžaduje kombináciu viacerých technických a architektonických opatrení. Kľúčovú úlohu zohráva kvalitná tepelná ochrana obálky budovy, vysoká vzduchotesnosť, eliminácia tepelných mostov a využívanie energeticky efektívnych technických systémov. Súčasne je nevyhnutné integrovať obnoviteľné zdroje energie, ktoré zabezpečujú významnú časť energetickej potreby budovy.

Medzi najčastejšie využívané obnoviteľné zdroje energie v budovách nZEB patria:

- fotovoltaické systémy,
- solárne termické kolektory,
- tepelné čerpadlá,
- geotermálna energia,
- biomasa.

Významnou charakteristikou nZEB je dôraz na znižovanie potreby energie ešte pred jej výrobou. Prioritou je preto optimalizácia architektonického návrhu, orientácie budovy, využívania denného svetla a pasívnych solárnych ziskov. Až následne sa rieši pokrytie zostávajúcej energetickej potreby prostredníctvom obnoviteľných zdrojov energie.

Na Slovensku bol štandard nZEB implementovaný do národnej legislatívy prostredníctvom požiadaviek na energetickú hospodárnosť budov. Od roku 2021 musia všetky nové budovy spĺňať energetickú triedu A0, ktorá predstavuje slovenský ekvivalent budov s takmer nulovou potrebou energie. Táto požiadavka sa vzťahuje na obytné aj neobytné budovy a stanovuje prísne limity na potrebu primárnej energie a podiel obnoviteľných zdrojov.

Budovy nZEB prinášajú viacero významných prínosov. Okrem znižovania spotreby energie a prevádzkových nákladov prispievajú k redukcii emisií skleníkových plynov, zvyšujú energetickú bezpečnosť a zlepšujú kvalitu vnútorného prostredia. Zároveň vytvárajú dôležitý základ pre ďalší rozvoj budov s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB), ktoré predstavujú ďalší krok v transformácii stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite.

Z pohľadu legislatívy Európskej únie predstavuje koncept nZEB jeden z najvýznamnejších míľnikov v oblasti energetickej hospodárnosti budov. Jeho implementácia významne prispela k znižovaniu energetickej náročnosti novostavieb a vytvorila podmienky pre postupný prechod k nízkouhlíkovým a klimaticky neutrálnym budovám budúcnosti.



## 4.5.2 Požiadavky

Budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) musia spĺňať súbor technických a energetických požiadaviek stanovených európskou a národnou legislatívou. Cieľom týchto požiadaviek je zabezpečiť vysokú energetickú efektívnosť budov, minimalizovať ich prevádzkovú spotrebu energie a podporiť využívanie obnoviteľných zdrojov energie. V Slovenskej republike sú požiadavky na budovy nZEB implementované prostredníctvom predpisov upravujúcich energetickú hospodárnosť budov.

Základnou charakteristikou budovy nZEB je veľmi nízka potreba energie počas prevádzky, ktorá je vo významnej miere pokrytá energiou z obnoviteľných zdrojov. Splnenie tohto cieľa si vyžaduje kombináciu kvalitného architektonického návrhu, efektívnych technických systémov a využívania nízkoemisných zdrojov energie.

### Energetická trieda A0

Jednou zo základných požiadaviek na nové budovy je dosiahnutie energetickej triedy **A0**, ktorá predstavuje najvyšší štandard energetickej hospodárnosti budov v Slovenskej republike. Energetická trieda A0 je povinná pre všetky novostavby od roku 2021 a vyjadruje veľmi nízku potrebu primárnej energie počas prevádzky budovy.

Dosiahnutie tejto úrovne si vyžaduje:

- kvalitnú tepelnú ochranu obálky budovy,
- vysokú vzduchotesnosť konštrukcie,
- elimináciu tepelných mostov,
- energeticky efektívne technické systémy,
- optimalizáciu energetických tokov.

Energetická trieda A0 predstavuje praktickú implementáciu požiadaviek smernice EPBD na budovy s takmer nulovou potrebou energie.

Využívanie obnoviteľných zdrojov energie

Ďalšou dôležitou požiadavkou je využívanie obnoviteľných zdrojov energie (OZE). Energia potrebná na prevádzku budovy by mala byť v čo najväčšej miere zabezpečená z obnoviteľných zdrojov, ktoré znižujú závislosť od fosílnych palív a prispievajú k redukcii emisií skleníkových plynov.

Najčastejšie využívané zdroje obnoviteľnej energie zahŕňajú:

- fotovoltaické systémy,
- solárne termické kolektory,
- tepelné čerpadlá,
- geotermálnu energiu,
- biomasu.

Integrácia obnoviteľných zdrojov energie umožňuje výrazne znižovať prevádzkové emisie budovy a predstavuje základný predpoklad pre splnenie požiadaviek nZEB.

### Nízka spotreba primárnej energie

Jedným z najdôležitejších ukazovateľov energetickej hospodárnosti budov je potreba primárnej energie. Primárna energia predstavuje celkové množstvo energie potrebné na výrobu, prenos a dodávku energie využíanej v budove.

Budovy nZEB musia dosahovať veľmi nízke hodnoty potreby primárnej energie, čo si vyžaduje:

- minimalizáciu energetických strát,
- využívanie vysoko účinných technických zariadení,
- efektívne systémy vykurovania, chladenia a vetrania,
- inteligentné riadenie spotreby energie.

Nízka potreba primárnej energie zabezpečuje nielen nižšie prevádzkové náklady, ale aj výrazné zníženie uhlíkovej stopy budovy počas jej prevádzky.

### Význam požiadaviek nZEB

Požiadavky na budovy s takmer nulovou potrebou energie predstavujú významný krok smerom k dekarbonizácii stavebného sektora. Ich implementácia vedie k zníženiu spotreby energie, redukcii emisií skleníkových plynov a vyššiemu využívaniu obnoviteľných zdrojov energie. Súčasne vytvárajú technologický a legislatívny základ pre ďalší vývoj smerom k budovám s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB), ktoré sa v budúcnosti stanú novým štandardom európskeho stavebníctva. Budovy nZEB tak predstavujú dôležitý medzistupeň na ceste ku klimatickej neutralite a udržateľnému rozvoju stavebného sektora.

### **4.5.3 Zavedenie v Slovenskej republike**

Požiadavky na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) boli na Slovensku implementované v súlade so smernicou Európskej únie o energetickej hospodárnosti budov (EPBD). Cieľom zavedenia tohto štandardu bolo postupné znížovanie energetickej náročnosti nových budov, podpora využívania obnoviteľných zdrojov energie a redukcia emisií skleníkových plynov v stavebnom sektore.

Významným míľnikom v oblasti energetickej hospodárnosti budov sa stal 1. január 2021, od ktorého musia všetky nové budovy na území Slovenskej republiky spĺňať požiadavky energetickej triedy A0. Táto povinnosť sa vzťahuje na nové rodinné domy, bytové budovy, administratívne objekty, občianske stavby aj ostatné druhy novostavieb.

Energetická trieda A0 predstavuje najvyšší stupeň energetickej hospodárnosti budov podľa slovenskej legislatívy a zodpovedá konceptu budov s takmer nulovou potrebou energie. Budovy zaradené do tejto triedy sa vyznačujú veľmi nízkou potrebou primárnej energie a významným využívaním obnoviteľných zdrojov energie.

Dosiahnutie štandardu A0 si vyžaduje kombináciu viacerých opatrení, medzi ktoré patria:

- kvalitná tepelná izolácia obvodových konštrukcií,
- vysokoúčinné okná a dvere,
- eliminácia tepelných mostov,
- riadené vetranie s rekuperáciou tepla,
- energeticky efektívne vykurovacie systémy,
- využívanie obnoviteľných zdrojov energie.

V praxi sa pri nových budovách najčastejšie využívajú tepelné čerpadlá, fotovoltické systémy, solárne kolektory alebo kombinácie viacerých obnoviteľných zdrojov energie. Tieto technológie umožňujú znížovať potrebu primárnej energie a súčasne redukovať emisie skleníkových plynov počas prevádzky budovy.

Zavedenie energetickej triedy A0 prinieslo významné zmeny do procesu navrhovania a realizácie budov na Slovensku. Projektanti musia venovať väčšiu pozornosť energetickej optimalizácii budov už v počiatkových fázach návrhu, pričom sa kladie dôraz na integrovaný prístup spájajúci architektonické riešenia, technické systémy a obnoviteľné zdroje energie.

Významným prínosom zavedenia štandardu A0 je znížovanie prevádzkových nákladov budov, vyšší komfort vnútorného prostredia a nižšia závislosť od fosílnych palív. Z environmentálneho hľadiska prispieva tento štandard k redukcii emisií oxidu uhličitého a podporuje plnenie klimatických záväzkov Slovenskej republiky a Európskej únie.

Štandard A0 zároveň predstavuje prechodnú etapu smerom k budovám s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB), ktoré budú v nasledujúcich rokoch postupne implementované na základe novej smernice EPBD. Zavedenie požiadaviek nZEB tak vytvorilo dôležitý základ pre ďalší rozvoj nízkouhlíkového a klimaticky neutrálneho stavebníctva na Slovensku.

## **4.6 Budovy s nulovými emisiami (ZEB)**

### **4.6.1 Nový štandard EÚ**

Budovy s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB) predstavujú novú generáciu energeticky efektívnych budov, ktorá nadväzuje na koncept budov s takmer nulovou potrebou

energie (nZEB). Zavedenie štandardu ZEB vyplýva z najnovšej revízie smernice o energetickej hospodárnosti budov (EPBD 2024/1275/EÚ) a predstavuje jeden z najdôležitejších krokov Európskej únie na ceste ku klimatickej neutralite do roku 2050.

Cieľom konceptu ZEB je minimalizovať energetickú náročnosť budov a zároveň eliminovať emisie skleníkových plynov vznikajúce počas ich prevádzky. Na rozdiel od štandardu nZEB, ktorý sa sústreďoval predovšetkým na znižovanie potreby energie a využívanie obnoviteľných zdrojov, budovy s nulovými emisiami kladú dôraz aj na úplné odstránenie priamych emisií z fosílnych palív.

Budova typu ZEB sa vyznačuje tromi základnými charakteristikami:

- nulové priame emisie fosílnych palív,
- veľmi nízka potreba energie,
- vysoký podiel obnoviteľných zdrojov energie.

Jednou z hlavných požiadaviek je eliminácia využívania fosílnych palív počas prevádzky budovy. To znamená, že nové budovy by nemali využívať kotly na uhlie, vykurovací olej ani zemný plyn ako hlavný zdroj energie. Namiesto toho sa predpokladá využívanie elektrifikovaných systémov vykurovania, najmä tepelných čerpadiel, doplnených o energiu z obnoviteľných zdrojov.

Ďalšou charakteristikou je veľmi nízka potreba energie. Budovy ZEB musia byť navrhnuté tak, aby ich energetická náročnosť bola minimálna. Dosahuje sa to prostredníctvom kvalitnej tepelnej ochrany obálky budovy, vysokej vzduchotesnosti, eliminácie tepelných mostov, využívania pasívnych architektonických princípov a implementácie vysoko účinných technických systémov.

Významnú úlohu zohráva aj vysoký podiel obnoviteľných zdrojov energie. Potreba energie musí byť v maximálnej možnej miere pokrytá energiou z obnoviteľných zdrojov, ako sú:

- fotovoltaické systémy,
- solárne termické kolektory,
- tepelné čerpadlá,
- geotermálna energia,
- komunitné obnoviteľné energetické systémy.

Vďaka kombinácii týchto opatrení dosahujú budovy ZEB minimálnu uhlíkovú stopu počas prevádzky a významne prispievajú k plneniu klimatických cieľov Európskej únie.

Zavedenie štandardu ZEB predstavuje zásadnú zmenu v prístupe k navrhovaniu budov. Kým pri štandarde nZEB bola hlavnou prioritou energetická efektívnosť, pri budovách s nulovými emisiami sa dôraz presúva na úplnú dekarbonizáciu prevádzky. Súčasne rastie význam hodnotenia uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy vrátane zabudovaného uhlíka stavebných materiálov.

Budovy s nulovými emisiami sa postupne stanú novým štandardom európskeho stavebníctva. Ich rozvoj bude podporovaný legislatívnymi požiadavkami, finančnými nástrojmi a technologickými inováciami, pričom budú predstavovať základný prvok transformácie stavebného sektora smerom ku klimaticky neutrálnej budúcnosti.

#### **4.6.2 Harmonogram zavádzania ZEB**

Zavedenie budov s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB) predstavuje jeden z najvýznamnejších legislatívnych krokov Európskej únie v oblasti dekarbonizácie stavebného sektora. Harmonogram implementácie bol stanovený v rámci novej smernice o energetickej hospodárnosti budov (EPBD 2024/1275/EÚ) a určuje postupný prechod od súčasného štandardu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) k budovám s nulovými emisiami. Cieľom postupného zavádzania je poskytnúť členským štátom, projektantom, investorom a stavebnému sektoru dostatočný čas na adaptáciu na nové technické a legislatívne požiadavky. Harmonogram zároveň umožňuje rozvoj potrebných technológií, obnoviteľných zdrojov energie a systémov hodnotenia energetickej a environmentálnej výkonnosti budov.

Prvá etapa implementácie sa týka verejných budov.

### Od roku 2028 – nové verejné budovy

Od roku 2028 budú musieť všetky nové budovy vo vlastníctve alebo užívaní verejných orgánov spĺňať štandard budovy s nulovými emisiami (ZEB). Cieľom tohto opatrenia je vytvoriť príklad dobrej praxe pre súkromný sektor, urýchliť zavádzanie nízkouhlíkových technológií, podporiť rozvoj trhu s energeticky efektívnymi riešeniami a zároveň znižovať prevádzkové náklady verejných budov. Významným prínosom bude aj podpora plnenia klimatických cieľov Európskej únie.

Verejný sektor tak bude zohrávať významnú úlohu pri transformácii stavebníctva a vytváraní dopytu po technológiách a materiáloch potrebných na dosiahnutie nulových emisií.

### Od roku 2030 – všetky nové budovy

Od roku 2030 sa požiadavka na budovy s nulovými emisiami rozšíri na všetky nové budovy bez ohľadu na ich účel alebo vlastníctvo. Povinnosť sa bude vzťahovať na rodinné domy, bytové budovy, administratívne objekty, obchodné priestory, priemyselné budovy aj ostatné občianske stavby.

Nové budovy budú musieť dosahovať veľmi vysokú energetickú hospodárnosť, minimalizovať potrebu energie a využívať obnoviteľné zdroje energie v maximálnej možnej miere. Súčasne sa bude klásť dôraz na elimináciu priamych emisií z fosílnych palív a postupne aj na hodnotenie uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy.

### Význam harmonogramu pre stavebný sektor

Stanovenie konkrétnych termínov vytvára pre stavebný sektor jasný rámec pre plánovanie budúcich investícií a technologického rozvoja. Projektanti, developeri, výrobcovia stavebných materiálov aj dodávatelia technických zariadení získavajú dostatočný čas na prispôbenie svojich procesov novým požiadavkám.

Očakáva sa, že implementácia štandardu ZEB povedie k širšiemu využívaniu tepelných čerpadiel a fotovoltických systémov, k vyššiemu podielu obnoviteľných zdrojov energie, k znižovaniu spotreby energie v budovách, k využívaniu nízkouhlíkových stavebných materiálov a k rozvoju inteligentných systémov riadenia budov.

Postupný prechod na budovy s nulovými emisiami predstavuje jeden z najdôležitejších krokov na ceste k dosiahnutiu klimateckej neutrality Európskej únie do roku 2050. Súčasne vytvára podmienky pre vznik modernejšieho, energeticky efektívnejšieho a environmentálne udržateľnejšieho stavebného sektora.

## 4.6.3 Rozdiel medzi nZEB a ZEB

Budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB) predstavujú dva po sebe nasledujúce stupne vývoja energeticky efektívnych budov v legislatíve Európskej únie. Hoci oba koncepty smerujú k znižovaniu energetickej náročnosti a emisií skleníkových plynov, medzi nimi existujú významné rozdiely, predovšetkým v oblasti využívania fosílnych palív a požadovanej úrovne dekarbonizácie.

Štandard nZEB bol zavedený smernicou EPBD ako prechodné riešenie na ceste k nízkouhlíkovému stavebníctvu. Jeho cieľom je dosahovať veľmi vysokú energetickú hospodárnosť pri významnom využívaní obnoviteľných zdrojov energie. Naproti tomu koncept ZEB predstavuje novú generáciu budov, ktoré smerujú k úplnej eliminácii prevádzkových emisií a k odstráneniu závislosti od fosílnych palív (Tabuľka 5).

**Tabuľka 5** Základné rozdiely medzi oboma štandardmi

| Kritérium                  | nZEB           | ZEB                               |
|----------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Fosílna palivá             | možné využitie | zakázané alebo minimálne využitie |
| Emisie                     | veľmi nízke    | nulové prevádzkové emisie         |
| Obnoviteľné zdroje energie | vysoký podiel  | dominantný podiel                 |
| Povinnosť v SR             | od roku 2021   | od roku 2030 (v súlade s EPBD)    |

Najvýznamnejší rozdiel spočíva v prístupe k fosílnym palivám. Budovy nZEB môžu za určitých podmienok využívať zemný plyn alebo iné fosílné zdroje energie, pokiaľ spĺňajú požiadavky na energetickú hospodárnosť a podiel obnoviteľných zdrojov energie. Naopak, budovy ZEB smerujú k úplnému odstráneniu fosílnych palív z prevádzky budovy a preferujú elektrifikované systémy vykurovania a prípravy teplej vody využívajúce obnoviteľné zdroje energie.

Rozdielny je aj prístup k emisiám skleníkových plynov. Kým budovy nZEB dosahujú veľmi nízke prevádzkové emisie, pri budovách ZEB je cieľom dosiahnuť nulové prevádzkové emisie alebo ich hodnotu čo najbližšiu nule. To si vyžaduje kombináciu veľmi nízkej potreby energie a intenzívneho využívania obnoviteľných zdrojov.

Ďalším rozdielom je úloha obnoviteľných zdrojov energie. Pri budovách nZEB tvoria obnoviteľné zdroje významnú časť energetickej bilancie budovy, zatiaľ čo pri budovách ZEB predstavujú dominantný zdroj energie. Fotovoltické systémy, tepelné čerpadlá, geotermálne zdroje a ďalšie obnoviteľné technológie sa tak stávajú nevyhnutnou súčasťou návrhu budov s nulovými emisiami.

Z legislatívneho hľadiska predstavuje štandard nZEB aktuálnu požiadavku pre nové budovy na Slovensku od roku 2021 prostredníctvom energetickej triedy A0. V súlade s novou smernicou EPBD sa však očakáva, že od roku 2030 budú všetky nové budovy musieť spĺňať požiadavky štandardu ZEB.

Prechod od nZEB k ZEB predstavuje prirodzený vývoj smerom k plnej dekarbonizácii stavebného sektora. Zatiaľ čo nZEB významne znižuje energetickú náročnosť a emisie budov, ZEB vytvára predpoklady pre dosiahnutie klimatickej neutrality a napĺňanie dlhodobých cieľov Európskej únie v oblasti ochrany klímy. Budovy s nulovými emisiami sa preto stanú novým štandardom výstavby v Európe a budú predstavovať základ budúceho udržateľného stavebníctva.

## 4.7 Renovation Wave

Renovation Wave (Vlna obnovy budov) predstavuje jednu z najvýznamnejších iniciatív Európskej komisie v oblasti energetickej efektívnosti a dekarbonizácie stavebného sektora. Bola predstavená v roku 2020 ako súčasť Európskej zelenej dohody (European Green Deal) s cieľom urýchliť obnovu existujúceho stavebného fondu a významne prispieť k znižovaniu emisií skleníkových plynov v Európskej únii. Vznik tejto iniciatívy vychádza zo skutočnosti, že približne 85 % budov v Európe bolo postavených pred rokom 2000 a veľká časť z nich nesplňa súčasné požiadavky na energetickú hospodárnosť. Mnohé budovy sa vyznačujú vysokou spotrebou energie, nízkou kvalitou tepelnej ochrany a zastaranými technickými systémami. Keďže nové budovy predstavujú iba malú časť stavebného fondu, dosiahnutie klimatických cieľov Európskej únie nie je možné bez rozsiahlej obnovy existujúcich objektov. Hlavným cieľom iniciatívy Renovation Wave je zdvojnásobiť tempo renovácií budov do roku 2030. Zvýšenie počtu a kvality renovácií má prispieť k znižovaniu energetickej náročnosti budov, redukcii emisií skleníkových plynov a zlepšovaniu kvality vnútorného prostredia. Európska komisia zároveň predpokladá, že rozsiahle obnovy budov podporia hospodársky rast, vytvoria nové pracovné miesta a prispedia k rozvoju stavebného sektora.

Iniciatíva Renovation Wave sa zameriava najmä na:

- zvyšovanie energetickej efektívnosti budov,
- znižovanie emisií skleníkových plynov,
- integráciu obnoviteľných zdrojov energie,
- modernizáciu technických systémov budov,
- zlepšovanie kvality vnútorného prostredia,
- boj proti energetickej chudobe,
- podporu digitálnych a inteligentných technológií.

Osobitná pozornosť je venovaná budovám s najhoršou energetickou hospodárnosťou, ktoré predstavujú najväčší potenciál na úsporu energie a znižovanie emisií. Program zároveň podporuje obnovu verejných budov, škôl, nemocníc, bytových domov a sociálneho bývania. Významným aspektom Renovation Wave je prepojenie energetických renovácií s princípmi udržateľnosti. Moderné obnovy budov by nemali riešiť iba znižovanie spotreby energie, ale aj využívanie nízkouhlíkových stavebných materiálov, podporu obehového hospodárstva, adaptáciu na klimatické zmeny a zlepšovanie kvality života používateľov budov. Iniciatíva zároveň vytvára dôležité prepojenie medzi energetickou hospodárnosťou budov a cieľmi klimatickej neutrality. Európska komisia odhaduje, že budovy budú zohrávať rozhodujúcu úlohu pri dosahovaní cieľa zníženia emisií skleníkových plynov o 55 % do roku 2030 a klimatickej neutrality do roku 2050. Pre oblasť nízkouhlíkového stavebníctva predstavuje Renovation Wave zásadný nástroj transformácie existujúceho stavebného fondu. Vytvára podmienky na rozsiahlu modernizáciu budov, podporuje zavádzanie energeticky efektívnych technológií a urýchľuje prechod k budovám s nízkou uhlíkovou stopou. Vďaka tomu patrí medzi najvýznamnejšie iniciatívy Európskej únie v oblasti dekarbonizácie stavebného sektora.

#### **4.7.1 Prioritné oblasti**

Iniciatíva Renovation Wave sa zameriava na tie segmenty stavebného fondu, ktoré ponúkajú najväčší potenciál na znižovanie spotreby energie, redukciu emisií skleníkových plynov a zlepšovanie kvality vnútorného prostredia. Európska komisia identifikovala niekoľko prioritných oblastí, v ktorých môžu energetické renovácie priniesť najvýznamnejšie environmentálne, ekonomické a sociálne prínosy. Osobitná pozornosť je venovaná verejným budovám, bytovým domom a rodinným domom, ktoré tvoria podstatnú časť európskeho stavebného fondu a zároveň vykazujú značný potenciál energetických úspor.

##### **Verejné budovy**

Verejné budovy predstavujú jednu z hlavných priorít iniciatívy Renovation Wave. Štátne a samosprávne inštitúcie zohrávajú významnú úlohu pri vytváraní príkladu dobrej praxe a môžu významne prispieť k napĺňaniu klimatických cieľov prostredníctvom modernizácie vlastného majetku.

Medzi prioritné verejné budovy patria najmä:

- školy a vzdelávacie zariadenia,
- nemocnice a zdravotnícke zariadenia,
- administratívne budovy verejnej správy,
- kultúrne a spoločenské objekty.

Energetické renovácie týchto budov prinášajú viacero výhod. Okrem znižovania spotreby energie a prevádzkových nákladov prispievajú aj k zlepšovaniu kvality vnútorného prostredia, čo má pozitívny vplyv na zdravie, komfort a produktivitu používateľov. Modernizované školy poskytujú lepšie podmienky pre vzdelávanie a energeticky efektívne nemocnice zvyšujú kvalitu zdravotnej starostlivosti pri súčasnom znižovaní prevádzkových výdavkov.

##### **Bytové domy**

Významnou prioritou sú aj bytové domy, ktoré predstavujú podstatnú časť obytného fondu v mnohých členských štátoch Európskej únie vrátane Slovenskej republiky. Mnohé z nich boli postavené v období s nízkymi požiadavkami na energetickú hospodárnosť a vyznačujú sa vysokými tepelnými stratami a zastaranými technickými systémami.

Energetické renovácie bytových domov sa zameriavajú predovšetkým na:

- zateplenie obvodových konštrukcií,
- výmenu okien a dverí,
- modernizáciu vykurovacích systémov,
- rekonštrukciu rozvodov tepla,

- zavádzanie systémov riadeného vetrania,
- integráciu obnoviteľných zdrojov energie.

Tieto opatrenia umožňujú významne znížiť spotrebu energie, zlepšovať tepelný komfort a znížiť prevádzkové náklady domácností. Súčasne prispievajú k redukcii emisií skleníkových plynov a predlžovaniu životnosti bytových budov.

#### Rodinné domy

Treťou prioritnou oblasťou sú rodinné domy, ktoré tvoria významnú časť obytného fondu Európskej únie. Veľký počet rodinných domov bol postavený pred zavedením moderných energetických štandardov, čo sa prejavuje vysokou spotrebou energie a nízkou energetickou efektívnosťou.

Renovácie rodinných domov sa orientujú najmä na:

- zlepšenie tepelnej ochrany budovy,
- výmenu neefektívnych vykurovacích systémov,
- inštaláciu tepelných čerpadiel,
- využívanie fotovoltických systémov,
- modernizáciu prípravy teplej vody,
- inteligentné riadenie spotreby energie.

Energetické renovácie rodinných domov prinášajú vlastníkom výrazné úspory nákladov na energiu a zároveň zvyšujú hodnotu nehnuteľností. Z environmentálneho hľadiska predstavujú významný nástroj na znížovanie emisií v sektore bývania.

#### Význam prioritných oblastí

Zameranie iniciatívy Renovation Wave na verejné budovy, bytové domy a rodinné domy umožňuje efektívne využívať investície do energetických renovácií a maximalizovať ich environmentálne a sociálne prínosy. Modernizácia týchto segmentov stavebného fondu môže významne prispieť k zníženiu spotreby energie, zlepšovaniu kvality života obyvateľov a dosahovaniu cieľov klimateckej neutrality.

Pre nízkouhlíkové stavebníctvo predstavujú energetické renovácie jednu z najúčinnějších stratégií dekarbonizácie existujúcich budov. Renovation Wave tak vytvára dôležitý rámec pre transformáciu európskeho stavebného fondu smerom k energeticky efektívnym a environmentálne udržateľným budovám.

## 4.7.2 Očakávané výsledky

Iniciatíva Renovation Wave bola navrhnutá s cieľom priniesť významné environmentálne, ekonomické a sociálne prínosy pre členské štáty Európskej únie. Rozsiahla obnova existujúceho stavebného fondu má podporiť plnenie klimatických cieľov, zvýšiť energetickú efektívnosť budov a súčasne prispieť k hospodárskemu rozvoju. Očakávané výsledky presahujú rámec samotného stavebníctva a majú pozitívny vplyv na energetiku, zamestnanosť, kvalitu života obyvateľov aj konkurencieschopnosť európskeho hospodárstva.

#### Nižšia spotreba energie

Jedným z hlavných cieľov iniciatívy Renovation Wave je výrazné zníženie spotreby energie v budovách. Energetické renovácie zamerané na zateplovanie, výmenu okien, modernizáciu technických systémov a využívanie obnoviteľných zdrojov energie umožňujú dosahovať významné úspory energie počas prevádzky budov.

Znižovanie energetickej náročnosti prináša viaceré pozitívne efekty. Vedie k poklesu prevádzkových nákladov domácností aj organizácií, znižuje závislosť od dovozu energetických surovín, zvyšuje energetickú bezpečnosť a podporuje efektívnejšie využívanie dostupných energetických zdrojov.

Vzhľadom na vysoký podiel budov na celkovej spotrebe energie v Európe predstavujú energetické renovácie jeden z najúčinnějších nástrojov na dosahovanie energetických a klimatických cieľov Európskej únie.

### **Zníženie emisií CO<sub>2</sub>**

Významným očakávaným výsledkom iniciatívy je redukcia emisií skleníkových plynov, predovšetkým oxidu uhličitého. Keďže budovy patria medzi najväčších producentov emisií súvisiacich so spotrebou energie, zvyšovanie ich energetickej efektívnosti priamo prispieva k dekarbonizácii stavebného sektora.

Zníženie spotreby energie v kombinácii s využívaním obnoviteľných zdrojov energie vedie k nižším prevádzkovým emisiám budov, obmedzeniu využívania fosílnych palív a postupnému znižovaniu uhlíkovej stopy existujúceho stavebného fondu. Tieto opatrenia zároveň podporujú plnenie dlhodobého cieľa klimatickej neutrality Európskej únie.

Renovation Wave preto predstavuje jeden z najdôležitejších nástrojov Európskej únie na napĺňanie cieľov Európskej zelenej dohody a balíka Fit for 55.

### **Vznik nových pracovných miest**

Rozsiahle investície do obnovy budov vytvárajú významný potenciál pre rast zamestnanosti a hospodársky rozvoj. Energetické renovácie si vyžadujú projektové práce, stavebné činnosti, výrobu stavebných materiálov, montáž technológií, ako aj následnú prevádzku a údržbu nových systémov.

Najväčší nárast pracovných príležitostí sa očakáva v stavebníctve, výrobe stavebných materiálov, energetických službách, sektore obnoviteľných zdrojov energie, projektovaní, technickom poradenstve a v oblasti digitálnych a inteligentných technológií.

Podpora renovácií tak neprispieva iba k ochrane klímy a znižovaniu emisií, ale zároveň podporuje ekonomický rast regiónov, rozvoj odborných profesií a vytváranie nových pracovných miest v perspektívnych odvetviach hospodárstva.

### **Celkový prínos iniciatívy**

Renovation Wave predstavuje komplexný nástroj transformácie stavebného sektora, ktorý spája environmentálne, ekonomické a sociálne ciele. Očakáva sa, že rozsiahle energetické renovácie budov povedú k výraznému znižovaniu spotreby energie, redukcii emisií CO<sub>2</sub>, zlepšovaniu kvality vnútorného prostredia a vytváraní nových pracovných príležitostí.

Pre oblasť nízkouhlíkových budov predstavuje iniciatíva jeden z najdôležitejších nástrojov dekarbonizácie existujúceho stavebného fondu a významne prispieva k napĺňaniu cieľa klimatickej neutrality Európskej únie do roku 2050.

## **4.8 Taxonómia EÚ**

Taxonómia Európskej únie (EU Taxonomy) predstavuje jednotný systém klasifikácie udržateľných ekonomických činností vytvorený s cieľom podporiť prechod európskeho hospodárstva na klimaticky neutrálny a environmentálne udržateľný model rozvoja. Ide o jeden z kľúčových nástrojov Európskej zelenej dohody a politiky udržateľného financovania, ktorý poskytuje jasné pravidlá pre identifikáciu investícií prispievajúcich k environmentálnym cieľom Európskej únie.

Hlavným účelom taxonómie je vytvoriť spoločný rámec pre investorov, finančné inštitúcie, podniky a verejný sektor, ktorý umožní rozlišovať medzi udržateľnými a neudržateľnými ekonomickými aktivitami. Tým sa zvyšuje transparentnosť finančného trhu a obmedzuje riziko tzv. greenwashingu, teda situácie, keď sú investície prezentované ako ekologické bez reálneho environmentálneho prínosu.

Základnou úlohou taxonómie je určiť, ktoré ekonomické aktivity možno označiť za environmentálne udržateľné.

Podľa nariadenia Európskej únie je ekonomická činnosť považovaná za environmentálne udržateľnú vtedy, ak významne prispieva aspoň k jednému z environmentálnych cieľov EÚ, nepoškodzuje ostatné environmentálne ciele a zároveň spĺňa stanovené technické kritériá.

Taxonómia je založená na šiestich environmentálnych cieľoch:

- zmierňovanie klimatických zmien,



- adaptácia na klimatické zmeny,
- udržateľné využívanie a ochrana vodných a morských zdrojov,
- prechod na obehové hospodárstvo,
- prevencia a kontrola znečistenia,
- ochrana a obnova biodiverzity a ekosystémov.

Každá ekonomická aktivita musí zároveň spĺňať princíp „Do No Significant Harm“ (DNSH), čo znamená, že nesmie významne poškodzovať žiadny z ostatných environmentálnych cieľov.

V stavebnom sektore má taxonómia mimoriadny význam, pretože budovy patria medzi najvýznamnejších spotrebiteľov energie a zdroje emisií skleníkových plynov. Taxonómia preto stanovuje konkrétne kritériá pre:

- výstavbu nových budov,
- renovácie existujúcich budov,
- nadobúdanie a vlastníctvo budov,
- energetické modernizácie,
- využívanie obnoviteľných zdrojov energie,
- znižovanie uhlíkovej stopy stavebných projektov.

Splnenie požiadaviek taxonómie sa postupne stáva dôležitým faktorom pri získavaní financovania, investícií a úverov. Banky, investičné fondy a ďalšie finančné inštitúcie čoraz viac uprednostňujú projekty, ktoré spĺňajú kritériá environmentálnej udržateľnosti definované taxonómiou EÚ.

Pre nízkouhlíkové budovy predstavuje taxonómia významný nástroj podpory udržateľného stavebníctva. Motivuje investorov a developerov k realizácii projektov s nízkou uhlíkovou stopou, vysokou energetickou efektívnosťou a významným využívaním obnoviteľných zdrojov energie. Súčasne podporuje implementáciu princípov obehového hospodárstva, hodnotenia životného cyklu budov a ESG kritérií.

Taxonómia EÚ sa tak stáva jedným z najvýznamnejších regulačných nástrojov ovplyvňujúcich budúci rozvoj stavebného sektora a zohráva kľúčovú úlohu pri smerovaní investícií do projektov podporujúcich klimatickú neutralitu a udržateľný rozvoj Európskej únie.

#### **4.8.1 Význam taxonómie v stavebníctve**

Taxonómia Európskej únie má významný vplyv na oblasť stavebníctva a nehnuteľností, pretože stanovuje kritériá, na základe ktorých možno budovy a stavebné projekty považovať za environmentálne udržateľné. V praxi to znamená, že budovy musia spĺňať presne definované technické a environmentálne požiadavky, aby mohli byť zaradené medzi udržateľné investície a získali prístup k výhodnejším formám financovania alebo investičnej podpory.

Význam taxonómie pre stavebný sektor spočíva najmä v tom, že posúva hodnotenie budov za hranice tradičných ekonomických ukazovateľov. Okrem investičných nákladov a technických parametrov sa čoraz väčší dôraz kladie na environmentálnu výkonnosť budov, ich energetickú efektívnosť a schopnosť prispievať k plneniu klimatických cieľov Európskej únie.

Aby bola budova považovaná za environmentálne udržateľnú v zmysle taxonómie EÚ, musí preukázať najmä:

- nízku energetickú náročnosť,
- nízku uhlíkovú stopu,
- splnenie stanovených environmentálnych parametrov.

##### **Nízka energetická náročnosť**

Jednou zo základných podmienok je vysoká energetická hospodárnosť budovy. Nové budovy musia dosahovať výrazne lepšie energetické parametre než minimálne požiadavky platné v národnej legislatíve. Cieľom je minimalizovať potrebu energie na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody a osvetlenie.

Energeticky efektívne budovy nielen znižujú prevádzkové náklady, ale zároveň prispievajú k redukcii emisií skleníkových plynov a k znižovaniu závislosti od fosílnych palív. Energetická hospodárnosť sa preto stáva jedným z hlavných kritérií hodnotenia udržateľnosti budov.

### **Nízka uhlíková stopa**

Taxonómia EÚ čoraz viac zdôrazňuje potrebu hodnotenia uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy. Pozornosť sa nesústreďuje iba na prevádzkové emisie, ale aj na zabudovaný uhlík vznikajúci pri výrobe stavebných materiálov, výstavbe, údržbe a likvidácii budovy.

V budúcnosti sa očakáva rastúci význam metodiky Whole Life Carbon a Life Cycle Assessment (LCA), ktoré umožňujú komplexne hodnotiť environmentálne dopady stavebných projektov. Budovy s nízkou uhlíkovou stopou budú mať lepšie predpoklady na získanie financovania a splnenie požiadaviek taxonómie.

### **Environmentálne parametre**

Okrem energetickej efektívnosti a uhlíkovej stopy musia budovy spĺňať aj ďalšie environmentálne kritériá. Patria medzi ne najmä:

- efektívne hospodárenie s vodou,
- využívanie obnoviteľných zdrojov energie,
- podpora obehového hospodárstva,
- využívanie recyklovaných a nízkouhlíkových materiálov,
- minimalizácia stavebného odpadu,
- ochrana biodiverzity a životného prostredia,
- odolnosť voči klimatickým zmenám.

Dôležitou podmienkou je aj dodržiavanie princípu „Do No Significant Harm“ (DNSH), podľa ktorého budova nesmie významne poškodzovať žiadny z environmentálnych cieľov Európskej únie.

### **Vplyv na financovanie budov**

Taxonómia EÚ výrazne ovplyvňuje rozhodovanie bánk, investorov a finančných inštitúcií. Projekty spĺňajúce taxonomické kritériá sú považované za menej rizikové a majú väčšiu šancu získať výhodné financovanie, zelené úvery alebo investície z fondov zameraných na udržateľný rozvoj.

Naopak, budovy s vysokou energetickou náročnosťou a veľkou uhlíkovou stopou môžu v budúcnosti čeliť vyšším nákladom na financovanie a nižšej investičnej atraktivite.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Pre oblasť nízkouhlíkoveho stavebníctva predstavuje taxonómia EÚ významný nástroj, ktorý podporuje výstavbu budov s vysokou energetickou efektívnosťou, nízkou uhlíkovou stopou a vysokou úrovňou environmentálnej kvality. Zároveň vytvára prepojenie medzi klimatickou politikou, ESG kritériami a finančným sektorom.

Taxonómia tak významne prispieva k transformácii stavebného sektora smerom k budovám, ktoré nielen spĺňajú technické požiadavky, ale zároveň aktívne podporujú dosahovanie klimatickej neutrality a trvalo udržateľného rozvoja v Európskej únii.

## **4.8.2 Vplyv taxonómie na financovanie projektov**

Jedným z hlavných cieľov Taxonómie Európskej únie je smerovať finančné zdroje do projektov, ktoré významne prispievajú k environmentálnej udržateľnosti a podporujú dosahovanie klimatických cieľov Európskej únie. V oblasti stavebníctva preto taxonómia významne ovplyvňuje spôsob financovania nových budov, obnovy existujúceho stavebného fondu a investičných projektov v sektore nehnuteľností.

Budovy spĺňajúce technické kritériá taxonómie získavajú priaznivejšie postavenie na finančnom trhu a stávajú sa atraktívnejšími pre investorov, banky a ďalšie finančné inštitúcie. Naopak, projekty s vysokou energetickou náročnosťou alebo významnou uhlíkovou stopou môžu v budúcnosti čeliť vyšším nákladom financovania, zložitejšiemu prístupu ku kapitálu a nižšej investičnej atraktivite. Taxonómia tak postupne vytvára ekonomické prostredie, v ktorom sa environmentálna výkonnosť budov stáva významným faktorom investičného rozhodovania.

### **Bankové financovanie**

Jedným z najvýznamnejších dôsledkov implementácie Taxonómie Európskej únie je jej rastúci vplyv na podmienky bankového financovania stavebných projektov. Finančné inštitúcie postupne začleňujú environmentálne kritériá do procesov hodnotenia úverového rizika, pričom energetická hospodárnosť, uhlíková stopa a súlad s požiadavkami taxonómie sa stávajú významnými ukazovateľmi pri posudzovaní bonity projektov.

Budovy spĺňajúce taxonomické kritériá sú z pohľadu bánk považované za perspektívnejšie a menej rizikové investície. Ich výhodou sú nižšie prevádzkové náklady, vyššia odolnosť voči sprísňujúcim sa klimatickým politikám a lepšia pripravenosť na budúce legislatívne požiadavky. V praxi sa tento prístup prejavuje výhodnejšími úrokovými sadzbami, priaznivejšími podmienkami financovania, jednoduchším prístupom k úverovým zdrojom a vyššou dôverou finančných inštitúcií. Environmentálna výkonnosť budovy sa tak postupne stáva významnou súčasťou ekonomického hodnotenia stavebných projektov.

#### **Investičné fondy**

Významný vplyv taxonómie možno pozorovať aj v oblasti investičných fondov a udržateľného investovania. Investori čoraz častejšie uprednostňujú projekty spĺňajúce environmentálne a ESG kritériá, keďže ich považujú za dlhodobu stabilnejšie, menej rizikové a lepšie pripravené na budúci vývoj regulačného prostredia.

Fondy orientované na udržateľné investície využívajú taxonómiu ako referenčný rámec pri posudzovaní environmentálnej kvality investičných projektov. Budovy s vysokou energetickou efektívnosťou, nízkou uhlíkovou stopou a významným podielom obnoviteľných zdrojov energie preto získavajú vyššiu investičnú atraktivitu a jednoduchší prístup ku kapitálu.

### **Zelené dlhopisy**

Taxonómia Európskej únie významne podporuje aj rozvoj trhu zelených dlhopisov (Green Bonds), ktoré predstavujú špecializovaný finančný nástroj určený na financovanie projektov s preukázateľným environmentálnym prínosom.

V stavebníctve sú prostredníctvom zelených dlhopisov financované predovšetkým projekty výstavby nízkouhlíkových budov, energetickej obnovy existujúcich objektov, implementácie obnoviteľných zdrojov energie, inteligentných energetických systémov a udržateľnej mestskej infraštruktúry. Taxonómia pritom poskytuje jednotný metodický rámec, ktorý investorom zabezpečuje transparentnosť využitia finančných prostriedkov a potvrdzuje, že financované projekty spĺňajú požiadavky environmentálnej udržateľnosti.

### **ESG hodnotenie**

Významným aspektom taxonómie je jej úzke prepojenie s hodnotením podľa princípov Environmental, Social and Governance (ESG). Environmentálne parametre budov sa stávajú dôležitou súčasťou rozhodovacích procesov investorov, bánk, poisťovní aj ratingových agentúr.

Pri hodnotení sa posudzuje predovšetkým energetická hospodárnosť budovy, uhlíková stopa počas celého životného cyklu, využívanie obnoviteľných zdrojov energie, environmentálne certifikácie a miera súladu s požiadavkami Taxonómie Európskej únie. Budovy spĺňajúce tieto kritériá spravidla dosahujú priaznivejšie ESG hodnotenie, čo sa následne premieta do ich vyššej investičnej atraktivity, lepšieho prístupu k financovaniu a vyššej trhovej hodnoty.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Taxonómia Európskej únie predstavuje významný ekonomický stimul podporujúci transformáciu stavebného sektora smerom k nízkouhlíkovému rozvoju. Environmentálne kvalitné budovy získavajú lepší prístup ku kapitálu, priaznivejšie podmienky financovania a vyššiu investičnú hodnotu. Súčasne rastie motivácia investorov, projektantov a developerov navrhovať budovy spĺňajúce prísne environmentálne kritériá a minimalizovať ich uhlíkovú stopu počas celého životného cyklu.

Možno predpokladať, že význam taxonómie bude v nasledujúcich rokoch ďalej narastať. Environmentálne ukazovatele budov sa postupne stanú rovnako významnými ako tradičné ekonomické parametre a budú zohrávať rozhodujúcu úlohu pri hodnotení investičných projektov. Taxonómia Európskej únie tak predstavuje jeden z kľúčových nástrojov podporujúcich prechod stavebného sektora k nízkouhlíkovým, energeticky efektívnym a klimaticky neutrálnym budovám.

## **4.9 ESG**

### **4.9.1 ESG v nehnuteľnostiach**

V posledných rokoch sa koncept ESG (Environmental, Social, Governance) stal jedným z rozhodujúcich kritérií hodnotenia investícií v sektore nehnuteľností. Investori, banky, poisťovne, developerské spoločnosti aj investičné fondy pri rozhodovaní o financovaní stavebných projektov čoraz viac zohľadňujú environmentálne, sociálne a riadiace aspekty budov. ESG tak postupne mení tradičný model hodnotenia nehnuteľností, ktorý bol dlhodobo založený predovšetkým na ekonomických ukazovateľoch, a rozširuje ho o kritériá environmentálnej a spoločenskej udržateľnosti. Rastúci význam ESG úzko súvisí s klimatickými cieľmi Európskej únie, implementáciou Taxonómie Európskej únie, rozvojom legislatívy v oblasti udržateľného financovania a zvyšujúcimi sa požiadavkami investorov na transparentnosť environmentálnych údajov. Budovy s priaznivými ESG charakteristikami sú považované za dlhodobo stabilnejšie investície, keďže sa vyznačujú nižším environmentálnym rizikom, vyššou energetickou efektívnosťou a lepšou pripravenosťou na budúce regulačné požiadavky. V sektore nehnuteľností je ESG hodnotenie založené na troch vzájomne prepojených pilieroch – environmentálnom (Environmental), sociálnom (Social) a riadiacom (Governance). Ich spoločným cieľom je komplexne hodnotiť udržateľnosť budovy nielen z technického a ekonomického hľadiska, ale aj z pohľadu jej environmentálnych dopadov, spoločenského prínosu a kvality riadenia.

#### **Environmentálny pilier (Environmental)**

Environmentálny pilier hodnotí vplyv budovy na životné prostredie počas celého jej životného cyklu. Pozornosť sa sústreďuje predovšetkým na ukazovatele, ktoré priamo ovplyvňujú uhlíkovú stopu, spotrebu prírodných zdrojov a energetickú hospodárnosť budovy. Posudzuje sa najmä množstvo emisií skleníkových plynov, spotreba energie, podiel obnoviteľných zdrojov energie, spotreba vody, produkcia stavebného a komunálneho odpadu, ako aj využívanie recyklovaných a nízkouhlíkových stavebných materiálov. Budovy s vysokou energetickou efektívnosťou, nízkou uhlíkovou stopou a významným podielom obnoviteľných zdrojov energie spravidla dosahujú priaznivejšie environmentálne hodnotenie. Takéto objekty sú atraktívnejšie pre investorov, jednoduchšie získavajú financovanie a lepšie spĺňajú požiadavky európskej legislatívy v oblasti udržateľného financovania (Obrázok 18).



**Obrázok 18 ESB požiadavky**

## Sociálny pilier (Social)

Sociálny pilier hodnotí vplyv budovy na jej používateľov a širšie spoločenské prostredie. Cieľom je vytvárať zdravé, bezpečné a komfortné vnútorné prostredie, ktoré podporuje kvalitu života, produktivitu práce a celkovú spokojnosť používateľov.

Pri hodnotení sa posudzuje predovšetkým kvalita vnútorného prostredia, tepelný komfort, kvalita vnútorného ovzdušia, dostatok denného osvetlenia, akustická pohoda, bezpečnosť budovy, bezbariérovosť a dostupnosť priestorov. Rastúci význam sociálnych aspektov dokumentuje aj rozvoj certifikačných systémov, ako je WELL Building Standard, ktoré sú zamerané na zdravie, pohodu a komfort používateľov budov.

## Riadiaci pilier (Governance)

Riadiaci pilier ESG hodnotí spôsob riadenia budovy alebo organizácie zodpovednej za jej prevádzku. Pozornosť sa venuje najmä transparentnosti rozhodovacích procesov, kvalite správy budovy, dodržiavaniu legislatívnych požiadaviek, etickému podnikaniu a riadeniu environmentálnych a klimatických rizík.

Významnou súčasťou tejto oblasti je aj pravidelný ESG reporting, ktorý zahŕňa zverejňovanie údajov o energetickej spotrebe, emisiách skleníkových plynov, spotrebe vody a ďalších ukazovateľoch udržateľnosti. Transparentné zverejňovanie týchto informácií umožňuje investorom objektívne hodnotiť environmentálnu a ekonomickú výkonnosť budovy a súčasne zvyšuje dôveryhodnosť organizácie na finančnom trhu.

## Význam ESG pre nízkouhlíkové budovy

Požiadavky ESG významne podporujú rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva. Budovy s vysokou energetickou efektívnosťou, nízkou uhlíkovou stopou, kvalitným vnútorným prostredím a transparentným spôsobom riadenia dosahujú priaznivejšie ESG hodnotenie, vyššiu trhovú hodnotu a lepší prístup k financovaniu. V súčasnosti sa ESG stáva jedným z rozhodujúcich faktorov investičného rozhodovania v sektore nehnuteľností a jeho význam bude v nasledujúcich rokoch naďalej narastať.

Z pohľadu nízkouhlíkového stavebníctva preto ESG nepredstavuje iba nástroj environmentálneho hodnotenia, ale aj významný faktor ekonomickej konkurencieschopnosti

budov. Integrácia environmentálnych, sociálnych a riadiacich kritérií vytvára predpoklady na navrhovanie stavebných projektov, ktoré sú nielen energeticky efektívne a environmentálne udržateľné, ale zároveň dlhodobu ekonomickú perspektívu (Obrázok 19).



Obrázok 19 Tri piliere ESG

#### 4.9.2 ESG reporting

Významnou súčasťou implementácie ESG princípov je ESG reporting, teda systematické zverejňovanie informácií o environmentálnych, sociálnych a riadiacich aspektoch činnosti organizácií. V posledných rokoch sa ESG reporting stal dôležitým nástrojom transparentnosti a zodpovedného podnikania, pričom jeho význam výrazne vzrástol v dôsledku legislatívnych požiadaviek Európskej únie a rastúceho záujmu investorov o udržateľné investície.

V rámci Európskej únie bol rozsah ESG reportingu významne rozšírený prijatím smernice o podávaní správ o udržateľnosti podnikov (Corporate Sustainability Reporting Directive – CSRD). Táto legislatíva postupne zavádza povinnosť zverejňovať informácie o udržateľnosti pre veľké spoločnosti a ďalšie subjekty pôsobiace na európskom trhu.

Jedným z hlavných cieľov ESG reportingu je poskytovať investorom, finančným inštitúciám, regulačným orgánom a verejnosti spoľahlivé informácie o environmentálnych a klimatických dopadoch podnikateľských aktivít. Transparentné zverejňovanie údajov zároveň umožňuje lepšie posudzovať environmentálne riziká a porovnávať výkonnosť jednotlivých organizácií.

V rámci ESG reportingu musia veľké spoločnosti čoraz častejšie vykazovať najmä:

- uhlíkovú stopu,
- environmentálne riziká,
- klimatické stratégie.

#### Uhlíková stopa

Jedným z najvýznamnejších ukazovateľov ESG reportingu je uhlíková stopa organizácie alebo projektu. Spoločnosti sú povinné identifikovať a kvantifikovať emisie skleníkových plynov vznikajúce v súvislosti s ich činnosťou.

Pri hodnotení sa najčastejšie využíva metodika rozdelenia emisií podľa štandardu GHG Protocol na:

- Scope 1 – priame emisie,
- Scope 2 – nepriame emisie zo spotrebovanej energie,

- Scope 3 – ostatné nepriame emisie v dodávateľskom reťazci.

V sektore nehnuteľností a stavebníctva sa osobitná pozornosť venuje uhlíkovej stope budov počas celého životného cyklu vrátane prevádzkového a zabudovaného uhlíka.

### **Environmentálne riziká**

ESG reporting zahŕňa aj identifikáciu a hodnotenie environmentálnych rizík, ktoré môžu ovplyvniť činnosť organizácie alebo hodnotu jej aktív. V prípade budov ide najmä o riziká súvisiace s klimatickými zmenami, rastúcimi cenami energií, legislatívnymi požiadavkami alebo fyzickými dopadmi extrémnych poveternostných javov.

Spoločnosti musia analyzovať:

- klimatické riziká,
- energetické riziká,
- environmentálne záväzky,
- dopady legislatívnych zmien,
- zraniteľnosť voči extrémnym klimatickým udalostiam.

Cieľom je zabezpečiť lepšie riadenie rizík a zvýšiť odolnosť organizácií voči budúcim environmentálnym výzvam.

### **Klimatické stratégie**

Dôležitou súčasťou ESG reportingu je aj zverejňovanie klimatických stratégií a plánov dekarbonizácie. Organizácie musia preukázať, aké opatrenia prijímajú na znižovanie emisií skleníkových plynov a akým spôsobom plánujú prispievať k dosahovaniu klimatických cieľov.

Klimatické stratégie často zahŕňajú:

- ciele znižovania emisií CO<sub>2</sub>,
- plán prechodu na obnoviteľné zdroje energie,
- energetické renovácie budov,
- opatrenia na zvyšovanie energetickej efektívnosti,
- implementáciu ESG princípov do riadenia spoločnosti.

Transparentné zverejňovanie týchto informácií umožňuje investorom hodnotiť pripravenosť organizácií na prechod k nízkouhlíkovému hospodárstvu.

### **Význam ESG reportingu pre stavebníctvo**

V oblasti stavebníctva a nehnuteľností sa ESG reporting stáva čoraz významnejším nástrojom hodnotenia kvality a udržateľnosti budov. Energetická hospodárnosť, uhlíková stopa, environmentálne certifikácie a klimatická odolnosť budov sa stávajú dôležitými faktormi ovplyvňujúcimi investičné rozhodnutia a trhovú hodnotu nehnuteľností.

Budovy s preukázateľne dobrými ESG parametrami získavajú lepší prístup k financovaniu, vyššiu atraktivitu pre investorov a lepšiu pripravenosť na budúce legislatívne požiadavky. ESG reporting tak predstavuje významný nástroj podporujúci rozvoj nízkouhlíkových budov a transformáciu stavebného sektora smerom k udržateľnej a klimaticky neutrálnej budúcnosti.

## **4.10 Slovenská legislatíva**

### **4.10.1 Zákon č. 555/2005 Z.z.**

Základným právnym predpisom upravujúcim problematiku energetickej hospodárnosti budov v Slovenskej republike je zákon č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov. Tento zákon vytvára legislatívny rámec na implementáciu požiadaviek Európskej únie v oblasti energetickej efektívnosti budov a predstavuje jeden z najvýznamnejších nástrojov podpory nízkouhlíkového stavebníctva na národnej úrovni.

Zákon bol prijatý v nadväznosti na smernicu Európskeho parlamentu a Rady o energetickej hospodárnosti budov (EPBD) a počas svojho vývoja bol viackrát novelizovaný s cieľom zosúladiť slovenskú legislatívu s aktuálnymi požiadavkami Európskej únie. Postupné

novelizácie reagovali na sprísňovanie energetických štandardov, zavedenie budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a v súčasnosti vytvárajú predpoklady na implementáciu požiadaviek novej smernice EPBD 2024, ktorá zavádza koncept budov s nulovými emisiami (ZEB). Hlavným cieľom zákona je znižovanie spotreby energie v budovách, podpora energetickej efektívnosti a obmedzovanie emisií skleníkových plynov počas ich prevádzky. Súčasne vytvára podmienky na zvyšovanie kvality stavebného fondu, podporuje využívanie obnoviteľných zdrojov energie a prispieva k plneniu klimatických cieľov Slovenskej republiky. Zákon upravuje predovšetkým systém energetickej certifikácie budov, minimálne požiadavky na energetickú hospodárnosť nových a významne obnovovaných budov a klasifikáciu budov podľa energetických tried.

### **Energetická certifikácia budov**

Jednou z najvýznamnejších oblastí upravených zákonom je energetická certifikácia budov. Energetický certifikát predstavuje oficiálny dokument hodnotiaci energetickú hospodárnosť budovy a zaraďujúci ju do príslušnej energetickej triedy. Energetická certifikácia je povinná najmä pri výstavbe nových budov, významnej obnove existujúcich objektov, predaji budovy alebo jej časti a pri prenájme budovy alebo jej samostatnej časti. Jej hlavným cieľom je poskytovať transparentné informácie o energetickej náročnosti budov a motivovať vlastníkov k realizácii opatrení vedúcich k znižovaniu spotreby energie.

### **Energetické požiadavky na budovy**

Zákon stanovuje minimálne požiadavky na energetickú hospodárnosť nových aj významne obnovovaných budov. Tieto požiadavky sa týkajú predovšetkým potreby energie na vykurovanie, potreby primárnej energie, tepelnotechnických vlastností stavebných konštrukcií, energetickej účinnosti technických systémov a využívania obnoviteľných zdrojov energie. Požiadavky sa priebežne sprísňujú v súlade s európskou klimatickou a energetickou politikou, čím sa podporuje výstavba energetickej efektívnych a nízkouhlíkových budov.

### **Energetické triedy budov**

Súčasťou legislatívy je aj systém energetických tried budov, ktorý umožňuje jednoduché porovnanie ich energetickej hospodárnosti na základe potreby primárnej energie. Najvyšší štandard v súčasnosti predstavuje energetická trieda A0, ktorá je od 1. januára 2021 povinná pre všetky nové budovy na území Slovenskej republiky. Tento štandard zodpovedá požiadavkám na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a predstavuje významný medzník v prechode k nízkouhlíkovému stavebníctvu.

### **Význam zákona pre nízkouhlíkové budovy**

Zákon č. 555/2005 Z. z. vytvára základný legislatívny rámec pre rozvoj energetickej efektívnych a nízkouhlíkových budov v Slovenskej republike. Prostredníctvom systému energetickej certifikácie, minimálnych energetických požiadaviek a štandardu A0 významne prispieva k znižovaniu spotreby energie a emisií skleníkových plynov.

V nadväznosti na smernicu EPBD 2024 možno očakávať ďalšie rozšírenie legislatívnych požiadaviek o hodnotenie uhlíkovej stopy počas životného cyklu budov, implementáciu konceptu Zero Emission Buildings (ZEB) a intenzívnejšie využívanie digitálnych nástrojov pri hodnotení energetickej a environmentálnej výkonnosti budov. Zákon tak predstavuje základný pilier transformácie slovenského stavebníctva smerom ku klimatickej neutralite.

## **4.10.2 Vyhláška č. 364/2012 Z.z.**

Vyhláška Ministerstva dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky č. 364/2012 Z. z. predstavuje vykonávací predpis k zákonu č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov. Jej hlavným cieľom je stanoviť podrobnosti o hodnotení energetickej



hospodárnosti budov, metodike výpočtu energetických ukazovateľov a podmienkach energetickej certifikácie.

Vyhláška vytvára jednotný metodický rámec pre určovanie energetickej hospodárnosti budov na území Slovenskej republiky a zabezpečuje porovnateľnosť výsledkov energetického hodnotenia jednotlivých objektov. Súčasne zabezpečuje implementáciu požiadaviek smernice Európskej únie o energetickej hospodárnosti budov (EPBD) do národného prostredia.

Vyhláška upravuje najmä:

- metodiku výpočtu energetickej hospodárnosti budov,
- energetické ukazovatele používané pri hodnotení budov,
- klasifikáciu budov do energetických tried,
- obsah energetického certifikátu,
- požiadavky na energetickú certifikáciu budov.

Metodika výpočtu

Vyhláška stanovuje postupy na výpočet potreby energie a primárnej energie pre jednotlivé energetické systémy budovy. Hodnotenie zahŕňa najmä energiu potrebnú na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody a osvetlenie.

Pri výpočtoch sa zohľadňujú tepelno-technické vlastnosti stavebných konštrukcií, účinnosť technických zariadení budovy, klimatické podmienky a využívanie obnoviteľných zdrojov energie.

Energetické ukazovatele

Vyhláška definuje základné ukazovatele energetickej hospodárnosti budov, medzi ktoré patria:

- potreba energie na vykurovanie,
- potreba energie na prípravu teplej vody,
- potreba energie na chladenie,
- potreba energie na vetranie,
- potreba energie na osvetlenie,
- globálny ukazovateľ primárnej energie.

Tieto ukazovatele slúžia na určenie energetickej triedy budovy a na posúdenie jej súladu s platnými legislatívnymi požiadavkami.

#### **Požiadavky na certifikáciu**

Vyhláška stanovuje obsah a formu energetického certifikátu budovy, spôsob jeho vypracovania a podmienky jeho vydávania. Energetický certifikát poskytuje informácie o energetickej hospodárnosti budovy a zaraďuje ju do príslušnej energetickej triedy od A0 po G. Energetická certifikácia je povinná pri novostavbách, významných obnovách budov, ako aj pri predaji alebo prenájme budovy alebo jej časti. Certifikát zároveň obsahuje odporúčania na zlepšenie energetickej hospodárnosti objektu.

Vyhláška č. 364/2012 Z. z. patrí medzi najdôležitejšie vykonávacie predpisy v oblasti energetickej hospodárnosti budov na Slovensku. Vytvára odborný základ pre hodnotenie energetickej efektívnosti budov a významne prispieva k plneniu cieľov nízkouhlíkového a udržateľného stavebníctva.

### **4.10.3 Stavebný zákon**

Vyhláška Ministerstva dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky č. 364/2012 Z. z., ktorou sa vykonáva zákon č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov, predstavuje základný vykonávací predpis upravujúci metodiku hodnotenia energetickej hospodárnosti budov na území Slovenskej republiky. Jej hlavným cieľom je stanoviť jednotné pravidlá pre výpočet energetických ukazovateľov budov, obsah energetickej certifikácie a spôsob klasifikácie budov do energetických tried.

Vyhláška vytvára jednotný metodický rámec na hodnotenie energetickej hospodárnosti budov a zabezpečuje porovnateľnosť výsledkov energetického hodnotenia jednotlivých objektov. Súčasne predstavuje významný nástroj implementácie požiadaviek smernice Európskeho

parlamentu a Rady o energetickej hospodárnosti budov (EPBD) do slovenského právneho prostredia.

Obsah vyhlášky je zameraný predovšetkým na metodiku výpočtu energetickej hospodárnosti budov, definovanie energetických ukazovateľov, klasifikáciu budov do energetických tried, obsah energetického certifikátu a podmienky vykonávania energetickej certifikácie.

### **Metodika hodnotenia energetickej hospodárnosti**

Vyhláška stanovuje podrobný postup výpočtu potreby energie a primárnej energie pre jednotlivé energetické systémy budovy. Hodnotenie zahŕňa spotrebu energie na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody a osvetlenie, pričom sa zohľadňujú tepelno-technické vlastnosti stavebných konštrukcií, účinnosť technických zariadení budovy, miestne klimatické podmienky aj podiel obnoviteľných zdrojov energie.

Takto definovaná metodika umožňuje objektívne posudzovať energetickú hospodárnosť budov a vytvára jednotný základ pre ich energetickú klasifikáciu.

### **Energetické ukazovatele**

Vyhláška definuje základné ukazovatele energetickej hospodárnosti, ktoré slúžia na hodnotenie budov a určenie ich energetickej triedy. Medzi rozhodujúce ukazovatele patrí potreba energie na vykurovanie, prípravu teplej vody, chladenie, vetranie a osvetlenie, ako aj globálny ukazovateľ primárnej energie.

Práve globálny ukazovateľ primárnej energie predstavuje základné kritérium pri posudzovaní súladu budovy s platnými legislatívnymi požiadavkami a pri zaradovaní budov do jednotlivých energetických tried.

### **Energetická certifikácia budov**

Významnou súčasťou vyhlášky je úprava obsahu, formy a spôsobu vypracovania energetického certifikátu budovy. Energetický certifikát predstavuje oficiálny dokument hodnotiaci energetickú hospodárnosť budovy a zaradujúci ju do príslušnej energetickej triedy od A0 po G.

Energetická certifikácia je povinná pri výstavbe nových budov, významnej obnove existujúcich objektov, ako aj pri predaji alebo prenájme budovy či jej samostatnej časti. Okrem klasifikácie energetickej hospodárnosti obsahuje certifikát aj odporúčania na zlepšenie energetickej efektívnosti budovy, čím vytvára predpoklady na postupné znižovanie spotreby energie a prevádzkových emisií.

### **Význam vyhlášky pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Vyhláška č. 364/2012 Z. z. predstavuje jeden z najvýznamnejších vykonávacích predpisov v oblasti energetickej hospodárnosti budov na Slovensku. Prostredníctvom jednotnej metodiky výpočtu, systému energetickej certifikácie a klasifikácie budov vytvára odborný základ na objektívne hodnotenie energetickej efektívnosti stavebných objektov.

V nadväznosti na pripravovanú implementáciu požiadaviek smernice EPBD 2024 možno očakávať ďalší rozvoj metodiky hodnotenia smerom k posudzovaniu uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budov, využívaniu digitálnych nástrojov a hodnoteniu budov s nulovými emisiami (ZEB). Vyhláška tak predstavuje významný legislatívny nástroj podporujúci transformáciu slovenského stavebníctva smerom k nízkouhlíkovému a klimaticky neutrálnemu rozvoju.

## **4.11 Energetická certifikácia budov**

Energetická certifikácia budov predstavuje jeden zo základných nástrojov objektívneho hodnotenia energetickej hospodárnosti budov a patrí medzi najvýznamnejšie opatrenia podporujúce energetickú efektívnosť v stavebníctve. Jej hlavným cieľom je poskytovať vlastníkom, používateľom, investorom aj orgánom verejnej správy transparentné informácie o energetickej náročnosti budovy a vytvárať predpoklady na znižovanie spotreby energie,

prevádzkových nákladov a emisií skleníkových plynov. Energetická certifikácia bola zavedená na základe smernice Európskeho parlamentu a Rady o energetickej hospodárnosti budov (EPBD) a v podmienkach Slovenskej republiky je upravená zákonom č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov a vykonávacou vyhláškou č. 364/2012 Z. z. Výsledkom procesu certifikácie je energetický certifikát, ktorý predstavuje oficiálny dokument hodnotiaci energetickú hospodárnosť budovy a zaraďujúci ju do príslušnej energetickej triedy. Energetická certifikácia je založená na hodnotení viacerých vzájomne prepojených ukazovateľov, medzi ktoré patria spotreba energie, potreba primárnej energie a emisie oxidu uhličitého vznikajúce počas prevádzky budovy.

### **Spotreba energie**

Jedným zo základných ukazovateľov energetickej hospodárnosti je spotreba energie potrebná na zabezpečenie prevádzky budovy. Pri hodnotení sa zohľadňuje energia potrebná na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody a osvetlenie. Tento ukazovateľ umožňuje porovnávať budovy z hľadiska ich prevádzkovej efektívnosti a identifikovať možnosti znižovania energetickej náročnosti.

### **Primárna energia**

Kľúčovým ukazovateľom energetickej certifikácie je potreba primárnej energie, ktorá zohľadňuje nielen energiu spotrebovanú počas prevádzky budovy, ale aj energiu potrebnú na jej výrobu, transformáciu, prenos a distribúciu. Pri výpočte sa prihliada na druh využívaného energetického nosiča a jeho emisnú náročnosť, čo umožňuje objektívnejšie hodnotiť environmentálnu výkonnosť budovy. Práve globálny ukazovateľ primárnej energie predstavuje rozhodujúce kritérium pri zaraďovaní budov do jednotlivých energetických tried.

### **Emisie oxidu uhličitého**

Energetická certifikácia zahŕňa aj hodnotenie emisií oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) vznikajúcich počas prevádzky budovy. Emisie sa určujú na základe spotreby energie a emisných faktorov jednotlivých energetických nosičov. Tento ukazovateľ umožňuje posúdiť environmentálny dopad budovy a jej príspevok ku klimatickým zmenám. Budovy s nižšími prevádzkovými emisiami sú z pohľadu environmentálnej výkonnosti hodnotené priaznivejšie a lepšie zodpovedajú princípom nízkouhlíkového stavebníctva.

### **Význam energetickej certifikácie**

Energetická certifikácia plní viacero významných funkcií. Okrem poskytovania objektívnych informácií o energetickej hospodárnosti budov podporuje transparentnosť trhu s nehnuteľnosťami a vytvára motiváciu na realizáciu opatrení vedúcich k znižovaniu spotreby energie. Význam energetickej certifikácie spočíva najmä v podpore:

- energetických renovácií budov,
- znižovania spotreby energie,
- redukcie emisií skleníkových plynov,
- zvyšovania energetickej efektívnosti stavebného fondu,
- plnenia klimatických cieľov Európskej únie.

V kontexte nízkouhlíkového stavebníctva predstavuje energetická certifikácia jeden zo základných nástrojov hodnotenia budov. Umožňuje identifikovať možnosti zlepšenia ich energetickej hospodárnosti a podporuje postupný prechod od budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) k budovám s nulovými emisiami (ZEB), ktoré sa stávajú novým štandardom európskej stavebnej politiky.

#### **4.11.1 Energetické triedy**

Energetické triedy predstavujú základný klasifikačný systém hodnotenia energetickej hospodárnosti budov na Slovensku. Zaradenie budovy do príslušnej energetickej triedy

vychádza predovšetkým z hodnoty globálneho ukazovateľa primárnej energie a umožňuje jednoduché porovnanie energetickej výkonnosti jednotlivých objektov.

Najvyššiu úroveň predstavuje energetická trieda A0, ktorá je od 1. januára 2021 povinná pre všetky nové budovy na území Slovenskej republiky. Budovy tejto kategórie sa vyznačujú veľmi nízkou potrebou primárnej energie, vysokou energetickou efektívnosťou a významným podielom obnoviteľných zdrojov energie. Štandard A0 zodpovedá požiadavkám na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a predstavuje významný krok smerom k budovám s nulovými emisiami (ZEB).

Energetická trieda A1 zahŕňa budovy s veľmi dobrými energetickými parametrami, ktoré dosahujú nízku spotrebu energie a priaznivé prevádzkové náklady. Hoci nespĺňajú všetky požiadavky energetickej triedy A0, stále predstavujú energeticky efektívne stavebné objekty. Mnohé budovy realizované pred zavedením povinného štandardu A0 boli navrhnuté práve v tejto kategórii.

Do energetickej triedy B patria budovy spĺňajúce základné požiadavky na energetickú hospodárnosť, avšak s vyššou spotrebou energie v porovnaní s objektmi tried A0 a A1. Tieto budovy často predstavujú vhodných kandidátov na realizáciu energetických opatrení vedúcich k ďalšiemu znižovaniu energetickej náročnosti.

Energetická trieda C predstavuje minimálnu úroveň energetickej hospodárnosti, ktorú možno z pohľadu súčasných požiadaviek ešte považovať za vyhovujúcu. Budovy tejto kategórie spravidla využívajú staršie technické zariadenia alebo menej kvalitné stavebné konštrukcie, čo sa prejavuje vyššou spotrebou energie. Pri týchto objektoch sa odporúča realizácia komplexných energetických renovácií.

Budovy zaradené do energetických tried D až G sa vyznačujú vysokou energetickou náročnosťou, nedostatočnou tepelnou ochranou obálky budovy a nízkou účinnosťou technických systémov. Ide prevažne o staršie objekty, ktoré predstavujú najväčší potenciál na realizáciu opatrení zameraných na znižovanie spotreby energie a emisií skleníkových plynov. Modernizácia týchto budov je jedným z hlavných cieľov iniciatívy Renovation Wave, podporovanej Európskou úniou. Prehľad základných charakteristík energetických tried budov je uvedený v tabuľke (Tabuľka 6).

**Tabuľka 6** V Charakteristika energetických tried od A0 po G

| <b>Energetická trieda</b> | <b>Charakteristika</b>                                                                        |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A0</b>                 | Mimoriadne úsporné budovy s veľmi nízkou potrebou primárnej energie; štandard nZEB.           |
| <b>A1</b>                 | Veľmi úsporné budovy s nízkou spotrebou energie.                                              |
| <b>B</b>                  | Energeticky úsporné budovy spĺňajúce základné požiadavky energetickej hospodárnosti.          |
| <b>C</b>                  | Budovy s vyhovujúcou energetickou hospodárnosťou, vhodné na energetické renovácie.            |
| <b>D – G</b>              | Energeticky neefektívne budovy s vysokou spotrebou energie a veľkým potenciálom modernizácie. |

### **Význam energetických tried**

Energetické triedy predstavujú významný nástroj hodnotenia energetickej hospodárnosti budov a podpory udržateľného stavebníctva. Umožňujú objektívne porovnávanie budov, zvyšujú transparentnosť trhu s nehnuteľnosťami a motivujú vlastníkov k realizácii opatrení smerujúcich k zvyšovaniu energetickej efektívnosti.

V kontexte nízkouhlíkového stavebníctva zohrávajú energetické triedy dôležitú úlohu pri znižovaní spotreby energie, obmedzovaní emisií skleníkových plynov a postupnom prechode od budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) k budovám s nulovými emisiami (ZEB), ktoré predstavujú nový štandard európskeho stavebníctva.

### **4.11.2 Povinnosť certifikácie**

Energetická certifikácia budov predstavuje zákonom ustanovený proces hodnotenia energetickej hospodárnosti budov. Jej hlavným cieľom je poskytovať objektívne informácie o energetickej náročnosti stavebných objektov, podporovať zvyšovanie energetickej efektívnosti a vytvárať predpoklady na znižovanie spotreby energie a emisií skleníkových plynov. Povinnosť energetickej certifikácie vyplýva zo zákona č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov a príslušných vykonávacích predpisov. Výsledkom certifikačného procesu je energetický certifikát, ktorý predstavuje oficiálny dokument hodnotiaci energetickú hospodárnosť budovy a zaraďujúci ju do príslušnej energetickej triedy. Certifikát poskytuje základné informácie o energetickej výkonnosti objektu a slúži ako dôležitý podklad pri rozhodovaní vlastníkov, investorov, kupujúcich aj nájomcov. Energetická certifikácia je povinná najmä pri výstavbe nových budov, významnej obnove existujúcich objektov, predaji budovy alebo jej samostatnej časti a pri prenájme budovy alebo jej časti.

### **Nové budovy**

Energetický certifikát je nevyhnutnou súčasťou procesu kolaudácie nových budov. Každá novostavba musí preukázať splnenie požiadaviek na energetickú hospodárnosť ustanovených platnou legislatívou Slovenskej republiky. Certifikát potvrdzuje zaradenie budovy do príslušnej energetickej triedy a zároveň preukazuje splnenie požiadaviek na potrebu primárnej energie, energetickú účinnosť technických systémov a využívanie obnoviteľných zdrojov energie. V súčasnosti musia všetky nové budovy spĺňať požiadavky energetickej triedy A0, ktorá zodpovedá štandardu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB).

### **Významná obnova budov**

Povinnosť energetickej certifikácie sa vzťahuje aj na budovy, ktoré prechádzajú významnou obnovou. Za významnú obnovu sa považujú stavebné zásahy podstatným spôsobom ovplyvňujúce energetickú hospodárnosť objektu, napríklad zateplenie obvodového plášťa, výmena výplňových konštrukcií, rekonštrukcia strechy alebo modernizácia technických zariadení budovy.

Po ukončení obnovy je potrebné vypracovať nový energetický certifikát, ktorý zohľadňuje aktuálny energetický stav budovy a preukazuje dosiahnutú úroveň energetickej hospodárnosti.

### **Predaj a prenájom budov**

Energetický certifikát je povinnou súčasťou procesu predaja alebo prenájmu budovy, prípadne jej samostatnej časti. Vlastník je povinný sprístupniť certifikát kupujúcemu alebo nájomcovi ešte pred uzatvorením zmluvného vzťahu, aby mal k dispozícii objektívne informácie o energetickej hospodárnosti budovy a o predpokladaných prevádzkových nákladoch.

Táto povinnosť významne prispieva k transparentnosti trhu s nehnuteľnosťami a zároveň motivuje vlastníkov k zvyšovaniu energetickej kvality budov.

### **Význam energetickej certifikácie**

Energetická certifikácia predstavuje významný nástroj podpory energetickej efektívnosti a udržateľného stavebníctva. Umožňuje objektívne hodnotiť energetickú hospodárnosť budov, podporuje transparentnosť trhu s nehnuteľnosťami a vytvára ekonomickú motiváciu na realizáciu energetických renovácií.

V širšom kontexte prispieva k znižovaniu spotreby energie, obmedzovaniu emisií skleníkových plynov, zvyšovaniu kvality stavebného fondu a plneniu klimatických cieľov Európskej únie. V nadväznosti na implementáciu smernice EPBD 2024 možno očakávať ďalší rozvoj systému energetickej certifikácie smerom ku komplexnejšiemu hodnoteniu environmentálnej výkonnosti budov vrátane posudzovania uhlíkovej stopy počas ich životného cyklu. Energetická certifikácia sa tak postupne stáva súčasťou širšieho systému hodnotenia udržateľnosti budov a významným nástrojom prechodom k budovám s nulovými emisiami (ZEB).

## 4.12 Finančné nástroje podpory v SR

Program Zelená domácnostiam patrí medzi najvýznamnejšie podporné mechanizmy zamerané na rozvoj využívania obnoviteľných zdrojov energie v Slovenskej republike. Je realizovaný Slovenskou inovačnou a energetickou agentúrou (SIEA) a financovaný z európskych aj národných zdrojov. Hlavným cieľom programu je motivovať domácnosti k investíciám do technológií využívajúcich obnoviteľné zdroje energie, čím sa podporuje znižovanie spotreby fosílnych palív, zvyšovanie energetickej sebestačnosti a redukcia emisií skleníkových plynov.

Finančná podpora je poskytovaná formou poukážok na inštaláciu vybraných zariadení využívajúcich obnoviteľné zdroje energie. Oprávnenými žiadateľmi sú predovšetkým vlastníci rodinných a bytových domov, ktorí plánujú modernizáciu svojich energetických systémov a znižovanie prevádzkových nákladov.

Program podporuje najmä inštaláciu fotovoltických systémov, tepelných čerpadiel a zariadení využívajúcich biomasu. Fotovoltické elektrárne umožňujú výrobu elektrickej energie priamo v mieste spotreby, čím znižujú závislosť domácností od elektriny dodávanej z distribučnej siete. Okrem ekonomických úspor prispievajú aj k znižovaniu emisií CO<sub>2</sub>, zvyšovaniu energetickej nezávislosti a plneniu požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB).

Významnú časť podpory tvoria aj tepelné čerpadlá, ktoré využívajú energiu okolitého prostredia na vykurovanie budov a prípravu teplej vody. Program podporuje najmä systémy vzduch – voda, zem – voda a voda – voda. Vzhľadom na vysokú energetickú účinnosť patria medzi najvýznamnejšie technológie podporujúce dekarbonizáciu sektora budov a postupné nahrádzanie vykurovania založeného na fosílnych palivách.

Podpora sa vzťahuje aj na moderné zariadenia využívajúce biomasu, predovšetkým kotly spaľujúce drevné pelety alebo štiepku. V porovnaní s tradičnými fosílnymi palivami predstavuje biomasa obnoviteľný zdroj energie, ktorý pri využívaní moderných technológií významne prispieva k znižovaniu emisií skleníkových plynov.

Program Zelená domácnostiam predstavuje významný finančný nástroj podporujúci transformáciu slovenského stavebného fondu smerom k energeticky efektívnym a nízkouhlíkovým budovám. Prostredníctvom podpory obnoviteľných zdrojov energie vytvára podmienky na znižovanie spotreby fosílnych palív, redukciu emisií CO<sub>2</sub>, zvyšovanie energetickej sebestačnosti domácností a plnenie klimatických cieľov Slovenskej republiky i Európskej únie.

### Program Obnov dom

Program Obnov dom patrí medzi najvýznamnejšie finančné mechanizmy podpory energetických renovácií rodinných domov na Slovensku. Je financovaný z Plánu obnovy a odolnosti Slovenskej republiky a jeho hlavným cieľom je znižovanie energetickej náročnosti existujúceho stavebného fondu, podpora využívania obnoviteľných zdrojov energie a redukcia emisií skleníkových plynov v sektore bývania.

Program je určený vlastníkom rodinných domov realizujúcim opatrenia vedúce k zlepšeniu energetickej hospodárnosti budovy. Finančná podpora je poskytovaná formou nenávratného finančného príspevku, pričom jej výška závisí od rozsahu renovácie a dosiahnutých energetických úspor.

Podporované opatrenia zahŕňajú predovšetkým komplexné energetické renovácie rodinných domov, ktoré kombinujú zlepšenie tepelnoizolačných vlastností obálky budovy s modernizáciou technických zariadení. Významná časť podpory smeruje na zateplenie obvodových stien, striech, podláh, výmenu okien a dverí, ako aj na modernizáciu vykurovacích systémov vrátane inštalácie tepelných čerpadiel, výmeny zastaraných kotlov či integrácie obnoviteľných zdrojov energie.

Takto realizované opatrenia vedú k výraznému zníženiu spotreby energie, zlepšeniu tepelného komfortu, predĺženiu životnosti stavebných konštrukcií a zníženiu prevádzkových emisií CO<sub>2</sub>.

Program Obnov dom predstavuje jeden z najvýznamnejších nástrojov dekarbonizácie existujúceho stavebného fondu na Slovensku. Keďže veľká časť rodinných domov bola postavená v období s nižšími energetickými štandardmi, komplexné energetické renovácie patria medzi najefektívnejšie opatrenia na znižovanie spotreby energie, emisií skleníkových plynov a prevádzkových nákladov budov. príložený text.txt

### **Plán obnovy a odolnosti Slovenskej republiky**

Plán obnovy a odolnosti Slovenskej republiky predstavuje strategický investičný program financovaný z európskeho Nástroja na obnovu a odolnosť (Recovery and Resilience Facility – RRF). Jeho cieľom je podporiť modernizáciu hospodárstva, zvýšiť jeho odolnosť voči budúcim krízam a urýchliť prechod na zelené a digitálne hospodárstvo v súlade s cieľmi Európskej zelenej dohody a balíka Fit for 55.

Významná časť finančných prostriedkov smeruje do transformácie stavebného sektora, predovšetkým prostredníctvom obnovy verejných budov, energetických renovácií a zavádzania inteligentných technológií. Prioritou je znižovanie energetických strát budov, modernizácia technických zariadení, zlepšovanie kvality vnútorného prostredia a širšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie.

Program podporuje aj implementáciu inteligentných systémov riadenia budov (BMS), energetického monitoringu, inteligentných meracích systémov a integráciu obnoviteľných zdrojov energie s batériovými úložiskami. Tieto technológie umožňujú efektívnejšie riadenie spotreby energie, zvyšujú komfort používateľov a vytvárajú predpoklady na rozvoj inteligentných a nízkouhlíkových budov.

Plán obnovy a odolnosti predstavuje jeden z najvýznamnejších finančných nástrojov podporujúcich transformáciu slovenského stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite. Investície do obnovy verejných budov, energetických renovácií a inteligentných technológií významne prispievajú k znižovaniu emisií CO<sub>2</sub>, zvyšovaniu energetickej efektívnosti a plneniu cieľov Európskej zelenej dohody, iniciatívy Renovation Wave a smernice EPBD 2024. Modernizácia existujúceho stavebného fondu tak vytvára predpoklady pre rozvoj energeticky efektívnych, inteligentných a environmentálne udržateľných budov budúcnosti.

## **4.13 Budúci vývoj legislatívy**

Legislatíva v oblasti stavebníctva a energetickej hospodárnosti budov prechádza v súčasnosti dynamickým vývojom, ktorý je úzko prepojený s cieľmi Európskej zelenej dohody (European Green Deal), balíka Fit for 55 a stratégiou dosiahnutia klimatickej neutrality Európskej únie do roku 2050. Európska legislatíva sa postupne presúva od hodnotenia energetickej hospodárnosti budov počas ich prevádzky ku komplexnému posudzovaniu environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu stavby.

Nové legislatívne požiadavky reflektujú rastúci význam hodnotenia uhlíkovej stopy, využívania nízkouhlíkových stavebných materiálov, digitalizácie stavebného sektora a implementácie princípov obehového hospodárstva. Významnú úlohu zohrávajú najmä smernica EPBD 2024, európsky rámec Level(s), pripravované digitálne pasy budov a nové požiadavky na hodnotenie Whole Life Carbon.

### **Hodnotenie životného cyklu budov**

Jedným z najvýznamnejších trendov pripravovanej legislatívy je postupné zavádzanie povinného hodnotenia životného cyklu budov prostredníctvom metodiky Life Cycle Assessment (LCA). Táto metodika umožňuje komplexne posudzovať environmentálne dopady budovy od získavania surovín, výroby stavebných materiálov a výstavby až po prevádzku, obnovu, demoláciu a recykláciu.

V budúcnosti možno očakávať, že hodnotenie LCA sa stane povinnou súčasťou projektovej dokumentácie nových budov aj významných renovácií. Projektanti a investori tak budú musieť už vo fáze návrhu preukazovať environmentálne dôsledky použitých materiálov, technológií a konštrukčných riešení.

### **Zavedenie uhlíkových limitov**

Ďalším významným smerom vývoja je postupné zavádzanie maximálnych prípustných hodnôt uhlíkovej stopy budov. Podobne ako sú dnes legislatívne stanovené limity energetickej hospodárnosti, očakáva sa zavedenie limitov pre emisie skleníkových plynov počas celého životného cyklu stavby. Takýto prístup bude motivovať projektantov a investorov k využívaniu nízkouhlíkových stavebných materiálov, optimalizácii konštrukčných riešení, znižovaniu zabudovaného uhlíka a širšiemu využívaniu obnoviteľných zdrojov energie. Uhlíkové limity sa tak stanú jedným z hlavných nástrojov podporujúcich dekarbonizáciu stavebného sektora.

### **Digitálne pasy budov**

Významným trendom bude aj zavedenie digitálnych pasov budov (Digital Building Passports). Ide o digitálne databázy obsahujúce komplexné informácie o technických, energetických a environmentálnych parametroch budovy počas celého jej životného cyklu.

Digitálny pas bude obsahovať údaje o použitých stavebných materiáloch, energetickej hospodárnosti, uhlíkovej stope, technických zariadeniach, vykonaných renováciách, ako aj o možnostiach recyklácie a opätovného využitia stavebných prvkov. V spojení s Digitálnymi produktovými pasmi (DPP) a metodikou Building Information Modeling (BIM) vytvorí základ digitálneho riadenia budov počas celého ich životného cyklu.

### **Rozvoj ESG reportingu**

Ďalší vývoj možno očakávať aj v oblasti ESG reportingu, ktorý sa postupne stáva významnou súčasťou hodnotenia budov, developerských projektov a investičných portfólií. Organizácie budú čoraz častejšie povinné vykazovať údaje o uhlíkovej stope budov, energetickej hospodárnosti, klimatických rizikách a súlade s požiadavkami Taxonómie Európskej únie.

Rozšírenie ESG reportingu bude mať významný vplyv na investičnú atraktivitu budov, dostupnosť zeleného financovania a rozhodovanie investorov pri realizácii stavebných projektov.

### **Hodnotenie Whole Life Carbon**

Jedným z najvýznamnejších legislatívnych trendov je postupné zavádzanie povinného hodnotenia Whole Life Carbon (WLC). Tento prístup rozširuje tradičné hodnotenie energetickej hospodárnosti o komplexné posudzovanie emisií skleníkových plynov vznikajúcich počas celého životného cyklu budovy.

Hodnotenie zahŕňa emisie spojené s výrobou stavebných materiálov, výstavbou, prevádzkou, údržbou, rekonštrukciami aj ukončením životnosti budovy. Zavedenie metodiky WLC vytvorí silný impulz na využívanie nízkouhlíkových materiálov, optimalizáciu konštrukčných riešení a širšie uplatňovanie princípov obehového hospodárstva.

### **Perspektívy ďalšieho vývoja**

Budúci vývoj legislatívy bude smerovať k vytvoreniu integrovaného systému hodnotenia budov, ktorý spojí energetickú hospodárnosť, uhlíkovú stopu, environmentálne parametre stavebných materiálov, digitálne technológie a ekonomické hodnotenie počas celého životného cyklu. Vzájomné prepojenie smernice EPBD 2024, rámca Level(s), metodík LCA, Whole Life Carbon, Building Information Modeling (BIM), Digitálnych produktových pasov (DPP) a nového Construction Products Regulation (CPR) vytvára základ budúceho systému hodnotenia udržateľnosti budov v Európskej únii.

Možno predpokladať, že tieto legislatívne zmeny budú v nasledujúcich rokoch zásadne ovplyvňovať navrhovanie, výstavbu aj prevádzku budov. Ich spoločným cieľom je podporiť vznik stavebného fondu s minimálnou uhlíkovou stopou, vysokou energetickou efektívnosťou a dlhodobou environmentálnou udržateľnosťou, ktorý bude schopný napĺňať ciele klimateckej neutrality Európskej únie do roku 2050. Legislatíva Európskej únie a Slovenskej republiky predstavuje základný nástroj transformácie stavebného sektora smerom k energeticky efektívnym a nízkouhlíkovým budovám. Strategické dokumenty, legislatívne opatrenia a



finančné mechanizmy vytvárajú vzájomne prepojený systém, ktorého cieľom je znižovanie spotreby energie, obmedzovanie emisií skleníkových plynov a podpora udržateľného využívania prírodných zdrojov. Významnú úlohu zohrávajú Európska zelená dohoda, balík Fit for 55, smernica EPBD 2024, iniciatíva Renovation Wave, Taxonómia Európskej únie a rámec Level(s), ktoré spoločne určujú smerovanie európskeho stavebníctva v nasledujúcich desaťročiach. V podmienkach Slovenskej republiky tieto požiadavky implementujú najmä zákon č. 555/2005 Z. z., vykonávacie predpisy upravujúce energetickú hospodárnosť budov a finančné programy podporujúce energetické renovácie a využívanie obnoviteľných zdrojov energie. Budúci vývoj legislatívy bude charakterizovaný postupným zavádzaním povinného hodnotenia životného cyklu budov, hodnotenia uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu (Whole Life Carbon), rozvojom digitálnych pasov budov, širším využívaním metodiky Life Cycle Assessment (LCA) a intenzívnejším prepojením environmentálnych požiadaviek s digitálnymi technológiami a systémami ESG reportingu. Tieto opatrenia budú zásadným spôsobom ovplyvňovať projektovanie, výstavbu aj prevádzku budov. Možno konštatovať, že legislatíva sa postupne presúva od hodnotenia energetickej hospodárnosti k komplexnému hodnoteniu environmentálnej výkonnosti budov počas celého ich životného cyklu. Tento prístup vytvára základné predpoklady na rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva, efektívnejšie využívanie stavebných materiálov, širšie uplatňovanie princípov obehového hospodárstva a dosiahnutie klimateckej neutrality stavebného sektora do roku 2050.

## 5 NÍZKOUHLÍKOVÉ STAVEBNÉ MATERIÁLY

### 5.1 Úvod

Stavebné materiály predstavujú jeden z rozhodujúcich faktorov ovplyvňujúcich environmentálnu výkonnosť budov počas celého ich životného cyklu. Výroba stavebných materiálov je spojená so značnou spotrebou energie, využívaním prírodných zdrojov a produkciou emisií skleníkových plynov, ktoré významne prispievajú ku klimatickým zmenám. V dôsledku toho sa problematika výberu stavebných materiálov stáva neoddeliteľnou súčasťou navrhovania nízkouhlíkových budov a udržateľného stavebníctva.

Počas dlhého obdobia sa pozornosť odborníkov sústreďovala predovšetkým na znižovanie spotreby energie počas prevádzky budov. Rozvoj nízkoenergetických, pasívnych a budov s takmer nulovou potrebou energie priniesol výrazné zníženie prevádzkových emisií. Súčasne však narastal význam emisií spojených s výrobou stavebných materiálov, ich dopravou, zabudovaním do stavby, údržbou a likvidáciou po skončení životnosti budovy.

Tieto emisie sa označujú ako zabudovaný uhlík (Embodied Carbon) a predstavujú jednu z najvýznamnejších zložiek celkovej uhlíkovej stopy moderných budov. Pri energeticky efektívnych budovách môže zabudovaný uhlík tvoriť viac ako polovicu celkových emisií počas životného cyklu stavby. V niektorých prípadoch môže jeho podiel dokonca prevýšiť prevádzkové emisie vznikajúce počas niekoľkých desaťročí používania budovy.

Z uvedeného dôvodu sa výber stavebných materiálov stáva jedným z najúčinnějších nástrojov na znižovanie uhlíkovej stopy budov. Projektanti a investori dnes čoraz častejšie posudzujú nielen technické a ekonomické vlastnosti materiálov, ale aj ich environmentálne dopady počas celého životného cyklu. Významnú úlohu pri tomto procese zohrávajú metodiky Life Cycle Assessment (LCA), environmentálne produktové deklarácie (EPD) a hodnotenie Whole Life Carbon.

Moderné nízkouhlíkové stavebníctvo sa preto orientuje na využívanie materiálov, ktoré minimalizujú environmentálne zaťaženie a zároveň spĺňajú požadované technické a funkčné vlastnosti. Osobitná pozornosť sa venuje materiálom na biologickej báze, recyklovaným výrobkom, nízkouhlíkovým variantom tradičných materiálov a technológiám podporujúcim princípy obehového hospodárstva.

Pri výbere nízkouhlíkových stavebných materiálov sa uplatňujú najmä nasledujúce princípy:

- nízka uhlíková stopa výroby,
- vysoká životnosť materiálu,
- možnosť recyklácie a opätovného využitia,
- lokálna dostupnosť surovín a výrobkov,
- nízka energetická náročnosť spracovania,
- minimálny environmentálny dopad počas celého životného cyklu.

Uplatňovanie týchto princípov umožňuje znižovať spotrebu prírodných zdrojov, obmedzovať produkciu odpadu a redukovať emisie skleníkových plynov spojené s výstavbou. Súčasne podporuje prechod stavebného sektora od lineárneho modelu hospodárstva k princípom cirkulárnej ekonomiky.

Cieľom tejto kapitoly je analyzovať najvýznamnejšie nízkouhlíkové stavebné materiály využívané v súčasnom stavebníctve, posúdiť ich environmentálne vlastnosti a zhodnotiť ich potenciál pri znižovaní uhlíkovej stopy budov. Pozornosť bude venovaná najmä drevu, CLT konštrukciám, nízkouhlíkovému betónu, recyklovanej oceli, prírodným izolačným materiálom a ďalším inovatívnym riešeniam, ktoré predstavujú perspektívny smer rozvoja udržateľného stavebníctva.

### 5.2 Environmentálne hodnotenie stavebných materiálov

Jedným z najdôležitejších ukazovateľov environmentálnej výkonnosti stavebných materiálov je zabudovaný uhlík (Embodied Carbon – EC). Tento ukazovateľ vyjadruje množstvo emisií

skleníkových plynov vznikajúcich počas celého životného cyklu materiálu, ešte predtým, ako začne budova plniť svoju funkciu. Zabudovaný uhlík predstavuje významnú súčasť celkovej uhlíkovej stopy budovy a jeho význam neustále rastie v dôsledku zvyšovania energetickej efektívnosti moderných stavieb.

Každý stavebný materiál nesie určitú environmentálnu záťaž, ktorá vzniká v jednotlivých etapách jeho životného cyklu. Emisie sú produkované nielen počas samotnej výroby materiálu, ale aj počas získavania surovín, dopravy, zabudovania do stavby, údržby a nakladania s materiálom po skončení jeho životnosti.

Zabudovaný uhlík zahŕňa emisie vznikajúce počas:

- ťažby a získavania surovín,
- výroby stavebných materiálov,
- dopravy materiálov a výrobkov,
- montáže a realizácie stavby,
- údržby, opráv a výmeny materiálov,
- demolácie a likvidácie,
- recyklácie alebo opätovného využitia materiálov.

Množstvo zabudovaného uhlíka sa výrazne líši v závislosti od typu materiálu a použitej výrobnnej technológie. Materiály ako oceľ, hliník alebo cement sa vyznačujú vysokou energetickou náročnosťou výroby a vysokými emisiami CO<sub>2</sub>. Naopak, materiály na biologickej báze, ako drevo alebo prírodné izolácie, majú spravidla nižšiu uhlíkovú stopu a v niektorých prípadoch dokonca umožňujú dočasné viazanie uhlíka počas svojej životnosti.

Zabudovaný uhlík sa označuje ako:

- Embodied Carbon (EC)
- a najčastejšie sa vyjadruje v jednotkách:
- kg CO<sub>2</sub>eq/kg (na kilogram materiálu),
- kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> (na kubický meter materiálu).

V niektorých prípadoch sa používajú aj ďalšie jednotky, napríklad kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> stavebného prvku alebo t CO<sub>2</sub>eq na celý stavebný projekt.

Hodnoty zabudovaného uhlíka sa spravidla získavajú z environmentálnych produktových deklarácií (EPD) alebo z databáz používaných pri metodike Life Cycle Assessment (LCA). Tieto údaje umožňujú porovnávať environmentálne dopady jednotlivých materiálov a identifikovať riešenia s najnižšou uhlíkovou stopou.

Význam zabudovaného uhlíka v súčasnosti neustále rastie. Pri tradičných budovách predstavoval približne 10 až 20 % celkových emisií počas životného cyklu. Pri moderných nízkoenergetických, pasívnych a nulovoemisných budovách však môže dosahovať 40 až 60 % celkovej uhlíkovej stopy. Z tohto dôvodu sa výber stavebných materiálov stáva jedným z rozhodujúcich faktorov pri navrhovaní nízkouhlíkových budov.

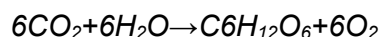
Znižovanie zabudovaného uhlíka je možné dosiahnuť najmä využívaním nízkouhlíkových materiálov, recyklovaných surovín, lokálnych výrobkov, optimalizáciou konštrukčných riešení a uplatňovaním princípov obehového hospodárstva. Práve tieto opatrenia predstavujú významný potenciál na redukciiu environmentálnych dopadov stavebného sektora a podporujú prechod k udržateľnému a klimaticky neutrálnemu stavebníctvu.

### 5.3 Drevo ako nízkouhlíkový materiál

Drevo patrí medzi najvýznamnejšie nízkouhlíkové stavebné materiály a v súčasnosti zohráva kľúčovú úlohu pri rozvoji udržateľného stavebníctva. V porovnaní s tradičnými materiálmi, ako sú betón, oceľ alebo hliník, sa vyznačuje podstatne nižšou uhlíkovou stopou a priaznivými environmentálnymi vlastnosťami. Vďaka tomu je drevo považované za jeden z najperspektívnejších materiálov na znižovanie zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) v budovách.

Jedinečnosť dreva spočíva v jeho schopnosti viazať oxid uhličitý počas rastu stromov prostredníctvom procesu fotosyntézy. Pri tomto procese rastliny využívajú slnečnú energiu na premenu oxidu uhličitého a vody na organické látky, pričom sa do atmosféry uvoľňuje kyslík.

Chemickú reakciu fotosyntézy možno vyjadriť nasledovne:



Počas rastu stromu sa uhlík obsiahnutý v oxide uhličitom ukladá do drevnej biomasy vo forme celulózy, lignínu a ďalších organických zlúčenín. Tento proces sa označuje ako sekvestrácia uhlíka a predstavuje prirodzený mechanizmus znižovania koncentrácie  $\text{CO}_2$  v atmosfére.

Ak je drevo následne využité ako stavebný materiál, uložený uhlík zostáva viazaný v konštrukcii počas celej životnosti budovy. V závislosti od typu stavby môže ísť o obdobie niekoľkých desaťročí až viac ako sto rokov. Drevené konštrukcie tak fungujú ako dlhodobé zásobníky uhlíka a prispievajú k znižovaniu celkovej uhlíkovej stopy stavebného sektora.

Významnou výhodou dreva je aj nízka energetická náročnosť jeho spracovania. Výroba drevených stavebných prvkov si vyžaduje podstatne menej energie než výroba ocele, cementu alebo hliníka. To vedie k nižším emisiám skleníkových plynov počas výrobného procesu a priaznivejším výsledkom pri hodnotení životného cyklu (LCA).

Medzi ďalšie charakteristické vlastnosti dreva patria:

- obnoviteľnosť suroviny,
- nízka uhlíková stopa výroby,
- schopnosť viazať uhlík,
- dobré tepelnoizolačné vlastnosti,
- nízka objemová hmotnosť,
- možnosť prefabrikácie,
- recyklovateľnosť a energetické zhodnotenie po skončení životnosti.

Environmentálne prínosy dreva však závisia aj od spôsobu hospodárenia v lesoch. Aby bolo možné drevo považovať za skutočne udržateľný materiál, musí pochádzať z lesov obhospodarovaných podľa princípov trvalo udržateľného lesného hospodárstva. Certifikačné systémy, ako FSC (Forest Stewardship Council) alebo PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification), zabezpečujú kontrolu pôvodu dreva a podporujú zodpovedné využívanie lesných zdrojov.

V súčasnosti sa drevo využíva nielen pri výstavbe rodinných domov, ale aj pri realizácii viacpodlažných obytných budov, administratívnych objektov a verejných stavieb. Rozvoj moderných drevených konštrukčných systémov, ako sú CLT (Cross Laminated Timber) alebo GLT (Glued Laminated Timber), umožňuje využívať drevo aj pri projektoch, ktoré boli v minulosti doménou železobetónových alebo oceľových konštrukcií.

V kontexte nízkouhlíkového stavebníctva predstavuje drevo jeden z najdôležitejších materiálov podporujúcich dekarbonizáciu stavebného sektora. Vďaka schopnosti viazať uhlík, nízkej energetickej náročnosti výroby a priaznivým environmentálnym vlastnostiam vytvára významný potenciál na znižovanie uhlíkovej stopy budov počas celého ich životného cyklu.

### 5.3.1 Výhody dreva

Drevo patrí medzi najvýznamnejšie stavebné materiály z pohľadu udržateľného a nízkouhlíkového stavebníctva. Vďaka priaznivým environmentálnym, technickým a ekonomickým vlastnostiam predstavuje perspektívnu alternatívu k tradičným stavebným materiálom, ako sú betón, oceľ alebo hliník. Kombinácia nízkej uhlíkovej stopy, dobrých mechanických vlastností a obnoviteľného charakteru suroviny predurčuje drevo na široké využitie pri navrhovaní budov s minimálnym environmentálnym dopadom.

#### Environmentálne aspekty využívania dreva

Z environmentálneho hľadiska patrí drevo medzi najšetrnejšie stavebné materiály využívané v súčasnom stavebníctve. Ide o obnoviteľný prírodný zdroj, ktorý možno pri zodpovednom lesnom hospodárstve dlhodobo využívať bez významného vyčerpávania prírodných zásob. Významnou výhodou dreva je jeho schopnosť počas rastu stromov absorbovať oxid uhličitý z

atmosféry a ukladať ho vo forme viazaného uhlíka v drevnej hmote. Tento uhlík zostáva zachovaný počas celej životnosti drevenej konštrukcie, čím drevo aktívne prispieva k znižovaniu koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére.

V porovnaní s energeticky náročnými stavebnými materiálmi sa drevo vyznačuje podstatne nižšou uhlíkovou stopou výroby a spracovania. Výrobný proces si vyžaduje menšie množstvo primárnej energie a produkuje výrazne nižšie emisie CO<sub>2</sub>, čo z dreva robí jeden z najvýznamnejších materiálov podporujúcich dekarbonizáciu stavebného sektora.

### **Technické vlastnosti dreva**

Drevo sa vyznačuje priaznivými mechanickými vlastnosťami, ktoré umožňujú jeho široké uplatnenie v modernom stavebníctve. Vysoký pomer pevnosti k vlastnej hmotnosti umožňuje navrhovať efektívne nosné konštrukcie pri relatívne nízkej spotrebe materiálu. Nízka objemová hmotnosť zároveň znižuje zaťaženie základových konštrukcií, uľahčuje dopravu stavebných prvkov a zjednodušuje manipuláciu počas realizácie stavby.

Významnou vlastnosťou dreva je aj jeho nízka tepelná vodivosť, ktorá prispieva k obmedzovaniu tepelných strát budovy a zvyšovaniu jej energetickej efektívnosti. Moderné drevené konštrukčné systémy navyše umožňujú vysoký stupeň prefabrikácie, čo zabezpečuje presnú výrobu jednotlivých prvkov vo výrobných závodoch a následne ich rýchlu a kvalitnú montáž priamo na stavenisku.

### **Ekonomické aspekty využívania dreva**

Okrem environmentálnych a technických prínosov prináša drevo aj významné ekonomické výhody. Vysoká miera prefabrikácie skracuje čas realizácie stavby, znižuje náklady na pracovnú silu a minimalizuje množstvo stavebného odpadu vznikajúceho na stavenisku. Nižšia hmotnosť drevených konštrukcií zároveň vedie k nižším nákladom na dopravu, manipuláciu a stavebnú mechanizáciu.

Z pohľadu celého životného cyklu budovy predstavujú drevené konštrukcie konkurencieschopné riešenie, ktoré môže pri vhodnom návrhu priniesť nielen nižšie investičné náklady na realizáciu, ale aj úspory počas prevádzky v dôsledku priaznivých tepelnoizolačných vlastností materiálu.

### **Význam dreva pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Kombinácia environmentálnych, technických a ekonomických vlastností robí z dreva jeden z najperspektívnejších stavebných materiálov súčasnosti. Jeho schopnosť viazať uhlík, nízka energetická náročnosť výroby a priaznivé konštrukčné vlastnosti významne prispievajú k znižovaniu zabudovaného uhlíka budov a podporujú prechod stavebného sektora k princípom udržateľného rozvoja.

Rastúce využívanie drevených konštrukcií, moderných prefabrikovaných systémov a technológií, ako sú CLT (Cross-Laminated Timber) alebo GLT (Glue-Laminated Timber), potvrdzuje, že drevo sa stáva jedným z hlavných konštrukčných materiálov budúceho nízkouhlíkového stavebníctva. V spojení s princípmi obehového hospodárstva, hodnotením životného cyklu (LCA) a metodikou Whole Life Carbon predstavuje významný nástroj na dosahovanie klimateckej neutrality stavebného sektora.

## **5.3.2 Nevýhody dreva**

Napriek mnohým environmentálnym, technickým a ekonomickým výhodám má drevo aj určité obmedzenia, ktoré je potrebné zohľadniť pri navrhovaní, realizácii a prevádzke stavebných konštrukcií. Väčšina týchto nevýhod súvisí s prírodným charakterom materiálu a jeho citlivosťou na podmienky okolitého prostredia. Pri správnom architektonickom návrhu, kvalitnom konštrukčnom riešení a pravidelnej údržbe však možno väčšinu rizík účinne eliminovať.

### **Vplyv vlhkosti**

Jedným z najvýznamnejších faktorov ovplyvňujúcich životnosť drevených konštrukcií je pôsobenie vlhkosti. Dlhodobý kontakt s vodou alebo zvýšená vlhkosť prostredia môže viesť k zmene rozmerov dreva, jeho deformáciám a postupnej degradácii materiálu. Vplyvom striedania vlhkosti dochádza k napučianiu a zosychaniu dreva, čo môže spôsobovať vznik trhlín, znižovanie mechanických vlastností a vytváranie vhodných podmienok na biologické poškodenie.

Z uvedených dôvodov je pri navrhovaní drevostavieb nevyhnutné zabezpečiť účinnú ochranu konštrukcií pred zrážkovou vodou, zemnou vlhkosťou aj kondenzáciou vodných pár. Správne riešenie stavebných detailov, vhodné odvetranie konštrukcií a kvalitná hydroizolácia patria medzi základné predpoklady dlhodobej životnosti drevených stavieb.

### **Biologická odolnosť**

Drevo ako organický materiál môže byť pri nevhodných prevádzkových podmienkach napadnuté biologickými škodcami. Najčastejšie ide o drevokazné huby, plesne, baktérie alebo drevokazný hmyz. Riziko biologického poškodenia výrazne narastá najmä pri dlhodobom pôsobení zvýšenej vlhkosti a nedostatočnom odvetraní konštrukcií.

Biologické poškodenie môže viesť k degradácii nosných vlastností dreva, znižovaniu jeho životnosti a v krajnom prípade aj k narušeniu statickej bezpečnosti stavebných konštrukcií. Moderné stavebné postupy preto využívajú kombináciu konštrukčnej ochrany dreva, vhodných impregnačných prostriedkov a detailov, ktoré minimalizujú riziko vzniku biologického poškodenia.

### **Požiarna bezpečnosť**

Požiarna odolnosť patrí medzi najčastejšie diskutované aspekty využívania dreva v stavebníctve. Drevo je síce horľavý materiál, avšak správanie masívnych drevených konštrukcií pri požiari je dobre preskúmané a vo veľkej miere predvídateľné.

Pri pôsobení vysokých teplôt sa na povrchu dreva vytvára zuhoľnatená vrstva, ktorá spomaľuje ďalšie šírenie požiaru a zároveň chráni vnútorné časti konštrukcie pred rýchlym zvyšovaním teploty. Vďaka tomuto mechanizmu možno pri správnom dimenzovaní navrhovať drevené konštrukcie s požadovanou požiarou odolnosťou.

Navrhovanie drevených budov si však vyžaduje dôsledné rešpektovanie požiadaviek požiarnej bezpečnosti, vhodné konštrukčné riešenia, aplikáciu protipožiarnych opatrení a dodržiavanie príslušných technických noriem. Súčasné technológie umožňujú realizáciu aj viacpodlažných drevených budov spĺňajúcich prísne požiarne požiadavky.

### **Kvalita projektového návrhu**

Životnosť a spoľahlivosť drevených konštrukcií vo veľkej miere závisia od kvality projektového návrhu a správneho riešenia stavebných detailov. Nevhodne navrhnuté spoje alebo nedostatočne chránené konštrukcie môžu spôsobovať prenikanie vlhkosti, vznik tepelných mostov alebo zhoršenie požiarnej bezpečnosti.

Osobitnú pozornosť je preto potrebné venovať ochrane dreva pred vlhkosťou, návrhu spojov a stykov konštrukcií, zabezpečeniu dostatočného odvetrania, eliminácii tepelných mostov a riešeniu kritických detailov z pohľadu požiarnej ochrany. Práve kvalitný projektový návrh predstavuje základný predpoklad bezpečného a dlhodobého využívania drevených konštrukcií.

### **Celkové hodnotenie**

Aj keď drevo vykazuje určité obmedzenia súvisiace s vlhkosťou, biologickou odolnosťou a požiarou bezpečnosťou, moderné projektové postupy, materiálové technológie a konštrukčné riešenia umožňujú tieto riziká vo veľkej miere eliminovať. Pri správnom návrhu, kvalitnej realizácii a pravidelnej údržbe môžu drevené konštrukcie dosahovať životnosť porovnateľnú s tradičnými stavebnými materiálmi.

Z pohľadu nízkouhlíkového stavebníctva zostáva drevo jedným z najperspektívnejších stavebných materiálov súčasnosti. Jeho schopnosť viazať uhlík, nízka energetická náročnosť

výroby a priaznivá environmentálna bilancia výrazne prevažujú nad jeho obmedzeniami. Preto sa očakáva, že význam dreva a moderných drevených konštrukčných systémov bude v nasledujúcich desaťročiach naďalej narastať a bude zohrávať kľúčovú úlohu pri dosahovaní klimatickej neutrality stavebného sektora.

## 5.4 CLT – Cross Laminated Timber

CLT (Cross Laminated Timber), v slovenskom preklade krížom lepené vrstvené drevo, predstavuje moderný konštrukčný materiál vyvinutý pre potreby súčasného drevostaviteľstva. V posledných dvoch desaťročiach sa stal jedným z najvýznamnejších materiálov využívaných pri výstavbe nízkouhlíkových budov a predstavuje perspektívnu alternatívu k tradičným železobetónovým a oceľovým nosným systémom.

CLT sa vyrába z drevených lamíel ukladaných vo viacerých vrstvách, pričom jednotlivé vrstvy sú orientované kolmo na seba a následne navzájom spojené pomocou vysokopevnostných lepidiel. Takéto usporiadanie zabezpečuje vysokú pevnosť, rozmerovú stabilitu a priaznivé mechanické vlastnosti materiálu v oboch hlavných smeroch.

CLT panely sa najčastejšie vyrábajú v konfiguráciách:

- 3-vrstvové panely,
- 5-vrstvové panely,
- 7-vrstvové panely,
- 9-vrstvové panely.

Počet vrstiev sa volí podľa požadovanej únosnosti, rozpätia konštrukcie, statického zaťaženia a architektonického riešenia budovy. S rastúcim počtom vrstiev sa zvyšuje tuhosť a únosnosť panelu, čo umožňuje jeho využitie aj pri viacpodlažných budovách.

Základným princípom CLT je krížové usporiadanie lamíel. Každá vrstva dreva je orientovaná kolmo na predchádzajúcu vrstvu, čím sa výrazne obmedzujú objemové zmeny spôsobené vlhkosťou a zlepšujú sa mechanické vlastnosti panelu. Výsledkom je konštrukčný prvok s vysokou stabilitou a schopnosťou prenášať zaťaženie vo viacerých smeroch.

Významnou výhodou CLT panelov je ich vysoká miera prefabrikácie. Panely sa vyrábajú vo výrobných závodoch s vysokou presnosťou vrátane otvorov pre okná, dvere, technické rozvody a spojovacie prvky. Na stavenisko sú dodávané ako hotové konštrukčné dielce pripravené na montáž. Tento prístup umožňuje výrazne skrátiť čas výstavby a znižovať množstvo odpadu vznikajúceho na stavbe.

CLT panely sa využívajú najmä ako:

- nosné steny,
- stropné konštrukcie,
- strešné konštrukcie,
- výtahové a schodiskové jadrá,
- priestorové nosné systémy budov.

Z environmentálneho hľadiska patrí CLT medzi najvýznamnejšie nízkouhlíkové stavebné materiály. Drevo použité na výrobu panelov počas rastu stromov absorbuje oxid uhličitý z atmosféry a viaže ho vo svojej štruktúre. Tento uhlík zostáva uložený počas celej životnosti budovy, čím CLT prispieva k znižovaniu celkovej uhlíkovej stopy stavebného sektora.

V porovnaní s tradičnými železobetónovými konštrukciami umožňuje CLT významne znižovať zabudovaný uhlík budov. Výskumy ukazujú, že využitie CLT môže znížiť emisie nosného systému približne o 30 až 50 %, pričom konkrétna hodnota závisí od typu budovy, rozsahu využitia dreva a zvoleného konštrukčného riešenia.

Vďaka kombinácii priaznivých mechanických vlastností, vysokej prefabrikácie a nízkej uhlíkovej stopy sa CLT stáva jedným z najdôležitejších materiálov moderného nízkouhlíkového stavebníctva. Jeho význam bude v nasledujúcich desaťročiach pravdepodobne naďalej narastať v súvislosti s rastúcimi požiadavkami na klimatickú neutralitu a udržateľnosť budov.

### 5.4.1 Výhody CLT

CLT (Cross Laminated Timber) patrí medzi najperspektívnejšie stavebné materiály súčasného nízkouhlíkového stavebníctva. Vďaka kombinácii priaznivých mechanických vlastností, environmentálnych benefitov a vysokej miery prefabrikácie umožňuje realizovať budovy s nižšou uhlíkovou stopou a zároveň vysokou technickou kvalitou. Jeho využívanie sa v posledných rokoch výrazne rozšírilo najmä pri výstavbe obytných, administratívnych a verejných budov.

Výhody CLT možno rozdeliť do troch základných oblastí: statické vlastnosti, environmentálne vlastnosti a výhody súvisiace s procesom výstavby.

### **Statické vlastnosti**

Jednou z najvýznamnejších výhod CLT panelov sú ich priaznivé mechanické vlastnosti. Krížové usporiadanie jednotlivých vrstiev dreva zabezpečuje vysokú pevnosť a stabilitu konštrukcie, pričom umožňuje efektívny prenos zaťaženia vo viacerých smeroch.

Medzi hlavné statické výhody patria:

- vysoká pevnosť,
- vysoká priestorová tuhosť.

CLT panely vykazujú veľmi dobré vlastnosti pri prenose zvislého aj vodorovného zaťaženia. Vďaka svojej tuhosti sú schopné zabezpečiť stabilitu budovy aj pri pôsobení vetra alebo seizmických účinkov. V porovnaní s tradičnými drevenými rámovými konštrukciami poskytujú podstatne vyššiu priestorovú stabilitu a umožňujú realizáciu viacpodlažných budov s veľkými rozpätiami.

Ďalšou výhodou je priaznivý pomer pevnosti k hmotnosti. CLT konštrukcie sú výrazne ľahšie než železobetónové systémy, čo vedie k nižšiemu zaťaženiu základov a umožňuje efektívnejšie využívanie materiálu.

### **Environmentálne vlastnosti**

CLT patrí medzi najvýznamnejšie nízkouhlíkové stavebné materiály a zohráva dôležitú úlohu pri znižovaní uhlíkovej stopy budov.

Medzi hlavné environmentálne výhody patria:

- nízka uhlíková stopa,
- schopnosť akumulácie uhlíka.

Drevo použité na výrobu CLT panelov počas rastu stromov absorbuje oxid uhličitý z atmosféry a ukladá ho vo svojej štruktúre. Tento uhlík zostáva viazaný počas celej životnosti budovy, čím CLT prispieva k znižovaniu koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére.

V porovnaní s ocelovými alebo železobetónovými konštrukciami si výroba CLT vyžaduje podstatne menej energie a produkuje výrazne nižšie množstvo emisií CO<sub>2</sub>. Výskumy ukazujú, že využitie CLT môže znížiť uhlíkovú stopu nosnej konštrukcie približne o 30 až 50 % v porovnaní s konvenčnými stavebnými systémami.

Významným prínosom je aj možnosť recyklácie a energetického zhodnotenia dreva po skončení životnosti budovy, čo podporuje princípy obehového hospodárstva.

### **Výstavba**

Významnou výhodou CLT panelov je vysoká miera prefabrikácie a efektívnosť stavebného procesu.

Medzi hlavné výhody pri realizácii stavieb patria:

- prefabrikácia,
- rýchla montáž.

CLT panely sa vyrábajú vo výrobných závodoch s vysokou presnosťou a na stavbu sú dodávané ako hotové konštrukčné dielce. Súčasťou výroby môžu byť aj otvory pre okná, dvere, technické rozvody a spojovacie prvky, čo výrazne znižuje množstvo prác vykonávaných priamo na stavenisku.

Vďaka prefabrikácii možno:

- skrátiť čas výstavby,



- znížiť náklady na pracovnú silu,
- minimalizovať množstvo stavebného odpadu,
- obmedziť vplyv poveternostných podmienok na realizáciu.

Montáž CLT konštrukcií je spravidla výrazne rýchlejšia než výstavba porovnateľných železobetónových objektov, čo prináša ekonomické aj environmentálne výhody.

### **Význam CLT pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Kombinácia priaznivých statických vlastností, nízkej uhlíkovej stopy a efektívneho procesu výstavby robí z CLT jeden z najvýznamnejších materiálov moderného udržateľného stavebníctva. Umožňuje realizovať budovy s vysokou technickou kvalitou a súčasne významne znižovať environmentálne dopady stavebného sektora.

Vzhľadom na rastúci dôraz na dekarbonizáciu stavebníctva a dosahovanie klimatickej neutrality sa očakáva, že využívanie CLT bude v nasledujúcich desaťročiach naďalej narastať a stane sa jedným z hlavných pilierov nízkouhlíkových stavebných systémov.

## **5.4.2 Príklady využitia**

Vďaka priaznivým mechanickým vlastnostiam, nízkej uhlíkovej stope a vysokému stupňu prefabrikácie sa CLT (Cross-Laminated Timber) uplatňuje v čoraz širšom spektre stavebných projektov. Z materiálu, ktorý bol pôvodne využívaný najmä pri výstavbe rodinných domov, sa postupne stal plnohodnotný konštrukčný systém nachádzajúci uplatnenie pri realizácii obytných, administratívnych, vzdelávacích aj výškových budov.

Rozvoj technológií spracovania dreva, rastúce požiadavky na dekarbonizáciu stavebníctva a dôraz na udržateľné využívanie stavebných materiálov významne rozširujú možnosti využitia CLT. V súčasnosti patrí medzi perspektívne konštrukčné systémy pri výstavbe bytových domov, administratívnych budov, verejných objektov a moderných výškových drevostavieb.

### **Bytové budovy**

Jednou z najvýznamnejších oblastí využitia CLT je bytová výstavba. Vysoká únosnosť panelov, priaznivé akustické vlastnosti a vysoký stupeň prefabrikácie umožňujú realizovať viacpodlažné bytové domy s výrazne kratším časom výstavby než pri tradičných železobetónových konštrukciách.

Významnou výhodou CLT je nižšia vlastná hmotnosť konštrukcie, ktorá znižuje zaťaženie základov, ako aj vysoká presnosť prefabrikovaných prvkov vyrábaných v kontrolovaných výrobných podmienkach. Súčasne drevené konštrukcie vytvárajú priaznivé vnútorné prostredie s dobrými tepelnotechnickými vlastnosťami a nízkou uhlíkovou stopou.

### **Administratívne budovy**

Rastúce uplatnenie CLT možno pozorovať aj pri výstavbe administratívnych objektov. Mnohé spoločnosti využívajú drevené konštrukcie ako súčasť svojich stratégií zameraných na plnenie ESG kritérií a znižovanie uhlíkovej stopy.

Administratívne budovy realizované z CLT sa vyznačujú vysokou estetickou hodnotou, kvalitným vnútorným prostredím, flexibilitou dispozičných riešení a krátkou dobou výstavby. Výskumy zároveň poukazujú na pozitívny vplyv pohľadového dreva na psychickú pohodu, spokojnosť a produktivitu používateľov budov.

### **Školy a verejné budovy**

Významnou oblasťou využitia CLT sú školy, materské školy a ďalšie verejné budovy. Vysoký stupeň prefabrikácie umožňuje skrátiť čas realizácie stavieb, čo je významnou výhodou najmä pri verejných investičných projektoch.

Pri vzdelávacích budovách sa oceňuje najmä zdravé vnútorné prostredie, priaznivé tepelnoizolačné vlastnosti, nízka uhlíková stopa a vysoká architektonická kvalita drevených konštrukcií. Významnou výhodou je aj možnosť budúcej adaptácie alebo rozšírenia objektu bez rozsiahlych stavebných zásahov.

### **Výškové drevostavby**

Najdynamickejšie sa rozvíjajúcou oblasťou využitia CLT sú výškové drevostavby. Pokrok v oblasti statických výpočtov, požiarneho inžinierstva a prefabrikačných technológií umožnil realizovať budovy, ktoré boli ešte pred niekoľkými rokmi považované za technicky neuskutočniteľné.

Výškové budovy z CLT sa dnes realizujú najmä v Európe, Severnej Amerike a Austrálii. V porovnaní so železobetónovými konštrukciami sa vyznačujú výrazne nižšou uhlíkovou stopou, nižšou vlastnou hmotnosťou, rýchlejšou montážou a vysokou presnosťou prefabrikovaných prvkov. Významnou environmentálnou výhodou je aj schopnosť viazať veľké množstvo uhlíka počas celej životnosti budovy.

Výškové drevostavby sa preto stávajú symbolom transformácie stavebného sektora smerom ku klimaticky neutrálnemu a udržateľnému stavebníctvu.

### **Perspektívy ďalšieho rozvoja**

Rozširovanie využitia CLT v rôznych typoch budov potvrdzuje jeho rastúci význam v modernom stavebníctve. Kombinácia priaznivých environmentálnych vlastností, technickej spoľahlivosti a ekonomickej efektívnosti vytvára predpoklady na jeho ďalšie uplatňovanie pri navrhovaní nízkouhlíkových budov.

Očakáva sa, že rozvoj prefabrikačných technológií, digitalizácie projektovania prostredníctvom BIM, zavádzanie metodík Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC), ako aj sprísňovanie európskej environmentálnej legislatívy budú v nasledujúcich desaťročiach podporovať ďalší rast využívania CLT. V spojení s princípmi obehového hospodárstva a využívaním obnoviteľných stavebných materiálov predstavuje CLT jeden z najperspektívnejších konštrukčných systémov budúcnosti a významne prispieva k znižovaniu uhlíkovej stopy budov a dosahovaniu klimatickej neutrality stavebného sektora.

### **Príklady významných budov realizovaných z CLT**

Rozvoj technológie Cross-Laminated Timber (CLT) umožnil realizáciu stavebných projektov, ktoré boli ešte pred niekoľkými desaťročiami považované za technicky neuskutočniteľné. Moderné viacpodlažné drevostavby potvrdzujú, že CLT je schopný spĺňať vysoké požiadavky na statickú bezpečnosť, požiarnu odolnosť, akustický komfort aj dlhodobú životnosť. Súčasne významne prispievajú k znižovaniu uhlíkovej stopy stavebného sektora a predstavujú praktický príklad uplatňovania princípov nízkouhlíkoveho stavebníctva.

#### **Mjøstårnet (Nórsko)**

Jedným z najznámejších príkladov využitia CLT je Mjøstårnet v nórskom meste Brumunddal. Budova bola dokončená v roku 2019 a s výškou približne 85,4 m patrila po svojom dokončení medzi najvyššie drevené budovy na svete.

Nosný systém tvorí kombinácia CLT panelov a lepeného lamelového dreva (GLT). Budova zahŕňa byty, hotel, kancelárske priestory aj športové zariadenia. Projekt preukázal, že drevené konštrukcie možno úspešne využívať aj pri výškových budovách pri zachovaní vysokej úrovne bezpečnosti a funkčnosti.

Významnou výhodou stavby je výrazné zníženie zabudovaného uhlíka v porovnaní s konvenčnými železobetónovými konštrukciami.

#### **Ascent (USA)**

Ďalším významným projektom je Ascent v meste Milwaukee (USA), dokončený v roku 2022. Budova dosahuje výšku približne 86,6 m a predstavuje jednu z najvyšších obytných drevostavieb na svete.

Nosnú konštrukciu tvorí kombinácia CLT panelov, GLT stĺpov a železobetónového jadra, ktoré zabezpečuje priestorovú tuhosť objektu. Projekt demonštruje možnosti hybridných konštrukčných systémov kombinujúcich výhody dreva a betónu.

Výstavba zároveň potvrdila ekonomické výhody prefabrikácie, ktorá významne skrátila čas realizácie stavby.

### **Sara Kulturhus (Švédsko)**

Významným príkladom verejnej budovy je Sara Kulturhus vo švédskom meste Skellefteå, dokončený v roku 2021.

Objekt spája kultúrne centrum, divadlo, knižnicu, galérie a hotel. Väčšina nosných konštrukcií bola realizovaná z CLT panelov a lepeného lamelového dreva, pričom drevo pochádza z regionálnych lesov severného Švédska.

Projekt predstavuje príklad udržateľnej architektúry založenej na využívaní lokálnych obnoviteľných zdrojov, minimalizácii uhlíkovej stopy a efektívnom hospodárení s materiálmi.

### **Význam realizovaných projektov**

Uvedené stavby potvrdzujú, že CLT už nepredstavuje materiál určený výlučne na výstavbu rodinných domov, ale plnohodnotný konštrukčný systém využiteľný aj pri realizácii viacpodlažných obytných, administratívnych a verejných budov.

Skúsenosti z realizovaných projektov dokazujú, že moderné drevené konštrukcie dokážu spĺňať prísne požiadavky na statickú bezpečnosť, požiaru odolnosť, akustické vlastnosti aj dlhodobú životnosť. Súčasne významne prispievajú k znižovaniu zabudovaného uhlíka, skracujú čas výstavby prostredníctvom prefabrikácie a podporujú využívanie obnoviteľných stavebných materiálov.

Z uvedených dôvodov možno očakávať, že význam CLT bude v nasledujúcich desaťročiach naďalej narastať a drevené konštrukcie sa stanú jedným z hlavných pilierov nízkouhlíkoveho stavebníctva.

## **5.5 Glulam (GLT)**

Glulam (Glue-Laminated Timber – GLT), v slovenskom preklade lepené lamelové drevo, patrí medzi najvýznamnejšie moderné drevené konštrukčné materiály využívané v súčasnom stavebníctve. Vyrába sa z jednotlivých drevených lamiel, ktoré sú navzájom lepené v pozdĺžnom smere, čím vzniká konštrukčný prvok s vysokou únosnosťou, rozmerovou stabilitou a priaznivými mechanickými vlastnosťami.

Technológia výroby GLT umožňuje eliminovať prirodzené nedostatky masívneho dreva, ako sú suky, trhliny alebo nerovnomerná štruktúra materiálu. Výsledkom je homogénny konštrukčný prvok s predvídateľnými mechanickými vlastnosťami, vysokou spoľahlivosťou a dlhou životnosťou. Vďaka tomu možno lepené lamelové drevo využívať aj pri veľkých rozpätíach a náročných statických riešeniach.

GLT sa vyrába z viacerých vrstiev technicky vysušených drevených lamiel spojených vysokopevnostnými konštrukčnými lepidlami. Počet vrstiev, rozmery aj tvar jednotlivých prvkov sa prispôbujú požiadavkám konkrétnej stavby. Významnou výhodou tejto technológie je možnosť výroby nielen priamych nosníkov, ale aj oblúkových alebo priestorovo zakrivených konštrukcií, ktoré poskytujú architektom vysokú mieru tvorivej slobody.

### **Oblasti využitia GLT**

Lepené lamelové drevo patrí medzi univerzálne konštrukčné materiály využívané predovšetkým pri realizácii nosných konštrukcií budov. Najčastejšie nachádza uplatnenie pri výrobe nosníkov, rámových systémov a strešných konštrukcií s veľkými rozpätiami.

Jednou z najvýznamnejších aplikácií sú nosníky s veľkým rozpätím, ktoré umožňujú realizovať konštrukcie bez potreby medzipodpier. Takéto riešenia sa využívajú najmä v športových halách, výrobných a skladových objektoch, výstavných priestoroch, kultúrnych stavbách a ďalších verejných budovách, kde je požadovaný veľký otvorený vnútorný priestor.

Významné postavenie má GLT aj pri tvorbe nosných rámových konštrukcií. Rámové systémy z lepeného lamelového dreva poskytujú vysokú statickú únosnosť pri zachovaní architektonickej flexibility. V porovnaní so železobetónovými alebo oceľovými rámami sa

vyznačujú nižšou vlastnou hmotnosťou, priaznivejšou environmentálnou bilanciou a nižšou uhlíkovou stopou.

Ďalšou významnou oblasťou využitia sú strešné konštrukcie, pri ktorých možno vďaka možnosti výroby zakrivených prvkov navrhovať architektonicky atraktívne zastrešenia s veľkými rozpätiami. Lepené lamelové drevo sa preto často využíva pri športových arénach, halových objektoch, kultúrnych centrách, letiskových termináloch a ďalších verejných budovách, kde sa kladie dôraz na estetiku aj statickú efektívnosť konštrukcie.

### **Environmentálne aspekty využívania GLT**

Podobne ako ostatné drevené konštrukčné materiály predstavuje aj GLT významný nástroj dekarbonizácie stavebného sektora. Drevo použité na výrobu lepeného lamelového dreva počas svojho rastu absorbuje oxid uhličitý z atmosféry a viaže ho vo svojej štruktúre. Tento uhlík zostáva uložený počas celej životnosti konštrukcie, čím GLT prispieva k zníženiu uhlíkovej stopy budov.

Výroba lepeného lamelového dreva si zároveň vyžaduje podstatne menej energie než výroba ocele alebo železobetónových konštrukcií. Nižšia energetická náročnosť výroby spolu s obnoviteľným charakterom dreva významne znižujú emisie skleníkových plynov spojené s výrobou stavebných materiálov.

### **Význam GLT pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Vďaka vysokej pevnosti, priaznivému pomeru únosnosti k vlastnej hmotnosti, architektonickej flexibilitě a nízkej uhlíkovej stope patrí Glue-Laminated Timber medzi najvýznamnejšie konštrukčné materiály moderného drevostaviteľstva. Umožňuje realizovať stavebné konštrukcie s veľkými rozpätiami pri súčasnom znižovaní zabudovaného uhlíka budov.

Rozvoj digitálneho projektovania prostredníctvom Building Information Modeling (BIM), využívanie metodík Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC), ako aj rastúce požiadavky na klimatickú neutralitu vytvárajú priaznivé podmienky na ďalšie rozširovanie využitia GLT v stavebníctve. V spojení s materiálmi, ako sú CLT, predstavuje lepené lamelové drevo jeden z hlavných konštrukčných systémov budúceho nízkouhlíkového stavebníctva.

## **5.5.1 Výhody**

Glulam (Glue-Laminated Timber – GLT) patrí medzi najvýznamnejšie konštrukčné materiály moderného drevostaviteľstva. V porovnaní s masívnym drevom sa vyznačuje vyššou pevnosťou, lepšou rozmerovou stabilitou a širšími možnosťami využitia v nosných konštrukciách. Vďaka priaznivému pomeru pevnosti k vlastnej hmotnosti a vysokej rozmerovej presnosti nachádza uplatnenie pri realizácii stavebných objektov s veľkými rozpätiami a vysokými požiadavkami na statickú únosnosť.

### **Veľké rozpätia**

Jednou z najvýznamnejších výhod lepeného lamelového dreva je schopnosť vytvárať nosné konštrukcie s veľkými rozpätiami bez potreby medzipodpier. Technológia lepenia jednotlivých drevených lamiel umožňuje výrobu prvkov veľkých rozmerov, ktoré si pri zachovaní nízkej vlastnej hmotnosti zachovávajú vysokú pevnosť a stabilitu.

Táto vlastnosť predurčuje GLT na realizáciu športových hál, výrobných a skladových objektov, výstavných priestorov, kultúrnych stavieb a ďalších verejných budov, kde sa vyžadujú veľké otvorené priestory bez vnútorných podpier. Rozpätia presahujúce niekoľko desiatok metrov poskytujú architektom vysokú mieru dispozičnej flexibility a umožňujú navrhovať konštrukcie s výraznou architektonickou hodnotou.

### **Vysoká únosnosť**

Lepené lamelové drevo sa vyznačuje veľmi priaznivými mechanickými vlastnosťami. Počas výrobného procesu sa eliminujú prirodzené nedostatky masívneho dreva, ako sú suky alebo

nerovnomerná štruktúra materiálu, čím sa dosahuje vyššia homogenita a lepšia predvídateľnosť správania konštrukčných prvkov pri zaťažení.

Vysoká únosnosť umožňuje využívať GLT pri realizácii nosných rámových systémov, strešných konštrukcií, mostných objektov aj viacpodlažných drevostavieb. Materiál spoľahlivo prenáša tlakové, ťahové aj ohybové namáhanie a počas celej životnosti si zachováva vysokú rozmerovú stabilitu.

### **Nízka hmotnosť**

V porovnaní s oceľovými alebo železobetónovými konštrukciami má GLT výrazne nižšiu objemovú hmotnosť. Táto vlastnosť prináša viaceré technické aj ekonomické výhody. Menšie zaťaženie základových konštrukcií umožňuje optimalizovať ich návrh, zatiaľ čo nižšia hmotnosť zjednodušuje dopravu, manipuláciu a montáž jednotlivých prvkov na stavenisku.

Významnou výhodou je aj kratší čas realizácie stavby a nižšie nároky na stavebnú mechanizáciu. Napriek nízkej hmotnosti si GLT zachováva vysokú pevnosť, čo z neho robí jeden z najefektívnejších konštrukčných materiálov z pohľadu pomeru únosnosti k vlastnej hmotnosti.

### **Význam GLT pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Kombinácia veľkých rozpätí, vysokej únosnosti a nízkej hmotnosti robí z lepeného lamelového dreva mimoriadne univerzálny konštrukčný materiál. Popri technických parametroch prináša aj významné environmentálne prínosy vyplývajúce z nízkej uhlíkovej stopy výroby a schopnosti viazať uhlík počas celej životnosti konštrukcie.

V spojení s modernými drevenými systémami, ako sú CLT panely, vytvára GLT základ súčasného viacpodlažného drevostaviteľstva. Súčasne podporuje uplatňovanie princípov Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a obehového hospodárstva, čím významne prispieva k navrhovaniu budov s minimálnou uhlíkovou stopou.

Očakáva sa, že s rastúcimi požiadavkami na dekarbonizáciu stavebníctva bude význam lepeného lamelového dreva naďalej narastať a GLT sa stane jedným z kľúčových konštrukčných materiálov pri realizácii klimaticky neutrálnych budov.

## **5.6 Betón a cement**

### **5.6.1 Význam betónu a cementu**

Betón patrí medzi najvýznamnejšie a najpoužívannejšie stavebné materiály na svete. Predstavuje základný konštrukčný prvok moderného stavebníctva a nachádza uplatnenie pri výstavbe obytných budov, administratívnych objektov, priemyselných stavieb, mostov, tunelov, dopravnej infraštruktúry aj vodohospodárskych diel. Vďaka svojej dostupnosti, priaznivým mechanickým vlastnostiam a relatívne nízkym výrobným nákladom sa stal dominantným stavebným materiálom vo väčšine krajín sveta.

Význam betónu dokumentuje aj jeho celosvetová spotreba. Odhaduje sa, že ročne sa vyrobí viac ako 10 miliárd ton betónu, čím sa zaraďuje medzi najpoužívannejšie materiály vôbec a po vode predstavuje druhú najviac využívanú látku na svete. Takéto rozsiahle využitie súvisí s kombináciou technických, ekonomických a prevádzkových vlastností, ktoré umožňujú realizovať konštrukcie rôznych rozmerov, tvarov a funkcií.

#### **Technické vlastnosti betónu**

Dominantné postavenie betónu v stavebníctve vyplýva predovšetkým z jeho priaznivých mechanických vlastností. Materiál sa vyznačuje vysokou pevnosťou v tlaku, dlhou životnosťou, dobrou požiarou odolnosťou a vysokou odolnosťou voči poveternostným vplyvom. Významnou výhodou je aj široká dostupnosť vstupných surovín a možnosť vytvárať konštrukcie prakticky ľubovoľného tvaru.

Tieto vlastnosti umožňujú využívať betón pri realizácii jednoduchých stavebných objektov aj technicky mimoriadne náročných konštrukcií. Železobetónové systémy sa stali základom

modernej urbanizácie a umožnili výstavbu výškových budov, rozsiahlych dopravných systémov aj infraštruktúrnych projektov veľkého rozsahu.

### **Environmentálne aspekty**

Napriek svojim technickým prednostiam predstavuje betón významnú environmentálnu výzvu. Rozhodujúci podiel na jeho uhlíkovej stope má výroba cementu, ktorý tvorí základné spojivo betónovej zmesi. Cementársky priemysel patrí medzi energeticky najnáročnejšie odvetvia a je spojený s vysokými emisiami oxidu uhličitého.

Emisie vznikajú predovšetkým spaľovaním palív potrebných na výrobu cementového slinku, chemickým procesom kalcinácie vápenca a dopravou surovín i hotových výrobkov. Práve proces kalcinácie predstavuje špecifický zdroj emisií, ktorý nemožno eliminovať iba zmenou energetického zdroja, keďže oxid uhličitý vzniká priamo počas chemickej reakcie.

Cementársky priemysel sa podľa súčasných odhadov podieľa približne 7 až 8 % na globálnych emisiách CO<sub>2</sub>, čo z neho robí jeden z najvýznamnejších priemyselných zdrojov skleníkových plynov. Vzhľadom na rozsah využívania betónu môže aj relatívne malé zníženie emisnej náročnosti výroby priniesť významné zníženie uhlíkovej stopy celého stavebného sektora.

### **Perspektívy dekarbonizácie betónu**

Súčasný výskum sa intenzívne zameriava na hľadanie riešení umožňujúcich zachovať priaznivé technické vlastnosti betónu pri súčasnom znižovaní jeho environmentálnych dopadov. Významný potenciál predstavujú predovšetkým nízkouhlíkové cementy, geopolymérne spojivá, využívanie recyklovaného kameniva, čiastočná náhrada portlandského cementu druhotnými surovinami, ako aj technológie zachytávania, využívania a ukladania oxidu uhličitého (CCUS) počas výroby cementu.

Významným smerom vývoja je aj optimalizácia receptúr betónových zmesí a efektívnejšie využívanie materiálu prostredníctvom digitálneho projektovania a prefabrikácie, ktoré umožňujú znižovať spotrebu cementu bez negatívneho vplyvu na mechanické vlastnosti konštrukcie.

### **Význam betónu pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Napriek rastúcemu využívaniu dreva a ďalších nízkouhlíkových materiálov zostáva betón neoddeliteľnou súčasťou moderného stavebníctva. Z pohľadu udržateľného rozvoja preto nie je cieľom jeho úplné nahradenie, ale predovšetkým systematické znižovanie jeho uhlíkovej stopy a efektívnejšie využívanie počas celého životného cyklu stavieb.

Budúcnosť betónových konštrukcií bude úzko spojená s rozvojom nízkouhlíkových cementov, metodikami Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC), využívaním recyklovaných materiálov a princípmi obehového hospodárstva. Práve kombinácia technologických inovácií, optimalizácie materiálovej spotreby a environmentálneho hodnotenia vytvára predpoklady na zachovanie výhod betónu pri súčasnom naplňaní cieľov klimateckej neutrality stavebného sektora.

## **5.6.2 Zdroj emisií**

Hlavným zdrojom environmentálnych dopadov betónu je cement, ktorý predstavuje základné spojivo betónovej zmesi. Zatiaľ čo kamenivo a voda sa vyznačujú relatívne nízkou uhlíkovou stopou, výroba cementu patrí medzi najvýznamnejšie priemyselné zdroje emisií skleníkových plynov na svete. Odhaduje sa, že cementársky priemysel je zodpovedný približne za 7 až 8 % globálnych emisií oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), čo z neho robí jedno z najemisnejších priemyselných odvetví.

Vysoká uhlíková stopa cementu je spôsobená dvoma základnými procesmi – spaľovaním palív potrebných na výrobu cementového slinku a chemickým procesom kalcinácie vápenca. Oba procesy významne prispievajú k celkovým emisiám oxidu uhličitého, pričom ich podiel sa navzájom dopĺňa.

### Spaľovanie palív

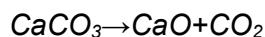
Výroba cementového slinku prebieha v rotačných peciach pri teplotách približne **1 450 °C**. Dosiahnutie takto vysokých teplôt si vyžaduje značné množstvo energie, ktorá sa tradične získava spaľovaním fosílnych palív. V cementárskom priemysle sa najčastejšie využíva uhlie, zemný plyn, ropné produkty alebo rôzne druhy alternatívnych palív získavaných z odpadových materiálov.

Spaľovanie týchto palív predstavuje významný zdroj emisií oxidu uhličitého a tvorí podstatnú časť uhlíkovej stopy cementu. Moderné cementárne preto postupne znižujú spotrebu fosílnych palív, zvyšujú podiel alternatívnych palív a zavádzajú energeticky efektívnejšie výrobné technológie s cieľom obmedziť produkciu skleníkových plynov.

### Kalcinácia vápenca

Ešte významnejším zdrojom emisií je chemický proces kalcinácie vápenca, ktorý je nevyhnutnou súčasťou výroby cementového slinku. Počas zahrievania vápenca ( $\text{CaCO}_3$ ) na vysokú teplotu dochádza k jeho rozkladu na oxid vápenatý ( $\text{CaO}$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), ktorý sa uvoľňuje priamo do atmosféry.

Chemickú reakciu možno vyjadriť nasledovne:



Na rozdiel od emisií vznikajúcich spaľovaním palív nemožno emisie z kalcinácie odstrániť iba zmenou energetického zdroja, pretože vznikajú priamo počas chemickej reakcie. Práve tento proces predstavuje približne polovicu celkových emisií spojených s výrobou cementu a patrí medzi najväčšie technologické výzvy pri dekarbonizácii cementárskeho priemyslu.

### Perspektívy znižovania emisií

Súčasný výskum a vývoj sa zameriava na technologické riešenia umožňujúce znižovať emisie vznikajúce počas výroby cementu. Medzi perspektívne opatrenia patrí využívanie nízkouhlíkových cementov, čiastočná náhrada portlandského cementu druhotnými surovinami, využívanie alternatívnych palív, zvyšovanie energetickej účinnosti výrobných procesov a technológie zachytávania, využívania a ukladania oxidu uhličitého (Carbon Capture, Utilisation and Storage – CCUS).

Významný potenciál predstavujú aj geopolymérne spojivá a ďalšie alternatívne cementové materiály, ktoré umožňujú výrazne znižovať uhlíkovú stopu betónových konštrukcií pri zachovaní požadovaných mechanických vlastností.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Výroba cementu zostáva jednou z najväčších výziev pri dekarbonizácii stavebného sektora. Vzhľadom na dominantné postavenie betónu v súčasnom stavebníctve bude ďalší rozvoj nízkouhlíkových cementov, alternatívnych spojív a technológií zachytávania oxidu uhličitého zohrávať rozhodujúcu úlohu pri znižovaní zabudovaného uhlíka budov. V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC) vytvárajú tieto opatrenia predpoklady na zachovanie technických výhod betónu pri súčasnom významnom obmedzení jeho environmentálnych dopadov a podpore klimaticky neutrálneho stavebníctva.

## 5.6.3 Uhlíková stopa cementu

Cement predstavuje rozhodujúci faktor ovplyvňujúci uhlíkovú stopu betónu. Hoci tvorí iba približne 10 až 15 % objemu betónovej zmesi, jeho výroba je zodpovedná za prevažnú časť emisií skleníkových plynov vznikajúcich pri výrobe betónu. Z environmentálneho hľadiska je preto práve výber typu cementu jedným z najvýznamnejších opatrení na znižovanie zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) stavebných konštrukcií. Množstvo emisií oxidu uhličitého závisí predovšetkým od podielu portlandského slinku, výrobných technológií a druhu

energetických zdrojov využívaných počas výroby cementu. Významný vplyv má aj využívanie druhotných cementárskych materiálov, ako sú granulovaná vysokopecná troska, popolček alebo pucolány, ktoré umožňujú znižovať obsah slinku a tým aj celkovú uhlíkovú stopu cementu. V súčasnosti sa cementársky priemysel intenzívne zameriava na vývoj nízkouhlíkových cementov, ktoré umožňujú významne obmedziť emisie skleníkových plynov pri zachovaní požadovaných mechanických a trvanlivostných vlastností. Tieto materiály predstavujú jeden z hlavných nástrojov dekarbonizácie výroby betónu a zohrávajú významnú úlohu pri navrhovaní nízkouhlíkových budov. Orientačné hodnoty uhlíkovej stopy vybraných druhov cementov sú uvedené v Tabuľke 7.

**Tabuľka 7** Orientačné hodnoty uhlíkovej stopy vybraných druhov cementu

| <b>Materiál</b>      | <b>kg CO<sub>2</sub>/t</b> |
|----------------------|----------------------------|
| Portlandský cement   | 800 – 950                  |
| Nízkouhlíkový cement | 400 – 600                  |
| Geopolymérny cement  | 150 – 400                  |

Z tabuľky vyplýva, že znižovanie podielu portlandského slinku predstavuje jeden z najefektívnejších spôsobov redukcie uhlíkovej stopy cementu. Moderné nízkouhlíkové cementy tak významne prispievajú k znižovaniu zabudovaného uhlíka betónových konštrukcií bez výrazného obmedzenia ich technických vlastností.

#### **Druhy cementov z pohľadu uhlíkovej stopy**

Výber typu cementu patrí medzi rozhodujúce faktory ovplyvňujúce uhlíkovú stopu betónu. Jednotlivé druhy cementov sa výrazne líšia podielom cementového slinku, použitými surovinami aj výrobnou technológiou, čo sa priamo odráža na množstve emisií skleníkových plynov vznikajúcich počas ich výroby. Moderné nízkouhlíkové alternatívy umožňujú významne znižovať zabudovaný uhlík betónových konštrukcií pri zachovaní požadovaných mechanických a trvanlivostných vlastností.

#### **Portlandský cement**

Portlandský cement predstavuje najrozšírenejší druh cementu využívaný v stavebníctve. Jeho výroba je založená na vysokom podiele cementového slinku, ktorý vzniká vypaľovaním vápenca a ďalších surovín pri teplotách približne 1 450 °C.

Uhlíková stopa portlandského cementu sa pohybuje približne v rozmedzí 800 až 950 kg CO<sub>2</sub>eq na tonu cementu, pričom najvýznamnejším zdrojom emisií je chemický proces kalcinácie vápenca a spaľovanie fosílnych palív potrebných na výrobu cementového slinku. Významný podiel predstavuje aj vysoká energetická náročnosť výrobného procesu.

Vzhľadom na dominantné postavenie portlandského cementu vo svetovej výrobe betónu predstavuje práve tento materiál jeden z najvýznamnejších zdrojov zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) v stavebníctve.

#### **Nízkouhlíkové cementy**

Významný potenciál na znižovanie emisií predstavujú nízkouhlíkové cementy, pri ktorých sa časť portlandského slinku nahrádza materiálmi s nižšou uhlíkovou stopou. Najčastejšie ide o granulovanú vysokopecnú trosku, popolček, kalcinované íly alebo prírodné pucolány.

Zníženie podielu cementového slinku umožňuje dosiahnuť uhlíkovú stopu približne 400 až 600 kg CO<sub>2</sub>eq na tonu cementu, čo predstavuje významnú redukciu emisií pri zachovaní požadovaných mechanických vlastností a trvanlivosti materiálu.

Vďaka priaznivej kombinácii technických a environmentálnych vlastností patria nízkouhlíkové cementy medzi najperspektívnejšie riešenia dekarbonizácie cementárskeho priemyslu a čoraz častejšie sa uplatňujú pri výstavbe nízkouhlíkových budov.

#### **Geopolymérne cementy**



Geopolymérne cementy predstavujú jednu z najperspektívnejších alternatív ku klasickému portlandskému cementu. Na rozdiel od tradičných cementov nevyužívajú proces kalcinácie vápenca, čím sa výrazne obmedzuje tvorba oxidu uhličitého počas výroby.

Pri ich výrobe sa využívajú predovšetkým druhotné aluminosilikátové suroviny, ako sú popolček z tepelných elektrární, granulovaná vysokopecná troska, metakaolín alebo ďalšie priemyselné vedľajšie produkty.

Uhlíková stopa geopolymérnych cementov sa pohybuje približne v rozmedzí 150 až 400 kg CO<sub>2</sub>eq na tonu cementu, čo v porovnaní s portlandským cementom predstavuje zníženie emisií o viac ako polovicu. Okrem priaznivej environmentálnej bilancie sa vyznačujú vysokou pevnosťou, dobrou chemickou odolnosťou a dlhou životnosťou, vďaka čomu predstavujú perspektívny materiál budúcnosti.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Porovnanie jednotlivých druhov cementov jednoznačne potvrdzuje, že výber spojiva významne ovplyvňuje celkovú uhlíkovú stopu betónu a následne aj celej budovy. Vzhľadom na rozsah využívania betónu vo svetovom stavebníctve môže aj relatívne malé zníženie emisnej náročnosti výroby cementu priniesť výrazné zníženie emisií skleníkových plynov na úrovni celého sektora.

Rozvoj nízkouhlíkových a geopolymérnych cementov preto patrí medzi najvýznamnejšie smery výskumu a technologických inovácií v oblasti stavebných materiálov. Ich širšie využívanie v spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a princípmi obehového hospodárstva vytvára predpoklady na výrazné znižovanie zabudovaného uhlíka budov a podporuje dosahovanie klimateckej neutrality stavebného sektora.

## **5.7 Nízkouhlíkový betón**

### **5.7.1 Princíp**

Nízkouhlíkový betón predstavuje skupinu betónových zmesí navrhnutých s cieľom minimalizovať emisie skleníkových plynov vznikajúce počas výroby betónu. Keďže rozhodujúci podiel na uhlíkovej stope betónu má výroba cementu, základným princípom nízkouhlíkových betónov je znižovanie obsahu cementového slinku (klinkeru) a jeho čiastočné nahrádzanie alternatívnymi spojivami s nižšou uhlíkovou stopou. Klinker predstavuje hlavnú zložku portlandského cementu a zároveň najvýznamnejší zdroj emisií oxidu uhličitého počas jeho výroby. Emisie vznikajú jednak spaľovaním palív potrebných na dosiahnutie vysokých výrobných teplôt, jednak chemickým procesom kalcinácie vápenca. Práve redukcia podielu klinkeru patrí medzi najefektívnejšie opatrenia na dekarbonizáciu cementárskeho priemyslu a následne aj celého stavebného sektora. Moderné nízkouhlíkové betóny využívajú tzv. doplnkové cementárske materiály (Supplementary Cementitious Materials – SCM), ktoré umožňujú nahradiť časť cementového spojiva bez výrazného negatívneho vplyvu na mechanické alebo trvanlivostné vlastnosti betónu. Okrem znižovania uhlíkovej stopy môžu tieto materiály priaznivo ovplyvňovať spracovateľnosť čerstvej betónovej zmesi, dlhodobú pevnosť alebo odolnosť konštrukcií voči agresívnemu prostrediu.

### **Popolček**

Jedným z najčastejšie využívaných doplnkových cementárskych materiálov je popolček, ktorý vzniká ako vedľajší produkt spaľovania uhlia v tepelných elektrárňach. V betónových zmesiach sa využíva ako čiastočná náhrada cementu, pričom vykazuje výrazné pucolánové vlastnosti a podporuje tvorbu pevnej cementovej matrice. Využitie popolčeka umožňuje znižovať spotrebu cementu, obmedzovať uhlíkovú stopu betónu a zároveň zlepšovať spracovateľnosť čerstvej zmesi. Významným prínosom je aj postupný nárast pevnosti betónu počas jeho dlhodobej životnosti.

### **Granulovaná vysokopecná troska**

Významné postavenie medzi nízkouhlíkovými spojivami má granulovaná vysokopecná troska, ktorá vzniká ako vedľajší produkt pri výrobe železa a ocele. Po jemnom zomletí vykazuje hydraulické vlastnosti a môže byť využívaná ako súčasť cementu alebo priamo ako prísada do betónových zmesí. Použitie vysokopecnej trosky umožňuje významne znížovať emisie oxidu uhličitého spojené s výrobou cementu. Súčasne zlepšuje odolnosť betónu voči chemicky agresívnemu prostrediu, znižuje vývin hydratačného tepla a prispieva k predĺženiu životnosti betónových konštrukcií. V európskom stavebníctve patrí medzi najrozšírenejšie materiály využívané pri výrobe nízkouhlíkových cementov.

### **Kalcinované íly**

Perspektívnym smerom vývoja sú aj kalcinované íly, ktoré vznikajú tepelnou úpravou vhodných ílov pri podstatne nižších teplotách než pri výrobe portlandského slinku. Vďaka nižšej energetickej náročnosti výroby umožňujú významne redukovať emisie oxidu uhličitého pri zachovaní priaznivých mechanických vlastností výsledného betónu.

Osobitnú pozornosť si získava technológia LC3 (Limestone Calcined Clay Cement), ktorá kombinuje kalcinované íly s vápencom a predstavuje jednu z najperspektívnejších alternatív klasického portlandského cementu z pohľadu dekarbonizácie cementárskeho priemyslu.

### **Mikrosilika**

Ďalším významným doplnkovým cementárskym materiálom je mikrosilika, označovaná aj ako kremičitý úlet. Ide o vedľajší produkt vznikajúci pri výrobe kremíka a ferosilíciových zliatin, ktorý sa vyznačuje veľmi jemnou štruktúrou a vysokým obsahom oxidu kremičitého.

Pridanie mikrosiliky do betónových zmesí zvyšuje pevnosť, znižuje priepustnosť betónu a významne zlepšuje jeho trvanlivosť. Vzhľadom na svoje vlastnosti sa využíva najmä pri výrobe vysokopevnostných betónov a konštrukcií vystavených agresívnym prevádzkovým podmienkam.

### **Význam nízkouhlíkového betónu pre udržateľné stavebníctvo**

Znižovanie obsahu cementového slinku predstavuje jednu z najefektívnejších stratégií redukcie uhlíkovej stopy stavebných materiálov. Využívanie doplnkových cementárskych materiálov umožňuje zachovať požadované technické vlastnosti betónu pri súčasnom významnom obmedzení emisií skleníkových plynov. Nízkouhlíkové betóny preto zohrávajú kľúčovú úlohu pri dekarbonizácii stavebného sektora a predstavujú jeden z hlavných nástrojov na dosahovanie klimateckej neutrality. V kombinácii s recyklovaným kamenivom, optimalizáciou konštrukčných riešení, metodikami Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC), ako aj princípmi obehového hospodárstva vytvárajú základ budúceho rozvoja udržateľného betónového stavebníctva.

## **5.7.2 Výhody**

Nízkouhlíkový betón predstavuje jednu z najperspektívnejších ciest na znižovanie environmentálnych dopadov stavebníctva pri zachovaní technických vlastností tradičných betónových konštrukcií. Využívanie alternatívnych cementárskych materiálov a redukcia obsahu klinkeru umožňujú významne obmedzovať emisie skleníkových plynov bez zásadného negatívneho vplyvu na kvalitu alebo funkčnosť výsledného materiálu.

Medzi hlavné výhody nízkouhlíkového betónu patria:

- zníženie emisií CO<sub>2</sub>,
- zachovanie požadovanej pevnosti,
- dlhšia životnosť konštrukcií.
- Zníženie emisií CO<sub>2</sub>

Najvýznamnejším prínosom nízkouhlíkového betónu je redukcia emisií skleníkových plynov počas výroby. Nahradením časti cementového klinkeru materiálmi, ako sú popolček,

vysokopečná troska, kalcinované íly alebo mikrosilika, možno výrazne znížiť množstvo emisií vznikajúcich pri výrobe cementu. V závislosti od typu použitej technológie a rozsahu náhrady klinkeru možno dosiahnuť zníženie emisií približne o 20 až 50 % v porovnaní s konvenčným betónom využívajúcim portlandský cement. Pri niektorých špeciálnych typoch nízkouhlíkových alebo geopolymérnych betónov môže byť zníženie emisií ešte výraznejšie. Vzhľadom na rozsiahle využívanie betónu v stavebníctve predstavuje táto úspora významný prínos pre dekarbonizáciu stavebného sektora.

### **Zachovanie pevnosti**

Dôležitou výhodou nízkouhlíkových betónov je schopnosť zachovať požadované mechanické vlastnosti. Moderné receptúry umožňujú dosahovať pevnosti porovnateľné s tradičnými betónmi, pričom v niektorých prípadoch môžu byť dokonca vyššie. Vhodne navrhnuté zmesi zabezpečujú:

- dostatočnú pevnosť v tlaku,
- dobrú odolnosť voči zaťaženiu,
- stabilitu mechanických vlastností počas životnosti,
- kompatibilitu s bežnými stavebnými technológiami.

Vďaka tomu možno nízkouhlíkové betóny využívať vo väčšine typov stavebných konštrukcií bez potreby zásadných zmien projektových alebo realizačných postupov.

### **Dlhšia životnosť**

Mnohé alternatívne cementárske materiály pozitívne ovplyvňujú mikroštruktúru betónu a zvyšujú jeho odolnosť voči vonkajším vplyvom. Výsledkom je vyššia trvanlivosť konštrukcie a nižšie nároky na údržbu počas životného cyklu stavby.

Medzi hlavné prínosy patrí:

- nižšia priepustnosť betónu,
- vyššia odolnosť voči chemickým látkam,
- lepšia ochrana výstuže pred koróziou,
- vyššia odolnosť voči mrazu a rozmrazovacím cyklom,
- znížené riziko vzniku trhlín.

Predĺženie životnosti stavebných konštrukcií prináša nielen ekonomické výhody, ale zároveň znižuje environmentálne dopady spojené s opravami, rekonštrukciami a výmenou stavebných prvkov.

Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Kombinácia nižších emisií, zachovania technických vlastností a vyššej životnosti robí z nízkouhlíkového betónu jeden z najdôležitejších materiálov budúcnosti. Umožňuje významne znížovať zabudovaný uhlík budov bez obmedzenia ich funkčnosti, bezpečnosti alebo životnosti.

Vzhľadom na dominantné postavenie betónu v stavebníctve predstavuje jeho dekarbonizácia jednu z najvýznamnejších príležitostí na znižovanie uhlíkovej stopy stavebného sektora a na dosahovanie cieľov klimateckej neutrality v nasledujúcich desaťročiach.

## **5.8 Geopolymérny betón**

Geopolymérny betón predstavuje modernú nízkouhlíkovú alternatívu ku klasickému betónu na báze portlandského cementu. Jeho vývoj je motivovaný snahou o znižovanie emisií skleníkových plynov spojených s výrobou cementu, ktorá patrí medzi najvýznamnejšie zdroje emisií v stavebnom priemysle. Geopolymérne materiály umožňujú dosahovať porovnateľné, prípadne v niektorých prípadoch aj lepšie mechanické a trvanlivostné vlastnosti než tradičné cementové systémy pri výrazne nižšej uhlíkovej stope.

Na rozdiel od klasického betónu, ktorého spojivo tvorí portlandský cement vyrábaný procesom kalcinácie vápenca, geopolymérny betón využíva alternatívne anorganické spojivá založené

na aluminosilikátových materiáloch. V dôsledku toho možno výrazne obmedziť emisie oxidu uhličitého spojené s výrobou spojiva a zároveň efektívne využívať priemyselné vedľajšie produkty.

### **Zloženie geopolymérneho betónu**

Geopolymérne betóny sú najčastejšie vyrábané z popolčeka, granulovanej vysokopečnej trosky a alkalických aktivátorov, ktoré spoločne vytvárajú základ geopolymérneho spojiva.

Významným zdrojom aluminosilikátových zlúčenín je popolček, vznikajúci ako vedľajší produkt spaľovania uhlia v tepelných elektrárnach. Vysoký obsah oxidu kremičitého a oxidu hlinitého umožňuje jeho efektívne využitie pri tvorbe geopolymérnych väzieb. Používanie popolčeka znižuje potrebu výroby portlandského cementu, podporuje materiálové zhodnocovanie priemyselných odpadov a zároveň prispieva k redukcii emisií CO<sub>2</sub>.

Dalším významným materiálom je granulovaná vysokopečná troska, ktorá vzniká pri výrobe železa a ocele. Po vhodnom spracovaní predstavuje kvalitný zdroj hydraulicky aktívnych aluminosilikátových zlúčenín. Jej využitie umožňuje znižovať energetickú náročnosť výroby spojiva, zlepšovať mechanické vlastnosti výsledného betónu a zároveň zvyšovať jeho odolnosť voči chemicky agresívnemu prostrediu.

Nevyhnutnou súčasťou geopolymérneho spojiva sú alkalické aktivátory, ktoré iniciujú chemickú reakciu vedúcu k vytvoreniu pevnej geopolymérnej štruktúry. Najčastejšie sa využíva hydroxid sodný, hydroxid draselný, vodné sklo alebo silikát draselný. Tieto látky zabezpečujú rozpustenie aluminosilikátových zložiek a následnú tvorbu priestorovej polymérnej siete zodpovednej za pevnosť a stabilitu materiálu.

### **Princíp geopolymérizácie**

Na rozdiel od hydratácie portlandského cementu prebieha pri geopolymérnom betóne proces označovaný ako geopolymérizácia. Po kontakte aluminosilikátových materiálov s alkalickým aktivátorom vzniká trojrozmerná anorganická polymérna štruktúra, ktorá zabezpečuje vysokú pevnosť a dlhodobú stabilitu výsledného materiálu.

Geopolymérne betóny sa vyznačujú vysokou pevnosťou v tlaku, nízkou priepustnosťou, veľmi dobrou chemickou odolnosťou, vysokou odolnosťou voči zvýšeným teplotám a dlhou životnosťou. V mnohých prípadoch dosahujú porovnateľné alebo lepšie vlastnosti než klasické betóny na báze portlandského cementu.

### **Environmentálny význam**

Najvýznamnejším prínosom geopolymérneho betónu je jeho výrazne nižšia uhlíková stopa. Keďže pri jeho výrobe nie je potrebná kalcinácia vápenca, možno emisie oxidu uhličitého znížiť o viac ako 50 %, pričom pri niektorých receptúrach sa uvádza redukcia až **80 %** v porovnaní s klasickým portlandským cementom.

Významným prínosom je aj efektívne využívanie priemyselných vedľajších produktov, ktoré podporuje princípy obehového hospodárstva a znižuje spotrebu primárnych surovín. Geopolymérny betón tak predstavuje príklad materiálu, ktorý spája environmentálne, technické aj ekonomické aspekty udržateľného stavebníctva.

### **Význam geopolymérneho betónu pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Geopolymérny betón patrí medzi najperspektívnejšie nízkouhlíkové stavebné materiály súčasnosti. Jeho využívanie významne prispieva k znižovaniu zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) a podporuje napĺňanie cieľov klimateckej neutrality v stavebnom sektore.

V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), princípmi obehového hospodárstva a modernými technológiami projektovania predstavuje geopolymérny betón jednu z najvýznamnejších alternatív tradičných cementových systémov. Očakáva sa, že s rastúcim dôrazom na dekarbonizáciu stavebníctva bude jeho význam v nasledujúcich desaťročiach naďalej narastať a geopolymérne materiály sa stanú dôležitou súčasťou budúcich nízkouhlíkových konštrukčných riešení.

### 5.8.1 Výhody

Geopolymérny betón patrí medzi najperspektívnejšie nízkouhlíkové stavebné materiály súčasnosti. V porovnaní s tradičným betónom na báze portlandského cementu ponúka významné environmentálne aj technické výhody, ktoré z neho robia atraktívnu alternatívu pre udržateľné stavebníctvo. Jeho využívanie umožňuje výrazne znižovať uhlíkovú stopu stavebných projektov pri zachovaní požadovaných mechanických, trvanlivostných a prevádzkových vlastností.

#### **Veľmi nízka uhlíková stopa**

Najvýznamnejšou výhodou geopolymérneho betónu je jeho výrazne nižšia uhlíková stopa. Na rozdiel od portlandského cementu si výroba geopolymérnych spojív nevyžaduje energeticky náročný proces kalcinácie vápenca, ktorý predstavuje hlavný zdroj emisií oxidu uhličitého pri výrobe klasického cementu.

V závislosti od použitej receptúry možno dosiahnuť zníženie emisií CO<sub>2</sub> približne o 50 až 80 %, pričom sa súčasne obmedzuje spotreba primárnych surovín a efektívne využívajú priemyselné vedľajšie produkty, ako sú popolček alebo granulovaná vysokopecná troska. Geopolymérny betón tak významne prispieva k znižovaniu zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) a podporuje dosahovanie cieľov klimatickej neutrality v stavebníctve.

#### **Vysoká chemická odolnosť**

Významnou vlastnosťou geopolymérnych spojív je ich veľmi kompaktná mikroštruktúra, ktorá zabezpečuje vysokú odolnosť voči chemicky agresívnemu prostrediu. V porovnaní s tradičnými cementovými materiálmi vykazujú lepšiu odolnosť proti pôsobeniu kyselín, síranov a ďalších agresívnych chemických látok. Súčasne sa vyznačujú nižšou priepustnosťou vody, vyššou ochranou oceľovej výstuže pred koróziou a lepšou odolnosťou voči morskému prostrediu.

Tieto vlastnosti umožňujú využívať geopolymérne betóny aj pri konštrukciách vystavených náročným prevádzkovým podmienkam, ako sú čističky odpadových vôd, priemyselné objekty, prístavné stavby alebo dopravná infraštruktúra.

#### **Dlhá životnosť**

Vysoká odolnosť voči chemickým aj fyzikálnym vplyvom sa priaznivo prejavuje na životnosti geopolymérnych konštrukcií. Materiál si dlhodobo zachováva svoje mechanické vlastnosti a vykazuje nižšiu mieru degradácie než niektoré tradičné cementové systémy.

Predĺžená životnosť znamená nielen nižšie náklady na údržbu a opravy, ale aj nižšiu spotrebu stavebných materiálov počas celého životného cyklu budovy. Z pohľadu metodiky Whole Life Carbon (WLC) predstavuje dlhá životnosť významný faktor znižujúci celkovú uhlíkovú stopu stavby, keďže obmedzuje potrebu budúcich rekonštrukcií a výmen stavebných prvkov.

#### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Kombinácia veľmi nízkej uhlíkovej stopy, vysokej chemickej odolnosti a dlhej životnosti robí z geopolymérneho betónu jeden z najperspektívnejších stavebných materiálov budúcnosti. Jeho využívanie umožňuje významne znižovať environmentálne dopady výstavby bez negatívneho ovplyvnenia technických parametrov konštrukcií.

V kontexte rastúcich požiadaviek na dekarbonizáciu stavebného sektora predstavuje geopolymérny betón významný nástroj na redukcii zabudovaného uhlíka budov. V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), princípmi obehového hospodárstva a využívaním druhotných surovín vytvára základ pre novú generáciu nízkouhlíkových stavebných materiálov. Očakáva sa, že s ďalším rozvojom výrobných technológií a sprísňovaním environmentálnych požiadaviek bude jeho význam v nasledujúcich desaťročiach naďalej narastať.

## 5.8.2 Nevýhody

Napriek významným environmentálnym a technickým výhodám geopolymérneho betónu existuje viacero faktorov, ktoré v súčasnosti obmedzujú jeho širšie uplatnenie v stavebnej praxi. Hoci výsledky vedeckého výskumu aj realizovaných stavebných projektov potvrdzujú jeho vysoký potenciál, geopolymérne technológie zatiaľ nedosiahli takú mieru rozšírenia ako tradičné cementové systémy. Medzi hlavné prekážky patria predovšetkým obmedzená dostupnosť vhodných surovín, vyššie výrobné náklady a nedostatočne rozvinutá normatívna základňa.

### Dostupnosť vstupných surovín

Jedným z hlavných faktorov limitujúcich širšie využívanie geopolymérnych betónov je dostupnosť vhodných vstupných materiálov. Výroba geopolymérnych spojív je založená najmä na využívaní popolčeka, granulovanej vysokopečnej trosky a ďalších aluminosilikátových materiálov, ktorých dostupnosť je závislá od priemyselnej výroby.

V posledných rokoch dochádza v Európe k postupnému útlmu výroby elektrickej energie z uhlia, čo vedie k znižovaniu produkcie popolčeka. Podobne je dostupnosť granulovanej vysokopečnej trosky podmienená objemom výroby železa a ocele v jednotlivých regiónoch. V niektorých krajinách môže preto zabezpečenie stabilných dodávok vstupných surovín predstavovať významný logistický aj ekonomický problém.

Obmedzená dostupnosť surovín ovplyvňuje kontinuitu výroby, regionálnu dostupnosť geopolymérnych materiálov aj ich ekonomickú konkurencieschopnosť voči tradičným cementovým výrobkom.

### Ekonomické aspekty

Ďalším faktorom obmedzujúcim širšie rozšírenie geopolymérneho betónu sú vyššie počiatkové náklady v porovnaní s konvenčnými betónmi. Cena geopolymérnych zmesí je ovplyvnená predovšetkým cenou alkalických aktivátorov, menším rozsahom priemyselnej výroby a stále obmedzenou konkurenciou na trhu.

Vyššie investičné náklady sú zároveň dôsledkom pokračujúceho výskumu a vývoja nových receptúr a výrobných technológií. S rastúcim objemom výroby a rozširovaním trhu možno očakávať postupné znižovanie výrobných nákladov a zlepšenie ekonomickej dostupnosti geopolymérnych materiálov.

Z pohľadu metodiky Life Cycle Costing (LCC) však vyššie počiatkové investície nemusia predstavovať nevýhodu. Vďaka vysokej trvanlivosti, nižším nákladom na údržbu a dlhšej životnosti konštrukcií môžu geopolymérne betóny počas celého životného cyklu budovy dosahovať priaznivejšiu ekonomickú bilanciu než tradičné cementové systémy.

### Normy a legislatívne požiadavky

Významnou prekážkou širšieho uplatnenia geopolymérnych betónov zostáva aj nedostatočne rozvinutý systém technických noriem, certifikačných postupov a legislatívnych požiadaviek. Väčšina súčasných európskych technických predpisov bola vytvorená predovšetkým pre tradičné portlandské cementy a iba v obmedzenej miere zohľadňuje špecifiká geopolymérnych spojív.

Nedostatok štandardizácie komplikuje schvaľovanie stavebných projektov, znižuje dôveru investorov a projektantov a zvyšuje požiadavky na individuálne posudzovanie vlastností materiálov. Ďalší rozvoj technických noriem, harmonizovaných európskych predpisov a certifikačných postupov preto predstavuje jeden z rozhodujúcich predpokladov širšieho uplatnenia geopolymérnych materiálov v stavebnej praxi.

### Perspektívy ďalšieho rozvoja

Uvedené obmedzenia predstavujú predovšetkým súčasné technologické, ekonomické a legislatívne bariéry, ktoré sa postupne zmiernujú s rastúcim záujmom o nízkouhlíkové stavebné materiály. Rozvoj výrobných technológií, rast objemu produkcie, širšie využívanie

priemyselných vedľajších produktov a pripravované legislatívne opatrenia Európskej únie zamerané na znižovanie uhlíkovej stopy budov vytvárajú priaznivé podmienky pre ďalší rozvoj geopolymérnych betónov.

Významnú úlohu pritom zohrá aj implementácia smernice EPBD 2024, rozvoj metodík Life Cycle Assessment (LCA), hodnotenia Whole Life Carbon (WLC) a nové požiadavky na environmentálne hodnotenie stavebných materiálov. Tieto nástroje budú čoraz viac zvyhodňovať materiály s nízkou uhlíkovou stopou a podporovať ich širšie uplatnenie v stavebnej praxi.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Napriek existujúcim obmedzeniam patrí geopolymérny betón medzi najperspektívnejšie alternatívy klasického portlandského cementu. Jeho schopnosť výrazne znižovať emisie skleníkových plynov pri zachovaní vysokých technických parametrov z neho robí významný nástroj dekarbonizácie stavebného sektora.

V kombinácii s recyklovanými materiálmi, princípmi obehového hospodárstva, digitálnym projektovaním a komplexným hodnotením životného cyklu predstavujú geopolymérne betóny dôležitý krok smerom k budúcej generácii stavebných materiálov s minimálnou uhlíkovou stopou. Očakáva sa, že ich význam bude v nasledujúcich desaťročiach naďalej narastať a prispeje k dosahovaniu klimatickej neutrality stavebníctva.

## **5.9 Oceľ**

Oceľ patrí medzi najvýznamnejšie konštrukčné materiály moderného stavebníctva a zohráva kľúčovú úlohu pri realizácii budov, mostov, priemyselných objektov a dopravnej infraštruktúry. Vďaka svojim výnimočným mechanickým vlastnostiam umožňuje navrhovať konštrukcie s veľkými rozpätiami, vysokou únosnosťou a značnou architektonickou flexibilitou. Jej využívanie sa výrazne rozšírilo najmä s rozvojom priemyselnej výroby, prefabrikácie a moderných technológií montáže oceľových konštrukcií.

Oceľ predstavuje zliatinu železa s obsahom uhlíka a ďalších legujúcich prvkov, ktoré ovplyvňujú jej pevnosť, húževnatosť, odolnosť voči korózii a spracovateľnosť. V stavebníctve sa využíva vo forme valcovaných profilov, oceľových plechov, výstuže do betónu, priestorových nosných systémov alebo prefabrikovaných konštrukčných prvkov.

### **Mechanické vlastnosti ocele**

Dominantnou vlastnosťou ocele je jej vysoká pevnosť v ťahu aj tlaku, ktorá umožňuje prenášať značné zaťaženia pri relatívne malých prierezoch konštrukčných prvkov. Práve priaznivý pomer pevnosti k vlastnej hmotnosti robí z ocele jeden z najefektívnejších konštrukčných materiálov využívaných v modernom stavebníctve.

Vysoká únosnosť ocele umožňuje realizovať veľkorozponové konštrukcie, výškové budovy, mostné objekty aj ľahké nosné systémy s vysokou priestorovou variabilitou. Oceľové konštrukcie zároveň poskytujú architektom veľkú slobodu pri tvorbe otvorených priestorov a architektonicky náročných riešení.

### **Recyklovateľnosť a obehové hospodárstvo**

Významnou environmentálnou prednosťou ocele je jej vysoká recyklovateľnosť. Oceľ možno opakovane recyklovať bez podstatnej straty mechanických vlastností, čím patrí medzi najvýznamnejšie materiály podporujúce princípy obehového hospodárstva. Recyklácia ocele významne znižuje spotrebu primárnych surovín, energetickú náročnosť výroby aj množstvo vznikajúceho odpadu. Významná časť novej ocele sa dnes vyrába z recyklovaného oceľového šrotu prostredníctvom elektrických oblúkových pecí (Electric Arc Furnace – EAF), ktoré produkujú podstatne nižšie emisie skleníkových plynov než tradičné vysoké pece. Vysoká miera recyklácie robí z ocele materiál s významným potenciálom pri znižovaní environmentálnych dopadov stavebného sektora počas celého životného cyklu budov.

### **Flexibilita konštrukčných riešení**

Oceľ sa vyznačuje mimoriadne vysokou flexibilitou využitia a umožňuje realizovať široké spektrum konštrukčných systémov. Vysoká presnosť výroby prefabrikovaných prvkov, jednoduchá montáž aj demontáž konštrukcií a možnosť ich budúcich prestavieb alebo rozšírenia predstavujú významné výhody z pohľadu moderného stavebníctva.

Kompatibilita ocele s betónom, drevom, sklom aj ďalšími stavebnými materiálmi umožňuje navrhovať hybridné konštrukčné systémy kombinujúce výhody jednotlivých materiálov. Tento prístup podporuje adaptabilitu budov a vytvára priaznivé podmienky na ich budúcu modernizáciu alebo zmenu funkčného využitia.

### **Význam ocele pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Napriek vyššej uhlíkovej stope spojenej s výrobou primárnej ocele zostáva oceľ jedným z najdôležitejších stavebných materiálov súčasnosti. Jej vysoká pevnosť, dlhá životnosť, recyklovateľnosť a široké možnosti opätovného využitia významne prispievajú k udržateľnému rozvoju stavebníctva.

Budúci rozvoj oceľových konštrukcií bude úzko súvisieť s rozširovaním výroby zelenej ocele (Green Steel), využívaním vodíkových technológií pri redukcii železnej rudy, zvyšovaním podielu recyklovaného materiálu a širším využívaním obnoviteľných zdrojov energie vo výrobe. V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípmi obehového hospodárstva vytvára oceľ významný predpoklad na ďalšiu dekarbonizáciu stavebného sektora a rozvoj nízkouhlíkových budov.

### **Zelená oceľ (Green Steel)**

Výroba ocele patrí medzi najvýznamnejšie priemyselné zdroje emisií skleníkových plynov. Tradičný spôsob výroby využívajúci vysoké pece a koks je spojený s vysokou spotrebou fosílnych palív a významnými emisiami oxidu uhličitého. Odhaduje sa, že oceliarsky priemysel je zodpovedný približne za 7 až 9 % globálnych emisií CO<sub>2</sub>, čo z neho robí jedno z najemisnejších priemyselných odvetví.

V súvislosti s cieľmi klimateckej neutrality Európskej únie sa preto v posledných rokoch intenzívne rozvíja výroba tzv. zelenej ocele (Green Steel). Ide o oceľ vyrábanú technológiami, ktoré výrazne znižujú alebo úplne eliminujú využívanie fosílnych palív počas výroby. Hlavným cieľom je zachovať mechanické vlastnosti ocele pri súčasnom výraznom znížení uhlíkovej stopy výrobného procesu.

### **Tradičná výroba ocele**

Pri klasickej výrobe ocele sa železná ruda redukuje vo vysokých peciach pomocou koksu. Počas tejto reakcie vzniká veľké množstvo oxidu uhličitého, ktorý predstavuje dominantný zdroj emisií celého procesu.

Okrem chemickej redukcie železnej rudy prispievajú k celkovej uhlíkovej stope aj vysoká energetická náročnosť výroby, doprava surovín a následné spracovanie ocele.

### **Vodíková redukcia železnej rudy**

Najperspektívnejšou technológiou výroby zelenej ocele je priama redukcia železnej rudy pomocou vodíka (Hydrogen Direct Reduced Iron – H<sub>2</sub>-DRI). Na rozdiel od tradičného procesu sa namiesto oxidu uhľnatého využíva vodík, pričom vedľajším produktom reakcie je vodná para namiesto oxidu uhličitého.

Tento prístup umožňuje výrazne obmedziť emisie skleníkových plynov a pri využití elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov vytvára predpoklady na takmer bezemisnú výrobu ocele.

### **Elektrické oblúkové pece**

Významnú úlohu pri dekarbonizácii zohrávajú aj elektrické oblúkové pece (Electric Arc Furnace – EAF), ktoré využívajú predovšetkým recyklovaný oceľový šrot. Výroba ocele v elektrických oblúkových peciach je energeticky menej náročná než výroba vo vysokých



peciach a pri využití elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov umožňuje výrazne znížiť emisie oxidu uhličitého.

Elektrické oblúkové pece zároveň podporujú princípy obehového hospodárstva, keďže umožňujú opakované využívanie ocele bez významnej straty jej mechanických vlastností.

### **Príklady moderných projektov**

Rozvoj zelenej ocele podporujú viaceré významné európske projekty. Medzi najznámejšie patrí švédsky projekt HYBRIT, ktorý využíva vodík na redukciu železnej rudy, alebo spoločnosť H2 Green Steel, ktorá buduje prvé veľkokapacitné závody na výrobu ocele s minimálnou uhlíkovou stopou.

Tieto projekty potvrdzujú, že výroba ocele bez využitia fosílnych palív je technicky realizovateľná a predstavuje perspektívny smer ďalšieho rozvoja oceliarskeho priemyslu.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Rozvoj zelenej ocele predstavuje jeden z rozhodujúcich krokov smerom k dekarbonizácii stavebného sektora. Keďže oceľ patrí medzi najvýznamnejšie zdroje zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) stavebných konštrukcií, znížovanie emisií počas jej výroby môže významne ovplyvniť celkovú uhlíkovú stopu budov. V spojení s recykláciou ocele, metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a pripravovanými požiadavkami Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) vytvára zelená oceľ jeden z hlavných pilierov budúceho nízkouhlíkového stavebníctva. Očakáva sa, že jej význam bude v nasledujúcich desaťročiach naďalej narastať a významne prispeje k dosiahnutiu klimatickej neutrality stavebného sektora.

## **5.9.1 Environmentálne dopady**

Napriek svojim výborným mechanickým vlastnostiam a vysokej recyklovateľnosti patrí oceľ medzi stavebné materiály s významnou uhlíkovou stopou. Hlavným dôvodom je energetická náročnosť výroby, ktorá si vyžaduje veľké množstvo energie a využívanie vysokoteplotných hutníckych procesov. Z environmentálneho hľadiska preto predstavuje výroba ocele jednu z najvýznamnejších výziev pri dekarbonizácii stavebného sektora. Tradičná výroba ocele je založená na redukcii železnej rudy vo vysokých peciach, kde sa ako redukčné činidlo využíva koks. Tento proces je spojený s vysokou spotrebou energie a produkciou značného množstva oxidu uhličitého. Emisie vznikajú nielen spaľovaním palív potrebných na dosiahnutie vysokých výrobných teplôt, ale aj chemickými reakciami prebiehajúcimi počas redukcie železnej rudy. Priemerná uhlíková stopa primárnej ocele sa pohybuje približne v rozmedzí 1,8 až 2,5 t CO<sub>2</sub>eq na tonu ocele, pričom jej konkrétna hodnota závisí od použitej výrobnéj technológie, energetického mixu krajiny, podielu recyklovaného materiálu a energetickej účinnosti výrobných zariadení.

### **Hlavné zdroje emisií**

Rozhodujúca časť emisií vzniká počas výroby surového železa vo vysokých peciach. Významný podiel na uhlíkovej stope majú najmä ťažba a spracovanie železnej rudy, výroba koksu, samotný proces redukcie železnej rudy, vysokoteplotné hutnícke operácie a doprava surovín i hotových výrobkov. Práve využívanie uhlíka ako redukčného činidla predstavuje hlavný dôvod vysokej uhlíkovej náročnosti výroby primárnej ocele. Tento technologický postup je zodpovedný za väčšinu emisií skleníkových plynov vznikajúcich počas výroby oceľových výrobkov.

### **Význam recyklácie**

Environmentálne dopady výroby ocele možno významne obmedziť prostredníctvom recyklácie. Recyklovaná oceľ sa najčastejšie vyrába v elektrických oblúkových peciach (Electric Arc Furnace – EAF), ktoré ako základnú surovinu využívajú oceľový šrot.

Výroba ocele z recyklovaného materiálu si vyžaduje podstatne menej energie, výrazne znižuje emisie oxidu uhličitého a obmedzuje potrebu ťažby železnej rudy. V závislosti od použitej technológie môže byť uhlíková stopa recyklovanej ocele približne o 60 až 80 % nižšia než pri výrobe primárnej ocele vo vysokých peciach. Vysoká recyklovateľnosť zároveň robí z ocele jeden z najvýznamnejších materiálov podporujúcich princípy obehového hospodárstva (Circular Economy), keďže oceľ možno opakovane recyklovať bez podstatnej straty jej mechanických vlastností.

### **Perspektívy dekarbonizácie výroby ocele**

Významným smerom ďalšieho vývoja je zavádzanie nízkoemisných výrobných technológií označovaných ako zelená oceľ (Green Steel). Moderné technologické postupy využívajú vodík ako redukčné činidlo namiesto uhlíka, elektrifikáciu výrobných procesov, obnoviteľné zdroje energie a technológie zachytávania a ukladania oxidu uhličitého (Carbon Capture and Storage – CCS). Týmto riešeniam je venovaná nasledujúca podkapitola.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Hoci oceľ patrí medzi materiály s vyššou uhlíkovou stopou, jej vysoká pevnosť, dlhá životnosť, takmer neobmedzená recyklovateľnosť a možnosť opätovného využitia z nej robia významný prvok moderného cirkulárneho stavebníctva. Pri hodnotení jej environmentálnych dopadov je preto potrebné zohľadňovať nielen emisie vznikajúce počas výroby, ale aj prínosy vyplývajúce z recyklácie a opätovného využitia počas celého životného cyklu konštrukcie.

Budúcnosť oceľových konštrukcií bude úzko spojená s rozvojom nízkoemisných výrobných technológií, zvyšovaním podielu recyklovaného materiálu a širším využívaním obnoviteľných zdrojov energie. V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) vytvárajú tieto opatrenia predpoklady na výrazné znižovanie uhlíkovej stopy oceľových konštrukcií pri zachovaní ich výnimočných technických vlastností.

## **5.10 Recyklovaná oceľ**

### **5.10.1 Výhody**

Recyklovaná oceľ predstavuje jeden z najvýznamnejších materiálov podporujúcich princípy obehového hospodárstva v stavebníctve. Vzhľadom na schopnosť zachovať si svoje mechanické vlastnosti aj po opakovanej recyklácii patrí medzi stavebné materiály s najvyšším potenciálom opätovného využitia. Recyklácia ocele významne prispieva k znižovaniu spotreby primárnych surovín, energetickej náročnosti výroby a celkových environmentálnych dopadov stavebného sektora.

Kľúčovú úlohu pri výrobe recyklovanej ocele zohrávajú elektrické oblúkové pece (Electric Arc Furnace – EAF), ktoré využívajú oceľový šrot ako základnú vstupnú surovinu. Na rozdiel od tradičnej výroby vo vysokých peciach nie je potrebná ťažba ani redukcia železnej rudy, čo vedie k výraznému obmedzeniu spotreby energie aj emisií skleníkových plynov. V závislosti od použitej technológie možno dosiahnuť zníženie emisií oxidu uhličitého približne o 60 až 80 %, pričom ďalšie zlepšenie environmentálnej bilancie možno dosiahnuť využívaním elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov.

### **Environmentálne prínosy recyklácie ocele**

Najvýznamnejším prínosom recyklácie ocele je výrazné znižovanie emisií skleníkových plynov. Pri výrobe ocele z recyklovaného šrotu odpadá energeticky náročná výroba surového železa vo vysokých peciach, ktorá predstavuje dominantný zdroj emisií pri klasickej výrobe ocele. Súčasne dochádza k významnému obmedzeniu spotreby primárnych surovín a k efektívnejšiemu využívaniu existujúcich materiálových zdrojov.

Významnou výhodou je aj podstatne nižšia energetická náročnosť výroby. Recyklácia eliminuje potrebu ťažby, úpravy a redukcie železnej rudy, čím sa znižuje spotreba primárnej

energie, výrobné náklady aj závislosť hutníckeho priemyslu od fosílnych palív. Tieto úspory predstavujú významný ekonomický aj environmentálny prínos a podporujú udržateľnejšie fungovanie oceliarskeho priemyslu.

### **Recyklácia a obehové hospodárstvo**

Oceľ patrí medzi najviac recyklované materiály na svete. Na rozdiel od mnohých iných stavebných materiálov ju možno opakovane recyklovať bez významnej straty mechanických vlastností alebo kvality. Táto vlastnosť z nej robí jeden z najvýznamnejších materiálov podporujúcich princípy obehového hospodárstva (Circular Economy).

Vysoká miera recyklácie umožňuje znižovať potrebu ťažby prírodných surovín, obmedzovať množstvo stavebného odpadu a efektívnejšie využívať materiálové toky počas celého životného cyklu stavebných konštrukcií. Recyklovaná oceľ sa bežne využíva na výrobu nosných konštrukcií, výstuží do betónu, prefabrikovaných prvkov aj ďalších stavebných komponentov bez negatívneho vplyvu na ich funkčnosť alebo bezpečnosť.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Recyklovaná oceľ predstavuje jeden z najúčinnějších nástrojov na znižovanie uhlíkovej stopy oceľových konštrukcií. Kombinácia výrazne nižších emisií, nižšej spotreby energie a vysokej miery recyklácie podporuje transformáciu stavebného sektora od lineárneho modelu hospodárstva k princípom cirkulárnej ekonomiky.

V spojení s rozvojom výroby zelenej ocele (Green Steel), využívaním obnoviteľných zdrojov energie a metodikami Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC) predstavuje recyklovaná oceľ významný nástroj na znižovanie zabudovaného uhlíka stavebných konštrukcií. Očakáva sa, že jej podiel v stavebných projektoch bude v nasledujúcich desaťročiach naďalej narastať a významne prispeje k dosahovaniu klimatickej neutrality stavebného sektora.

## **5.10.2 Potenciál recyklovanej ocele**

Jednou z najvýznamnejších vlastností ocele z pohľadu udržateľného stavebníctva je jej mimoriadny potenciál opätovného využitia. Na rozdiel od mnohých iných stavebných materiálov možno oceľ opakovane recyklovať bez podstatnej straty mechanických vlastností, kvality alebo funkčnosti. Táto vlastnosť z nej robí jeden z najvýznamnejších materiálov podporujúcich princípy obehového hospodárstva (Circular Economy).

Po skončení životnosti stavebnej konštrukcie možno oceľové prvky demontovať, spracovať a následne využiť pri výrobe nových výrobkov alebo stavebných komponentov. V mnohých prípadoch je dokonca možné zachovať pôvodné konštrukčné prvky a opätovne ich zabudovať bez potreby materiálovej recyklácie, čím sa ďalej znižujú environmentálne dopady spojené s výrobou nových materiálov.

Prakticky neobmedzená recyklovateľnosť ocele prináša viacero významných environmentálnych aj ekonomických prínosov. Recyklácia umožňuje znižovať potrebu ťažby železnej rudy, šetriť prírodné zdroje, obmedzovať produkciu stavebného odpadu a znižovať energetickú náročnosť výroby. Súčasne významne prispieva k redukcii emisií skleníkových plynov a podporuje vytváranie uzavretých materiálových tokov v stavebníctve.

V stavebnej praxi sa recyklovaná oceľ využíva pri výrobe širokého spektra konštrukčných prvkov vrátane nosných oceľových konštrukcií, výstuže do betónu, prefabrikovaných stavebných prvkov, fasádnych systémov, strešných konštrukcií a technickej infraštruktúry budov. Vďaka zachovaniu mechanických vlastností možno tieto výrobky používať bez negatívneho vplyvu na ich bezpečnosť, spoľahlivosť alebo životnosť.

Význam recyklácie ocele bude v nasledujúcich rokoch naďalej narastať v dôsledku sprísňujúcich sa environmentálnych požiadaviek Európskej únie a rastúceho dôrazu na efektívne využívanie prírodných zdrojov. Nové legislatívne nástroje, ako Construction Products Regulation (CPR 2024), Digital Product Passport (DPP), Carbon Border Adjustment

Mechanism (CBAM) či rámec Level(s), vytvárajú podmienky na širšie uplatňovanie recyklovaných materiálov a transparentnejšie hodnotenie ich environmentálnych vlastností.

Z pohľadu nízkouhlíkového stavebníctva predstavuje recyklovaná oceľ významný nástroj na znižovanie zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) stavebných konštrukcií. V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC) umožňuje objektívne hodnotiť environmentálne prínosy recyklácie počas celého životného cyklu budovy.

Schopnosť opakovanej recyklácie bez straty kvality radí oceľ medzi najvýznamnejšie stavebné materiály podporujúce prechod od lineárneho modelu spotreby k cirkulárnemu hospodárstvu. Práve kombinácia vysokej pevnosti, dlhej životnosti a takmer neobmedzenej recyklovateľnosti robí z ocele jeden z kľúčových materiálov budúceho nízkouhlíkového a klimaticky neutrálneho stavebníctva.

## **5.11 Hliník**

### **5.11.1 Charakteristika**

Hliník patrí medzi významné technické materiály využívané v modernom stavebníctve. Vyznačuje sa nízkou hmotnosťou, vysokou odolnosťou proti korózii a dlhou životnosťou, vďaka čomu nachádza široké uplatnenie najmä v obvodových plášťoch budov, fasádnych systémoch a architektonických prvkoch. V súčasnej architektúre je obľúbený predovšetkým pre svoje estetické vlastnosti, jednoduchú spracovateľnosť a schopnosť vytvárať ľahké konštrukcie s vysokou rozmerovou presnosťou.

Z konštrukčného hľadiska predstavuje hliník materiál s priaznivým pomerom pevnosti k vlastnej hmotnosti. Je približne trikrát ľahší ako oceľ, pričom si zachováva dostatočnú pevnosť pre mnohé stavebné aplikácie. Táto vlastnosť umožňuje navrhovať štíhle konštrukčné prvky, znižovať zaťaženie nosných systémov budov a zároveň zjednodušovať dopravu aj montáž stavebných komponentov.

#### **Oblasti využitia hliníka v stavebníctve**

Hliník patrí medzi univerzálne stavebné materiály a uplatňuje sa predovšetkým pri výrobe fasádnych systémov, okenných a dverných konštrukcií, tieniacich prvkov a rôznych nosných alebo doplnkových konštrukčných systémov. Najvýznamnejšie postavenie má pri realizácii fasádnych systémov, kde hliníkové profily tvoria základ moderných presklených fasád a ľahkých obvodových plášťov administratívnych budov, obchodných centier či verejných objektov. Nízka hmotnosť, vysoká odolnosť voči poveternostným vplyvom, dlhá životnosť a minimálne nároky na údržbu robia z hliníka jeden z najvhodnejších materiálov pre moderné fasádne konštrukcie. Významné uplatnenie nachádza aj pri výrobe okenných a dverných systémov. Moderné hliníkové profily s prerušeným tepelným mostom umožňujú dosahovať vysokú energetickú efektívnosť pri zachovaní výnimočných mechanických vlastností. Vďaka vysokej pevnosti možno realizovať veľkorozmerové presklené plochy, ktoré patria medzi charakteristické prvky súčasnej architektúry. Dôležitou oblasťou využitia sú aj vonkajšie tieniace systémy, ako sú žalúzie, lamely alebo fasádne tienenie. Tieto prvky umožňujú regulovať solárne zisky, obmedzovať prehrievanie interiéru a znižovať potrebu energie na chladenie budov. Správne navrhnuté tienenie významne prispieva k zlepšeniu tepelného komfortu používateľov a k zvyšovaniu energetickej hospodárnosti budov. Hliník sa využíva aj pri výrobe konštrukčných a doplnkových stavebných prvkov, ako sú zábradlia, podhlady, strešné systémy alebo montované fasádne komponenty. Vysoká presnosť výroby, jednoduchá opracovateľnosť a možnosť prefabrikácie umožňujú jeho efektívne využitie pri moderných stavebných technológiách.

#### **Technické vlastnosti**

Významnou výhodou hliníka je jeho kombinácia nízkej hmotnosti a vysokej pevnosti. Materiál sa vyznačuje veľmi dobrou odolnosťou voči korózii, čo výrazne predlžuje jeho životnosť aj pri náročných klimatických podmienkach. Oceňuje sa aj vysoká rozmerová stabilita, jednoduchá

opracovateľnosť a možnosť výroby zložitých profilov s vysokou presnosťou. Tieto vlastnosti umožňujú realizovať ľahké, estetické a zároveň trvanlivé stavebné konštrukcie s minimálnymi nárokmi na údržbu počas celej životnosti objektu.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Hoci výroba primárneho hliníka patrí medzi energeticky najnáročnejšie priemyselné procesy, materiál má významný potenciál z pohľadu udržateľného stavebníctva. Rozhodujúcou výhodou je jeho takmer neobmedzená recyklovateľnosť, pričom výroba recyklovaného hliníka si vyžaduje približne 5 % energie potrebnej na výrobu primárneho materiálu. Vysoká recyklovateľnosť, dlhá životnosť a odolnosť voči korózii robia z hliníka významný materiál podporujúci princípy obehového hospodárstva (Circular Economy). V kombinácii s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) umožňuje recyklovaný hliník výrazne znižovať zabudovaný uhlík stavebných konštrukcií. Budúci rozvoj hliníkových konštrukcií bude úzko súvisieť s rastúcim podielom recyklovaného materiálu, využívaním obnoviteľných zdrojov energie pri výrobe a implementáciou nových európskych požiadaviek na environmentálne hodnotenie stavebných výrobkov. Tieto opatrenia vytvárajú predpoklady na širšie využívanie hliníka v nízkouhlíkovom a klimaticky neutrálnom stavebníctve.

## **5.11.2 Environmentálny dopad**

Z environmentálneho hľadiska patrí hliník medzi stavebné materiály s najvyššou uhlíkovou stopou. Napriek nízkej hmotnosti, vysokej životnosti a výbornej odolnosti proti korózii je jeho výroba mimoriadne energeticky náročná. Pri hodnotení environmentálnej vhodnosti hliníkových prvkov je preto potrebné zohľadňovať nielen ich technické vlastnosti, ale aj dopady vznikajúce počas celého životného cyklu materiálu. Najväčší podiel emisií vzniká pri výrobe primárneho hliníka z bauxitu. Výrobný proces zahŕňa ťažbu a úpravu bauxitu, výrobu oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) Bayerovým procesom a následnú elektrolýzu, pri ktorej sa spotrebúva mimoriadne veľké množstvo elektrickej energie. Práve energetická náročnosť elektrolýzy predstavuje rozhodujúci faktor ovplyvňujúci uhlíkovú stopu hliníka, pričom výsledné emisie výrazne závisia od zdroja elektrickej energie využívanej počas výroby. Priemerná uhlíková stopa primárneho hliníka sa pohybuje približne v rozmedzí 8 až 16 t  $\text{CO}_2\text{eq}$  na tonu hliníka, čím patrí medzi materiály s najvyššou emisnou náročnosťou v stavebníctve. Na porovnanie, uhlíková stopa ocele sa spravidla pohybuje okolo 1,8 až 2,5 t  $\text{CO}_2\text{eq}$  na tonu, zatiaľ čo drevo môže v dôsledku sekvestrácie uhlíka počas rastu dosahovať výrazne nižšie alebo dokonca záporné hodnoty.

### **Hlavné zdroje emisií**

Environmentálne dopady výroby hliníka vznikajú počas viacerých výrobných etáp. Významný podiel predstavuje ťažba a spracovanie bauxitu, výroba oxidu hlinitého, samotná elektrolýza hliníka, spotreba elektrickej energie a doprava surovín i hotových výrobkov.

Najväčším zdrojom emisií zostáva proces elektrolýzy, ktorý patrí medzi energeticky najnáročnejšie priemyselné operácie. V krajinách využívajúcich elektrickú energiu vyrábanú prevažne z fosílnych palív je uhlíková stopa primárneho hliníka podstatne vyššia než v regiónoch, kde výroba elektriny využíva obnoviteľné zdroje energie alebo jadrovú energetiku.

### **Význam recyklácie hliníka**

Napriek vysokej uhlíkovej stope primárnej výroby má hliník jednu zásadnú environmentálnu výhodu – takmer neobmedzenú recyklovateľnosť. Recyklovaný hliník si zachováva pôvodné mechanické aj fyzikálne vlastnosti a možno ho opakovane využívať bez zníženia kvality materiálu. Výroba sekundárneho hliníka si vyžaduje približne o 90 až 95 % menej energie než výroba primárneho hliníka z bauxitu. Táto skutočnosť vedie k výraznému zníženiu emisií oxidu uhličitého, obmedzeniu spotreby prírodných zdrojov a redukcii množstva odpadu. Práve z tohto dôvodu sa v modernom stavebníctve čoraz viac preferuje využívanie recyklovaného

hliníka, ktorý predstavuje environmentálne výrazne priaznivejšiu alternatívu k primárnemu materiálu.

### **Perspektívy dekarbonizácie výroby hliníka**

Budúci rozvoj výroby hliníka bude úzko súvisieť s využívaním elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov, zvyšovaním podielu recyklovaného materiálu a zavádzaním nízkoemisných výrobných technológií. Významnú úlohu zohrá aj rozvoj tzv. zeleného hliníka (Green Aluminium), ktorého výroba využíva nízkouhlíkové zdroje energie a moderné technológie minimalizujúce emisie skleníkových plynov.

Tieto opatrenia významne podporujú ciele Európskej zelenej dohody, princípy obehového hospodárstva a pripravované požiadavky na hodnotenie uhlíkovej stopy stavebných materiálov počas celého ich životného cyklu.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Z pohľadu nízkouhlíkového stavebníctva predstavuje hliník materiál s vysokou uhlíkovou stopou počas primárnej výroby, ale zároveň s mimoriadne vysokým potenciálom recyklácie a opätovného využitia. Pri posudzovaní jeho environmentálnej vhodnosti je preto nevyhnutné hodnotiť celý životný cyklus materiálu vrátane možností jeho recyklácie po skončení životnosti stavebnej konštrukcie.

V projektoch zameraných na minimalizáciu uhlíkovej stopy sa odporúča uprednostňovať výrobky s vysokým podielom recyklovaného hliníka a využívať ich predovšetkým tam, kde ich technické, prevádzkové a architektonické vlastnosti prinášajú jednoznačný funkčný prínos. V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a digitálnymi produktovými pasmi (DPP) predstavuje recyklovaný hliník významný prvok udržateľného a klimaticky neutrálneho stavebníctva.

### **5.11.3 Recyklovaný hliník**

Recyklácia hliníka predstavuje jeden z najefektívnejších spôsobov znižovania environmentálnych dopadov spojených s jeho výrobou. Hoci výroba primárneho hliníka patrí medzi energeticky najnáročnejšie priemyselné procesy, recyklácia umožňuje výrazne obmedziť spotrebu energie, emisie skleníkových plynov a potrebu využívania primárnych surovín.

Jednou z najvýznamnejších výhod recyklovaného hliníka je mimoriadne nízka energetická náročnosť jeho výroby. Na rozdiel od primárnej produkcie nie je potrebné realizovať energeticky náročnú ťažbu bauxitu, výrobu oxidu hlinitého ani elektrolýzu.

Recyklovaný hliník spotrebuje až o 95 % menej energie v porovnaní s výrobou primárneho hliníka. Takéto zníženie energetickej náročnosti prináša významné environmentálne aj ekonomické prínosy. Súčasne dochádza k výraznej redukcii emisií oxidu uhličitého a ďalších environmentálnych dopadov spojených s výrobou materiálu.

Medzi hlavné výhody recyklovaného hliníka patria:

- výrazne nižšia spotreba energie,
- podstatne nižšie emisie CO<sub>2</sub>,
- zníženie potreby ťažby bauxitu,
- obmedzenie množstva odpadu,
- zachovanie pôvodných mechanických vlastností,
- možnosť opakovanej recyklácie bez straty kvality.

Významnou vlastnosťou hliníka je skutočnosť, že ho možno recyklovať prakticky neobmedzene bez zhoršenia jeho fyzikálnych alebo mechanických vlastností. Materiál si aj po

viacerých cykloch recyklácie zachováva svoju pevnosť, odolnosť proti korózii a ďalšie technické parametre.

V stavebníctve sa recyklovaný hliník využíva najmä pri výrobe:

- okenných a dverných systémov,
- fasádnych konštrukcií,
- tieniacich prvkov,
- strešných systémov,
- nosných a doplnkových konštrukcií.

Rastúci podiel recyklovaného hliníka v stavebných výrobkoch významne prispieva k znižovaniu zabudovaného uhlíka budov a podporuje princípy obehového hospodárstva. Mnohí výrobcovia dnes deklarujú obsah recyklovaného materiálu prostredníctvom environmentálnych produktových deklarácií (EPD), ktoré umožňujú objektívne hodnotiť environmentálnu výkonnosť výrobkov. Z pohľadu nízkouhlíkoveho stavebníctva predstavuje recyklovaný hliník výrazne udržateľnejšiu alternatívu k primárnemu hliníku. Kombinácia vysokej recyklovateľnosti, dlhej životnosti a výrazne nižšej energetickej náročnosti výroby umožňuje zachovať technické výhody hliníka pri súčasnom významnom znižovaní jeho environmentálnych dopadov. Práve preto sa recyklovaný hliník považuje za jeden z kľúčových materiálov podporujúcich prechod stavebného sektora k obehovému hospodárstvu a klimatickej neutralite.

## 5.12 Prírodné izolačné materiály

### 5.12.1 Konope

Konope patrí medzi perspektívne prírodné izolačné materiály využívané v nízkouhlíkovom a ekologickom stavebníctve. Vyrába sa zo stoniek technického konope (*Cannabis sativa*), ktoré sa spracúvajú na izolačné rohože, dosky alebo sypké izolačné materiály. Vďaka priaznivým environmentálnym vlastnostiam a dobrým technickým parametrom predstavuje konope významnú alternatívu k tradičným syntetickým tepelnoizolačným materiálom.

V posledných rokoch záujem o konopné materiály výrazne rastie najmä v súvislosti s požiadavkami na znižovanie uhlíkovej stopy budov, využívanie obnoviteľných zdrojov a podporu princípov obehového hospodárstva. Konope sa vyznačuje rýchlym rastom, nízkymi nárokmi na pestovanie a schopnosťou viazať značné množstvo oxidu uhličitého počas vegetačného obdobia, čím významne prispieva k znižovaniu environmentálnych dopadov stavebných materiálov.

#### Obnoviteľnosť suroviny

Jednou z najvýznamnejších predností konope je jeho obnoviteľný charakter. Technické konope možno pestovať každoročne, pričom jeho vegetačný cyklus je podstatne kratší než pri drevnej biomase. Rastlina nevyžaduje intenzívne používanie chemických hnojív ani pesticídov a vyznačuje sa relatívne nízkou spotrebou vody. Možnosť lokálnej produkcie zároveň prispieva k znižovaniu emisií spojených s dopravou stavebných materiálov a podporuje regionálne materiálové toky. Vďaka týmto vlastnostiam patrí konope medzi najudržateľnejšie obnoviteľné suroviny využívané v stavebníctve.

#### Sekvestrácia oxidu uhličitého

Významným environmentálnym prínosom konope je jeho schopnosť absorbovať oxid uhličitý z atmosféry prostredníctvom fotosyntézy. Viazaný uhlík zostáva uložený v rastlinnej biomase aj po jej spracovaní na stavebný materiál, čím konopné výrobky prispievajú k znižovaniu koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére.

V dôsledku tejto vlastnosti sa konopné izolačné materiály vyznačujú veľmi nízkou uhlíkovou stopou a v niektorých prípadoch môžu počas svojho životného cyklu dosahovať dokonca zápornú uhlíkovú bilanciu. Schopnosť sekvestrácie uhlíka zaraďuje konope medzi najvýznamnejšie bio-based materiály podporujúce rozvoj nízkouhlíkoveho stavebníctva.

### **Regulácia vlhkosti**

Konope sa vyznačuje veľmi dobrými hygrotermickými vlastnosťami. Materiál dokáže prirodzene absorbovať a následne uvoľňovať vodnú paru bez výrazného zhoršenia svojich tepelnoizolačných parametrov. Táto schopnosť prispieva k stabilizácii vnútorného prostredia budovy, znižuje riziko kondenzácie vodnej pary a obmedzuje vznik plesní. Vďaka vysokej paropriepustnosti je konopná izolácia vhodná najmä pre difúzne otvorené konštrukcie, drevostavby a ďalšie ekologické stavebné systémy, kde podporuje prirodzenú reguláciu vlhkostného režimu stavebných konštrukcií.

### **Technické a prevádzkové vlastnosti**

Okrem priaznivých environmentálnych charakteristík sa konopné izolačné materiály vyznačujú aj dobrými tepelnoizolačnými a akustickými vlastnosťami. Ich výroba je energeticky menej náročná než výroba väčšiny syntetických izolácií a po skončení životnosti ich možno recyklovať alebo biologicky rozložiť. Kombinácia nízkej energetickej náročnosti výroby, priaznivých fyzikálnych vlastností a možnosti materiálového alebo biologického zhodnotenia významne zvyšuje ich environmentálnu hodnotu počas celého životného cyklu.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Konope patrí medzi najperspektívnejšie prírodné izolačné materiály využívané v modernom stavebníctve. Kombinácia obnoviteľnosti, schopnosti viazať uhlík, priaznivých tepelnoizolačných vlastností a nízkej energetickej náročnosti výroby významne prispieva k znižovaniu zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) stavebných konštrukcií. V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípmi obehového hospodárstva predstavuje konopná izolácia významný nástroj na navrhovanie budov s minimálnou uhlíkovou stopou. Očakáva sa, že s rastúcimi požiadavkami na klimatickú neutralitu a využívanie bio-based materiálov bude jej význam v nasledujúcich rokoch naďalej narastať a konope sa stane jedným z kľúčových prírodných materiálov udržateľného stavebníctva.

## **5.12.2 Celulóza**

Celulóza patrí medzi najrozšírenejšie prírodné izolačné materiály využívané v ekologickom a nízkouhlíkovom stavebníctve. Vyrába sa predovšetkým z recyklovaného papierového odpadu, najčastejšie zo starého novinového papiera, ktorý sa po mechanickom spracovaní premieňa na voľne sypanú tepelnú izoláciu alebo izolačné dosky. Využívanie druhotných surovín výrazne znižuje spotrebu primárnych zdrojov a robí z celulózy jeden z najvýznamnejších príkladov uplatňovania princípov obehového hospodárstva v stavebníctve. Výroba celulózovej izolácie je energeticky podstatne menej náročná než výroba minerálnych alebo syntetických izolačných materiálov. Táto skutočnosť sa priaznivo prejavuje na jej uhlíkovej stope a zaraďuje celulózu medzi environmentálne najvýhodnejšie tepelnoizolačné materiály využívané pri navrhovaní nízkouhlíkových budov.

### **Environmentálne aspekty**

Významným environmentálnym prínosom celulózy je využívanie recyklovaného papiera ako základnej vstupnej suroviny. Tým sa znižuje potreba využívania primárnych prírodných zdrojov a zároveň sa obmedzuje množstvo odpadu smerujúceho na skládky. Nízka energetická náročnosť výrobného procesu, možnosť opätovného spracovania po skončení životnosti a minimálna spotreba nových surovín významne prispievajú k znižovaniu zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) stavebných konštrukcií. V porovnaní s mnohými tradičnými izolačnými materiálmi patrí celulóza medzi riešenia s veľmi priaznivou environmentálnou bilanciou a podporuje uplatňovanie princípov Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC) pri hodnotení stavebných materiálov.



### **Akustické a tepelnoizolačné vlastnosti**

Celulózo­vá izolácia sa vyznačuje vysokou objemovou hmotnosťou a vláknitou štruktúrou, ktorá účinne pohlcuje zvukové vlny. Vďaka tomu poskytuje veľmi dobré akustické vlastnosti a významne prispieva k zlepšeniu vnútorného prostredia budov. Účinne obmedzuje šírenie vzduchového hluku, zvyšuje akustický komfort a zabezpečuje kvalitné zvukovoizolačné vlastnosti stien, stropov aj strešných konštrukcií.

Okrem priaznivých akustických vlastností sa celulóza vyznačuje dobrými tepelnoizolačnými parametrami, vysokou tepelnou akumuláciou a schopnosťou prirodzene regulovať vlhkosť. Tieto vlastnosti prispievajú k stabilizácii vnútorného prostredia a znižujú riziko kondenzácie vodnej pary v stavebných konštrukciách.

### **Technické vlastnosti**

Významnou výhodou celulózovej izolácie je aj jednoduchá aplikácia s minimálnym množstvom odpadu. Materiál možno využívať pri novostavbách aj rekonštrukciách, pričom voľne sypaná forma umožňuje kvalitné vyplnenie aj členitých dutín bez vzniku tepelných mostov.

Na zvýšenie požiarnej odolnosti a ochrany proti biologickému poškodeniu sa do materiálu pridávajú minerálne prísady, najčastejšie zlúčeniny na báze bóru alebo ďalšie ekologicky prijateľné retardéry horenia. Tieto úpravy zabezpečujú dlhodobú stabilitu materiálu pri zachovaní jeho priaznivých environmentálnych vlastností.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Celulóza predstavuje jeden z najvýznamnejších príkladov efektívneho využívania recyklovaných materiálov v stavebníctve. Kombinácia nízkej uhlíkovej stopy, veľmi dobrých tepelnoizolačných a akustických vlastností, priaznivého vlhkového režimu a vysokej miery recyklovateľnosti z nej robí atraktívny materiál pre budovy navrhované v súlade s princípmi trvalo udržateľného rozvoja.

V kontexte nízkouhlíkoveho stavebníctva významne prispieva k znižovaniu zabudovaného uhlíka budov, podporuje rozvoj obehového hospodárstva a vytvára predpoklady na efektívne využívanie druhotných surovín počas celého životného cyklu stavebných konštrukcií. Očakáva sa, že rastúci dôraz na recykláciu stavebných materiálov a hodnotenie ich environmentálnych dopadov bude v budúcnosti ďalej podporovať širšie využívanie celulózových izolácií v ekologických a nízkouhlíkových budovách.

## **5.12.3 Korok**

Korok patrí medzi najvýznamnejšie prírodné izolačné materiály využívané v ekologickom a nízkouhlíkovom stavebníctve. Získava sa z kôry korkového duba (*Quercus suber*), pričom jeho produkcia nevyžaduje výrub stromov. Kôra sa obnovuje približne každých 9 až 12 rokov, vďaka čomu predstavuje plne obnoviteľný prírodný zdroj s veľmi priaznivou environmentálnou bilanciou.

V stavebníctve sa korok využíva vo forme izolačných dosiek, granulátu alebo expandovaného korku. Vyznačuje sa výbornými tepelnoizolačnými a akustickými vlastnosťami, vysokou odolnosťou proti vlhkosti a dlhou životnosťou. Vďaka týmto vlastnostiam patrí medzi najperspektívnejšie bio-based materiály využívané pri navrhovaní nízkouhlíkových budov.

### **Environmentálne aspekty**

Jednou z najvýznamnejších výhod korku je jeho obnoviteľný pôvod. Zber korkovej kôry nepoškodzuje strom a podporuje dlhodobé udržateľné hospodárenie v korkových lesoch. Tie zároveň predstavujú významné ekosystémy viažuce oxid uhličitý, podporujúce biodiverzitu a prispievajúce k ochrane pôdy pred eróziou.

Výroba korkových izolačných materiálov sa vyznačuje nízkou energetickou náročnosťou a minimálnymi emisiami skleníkových plynov. Pri výrobe expandovaného korku sa často

využívajú vlastné prírodné živice obsiahnuté v korku, čím sa eliminuje potreba syntetických spojív. Vďaka tomu patrí korok medzi materiály s veľmi nízkou uhlíkovou stopou a priaznivým hodnotením z pohľadu metódik Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC).

### **Tepelnoizolačné a akustické vlastnosti**

Korok sa vyznačuje veľmi dobrými tepelnoizolačnými vlastnosťami, ktoré sú výsledkom jeho prirodzenej bunkovej štruktúry obsahujúcej veľké množstvo vzduchu. Táto štruktúra zabezpečuje nízku tepelnú vodivosť a vysokú schopnosť tepelnej akumulácie, čím prispieva k stabilizácii vnútorného prostredia budovy počas zimného aj letného obdobia. Významnou prednosťou korku sú aj výborné akustické vlastnosti. Materiál účinne tlmí šírenie vzduchového aj kročajového hluku, čo prispieva k zvýšeniu komfortu používateľov budov. Korok sa preto často využíva nielen ako tepelná izolácia, ale aj ako zvukovoizolačný materiál.

### **Technické vlastnosti**

Korok sa vyznačuje vysokou odolnosťou proti vlhkosti, biologickému poškodeniu a starnutiu. Prirodzene obsahuje suberín – voskovitú látku, ktorá zabezpečuje jeho hydrofóbne vlastnosti a chráni materiál pred prenikaním vody. Súčasne vykazuje dobrú odolnosť voči plesniam, hubám a hmyzu. Významnou výhodou korkových izolácií je ich rozmerová stabilita, pružnosť a schopnosť zachovávať si svoje vlastnosti počas dlhého obdobia bez výraznej degradácie. Vďaka tomu možno korok využívať pri novostavbách aj rekonštrukciách s očakávanou dlhou životnosťou konštrukcií.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Korok predstavuje jeden z najperspektívnejších prírodných izolačných materiálov využívaných v modernom stavebníctve. Kombinácia obnoviteľného pôvodu, veľmi nízkej uhlíkovej stopy, výborných tepelnoizolačných a akustických vlastností, dlhej životnosti a vysokej odolnosti voči vlhkosti z neho robí významný materiál podporujúci princípy udržateľného rozvoja.

V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a princípmi obehového hospodárstva predstavuje korok významný nástroj na znižovanie zabudovaného uhlíka budov. Očakáva sa, že rastúci dôraz na využívanie bio-based materiálov a sprísňovanie environmentálnych požiadaviek bude v budúcnosti podporovať jeho širšie uplatnenie pri výstavbe ekologických a nízkouhlíkových budov.

## **5.12.4 Ovčia vlna**

Ovčia vlna patrí medzi tradičné prírodné izolačné materiály, ktoré v posledných rokoch opätovne získavajú význam v ekologickom a nízkouhlíkovom stavebníctve. Ide o obnoviteľnú živočíšnu surovinu získavanú pravidelným strihaním oviec, pričom jej produkcia nevyžaduje usmrtenie zvierat ani výrazné zásahy do prírodného prostredia. V stavebníctve sa využíva vo forme izolačných rohoží, dosiek alebo voľne sypanej izolácie.

Vďaka priaznivým tepelnoizolačným vlastnostiam, schopnosti regulovať vlhkosť a nízkej uhlíkovej stope predstavuje ovčia vlna perspektívnu alternatívu k syntetickým aj minerálnym izolačným materiálom. Súčasne prispieva k efektívnemu využívaniu obnoviteľných biologických zdrojov a podporuje princípy udržateľného rozvoja.

### **Environmentálne aspekty**

Významnou prednosťou ovčej vlny je jej obnoviteľný pôvod a nízka energetická náročnosť spracovania. V porovnaní s výrobou minerálnych alebo syntetických izolácií si výroba vlnených izolačných materiálov vyžaduje podstatne menej energie, čo sa priaznivo prejavuje na ich uhlíkovej stope.

Počas rastu oviec sa uhlík viaže prostredníctvom rastlinnej biomasy využívanej ako krmivo a časť tohto uhlíka zostáva uložená vo vlnených vláknach aj počas využívania materiálu v

stavebných konštrukciách. Po skončení životnosti možno ovčiu vlnu recyklovať alebo biologicky rozložiť bez významného zaťaženia životného prostredia.

#### **Tepelnoizolačné a vlhkostné vlastnosti**

Ovčia vlna sa vyznačuje veľmi dobrými tepelnoizolačnými vlastnosťami a schopnosťou prirodzene regulovať vlhkosť vnútorného prostredia. Vlnené vlákna dokážu absorbovať značné množstvo vodnej pary a následne ju opätovne uvoľňovať bez podstatného zhoršenia tepelnoizolačných parametrov.

Táto vlastnosť prispieva k stabilizácii vlhkostného režimu stavebných konštrukcií, obmedzuje riziko kondenzácie vodnej pary a vytvára priaznivú vnútornú mikroklímu. Ovčia vlna je preto vhodná najmä pre difúzne otvorené konštrukcie a ekologické drevostavby.

#### **Technické vlastnosti**

Okrem priaznivých tepelnotechnických vlastností poskytuje ovčia vlna aj dobré akustické parametre. Vlákniťa štruktúra materiálu účinne pohlcuje zvukové vlny a zlepšuje akustický komfort vnútorného prostredia.

Materiál je pružný, dobre vyplňa konštrukčné dutiny a nevytvára tepelné mosty. Na zvýšenie odolnosti proti biologickému poškodeniu a napadnutiu škodcami sa vlnené izolácie upravujú ekologicky prijateľnými ochrannými prípravkami, ktoré zabezpečujú ich dlhodobú stabilitu a bezpečné používanie.

#### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Ovčia vlna predstavuje významný príklad bio-based stavebného materiálu, ktorý spája obnoviteľný pôvod, priaznivé tepelnoizolačné vlastnosti a nízku uhlíkovú stopu. Vďaka schopnosti regulovať vlhkosť, veľmi dobrým akustickým vlastnostiam a možnosti recyklácie alebo biologického rozkladu významne prispieva k znižovaniu environmentálnych dopadov budov počas celého ich životného cyklu.

V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípmi obehového hospodárstva predstavuje ovčia vlna perspektívny izolačný materiál pre ekologické a nízkouhlíkové budovy. Očakáva sa, že rastúci záujem o obnoviteľné stavebné materiály a sprísňovanie environmentálnych požiadaviek budú podporovať jej širšie uplatnenie v udržateľnom stavebníctve.

### **5.12.5 Drevovláknité dosky**

Drevovláknité dosky patria medzi významné prírodné tepelnoizolačné materiály vyrábané z drevných vlákien získavaných mechanickým alebo termomechanickým spracovaním drevnej hmoty. V stavebníctve sa využívajú predovšetkým ako tepelnoizolačné vrstvy obvodových plášťov, strešných konštrukcií a podláh, ale aj ako doplnkové konštrukčné prvky pri výstavbe drevostavieb, nízkoenergetických a pasívnych budov.

Výroba drevovláknitých dosiek je založená na využívaní obnoviteľnej suroviny, pričom materiál si zachováva mnohé prirodzené vlastnosti dreva. Vďaka priaznivým tepelnotechnickým parametrom, schopnosti regulovať vlhkosť a nízkej uhlíkovej stope predstavujú vhodnú alternatívu k syntetickým izolačným materiálom a významne podporujú využívanie bio-based stavebných výrobkov.

#### **Regulácia vlhkosti a difúzne otvorené konštrukcie**

Jednou z najvýznamnejších vlastností drevovláknitých dosiek je ich vysoká paropriepustnosť. Materiál umožňuje prirodzený prestup vodnej pary cez stavebnú konštrukciu, čím podporuje vytváranie difúzne otvorených konštrukčných systémov. Takéto riešenie prispieva k prirodzenej regulácii vlhkosti, obmedzuje riziko kondenzácie vodnej pary a znižuje pravdepodobnosť vzniku plesní alebo biologického poškodenia stavebných konštrukcií.

Vďaka týmto vlastnostiam sú drevovláknité dosky vhodné najmä pre drevostavby, pasívne domy a ekologické budovy, kde je správny vlhkosťný režim jedným z rozhodujúcich predpokladov dlhodobej funkčnosti obvodového plášťa.

### **Tepelná akumulácia**

Významnou prednosťou drevovláknitých dosiek je ich vysoká objemová hmotnosť a schopnosť akumulovať teplo. V porovnaní s ľahšími tepelnoizolačnými materiálmi dokážu uložiť väčšie množstvo tepelnej energie a následne ju postupne uvoľňovať do vnútorného prostredia.

Táto vlastnosť prispieva k stabilizácii vnútorných teplôt počas celého roka, zvyšuje tepelný komfort používateľov a významne obmedzuje prehrievanie budov v letnom období. Vysoká tepelná akumulácia je obzvlášť dôležitá pri ľahkých konštrukčných systémoch, kde pomáha kompenzovať nižšiu akumulačnú schopnosť samotnej nosnej konštrukcie.

### **Technické a environmentálne vlastnosti**

Okrem priaznivých tepelnotechnických parametrov sa drevovláknité dosky vyznačujú aj dobrými akustickými vlastnosťami, nízkou uhlíkovou stopou a vysokou mierou obnoviteľnosti použitej suroviny. Výroba materiálu je energeticky menej náročná než výroba väčšiny syntetických izolácií a po skončení životnosti možno materiál recyklovať alebo energeticky zhodnotiť.

Významným environmentálnym prínosom je aj schopnosť dreva viazať oxid uhličitý počas rastu stromov. Tento uhlík zostáva uložený v drevovláknitých doskách počas celej životnosti stavebnej konštrukcie, čím materiál prispieva k zníženiu zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) budov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Drevovláknité dosky predstavujú významný príklad bio-based stavebného materiálu, ktorý spája veľmi dobré tepelnoizolačné vlastnosti s priaznivou environmentálnou bilanciou. Schopnosť regulovať vlhkosť, vysoká tepelná akumulácia, nízka uhlíková stopa a využívanie obnoviteľnej suroviny vytvárajú predpoklady na ich široké uplatnenie pri navrhovaní nízkoenergetických a pasívnych budov.

V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a princípmi obehového hospodárstva predstavujú drevovláknité dosky významný nástroj na znížovanie environmentálnych dopadov stavebných konštrukcií. Očakáva sa, že rastúci dôraz na využívanie obnoviteľných stavebných materiálov bude v budúcnosti podporovať ich ešte širšie uplatnenie pri výstavbe klimaticky neutrálnych budov.

## **5.12.6 Slama**

Slama patrí medzi tradičné prírodné stavebné materiály, ktoré v posledných desaťročiach opätovne získavajú význam v súvislosti s rozvojom ekologického a nízkouhlíkového stavebníctva. Ide o vedľajší produkt poľnohospodárskej výroby, ktorý možno efektívne využívať ako tepelnoizolačný materiál alebo ako súčasť obvodových konštrukcií budov. Vďaka svojej obnoviteľnosti, veľmi nízkej uhlíkovej stope a lokálnej dostupnosti predstavuje slama perspektívnu alternatívu ku konvenčným stavebným materiálom.

V stavebníctve sa slama najčastejšie využíva vo forme lisovaných slamených balíkov, ktoré slúžia ako výplňové alebo nosné prvky obvodových stien. V kombinácii s hlinenými alebo vápennými omietkami vytvára konštrukčný systém s veľmi priaznivými tepelnoizolačnými, vlhkosťnými aj environmentálnymi vlastnosťami.

### **Uplatnenie v ekologickom stavebníctve**

Slama patrí medzi charakteristické materiály ekologického stavebníctva, ktorého cieľom je minimalizovať environmentálne dopady výstavby prostredníctvom využívania obnoviteľných a lokálne dostupných surovín. Jej výroba si vyžaduje len minimálne množstvo energie, nevzniká

pri nej významné množstvo odpadu a po skončení životnosti možno materiál prirodzene biologicky rozložiť alebo energeticky zhodnotiť.

V kombinácii s drevom, hlinou a ďalšími prírodnými materiálmi umožňuje realizovať stavebné konštrukcie s veľmi nízkym zabudovaným uhlíkom (Embodied Carbon) a priaznivou environmentálnou bilanciou počas celého životného cyklu budovy.

### **Tepelnoizolačné vlastnosti**

Významnou prednosťou slamy sú jej veľmi dobré tepelnoizolačné vlastnosti. Lisované slamené balíky dosahujú nízku tepelnú vodivosť, vďaka čomu umožňujú navrhovať obvodové konštrukcie s veľmi priaznivými tepelnoizolačnými parametrami. Pri správnom návrhu detailov a kvalite realizácie môžu slamené konštrukcie spĺňať požiadavky moderných pasívnych domov a poskytovať vysoký tepelný komfort počas celého roka.

Dobrá tepelná izolácia zároveň významne prispieva k znižovaniu potreby energie na vykurovanie a chladenie budov, čím podporuje ich energetickú hospodárnosť a znižuje prevádzkové emisie skleníkových plynov.

### **Environmentálne aspekty**

Najvýznamnejšou environmentálnou výhodou slamy je jej mimoriadne nízka uhlíková stopa. Keďže ide o vedľajší produkt poľnohospodárskej výroby, jej spracovanie si vyžaduje iba minimálne množstvo energie. Počas rastu obilnín dochádza prostredníctvom fotosyntézy k viazaniu oxidu uhličitého, pričom uhlík zostáva uložený aj v slamených stavebných prvkoch počas celej životnosti budovy.

V niektorých prípadoch môže mať slama dokonca zápornú uhlíkovú bilanciu, pretože množstvo viazaného uhlíka prevyšuje emisie vznikajúce počas jej spracovania a dopravy. Z tohto dôvodu patrí medzi najvýznamnejšie bio-based materiály podporujúce dekarbonizáciu stavebného sektora.

### **Lokálna dostupnosť**

Významnou výhodou slamy je jej široká dostupnosť v poľnohospodárskych regiónoch. Materiál možno často získať priamo v blízkosti miesta výstavby, čím sa výrazne obmedzujú emisie aj náklady spojené s dopravou stavebných materiálov.

Lokálne využívanie slamy podporuje regionálne hospodárstvo, zvyšuje materiálovú sebestačnosť a naplňuje princípy obehového hospodárstva založeného na efektívnom využívaní miestnych obnoviteľných zdrojov.

Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Slama patrí medzi najekologickejšie stavebné materiály využívané v súčasnom stavebníctve. Kombinácia obnoviteľného pôvodu, veľmi nízkej uhlíkovej stopy, schopnosti viazať uhlík, výborných tepelnoizolačných vlastností a lokálnej dostupnosti z nej robí významný materiál pre navrhovanie nízkouhlíkových budov.

V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípmi obehového hospodárstva predstavuje slama významný nástroj na znižovanie environmentálnych dopadov stavebných konštrukcií počas celého ich životného cyklu. Očakáva sa, že rastúci dôraz na klimatickú neutralitu, využívanie bio-based materiálov a lokálnych stavebných zdrojov bude v budúcnosti podporovať širšie uplatnenie slamených konštrukcií pri výstavbe ekologických, pasívnych a nízkouhlíkových budov.

## **5.13 Minerálne izolácie**

### **5.13.1 Minerálna vlna**

Minerálna vlna patrí medzi najrozšírenejšie tepelnoizolačné materiály využívané v súčasnom stavebníctve. Vyrába sa tavením minerálnych surovín, predovšetkým čadiča, dolomitu, vápenca alebo recyklovaného skla, ktoré sa následne spracúvajú na jemné vlákna. Podľa

použitej suroviny sa rozlišuje kamenná (čadičová) vlna a sklená vlna, pričom oba materiály nachádzajú široké uplatnenie pri navrhovaní energeticky efektívnych budov.

Minerálna vlna sa využíva najmä pri zatepľovaní obvodových stien, strešných a stropných konštrukcií, podláh, priečok a technických zariadení budov. Je vhodná pre novostavby aj rekonštrukcie a patrí medzi základné izolačné materiály používané v nízkoenergetických, pasívnych aj budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB).

### **Požiarna bezpečnosť**

Jednou z najvýznamnejších vlastností minerálnej vlny je jej vysoká požiarna odolnosť. Materiál je vyrobený z anorganických minerálnych surovín a zaraďuje sa do triedy reakcie na oheň A1, čo predstavuje najvyššiu triedu požiarnej bezpečnosti podľa európskej klasifikácie.

Minerálna vlna je nehorľavá, neprispieva k šíreniu požiaru a odoláva veľmi vysokým teplotám. Zároveň významne zvyšuje požiaru odolnosť stavebných konštrukcií a chráni nosné prvky budovy počas požiaru. Práve preto patrí medzi preferované tepelnoizolačné materiály pri bytových domoch, administratívnych budovách, školách, zdravotníckych zariadeniach a priemyselných objektoch, kde sú na požiaru bezpečnosť kladené mimoriadne vysoké požiadavky.

### **Akustické vlastnosti**

Vláknitá štruktúra minerálnej vlny zabezpečuje veľmi dobré akustické vlastnosti. Materiál účinne pohlcuje zvukové vlny a významne obmedzuje šírenie vzduchového hluku medzi jednotlivými priestormi budovy.

Vďaka týmto vlastnostiam minerálna vlna výrazne zlepšuje zvukovú izoláciu stien, stropov a priečok, čím zvyšuje komfort vnútorného prostredia. Je preto často využívaná v obytných budovách, kanceláriách, školách, zdravotníckych zariadeniach aj ďalších objektoch, kde je kvalitná akustika dôležitou súčasťou prevádzkového komfortu.

### **Environmentálne aspekty výroby**

Napriek svojim technickým výhodám má minerálna vlna aj určité environmentálne obmedzenia. Najvýznamnejším z nich je pomerne vysoká energetická náročnosť výrobného procesu. Výroba zahŕňa ťažbu minerálnych surovín, ich dopravu, tavenie pri veľmi vysokých teplotách, výrobu vláknitej štruktúry a následné spracovanie hotových výrobkov.

Tieto procesy si vyžadujú značné množstvo energie a sú spojené s produkciou emisií skleníkových plynov. V porovnaní s prírodnými izolačnými materiálmi, ako sú konope, celulóza, korok alebo slama, sa minerálna vlna spravidla vyznačuje vyššou uhlíkovou stopou (Embodied Carbon).

Na druhej strane je potrebné zohľadniť celý životný cyklus materiálu. Počas desaťročí prevádzky budovy minerálna vlna významne obmedzuje tepelné straty, čím prispieva k zníženiu spotreby energie na vykurovanie a chladenie. Úspory energie počas prevádzky tak môžu postupne kompenzovať vyššie environmentálne dopady vznikajúce počas výroby.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Minerálna vlna predstavuje významný tepelnoizolačný materiál moderného stavebníctva, najmä tam, kde sú prioritou požiarna bezpečnosť, akustický komfort a dlhodobá životnosť stavebných konštrukcií. Hoci jej výroba patrí medzi energeticky náročnejšie procesy, vysoká účinnosť pri znížovaní tepelných strát a dlhá životnosť z nej robia významný prvok energeticky efektívnych budov.

Pri navrhovaní nízkouhlíkových budov je preto vhodné posudzovať minerálnu vlnu komplexne prostredníctvom metodík Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC), ktoré zohľadňujú nielen emisie vznikajúce počas výroby, ale aj úspory energie dosahované počas celej životnosti budovy. Takýto prístup umožňuje objektívne hodnotiť environmentálnu výkonnosť materiálu a jeho prínos k rozvoju udržateľného a klimaticky neutrálneho stavebníctva.

### 5.13.2 Penové sklo

Penové sklo patrí medzi špeciálne tepelnoizolačné materiály vyrábané z recyklovaného skla. Vzniká zahrievaním jemne mletého skla s prídavkom penotvorných látok, pričom počas výrobného procesu vzniká uzavretá bunková štruktúra s veľmi dobrými tepelnoizolačnými vlastnosťami. Vďaka vysokej odolnosti voči vlhkosti, mechanickému zaťaženiu a chemickým vplyvom nachádza uplatnenie najmä v konštrukciách vystavených náročným prevádzkovým podmienkam.

V stavebníctve sa penové sklo vyrába vo forme izolačných dosiek alebo granulátu. Používa sa predovšetkým pri izolácii základových konštrukcií, podláh, plochých striech, podzemných častí budov a technických objektov, kde sa vyžaduje kombinácia tepelnoizolačných vlastností s vysokou mechanickou odolnosťou a minimálnou nasiakavosťou.

#### **Recyklovateľnosť**

Významnou environmentálnou prednosťou penového skla je využívanie recyklovaného skla ako základnej vstupnej suroviny. Pri výrobe sa vo veľkej miere spracúvajú sklenené odpady, ktoré by inak predstavovali záťaž pre životné prostredie. Takýto prístup významne znižuje spotrebu primárnych surovín, podporuje využívanie druhotných materiálov a prispieva k napĺňaniu princípov obehového hospodárstva.

Po skončení životnosti možno penové sklo opätovne spracovať alebo využiť ako stavebný materiál, čím sa ďalej znižujú jeho environmentálne dopady. V porovnaní s viacerými syntetickými tepelnoizolačnými materiálmi predstavuje z pohľadu materiálového cyklu priaznivejšie riešenie.

#### **Odolnosť voči vode**

Jednou z najvýznamnejších technických vlastností penového skla je jeho mimoriadna odolnosť voči vode a vlhkosti. Vďaka uzavretej bunkovej štruktúre materiál prakticky nenasáva vodu a dlhodobo si zachováva svoje tepelnoizolačné vlastnosti aj v prostredí so zvýšenou vlhkosťou alebo pri priamom kontakte so zeminou.

Táto vlastnosť zabezpečuje vysokú odolnosť voči mrazu, eliminuje riziko biologického poškodenia a prispieva k dlhodobej stabilite izolačných vlastností materiálu. Penové sklo sa preto často využíva pri izolácii základových konštrukcií, podzemných častí budov, plochých striech a ďalších stavebných prvkov vystavených nepriaznivým klimatickým podmienkam.

#### **Technické vlastnosti**

Okrem veľmi dobrej odolnosti voči vlhkosti sa penové sklo vyznačuje vysokou pevnosťou v tlaku, nehorľavosťou, chemickou odolnosťou a výbornou rozmerovou stabilitou. Ako anorganický materiál nepodlieha hnilobe, plesniam ani napadnutiu biologickými škodcami, čo významne prispieva k jeho dlhej životnosti.

Vysoká pevnosť umožňuje využívať penové sklo aj v konštrukciách vystavených značnému mechanickému zaťaženiu, kde tradičné izolačné materiály často nedosahujú požadované parametre.

#### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Penové sklo predstavuje perspektívny izolačný materiál z pohľadu udržateľného stavebníctva. Využívanie recyklovaného skla ako základnej suroviny, vysoká odolnosť, dlhá životnosť a možnosť opätovného materiálového využitia významne znižujú jeho environmentálne dopady počas celého životného cyklu.

Hoci výroba penového skla vyžaduje určitú spotrebu energie, jeho dlhodobá funkčnosť, minimálne nároky na údržbu a vysoká trvanlivosť umožňujú dosahovať priaznivé výsledky pri hodnotení podľa metodík Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC).

V nízkouhlíkových budovách nachádza penové sklo uplatnenie najmä tam, kde je potrebné spojiť kvalitnú tepelnú izoláciu s vysokou odolnosťou voči vode, mechanickému zaťaženiu a

požiaru. Vďaka týmto vlastnostiam predstavuje významný materiál podporujúci princípy obehového hospodárstva a rozvoj klimaticky neutrálneho stavebníctva.

## **5.14 Biokompozity**

Biokompozity predstavujú modernú skupinu stavebných materiálov, ktoré kombinujú obnoviteľné prírodné suroviny s pokročilými výrobnými technológiami. V posledných rokoch získavajú rastúcu pozornosť najmä v súvislosti s požiadavkami na znižovanie uhlíkovej stopy budov, efektívnejšie využívanie prírodných zdrojov a uplatňovanie princípov obehového hospodárstva.

Biokompozity vznikajú spojením prírodných vlákien a polymérnej matrice, ktorá zabezpečuje vzájomné prepojenie jednotlivých vlákien a prenáša mechanické zaťaženie. Ako výstuž sa najčastejšie využívajú vlákna dreva, konope, ľanu, juty alebo bambusu, zatiaľ čo matrica môže byť vytvorená z tradičných polymérov alebo z biologicky odbúrateľných a obnoviteľných materiálov. Vďaka kombinácii nízkej hmotnosti, priaznivých mechanických vlastností a nízkej uhlíkovej stopy nachádzajú biokompozity čoraz širšie uplatnenie v modernom stavebníctve (Obrázok 20).

### **Zloženie a vlastnosti**

Prírodné vlákna zabezpečujú vysokú pevnosť, tuhosť a priaznivý pomer pevnosti k hmotnosti, zatiaľ čo polymérna matrica zabezpečuje stabilitu materiálu, prenáša zaťaženie medzi jednotlivými vláknami a chráni ich pred vonkajšími vplyvmi.

V porovnaní s klasickými kompozitmi vystuženými sklenenými alebo uhlíkovými vláknami sa biokompozity vyznačujú nižšou hustotou, priaznivejšou environmentálnou bilanciou a nižšou energetickou náročnosťou výroby. Významnou výhodou je aj možnosť využívania obnoviteľných alebo recyklovaných vstupných surovín.

### **Oblasti využitia**

Biokompozity nachádzajú uplatnenie v čoraz širšom spektre stavebných aplikácií. V súčasnosti sa využívajú predovšetkým pri výrobe fasádnych systémov, interiérových prvkov a prefabrikovaných panelov, pričom ich význam postupne rastie aj pri výrobe ľahkých nosných konštrukcií, akustických panelov či dizajnových architektonických prvkov.

Vďaka nízkej hmotnosti umožňujú znižovať zaťaženie nosných konštrukcií budov a súčasne zjednodušujú dopravu aj montáž stavebných prvkov. Moderné výrobné technológie zároveň umožňujú vytvárať tvarovo náročné komponenty s vysokou rozmerovou presnosťou.

### **Environmentálne aspekty**

Významnou prednosťou biokompozitov je ich priaznivý environmentálny profil. Využívanie obnoviteľných rastlinných vlákien prispieva k znižovaniu spotreby neobnoviteľných surovín a podporuje rozvoj bio-based stavebných materiálov. Počas rastu rastlín dochádza prostredníctvom fotosyntézy k viazaniu oxidu uhličitého, ktorý zostáva uložený vo vláknach aj počas životnosti stavebných výrobkov.

V porovnaní s tradičnými stavebnými materiálmi sa biokompozity vyznačujú nižšou energetickou náročnosťou výroby a nižšou uhlíkovou stopou. V závislosti od použitej matrice možno navyše po skončení životnosti materiálu zabezpečiť jeho recykláciu alebo biologické zhodnotenie, čím podporujú princípy obehového hospodárstva.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Biokompozity predstavujú perspektívny smer vývoja moderných stavebných materiálov. Kombinácia obnoviteľných surovín, nízkej hmotnosti, priaznivých mechanických vlastností a nízkej uhlíkovej stopy vytvára predpoklady na ich čoraz širšie využívanie pri navrhovaní budov s minimálnym environmentálnym dopadom. V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a princípmi obehového hospodárstva predstavujú biokompozity významný nástroj na znižovanie



zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) stavebných konštrukcií. Očakáva sa, že ďalší rozvoj bio-based polymérov, recyklačných technológií a digitálneho projektovania bude v nasledujúcich rokoch podporovať ich širšie uplatnenie v nízkouhlíkovom a klimaticky neutrálnom stavebníctve.

#### OBRÁZOK 5.14 Biokompozity

Biokompozity predstavujú modernú skupinu stavebných materiálov, ktoré kombinujú obnoviteľné prírodné suroviny s pokročilými výrobnými technológiami. Vďaka kombinácii nízkej hmotnosti, priaznivých mechanických vlastností a nízkej uhlíkovej stopy nachádzajú biokompozity čoraz širšie využitie v stavebníctve.



##### ZLOŽENIE BIOKOMPOZITOV

###### PRÍRODNÉ VLÁKNA

- drevo
- konope
- ľan
- juta
- bambus



Zabezpečujú mechanickú pevnosť materiálu.

###### POLYMÉRNA MATRICA



Spája vlákna do kompaktného celku a prenáša zaťaženie medzi nimi.

###### BIOKOMPOZIT



Nízka hmotnosť, dobré mechanické vlastnosti a nízka uhlíková stopa.

##### HLAVNÉ VÝHODY



Nízka uhlíková stopa



Obnoviteľné a prírodné suroviny



Podpora obehového hospodárstva



Nízka hmotnosť



Dobré mechanické vlastnosti



Všestranné použitie v stavebníctve

##### POUŽITIE V STAVEBNÍCTVE

###### FASÁDNE SYSTÉMY



###### INTERIÉROVÉ PRVKY



###### PREFABRIKOVANÉ PANELY



Biokompozity predstavujú inovatívne riešenie pre udržateľné stavebníctvo a prispievajú k zníženiu environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu budov.

Obrázok 20 Biokompozity

Biokompozity nachádzajú v súčasnom stavebníctve čoraz širšie uplatnenie. Vďaka priaznivému pomeru pevnosti k hmotnosti, nízkej uhlíkovej stope a vysokej variabilite výroby sa využívajú predovšetkým pri fasádnych systémoch, interiérových prvkoch a prefabrikovaných stavebných paneloch. Rastúci záujem o tieto materiály súvisí s požiadavkami na znižovanie environmentálnych dopadov budov a rozvojom priemyselne vyrábaných konštrukčných systémov.

### Fasádne systémy

Jednou z najvýznamnejších oblastí využitia biokompozitov sú fasádne obklady a ľahké fasádne systémy. V porovnaní s tradičnými materiálmi sa vyznačujú nižšou hmotnosťou, priaznivejším environmentálnym profilom a vysokou architektonickou variabilitou. Menšie zaťaženie nosných konštrukcií zjednodušuje návrh budov a umožňuje efektívnejšie využívať stavebné materiály.

Biokompozitné fasádne systémy sa vyznačujú dobrou odolnosťou voči poveternostným vplyvom, dlhou životnosťou a nízkou uhlíkovou stopou. Z tohto dôvodu sa čoraz častejšie využívajú pri administratívnych budovách, verejných objektoch a obytných projektoch navrhovaných podľa princípov nízkouhlíkoveho stavebníctva.

### Interiérové prvky

Významné uplatnenie nachádzajú biokompozity aj pri výrobe interiérových prvkov, ako sú obklady stien, podlahy, nábytok, deliace priečky alebo dekoratívne architektonické komponenty. Vyznačujú sa nízkou hmotnosťou, jednoduchou opracovateľnosťou a prirodzeným vzhľadom, ktorý pozitívne ovplyvňuje kvalitu vnútorného prostredia.

Využívanie obnoviteľných prírodných surovín spolu s priaznivými mechanickými vlastnosťami robí z biokompozitov atraktívny materiál najmä pri navrhovaní ekologických interiérov a budov orientovaných na zdravé vnútorné prostredie.

### **Prefabrikované stavebné panely**

Významný potenciál majú biokompozity aj pri výrobe prefabrikovaných stavebných panelov. Kombinácia prírodných vlákien a polymérnych spojív umožňuje vytvárať ľahké, pevné a rozmerovo presné prvky vhodné pre modulárne stavebné systémy.

Vysoký stupeň prefabrikácie skracuje čas realizácie stavby, znižuje spotrebu stavebných materiálov a minimalizuje množstvo odpadu vznikajúceho počas výstavby. Nižšia hmotnosť panelov zároveň uľahčuje dopravu a montáž, čím sa znižujú energetické nároky aj celkové environmentálne dopady stavebného procesu.

### **Environmentálny význam biokompozitov**

Najvýznamnejším prínosom biokompozitov je využívanie obnoviteľných prírodných surovín a možnosť nahrádzať materiály s vyššou uhlíkovou stopou. Prírodné vlákna počas rastu absorbujú oxid uhličitý z atmosféry, ktorý zostáva viazaný v materiáli počas celej životnosti stavebného prvku.

V porovnaní s tradičnými stavebnými materiálmi sa biokompozity vyznačujú nižším zabudovaným uhlíkom (Embodied Carbon), nižšou energetickou náročnosťou výroby a priaznivým potenciálom recyklácie alebo biologického rozkladu po skončení životnosti. Tieto vlastnosti významne podporujú princípy obehového hospodárstva a efektívneho využívania prírodných zdrojov.

### **Perspektívy ďalšieho rozvoja**

Biokompozity predstavujú jednu z najperspektívnejších skupín stavebných materiálov budúcnosti. Ich ďalší rozvoj podporujú rastúce požiadavky na udržateľnosť, klimatickú neutralitu a efektívne využívanie obnoviteľných zdrojov. S postupným zdokonaľovaním výrobných technológií, vývojom bio-based polymérov a zlepšovaním mechanických vlastností možno očakávať ich čoraz širšie využitie nielen pri nenosných prvkoch, ale aj pri nosných stavebných konštrukciách.

V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a princípmi obehového hospodárstva predstavujú biokompozity významnú alternatívu k tradičným stavebným materiálom. Ich využívanie prispieva k znižovaniu environmentálnych dopadov budov počas celého životného cyklu a podporuje transformáciu stavebného sektora smerom ku klimaticky neutrálnemu a udržateľnému rozvoju.

## **5.15 Porovnanie uhlíkovej stopy materiálov**

Jedným z najdôležitejších kritérií pri výbere stavebných materiálov v nízkouhlíkovom stavebníctve je ich uhlíková stopa. Tá vyjadruje množstvo emisií skleníkových plynov vznikajúcich počas životného cyklu materiálu a najčastejšie sa uvádza v kilogramoch ekvivalentu oxidu uhličitého na kilogram materiálu (kg CO<sub>2</sub>e/kg).

Porovnávanie uhlíkovej stopy jednotlivých materiálov umožňuje identifikovať riešenia s najnižším environmentálnym dopadom a optimalizovať zabudovaný uhlík budovy už vo fáze projektovania. Významné rozdiely medzi jednotlivými materiálmi sú spôsobené najmä rozdielnou energetickou náročnosťou výroby, využívanými surovinami a schopnosťou materiálov viazať uhlík. Orientačné hodnoty uhlíkovej stopy vybraných stavebných materiálov sú uvedené nižšie (Tabuľka 8).

**Tabuľka 8** Orientačné hodnoty uhlíkovej stopy vybraných stavebných materiálov

| <b>Materiál</b> | <b>kg CO<sub>2</sub>e/kg</b> |
|-----------------|------------------------------|
| Drevo           | -0,5 až 0,2                  |

|          |             |
|----------|-------------|
| CLT      | -0,3 až 0,1 |
| Betón    | 0,10 – 0,35 |
| Tehla    | 0,20 – 0,45 |
| Oceľ     | 1,8 – 2,5   |
| Hliník   | 8 – 16      |
| Celulóza | 0,05 – 0,15 |
| Konope   | 0,03 – 0,10 |

Jedným z rozhodujúcich kritérií pri navrhovaní nízkouhlíkových budov je uhlíková stopa použitých stavebných materiálov. Jednotlivé materiály sa výrazne líšia množstvom emisií skleníkových plynov vznikajúcich počas ich výroby, dopravy, spracovania a ukončenia životnosti. Posudzovanie uhlíkovej stopy preto predstavuje významný nástroj pri výbere materiálových riešení s cieľom minimalizovať zabudovaný uhlík (Embodied Carbon) stavebných konštrukcií.

### **Materiály s nízkou uhlíkovou stopou**

Najpriaznivejšie environmentálne vlastnosti vykazujú materiály biologického pôvodu, predovšetkým drevo, CLT, GLT, celulóza, konope, slama, korok, ovčia vlna a drevovláknité dosky. Spoločným znakom týchto materiálov je schopnosť viazať oxid uhličitý počas rastu rastlín prostredníctvom fotosyntézy, pričom uložený uhlík zostáva zachovaný počas celej životnosti stavebnej konštrukcie.

Pri dreve a moderných drevených konštrukčných systémoch môže byť v závislosti od použitej metodiky Life Cycle Assessment (LCA) výsledná uhlíková stopa dokonca záporná. Množstvo uhlíka viazaného v materiáli totiž môže prevyšovať emisie vznikajúce počas výroby, dopravy a spracovania stavebného výrobku. Práve preto patria bio-based materiály medzi najperspektívnejšie riešenia podporujúce dekarbonizáciu stavebného sektora.

Materiály so strednou uhlíkovou stopou

Do skupiny materiálov so strednou uhlíkovou stopou patria predovšetkým tradičné murovacie materiály a betón. Uhlíková stopa betónu sa spravidla pohybuje približne v rozmedzí 0,10 až 0,35 kg CO<sub>2</sub>eq/kg, pričom rozhodujúci podiel emisií je spojený s výrobou cementu. Pri tehlových výrobkoch dosahuje uhlíková stopa približne 0,20 až 0,45 kg CO<sub>2</sub>eq/kg, pričom jej výška závisí najmä od energetickej náročnosti procesu vypaľovania.

Hoci tieto materiály produkujú vyššie emisie než prírodné stavebné materiály, ich environmentálny profil možno významne zlepšovať využívaním nízkouhlíkových cementov, geopolymérnych spojív, recyklovaného kameniva alebo optimalizáciou výrobných technológií.

### **Materiály s vysokou uhlíkovou stopou**

Najvyššie hodnoty uhlíkovej stopy vykazujú predovšetkým kovy, najmä oceľ a hliník. Priemerná uhlíková stopa primárnej ocele sa pohybuje približne v rozmedzí 1,8 až 2,5 kg CO<sub>2</sub>eq/kg, zatiaľ čo pri primárnom hliníku dosahuje približne 8 až 16 kg CO<sub>2</sub>eq/kg, čím sa hliník zaraďuje medzi environmentálne najnáročnejšie stavebné materiály.

Hlavným dôvodom vysokej emisnej náročnosti je energeticky intenzívna výroba. Pri oceli ide predovšetkým o redukciu železnej rudy vo vysokých peciach, zatiaľ čo pri hliníku dominuje energeticky náročná elektrolýza oxidu hlinitého.

Významnou výhodou oboch materiálov je však ich veľmi vysoká recyklovateľnosť. Recyklovaná oceľ aj recyklovaný hliník si zachovávajú svoje mechanické vlastnosti a ich výroba je spojená s podstatne nižšou spotrebou energie aj emisiami skleníkových plynov. Významný potenciál na ďalšie znižovanie uhlíkovej stopy predstavuje aj rozvoj výroby zelenej ocele (Green Steel) a zeleného hliníka (Green Aluminium) využívajúcich obnoviteľné zdroje energie.

### **Význam hodnotenia uhlíkovej stopy**

Porovnanie uhlíkovej stopy jednotlivých stavebných materiálov jednoznačne ukazuje, že výber materiálov významne ovplyvňuje celkovú uhlíkovú stopu budovy. V mnohých prípadoch možno

vhodnou kombináciou bio-based materiálov, recyklovaných výrobkov a nízkouhlíkových konštrukčných systémov dosiahnuť výrazné zníženie zabudovaného uhlíka bez negatívneho ovplyvnenia technických alebo funkčných vlastností stavby.

Pri navrhovaní nízkouhlíkových budov je preto potrebné hodnotiť materiály komplexne, nielen z pohľadu ich mechanických a ekonomických vlastností, ale aj z hľadiska environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu. Takýto prístup, založený na metodikách Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), environmentálnych produktových deklaráciách (EPD) a princípoch obehového hospodárstva, vytvára predpoklady na systematické znižovanie emisií skleníkových plynov a podporuje dosahovanie klimateckej neutrality stavebného sektora.

## **5.16 Kritériá výberu stavebných materiálov**

Výber stavebných materiálov predstavuje jedno z rozhodujúcich rozhodnutí pri navrhovaní nízkouhlíkových budov. Použité materiály významne ovplyvňujú nielen uhlíkovú stopu stavby, ale aj jej technické vlastnosti, prevádzkové náklady a celkovú environmentálnu výkonnosť počas celého životného cyklu. Moderné stavebníctvo preto vyžaduje komplexný prístup, ktorý zohľadňuje environmentálne, technické aj ekonomické aspekty jednotlivých materiálových riešení.

Pri posudzovaní vhodnosti stavebných materiálov je nevyhnutné hodnotiť ich správanie počas celého životného cyklu – od získavania surovín, cez výrobu, dopravu, zabudovanie a prevádzku až po recykláciu alebo likvidáciu po skončení životnosti budovy. Takýto prístup je v súlade s princípmi Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC), Whole Life Carbon (WLC) a obehového hospodárstva.

Pri navrhovaní nízkouhlíkových budov možno kritériá výberu stavebných materiálov rozdeliť do troch základných skupín: environmentálne, technické a ekonomické kritériá.

### **Environmentálne kritériá**

Environmentálne hľadisko predstavuje základný predpoklad výberu stavebných materiálov v nízkouhlíkovom stavebníctve. Cieľom je minimalizovať negatívne dopady na životné prostredie počas celého životného cyklu materiálu a zároveň podporovať efektívne využívanie prírodných zdrojov.

Najdôležitejším ukazovateľom je uhlíková stopa, ktorá vyjadruje množstvo emisií skleníkových plynov vznikajúcich počas výroby, dopravy, používania a ukončenia životnosti stavebného materiálu. Materiály s nízkou uhlíkovou stopou významne prispievajú k znižovaniu zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) budov a predstavujú základný predpoklad klimaticky neutrálneho stavebníctva.

Dôležitým kritériom je aj recyklovateľnosť, ktorá charakterizuje schopnosť materiálu opätovne vstupovať do výrobného procesu po skončení jeho životnosti. Materiály s vysokým potenciálom recyklácie podporujú princípy obehového hospodárstva, znižujú spotrebu primárnych surovín a obmedzujú množstvo stavebného odpadu.

Významným environmentálnym ukazovateľom je tiež spotreba vody počas výroby, ktorá predstavuje dôležitý aspekt celkovej environmentálnej náročnosti stavebných materiálov. Materiály vyžadujúce veľké množstvo vody môžu mať napriek nízkej uhlíkovej stope významný dopad na prírodné zdroje, najmä v regiónoch ohrozených nedostatkom vody.

### **Technické kritériá**

Okrem environmentálnych aspektov musia stavebné materiály spĺňať požadované technické parametre zabezpečujúce bezpečnosť, funkčnosť a dlhodobú spoľahlivosť stavebných konštrukcií.

Rozhodujúcim kritériom je pevnosť, ktorá určuje schopnosť materiálu prenášať mechanické zaťaženie bez porušenia alebo nadmerných deformácií. Práve pevnosť predstavuje základný predpoklad bezpečnosti stavebných konštrukcií a ich spoľahlivej prevádzky.

Rovnako významná je životnosť, ktorá vyjadruje obdobie, počas ktorého si materiál zachováva požadované funkčné vlastnosti. Materiály s dlhou životnosťou znižujú potrebu opráv, výmen a rekonštrukcií, čím nepriamo prispievajú k redukcii uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy.

Dôležitým technickým parametrom sú aj tepelné vlastnosti, ktoré významne ovplyvňujú energetickú hospodárnosť budovy. Materiály s priaznivými tepelnoizolačnými charakteristikami znižujú potrebu energie na vykurovanie a chladenie, čím prispievajú k obmedzovaniu prevádzkových emisií skleníkových plynov.

### **Ekonomické kritériá**

Výber stavebných materiálov musí zohľadňovať aj ekonomickú efektívnosť navrhovaného riešenia. Nízkouhlíkové materiály by mali byť nielen environmentálne priaznivé a technicky vhodné, ale zároveň ekonomicky realizovateľné počas celej životnosti stavby.

Základným ekonomickým ukazovateľom je obstarávacia cena, ktorá predstavuje počiatočné investičné náklady spojené s nákupom a zabudovaním materiálu. Samotná obstarávacia cena však neposkytuje dostatočný obraz o ekonomickej efektívnosti materiálu.

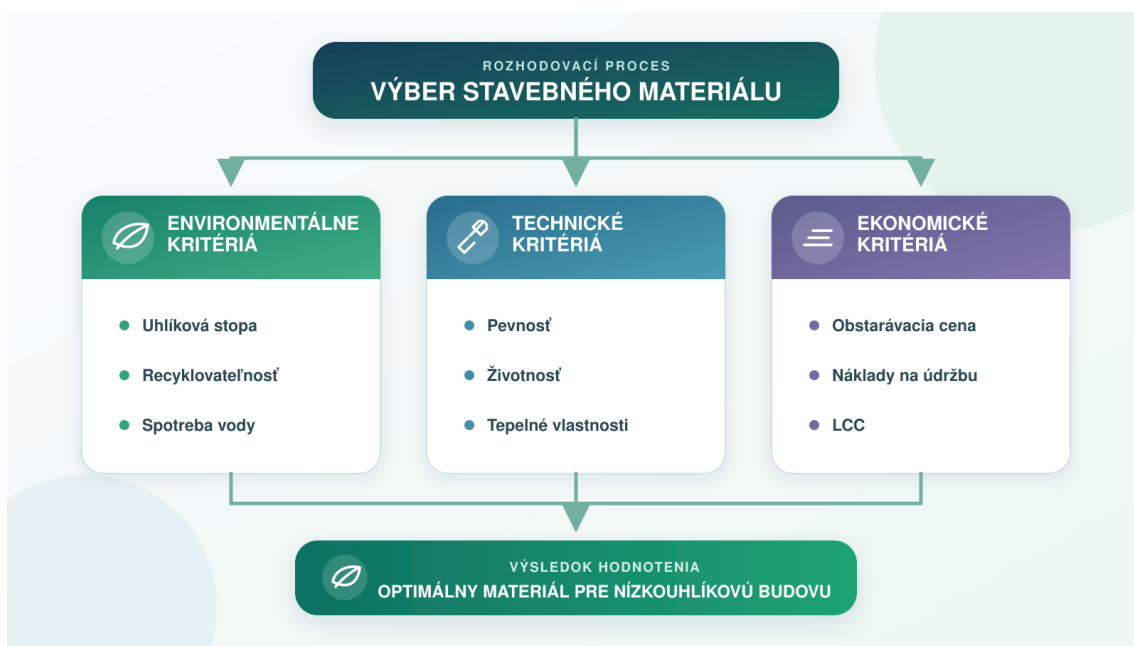
Významným faktorom sú aj náklady na údržbu, ktoré zahŕňajú výdavky potrebné na zachovanie funkčnosti materiálu počas prevádzky budovy. Materiály s nízkymi nárokmi na údržbu prinášajú dlhodobé ekonomické úspory a znižujú prevádzkové náklady objektu.

Najkomplexnejší pohľad poskytuje metodika Life Cycle Costing (LCC), ktorá hodnotí celkové náklady počas životného cyklu stavebného materiálu. Okrem obstarávacích nákladov zahŕňa výdavky na prevádzku, údržbu, opravy, výmenu jednotlivých prvkov aj náklady spojené s ukončením životnosti materiálu. Tento prístup umožňuje prijímať rozhodnutia založené na dlhodobej ekonomickej efektívnosti, a nie iba na počiatočných investičných nákladoch.

### **Integrovaný prístup k výberu stavebných materiálov**

Moderné nízkouhlíkové stavebníctvo si vyžaduje vyvážené posudzovanie environmentálnych, technických aj ekonomických kritérií. Materiál s najnižšou uhlíkovou stopou nemusí byť vždy technicky alebo ekonomicky najvhodnejším riešením, rovnako ako materiál s vyššími počiatočnými nákladmi môže počas svojej životnosti priniesť významné prevádzkové úspory a nižšie environmentálne dopady.

Preto sa pri navrhovaní nízkouhlíkových budov odporúča využívať integrované hodnotenie založené na metodikách Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC) a Whole Life Carbon (WLC). Kombinácia týchto prístupov umožňuje objektívne porovnávať jednotlivé materiálové riešenia a vyberať stavebné materiály, ktoré najlepšie spĺňajú požiadavky environmentálnej udržateľnosti, technickej kvality a ekonomickej efektívnosti. Takýto komplexný prístup vytvára základné predpoklady pre navrhovanie budov s minimálnou uhlíkovou stopou a podporuje dosahovanie cieľov klimateckej neutrality stavebného sektora (Obrázok 21).



Obrázok 21 Kritériá výberu stavebných materiálov

## 5.17 Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)

Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) predstavuje nový nástroj klimateckej politiky Európskej únie, ktorého cieľom je znižovať emisie skleníkových plynov a zabezpečiť spravodlivé konkurenčné podmienky medzi výrobcami pôsobiacimi v Európskej únii a výrobcami z krajín s menej prísnyimi environmentálnymi požiadavkami. Mechanizmus bol zavedený nariadením Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/956 ako súčasť balíka Fit for 55.

Základným princípom CBAM je zohľadnenie uhlíkovej stopy dovážaných výrobkov. Dovozcovia vybraných komodít sú povinní vykazovať emisie skleníkových plynov vznikajúce pri ich výrobe a postupne za ne uhrádzať poplatok zodpovedajúci cene emisných povoleniek v rámci systému EU ETS (European Union Emissions Trading System). Cieľom je obmedziť tzv. únik uhlíka (carbon leakage), teda presun výroby mimo Európskej únie do krajín s nižšími environmentálnymi štandardmi.

Význam CBAM pre stavebníctvo

Mechanizmus CBAM má významný dopad aj na stavebný sektor, pretože sa vzťahuje na viaceré materiály, ktoré patria medzi najvýznamnejšie zdroje zabudovaných emisií budov.

V počiatočnej fáze sa mechanizmus týka najmä:

- cementu,
- ocele,
- hliníka,
- železa,
- elektrickej energie,
- vodíka.

Práve tieto materiály patria medzi základné stavebné vstupy a zároveň medzi výrobky s vysokou uhlíkovou náročnosťou výroby.

### Vplyv na výber stavebných materiálov

Zavedenie CBAM vytvára nový ekonomický stimul na využívanie stavebných materiálov s nižšou uhlíkovou stopou. Materiály vyrábané environmentálne šetrnejšími technológiami získavajú vyššiu konkurencieschopnosť, zatiaľ čo výrobky s vysokými emisiami CO<sub>2</sub> môžu byť v dôsledku dodatočných poplatkov ekonomicky menej výhodné.

Projektanti a investori budú preto čoraz častejšie zohľadňovať nielen technické a ekonomické parametre materiálov, ale aj ich uhlíkovú stopu a environmentálnu výkonnosť.

Osobitný význam možno očakávať pri:

- nízkouhlíkových cementoch,
- recyklovanej oceli,
- drevených konštrukciách,
- bio-based materiáloch,
- recyklovaných stavebných výrobkoch.

### **Prepojenie s hodnotením uhlíkovej stopy**

Mechanizmus CBAM úzko súvisí s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD). Presné údaje o uhlíkovej stope stavebných materiálov sa stávajú dôležitým podkladom nielen pre environmentálne hodnotenie budov, ale aj pre ekonomické rozhodovanie investorov a výrobcov.

V kombinácii s digitálnymi produktovými pasmi (Digital Product Passport – DPP) vytvára CBAM predpoklady na vyššiu transparentnosť environmentálnych údajov počas celého životného cyklu stavebných výrobkov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Mechanizmus CBAM predstavuje významný ekonomický nástroj podporujúci dekarbonizáciu stavebného sektora. Jeho zavedenie vytvára priaznivejšie podmienky pre využívanie nízkouhlíkových stavebných materiálov a súčasne motivuje výrobcov k modernizácii výrobných procesov a znižovaniu emisií skleníkových plynov.

Možno predpokladať, že význam CBAM bude v nasledujúcich rokoch postupne narastať a spolu s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a Digitálnymi produktovými pasmi (DPP) sa stane jedným z rozhodujúcich nástrojov podporujúcich rozvoj nízkouhlíkoveho stavebníctva v Európskej únii.

## **5.18 Nové nariadenie o stavebných výrobkoch (Construction Products Regulation – CPR 2024)**

Nové Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady o stavebných výrobkoch (Construction Products Regulation – CPR 2024) predstavuje významný legislatívny krok smerom k transformácii európskeho stavebníctva na udržateľnejší, digitálne prepojený a nízkouhlíkový sektor. Revidované nariadenie nadväzuje na pôvodné nariadenie (EÚ) č. 305/2011 a reaguje na nové požiadavky Európskej únie v oblasti klimateckej neutrality, obehového hospodárstva a digitalizácie stavebných výrobkov.

Hlavným cieľom nového CPR je zabezpečiť, aby stavebné výrobky uvádzané na európsky trh poskytovali nielen informácie o svojich technických vlastnostiach, ale aj o environmentálnych parametroch počas celého životného cyklu. Tým sa vytvára spoločný rámec podporujúci navrhovanie budov s nižšou uhlíkovou stopou a efektívnejším využívaním prírodných zdrojov.

### **Hlavné zmeny zavedené CPR 2024**

Nové nariadenie rozširuje požiadavky na výrobcov stavebných výrobkov a podporuje širšie využívanie digitálnych technológií pri hodnotení ich environmentálnej výkonnosti.

Medzi najvýznamnejšie zmeny patria:

- rozšírenie environmentálnych požiadaviek na stavebné výrobky,
- podpora digitálnych produktových pasov (Digital Product Passport – DPP),
- väčší dôraz na obehové hospodárstvo,
- podpora recyklácie a opätovného využívania stavebných materiálov,
- harmonizácia environmentálnych údajov v rámci Európskej únie.

### **Environmentálne informácie o stavebných výrobkoch**

Jednou z najvýznamnejších novín je rozšírenie požiadaviek na environmentálne údaje poskytované výrobcami stavebných výrobkov. Popri technických parametroch sa čoraz väčší dôraz kladie aj na informácie o:

- uhlíkovej stope výrobku,
- spotrebe primárnych surovín,
- obsahu recyklovaných materiálov,
- možnostiach recyklácie,
- environmentálnych dopadoch počas životného cyklu.

Tieto údaje významne podporujú objektívne hodnotenie stavebných materiálov pri navrhovaní nízkouhlíkových budov.

### **Digitalizácia stavebných výrobkov**

Nové nariadenie podporuje využívanie Digitálnych produktových pasov (DPP), ktoré umožňujú digitálne sprístupňovať informácie o stavebných výrobkoch počas celého ich životného cyklu. Údaje obsiahnuté v DPP možno prepájať s prostredím Building Information Modeling (BIM), metodikou Life Cycle Assessment (LCA) a databázami environmentálnych produktových deklarácií (EPD).

Digitalizácia tak vytvára predpoklady na efektívnejšie projektovanie, správu budov aj ich budúcu obnovu alebo recykláciu.

### **Podpora obehového hospodárstva**

Významnou súčasťou nového CPR je podpora princípov obehového hospodárstva. Nariadenie motivuje výrobcov k vývoju stavebných výrobkov s vyšším podielom recyklovaných materiálov, dlhšou životnosťou a lepšími možnosťami opätovného využitia po skončení ich životného cyklu.

Tento prístup podporuje:

- znižovanie spotreby primárnych surovín,
- obmedzovanie produkcie stavebného odpadu,
- vyššiu mieru recyklácie,
- efektívnejšie využívanie materiálových zdrojov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Revidované nariadenie CPR predstavuje významný legislatívny nástroj podporujúci rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva. Transparentné environmentálne údaje o stavebných výrobkoch umožňujú projektantom objektívnejšie porovnávať jednotlivé materiálové riešenia a prijímať rozhodnutia vedúce k znižovaniu uhlíkovej stopy budov.

V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Digitálnymi produktovými pasmi (DPP), Building Information Modeling (BIM) a mechanizmom Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) vytvára nové CPR komplexný rámec podporujúci navrhovanie klimaticky neutrálnych budov.

Možno predpokladať, že význam nariadenia CPR bude v nasledujúcich rokoch ďalej narastať a stane sa jedným z hlavných legislatívnych pilierov udržateľného stavebníctva v Európskej únii.

## **5.19 Digitálny produktový pas (Digital Product Passport – DPP)**

Digital Product Passport (DPP) predstavuje nový európsky nástroj digitálnej evidencie výrobkov, ktorého cieľom je sprístupniť spoľahlivé informácie o environmentálnych, technických a materiálových vlastnostiach výrobkov počas celého ich životného cyklu. Zavedenie digitálnych produktových pasov je súčasťou stratégie Európskej únie zameranej na podporu obehového hospodárstva, digitalizácie priemyslu a znižovania environmentálnych dopadov výrobkov.



V stavebníctve predstavuje DPP významný krok smerom k transparentnému hodnoteniu stavebných materiálov a výrobkov. Každý výrobok bude mať jedinečný digitálny záznam obsahujúci informácie potrebné pre projektovanie, výstavbu, prevádzku, údržbu, rekonštrukciu aj recykláciu budovy. Digitálny produktový pas tak vytvára prepojenie medzi výrobcom stavebného materiálu, projektantom, investorom, správcom budovy a subjektmi zabezpečujúcimi jej budúcu obnovu alebo demontáž.

### **Obsah digitálneho produktového pasu**

Digitálny produktový pas môže obsahovať široké spektrum technických a environmentálnych údajov o stavebnom výrobku. Medzi najvýznamnejšie patria:

- identifikácia výrobcu,
- pôvod materiálu,
- technické parametre výrobku,
- uhlíková stopa výrobku,
- environmentálna produktová deklarácia (EPD),
- obsah recyklovaných materiálov,
- možnosti recyklácie a opätovného využitia,
- životnosť výrobku,
- pokyny na údržbu a demontáž,
- digitálny identifikátor (napr. QR kód alebo RFID).

Tieto údaje vytvárajú komplexnú databázu informácií, ktorá sprevádza výrobok počas celého jeho životného cyklu.

### **Význam DPP pre stavebníctvo**

Zavedenie digitálnych produktových pasov prináša významné výhody pre všetkých účastníkov stavebného procesu. Projektantom poskytuje presné údaje o environmentálnych parametroch stavebných materiálov, investorom umožňuje objektívnejšie porovnávanie alternatívnych riešení a správcom budov uľahčuje plánovanie údržby, obnovy a modernizácie objektov.

Významným prínosom DPP je aj podpora princípov obehového hospodárstva. Vďaka presnej evidencii použitých materiálov bude možné po skončení životnosti budovy jednoduchšie identifikovať stavebné prvky vhodné na opätovné použitie alebo recykláciu. Digitálne produktové pasy tak významne prispievajú k znižovaniu množstva stavebného odpadu a efektívnejšiemu využívaniu prírodných zdrojov.

### **Prepojenie s BIM a LCA**

Význam digitálnych produktových pasov spočíva aj v ich prepojení s modernými digitálnymi nástrojmi využívanými pri projektovaní budov. Údaje obsiahnuté v DPP možno integrovať do prostredia Building Information Modeling (BIM), kde sa stávajú súčasťou digitálneho modelu budovy.

Súčasne vytvárajú kvalitný informačný základ pre metodiku Life Cycle Assessment (LCA), keďže poskytujú presné údaje o materiálovom zložení výrobkov, ich uhlíkovej stope, možnostiach recyklácie a environmentálnych vlastnostiach. Integrácia DPP, BIM a LCA umožňuje projektantom vykonávať podrobné environmentálne analýzy už počas projektovej fázy a prijímať rozhodnutia vedúce k znižovaniu uhlíkovej stopy budov.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Digitálny produktový pas predstavuje významný nástroj podporujúci navrhovanie nízkouhlíkových budov. Transparentnosť údajov o stavebných materiáloch umožňuje efektívnejší výber výrobkov s nižšou uhlíkovou stopou, podporuje využívanie recyklovaných materiálov a vytvára predpoklady na komplexné hodnotenie environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu budovy.

V budúcnosti možno očakávať, že digitálne produktové pasy sa stanú štandardnou súčasťou stavebných výrobkov uvádzaných na trh Európskej únie. V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Building Information Modeling (BIM), Whole Life Carbon (WLC) a

prípravovanou revíziou Construction Products Regulation (CPR) vytvoria základ digitálneho environmentálneho hodnotenia stavebných materiálov a významne podporia rozvoj klimaticky neutrálneho stavebníctva.

## **5.20 Budúce trendy**

Vývoj stavebných materiálov v súčasnosti smeruje k výraznému znižovaniu uhlíkovej stopy, efektívnejšiemu využívaniu prírodných zdrojov a širšiemu uplatňovaniu princípov obehového hospodárstva. Rastúce požiadavky na klimatickú neutralitu, pripravovaná legislatíva Európskej únie a dynamický rozvoj výrobných technológií vytvárajú tlak na vývoj materiálov s minimálnym environmentálnym dopadom počas celého životného cyklu.

Budúcnosť stavebníctva nebude založená iba na znižovaní prevádzkových emisií budov, ale čoraz viac aj na redukcii zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) stavebných materiálov. Súčasne rastie význam digitalizácie, recyklácie, využívania obnoviteľných surovín a komplexného hodnotenia stavebných výrobkov prostredníctvom metodík Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC).

### **Uhlíkovo negatívne materiály**

Jedným z najperspektívnejších smerov vývoja sú uhlíkovo negatívne materiály (Carbon Negative Materials). Ide o materiály, ktoré počas svojho životného cyklu viažu väčšie množstvo oxidu uhličitého, než sa uvoľní počas ich výroby, dopravy a spracovania.

Do tejto skupiny patria predovšetkým drevo, konopné materiály, slama, biochar kompozity a niektoré moderné biokompozity. Vďaka schopnosti dlhodobo ukladať uhlík predstavujú významný nástroj na znižovanie koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére a podporujú dosahovanie klimatickej neutrality stavebného sektora.

#### **Bio-based materiály**

Významný rozvoj zaznamenávajú aj bio-based materiály, teda stavebné výrobky vyrábané z obnoviteľných biologických zdrojov. Ich hlavným cieľom je postupne nahrádzať energeticky náročné materiály alternatívami s nižšou uhlíkovou stopou a priaznivejšou environmentálnou bilanciou.

Najväčší potenciál majú drevené konštrukcie, systémy CLT a GLT, konopné izolácie, celulóza, drevotrieby, drevené dosky, korok, ovčia vlna, slama a moderné biokompozity. Tieto materiály podporujú využívanie obnoviteľných zdrojov, viažu uhlík počas svojho životného cyklu a významne prispievajú k znižovaniu zabudovaného uhlíka budov.

### **3D tlač stavebných materiálov**

Významnou technologickou inováciou je rozvoj 3D tlače stavebných prvkov, ktorá umožňuje vytvárať konštrukcie priamo z digitálneho modelu bez potreby tradičného debnenia. Táto technológia umožňuje optimalizovať spotrebu materiálu, znižovať množstvo stavebného odpadu, skracovať čas výstavby a vytvárať konštrukcie s vysokou geometrickou presnosťou.

V spojení s nízkouhlíkovými cementmi, geopolymérnymi spojivami a digitálnym projektovaním prostredníctvom Building Information Modeling (BIM) predstavuje 3D tlač významný nástroj ďalšej dekarbonizácie stavebného sektora.

### **Recyklované kompozity**

Ďalším významným smerom vývoja je rastúce využívanie recyklovaných kompozitných materiálov, ktorých výroba kombinuje druhotné suroviny s modernými technológiami spracovania. Takýto prístup znižuje spotrebu primárnych prírodných zdrojov, obmedzuje produkciu odpadu a podporuje princípy cirkulárnej ekonomiky.

Recyklované kompozity sa čoraz častejšie využívajú pri výrobe fasádnych systémov, prefabrikovaných panelov, interiérových prvkov a technických konštrukcií. Očakáva sa, že ich význam bude v nasledujúcich rokoch naďalej narastať najmä v súvislosti so sprísňovaním environmentálnych požiadaviek na stavebné výrobky.

## **Digitalizácia stavebných materiálov**

Významným trendom budúcnosti je digitalizácia informácií o stavebných materiáloch. Čoraz väčší význam získavajú digitálne materiálové pasy (Material Passports) a Digitálne produktové pasy (Digital Product Passports – DPP), ktoré budú obsahovať podrobné informácie o pôvode materiálu, uhlíkovej stope, environmentálnych produktových deklaráciách (EPD), možnostiach recyklácie, životnosti a potenciáli opätovného využitia stavebných výrobkov.

Digitalizácia materiálových údajov bude úzko prepojená s novým Construction Products Regulation (CPR 2024) a metodikou Level(s), čím vznikne jednotný systém hodnotenia environmentálnych vlastností stavebných výrobkov počas celého ich životného cyklu. Tieto nástroje zároveň vytvoria základ pre efektívnejšie riadenie materiálových tokov a podporia širšie uplatňovanie princípov obehového hospodárstva.

## **Perspektíva budúceho vývoja**

Budúcnosť stavebných materiálov bude charakterizovaná snahou o minimalizáciu environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu budov. Rastúci význam budú mať obnoviteľné zdroje, recyklované materiály, digitálne technológie a riešenia schopné aktívne viazať uhlík z atmosféry.

Očakáva sa, že kombinácia uhlíkovo negatívnych materiálov, bio-based technológií, 3D tlače, recyklovaných kompozitov a digitálnych materiálových pasov významne prispeje k transformácii stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite. Tieto trendy vytvárajú základ pre vznik novej generácie nízkouhlíkových budov, ktoré budú environmentálne, ekonomicky aj technicky udržateľné počas celého svojho životného cyklu. Stavebné materiály predstavujú jeden z najvýznamnejších faktorov ovplyvňujúcich environmentálnu výkonnosť budov počas celého ich životného cyklu. S rastúcou energetickou efektívnosťou moderných budov sa pozornosť čoraz viac presúva zo znižovania prevádzkových emisií na problematiku zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon), ktorý vzniká počas ťažby surovín, výroby stavebných materiálov, dopravy, výstavby, údržby a likvidácie stavieb. Výber vhodných materiálov sa preto stáva jedným z rozhodujúcich nástrojov na znižovanie celkovej uhlíkovej stopy budov. V kapitole boli predstavené základné princípy environmentálneho hodnotenia stavebných materiálov vrátane významu zabudovaného uhlíka a environmentálnych produktových deklarácií (EPD), ktoré poskytujú objektívne údaje o environmentálnych dopadoch materiálov počas ich životného cyklu. EPD sa stávajú nevyhnutným nástrojom pri realizácii analýz Life Cycle Assessment (LCA) a pri hodnotení konceptu Whole Life Carbon.

Osobitná pozornosť bola venovaná drevu a moderným dreveným konštrukčným systémom, ako sú CLT (Cross Laminated Timber) a GLT (Glued Laminated Timber). Tieto materiály sa vyznačujú nízkou uhlíkovou stopou, schopnosťou viazať uhlík a priaznivými mechanickými vlastnosťami. Vďaka tomu predstavujú jednu z najperspektívnejších alternatív k tradičným konštrukčným materiálom a zohrávajú významnú úlohu pri dekarbonizácii stavebného sektora. Kapitola zároveň analyzovala environmentálne dopady tradičných materiálov, predovšetkým betónu, cementu, ocele a hliníka. Ukázalo sa, že výroba cementu, ocele a primárneho hliníka patrí medzi najvýznamnejšie zdroje zabudovaných emisií v stavebníctve. Z tohto dôvodu sa výskum a vývoj zameriava na nízkouhlíkové alternatívy, ako sú nízkouhlíkové cementy, geopolymérne betóny, recyklovaná oceľ a recyklovaný hliník. Významný potenciál na znižovanie uhlíkovej stopy vykazujú aj prírodné izolačné materiály, ako sú konope, celulóza, drevovláknité dosky a slama. Tieto materiály sa vyznačujú nízkou energetickou náročnosťou výroby, využívaním obnoviteľných zdrojov a schopnosťou viazať oxid uhličitý počas rastu rastlín. Ich využívanie podporuje princípy obehového hospodárstva a prispieva k znižovaniu zabudovaného uhlíka budov. Pozornosť bola venovaná aj biokompozitom a ďalším inovatívnym materiálom, ktoré kombinujú obnoviteľné suroviny s modernými výrobnými technológiami. Tieto materiály predstavujú perspektívny smer vývoja stavebníctva a vytvárajú nové možnosti pre realizáciu nízkouhlíkových a environmentálne udržateľných budov. Porovnanie uhlíkovej stopy jednotlivých materiálov ukázalo výrazné rozdiely medzi materiálmi na biologickej báze a energeticky náročnými priemyselnými produktmi. Najnižšiu uhlíkovú stopu dosahujú drevo, CLT, konope a celulóza, zatiaľ čo oceľ a najmä hliník vykazujú výrazne

vyššie hodnoty emisií. Pri hodnotení vhodnosti materiálov je však potrebné zohľadňovať nielen uhlíkovú stopu, ale aj technické vlastnosti, životnosť, recyklovateľnosť a ekonomické aspekty. Budúci vývoj stavebných materiálov bude smerovať k využívaniu uhlíkovo negatívnych materiálov, bio-based produktov, recyklovaných kompozitov a digitálnych materiálových pasov. Súčasne sa očakáva širšie uplatňovanie metodík LCA, hodnotenia Whole Life Carbon a environmentálnych produktových deklarácií pri navrhovaní a hodnotení stavebných projektov. Na základe uvedených poznatkov možno konštatovať, že stavebné materiály predstavujú rozhodujúci faktor pri znižovaní uhlíkovej stopy budov. Najväčší potenciál majú drevené konštrukcie, CLT systémy, prírodné izolácie a nízkouhlíkové varianty betónu. Naopak, výroba ocele, cementu a hliníka patrí medzi najvýznamnejšie zdroje zabudovaných emisií. Budúcnosť stavebníctva smeruje k využívaniu recyklovaných, obnoviteľných a uhlíkovo negatívnych materiálov podporovaných metodikou LCA a environmentálnymi produktovými deklaráciami, ktoré budú zohrávať kľúčovú úlohu pri dosahovaní klimatickej neutrality stavebného sektora.

## 6 TECHNOLOGIE NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV

### 6.1 Úvod

Moderné nízkouhlíkové budovy dosahujú svoje environmentálne a energetické parametre prostredníctvom komplexného prístupu, ktorý spája kvalitný architektonický návrh, vhodné zvolené stavebné materiály a pokročilé technické systémy. Práve technológie predstavujú jeden z najdôležitejších nástrojov na znižovanie spotreby energie, obmedzovanie emisií skleníkových plynov a zvyšovanie energetickej efektívnosti budov počas ich prevádzky.

V súčasnom stavebníctve už nestačí navrhovať budovy iba s dôrazom na tepelný komfort a funkčnosť. Rastúce požiadavky na klimatickú neutralitu, energetickú bezpečnosť a udržateľnosť vedú k tomu, že technické systémy musia zároveň minimalizovať uhlíkovú stopu budovy a podporovať využívanie obnoviteľných zdrojov energie. Ich úlohou je zabezpečiť optimálnu prevádzku budovy pri čo najnižšej spotrebe energie a čo najmenšom environmentálnom dopade.

V minulosti boli technické zariadenia budov navrhované predovšetkým na zabezpečenie vykurovania, prípravy teplej vody a základného komfortu používateľov. Moderné nízkouhlíkové budovy však využívajú integrované technologické systémy, ktoré umožňujú efektívne riadenie výroby, distribúcie a spotreby energie. Významnú úlohu pritom zohrávajú obnoviteľné zdroje energie, inteligentné radiacie systémy a technológie umožňujúce akumuláciu energie.

Rozvoj týchto technológií významne prispieva k znižovaniu prevádzkového uhlíka (Operational Carbon), ktorý predstavuje emisie vznikajúce počas používania budovy. Súčasne podporuje energetickú nezávislosť budov a vytvára predpoklady pre vznik budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

Medzi najvýznamnejšie technológie využívané v nízkouhlíkových budovách patria:

- tepelné čerpadlá,
- fotovoltaické systémy,
- solárne kolektory,
- systémy rekuperácie tepla,
- geotermálne systémy,
- batériové úložiská energie,
- inteligentné radiacie systémy,
- systémy energetického manažmentu budov.

Tepelné čerpadlá umožňujú efektívne využívať energiu z okolitého prostredia a predstavujú jednu z najvýznamnejších alternatív k vykurovaniu fosílnymi palivami. Fotovoltaické systémy a solárne kolektory zabezpečujú výrobu energie z obnoviteľných zdrojov priamo v mieste spotreby, čím znižujú závislosť budovy od externých dodávok energie. Dôležitú úlohu zohrávajú aj systémy rekuperácie tepla, ktoré umožňujú získavať energiu z odvádzaného vzduchu a znižovať energetické straty počas vetrania. Geotermálne technológie poskytujú stabilný zdroj energie počas celého roka a nachádzajú uplatnenie najmä v kombinácii s tepelnými čerpadlami. S rastúcim podielom obnoviteľných zdrojov energie narastá význam akumulácie energie prostredníctvom batériových systémov. Tie umožňujú efektívnejšie využívanie lokálne vyrobenej elektrickej energie a zvyšujú energetickú sebestačnosť budov. Neoddeliteľnou súčasťou moderných nízkouhlíkových budov sú aj inteligentné radiacie systémy a systémy energetického manažmentu budov (Building Energy Management Systems – BEMS). Tieto technológie zabezpečujú priebežné monitorovanie, optimalizáciu a automatické riadenie energetických tokov, čím umožňujú dosahovať ďalšie úspory energie a znižovať prevádzkové emisie.

Cieľom tejto kapitoly je analyzovať najvýznamnejšie technológie využívané v nízkouhlíkových budovách, charakterizovať ich princípy fungovania, výhody, obmedzenia a potenciál pri znižovaní uhlíkovej stopy stavebného sektora. Pozornosť bude venovaná najmä technológiám podporujúcim energetickú efektívnosť, využívanie obnoviteľných zdrojov energie a inteligentné riadenie prevádzky budov.

## 6.2 Tepelné čerpadlá

### 6.2.1 Princíp fungovania

Tepelné čerpadlá patria medzi najvýznamnejšie technológie využívané v nízkouhlíkových budovách. Predstavujú energeticky efektívny spôsob vykurovania, chladenia a prípravy teplej vody, pričom využívajú obnoviteľnú energiu akumulovanú v okolí budovy. V porovnaní s tradičnými vykurovacími systémami založenými na spaľovaní fosílnych palív umožňujú výrazne znížiť spotrebu primárnej energie a emisie skleníkových plynov.

Základným princípom tepelného čerpadla je odoberanie nízkopotenciálnej tepelnej energie z okolitého prostredia a jej transformácia na teplo s vyššou teplotnou úrovňou využiteľnou pre vykurovanie budovy. Na tento proces sa využíva elektrická energia potrebná na pohon kompresora, pričom množstvo získaného tepla je niekoľkonásobne vyššie než spotrebovaná elektrická energia.

Zdrojom energie môže byť:

- vonkajší vzduch,
- zem,
- podzemná voda.

#### Energia zo vzduchu

Najrozšírenejším typom tepelných čerpadiel sú systémy vzduch – voda, ktoré odoberajú teplo z vonkajšieho vzduchu. Výhodou tohto riešenia je jednoduchá inštalácia, nižšie investičné náklady a široká použiteľnosť v novostavbách aj rekonštrukciách.

Aj pri nízkych vonkajších teplotách obsahuje vzduch určité množstvo tepelnej energie, ktorú možno pomocou tepelného čerpadla efektívne využiť na vykurovanie budovy.

#### Energia zo zeme

Tepelné čerpadlá zem – voda využívajú tepelnú energiu akumulovanú v pôde. Táto energia sa získava prostredníctvom zemných kolektorov alebo geotermálnych vrtov.

Výhodou zemných systémov je:

- stabilná teplota zdroja počas celého roka,
- vysoká účinnosť,
- dlhá životnosť systému,
- nízke prevádzkové náklady.

Nevýhodou sú vyššie počiatočné investície a potreba realizácie zemných prác.

#### Energia z podzemnej vody

Systémy voda – voda využívajú teplo obsiahnuté v podzemnej vode. Vzhľadom na stabilnú teplotu podzemnej vody patria medzi najúčinnnejšie typy tepelných čerpadiel.

Ich výhodou je:

- veľmi vysoký vykurovací faktor,
- nízka spotreba elektrickej energie,
- stabilná prevádzka počas celého roka.

Použitie týchto systémov je však podmienené vhodnými hydrogeologickými podmienkami a dostupnosťou podzemnej vody.

#### Termodynamický cyklus

Princíp fungovania tepelného čerpadla je založený na uzavretom termodynamickom cykle chladiva. Chladivo počas prevádzky prechádza štyrmi základnými fázami:

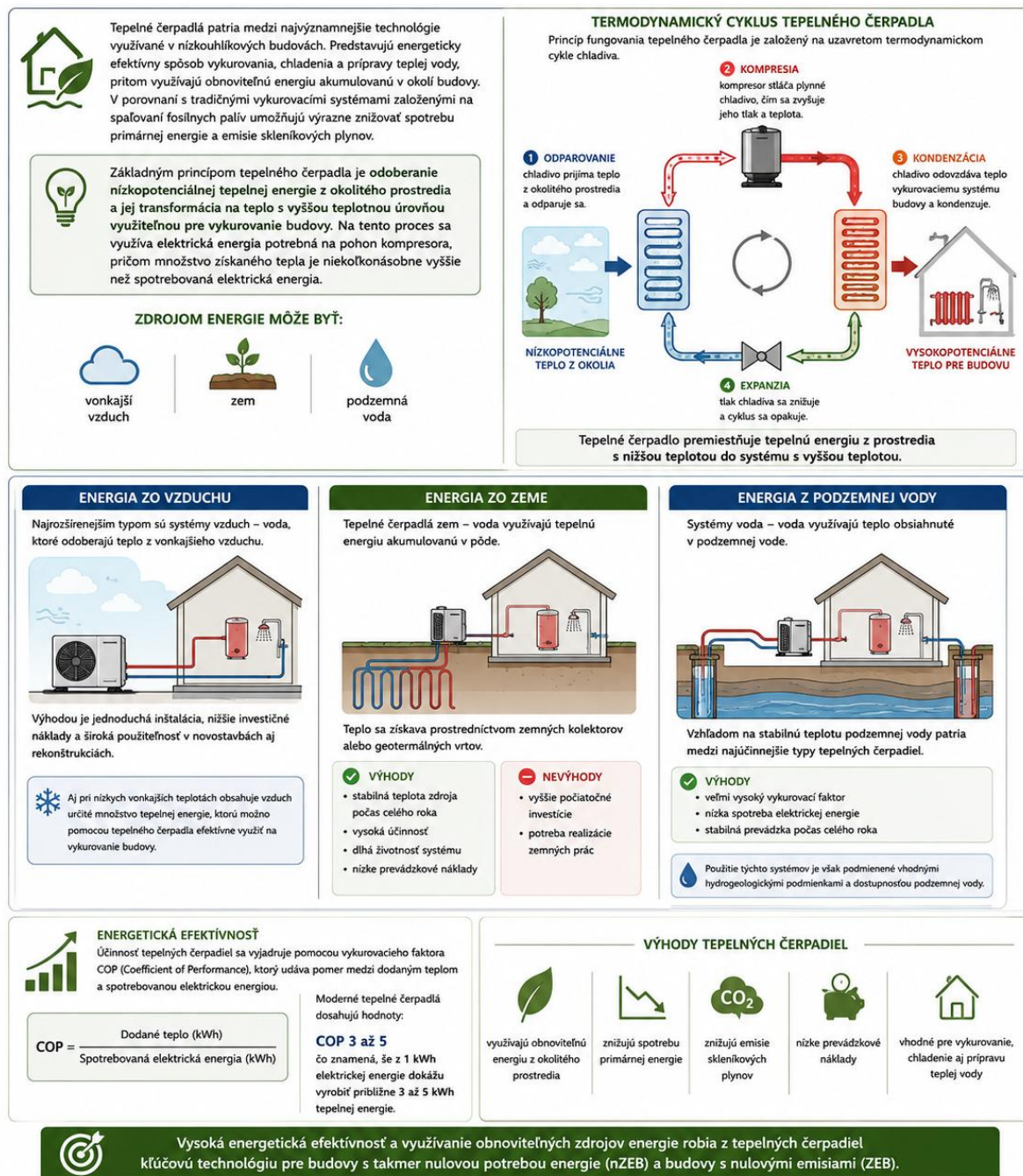
**Odparovanie** – chladivo prijíma teplo z okolitého prostredia a odparuje sa.

**Kompresia** – kompresor stláča plyné chladivo, čím sa zvyšuje jeho tlak a teplota.

**Kondenzácia** – chladivo odovzdáva teplo vykurovaciemu systému budovy a kondenzuje.

**Expanzia** – tlak chladiva sa znižuje a cyklus sa opakuje.

Vďaka tomuto procesu dokáže tepelné čerpadlo premiestňovať tepelnú energiu z prostredia s nižšou teplotou do systému s vyššou teplotou (Obrázok 22).



**Obrázok 22** Tepelná čerpadlá

## Energetická efektívnosť

Účinnosť tepelných čerpadiel sa vyjadruje pomocou vykurovacieho faktora COP (Coefficient of Performance), ktorý udáva pomer medzi dodaným teplom a spotrebovanou elektrickou energiou. Moderné tepelné čerpadlá dosahujú hodnoty COP 3 až 5, čo znamená, že z 1 kWh elektrickej energie dokážu vyrobiť približne 3 až 5 kWh tepelnej energie. Práve vysoká energetická efektívnosť robí z tepelných čerpadiel jednu z najdôležitejších technológií pre budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB).

## Význam pre nízkouhlíkové budovy

Tepelné čerpadlá predstavujú kľúčovú technológiu dekarbonizácie budov. Umožňujú nahrádzať fosílna palivá obnoviteľnou energiou z okolitého prostredia a významne znižovať prevádzkové emisie CO<sub>2</sub>. V kombinácii s fotovoltaickými systémami a inteligentným energetickým manažmentom vytvárajú základ energeticky efektívnych a klimaticky neutrálnych budov budúcnosti.

### 6.2.2 Koeficient výkonnosti

Energetická efektívnosť tepelného čerpadla sa vyjadruje pomocou ukazovateľa Coefficient of Performance (COP), ktorý predstavuje pomer medzi množstvom dodaného tepla a elektrickou energiou spotrebovanou na prevádzku zariadenia. COP patrí medzi najdôležitejšie parametre pri hodnotení hospodárnosti a účinnosti tepelných čerpadel. Čím vyššia je hodnota COP, tým efektívnejšie tepelné čerpadlo pracuje a tým nižšia je spotreba elektrickej energie potrebná na výrobu tepla.

Koeficient výkonnosti je definovaný vzťahom:

$$COP = \frac{Q}{W}$$

kde:

(Q) = množstvo dodaného tepla (kWh),

(W) = spotrebovaná elektrická energia (kWh).

Hodnota COP vyjadruje, koľko jednotiek tepelnej energie dokáže tepelné čerpadlo vyprodukovať z jednej jednotky spotrebovanej elektrickej energie.

#### Faktory ovplyvňujúce COP

Hodnota COP nie je konštantná a závisí od viacerých prevádzkových podmienok. Najvýznamnejší vplyv má rozdiel teplôt medzi zdrojom tepla a vykurovacím systémom budovy. Medzi hlavné faktory patria:

- teplota vonkajšieho prostredia,
- teplota zeme alebo podzemnej vody,
- požadovaná teplota vykurovacej vody,
- typ tepelného čerpadla,
- kvalita návrhu a regulácie systému.

Vo všeobecnosti platí, že čím menší je rozdiel medzi teplotou zdroja energie a teplotou vykurovacieho systému, tým vyššia je účinnosť tepelného čerpadla.

#### Typické hodnoty COP

Moderné tepelné čerpadlá dosahujú približne tieto hodnoty uvedené v tabuľke (Tabuľka 9).

**Tabuľka 9** Hodnoty COP pre moderné tepelné čerpadlá

| Typ tepelného čerpadla | Typický COP |
|------------------------|-------------|
| Vzduch – voda          | 3 – 5       |
| Zem – voda             | 4 – 6       |
| Voda – voda            | 4,5 – 6,5   |
| Typ tepelného čerpadla | Typický COP |

Najvyššie hodnoty COP spravidla dosahujú systémy využívajúce geotermálnu energiu alebo podzemnú vodu, pretože teplota zdroja je počas roka relatívne stabilná.

#### Sezónny faktor SPF

Pri hodnotení reálnej prevádzky sa často používa aj ukazovateľ Seasonal Performance Factor (SPF), ktorý vyjadruje priemernú účinnosť tepelného čerpadla počas celej vykurovacej sezóny.



SPF poskytuje presnejší obraz o skutočnej energetickej efektívnosti zariadenia, pretože zohľadňuje meniace sa klimatické podmienky a prevádzkové režimy počas roka.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Vysoké hodnoty COP predstavujú jeden z hlavných dôvodov, prečo sú tepelné čerpadlá považované za kľúčovú technológiu nízkouhlíkových budov. Vďaka schopnosti využívať obnoviteľnú energiu z okolitého prostredia umožňujú výrazne znížiť spotrebu primárnej energie a emisie CO<sub>2</sub> v porovnaní s konvenčnými vykurovacími systémami.

V kombinácii s fotovoltaickými systémami a inteligentným riadením budovy môžu tepelné čerpadlá významne prispievať k dosahovaniu štandardov nZEB a ZEB a k napĺňaniu cieľov klimatickej neutrality v stavebnom sektore.

## **6.2.3 Typy tepelných čerpadiel**

### **Vzduch – voda**

Tepelné čerpadlá typu vzduch – voda predstavujú najrozšírenejší druh tepelných čerpadiel využívaných v súčasných nízkouhlíkových budovách. Tepelnú energiu získavajú z vonkajšieho vzduchu a prostredníctvom termodynamického cyklu ju odovzdávajú do vykurovacieho systému budovy alebo systému prípravy teplej vody. Ich popularita vyplýva predovšetkým z jednoduchej inštalácie, priaznivých investičných nákladov a možnosti využitia pri novostavbách aj rekonštrukciách existujúcich budov.

Na rozdiel od geotermálnych systémov nevyžadujú realizáciu vrtov ani rozsiahlych zemných prác, čo výrazne zjednodušuje ich implementáciu a skracuje čas montáže. Vďaka tomu patria medzi najčastejšie využívané technológie obnoviteľných zdrojov energie v rodinných domoch aj menších bytových budovách.

### **Výhody systému**

Najvýznamnejšou prednosťou tepelných čerpadiel vzduch – voda sú nižšie počiatkové investičné náklady. Keďže nie je potrebné budovať geotermálne vrty ani zemné kolektory, celkové náklady na realizáciu sú spravidla výrazne nižšie než pri systémoch zem – voda alebo voda – voda. Táto výhoda sa prejavuje najmä pri rodinných domoch, menších bytových budovách, rekonštrukciách existujúcich objektov a projektoch s obmedzeným investičným rozpočtom.

Významnou prednosťou je aj jednoduchá montáž. Vonkajšia jednotka sa umiestňuje v exteriéri budovy a nevyžaduje rozsiahle stavebné zásahy ani komplikované zemné práce. Vďaka tomu možno systém rýchlo integrovať aj do existujúcich budov, pričom realizácia je spojená s nižšími nákladmi a kratším časom výstavby.

Priaznivý pomer medzi investičnými nákladmi a energetickými úsporami zároveň prispieva k relatívne rýchlej návratnosti vložených finančných prostriedkov, čo podporuje široké rozšírenie tejto technológie.

### **Obmedzenia systému**

Napriek mnohým výhodám majú tepelné čerpadlá vzduch – voda aj určité obmedzenia. Ich hlavnou nevýhodou je závislosť účinnosti od vonkajšej teploty vzduchu. Pri poklese teploty počas zimného obdobia dochádza k postupnému znižovaniu vykurovacieho faktora COP (Coefficient of Performance), čo vedie k vyššej spotrebe elektrickej energie.

Pri veľmi nízkych vonkajších teplotách môže byť v niektorých prípadoch potrebné využitie doplnkového zdroja tepla. Moderné zariadenia však využívajú pokročilé invertorové kompresory, inteligentnú reguláciu a nové pracovné médiá, ktoré umožňujú spoľahlivú prevádzku aj pri vonkajších teplotách nižších ako –20 °C.

### **Oblasti využitia**

Tepelné čerpadlá vzduch – voda nachádzajú široké uplatnenie predovšetkým pri rodinných domoch, nízkoenergetických budovách, pasívnych domoch a energetických renováciách

existujúcich objektov. Najvyššiu energetickú účinnosť dosahujú v kombinácii s nízkotepelnými vykurovacími systémami, ako sú podlahové alebo stenové vykurovanie, prípadne veľkoplošné vykurovacie sústavy pracujúce s nízkou teplotou vykurovacej vody.

Ich univerzálnosť, jednoduchá inštalácia a priaznivá ekonomická návratnosť z nich robia najrozšírenejší typ tepelných čerpadiel využívaný v súčasnej bytovej výstavbe.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Vďaka priaznivému pomeru investičných nákladov, energetickej účinnosti a jednoduchej implementácii predstavujú tepelné čerpadlá vzduch – voda jednu z najvýznamnejších technológií nízkouhlíkových budov. Umožňujú výrazne obmedziť spotrebu fosílnych palív a znižovať prevádzkové emisie oxidu uhličitého počas celej životnosti budovy.

V kombinácii s fotovoltickými systémami, akumuláciou energie, inteligentným energetickým manažmentom a nízkotepelnými vykurovacími sústavami vytvárajú efektívny systém zásobovania budov energiou. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavujú technológiu, ktorá významne podporuje navrhovanie budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

### **Zem – voda**

Tepelné čerpadlá typu zem – voda patria medzi najefektívnejšie systémy využívané v nízkouhlíkových budovách. Tepelnú energiu získavajú z pôdy prostredníctvom horizontálnych zemných kolektorov alebo vertikálnych geotermálnych vrtov. Zem predstavuje stabilný obnoviteľný zdroj energie, ktorého teplota sa počas roka mení len minimálne, čo vytvára priaznivé podmienky na prevádzku tepelného čerpadla a umožňuje dosahovať vysokú energetickú účinnosť.

V porovnaní s tepelnými čerpadlami typu vzduch – voda vykazujú systémy zem – voda vyššiu účinnosť a podstatne menšiu závislosť od klimatických podmienok. Z tohto dôvodu sa často využívajú v nízkoenergetických, pasívnych a nulovoemisných budovách, kde je prioritou minimalizácia spotreby energie počas celej prevádzky.

### **Vysoká energetická účinnosť**

Jednou z najvýznamnejších výhod tepelných čerpadiel zem – voda je ich vysoká energetická efektívnosť. Teplota pôdy v hĺbke niekoľkých metrov zostáva počas roka relatívne stabilná, čo zabezpečuje priaznivé prevádzkové podmienky bez výrazných sezónnych výkyvov.

Vďaka tomu tieto systémy dosahujú vysoké hodnoty vykurovacieho faktora COP (Coefficient of Performance), spravidla v rozmedzí 4 až 6. To znamená, že z 1 kWh elektrickej energie dokážu vyrobiť približne 4 až 6 kWh tepelnej energie. Výsledkom je nižšia spotreba elektrickej energie, nižšie prevádzkové náklady a vyššia energetická efektívnosť počas celej vykurovacej sezóny.

### **Stabilný výkon počas celého roka**

Ďalšou významnou prednosťou systému zem – voda je stabilita jeho výkonu. Na rozdiel od tepelných čerpadiel vzduch – voda nie je jeho účinnosť výrazne ovplyvnená poklesom vonkajšej teploty počas zimných mesiacov.

Stabilná teplota pôdy zabezpečuje rovnomerný výkon počas celého roka, spoľahlivú prevádzku aj pri veľmi nízkych vonkajších teplotách, menšie prevádzkové výkyvy a priaznivejšie podmienky pre dlhodobú životnosť zariadenia. Táto vlastnosť je mimoriadne významná najmä v klimatických podmienkach strednej Európy, kde sa počas zimy pravidelne vyskytujú dlhodobé obdobia nízkych teplôt.

### **Obmedzenia systému**

Napriek vysokej účinnosti majú geotermálne systémy aj určité obmedzenia, ktoré súvisia predovšetkým s vyššími počiatočnými investičnými nákladmi a technickou náročnosťou realizácie.

Významnú časť investičných nákladov predstavuje vybudovanie geotermálneho zdroja tepla. Pri využití vertikálnych vrtov je potrebné realizovať vrtné práce, ktoré si vyžadujú špecializovanú techniku, geologický prieskum a odborný projektový návrh. Alternatívou sú horizontálne zemné kolektory, ktoré však vyžadujú dostatočne veľký pozemok a rozsiahle zemné práce.

Tieto požiadavky môžu obmedzovať využitie systému najmä v hustej mestskej zástavbe alebo na menších stavebných parcelách. Vyššie investičné náklady sú však vo väčšine prípadov kompenzované nižšími prevádzkovými nákladmi, vysokou energetickou účinnosťou a dlhou životnosťou systému.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Tepelné čerpadlá zem – voda patria medzi technologicky najvyspelejšie riešenia pre energeticky efektívne budovy. Vďaka vysokej účinnosti, stabilnému výkonu a nízkej spotrebe elektrickej energie umožňujú významne znižovať prevádzkové emisie oxidu uhličitého a spotrebu primárnej energie.

V kombinácii s fotovoltickými systémami, akumuláciou energie, inteligentným energetickým manažmentom a nízkotepelnými vykurovacími systémami predstavujú jeden z najefektívnejších spôsobov zabezpečenia vykurovania, chladenia a prípravy teplej vody v budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB). Z pohľadu metódik Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) ide o technológiu, ktorá významne podporuje dekarbonizáciu prevádzky budov a dosahovanie klimateknej neutrality stavebného sektora.

### **Voda – voda**

Tepelné čerpadlá typu voda – voda patria medzi najúčinnnejšie systémy využívané na vykurovanie a chladenie budov. Zdrojom energie je podzemná voda, ktorá si počas celého roka udržiava relatívne stabilnú teplotu, spravidla v rozmedzí 8 až 12 °C. Vďaka tomu poskytuje veľmi priaznivé podmienky pre prevádzku tepelného čerpadla a umožňuje dosahovať najvyššie hodnoty energetickej účinnosti spomedzi všetkých typov tepelných čerpadiel. Systém funguje na princípe odoberania tepla z podzemnej vody prostredníctvom odbernej studne. Po odovzdaní tepla v tepelnom čerpadle je voda následne vracaná späť do podzemného prostredia pomocou vsakovacej studne. Takto vzniká uzavretý systém využívajúci obnoviteľnú energiu obsiahnutú vo vode. Hlavnou výhodou systému voda – voda je najvyššia účinnosť spomedzi tepelných čerpadiel. Tepelné čerpadlá systému voda – voda patria medzi najúčinnnejšie technológie využívané na vykurovanie a chladenie budov. Ich princíp spočíva vo využívaní tepelnej energie podzemnej vody, ktorá si počas celého roka udržiava pomerne stabilnú teplotu. Práve táto vlastnosť vytvára veľmi priaznivé prevádzkové podmienky a umožňuje dosahovať vysokú energetickú účinnosť nezávisle od sezónnych zmien vonkajšej teploty.

### **Vysoká energetická účinnosť**

Vďaka stabilnej teplote podzemnej vody dosahujú tepelné čerpadlá voda – voda veľmi vysoké hodnoty vykurovacieho faktora COP (Coefficient of Performance). V porovnaní so systémami vzduch – voda alebo zem – voda pracujú za priaznivejších prevádzkových podmienok a na výrobu rovnakého množstva tepla spotrebujú menej elektrickej energie.

Významnými výhodami sú predovšetkým vysoké hodnoty COP, nízke prevádzkové náklady, stabilný výkon počas celého roka, vysoká energetická efektívnosť a výrazné znižovanie prevádzkových emisií oxidu uhličitého. V mnohých prípadoch dosahujú tieto systémy hodnotu COP vyššiu ako 5, čo znamená, že z 1 kWh elektrickej energie dokážu vyrobiť viac ako 5 kWh tepelnej energie. Vysoká účinnosť robí z tepelných čerpadiel voda – voda jednu z najefektívnejších technológií využívajúcich obnoviteľné zdroje energie v budovách.

### **Obmedzenia využitia**

Napriek vysokej energetickej účinnosti je využívanie tepelných čerpadiel voda – voda podmienené vhodnými hydrogeologickými podmienkami. Nie každá lokalita disponuje dostatočne výdatnými zásobami podzemnej vody vhodnej na energetické využitie.

Úspešná realizácia systému vyžaduje dostatočnú výdatnosť podzemného zdroja, vhodnú kvalitu vody, priaznivé geologické podmienky a možnosť vybudovania odbernej aj vsakovacej studne. Tieto požiadavky môžu významne obmedzovať využitie systému najmä v zastavaných mestských oblastiach alebo v lokalitách s nevhodnými hydrogeologickými pomermi.

### **Legislatívne požiadavky**

Využívanie podzemnej vody podlieha prísnyim legislatívnym a environmentálnym predpisom. Realizácia systému si spravidla vyžaduje hydrogeologický prieskum, vodoprávne povolenie, posúdenie vplyvu na podzemné vody a následnú kontrolu prevádzky zariadenia. Tieto administratívne a technické požiadavky môžu predĺžiť prípravu projektu a zvýšiť počiatočné investičné náklady. Na druhej strane zabezpečujú ochranu vodných zdrojov a dlhodobú udržateľnosť ich využívania.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Napriek určitým obmedzeniam predstavujú tepelné čerpadlá voda – voda jedno z najefektívnejších riešení pre nízkouhlíkové budovy. Vďaka vysokej účinnosti umožňujú minimalizovať spotrebu energie na vykurovanie a chladenie a významne znižovať prevádzkové emisie skleníkových plynov.

V lokalitách s vhodnými hydrogeologickými podmienkami poskytujú mimoriadne efektívny a stabilný zdroj tepla aj chladu počas celého roka. V kombinácii s fotovoltickými systémami alebo inými obnoviteľnými zdrojmi elektrickej energie vytvárajú takmer bezemisný systém zásobovania budovy energiou. Preto patria medzi technológie, ktoré významne podporujú dosahovanie požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budovy s nulovými emisiami (ZEB) a napĺňanie cieľov klimateckej neutrality stavebného sektora.

## **6.2.4 Environmentálne prínosy**

Tepelné čerpadlá patria medzi najvýznamnejšie technológie podporujúce dekarbonizáciu budov a prechod na nízkouhlíkové energetické systémy. Využívajú obnoviteľnú energiu akumulovanú vo vzduchu, zemi alebo vode a umožňujú zabezpečovať vykurovanie, chladenie a prípravu teplej vody s podstatne nižšou spotrebou primárnej energie než konvenčné vykurovacie systémy založené na spaľovaní fosílnych palív.

Vďaka vysokej energetickej efektívnosti predstavujú jedno z najúčinnnejších opatrení na znižovanie prevádzkových emisií skleníkových plynov a zohrávajú kľúčovú úlohu pri dosahovaní cieľov klimateckej neutrality v sektore budov.

### **Znižovanie emisií skleníkových plynov**

Najvýznamnejším environmentálnym prínosom tepelných čerpadiel je výrazná redukcia emisií oxidu uhličitého počas prevádzky budovy. V porovnaní s vykurovacími systémami využívajúcimi zemný plyn, vykurovací olej alebo uhlie umožňujú významne obmedziť produkciu skleníkových plynov.

V závislosti od typu systému, energetickeho mixu a spôsobu prevádzky možno dosiahnuť zníženie emisií približne o 50 až 80 % v porovnaní s tradičnými zdrojmi tepla. Ak je elektrická energia potrebná na pohon tepelného čerpadla vyrábaná z obnoviteľných zdrojov, môžu sa prevádzkové emisie budovy priblížiť k nulovým hodnotám.

### **Nahrádzanie fosílnych palív**

Významným prínosom tepelných čerpadiel je aj postupná eliminácia fosílnych palív zo sektora budov. Tepelná energia sa získava z obnoviteľných zdrojov nachádzajúcich sa v okolí budovy, zatiaľ čo elektrická energia slúži iba na pohon kompresora a ostatných technických zariadení systému.

Takýto spôsob vykurovania významne znižuje spotrebu zemného plynu, vykurovacieho oleja a uhlia, čím prispieva nielen k redukcii emisií skleníkových plynov, ale aj k zvyšovaniu energetickej bezpečnosti. Elektrifikácia vykurovania prostredníctvom tepelných čerpadiel patrí medzi základné stratégie Európskej únie na dosiahnutie klimatickej neutrality do roku 2050.

### **Ekonomické prínosy**

Vysoká energetická účinnosť tepelných čerpadiel prináša popri environmentálnych výhodách aj významné ekonomické prínosy. Vďaka schopnosti vyrobiť niekoľkonásobne viac tepelnej energie, než predstavuje spotrebovaná elektrická energia, možno dlhodobo znižovať náklady na vykurovanie, chladenie aj prípravu teplej vody.

Významným faktorom je aj stabilnejší vývoj prevádzkových nákladov, ktorý znižuje závislosť budov od kolísania cien fosílnych palív. V kombinácii s fotovoltickými systémami a akumuláciou energie možno časť elektrickej energie vyrábať priamo v budove, čím sa ekonomická efektívnosť prevádzky ešte zvyšuje.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Tepelné čerpadlá predstavujú jednu z kľúčových technológií moderného nízkouhlíkového stavebníctva. V spojení s kvalitnou tepelnou ochranou obálky budovy, systémami spätného získavania tepla, fotovoltickými elektrárnami, inteligentným energetickým manažmentom a akumuláciou energie umožňujú dosahovať veľmi nízku spotrebu primárnej energie a minimálne prevádzkové emisie.

Ich využívanie významne podporuje plnenie požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB) podľa smernice EPBD 2024. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavujú technológiu, ktorá významne prispieva k znižovaniu prevádzkového uhlíka (Operational Carbon) pri zachovaní vysokej energetickej aj ekonomickej efektívnosti.

Vzhľadom na rastúci podiel elektriny vyrábanej z obnoviteľných zdrojov možno očakávať, že význam tepelných čerpadiel bude v nasledujúcich desaťročiach naďalej narastať. Spolu s inteligentnými energetickými systémami, akumuláciou energie a digitalizáciou prevádzky budov budú predstavovať jeden zo základných pilierov klimaticky neutrálneho stavebníctva.

## **6.3 Fotovoltické systémy**

### **6.3.1 Charakteristika**

Fotovoltické systémy patria medzi najvýznamnejšie technológie využívané v nízkouhlíkových budovách. Umožňujú priamu premenu slnečnej energie na elektrickú energiu bez produkcie emisií skleníkových plynov počas prevádzky. Vďaka rastúcej účinnosti fotovoltických panelov, postupnému poklesu investičných nákladov a podpore zo strany európskej legislatívy sa fotovoltika stala jedným z hlavných nástrojov zvyšovania energetickej sebestačnosti budov a znižovania ich prevádzkovej uhlíkovej stopy.

Základným princípom fotovoltiky je využitie fotovoltického javu, pri ktorom dochádza k premene energie slnečného žiarenia na elektrickú energiu. Tento proces prebieha vo fotovoltických článkoch vyrobených z polovodičových materiálov, najčastejšie z kremíka. Fotovoltický článok predstavuje základný prvok celého systému a po vzájomnom prepojení viacerých článkov vznikajú fotovoltické panely, ktoré sa následne inštalujú na strechy, fasády alebo iné vhodné časti budovy.

### **Princíp fungovania**

Fotovoltické články pracujú na princípe polovodičového PN prechodu. Po dopade slnečného žiarenia na povrch článku dochádza k uvoľneniu elektrónov a vzniku jednosmerného elektrického prúdu (DC). Vyrobená elektrická energia sa následne prostredníctvom meniča (invertora) premieňa na striedavý prúd (AC), ktorý možno priamo využívať v budove alebo dodávať do verejnej elektrizačnej siete.

Typický fotovoltaický systém pozostáva z fotovoltaických panelov, meniča, elektrických rozvodov, ochranných prvkov a podľa potreby aj z batériového úložiska energie, ktoré umožňuje akumulovať vyrobenú elektrinu na neskoršie využitie.

### **Typy fotovoltaických panelov**

V súčasnosti sa v stavebníctve využívajú predovšetkým monokryštalické, polykryštalické a tenkovrstvové fotovoltaické panely. Najvyššiu účinnosť dosahujú monokryštalické panely, ktoré sa preto najčastejšie používajú pri budovách s obmedzenou plochou strechy alebo fasády. Polykryštalické panely predstavujú ekonomicky výhodnejšie riešenie, zatiaľ čo tenkovrstvové technológie nachádzajú uplatnenie najmä pri špecifických architektonických aplikáciách.

Moderné komerčne dostupné fotovoltaické moduly dosahujú účinnosť približne 18 až 25 %, pričom technologický vývoj smeruje k ďalšiemu zvyšovaniu účinnosti, znižovaniu výrobných nákladov a integrácii panelov priamo do stavebných konštrukcií (Building Integrated Photovoltaics – BIPV).

### **Technické a prevádzkové vlastnosti**

Významnou výhodou fotovoltaických systémov je ich vysoká modularita. Výkon systému možno prispôbiť energetickým potrebám konkrétnej budovy a v prípade rastúcej spotreby elektrickej energie ho možno postupne rozširovať. Fotovoltaické panely zároveň vyžadujú iba minimálnu údržbu a ich životnosť spravidla presahuje 25 až 30 rokov, pričom výkon panelov počas tohto obdobia klesá len pozvoľna.

V moderných nízkouhlíkových budovách sa fotovoltaické systémy využívajú nielen na pokrytie spotreby elektrickej energie budovy, ale aj na napájanie tepelných čerpadiel, prípravu teplej vody, nabíjanie elektromobilov či spoluprácu s batériovými úložiskami energie a inteligentnými systémami energetického manažmentu.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Význam fotovoltaických systémov neustále rastie v súvislosti s implementáciou smernice EPBD 2024, ktorá podporuje rozvoj budov s nulovými emisiami (ZEB) a zvyšovanie podielu obnoviteľných zdrojov energie v sektore budov. Lokálna výroba elektrickej energie sa stáva jedným zo základných predpokladov energetickej sebestačnosti a znižovania prevádzkových emisií skleníkových plynov.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavujú fotovoltaické systémy technológiu, ktorá síce prináša určitý zabudovaný uhlík počas výroby panelov, avšak počas svojej dlhodobej prevádzky dokáže tieto environmentálne dopady postupne kompenzovať výrobou bezemisnej elektrickej energie. V kombinácii s tepelnými čerpadlami, akumuláciou energie, inteligentným riadením budov a elektromobilitou vytvárajú základ moderných energeticky sebestačných budov a významne prispievajú k dosahovaniu klimatickej neutrality stavebného sektora.

## **6.3.2 Princíp výroby elektriny**

Výroba elektrickej energie vo fotovoltaických systémoch je založená na fotovoltaickom jave, ktorý umožňuje priamu premenu slnečného žiarenia na elektrickú energiu. Tento proces prebieha vo fotovoltaických článkoch vyrobených z polovodičových materiálov, najčastejšie z kryštalického kremíka, ktorý patrí medzi najrozšírenejšie materiály využívané pri výrobe fotovoltaických panelov.

Podstatou fotovoltaického javu je interakcia dopadajúceho slnečného žiarenia s polovodičovým materiálom. Fotóny slnečného žiarenia odovzdávajú svoju energiu elektrónom v kryštálovej štruktúre polovodiča. Ak energia dopadajúceho fotónu presiahne energetickú medzeru materiálu, elektrón sa uvoľní zo svojej väzby a vznikne elektrónovo-dierový pár. Tým sa vytvárajú voľné elektrické náboje schopné pohybu v polovodičovej štruktúre.

Fotovoltaický článok pozostáva z dvoch vrstiev polovodiča – vrstvy typu P, obsahujúcej prebytok kladných nosičov náboja (dier), a vrstvy typu N, obsahujúcej prebytok voľných

elektrónov. Na rozhraní týchto vrstiev vzniká PN prechod, v ktorom sa vytvára vnútorné elektrické pole. Toto pole zabezpečuje oddelenie elektrónov a dier a usmerňuje ich pohyb opačnými smermi. Po pripojení vonkajšieho elektrického obvodu začnú elektróny prúdiť, čím vzniká jednosmerný elektrický prúd.

### **Priebeh výroby elektrickej energie**

Proces premeny slnečnej energie na elektrickú energiu možno zjednodušene opísať ako sled niekoľkých navzájom nadväzujúcich krokov. Najskôr dopadá slnečné žiarenie na povrch fotovoltického článku, kde polovodič absorbuje energiu fotónov. Následne dochádza k uvoľneniu elektrónov a vzniku elektrónovo-dierových párov. Elektrické pole vytvorené v oblasti PN prechodu tieto náboje oddeľuje a usmerňuje ich pohyb. Po uzavretí elektrického obvodu začnú elektróny prúdiť cez vodiče, čím vzniká jednosmerný elektrický prúd využiteľný na výrobu elektrickej energie.

Elektrická energia produkovaná fotovoltickými panelmi má charakter jednosmerného prúdu (DC). Keďže väčšina elektrických zariadení v budovách pracuje so striedavým prúdom (AC), je nevyhnutnou súčasťou systému inverter, ktorý zabezpečuje premenu jednosmerného prúdu na striedavý a umožňuje jeho využitie v elektrických rozvodoch budovy alebo dodávku do distribučnej siete.

### **Faktory ovplyvňujúce výrobu elektrickej energie**

Množstvo vyrobenej elektrickej energie závisí od viacerých prevádzkových a klimatických faktorov. Rozhodujúci vplyv má intenzita dopadajúceho slnečného žiarenia, orientácia a sklon fotovoltických panelov, prevádzková teplota článkov, ich účinnosť a miera zatienenia.

V súčasnosti dosahujú komerčne dostupné monokryštalické fotovoltické panely účinnosť približne 20 až 25 %, pričom intenzívny technologický vývoj smeruje k ďalšiemu zvyšovaniu účinnosti, predlžovaniu životnosti panelov a znižovaniu výrobných nákladov. Perspektívnym smerom vývoja sú viacvrstvové (tandemové) články a nové polovodičové materiály, ktoré môžu v budúcnosti významne zvýšiť energetickú účinnosť fotovoltických systémov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Významnou výhodou fotovoltických systémov je skutočnosť, že počas prevádzky nevznikajú žiadne priame emisie skleníkových plynov. Hoci výroba panelov predstavuje určitý objem zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon), počas svojej životnosti dokážu vyrobiť niekoľkonásobne viac bezemisnej elektrickej energie, než bolo potrebné na ich výrobu.

V kombinácii s tepelnými čerpadlami, batériovými úložiskami energie, inteligentným energetickým manažmentom a systémami Building Information Modeling (BIM) predstavujú fotovoltické systémy jednu z kľúčových technológií moderného nízkouhlíkového stavebníctva. Významne prispievajú k znižovaniu prevádzkových emisií, podpore energetickej sebestačnosti budov a plneniu požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB) podľa smernice EPBD 2024.

## **6.3.3 Typy panelov**

V súčasnosti sa v stavebníctve využívajú predovšetkým monokryštalické, polykryštalické a tenkovrstvové fotovoltické panely. Jednotlivé technológie sa odlišujú výrobným procesom, účinnosťou, investičnými nákladmi, priestorovými požiadavkami aj oblasťou využitia. Výber vhodného typu panelov závisí od energetických požiadaviek budovy, dostupnej inštaláčnej plochy, ekonomických možností investora a architektonického riešenia objektu.

### **Monokryštalické panely**

Monokryštalické fotovoltické panely patria medzi najefektívnejšie a v súčasnosti aj najrozšírenejšie technológie využívané v nízkouhlíkových budovách. Vyrábajú sa z jedného kryštálu kremíka s homogénnou kryštalickou štruktúrou, ktorá zabezpečuje veľmi účinnú premenu slnečného žiarenia na elektrickú energiu.

Ich účinnosť sa pohybuje približne v rozmedzí 20 až 24 %, pričom moderné moduly dosahujú aj vyššie hodnoty. Vyznačujú sa vysokým výkonom na jednotku plochy, dlhou životnosťou presahujúcou 25 až 30 rokov, dobrým výkonom pri nižšej intenzite slnečného žiarenia a esteticky jednotným vzhľadom charakteristickým tmavou farbou článkov.

Nevýhodou monokryštalických panelov sú vyššie obstarávacie náklady a energeticky náročnejší výrobný proces. Napriek tomu predstavujú preferované riešenie pri budovách s obmedzenou plochou strechy alebo tam, kde je prioritou maximalizácia výroby elektrickej energie.

V nízkouhlíkových budovách sa využívajú najmä na strechách rodinných a bytových domov, administratívnych budov, pasívnych domov a budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) alebo budov s nulovými emisiami (ZEB).

### **Polykryštalické panely**

Polykryštalické panely sa vyrábajú z kremíka obsahujúceho viacero kryštálových zŕn, ktoré vznikajú počas tuhnutia roztaveného materiálu. Výrobný proces je jednoduchší a menej energeticky náročný než pri monokryštalických paneloch, čo sa prejavuje nižšími výrobnými aj obstarávacími nákladmi.

Ich účinnosť sa pohybuje približne v rozmedzí 16 až 20 %. V porovnaní s monokryštalickými panelmi poskytujú nižší výkon na jednotku plochy, a preto vyžadujú väčšiu inštaláciu plochy na dosiahnutie rovnakého energetického výkonu.

Výhodou je priaznivý pomer ceny a výkonu, dlhá životnosť a osvedčená technológia. Nevýhodou zostáva nižšia účinnosť a väčšie priestorové nároky.

Polykryštalické panely sa uplatňujú predovšetkým tam, kde je k dispozícii dostatočne veľká strešná alebo pozemná plocha a prioritou je optimalizácia investičných nákladov. V posledných rokoch sú však postupne nahrádzané výkonnejšími monokryštalickými technológiami.

### **Tenkovrstvové panely**

Tenkovrstvové fotovoltické panely predstavujú špecifickú skupinu modulov, pri ktorých sa polovodičová vrstva nanáša vo veľmi tenkej vrstve na podklad zo skla, kovu alebo plastu. Najčastejšie využívajú technológie amorfného kremíka (a-Si), kadmium-teluridu (CdTe) alebo polovodičov CIGS.

Ich účinnosť sa pohybuje približne v rozmedzí 10 až 15 %, čo je menej než pri kryštalických paneloch. Na druhej strane sa vyznačujú nízkou hmotnosťou, vysokou flexibilitou, lepším výkonom pri difúznom slnečnom žiarení a vyššou odolnosťou voči vysokým prevádzkovým teplotám.

Významnou prednosťou je možnosť architektonickej integrácie do stavebných konštrukcií (Building Integrated Photovoltaics – BIPV). Tenkovrstvové panely sa preto využívajú najmä vo fasádnych systémoch, strešných membránach, presklených konštrukciách, tieniacich prvkoch a ďalších architektonických aplikáciách.

Hoci ich účinnosť je nižšia než pri kryštalických technológiách, predstavujú zaujímavé riešenie všade tam, kde je rozhodujúcim kritériom architektonická integrácia, nízka hmotnosť alebo flexibilita panelov.

### **Porovnanie technológií**

Jednotlivé typy fotovoltických panelov sa navzájom dopĺňajú a ich vhodnosť závisí od konkrétneho stavebného projektu. Monokryštalické panely predstavujú najefektívnejšie riešenie pre budovy s obmedzenou plochou a vysokými energetickými požiadavkami. Polykryštalické panely poskytujú ekonomicky výhodnú alternatívu tam, kde je k dispozícii dostatočný priestor na inštaláciu. Tenkovrstvové technológie nachádzajú uplatnenie predovšetkým v architektonicky náročných projektoch a systémoch integrovanej fotovoltiky.

Všetky uvedené technológie významne prispievajú k znižovaniu prevádzkových emisií budov a podporujú rozvoj energeticky sebestačných objektov využívajúcich obnoviteľné zdroje energie.



## Dimenzovanie fotovoltiky

Správne dimenzovanie fotovoltického systému patrí medzi základné predpoklady jeho efektívnej prevádzky. Cieľom návrhu je určiť taký výkon fotovoltickej elektrárne, ktorý bude zodpovedať energetickým potrebám budovy, miestnym klimatickým podmienkam a ekonomickým požiadavkám investora. Optimálne dimenzovaný systém umožňuje maximalizovať využitie vyrobenej elektrickej energie, minimalizovať odber zo siete a dosiahnuť priaznivú ekonomickú návratnosť investície.

Pri návrhu fotovoltickej elektrárne sa zohľadňuje predovšetkým ročná spotreba elektrickej energie budovy, orientácia a sklon panelov, dostupná plocha strechy alebo fasády, lokálny slnečný potenciál, účinnosť jednotlivých komponentov systému a spôsob využitia vyrobenej elektrickej energie vrátane prípadnej akumulácie.

## Výpočet ročnej výroby elektrickej energie

Základným ukazovateľom pri návrhu systému je odhad ročnej výroby elektrickej energie, ktorý možno orientačne určiť vzťahom

$$E = P \times H \times \eta$$

kde:

- (E) = ročná výroba elektrickej energie (kWh/rok),
- (P) = inštalovaný výkon fotovoltického systému (kWp),
- (H) = ročný slnečný potenciál lokality (kWh/kWp·rok),
- ( $\eta$ ) = celková účinnosť systému.

Tento vzťah predstavuje základný nástroj na orientačný návrh výkonu fotovoltickej elektrárne počas projektovej prípravy.

## Inštalovaný výkon systému

Inštalovaný výkon predstavuje menovitý výkon fotovoltickej elektrárne za štandardných testovacích podmienok (STC – Standard Test Conditions) a udáva sa v jednotkách kilowatt peak (kWp).

Jeho hodnota závisí predovšetkým od počtu panelov, výkonu jednotlivých modulov a dostupnej inštallačnej plochy. Pri rodinných domoch sa najčastejšie navrhujú systémy s výkonom približne 3 až 10 kWp, zatiaľ čo pri bytových, administratívnych alebo priemyselných budovách môže byť inštalovaný výkon niekoľkonásobne vyšší.

## Slnečný potenciál lokality

Významným faktorom ovplyvňujúcim výrobu elektrickej energie je slnečný potenciál danej lokality. Tento parameter vyjadruje množstvo slnečnej energie dopadajúcej na fotovoltické panely počas jedného roka a závisí od geografickej polohy, klimatických podmienok, orientácie panelov a ich sklonu.

V podmienkach Slovenskej republiky sa ročný slnečný potenciál pohybuje približne v rozmedzí 950 až 1 250 kWh/kWp·rok, pričom najvyššie hodnoty sa dosahujú v južných oblastiach krajiny.

## Celková účinnosť systému

Celková účinnosť fotovoltického systému zohľadňuje všetky energetické straty vznikajúce počas jeho prevádzky. Patria sem predovšetkým straty v invertore, elektrických rozvodoch, teplotné straty panelov, znečistenie ich povrchu a prípadné zatienenie.

V praktických podmienkach sa celková účinnosť systému pohybuje približne v rozmedzí 0,75 až 0,90, pričom jej hodnota závisí od kvality použitých komponentov aj spôsobu prevádzky fotovoltickej elektrárne.

Príklad orientačného výpočtu

Pri fotovoltickom systéme s inštalovaným výkonom 5 kWp, ročným slnečným potenciálom 1 100 kWh/kWp·rok a celkovou účinnosťou systému 0,85 možno očakávať ročnú výrobu elektrickej energie približne:

$$E = 5 \times 1\,100 \times 0,85 = 4\,675 \text{ kWh/rok}$$

Takýto systém dokáže pokryť významnú časť spotreby elektrickej energie bežného rodinného domu.

Naopak, fotovoltická elektrárňa s výkonom 10 kWp môže v podmienkach Slovenskej republiky vyrobiť približne 9 000 až 12 000 kWh elektrickej energie ročne, pričom skutočná výroba závisí od geografickej polohy, orientácie panelov, sklonu strechy, miery zatienenia a účinnosti použitých komponentov.

### **Význam správneho dimenzovania**

Správne dimenzovanie fotovoltického systému významne ovplyvňuje energetickú aj ekonomickú efektívnosť budovy. Optimálne navrhnutý systém umožňuje maximalizovať využitie vyrobenej elektrickej energie, znižovať odber elektriny z distribučnej siete, zvyšovať energetickú sebestačnosť budovy a zlepšovať ekonomickú návratnosť investície.

V nízkouhlíkových budovách sa fotovoltické systémy čoraz častejšie kombinujú s tepelnými čerpadlami, batériovými úložiskami energie, nabíjacími stanicami pre elektromobily a inteligentnými systémami energetického manažmentu. Takáto integrácia umožňuje efektívnejšie využívať lokálne vyrobenú elektrickú energiu, znižovať prevádzkové emisie skleníkových plynov a podporovať dosahovanie požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB).

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavuje správne dimenzovaný fotovoltický systém významný prvok energeticky sebestačných budov a jeden zo základných nástrojov dekarbonizácie prevádzky stavebného sektora.

## **6.4 Solárne termické systémy**

Solárne termické systémy patria medzi významné technológie využívajúce obnoviteľné zdroje energie v nízkouhlíkových budovách. Ich základnou úlohou je premieňať slnečné žiarenie na tepelnú energiu, ktorá sa následne využíva na prípravu teplej vody, podporu vykurovania alebo ohrev bazénov. Na rozdiel od fotovoltických systémov nevyrábajú elektrickú energiu, ale priamo teplo, vďaka čomu dosahujú veľmi vysokú energetickú účinnosť.

Využívanie slnečnej energie na výrobu tepla patrí medzi najstaršie spôsoby využívania obnoviteľných zdrojov energie v stavebníctve. Moderné solárne termické systémy však využívajú vysokoúčinné kolektory, akumulčné zásobníky, výmenníky tepla a inteligentné regulačné systémy, ktoré umožňujú efektívne využívať slnečnú energiu počas celého roka.

### **Princíp fungovania**

Základnými prvkami solárneho termického systému sú solárne kolektory, teplotonosná kvapalina, akumulčný zásobník, výmenník tepla a regulačný systém.

Princíp fungovania spočíva v absorpcii slnečného žiarenia kolektorom, ktorý premieňa dopadajúcu slnečnú energiu na teplo. To je následne prostredníctvom teplotonosnej kvapaliny odvádzané do akumulčného zásobníka alebo priamo do vykurovacieho systému budovy. Riadiaci systém zabezpečuje optimálnu prevádzku celého zariadenia a maximalizuje využitie dostupnej slnečnej energie.

### **Príprava teplej vody**

Najrozšírenejším spôsobom využitia solárnych termických systémov je príprava teplej úžitkovej vody. Solárne kolektory dokážu počas väčšiny roka pokryť významnú časť potreby energie na ohrev vody v rodinných domoch, bytových budovách aj verejných objektoch.

V podmienkach Slovenskej republiky môžu správne navrhnuté systémy zabezpečiť približne 50 až 70 % ročnej potreby energie na prípravu teplej vody. Výsledkom je zníženie spotreby energie, nižšie prevádzkové náklady a významná redukcia emisií oxidu uhličitého počas prevádzky budovy.

### **Podpora vykurovania**

Solárne termické systémy možno využívať aj na podporu vykurovania budov. Tepelná energia získaná zo slnečného žiarenia sa akumuluje v zásobníkoch tepla a následne sa využíva na znížovanie potreby energie dodávanej z hlavného zdroja vykurovania.

Najčastejšie sa kombinujú s tepelnými čerpadlami, kondenzačnými kotlami, nízkoteplotným podlahovým vykurovaním alebo veľkokapacitnými akumuláčnymi zásobníkmi. Najväčší prínos dosahujú v nízkoenergetických, pasívnych a budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), kde je potreba tepla relatívne nízka.

### **Ohrev bazénov**

Ďalšou významnou oblasťou využitia solárnych termických systémov je ohrev bazénovej vody. Ide o aplikáciu, pri ktorej možno slnečnú energiu využívať mimoriadne efektívne, pretože požadované teploty vody sú nižšie než pri vykurovaní obytných budov.

Výhodou tohto riešenia sú nízke prevádzkové náklady, predĺženie kúpaciej sezóny, minimálne emisie počas prevádzky a jednoduchá integrácia do existujúcich technických systémov. Z ekonomického hľadiska patrí ohrev bazénov medzi najefektívnejšie aplikácie využitia solárnej tepelnej energie.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Solárne termické systémy predstavujú významný nástroj na znížovanie spotreby energie a prevádzkových emisií skleníkových plynov v budovách. Využívajú bezplatný a obnoviteľný zdroj energie, čím znižujú závislosť od fosílnych palív a prispievajú k zvyšovaniu energetickej sebestačnosti budov.

V kombinácii s tepelnými čerpadlami, fotovoltickými systémami, akumuláciou energie a inteligentným energetickým manažmentom vytvárajú komplexný systém zásobovania budovy energiou z obnoviteľných zdrojov. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavujú technológiu, ktorá významne znižuje prevádzkový uhlík (Operational Carbon) a podporuje dosahovanie požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB) podľa smernice EPBD 2024.

Ich využívanie tak významne prispieva k dekarbonizácii stavebného sektora a predstavuje dôležitú súčasť budúcej transformácie smerom ku klimaticky neutrálnym budovám.

## **6.5.1 Typy kolektorov**

Účinnosť a ekonomická efektívnosť solárnych termických systémov vo veľkej miere závisí od typu použitého kolektora. Solárne kolektory predstavujú základnú časť systému, ktorej úlohou je zachytávať slnečné žiarenie a premieňať ho na tepelnú energiu. V súčasnosti sa v budovách najčastejšie využívajú ploché a vákuové kolektory, ktoré sa odlišujú konštrukciou, účinnosťou, investičnými nákladmi aj oblasťou využitia.

Výber vhodného typu kolektora závisí od klimatických podmienok, spôsobu využitia vyrobenej tepelnej energie, požadovanej prevádzkovej teploty, investičných možností aj očakávanej ekonomickej návratnosti systému.

### **Ploché kolektory**

Ploché kolektory predstavujú najrozšírenejší typ solárnych termických kolektorov využívaných v stavebníctve. Ich konštrukciu tvorí absorpčná plocha, tepelná izolácia, transparentný ochranný kryt a sústava potrubí, ktorými prúdi teplonosná kvapalina.

Princíp fungovania spočíva v absorbovaní slnečného žiarenia povrchom absorbéra, ktorý premieňa slnečnú energiu na teplo. Získaná tepelná energia sa následne odovzdáva teplonosnej kvapaline, ktorá ju dopravuje do akumuláčného zásobníka alebo vykurovacieho systému budovy.

Ploché kolektory sa vyznačujú jednoduchou konštrukciou, vysokou prevádzkovou spoľahlivosťou, dlhou životnosťou, nízkymi nárokmi na údržbu a priaznivými investičnými nákladmi. Najčastejšie sa využívajú na prípravu teplej úžitkovej vody, podporu vykurovania počas prechodných období a ohrev bazénov.

Najvyššiu účinnosť dosahujú počas jarných, letných a jesenných mesiacov, keď je intenzita slnečného žiarenia vysoká a rozdiel medzi teplotou kolektora a okolitého prostredia je relatívne malý.

### Vákuové kolektory

Vákuové kolektory predstavujú technologicky vyspelejší typ solárnych termických kolektorov. Pozostávajú zo sústavy sklenených vákuových trubíc, v ktorých je vytvorený vákuový priestor zabezpečujúci veľmi účinnú tepelnú izoláciu. Každá trubica obsahuje absorbér zachytávajúci slnečné žiarenie a systém na prenos tepla do teplonosnej kvapaliny.

Najvýznamnejšou výhodou vákuových kolektorov je výrazné obmedzenie tepelných strát, ktoré umožňuje dosahovať vysokú účinnosť aj pri nízkych vonkajších teplotách a nepriaznivých klimatických podmienkach. V porovnaní s plochými kolektormi vykazujú vyšší energetický zisk na jednotku plochy a efektívnejšiu prevádzku počas zimného obdobia, pri zamračenom počasí alebo pri požiadavke na vyššie teploty teplonosnej kvapaliny.

Nevýhodou vákuových kolektorov sú vyššie obstarávacie náklady, zložitejšia konštrukcia a vyššie náklady na prípadné opravy. Napriek tomu predstavujú vhodné riešenie všade tam, kde je prioritou maximalizácia energetických ziskov alebo kde sú klimatické podmienky menej priaznivé.

### Porovnanie kolektorov

Ploché aj vákuové kolektory majú svoje špecifické výhody a oblasť využitia. Ploché kolektory predstavujú ekonomicky výhodnejšie riešenie vhodné predovšetkým na prípravu teplej vody a sezónnu podporu vykurovania. Vákuové kolektory dosahujú vyššiu účinnosť počas celého roka, najmä pri nízkych vonkajších teplotách, avšak za cenu vyšších investičných nákladov.

Výber optimálneho typu kolektora by mal preto vychádzať z komplexného technického, ekonomického a environmentálneho hodnotenia konkrétneho projektu. Pri správnom návrhu môžu oba typy kolektorov významne prispieť k znižovaniu spotreby energie z fosílnych palív a podporovať dosahovanie požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB).

**Tabuľka 10** Porovnanie kolektorov

| Parameter          | Ploché kolektory | Vákuové kolektory |
|--------------------|------------------|-------------------|
| Investičné náklady | nižšie           | vyššie            |
| Účinnosť v lete    | vysoká           | veľmi vysoká      |
| Účinnosť v zime    | nižšia           | vysoká            |
| Tepelné straty     | vyššie           | veľmi nízke       |
| Náročnosť údržby   | nízka            | stredná           |

### Využitie v nízkouhlíkových budovách

Oba typy kolektorov významne prispievajú k znižovaniu spotreby energie a emisií CO<sub>2</sub> počas prevádzky budovy. Ploché kolektory predstavujú ekonomicky výhodné riešenie pre väčšinu rodinných domov a bytových budov, zatiaľ čo vákuové kolektory nachádzajú uplatnenie najmä tam, kde je požadovaná vyššia účinnosť počas celého roka alebo kde je k dispozícii obmedzená plocha na inštaláciu.

Správne navrhnutý solárny termický systém môže významne znížiť potrebu energie na prípravu teplej vody a podporiť energetickú sebestačnosť budovy. V kombinácii s tepelnými

čerpadlami a ďalšími obnoviteľnými zdrojmi energie predstavujú kolektory dôležitý prvok moderných nízkouhlíkových a nulovoemisných budov.

## **6.5 Rekuperácia tepla**

### **6.6.1 Význam v nízkouhlíkových budovách**

Jedným zo základných princípov moderných nízkouhlíkových budov je minimalizácia tepelných strát prostredníctvom kvalitnej tepelnej izolácie a vysokej vzduchotesnosti obálky budovy. Takéto riešenie významne znižuje potrebu energie na vykurovanie, zároveň však obmedzuje prirodzenú výmenu vzduchu medzi interiérom a exteriérom.

V tradičných budovách sa výmena vzduchu zabezpečovala najmä infiltráciou cez netesnosti stavebných konštrukcií alebo prirodzeným vetraním. Moderné nízkoenergetické, pasívne a nulovoemisné budovy sa však vyznačujú veľmi vysokou vzduchotesnosťou, ktorá síce minimalizuje tepelné straty, ale zároveň si vyžaduje riadené zabezpečenie dostatočnej výmeny vzduchu. Riadené vetranie sa preto stalo nevyhnutnou súčasťou technického vybavenia moderných budov.

#### **Výmena vzduchu**

Počas prevádzky budovy vzniká oxid uhličitý, vodná para, pachy a ďalšie látky, ktoré môžu nepriaznivo ovplyvňovať kvalitu vnútorného prostredia. Bez dostatočného vetrania dochádza k ich postupnému hromadeniu, čo môže viesť k zníženiu komfortu používateľov, zvýšeniu relatívnej vlhkosti vzduchu a zhoršeniu hygienických podmienok.

Riadená výmena vzduchu zabezpečuje nepretržitý prívod čerstvého vzduchu, odvod vydýchaného vzduchu, reguláciu koncentrácie oxidu uhličitého, odstraňovanie pachov a ďalších škodlivín, ako aj udržiavanie optimálnej vlhkosti vnútorného prostredia. Správne navrhnutý ventilačný systém tak významne prispieva k vytváraniu zdravého a komfortného vnútorného prostredia.

#### **Kvalita vnútorného prostredia**

Kvalita vnútorného prostredia patrí medzi rozhodujúce faktory ovplyvňujúce zdravie, pohodu a produktivitu používateľov budovy. Nedostatočné vetranie môže viesť k zvýšenej koncentrácii oxidu uhličitého, nadmernej vlhkosti, vzniku plesní a zhoršeniu kvality vzduchu.

Efektívny systém riadeného vetrania prispieva k stabilizácii vlhkosti vzduchu, obmedzeniu rizika biologického poškodenia stavebných konštrukcií a vytváraniu zdravého vnútorného prostredia. Tieto aspekty sú mimoriadne dôležité najmä v obytných budovách, školách, administratívnych objektoch a zdravotníckych zariadeniach, kde kvalita vnútorného prostredia priamo ovplyvňuje komfort a zdravotný stav používateľov.

#### **Rekuperácia tepla**

Bežné vetranie je spojené s významnými tepelnými stratami, pretože spolu s odvádzaným vzduchom uniká z budovy aj značné množstvo tepelnej energie. Rekuperácia tepla umožňuje tieto straty výrazne obmedziť prostredníctvom spätného získavania tepla z odvádzaného vzduchu.

Rekuperačné jednotky využívajú výmenník tepla, v ktorom sa tepelná energia z odvádzaného vzduchu odovzdáva privádzanému čerstvému vzduchu bez vzájomného premiešania oboch prúdov. Vďaka tomu sa privádzaný vzduch predhrieva ešte pred vstupom do budovy, čím sa výrazne znižuje potreba energie na vykurovanie.

Moderné rekuperačné jednotky dosahujú účinnosť spätného získavania tepla približne 80 až 95 %, čo predstavuje významný príspevok k znižovaniu prevádzkovej energetickej náročnosti budov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Rekuperačné systémy umožňujú kombinovať vysokú kvalitu vnútorného prostredia s minimálnou spotrebou energie. Práve preto sa stali neoddeliteľnou súčasťou pasívnych domov, budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB). Ich využívanie vedie k významnému znižovaniu potreby energie na vykurovanie, redukcii prevádzkových emisií oxidu uhličitého, zvyšovaniu energetickej efektívnosti budov a zlepšovaniu zdravotných aj komfortných podmienok používateľov. V kombinácii s kvalitnou tepelnou ochranou obálky budovy, tepelnými čerpadlami, fotovoltickými systémami a inteligentným energetickým manažmentom predstavuje rekuperácia tepla jednu zo základných technológií moderného nízkouhlíkového stavebníctva.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) prispieva riadené vetranie s rekuperáciou tepla k dlhodobému znižovaniu prevádzkového uhlíka (Operational Carbon), zlepšuje energetickú hospodárnosť budov a podporuje dosahovanie cieľov klimateckej neutrality definovaných smernicou EPBD 2024.

### **6.6.1 Princíp**

Princíp rekuperácie tepla spočíva v spätnom získavaní tepelnej energie z odvádzaného vzduchu a jej využití na predohrev čerstvého vzduchu privádzaného do budovy. Takýmto spôsobom sa výrazne znižujú tepelné straty spôsobené vetraním pri súčasnom zachovaní vysokej kvality vnútorného prostredia.

V budovách bez systému spätného získavania tepla odchádza počas vetrania do exteriéru značné množstvo tepelnej energie obsiahnutej v odvádzanom vzduchu. Rekuperačné systémy umožňujú túto energiu zachytiť a opätovne ju využiť na predohrev privádzaného čerstvého vzduchu, čím sa významne znižuje potreba energie na vykurovanie budovy.

Základným princípom rekuperácie je prenos tepelnej energie z odvádzaného vzduchu na privádzaný čerstvý vzduch bez ich vzájomného premiešania.

#### **Rekuperačný výmenník tepla**

Prenos tepla prebieha v zariadení označovanom ako rekuperačný výmenník tepla. Vo výmenníku sa súčasne pohybujú dva oddelené vzduchové prúdy – teplý odvádzaný vzduch z interiéru a chladnejší čerstvý vzduch privádzaný z exteriéru. Oba prúdy sú od seba oddelené stenou výmenníka, takže nedochádza k ich zmiešaniu ani ku kontaminácii privádzaného vzduchu. Prenáša sa výlučne tepelná energia.

Počas prevádzky sa teplý odvádzaný vzduch odsáva z interiéru a prechádza cez výmenník, kde odovzdáva časť svojej tepelnej energie privádzanému čerstvému vzduchu. Ochladený odvádzaný vzduch následne opúšťa budovu, zatiaľ čo predhriaty čerstvý vzduch vstupuje do interiéru a zabezpečuje potrebnú výmenu vzduchu pri podstatne nižších energetických stratách.

#### **Energetická účinnosť**

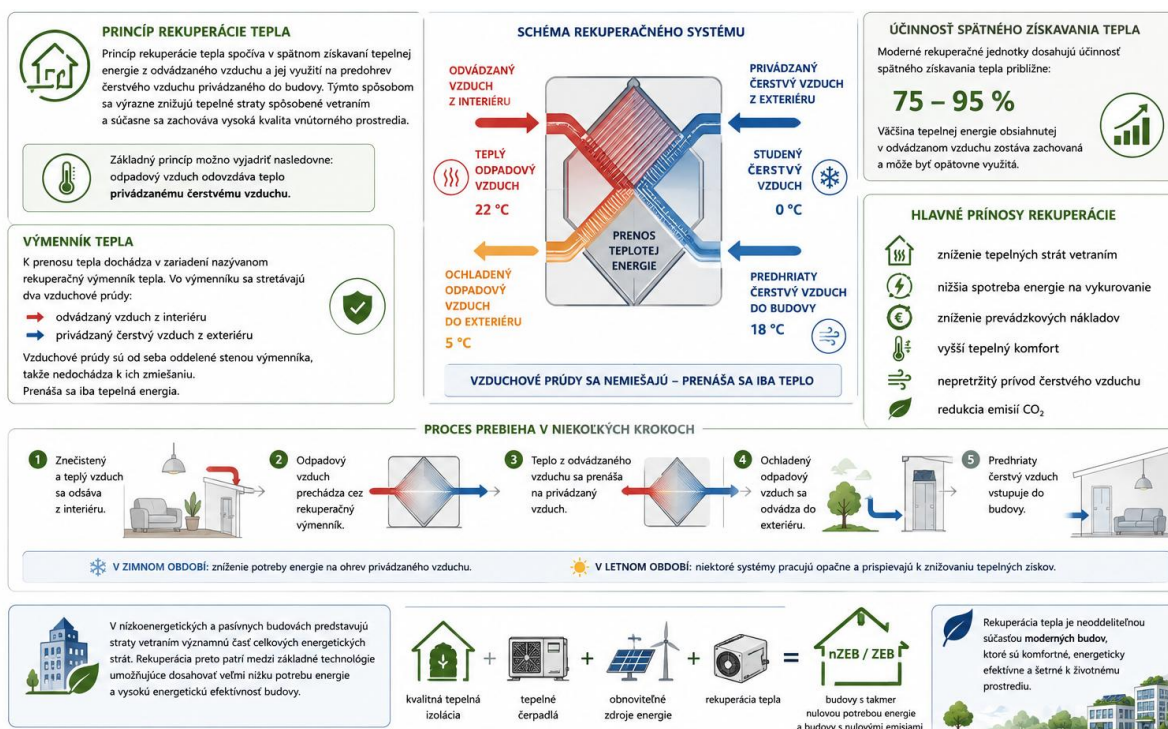
Počas zimného obdobia umožňuje rekuperácia výrazne znižovať potrebu energie na ohrev privádzaného vzduchu. Niektoré moderné systémy dokážu počas letných mesiacov pracovať aj v opačnom režime a obmedzovať prenikanie tepla do interiéru, čím prispievajú k znižovaniu potreby chladenia budovy.

Súčasné rekuperačné jednotky dosahujú účinnosť spätného získavania tepla približne 75 až 95 %, čo znamená, že väčšina tepelnej energie obsiahnutej v odvádzanom vzduchu zostáva zachovaná a môže byť opätovne využitá na úpravu privádzaného vzduchu.

#### **Prínosy rekuperácie tepla**

Spätné získavanie tepla prináša významné energetické, ekonomické aj environmentálne výhody. Okrem výrazného znižovania tepelných strát spôsobených vetraním umožňuje obmedziť spotrebu energie na vykurovanie, znižovať prevádzkové náklady a zvyšovať tepelný komfort používateľov budovy. Súčasne zabezpečuje nepretržitý prívod čerstvého vzduchu,

prispieva k udržiavaniu zdravej kvality vnútorného prostredia a podporuje znižovanie prevádzkových emisií oxidu uhličitého (Obrázok 23).



Obrázok 23 Rekuperácia

V nízkoenergetických a pasívnych budovách predstavujú tepelné straty spôsobené vetraním významnú časť celkových energetických strát. Rekuperácia tepla preto patrí medzi základné technológie umožňujúce dosahovať veľmi nízku potrebu energie a vysokú energetickú efektívnosť budov.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

V kombinácii s kvalitnou tepelnou ochranou obálky budovy, tepelnými čerpadlami, fotovoltickými systémami a ďalšími obnoviteľnými zdrojmi energie predstavuje rekuperácia tepla neoddeliteľnú súčasť moderných budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

Z pohľadu metódik Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) prispieva spätné získavanie tepla k významnému znižovaniu prevádzkového uhlíka (Operational Carbon), zlepšuje energetickú hospodárnosť budov a podporuje plnenie požiadaviek smernice EPBD 2024 na budovy budúcnosti. Rekuperácia tepla tak patrí medzi základné technológie podporujúce dekarbonizáciu prevádzky budov a dosahovanie klimatickej neutrality stavebného sektora.

### 6.6.2 Účinnosť

Jedným z najdôležitejších parametrov rekuperačných systémov je účinnosť spätného získavania tepla. Tento ukazovateľ vyjadruje, akú časť tepelnej energie obsiahnutej v odvádzanom vzduchu dokáže systém preniesť na privádzaný čerstvý vzduch. Čím vyššia je účinnosť rekuperačnej jednotky, tým nižšie sú tepelné straty spôsobené vetraním a tým vyššia je energetická efektívnosť budovy.

Účinnosť sa spravidla vyjadruje v percentách a predstavuje pomer medzi získaným a potenciálne dostupným množstvom tepla. Moderné rekuperačné jednotky využívajú vysokoúčinné výmenníky tepla, ktoré umožňujú dosahovať veľmi vysoké hodnoty účinnosti.

Moderné systémy dosahujú 80 – 95 % účinnosť spätného získavania tepla. To znamená, že z tepla obsiahnutého v odvádzanom vzduchu dokáže systém preniesť späť do budovy až 95 %, pričom iba malá časť energie sa stratí.

### Výpočet účinnosti

Účinnosť rekuperačného systému možno vyjadriť vzťahom:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_3 - T_2} \times 100$$

kde:

$T_1$  – teplota privádzaného vzduchu,

$T_2$  – teplota vonkajšieho vzduchu,

$T_3$  – teplota odvádzaného vzduchu z interiéru.

Tento vzťah umožňuje určiť, aká časť tepelnej energie bola získaná späť z odvádzaného vzduchu.

Skutočná účinnosť rekuperačných systémov závisí od viacerých technických a prevádzkových faktorov. Významný vplyv má predovšetkým typ použitého výmenníka tepla, kvalita návrhu celého systému, správne dimenzovanie prietoku vzduchu, vonkajšie klimatické podmienky, ako aj pravidelná údržba zariadenia vrátane výmeny alebo čistenia vzduchových filtrov.

Najvyššiu účinnosť spätného získavania tepla dosahujú protiprúdové rekuperačné výmenníky, ktoré sa v súčasnosti považujú za štandardné riešenie v pasívnych, nízkoenergetických a nulovoemisných budovách. Pri správnom návrhu a pravidelnej údržbe umožňujú dosahovať veľmi vysokú účinnosť pri súčasnom zabezpečení kvalitného vnútorného prostredia.

### Energetický význam rekuperácie

Vetranie bez spätného získavania tepla predstavuje významný zdroj tepelných strát budovy. V moderných vzduchotesných objektoch môžu tepelné straty spôsobené výmenou vzduchu tvoriť podstatnú časť celkovej potreby energie na vykurovanie.

Použitie vysokoúčinného rekuperačného systému preto významne znižuje potrebu energie na ohrev privádzaného vzduchu, prispieva k znižovaniu prevádzkových nákladov, obmedzuje emisie skleníkových plynov a zvyšuje celkovú energetickú hospodárnosť budovy. Súčasne zabezpečuje stabilnú kvalitu vnútorného prostredia a vyšší tepelný komfort používateľov.

### Význam pre nízkouhlíkové budovy

Vysoká účinnosť spätného získavania tepla patrí medzi hlavné dôvody, prečo sa rekuperačné systémy stali neoddeliteľnou súčasťou nízkoenergetických, pasívnych a nulovoemisných budov. V kombinácii s kvalitnou tepelnou izoláciou, tepelnými čerpadlami, fotovoltickými systémami a ďalšími obnoviteľnými zdrojmi energie umožňujú dosahovať veľmi nízku spotrebu energie a minimálne prevádzkové emisie oxidu uhličitého.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavuje rekuperácia tepla technológiu, ktorá významne znižuje prevádzkový uhlík (Operational Carbon) a podporuje plnenie požiadaviek smernice EPBD 2024 na budovy s vysokou energetickou hospodárnosťou. Rekuperačné systémy tak patria medzi základné technológie umožňujúce realizáciu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB), ktoré predstavujú budúci štandard udržateľného stavebníctva.

## 6.6 Geotermálne systémy

Geotermálne systémy predstavujú technológie využívajúce tepelnú energiu akumulovanú v zemskom podlaží. Táto energia vzniká kombináciou tepla pochádzajúceho z vnútra Zeme a slnečnej energie, ktorá sa počas roka akumuluje v horninovom prostredí. Geotermálna energia



patrí medzi obnoviteľné zdroje energie a predstavuje stabilný, ekologický a dlhodobodostupný zdroj tepla pre budovy.

Na rozdiel od slnečnej alebo veternej energie je geotermálna energia dostupná nepretržite počas celého roka a jej využívanie nie je výrazne ovplyvňované klimatickými podmienkami. Táto vlastnosť robí z geotermálnych systémov mimoriadne spoľahlivý zdroj energie pre nízkouhlíkové budovy a významne prispieva k zvyšovaniu energetickej bezpečnosti objektov. Teplo zo zemského prostredia sa získava prostredníctvom špeciálnych kolektorov alebo vrtov, ktoré umožňujú odoberať energiu z pôdy alebo podzemnej vody a následne ju využívať na vykurovanie, prípravu teplej vody alebo chladenie budov.

Podľa spôsobu získavania tepla možno geotermálne systémy rozdeliť na horizontálne zemné kolektory, vertikálne geotermálne vrty a systémy využívajúce podzemnú vodu.

### **Horizontálne zemné kolektory**

Horizontálne kolektory pozostávajú zo sústavy potrubí uložených v nezamrzajúcej hĺbke pod povrchom terénu. Potrubím prúdi teplotonosná kvapalina, ktorá odoberá teplo zo zemského prostredia a prenáša ho do tepelného čerpadla.

Výhodou horizontálnych kolektorov sú nižšie investičné náklady, jednoduchšia realizácia a vysoká životnosť systému. Ich hlavnou nevýhodou je potreba dostatočne veľkej plochy pozemku, ktorá môže obmedzovať ich využitie najmä v husto zastavaných územiach.

### **Vertikálne geotermálne vrty**

Vertikálne geotermálne systémy získavajú energiu prostredníctvom vrtov s hĺbkou spravidla 50 až 200 metrov, v ktorých sú umiestnené geotermálne sondy. Vzhľadom na stabilnú teplotu horninového prostredia poskytujú počas celého roka veľmi priaznivé prevádzkové podmienky. Ich hlavnými výhodami sú vysoká energetická účinnosť, stabilný výkon nezávislý od klimatických podmienok, menšie nároky na plochu pozemku a dlhodobá prevádzková spoľahlivosť. Nevýhodou zostávajú vyššie investičné náklady spojené s realizáciou vrtov a geologickým prieskumom.

### **Systémy využívajúce podzemnú vodu**

V lokalitách s vhodnými hydrogeologickými podmienkami možno využívať aj energiu akumulovanú v podzemnej vode. Tieto systémy pracujú prostredníctvom odberných a vsakovacích studní, pričom teplo z podzemnej vody sa odovzdáva tepelnému čerpadlu.

Výhodou systému je veľmi vysoká energetická účinnosť a stabilný výkon počas celého roka. Jeho využitie je však podmienené dostatočnou výdatnosťou podzemnej vody, vhodnou kvalitou vody a splnením legislatívnych požiadaviek týkajúcich sa ochrany vodných zdrojov.

### **Využitie geotermálnej energie**

Geotermálne systémy nachádzajú široké uplatnenie pri vykurovaní budov, príprave teplej vody, nízkotepelných vykurovacích systémoch, pasívnom chladení budov aj ako zdroj energie pre tepelné čerpadlá.

Najvyššiu energetickú účinnosť dosahujú v kombinácii s podlahovým alebo stenovým vykurovaním a ďalšími nízkotepelnými vykurovacími systémami, ktoré umožňujú efektívne využívať nízkopotenciálové teplo získané zo zemského prostredia.

### **Environmentálny význam**

Geotermálna energia patrí medzi najčistejšie obnoviteľné zdroje energie využívané v stavebníctve. Počas prevádzky systému prakticky nevznikajú priame emisie skleníkových plynov a spotreba fosílnych palív je minimálna.

Významným prínosom geotermálnych systémov je vysoká energetická účinnosť, nízka uhlíková stopa prevádzky, využívanie obnoviteľného zdroja energie, znižovanie závislosti od fosílnych palív a dlhodobá udržateľnosť prevádzky. Tieto vlastnosti významne podporujú dekarbonizáciu sektora budov.

## **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Geotermálne systémy patria medzi najefektívnejšie technológie využívané v moderných nízkouhlíkových budovách. Vďaka stabilnému zdroju energie, vysokej účinnosti a minimálnym prevádzkovým emisiám významne prispievajú k znižovaniu uhlíkovej stopy budov a spotreby primárnej energie.

V kombinácii s tepelnými čerpadlami, fotovoltickými systémami, akumuláciou energie a inteligentným energetickým manažmentom vytvárajú základ energeticky sebestačných budov. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavujú technológiu podporujúcu dlhodobé znižovanie prevádzkového uhlíka (Operational Carbon) a plnenie požiadaviek smernice EPBD 2024 na budovy s vysokou energetickou hospodárnosťou. Geotermálna energia tak zohráva významnú úlohu pri realizácii budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a pri dosahovaní cieľov klimateckej neutrality stavebného sektora.

### **6.7.1 Typy**

#### **Horizontálne geotermálne kolektory**

Horizontálne geotermálne kolektory predstavujú jeden z najčastejšie využívaných spôsobov získavania geotermálnej energie pre tepelné čerpadlá typu zem – voda. Systém pozostáva zo sústavy plastových potrubí uložených v nezamrzajúcej hĺbke približne 1 až 2 m pod povrchom terénu. Potrubím cirkuluje teplonosná kvapalina, ktorá odoberá teplo akumulované v pôde a prenáša ho do tepelného čerpadla.

Zdrojom energie je slnečné žiarenie a prirodzené teplo uložené v horných vrstvách zemského povrchu. Teplota pôdy v tejto hĺbke zostáva počas roka relatívne stabilná, čo umožňuje efektívne využívanie geotermálnej energie na vykurovanie, prípravu teplej vody aj pasívne chladenie budov.

#### **Výhody horizontálnych kolektorov**

Hlavnou výhodou horizontálnych kolektorov sú nižšie investičné náklady v porovnaní s vertikálnymi geotermálnymi vrtmi. Keďže systém nevyžaduje realizáciu hlbokých vrtov ani použitie špecializovanej vrtnej techniky, jeho výstavba je jednoduchšia a ekonomicky dostupnejšia. Inštalácia pozostáva predovšetkým zo zemných prác a uloženia potrubného systému do pripravených výkopov.

Vďaka priaznivému pomeru investičných nákladov a energetickej účinnosti predstavujú horizontálne kolektory vhodné riešenie najmä pre rodinné domy, nízkoenergetické a pasívne budovy s dostatočne veľkým pozemkom.

#### **Priestorové požiadavky**

Najvýznamnejším obmedzením horizontálnych kolektorov je potreba rozsiahlej plochy pozemku. Na zabezpečenie dostatočného odberu tepla zo zemského prostredia musia byť potrubia rozmiestnené na pomerne veľkej ploche, ktorá býva spravidla 1,5 až 3-násobkom vykurovanej podlahovej plochy budovy, pričom presná hodnota závisí od tepelných strát objektu, typu pôdy a miestnych geologických podmienok.

Nad kolektorovým poľom sa neodporúča realizovať ďalšiu zástavbu ani vysádzať hlboko koreniace dreviny, ktoré by mohli nepriaznivo ovplyvniť prevádzku systému. Z uvedeného dôvodu sú horizontálne kolektory menej vhodné pre hustú mestskú zástavbu alebo stavebné parcely s obmedzenou výmerou.

#### **Prevádzkové vlastnosti**

Horizontálne kolektory poskytujú stabilný zdroj energie počas väčšiny roka. Keďže sa nachádzajú v relatívne malej hĺbke, ich účinnosť je čiastočne ovplyvňovaná sezónnymi zmenami teploty pôdy. V porovnaní s vertikálnymi vrtmi preto dosahujú mierne nižšiu energetickú účinnosť a väčšiu závislosť od klimatických podmienok.

Na druhej strane sa vyznačujú jednoduchšou prevádzkou, nižšími investičnými nákladmi a minimálnymi požiadavkami na údržbu, čo z nich robí spoľahlivé riešenie pre väčšinu rodinných a menších bytových budov.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Horizontálne geotermálne kolektory umožňujú efektívne využívať obnoviteľnú energiu akumulovanú v pôde a významne znižovať spotrebu fosílnych palív. V kombinácii s tepelnými čerpadlami dosahujú vysokú energetickú účinnosť a prispievajú k redukcii prevádzkových emisií oxidu uhličitého.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavujú ekonomicky efektívne riešenie najmä pre rodinné domy a menšie objekty s dostatočne veľkým pozemkom. Ich využívanie podporuje energetickú sebestačnosť budov a vytvára predpoklady na dosahovanie požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB).

### **Vertikálne geotermálne vrtý**

Vertikálne geotermálne vrtý predstavujú technologicky vyspelejší spôsob získavania energie zo zemského podlažia. Systém využíva geotermálne sondy umiestnené vo vrtoch s hĺbkou spravidla 50 až 200 m, pričom v závislosti od geologických podmienok môžu byť vrtý aj hlbšie. Prostredníctvom cirkulujúcej teplonosnej kvapaliny sa odoberá teplo z horninového prostredia a prenáša sa do tepelného čerpadla.

Väčšia hĺbka vrtov umožňuje využívať stabilnejšie teplotné podmienky než pri horizontálnych kolektoroch. Teplota horninového prostredia sa počas roka mení iba minimálne, čo zabezpečuje vysokú účinnosť a stabilný výkon systému.

### **Energetická účinnosť**

Najvýznamnejšou výhodou vertikálnych geotermálnych vrtov je ich vysoká energetická účinnosť. Stabilná teplota horninového prostredia umožňuje tepelným čerpadlám pracovať s vyššími hodnotami vykurovacieho faktora COP, nižšou spotrebou elektrickej energie a vyššou účinnosťou počas celej vykurovacej sezóny.

Táto vlastnosť zabezpečuje spoľahlivú prevádzku aj počas extrémne chladných zimných období a robí z vertikálnych vrtov vhodné riešenie pre budovy s vyššími energetickými nárokmi.

### **Priestorové požiadavky**

Významnou výhodou vertikálnych vrtov sú ich malé nároky na zastavanú plochu. Energia sa získava z väčších hĺbok, a preto nie je potrebné využívať rozsiahle kolektorové pole.

Táto vlastnosť umožňuje ich realizáciu aj v hustej mestskej zástavbe, na menších stavebných parcelách alebo pri bytových a administratívnych budovách, kde sú priestorové možnosti obmedzené.

### **Investičné náklady**

Nevýhodou vertikálnych geotermálnych vrtov sú vyššie počiatkové investičné náklady. Významnú časť rozpočtu predstavujú vrtné práce, geologický prieskum, projektová príprava a samotná inštalácia geotermálnych sond.

Tieto vyššie investície sú však vo väčšine prípadov kompenzované nižšími prevádzkovými nákladmi, vyššou energetickou účinnosťou a veľmi dlhou životnosťou systému.

### **Životnosť systému**

Vertikálne geotermálne vrtý patria medzi najtrvácnejšie technické riešenia využívané v stavebníctve. Životnosť samotných vrtov a geotermálnych sond spravidla presahuje 50 rokov a pri správnom návrhu môže dosiahnuť 80 až 100 rokov. Tepelné čerpadlo ako technologické zariadenie má síce kratšiu životnosť, samotný geotermálny zdroj však zostáva funkčný počas niekoľkých desaťročí.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Vertikálne geotermálne vrty predstavujú jedno z najefektívnejších riešení využívania obnoviteľných zdrojov energie v budovách. V kombinácii s tepelnými čerpadlami umožňujú dosahovať veľmi nízku spotrebu energie, minimálne prevádzkové emisie oxidu uhličitého a vysokú energetickú stabilitu počas celého roka.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) patria medzi technológie s veľmi priaznivou dlhodobou ekonomickou aj environmentálnou bilanciou. Napriek vyšším počiatocným investíciám predstavujú významný nástroj na realizáciu pasívnych budov, budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB) a významne prispievajú k dosahovaniu klimateckej neutrality stavebného sektora.

## **6.7.2 Výhody**

Geotermálne systémy patria medzi najefektívnejšie technológie využívané v nízkouhlíkových budovách. V porovnaní s mnohými inými obnoviteľnými zdrojmi energie poskytujú stabilný a dlhodobo dostupný zdroj tepla, ktorý nie je výrazne ovplyvňovaný aktuálnymi poveternostnými podmienkami ani sezónnymi výkyvmi. Vďaka tomu predstavujú spoľahlivé riešenie pre vykurovanie, chladenie aj prípravu teplej vody v moderných energeticky efektívnych budovách.

### **Stabilný zdroj energie**

Jednou z najvýznamnejších výhod geotermálnej energie je jej celoročná dostupnosť. Na rozdiel od slnečnej alebo veternej energie nie je jej využívanie závislé od intenzity slnečného žiarenia ani od rýchlosti vetra. Teplota zemského podlažia vo väčších hĺbkach zostáva počas roka takmer konštantná, čo zabezpečuje stabilný výkon geotermálneho systému bez výrazných sezónnych výkyvov.

Táto vlastnosť umožňuje spoľahlivú prevádzku vykurovacieho systému aj počas zimných mesiacov, keď je potreba tepla najvyššia. Stabilný zdroj energie zároveň zvyšuje prevádzkovú spoľahlivosť tepelných čerpadiel a prispieva k ich vysokej energetickej účinnosti.

### **Nízke emisie skleníkových plynov**

Geotermálne systémy využívajú obnoviteľnú energiu uloženú v zemskom podlaží a počas prevádzky nevytvárajú priame emisie oxidu uhličitého ani iných skleníkových plynov. Keďže nevyužívajú spaľovanie fosílnych palív, významne prispievajú k zníženiu uhlíkovej stopy budov a podporujú dekarbonizáciu stavebného sektora.

Pri kombinácii s elektrickou energiou vyrábanou z obnoviteľných zdrojov môžu geotermálne systémy zabezpečovať vykurovanie a prípravu teplej vody prakticky bez prevádzkových emisií. Z pohľadu metodiky Whole Life Carbon (WLC) tak predstavujú jednu z technológií s najnižším prevádzkovým uhlíkom (Operational Carbon).

### **Vysoká energetická účinnosť**

Ďalšou významnou prednosťou geotermálnych systémov je ich vysoká energetická účinnosť. Vďaka stabilnej teplote zdroja energie pracujú tepelné čerpadlá počas celého roka v priaznivých prevádzkových podmienkach, čo umožňuje dosahovať vysoké hodnoty vykurovacieho faktora COP (Coefficient of Performance).

Moderné systémy zem – voda alebo voda – voda spravidla dosahujú hodnoty COP približne 4 až 6, čo znamená, že z 1 kWh elektrickej energie dokážu vyrobiť 4 až 6 kWh tepelnej energie. Výsledkom je nižšia spotreba elektrickej energie, nižšie prevádzkové náklady a dlhodobá ekonomická efektívnosť prevádzky budovy.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Kombinácia stabilného zdroja energie, minimálnych prevádzkových emisií a vysokej energetickej účinnosti robí z geotermálnych systémov jednu z najperspektívnejších technológií

moderného nízkouhlíkového stavebníctva. V spojení s tepelnými čerpadlami, fotovoltickými systémami, akumuláciou energie a inteligentným energetickým manažmentom umožňujú dosahovať veľmi nízku spotrebu primárnej energie a minimálnu uhlíkovú stopu počas prevádzky budovy.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavujú geotermálne systémy technológiu s priaznivou environmentálnou aj ekonomickou bilanciou počas celého životného cyklu budovy. Ich využívanie významne podporuje realizáciu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a napĺňanie cieľov smernice EPBD 2024, čím prispieva k dosahovaniu klimateckej neutrality stavebného sektora.

## **6.7 Batériové úložiská**

### **6.8.1 Význam**

Rozvoj obnoviteľných zdrojov energie prináša rastúcu potrebu efektívnej akumulácie vyrobenej elektrickej energie. Výroba elektriny z fotovoltických systémov je závislá od intenzity slnečného žiarenia a často nekorešponduje s okamžitou spotrebou energie v budove. Batériové úložiská preto predstavujú jednu z kľúčových technológií moderných nízkouhlíkových budov, pretože umožňujú ukladať prebytočnú elektrickú energiu a využívať ju v období, keď výroba z obnoviteľných zdrojov nie je dostatočná.

Akumulácia energie významne zvyšuje efektívnosť využívania obnoviteľných zdrojov, znižuje závislosť budov od verejnej elektrizačnej siete a podporuje rozvoj energeticky sebestačných objektov.

#### **Akumulácia elektrickej energie**

Fotovoltické systémy produkujú najväčšie množstvo elektrickej energie počas slnečných hodín, keď však spotreba elektriny v budove nemusí byť najvyššia. Bez možnosti akumulácie je preto značná časť vyrobenej energie dodávaná do distribučnej siete.

Batériové úložiská umožňujú prebytočnú elektrickú energiu ukladať a následne ju využívať počas večerných hodín, v nočnom období alebo v čase zvýšenej spotreby. Takýmto spôsobom sa významne zvyšuje podiel vlastnej spotreby elektriny vyrobenej fotovoltickým systémom a znižuje sa potreba odberu energie zo siete.

#### **Energetická sebestačnosť budovy**

Jedným z hlavných cieľov nízkouhlíkových budov je maximalizovať využitie vlastných obnoviteľných zdrojov energie. Batériové systémy umožňujú využívať elektrickú energiu vyrobenú počas dňa aj v období, keď fotovoltické panely elektrinu nevyrábajú.

Takéto riešenie vedie k znižovaniu odberu elektriny z distribučnej siete, stabilizácii prevádzkových nákladov, zvyšovaniu energetickej bezpečnosti a efektívnejšiemu využívaniu obnoviteľných zdrojov energie. V niektorých prípadoch môžu batériové úložiská zabezpečovať aj záložné napájanie vybraných elektrických spotrebičov počas výpadku elektrickej energie.

#### **Typy batériových systémov**

V súčasnosti sa v budovách najčastejšie využívajú lítium-iónové batérie, lítium-železo-fosfátové batérie ( $\text{LiFePO}_4$ ), olovené akumulátory a postupne sa rozvíjajú aj nové technológie založené na sodíkových batériách alebo batériách s pevným elektrolytom (solid-state batteries).

Najväčšie uplatnenie nachádzajú lítiové technológie, ktoré sa vyznačujú vysokou energetickou hustotou, dlhou životnosťou, vysokou účinnosťou nabíjania a vybíjania, nízkymi nárokmi na údržbu a priaznivými prevádzkovými vlastnosťami. V posledných rokoch sa čoraz väčšia pozornosť venuje aj technológii  $\text{LiFePO}_4$ , ktorá ponúka vyššiu tepelnú stabilitu, dlhšiu životnosť a vyššiu úroveň bezpečnosti.

### **Environmentálny význam**

Batériové úložiská sítě samy nevyrábajú elektrickú energiu, významne však zvyšujú efektívnosť využívania obnoviteľných zdrojov energie. V kombinácii s fotovoltaickými systémami umožňujú znižovať spotrebu elektriny vyrobenej z fosílnych palív, optimalizovať energetické toky v budove a obmedzovať prevádzkové emisie oxidu uhličitého.

Ich význam bude v nasledujúcich rokoch naďalej narastať v súvislosti s rozvojom decentralizovanej energetiky, inteligentných distribučných sústav (Smart Grids), elektromobility a budov s nulovými emisiami (ZEB).

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Batériové úložiská predstavujú dôležitý prvok moderných energeticky efektívnych budov. Umožňujú efektívnejšie využívať elektrickú energiu vyrobenú z fotovoltaických systémov, zvyšujú energetickú sebestačnosť budov a významne prispievajú k znižovaniu prevádzkových emisií skleníkových plynov.

V kombinácii s fotovoltaickými systémami, tepelnými čerpadlami, inteligentným energetickým manažmentom a systémami riadenia spotreby energie vytvárajú základ moderných budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavujú batériové úložiská technológiu, ktorá podporuje efektívnejšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie počas celej životnosti budovy. Ich význam bude ďalej narastať aj v súvislosti s implementáciou smernice EPBD 2024, rozvojom inteligentných budov, decentralizovanej energetiky a digitálne riadených energetických systémov.

## **6.8.2 Typy batérií**

Lítium-iónové batérie predstavujú v súčasnosti najrozšírenejšiu technológiu akumulácie elektrickej energie v budovách. Uplatňujú sa v domácich batériových úložiskách, komerčných energetických systémoch, elektromobiloch aj veľkokapacitných energetických úložiskách. Ich dominantné postavenie je výsledkom kombinácie vysokej energetickej účinnosti, dlhej životnosti, vysokej energetickej hustoty a priaznivých prevádzkových vlastností.

V nízkouhlíkových budovách sa využívajú predovšetkým na akumuláciu elektrickej energie vyrobenej fotovoltaickými systémami. Umožňujú ukladať prebytky energie počas obdobia intenzívneho slnečného žiarenia a využívať ich v čase zvýšenej spotreby alebo počas nočných hodín, čím významne zvyšujú mieru vlastnej spotreby elektrickej energie.

### **Technické vlastnosti**

Jednou z najvýznamnejších predností lítium-iónových batérií je ich vysoká energetická účinnosť. Moderné systémy dosahujú účinnosť nabíjania a vybíjania približne 90 až 98 %, čo znamená iba minimálne energetické straty počas akumulácie. Táto vlastnosť prispieva k efektívnejšiemu využívaniu elektrickej energie vyrobenej z obnoviteľných zdrojov a zvyšuje ekonomickú efektívnosť celého systému.

Významnou výhodou je aj dlhá životnosť batériových článkov. Súčasné lítium-iónové batérie spravidla dosahujú 4 000 až 10 000 nabíjacích cyklov, čo pri bežnej prevádzke predstavuje približne 10 až 20 rokov používania. Skutočná životnosť závisí od typu batérie, prevádzkových podmienok, hĺbky vybíjania, okolitej teploty aj kvality riadiaceho systému.

Okrem toho sa vyznačujú vysokou energetickou hustotou, kompaktnými rozmermi, nízkou hmotnosťou, rýchlym nabíjaním a minimálnymi nárokmi na údržbu, čo umožňuje ich jednoduchú integráciu do rodinných aj administratívnych budov.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

V kombinácii s fotovoltaickými systémami, tepelnými čerpadlami a inteligentným energetickým manažmentom predstavujú lítium-iónové batérie základný prvok moderných energeticky sebestačných budov. Umožňujú efektívnejšie využívať elektrickú energiu vyrobenú z obnoviteľných zdrojov, znižujú odber elektriny z distribučnej siete a významne prispievajú k

realizácii budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

### **Sodíkovo-iónové batérie**

Sodíkovo-iónové batérie (Na-ion) predstavujú novú generáciu akumulčných technológií, ktorá sa v posledných rokoch intenzívne rozvíja ako perspektívna alternatíva k lítium-iónovým systémom. Ich princíp fungovania je podobný, avšak namiesto lítia využívajú sodík ako nosič elektrického náboja.

Rastúci záujem o túto technológiu súvisí predovšetkým s potrebou znížiť závislosť od kritických surovín, znížiť výrobné náklady a obmedzovať environmentálne dopady výroby batérií.

### **Výhody technológie**

Najväčšou prednosťou sodíkovo-iónových batérií je vysoká dostupnosť sodíka, ktorý patrí medzi najrozšírenejšie chemické prvky na Zemi. V porovnaní s lítium je jeho získavanie ekonomicky menej náročné a menej závislé od obmedzeného počtu producentov.

Významnou výhodou je aj priaznivejší environmentálny profil. Výroba sodíkovo-iónových batérií si vyžaduje menšie množstvo kritických surovín, ako sú lítium, kobalt alebo nikel, čím sa znižujú environmentálne dopady ťažby aj geopolitické riziká spojené s dodávateľskými reťazcami.

Hoci ich energetická hustota zatiaľ zaostáva za lítium-iónovými technológiami, pre stacionárne energetické úložiská to nepredstavuje zásadné obmedzenie. Práve preto sa očakáva ich rastúce využitie v budovách a inteligentných energetických systémoch.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Sodíkovo-iónové batérie predstavujú perspektívnu technológiu budúcnosti, ktorá môže významne podporiť rozvoj energeticky sebestačných budov. V kombinácii s fotovoltickými systémami umožnia efektívnejšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie a prispievajú k ďalšiemu rozvoju klimaticky neutrálneho stavebníctva.

### **Technické parametre batériových úložísk**

Pri návrhu batériového úložiska je potrebné zohľadniť viacero technických parametrov, ktoré určujú jeho funkčnosť, ekonomickú efektívnosť a vhodnosť pre konkrétnu budovu.

Najvýznamnejším parametrom je kapacita, udávaná v kilowatthodinách (kWh), ktorá vyjadruje množstvo elektrickej energie, ktoré možno v batérii uložiť. Pri rodinných domoch sa najčastejšie využívajú systémy s kapacitou približne 5 až 20 kWh.

Ďalším dôležitým parametrom je výkon, udávaný v kilowattoch (kW), ktorý určuje maximálne množstvo energie, ktoré možno z batérie odoberať alebo do nej ukladať v danom okamihu.

Významným ukazovateľom je aj počet nabíjacích cyklov, ktorý priamo ovplyvňuje životnosť systému a jeho ekonomickú návratnosť. Moderné lítium-iónové batérie dosahujú spravidla 4 000 až 10 000 cyklov, pričom kvalitné systémy môžu spoľahlivo pracovať viac ako 15 rokov.

Posledným rozhodujúcim parametrom je účinnosť, ktorá vyjadruje pomer medzi energiou vloženou do batérie a energiou získanou pri jej vybíjaní.

Účinnosť možno vyjadriť vzťahom

$$\eta = \frac{E_{\text{výstup}}}{E_{\text{vstup}}} \times 100$$

kde:

$E_{\text{výstup}}$  predstavuje energiu odovzdanú z batérie,

$E_{\text{vstup}}$  predstavuje energiu dodanú do batérie.

Moderné batériové systémy dosahujú účinnosť približne 90 až 98 %, čo zabezpečuje veľmi efektívne využívanie elektrickej energie z fotovoltických systémov.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Správna voľba kapacity, výkonu, životnosti a účinnosti batériového systému významne ovplyvňuje energetickú sebestačnosť budovy, ekonomickú návratnosť investície aj mieru využitia obnoviteľných zdrojov energie. V kombinácii s fotovoltickými systémami, tepelnými čerpadlami a inteligentným energetickým manažmentom predstavujú batériové úložiská jeden zo základných pilierov budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

## **6.8 Smart Building**

Inteligentná budova (Smart Building) predstavuje moderný koncept navrhovania, prevádzky a správy budov založený na využívaní digitálnych technológií, automatizácie a pokročilých systémov monitorovania. Cieľom inteligentných budov je optimalizovať prevádzku technických zariadení, znižovať spotrebu energie, zvyšovať komfort používateľov a minimalizovať environmentálne dopady počas celého životného cyklu budovy.

Rozvoj informačných technológií, internetu vecí (Internet of Things – IoT), umelej inteligencie, cloudových platforiem a pokročilej dátovej analytiky umožnil vytvárať budovy, ktoré dokážu automaticky reagovať na meniace sa podmienky prostredia aj aktuálne potreby používateľov. Inteligentné budovy sa tak stávajú jedným zo základných prvkov nízkouhlíkového stavebníctva a významnou súčasťou konceptu inteligentných miest (Smart Cities).

### **Senzorické systémy**

Základ inteligentných budov tvoria rozsiahle siete senzorov, ktoré nepretržite monitorujú prevádzkové parametre budovy a poskytujú údaje riadiacim systémom. Monitorujú sa predovšetkým teplota, relatívna vlhkosť vzduchu, koncentrácia oxidu uhličitého, intenzita denného osvetlenia, obsadenosť jednotlivých miestností, spotreba energie a kvalita vnútorného prostredia.

Priebežné vyhodnocovanie týchto údajov umožňuje optimalizovať prevádzku technických zariadení budovy, znižovať energetické straty a zabezpečovať zdravé vnútorné prostredie pri minimálnej spotrebe energie.

### **Automatizované riadenie**

Významnou súčasťou inteligentných budov je automatizované riadenie technických systémov. Na základe údajov zo senzorov dokáže riadiaci systém automaticky upravovať prevádzkové parametre jednotlivých zariadení bez priameho zásahu používateľa.

Automatizované riadenie sa uplatňuje najmä pri vykurovaní, chladení, vetraní, osvetlení, tienení, bezpečnostných systémoch a pri riadení obnoviteľných zdrojov energie. Takýto spôsob prevádzky výrazne znižuje riziko neefektívneho využívania energie a súčasne zvyšuje komfort používateľov budovy.

### **Digitálne technológie**

Inteligentné budovy využívajú široké spektrum digitálnych technológií, ktoré zabezpečujú zber, spracovanie a analýzu prevádzkových údajov v reálnom čase. Významnú úlohu zohráva Internet vecí (IoT), cloudové platformy, umelá inteligencia, digitálne dvojčatá budov (Digital Twins), systémy Building Management System (BMS) a Building Energy Management System (BEMS). Vzájomná integrácia týchto technológií umožňuje efektívnejšie riadenie technických zariadení, prediktívnu údržbu, optimalizáciu energetických tokov a priebežné vyhodnocovanie prevádzkových parametrov budovy počas celého jej životného cyklu.

### **Ciele inteligentného riadenia**

Implementácia inteligentných technológií sleduje viacero vzájomne prepojených cieľov. Okrem znižovania spotreby energie a prevádzkových emisií oxidu uhličitého sa zameriava na zvyšovanie komfortu používateľov, zlepšovanie kvality vnútorného prostredia, optimalizáciu



prevádzkových nákladov a zvyšovanie bezpečnosti budovy. Významným prínosom inteligentného riadenia je aj efektívnejšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie, akumulácie elektrickej energie a koordinácia jednotlivých technických systémov budovy.

### **Smart Readiness Indicator (SRI)**

Význam inteligentných budov sa ďalej zvyšuje v súvislosti s implementáciou smernice EPBD 2024, ktorá podporuje využívanie Smart Readiness Indicator (SRI) – ukazovateľa inteligentnej pripravenosti budov. Jeho cieľom je hodnotiť schopnosť budovy prispôbovať svoju prevádzku potrebám používateľov, optimalizovať spotrebu energie, komunikovať s elektrickou sieťou a efektívne integrovať obnoviteľné zdroje energie. Smart Readiness Indicator predstavuje významný krok smerom k objektívnemu hodnoteniu inteligentných funkcií budov a v budúcnosti sa očakáva jeho širšie uplatňovanie pri navrhovaní aj hodnotení energetickej hospodárnosti budov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Smart Building predstavuje jeden z najvýznamnejších nástrojov na dosahovanie vysokej energetickej efektívnosti a klimatickej neutrality budov. Inteligentné riadiace systémy umožňujú optimalizovať prevádzku budovy v reálnom čase, minimalizovať energetické straty a zabezpečovať efektívne využívanie dostupných zdrojov energie.

V kombinácii s fotovoltickými systémami, tepelnými čerpadlami, rekuperáciou tepla, batériovými úložiskami energie a inteligentným energetickým manažmentom vytvárajú základ budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB). Z pohľadu metódik Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC) a rámca Level(s) predstavujú inteligentné budovy nový štandard udržateľného stavebníctva, ktorého význam bude naďalej narastať v súvislosti s digitalizáciou, automatizáciou a rozvojom inteligentných energetických systémov.

## **6.9.2 Hlavné funkcie**

Inteligentné budovy využívajú pokročilé systémy automatizácie a digitálne technológie na efektívne riadenie technických zariadení počas celej prevádzky objektu. Ich hlavným cieľom je optimalizovať spotrebu energie, zvyšovať komfort používateľov, minimalizovať prevádzkové náklady a zabezpečovať zdravé vnútorné prostredie pri súčasnom obmedzovaní environmentálnych dopadov.

Moderné systémy Building Management System (BMS) a Building Energy Management System (BEMS) dokážu v reálnom čase zhromažďovať údaje zo senzorov, analyzovať ich a automaticky riadiť prevádzku jednotlivých technických zariadení budovy. Takýto prístup umožňuje dynamicky prispôbovať prevádzku aktuálnym klimatickým podmienkam, obsadenosti budovy aj požiadavkám používateľov.

### **Riadenie vykurovania**

Jednou z najvýznamnejších funkcií inteligentných budov je automatické riadenie vykurovania. Riadiaci systém nepretržite monitoruje teplotu v jednotlivých miestnostiach a na základe nastavených požiadaviek automaticky upravuje výkon vykurovacích zariadení.

Inteligentná regulácia umožňuje prispôbovať vykurovanie skutočnej obsadenosti miestností, optimalizovať prevádzku tepelných čerpadiel a ďalších zdrojov tepla, znižovať energetické straty a minimalizovať spotrebu energie pri zachovaní požadovaného tepelného komfortu.

### **Riadenie osvetlenia**

Významnou súčasťou inteligentných budov je automatizované riadenie osvetlenia. Systém využíva údaje zo svetelných a pohybových senzorov, ktoré umožňujú prispôbovať intenzitu osvetlenia aktuálnym podmienkam a potrebám používateľov.

Automatické zapínanie a vypínanie svietidiel, regulácia intenzity osvetlenia podľa denného svetla a časové programovanie prevádzky významne prispievajú k znižovaniu spotreby elektrickej energie aj prevádzkových nákladov budovy.

### **Riadenie vetrania**

Kvalita vnútorného prostredia patrí medzi základné predpoklady zdravého a komfortného využívania budov. Inteligentné systémy riadenia vetrania preto priebežne monitorujú koncentráciu oxidu uhličitého, relatívnu vlhkosť vzduchu a ďalšie parametre vnútorného prostredia.

Na základe získaných údajov automaticky regulujú intenzitu vetrania a optimalizujú prevádzku rekuperačných jednotiek. Takýto spôsob riadenia zabezpečuje vysokú kvalitu vnútorného ovzdušia pri minimálnych tepelných stratách spôsobených výmenou vzduchu.

### **Monitoring energetických tokov**

Dôležitou súčasťou inteligentných budov je aj nepretržité monitorovanie energetických tokov. Inteligentné systémy umožňujú sledovať spotrebu elektrickej energie, tepla, vody a ďalších médií v reálnom čase, identifikovať energetické straty a priebežne vyhodnocovať energetickú efektívnosť budovy.

Získané údaje slúžia ako podklad na optimalizáciu prevádzky budovy, plánovanie údržby technických zariadení, vypracovanie energetických správ, ESG reportingu aj hodnotenie energetickej hospodárnosti budov.

### **Integrované riadenie budovy**

Najväčší prínos inteligentných budov spočíva vo vzájomnej integrácii jednotlivých technických systémov. Riadenie vykurovania, chladenia, vetrania, osvetlenia, tienenia, fotovoltických systémov, batériových úložísk a tepelných čerpadiel prebieha ako jeden vzájomne prepojený systém.

Takéto integrované riadenie umožňuje optimalizovať energetické toky v celej budove, efektívnejšie využívať obnoviteľné zdroje energie a reagovať na aktuálne prevádzkové podmienky v reálnom čase.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Integrácia inteligentného riadenia vykurovania, osvetlenia, vetrania a monitoringu energií predstavuje jeden zo základných predpokladov prevádzky moderných nízkouhlíkových budov. Inteligentné systémy dokážu automaticky optimalizovať prevádzku technických zariadení podľa aktuálnych klimatických podmienok, obsadenosti budovy a dostupnosti energie z obnoviteľných zdrojov.

V kombinácii s fotovoltickými systémami, tepelnými čerpadlami, batériovými úložiskami, rekuperačiou tepla a inteligentným energetickým manažmentom umožňujú významne znižovať spotrebu primárnej energie a prevádzkové emisie skleníkových plynov. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC) a smernice EPBD 2024 predstavujú inteligentné riadiace systémy jeden z rozhodujúcich nástrojov na dosahovanie požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budovy s nulovými emisiami (ZEB) a budúce klimaticky neutrálne budovy.

## **6.9 Building Management System (BMS)**

Building Management System (BMS) predstavuje centrálny riadiaci systém budovy, ktorý zabezpečuje monitorovanie, koordináciu a optimalizáciu prevádzky technických zariadení. Ide o integrovanú digitálnu platformu umožňujúcu zhromažďovanie údajov z jednotlivých technológií budovy, ich priebežnú analýzu a automatické riadenie s cieľom dosiahnuť maximálnu energetickú efektívnosť, bezpečnosť a komfort používateľov.

BMS patrí medzi základné prvky inteligentných budov (Smart Buildings) a zohráva významnú úlohu pri znižovaní spotreby energie, optimalizácii prevádzky technických zariadení a redukcii

emisii skleníkových plynov. Moderné systémy využívajú senzory, digitálne komunikačné siete, cloudové platformy, internet vecí (IoT) a pokročilé algoritmy na riadenie prevádzky budovy v reálnom čase.

Hlavnou úlohou systému BMS je zabezpečiť koordinované riadenie jednotlivých technických zariadení a vytvoriť jednotné prostredie, v ktorom spolu komunikujú systémy vykurovania, vetrania, klimatizácie, osvetlenia, bezpečnosti a energetického manažmentu. Takáto integrácia umožňuje efektívnejšie využívanie energie a pružné reagovanie na meniace sa prevádzkové podmienky.

### **Riadenie HVAC systémov**

Najvýznamnejšou oblasťou riadenia sú systémy HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), ktoré predstavujú najväčší podiel na spotrebe energie budovy. BMS zabezpečuje automatickú reguláciu teploty v jednotlivých zónach budovy, riadenie intenzity vetrania podľa obsadenosti priestorov, optimalizáciu prevádzky tepelných čerpadiel, koordináciu vykurovania a chladenia a využívanie údajov zo senzorov kvality vnútorného vzduchu.

Takýto spôsob riadenia významne znižuje energetické straty a zároveň zabezpečuje vysoký komfort používateľov pri minimálnej spotrebe energie.

### **Riadenie osvetlenia**

Významnou súčasťou systému BMS je centrálné riadenie osvetlenia. Riadiaci systém využíva údaje zo svetelných a pohybových senzorov a automaticky prispôsobuje intenzitu osvetlenia aktuálnym svetelným podmienkam a obsadenosti jednotlivých priestorov.

Automatické zapínanie a vypínanie svetidiel, regulácia intenzity osvetlenia podľa množstva denného svetla a časové programovanie prevádzky umožňujú významne znižovať spotrebu elektrickej energie, najmä vo veľkých administratívnych, vzdelávacích a verejných budovách.

#### **Integrácia bezpečnostných systémov**

Dôležitou súčasťou systému BMS je aj integrácia bezpečnostných technológií. Centralizované riadenie umožňuje monitorovať technický stav budovy, zabezpečovať ochranu osôb a majetku a koordinovať činnosť jednotlivých bezpečnostných zariadení.

Integrovaný systém môže zahŕňať kamerové systémy, kontrolu vstupu, elektronické zabezpečovacie zariadenia, požiaru signalizáciu aj núdzové evakuačné systémy. Vzájomné prepojenie týchto technológií umožňuje rýchlejšiu reakciu na mimoriadne udalosti a zvyšuje celkovú úroveň bezpečnosti budovy.

### **Energetický manažment**

Jednou z najvýznamnejších funkcií systému BMS je energetický manažment. Riadiaci systém nepretržite zhromažďuje údaje o spotrebe elektrickej energie, tepla, chladu a vody a umožňuje ich priebežnú analýzu, vizualizáciu a optimalizáciu.

Na základe získaných údajov možno identifikovať energetické straty, optimalizovať prevádzku technických zariadení, efektívnejšie riadiť obnoviteľné zdroje energie a priebežne vyhodnocovať energetickú hospodárnosť budovy. Tieto informácie zároveň predstavujú významný podklad pre energetický monitoring, ESG reporting a hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Building Management System predstavuje jeden z najdôležitejších nástrojov inteligentného riadenia moderných budov. Integrácia systémov HVAC, osvetlenia, bezpečnostných technológií a energetického manažmentu umožňuje efektívnejšie využívať energiu, optimalizovať prevádzku technických zariadení a významne znižovať prevádzkové emisie oxidu uhličitého.

V nízkouhlíkových budovách je BMS úzko prepojený s fotovoltickými systémami, tepelnými čerpadlami, batériovými úložiskami, rekuperáciou tepla a inteligentným riadením energetických tokov. V spojení so systémami Building Energy Management System (BEMS),

Building Information Modeling (BIM), Digitálnym pasom budovy (Digital Building Passport) a ukazovateľom Smart Readiness Indicator (SRI) vytvára základ digitálne riadených budov budúcnosti.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) umožňuje BMS optimalizovať prevádzku budovy počas celého jej životného cyklu a významne prispieva k plneniu požiadaviek smernice EPBD 2024 na budovy s vysokou energetickou hospodárnosťou. Predstavuje preto jednu z kľúčových technológií umožňujúcich realizáciu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a budúcich klimaticky neutrálnych stavieb.

### **6.10.1 Výhody**

Building Management System (BMS) prináša budovám významné technické, ekonomické aj environmentálne prínosy. Prostredníctvom centralizovaného monitorovania a riadenia technických zariadení umožňuje optimalizovať prevádzku budovy, znižovať spotrebu energie, zvyšovať komfort používateľov a zefektívňovať správu objektu počas celého jeho životného cyklu. Moderné systémy BMS zároveň využívajú pokročilé analytické nástroje, ktoré umožňujú priebežné vyhodnocovanie prevádzkových údajov a podporujú preventívnu aj prediktívnu údržbu technických zariadení.

#### **Úspora energie**

Jedným z najvýznamnejších prínosov systému BMS je znižovanie spotreby energie prostredníctvom inteligentného riadenia technických systémov budovy. Riadiaci systém nepretržite monitoruje prevádzkové parametre a automaticky optimalizuje činnosť jednotlivých zariadení podľa aktuálnych klimatických podmienok, obsadenosti budovy a požiadaviek používateľov.

Úspory energie sa dosahujú najmä optimalizáciou vykurovania, chladenia, vetrania a osvetlenia, efektívnym využívaním obnoviteľných zdrojov energie a priebežným monitorovaním energetických tokov. V závislosti od typu budovy, rozsahu automatizácie a kvality riadiaceho systému možno dosiahnuť zníženie spotreby energie približne o 10 až 30 %, pričom pri komplexných inteligentných systémoch môžu byť úspory ešte vyššie.

Zníženie spotreby energie sa priamo premieta do nižších prevádzkových nákladov a zároveň prispieva k redukcii prevádzkových emisií skleníkových plynov.

#### **Vyšší komfort používateľov**

Významným prínosom systému BMS je aj zvyšovanie kvality vnútorného prostredia a komfortu používateľov. Automatizované riadenie technických zariadení zabezpečuje stabilnú teplotu, optimálnu vlhkosť vzduchu, vhodnú kvalitu vnútorného ovzdušia a primeranú intenzitu osvetlenia bez potreby neustáleho zásahu používateľov.

Riadiaci systém dokáže automaticky reagovať na meniace sa podmienky a prispôbovať prevádzku budovy aktuálnemu využívaniu jednotlivých priestorov. Výsledkom je vyšší tepelný a vizuálny komfort, zdravšie vnútorné prostredie a priaznivejšie podmienky pre bývanie, prácu aj vzdelávanie.

#### **Prediktívna údržba**

Moderné systémy BMS umožňujú priebežne monitorovať technický stav zariadení a analyzovať ich prevádzkové údaje. Na základe dlhodobého sledovania prevádzky dokážu identifikovať odchýlky od štandardného stavu a upozorniť na možné poruchy ešte pred ich vznikom.

Prediktívna údržba umožňuje plánovať servisné zásahy podľa skutočného technického stavu zariadení, čím sa znižuje riziko havárií, predlžuje životnosť technických systémov a optimalizujú náklady na ich údržbu. Tento prístup zároveň zvyšuje spoľahlivosť prevádzky budovy a minimalizuje neplánované odstávky.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Kombinácia energetických úspor, vyššieho komfortu používateľov a efektívnej správy technických zariadení robí z Building Management System jeden z najvýznamnejších prvkov moderných inteligentných budov. Integrované riadenie umožňuje efektívne využívať obnoviteľné zdroje energie, optimalizovať energetické toky a významne znížiť prevádzkové emisie skleníkových plynov.

V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) predstavuje BMS nevyhnutný nástroj na zabezpečenie vysokej energetickej efektívnosti a dlhodobu udržateľnej prevádzky. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) prispieva k optimalizácii prevádzkového uhlíka (Operational Carbon) počas celej životnosti budovy.

Význam systémov BMS bude v nasledujúcich rokoch ďalej narastať v súvislosti s implementáciou smernice EPBD 2024, rozvojom Smart Readiness Indicator (SRI), digitalizáciou stavebníctva, internetom vecí (IoT), umelou inteligenciou a inteligentnými energetickými sieťami. Inteligentné riadenie budov sa tak stáva jedným zo základných pilierov klimaticky neutrálneho a digitálneho stavebníctva budúcnosti.

## **6.10 Internet vecí (IoT)**

Building Management System (BMS) prináša budovám významné technické, ekonomické aj environmentálne prínosy. Prostredníctvom centralizovaného monitorovania a riadenia technických zariadení umožňuje optimalizovať prevádzku budovy, znížiť spotrebu energie, zvyšovať komfort používateľov a zefektívňovať správu objektu počas celého jeho životného cyklu. Moderné systémy BMS zároveň využívajú pokročilé analytické nástroje, ktoré umožňujú priebežné vyhodnocovanie prevádzkových údajov a podporujú preventívnu aj prediktívnu údržbu technických zariadení.

### **Úspora energie**

Jedným z najvýznamnejších prínosov systému BMS je znižovanie spotreby energie prostredníctvom inteligentného riadenia technických systémov budovy. Riadiaci systém nepretržite monitoruje prevádzkové parametre a automaticky optimalizuje činnosť jednotlivých zariadení podľa aktuálnych klimatických podmienok, obsadenosti budovy a požiadaviek používateľov.

Úspory energie sa dosahujú najmä optimalizáciou vykurovania, chladenia, vetrania a osvetlenia, efektívnym využívaním obnoviteľných zdrojov energie a priebežným monitorovaním energetických tokov. V závislosti od typu budovy, rozsahu automatizácie a kvality riadiaceho systému možno dosiahnuť zníženie spotreby energie približne o **10 až 30 %**, pričom pri komplexných inteligentných systémoch môžu byť úspory ešte vyššie.

Zníženie spotreby energie sa priamo premieta do nižších prevádzkových nákladov a zároveň prispieva k redukcii prevádzkových emisií skleníkových plynov.

### **Vyšší komfort používateľov**

Významným prínosom systému BMS je aj zvyšovanie kvality vnútorného prostredia a komfortu používateľov. Automatizované riadenie technických zariadení zabezpečuje stabilnú teplotu, optimálnu vlhkosť vzduchu, vhodnú kvalitu vnútorného ovzdušia a primeranú intenzitu osvetlenia bez potreby neustáleho zásahu používateľov.

Riadiaci systém dokáže automaticky reagovať na meniace sa podmienky a prispôbovať prevádzku budovy aktuálnemu využívaniu jednotlivých priestorov. Výsledkom je vyšší tepelný a vizuálny komfort, zdravšie vnútorné prostredie a priaznivejšie podmienky pre bývanie, prácu aj vzdelávanie.

### **Prediktívna údržba**

Moderné systémy BMS umožňujú priebežne monitorovať technický stav zariadení a analyzovať ich prevádzkové údaje. Na základe dlhodobého sledovania prevádzky dokážu

identifikovať odchýlky od štandardného stavu a upozorniť na možné poruchy ešte pred ich vznikom.

Prediktívna údržba umožňuje plánovať servisné zásahy podľa skutočného technického stavu zariadení, čím sa znižuje riziko havárií, predlžuje životnosť technických systémov a optimalizujú náklady na ich údržbu. Tento prístup zároveň zvyšuje spoľahlivosť prevádzky budovy a minimalizuje neplánované odstávky.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Kombinácia energetických úspor, vyššieho komfortu používateľov a efektívnej správy technických zariadení robí z Building Management System jeden z najvýznamnejších prvkov moderných inteligentných budov. Integrované riadenie umožňuje efektívne využívať obnoviteľné zdroje energie, optimalizovať energetické toky a významne znižovať prevádzkové emisie skleníkových plynov.

V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) predstavuje BMS nevyhnutný nástroj na zabezpečenie vysokej energetickej efektívnosti a dlhodobu udržateľnej prevádzky. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) prispieva k optimalizácii prevádzkového uhlíka (Operational Carbon) počas celej životnosti budovy.

Význam systémov BMS bude v nasledujúcich rokoch ďalej narastať v súvislosti s implementáciou smernice EPBD 2024, rozvojom Smart Readiness Indicator (SRI), digitalizáciou stavebníctva, internetom vecí (IoT), umelou inteligenciou a inteligentnými energetickými sieťami. Inteligentné riadenie budov sa tak stáva jedným zo základných pilierov klimaticky neutrálneho a digitálneho stavebníctva budúcnosti.

## **6.11.1 Aplikácie**

Technológie Internetu vecí (Internet of Things – IoT) nachádzajú v moderných budovách čoraz širšie uplatnenie pri monitorovaní, riadení a optimalizácii prevádzky technických systémov. Prostredníctvom prepojenia inteligentných zariadení, senzorov a komunikačných sietí umožňujú priebežne získavať údaje o stave budovy, analyzovať ich v reálnom čase a automaticky prijímať rozhodnutia vedúce k vyššej energetickej efektívnosti, nižším prevádzkovým nákladom a vyššiemu komfortu používateľov.

Internet vecí predstavuje jednu zo základných technológií inteligentných budov (Smart Buildings) a vytvára dátovú základňu pre systémy Building Management System (BMS), Building Energy Management System (BEMS), digitálne dvojčatá budov (Digital Twins) a ďalšie pokročilé nástroje digitálneho riadenia.

### **Inteligentné merače**

Jednou z najvýznamnejších aplikácií IoT sú inteligentné merače (Smart Meters), ktoré umožňujú automatický zber údajov o spotrebe energií a technických médií bez potreby manuálneho odpočtu. Získané údaje sú priebežne prenášané do centrálnych riadiacich systémov, kde sa vyhodnocujú a využívajú na optimalizáciu prevádzky budovy.

Inteligentné elektromery poskytujú podrobné informácie o spotrebe elektrickej energie v reálnom čase, umožňujú identifikovať odberové špičky, optimalizovať využívanie elektriny vyrobenej fotovoltickými systémami a efektívnejšie riadiť prevádzku batériových úložísk. Významne tak podporujú inteligentný energetický manažment budov.

Rovnako dôležitú úlohu zohrávajú inteligentné vodomery, ktoré umožňujú priebežne sledovať spotrebu vody, identifikovať neštandardné odbery a včas odhaľovať úniky vody. Včasná identifikácia porúch znižuje prevádzkové náklady a zároveň obmedzuje environmentálne dopady súvisiace s hospodárením s vodnými zdrojmi.

V budovách využívajúcich zemný plyn sa uplatňujú aj inteligentné plynomery, ktoré poskytujú údaje o spotrebe plynu, podporujú optimalizáciu prevádzky vykurovacích systémov a vytvárajú podklady na hodnotenie energetickej efektívnosti a prevádzkových emisií budovy.

## **Senzorické systémy**

Základným zdrojom údajov pre inteligentné riadenie budov sú senzory monitorujúce parametre vnútorného prostredia. Nepretržite zaznamenávajú fyzikálne veličiny, ktoré ovplyvňujú energetickú hospodárnosť, kvalitu vnútorného prostredia aj komfort používateľov.

Významnú úlohu zohrávajú predovšetkým teplotné senzory, ktoré umožňujú monitorovať vnútornú aj vonkajšiu teplotu a automaticky regulovať vykurovanie alebo chladenie podľa aktuálnych podmienok. Vďaka tomu možno minimalizovať energetické straty a súčasne zabezpečiť stabilný tepelný komfort.

Dôležitou súčasťou systému sú aj senzory relatívnej vlhkosti, ktoré priebežne sledujú obsah vodnej pary vo vzduchu. Ich údaje umožňujú optimalizovať prevádzku ventilačných systémov, predchádzať kondenzácii vodnej pary a obmedzovať vznik plesní, čím významne prispievajú k ochrane stavebných konštrukcií aj zdravému vnútornému prostrediu.

Mimoriadne významné postavenie majú senzory koncentrácie oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), ktoré patria medzi základné prvky inteligentného riadenia kvality vnútorného prostredia. Na základe ich údajov systém automaticky upravuje intenzitu vetrania tak, aby bola zabezpečená dostatočná výmena vzduchu pri minimálnych tepelných stratách. Riadenie vetrania podľa koncentrácie CO<sub>2</sub> patrí v súčasnosti medzi najefektívnejšie spôsoby optimalizácie spotreby energie pri zachovaní vysokej kvality vnútorného prostredia.

## **Význam IoT pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Inteligentné merače a senzorické systémy tvoria základ digitálnej infraštruktúry moderných nízkouhlíkových budov. Poskytujú údaje nevyhnutné na efektívne riadenie technických zariadení, optimalizáciu spotreby energie a priebežné monitorovanie environmentálnej výkonnosti budovy.

V kombinácii so systémami Building Management System (BMS), Building Energy Management System (BEMS), obnoviteľnými zdrojmi energie, batériovými úložiskami a inteligentnými energetickými sieťami (Smart Grids) umožňuje Internet vecí významne zvyšovať energetickú efektívnosť budov a znižovať ich prevádzkové emisie skleníkových plynov.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC), Digital Building Passport a ukazovateľa Smart Readiness Indicator (SRI) predstavuje IoT jednu z kľúčových technológií digitálnej transformácie stavebníctva. Jeho význam bude naďalej narastať v súvislosti s rozvojom umelej inteligencie, digitálnych dvojčiat budov a klimaticky neutrálnych budov budúcnosti.

## **6.11 Umelá inteligencia v budovách**

### **6.11.1 Využitie**

Umelá inteligencia (Artificial Intelligence – AI) predstavuje jednu z najvýznamnejších technologických inovácií ovplyvňujúcich vývoj moderných inteligentných budov. V kombinácii s Internetom vecí (IoT), systémami Building Management System (BMS), Building Energy Management System (BEMS) a pokročilou dátovou analytikou umožňuje automatizované rozhodovanie, optimalizáciu prevádzky budovy a efektívnejšie využívanie energetických zdrojov. Na rozdiel od tradičných riadiacich systémov dokáže umelá inteligencia spracovávať veľké objemy prevádzkových údajov, identifikovať opakujúce sa vzory správania a priebežne sa prispôbovať meniacim sa podmienkam. Vďaka schopnosti učiť sa z historických aj aktuálnych dát umožňuje budovám fungovať efektívnejšie, hospodárnejšie a s nižším environmentálnym dopadom.

### **Optimalizácia spotreby energie**

Jednou z najvýznamnejších oblastí využitia umelej inteligencie je energetický manažment budov. AI priebežne vyhodnocuje údaje získané zo senzorov, meteorologických predpovedí, obnoviteľných zdrojov energie a správania používateľov. Na základe ich analýzy dokáže

automaticky optimalizovať prevádzku vykurovania, chladenia, vetrania, osvetlenia, fotovoltických systémov aj batériových úložísk.

Takýto spôsob riadenia umožňuje efektívnejšie využívať lokálne vyrobenú energiu, znižovať energetické straty a optimalizovať prevádzkové náklady. Výsledky viacerých štúdií ukazujú, že inteligentné riadenie založené na umelej inteligencii môže priniesť úspory energie približne 10 až 30 % v porovnaní s konvenčnými systémami automatizácie.

### **Prediktívna údržba**

Významnou oblasťou využitia umelej inteligencie je aj prediktívna údržba (Predictive Maintenance). Umelá inteligencia nepretržite monitoruje prevádzkové parametre technických zariadení, analyzuje ich správanie a dokáže identifikovať odchýlky, ktoré môžu signalizovať vznik poruchy.

Pri hodnotení technického stavu využíva údaje o spotrebe energie, vibráciách strojov, teplotných odchýlkach, prevádzkových anomáliách a ďalších parametroch. Na základe ich analýzy možno plánovať servisné zásahy ešte pred vznikom poruchy, čím sa znižuje riziko havárií, predlžuje životnosť zariadení a optimalizujú náklady na údržbu.

### **Analýza prevádzkových údajov**

Moderné budovy generujú veľké množstvo údajov prostredníctvom senzorov, inteligentných meračov a riadiacich systémov. Umelá inteligencia umožňuje tieto údaje efektívne spracovávať, identifikovať energetické straty, vyhodnocovať správanie používateľov, predpovedať budúcu spotrebu energie a optimalizovať prevádzkové stratégie budovy.

Takýto prístup umožňuje prijímať rozhodnutia založené na dátach (Data-driven Decision Making) a priebežne zvyšovať energetickú efektívnosť aj prevádzkovú spoľahlivosť budovy.

### **Praktické využitie**

Umelá inteligencia nachádza uplatnenie predovšetkým pri inteligentnom riadení systémov HVAC, optimalizácii spotreby elektrickej energie, riadení osvetlenia, koordinácii fotovoltických systémov a batériových úložísk, ako aj pri plánovaní údržby technických zariadení.

V kombinácii s digitálnymi dvojčatami budov (Digital Twins) umožňuje simulovať prevádzku budovy, testovať alternatívne prevádzkové scenáre a optimalizovať energetické toky ešte pred ich reálnou realizáciou.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Umelá inteligencia predstavuje jeden z najvýznamnejších nástrojov digitálnej transformácie stavebného sektora. Vďaka schopnosti optimalizovať energetické toky, predchádzať poruchám a efektívne koordinovať využívanie obnoviteľných zdrojov energie významne prispieva k znižovaniu spotreby energie a prevádzkových emisií skleníkových plynov.

V spojení s technológiami IoT, BMS, BEMS, fotovoltickými systémami, tepelnými čerpadlami, batériovými úložiskami a digitálnymi dvojčatami vytvára základ inteligentných budov novej generácie. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC) a smernice EPBD 2024 predstavuje umelá inteligencia významný nástroj na dosahovanie požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budovy s nulovými emisiami (ZEB) a budovy s vysokou úrovňou Smart Readiness Indicator (SRI).

Predpokladá sa, že význam umelej inteligencie bude v nasledujúcich rokoch naďalej narastať. Jej postupná integrácia do systémov riadenia budov, energetických sietí a digitálnych platforiem bude patriť medzi rozhodujúce faktory transformácie stavebného sektora smerom ku klimaticky neutrálnemu, inteligentnému a plne digitalizovanému prostrediu (Obrázok 24).





Obrázok 24 AI v budovách

## 6.12.2 Prediktívne riadenie

Jednou z najpokročilejších aplikácií umelej inteligencie v inteligentných budovách je prediktívne riadenie (Predictive Control). Na rozdiel od tradičných regulačných systémov, ktoré reagujú na zmeny až po ich vzniku, prediktívne riadenie využíva algoritmy umelej inteligencie na odhad budúceho vývoja prevádzkových podmienok a prijíma optimalizačné opatrenia ešte pred ich skutočným nastaním.

Prediktívne riadenie je založené na využití algoritmov umelej inteligencie, strojového učenia (Machine Learning), analýzy historických prevádzkových údajov a informácií získaných zo senzorov budovy. Na základe týchto údajov systém vytvára model budúceho správania budovy a priebežne optimalizuje prevádzku jednotlivých technických zariadení.

Najvýznamnejšie oblasti využitia zahŕňajú predikciu meteorologických podmienok, obsadenosti budovy a budúceho energetického zaťaženia.

### Predikcia meteorologických podmienok

Počasié patrí medzi najvýznamnejšie faktory ovplyvňujúce energetickú spotrebu budov. Prediktívne algoritmy využívajú meteorologické predpovede na optimalizáciu prevádzky vykurovania, chladenia, vetrania a obnoviteľných zdrojov energie.

Na základe očakávaného vývoja vonkajších podmienok môže systém automaticky upravovať výkon vykurovania ešte pred príchodom ochladenia, optimalizovať prevádzku klimatizácie počas horúcich dní, efektívnejšie koordinovať výrobu elektriny z fotovoltických systémov alebo plánovať nabíjanie batériových úložísk. Takýto prístup významne znižuje energetické straty a zvyšuje celkovú účinnosť prevádzky budovy.

### Predikcia obsadenosti budovy

Významný vplyv na spotrebu energie má aj spôsob využívania jednotlivých priestorov. Umelá inteligencia dokáže analyzovať historické údaje o prevádzke budovy, kalendáre používateľov, údaje zo senzorov pohybu a ďalšie informácie s cieľom predvídať budúcu obsadenosť jednotlivých miestností.

Na základe týchto predikcií možno automaticky regulovať vykurovanie, chladenie, intenzitu vetrania alebo osvetlenie iba v priestoroch, ktoré budú skutočne využívané. Výsledkom je vyšší komfort používateľov pri súčasnom výraznom znížení energetickej náročnosti budovy.

### **Predikcia energetického zaťaženia**

Ďalšou významnou oblasťou využitia umelej inteligencie je predpovedanie budúcej spotreby energie. Algoritmy analyzujú historické prevádzkové údaje, klimatické podmienky, výrobu energie z obnoviteľných zdrojov a správanie používateľov, na základe čoho odhadujú budúcu energetickú potrebu budovy.

Takéto predikcie umožňujú optimalizovať prevádzku technických zariadení, efektívnejšie využívať fotovoltické systémy, koordinovať nabíjanie a vybíjanie batériových úložísk, minimalizovať odberové špičky a znižovať náklady na elektrickú energiu. V budovách vybavených obnoviteľnými zdrojmi energie predstavuje predikcia energetického zaťaženia jeden z najvýznamnejších nástrojov inteligentného energetického manažmentu.

### **Prínosy prediktívneho riadenia**

Implementácia prediktívnych algoritmov prináša významné technické, ekonomické aj environmentálne prínosy. Inteligentné riadenie umožňuje zvyšovať energetickú efektívnosť budov, znižovať spotrebu energie a prevádzkové náklady, zlepšovať komfort používateľov a efektívnejšie využívať obnoviteľné zdroje energie.

Výskumy ukazujú, že v porovnaní s tradičnými regulačnými systémami môže prediktívne riadenie priniesť dodatočné úspory energie približne 10 až 25 %, pričom zároveň významne prispieva k redukcii prevádzkových emisií skleníkových plynov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Prediktívne riadenie predstavuje jednu z najpokročilejších technológií inteligentného energetického manažmentu budov. Schopnosť predvídať budúce prevádzkové podmienky umožňuje efektívnejšie koordinovať vykurovanie, chladenie, vetranie, výrobu energie z fotovoltických systémov aj prevádzku batériových úložísk.

V kombinácii s technológiami Internet of Things (IoT), systémami Building Management System (BMS), Building Energy Management System (BEMS), digitálnymi dvojčatami budov (Digital Twins) a inteligentnými energetickými sieťami (Smart Grids) vytvára základ novej generácie inteligentných budov. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC) a smernice EPBD 2024 predstavuje prediktívne riadenie významný nástroj na optimalizáciu prevádzkového uhlíka (Operational Carbon) a dosahovanie požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budovy s nulovými emisiami (ZEB) a budovy s vysokou úrovňou Smart Readiness Indicator (SRI).

Prediktívne algoritmy tak predstavujú významný krok smerom k plne autonómnym, inteligentným a klimaticky neutrálnym budovám budúcnosti.

## **6.12 Digitálne dvojča budovy**

Digitálne dvojča budovy (Digital Twin) predstavuje virtuálnu digitálnu reprezentáciu reálnej budovy, ktorá priebežne odráža jej aktuálny technický stav, prevádzkové parametre a energetické správanie. Ide o pokročilú digitálnu technológiu umožňujúcu prepojenie fyzickej budovy s jej digitálnym modelom prostredníctvom senzorov, informačných systémov a komunikačných technológií.

Na rozdiel od klasického trojrozmerného modelu budovy nie je digitálne dvojča statickou databázou údajov. Ide o dynamický model, ktorý sa nepretržite aktualizuje na základe údajov získavaných počas prevádzky budovy. Vďaka tomu poskytuje aktuálny obraz o technickom stave objektu a umožňuje priebežne analyzovať jeho správanie, energetickú hospodárnosť aj prevádzkovú efektívnosť.

Digitálne dvojča vytvára prepojenie medzi fyzickou budovou a jej virtuálnym modelom prostredníctvom siete senzorov, zariadení Internetu vecí (IoT), systémov Building

Management System (BMS), energetických monitorovacích systémov a cloudových platforiem, ktoré zabezpečujú nepretržitý prenos a spracovanie údajov.

### **Princíp fungovania**

Digitálne dvojča zhromažďuje a spracováva údaje o budove počas celého jej životného cyklu. Informácie získané zo senzorov, inteligentných meračov a riadiacich systémov sa priebežne prenášajú do digitálneho modelu, kde sú analyzované a vyhodnocované.

Model obsahuje údaje o stavebných konštrukciách, technických zariadeniach budovy, spotrebe energie, kvalite vnútorného prostredia, prevádzkových parametroch aj histórii údržby a opráv. Na základe týchto informácií možno vytvárať simulácie prevádzky, predikcie budúceho správania budovy a optimalizačné scenáre zamerané na znižovanie spotreby energie a prevádzkových nákladov.

### **Prepojenie s BIM**

Digitálne dvojča úzko nadväzuje na metodiku Building Information Modeling (BIM). Kým BIM predstavuje digitálny model vytvorený počas projektovania a výstavby budovy, Digital Twin tento model rozširuje o údaje získavané počas reálnej prevádzky.

Prepojenie BIM a digitálneho dvojčaťa umožňuje efektívnejšiu správu budovy, priebežné monitorovanie technických systémov, plánovanie údržby, optimalizáciu energetickej prevádzky a podporu rozhodovania počas celého životného cyklu objektu. Vďaka tomu sa digitálny model stáva živým informačným systémom, ktorý sa neustále aktualizuje podľa skutočného stavu budovy.

### **Oblasti využitia**

Digitálne dvojčatá nachádzajú uplatnenie predovšetkým pri energetickom manažmente, monitorovaní technických zariadení, prediktívnej údržbe, riadení prevádzky budovy, simuláciách budúcich scenárov a pri spracovaní údajov pre ESG reporting.

Správcovia budov môžu na základe priebežne získavaných údajov efektívnejšie identifikovať technické problémy, optimalizovať spotrebu energie, plánovať servisné zásahy a prijímať rozhodnutia založené na objektívnych dátach.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

V nízkouhlíkových budovách predstavuje Digital Twin významný nástroj na znižovanie spotreby energie a prevádzkových emisií skleníkových plynov. Neustále monitorovanie prevádzkových údajov umožňuje identifikovať energetické straty, optimalizovať využívanie obnoviteľných zdrojov energie a efektívnejšie riadiť technické zariadenia budovy.

Digitálne dvojča zároveň podporuje inteligentný energetický manažment, prediktívnu údržbu, automatizovanú optimalizáciu prevádzky a efektívnejšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie. Významne tak prispieva k zvyšovaniu energetickej efektívnosti budov a k znižovaniu ich prevádzkových nákladov.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavuje Digital Twin jeden z najvýznamnejších nástrojov digitálnej transformácie stavebníctva. V spojení s umelou inteligenciou (AI), Internetom vecí (IoT), systémami Building Management System (BMS), Building Energy Management System (BEMS), Digitálnym pasom budovy (Digital Building Passport) a smernicou EPBD 2024 vytvára základ novej generácie inteligentných budov.

Očakáva sa, že digitálne dvojčatá budú v nasledujúcich rokoch zohrávať kľúčovú úlohu pri prevádzke budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a inteligentných miest (Smart Cities). Predstavujú preto jednu z najperspektívnejších technológií podporujúcich klimaticky neutrálne a plne digitalizované stavebníctvo.

## **6.13.1 Výhody**

Mikrogridy (Microgrids) predstavujú moderný prístup k navrhovaniu a riadeniu energetických systémov budov a miestnych energetických komunít. Prostredníctvom integrácie obnoviteľných zdrojov energie, batériových úložísk, inteligentných riadiacich systémov a pokročilých komunikačných technológií umožňujú efektívnejšie využívanie energie, znižovanie závislosti od centrálnej distribučnej siete a zvyšovanie energetickej odolnosti budov.

Význam mikrogridov v posledných rokoch výrazne rastie najmä v súvislosti s dekarbonizáciou energetiky, rozvojom inteligentných budov, komunitnej energetiky a požiadavkami Európskej únie na klimatickú neutralitu.

### **Energetická nezávislosť**

Jednou z najvýznamnejších výhod mikrogridov je schopnosť zvyšovať energetickú sebestačnosť budov alebo celých lokalít. Lokálna výroba elektrickej energie prostredníctvom fotovoltických systémov v kombinácii s batériovými úložiskami umožňuje pokrývať významnú časť spotreby bez potreby odberu elektriny z verejnej distribučnej siete.

Takýto prístup znižuje závislosť od externých dodávateľov energie, stabilizuje prevádzkové náklady, umožňuje efektívnejšie využívať obnoviteľné zdroje energie a poskytuje používateľom vyššiu kontrolu nad energetickými tokmi v budove. Pri objektoch s vysokým podielom obnoviteľných zdrojov energie môže mikrogrid zabezpečovať rozhodujúcu časť ich energetických potrieb.

### **Energetická bezpečnosť**

Významnou výhodou mikrogridov je aj zvyšovanie energetickej bezpečnosti budov. Pri výpadku verejnej distribučnej siete môžu niektoré mikrogridy pokračovať v prevádzke v ostrovnom režime (Island Mode), počas ktorého využívajú vlastné zdroje energie a batériové úložiská.

Takéto riešenie umožňuje zabezpečiť napájanie kritických technických systémov aj počas mimoriadnych udalostí a významne zvyšuje spoľahlivosť prevádzky budov. Mimoriadny význam má preto najmä pri nemocniciach, dátových centrách, administratívnych objektoch, priemyselných podnikoch a ďalších budovách, kde je kontinuita dodávky elektrickej energie nevyhnutná.

### **Environmentálne prínosy**

Významným environmentálnym prínosom mikrogridov je znižovanie emisií skleníkových plynov prostredníctvom intenzívnejšieho využívania lokálnych obnoviteľných zdrojov energie. Vyšší podiel energie vyrobenej priamo v budove alebo v rámci lokálnej energetickej komunity vedie k obmedzovaniu spotreby elektriny vyrábanej z fosílnych palív a tým aj k znižovaniu prevádzkového uhlíka (Operational Carbon).

Mikrogridy zároveň podporujú efektívnejšie využívanie fotovoltických systémov, batériových úložísk, tepelných čerpadiel a ďalších nízkouhlíkových technológií, čím významne prispievajú k dekarbonizácii sektora budov.

### **Ďalšie prínosy**

Okrem energetickej nezávislosti a environmentálnych prínosov prinášajú mikrogridy aj ďalšie výhody. Umožňujú optimalizovať energetické toky v budove, znižovať špičkové zaťaženie distribučnej siete, efektívnejšie využívať batériové úložiská a podporovať rozvoj elektromobility prostredníctvom inteligentného riadenia nabíjacích staníc.

Súčasne vytvárajú technický základ pre rozvoj komunitnej energetiky, inteligentných miest (Smart Cities) a decentralizovaných energetických systémov, ktoré predstavujú významný smer budúceho rozvoja energetiky.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Mikrogridy predstavujú jednu z najperspektívnejších technológií budúcnosti v oblasti nízkouhlíkového stavebníctva. Integráciou výroby, akumulácie, distribúcie a inteligentného

riadenia energie vytvárajú komplexný energetický systém schopný efektívne reagovať na meniace sa podmienky prevádzky budovy.

V kombinácii s fotovoltickými systémami, tepelnými čerpadlami, batériovými úložiskami, elektromobilitou, systémami Building Management System (BMS), Internet of Things (IoT), umelou inteligenciou (AI) a digitálnymi dvojčatami budov (Digital Twin) predstavujú technologický základ budov novej generácie.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC) a smernice EPBD 2024 umožňujú mikrogridy významne znížiť prevádzkové emisie, optimalizovať energetickú hospodárnosť budov a podporovať rozvoj decentralizovanej energetiky. Predstavujú preto jednu z kľúčových technológií pre realizáciu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a budúcich klimaticky neutrálnych komunít.

## **6.13 Energetický manažment budov**

Energetický manažment budov predstavuje súbor technických, organizačných a riadiacich procesov zameraných na efektívne využívanie energie počas celej prevádzky budovy. Jeho hlavným cieľom je zabezpečiť požadovaný komfort používateľov pri čo najnižšej spotrebe energie, minimálnych prevádzkových nákladoch a čo najnižších environmentálnych dopadoch. V moderných nízkouhlíkových budovách sa energetický manažment stáva neoddeliteľnou súčasťou každodennej prevádzky. Využíva údaje získané zo senzorov, inteligentných meracích systémov, Building Management System (BMS), Building Energy Management System (BEMS), technológií Internet of Things (IoT) a nástrojov umelej inteligencie na priebežné monitorovanie, analýzu a optimalizáciu energetických tokov.

### **Optimalizácia spotreby energie**

Základným cieľom energetického manažmentu je dosiahnuť čo najefektívnejšie využitie dostupných energetických zdrojov. Riadiace systémy nepretržite sledujú spotrebu energie a na základe získaných údajov identifikujú možnosti jej optimalizácie.

Optimalizácia sa týka najmä vykurovania, chladenia, vetrania, osvetlenia a prevádzky technických zariadení budovy. Súčasťou energetického manažmentu je aj koordinácia výroby energie z obnoviteľných zdrojov, riadenie batériových úložísk a eliminácia energetických strát. Výsledkom je zníženie celkovej energetickej náročnosti budovy bez negatívneho vplyvu na kvalitu vnútorného prostredia alebo komfort používateľov.

### **Znižovanie prevádzkových nákladov**

Efektívne využívanie energie sa priamo premieta do znižovania prevádzkových nákladov budovy. Energetický manažment umožňuje identifikovať neefektívne procesy, optimalizovať prevádzku technických zariadení a efektívnejšie využívať energiu vyrobenú z obnoviteľných zdrojov.

Dlhodobé ekonomické prínosy sa prejavujú predovšetkým v nižších nákladoch na elektrickú energiu, vykurovanie a chladenie, efektívnejšom využití energie z fotovoltických systémov, nižších nárokov na údržbu technických zariadení a predĺžení ich životnosti. Takýto prístup významne zvyšuje ekonomickú efektívnosť prevádzky budovy počas celého jej životného cyklu.

### **Znižovanie environmentálnych dopadov**

Energetický manažment zohráva významnú úlohu aj pri napĺňaní environmentálnych cieľov udržateľného stavebníctva. Znižovanie spotreby energie vedie k obmedzeniu potreby výroby energie z fosílnych palív, čím sa znižujú emisie skleníkových plynov a celková uhlíková stopa budovy.

Efektívnejšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie, optimalizácia prevádzky technických zariadení a inteligentné riadenie energetických tokov podporujú plnenie klimatických cieľov

Európskej únie a zároveň vytvárajú kvalitný podklad pre ESG reporting, environmentálne certifikácie a hodnotenie udržateľnosti budov.

### **Integrovaný energetický manažment**

Moderné systémy energetického manažmentu prepájajú výrobu, akumuláciu, distribúciu a spotrebu energie do jedného koordinovaného celku. V reálnom čase riadia prevádzku fotovoltických systémov, tepelných čerpadiel, batériových úložísk, nabíjajúcich staníc elektromobilov aj systémov vykurovania, chladenia a vetrania.

Takéto integrované riadenie umožňuje optimalizovať energetické toky podľa aktuálnych prevádzkových podmienok, cien elektrickej energie, meteorologických predpovedí alebo obsadenosti budovy. Významnú úlohu pritom zohrávajú algoritmy umelej inteligencie a prediktívne riadenie, ktoré umožňujú prijímať rozhodnutia ešte pred vznikom energetických špičiek alebo zmien prevádzkových podmienok.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Energetický manažment patrí medzi základné nástroje moderného nízkouhlíkového stavebníctva. Umožňuje efektívne prepájať technické zariadenia budovy, obnoviteľné zdroje energie, batériové úložiská, elektromobilitu a inteligentné riadiace systémy do jedného funkčného energetického celku.

Z pohľadu metódik Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavuje významný nástroj na znižovanie prevádzkového uhlíka (Operational Carbon) a optimalizáciu prevádzkových nákladov počas celého životného cyklu budovy. Jeho význam ďalej posilňuje smernica EPBD 2024, koncept Smart Readiness Indicator (SRI) a pripravované Digitálne pasy budov (Digital Building Passport), ktoré zdôrazňujú význam inteligentného riadenia pri dosahovaní vysokej energetickej hospodárnosti.

V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) predstavuje energetický manažment nevyhnutný predpoklad na zabezpečenie vysokej energetickej efektívnosti, nízkych prevádzkových nákladov a minimálnej uhlíkovej stopy. Stáva sa tak jedným z rozhodujúcich prvkov inteligentných, digitálne riadených a klimaticky neutrálnych budov budúcnosti.

## **6.14.2 Kľúčové ukazovatele**

Efektívny energetický manažment budov je založený na priebežnom monitorovaní a vyhodnocovaní ukazovateľov, ktoré umožňujú posudzovať energetickú výkonnosť budovy. Tieto ukazovatele poskytujú informácie o spotrebe energie, identifikujú potenciál úspor a umožňujú porovnávať energetickú efektívnosť rôznych budov alebo prevádzkových období.

Jedným z najpoužívanejších ukazovateľov je Energy Use Intensity (EUI), ktorý vyjadruje množstvo energie spotrebovanej na jednotku podlahovej plochy budovy za určité časové obdobie, spravidla za jeden rok.

Ukazovateľ EUI je definovaný vzťahom:

$$EUI = \frac{E}{A}$$

kde:

EUI – *Energy Use Intensity* (ukazovateľ energetickej náročnosti budovy),

E – ročná spotreba energie budovy (kWh/rok),

A – celková podlahová plocha budovy (m<sup>2</sup>).

Jednotkou ukazovateľa EUI je:

$$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$$

### Význam ukazovateľa EUI

Energy Use Intensity patrí medzi základné nástroje hodnotenia energetickej hospodárnosti budov. Umožňuje porovnávať budovy rôznych veľkostí na základe jednotkovej spotreby energie.

EUI sa využíva najmä na:

- hodnotenie energetickej efektívnosti budov,
- porovnávanie budov medzi sebou,
- sledovanie vývoja spotreby energie v čase,
- identifikáciu potenciálu energetických úspor,
- podporu ESG reportingu a energetických auditov.

Nižšia hodnota EUI znamená vyššiu energetickú efektívnosť budovy a nižšie prevádzkové náklady.

Typické hodnoty EUI sú uvedené v tabuľke nižšie (Tabuľka 11).

**Tabuľka 11** Orientačné hodnoty energetického štandardu

| Typ budovy              | EUI (kWh/m <sup>2</sup> /rok) | Typ budovy              |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Konvenčná budova        | 150 – 300                     | Konvenčná budova        |
| Nízkoenergetická budova | 50 – 100                      | Nízkoenergetická budova |
| Pasívny dom             | 15 – 50                       | Pasívny dom             |
| nZEB                    | 20 – 60                       | nZEB                    |
| ZEB                     | < 20                          | ZEB                     |

Tieto hodnoty sú orientačné a môžu sa líšiť v závislosti od klimatických podmienok, spôsobu využívania budovy a použitých technológií.

### Ďalšie energetické ukazovatele

Popri EUI sa v energetickom manažmente často sledujú aj:

- spotreba elektrickej energie,
- spotreba tepla,
- emisie CO<sub>2</sub>,
- podiel obnoviteľných zdrojov energie,
- energetická sebestačnosť budovy,
- prevádzkové náklady na energiu.

Kombinácia týchto ukazovateľov poskytuje komplexný obraz o energetickej výkonnosti objektu.

### Význam pre nízkouhlíkové budovy

Ukazovateľ EUI predstavuje jeden zo základných nástrojov hodnotenia nízkouhlíkových budov. Umožňuje objektívne merať energetickú efektívnosť, sledovať úspešnosť implementovaných opatrení a podporovať optimalizáciu prevádzky budovy.

V spojení s inteligentným energetickým manažmentom, systémami BMS, IoT technológiami a umelou inteligenciou poskytuje dôležité údaje pre dosahovanie nízkej spotreby energie, redukcie emisií CO<sub>2</sub> a plnenie požiadaviek budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

## 6.14 Mikrogridy

Mikrogridy (Microgrids) predstavujú moderný prístup k navrhovaniu a riadeniu energetických systémov budov a miestnych energetických komunít. Prostredníctvom integrácie obnoviteľných zdrojov energie, batériových úložísk, inteligentných radiacích systémov a pokročilých komunikačných technológií umožňujú efektívnejšie využívanie energie, znižovanie závislosti od centrálnej distribučnej siete a zvyšovanie energetickej odolnosti budov.

Význam mikrogridov v posledných rokoch výrazne rastie najmä v súvislosti s dekarbonizáciou energetiky, rozvojom inteligentných budov, komunitnej energetiky a požiadavkami Európskej únie na klimatickú neutralitu.

### **Energetická nezávislosť**

Jednou z najvýznamnejších výhod mikrogridov je schopnosť zvyšovať energetickú sebestačnosť budov alebo celých lokalít. Lokálna výroba elektrickej energie prostredníctvom fotovoltických systémov v kombinácii s batériovými úložiskami umožňuje pokrývať významnú časť spotreby bez potreby odberu elektriny z verejnej distribučnej siete.

Takýto prístup znižuje závislosť od externých dodávateľov energie, stabilizuje prevádzkové náklady, umožňuje efektívnejšie využívať obnoviteľné zdroje energie a poskytuje používateľom vyššiu kontrolu nad energetickými tokmi v budove. Pri objektoch s vysokým podielom obnoviteľných zdrojov energie môže mikrogrid zabezpečovať rozhodujúcu časť ich energetických potrieb.

### **Energetická bezpečnosť**

Významnou výhodou mikrogridov je aj zvyšovanie energetickej bezpečnosti budov. Pri výpadku verejnej distribučnej siete môžu niektoré mikrogridy pokračovať v prevádzke v ostrovnom režime (Island Mode), počas ktorého využívajú vlastné zdroje energie a batériové úložiská. Takéto riešenie umožňuje zabezpečiť napájanie kritických technických systémov aj počas mimoriadnych udalostí a významne zvyšuje spoľahlivosť prevádzky budov. Mimoriadny význam má preto najmä pri nemocniciach, dátových centrách, administratívnych objektoch, priemyselných podnikoch a ďalších budovách, kde je kontinuita dodávky elektrickej energie nevyhnutná.

### **Environmentálne prínosy**

Významným environmentálnym prínosom mikrogridov je znižovanie emisií skleníkových plynov prostredníctvom intenzívnejšieho využívania lokálnych obnoviteľných zdrojov energie. Vyšší podiel energie vyrobenej priamo v budove alebo v rámci lokálnej energetickej komunity vedie k obmedzovaniu spotreby elektriny vyrábanej z fosílnych palív a tým aj k znižovaniu prevádzkového uhlíka (Operational Carbon).

Mikrogridy zároveň podporujú efektívnejšie využívanie fotovoltických systémov, batériových úložísk, tepelných čerpadiel a ďalších nízkouhlíkových technológií, čím významne prispievajú k dekarbonizácii sektora budov.

### **Ďalšie prínosy**

Okrem energetickej nezávislosti a environmentálnych prínosov prinášajú mikrogridy aj ďalšie výhody. Umožňujú optimalizovať energetické toky v budove, znižovať špičkové zaťaženie distribučnej siete, efektívnejšie využívať batériové úložiská a podporovať rozvoj elektromobility prostredníctvom inteligentného riadenia nabíjacích staníc.

Súčasne vytvárajú technický základ pre rozvoj komunitnej energetiky, inteligentných miest (Smart Cities) a decentralizovaných energetických systémov, ktoré predstavujú významný smer budúceho rozvoja energetiky.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Mikrogridy predstavujú jednu z najperspektívnejších technológií budúcnosti v oblasti nízkouhlíkového stavebníctva. Integráciou výroby, akumulácie, distribúcie a inteligentného riadenia energie vytvárajú komplexný energetický systém schopný efektívne reagovať na meniace sa podmienky prevádzky budovy. V kombinácii s fotovoltickými systémami, tepelnými čerpadlami, batériovými úložiskami, elektromobilitou, systémami Building Management System (BMS), Internet of Things (IoT), umelou inteligenciou (AI) a digitálnymi dvojčatami budov (Digital Twin) predstavujú technologický základ budov novej generácie. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC) a smernice EPBD 2024 umožňujú mikrogridy významne znižovať prevádzkové emisie, optimalizovať energetickú hospodárnosť budov a podporovať rozvoj decentralizovanej



energetiky. Predstavujú preto jednu z kľúčových technológií pre realizáciu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a budúcich klimaticky neutrálnych komunít.

## 6.15.2 Výhody

Mikrogridy predstavujú moderný prístup k riadeniu energetických systémov budov a lokalít. Vďaka integrácii obnoviteľných zdrojov energie, batériových úložísk a inteligentných riadiacich systémov umožňujú efektívnejšie využívanie energie, znižovanie závislosti od centrálnej distribučnej siete a zvyšovanie energetickej odolnosti budov. Ich význam rastie najmä v súvislosti s dekarbonizáciou energetiky, rozvojom inteligentných budov a požiadavkami na klimatickú neutralitu.

### **Energetická nezávislosť**

Jednou z najvýznamnejších výhod mikrogridov je schopnosť zvyšovať energetickú sebestačnosť budov alebo celých lokalít. Lokálna výroba elektrickej energie prostredníctvom fotovoltických systémov v kombinácii s batériovými úložiskami umožňuje pokrývať významnú časť spotreby bez potreby odberu energie z verejnej distribučnej siete. Takýto prístup znižuje závislosť od externých dodávateľov energie, poskytuje vyššiu kontrolu nad energetickými tokmi, podporuje efektívnejšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie a prispieva k stabilizácii prevádzkových nákladov. Pri budovách s vysokým podielom vlastnej výroby energie môže mikrogrid zabezpečovať podstatnú časť ich energetických potrieb.

### **Energetická bezpečnosť**

Významnou výhodou mikrogridov je aj zvyšovanie energetickej bezpečnosti. V prípade výpadku verejnej distribučnej siete môžu niektoré systémy pokračovať v prevádzke v tzv. ostrovnom režime (Island Mode), pri ktorom využívajú vlastné obnoviteľné zdroje energie a batériové úložiská. Takéto riešenie zabezpečuje vyššiu odolnosť voči výpadkom elektrickej energie, umožňuje napájanie kritických technických systémov a zvyšuje spoľahlivosť prevádzky budovy. Mimoriadne dôležité je preto najmä pri nemocniciach, dátových centrách, verejných budovách a ďalších objektoch, kde je nepretržitá dodávka elektrickej energie nevyhnutná.

### **Environmentálne prínosy**

Mikrogridy významne prispievajú aj k znižovaniu environmentálnych dopadov prevádzky budov. Intenzívnejšie využívanie lokálnych obnoviteľných zdrojov energie vedie k obmedzeniu spotreby elektriny vyrábanej z fosílnych palív, čím sa znižujú emisie skleníkových plynov a celková uhlíková stopa budovy.

V kombinácii s fotovoltickými systémami, tepelnými čerpadlami, batériovými úložiskami a inteligentným energetickým manažmentom predstavujú mikrogridy účinný nástroj dekarbonizácie sektora budov a podporujú dosahovanie klimatickej neutrality.

### **Ďalšie prínosy**

Okrem energetickej nezávislosti a environmentálnych prínosov prinášajú mikrogridy aj ďalšie výhody. Umožňujú optimalizovať energetické toky, znižovať špičkové zaťaženie distribučnej siete, efektívnejšie využívať batériové úložiská a podporovať rozvoj elektromobility prostredníctvom inteligentného riadenia nabíjacích staníc. Zároveň vytvárajú technický základ pre komunitnú energetiku, inteligentné mestá (Smart Cities) a decentralizované energetické systémy budúcnosti.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Energetická nezávislosť, vysoká prevádzková bezpečnosť a nízke environmentálne dopady robia z mikrogridov jednu z najperspektívnejších technológií moderného stavebníctva. Integráciou výroby, akumulácie, distribúcie a inteligentného riadenia energie vytvárajú komplexný energetický systém schopný efektívne reagovať na meniace sa prevádzkové

podmienky budovy. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) umožňujú mikrogridy optimalizovať prevádzkovú spotrebu energie, znižovať prevádzkové emisie skleníkových plynov a podporovať efektívne využívanie obnoviteľných zdrojov energie. V kombinácii s fotovoltickými systémami, tepelnými čerpadlami, batériovými úložiskami, elektromobilitou a inteligentnými systémami riadenia predstavujú významný krok smerom k budovám s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budovám s nulovými emisiami (ZEB) a budúcim klimaticky neutrálnym energetickým komunitám.

## **6.15 Nabíjacie stanice elektromobilov**

Rozvoj elektromobility predstavuje jednu z najvýznamnejších stratégií dekarbonizácie dopravy. V súvislosti s rastúcim počtom elektrických vozidiel sa moderné nízkouhlíkové budovy čoraz častejšie navrhujú s integrovanou nabíjacou infraštruktúrou. Nabíjacie stanice sa postupne stávajú štandardnou súčasťou rodinných domov, bytových budov, administratívnych objektov, obchodných centier aj verejných budov. Integrácia nabíjacích staníc do budov umožňuje efektívnejšie využívanie elektrickej energie vyrobenej z obnoviteľných zdrojov, predovšetkým z fotovoltických systémov. V kombinácii s batériovými úložiskami, tepelnými čerpadlami a inteligentným energetickým manažmentom vytvárajú nabíjacie stanice dôležitú súčasť moderných energetických systémov budov. V súčasnosti sa využívajú predovšetkým AC nabíjačky určené na pomalšie nabíjanie a DC rýchlonabíjačky, ktoré umožňujú výrazne kratší čas doplnenia energie.

### **AC nabíjacie stanice**

AC (Alternating Current) nabíjačky využívajú striedavý elektrický prúd a predstavujú najrozšírenejšie riešenie pre domáce a firemné nabíjanie elektromobilov. Premena striedavého prúdu na jednosmerný prebieha prostredníctvom palubnej nabíjačky vozidla. Najčastejšie používané výkony AC nabíjačiek sú 3,7 kW, 7,4 kW, 11 kW a 22 kW. Vyznačujú sa nižšími investičnými nákladmi, jednoduchou inštaláciou a veľmi dobrou integráciou s fotovoltickými systémami. Predstavujú optimálne riešenie pre rodinné domy, bytové budovy a administratívne objekty, kde vozidlá zostávajú zaparkované dlhší čas, napríklad počas noci alebo pracovnej doby.

### **DC rýchlonabíjacie stanice**

DC (Direct Current) nabíjačky využívajú jednosmerný elektrický prúd, pričom jeho premenu zabezpečuje samotná nabíjacia stanica. Vďaka tomu umožňujú výrazne vyššie nabíjacie výkony a podstatne kratší čas nabíjania elektromobilov.

Moderné DC nabíjačky dosahujú výkony približne 50 kW, 100 kW, 150 kW, pričom najvýkonnejšie systémy dnes prekračujú 300 kW. Sú určené predovšetkým pre verejnú nabíjaciu infraštruktúru, diaľničné odpočívadlá a komerčné objekty s vysokou intenzitou využívania.

Ich hlavnými výhodami sú krátky čas nabíjania a možnosť rýchleho doplnenia energie počas cestovania. Nevýhodou zostávajú vyššie investičné náklady a väčšie požiadavky na elektrickú prípojku budovy.

### **Integrácia s energetickými systémami budovy**

Moderné nabíjacie stanice sa čoraz častejšie integrujú s fotovoltickými systémami, batériovými úložiskami, systémami Building Management System (BMS) a inteligentným energetickým manažmentom.

Takéto riešenie umožňuje využívať elektrickú energiu vyrobenú z obnoviteľných zdrojov priamo na nabíjanie elektromobilov, optimalizovať energetické toky v budove, znižovať zaťaženie distribučnej siete a zvyšovať energetickú sebestačnosť objektu.

Významným trendom je rozvoj technológií Vehicle-to-Building (V2B) a Vehicle-to-Grid (V2G), ktoré umožňujú využívať batériu elektromobilu ako dočasné úložisko energie. Elektromobil sa

tak stáva aktívnou súčasťou energetického systému budovy alebo distribučnej siete a môže pomáhať pri vyrovnaní energetických špičiek.

### **Prínos pre dekarbonizáciu dopravy**

Elektromobilita predstavuje významný nástroj na znižovanie emisií skleníkových plynov v sektore dopravy. Ak je elektrická energia využívaná na nabíjanie vyrábaná z obnoviteľných zdrojov, možno výrazne obmedziť emisie oxidu uhličitého spojené s prevádzkou vozidiel.

Integrácia nabíjacích staníc do nízkouhlíkových budov podporuje znižovanie spotreby fosílnych palív, rozvoj obnoviteľných zdrojov energie, inteligentných energetických systémov a decentralizovanej energetiky.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Nabíjacie stanice elektromobilov sa postupne stávajú neoddeliteľnou súčasťou moderných budov a inteligentných energetických systémov. V kombinácii s fotovoltickými systémami, batériovými úložiskami, tepelnými čerpadlami, mikrogridmi a inteligentným riadením energie umožňujú efektívnejšie využívať lokálne vyrobenú elektrickú energiu a významne prispievajú k znižovaniu prevádzkových emisií budov aj dopravy.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) predstavujú nabíjacie stanice dôležitý prvok integrovaného energetického systému budovy. Ich význam ďalej posilňuje smernica EPBD 2024, ktorá podporuje rozvoj inteligentnej nabíjacej infraštruktúry (Smart Charging) a integráciu elektromobility do energetického hospodárstva budov.

Budúce nízkouhlíkové budovy tak nebudú iba miestom spotreby energie, ale stanú sa aktívnymi energetickými uzlami schopnými vyrábať, ukladať, inteligentne riadiť a zdieľať energiu vrátane podpory elektromobility.

## **6.16 Integrácia technológií**

Jednotlivé nízkouhlíkové technológie prinášajú významné energetické a environmentálne prínosy aj pri samostatnom využití, ich najväčší potenciál sa však prejavuje až pri vzájomnej integrácii do jedného komplexného energetického systému budovy. Moderné budovy už nie sú navrhované ako súbor samostatných technických zariadení, ale ako inteligentne prepojené systémy, ktoré spolupracujú s cieľom minimalizovať spotrebu energie, znižovať emisie skleníkových plynov a maximalizovať využívanie obnoviteľných zdrojov energie.

Takýto prístup umožňuje efektívne riadenie energetických tokov v budove a vytvára predpoklady na dosahovanie vysokej energetickej sebestačnosti. Prostredníctvom inteligentných riadiacich systémov možno koordinovať výrobu, akumuláciu a spotrebu energie v reálnom čase, čím sa výrazne zvyšuje celková energetická efektívnosť objektu.

Medzi základné technológie integrovaného energetického systému patria tepelné čerpadlá, fotovoltické systémy, rekuperácia tepla, batériové úložiská a inteligentné systémy riadenia budovy.

### **Tepelné čerpadlá**

Tepelné čerpadlá zabezpečujú energeticky efektívne vykurovanie, chladenie a prípravu teplej vody využívaním obnoviteľnej energie z okolitého prostredia. V integrovanom energetickom systéme budovy predstavujú hlavný zdroj tepla, pričom elektrická energia potrebná na ich prevádzku môže byť vyrábaná priamo fotovoltickým systémom. Takéto riešenie významne znižuje spotrebu fosílnych palív aj prevádzkové emisie budovy.

### **Fotovoltické systémy**

Fotovoltické systémy zabezpečujú lokálnu výrobu elektrickej energie z obnoviteľného zdroja. Vyrobená elektrina sa využíva na napájanie tepelného čerpadla, prevádzku technických zariadení budovy, nabíjanie elektromobilov alebo akumuláciu energie v batériových

úložiskách. Fotovoltika tak vytvára základný zdroj elektrickej energie pre moderné nízkouhlíkové budovy.

### **Rekuperácia tepla**

Systémy riadeného vetrania s rekuperáciou zabezpečujú výmenu vzduchu pri minimálnych tepelných stratách. Spätným získavaním tepla z odvádzaného vzduchu významne znižujú potrebu energie na vykurovanie, zlepšujú kvalitu vnútorného prostredia a zvyšujú celkovú energetickú hospodárnosť budovy.

### **Batériové úložiská**

Batériové systémy umožňujú akumulovať prebytky elektrickej energie vyrobenej fotovoltickými panelmi a využívať ich v čase, keď výroba elektriny nie je dostatočná. Akumulácia energie zvyšuje energetickú sebestačnosť budovy, stabilizuje energetické toky, znižuje odber elektriny z distribučnej siete a zvyšuje odolnosť budovy voči výpadkom elektrickej energie.

### **Inteligentné riadenie**

Kľúčovým prvkom celého systému je inteligentné riadenie založené na technológiách Building Management System (BMS), Building Energy Management System (BEMS), Internet of Things (IoT) a umelej inteligencii (AI). Riadiaci systém koordinuje činnosť jednotlivých technológií, optimalizuje energetické toky a automaticky reaguje na meniace sa prevádzkové podmienky. Na základe údajov zo senzorov, meteorologických predpovedí, informácií o obsadenosti budovy a aktuálnej výrobe energie z obnoviteľných zdrojov dokáže systém optimalizovať prevádzku tepelného čerpadla, riadiť nabíjanie a vybíjanie batériových úložísk, regulovať vykurovanie, chladenie a vetranie a zabezpečiť čo najefektívnejšie využitie lokálne vyrobenej energie.

### **Budovy s nulovými emisiami (ZEB)**

Komplexnou integráciou uvedených technológií vznikajú budovy schopné dosahovať veľmi nízku spotrebu primárnej energie a minimálne prevádzkové emisie skleníkových plynov. Takéto budovy predstavujú koncept Zero Emission Building (ZEB), ktorý sa stáva novým štandardom európskeho stavebníctva podľa smernice EPBD 2024. Budovy s nulovými emisiami sa vyznačujú veľmi vysokou energetickou efektívnosťou, minimálnou potrebou energie, dominantným využívaním obnoviteľných zdrojov, absenciou priamych emisií zo spaľovania fosílnych palív a inteligentným riadením všetkých energetických tokov.

### **Význam integrácie technológií**

Integrácia technológií predstavuje základný predpoklad dosahovania klimateckej neutrality budov. Jednotlivé technológie síce prinášajú významné energetické úspory aj samostatne, avšak ich vzájomná koordinácia umožňuje dosiahnuť podstatne vyššiu efektívnosť, lepšiu ekonomickú návratnosť a výrazne nižšie environmentálne dopady počas celého životného cyklu budovy.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) umožňuje integrovaný energetický systém optimalizovať nielen prevádzkovú spotrebu energie, ale aj celkovú uhlíkovú stopu budovy. V spojení s metodikou Building Information Modeling (BIM), digitálnymi dvojčatami (Digital Twin) a Digitálnym pasom budovy (Digital Building Passport) vytvára základ novej generácie inteligentných budov.

Budúcnosť stavebníctva smeruje k objektom, ktoré budú schopné samostatne vyrábať, ukladať, zdieľať a inteligentne riadiť energiu. Kombinácia tepelných čerpadiel, fotovoltických systémov, rekuperácie tepla, batériových úložísk a inteligentných riadiacich systémov preto predstavuje základný technologický model budúcich budov s nulovými emisiami (ZEB) a minimálnou uhlíkovou stopou.

## 6.17 Budúce trendy

Technológie nízkouhlíkových budov prechádzajú dynamickým vývojom, ktorý je úzko prepojený s klimatickými cieľmi Európskej únie, rozvojom digitalizácie a transformáciou energetického sektora. Očakáva sa, že budovy budú nielen energeticky efektívne, ale aj inteligentné, vysoko automatizované a schopné aktívne spolupracovať s energetickou infraštruktúrou.

Rastúci podiel obnoviteľných zdrojov energie, rozvoj umelej inteligencie a decentralizovaných energetických systémov vytvárajú predpoklady na vznik budov, ktoré budú schopné samostatne riadiť svoju energetickú bilanciu a minimalizovať environmentálne dopady počas celého životného cyklu.

Do roku 2050 sa predpokladá výrazný rozvoj umelej inteligencie v riadení budov, energetických komunít, vodíkových technológií, inteligentných energetických sietí a autonómnych energetických systémov.

### AI riadenie budov

Umelá inteligencia bude zohrávať čoraz významnejšiu úlohu pri prevádzke budov. Moderné algoritmy budú schopné analyzovať veľké objemy dát, predvídať budúce potreby energie a automaticky optimalizovať prevádzku technických systémov.

Budúce aplikácie AI budú zahŕňať prediktívne riadenie vykurovania a chladenia, optimalizáciu spotreby energie, inteligentné riadenie fotovoltických systémov a batériových úložísk, prediktívnu údržbu zariadení a automatické prispôbovanie prevádzky budovy potrebám používateľov. Očakáva sa, že využitie umelej inteligencie prinesie ďalšie významné úspory energie a zároveň zvýši komfort používateľov.

### Energetické komunity

Energetické komunity predstavujú nový model výroby a zdieľania energie medzi viacerými budovami alebo používateľmi. Budovy už nebudú fungovať izolovane, ale budú prepojené do lokálnych energetických systémov.

Ich hlavnými prínosmi sú efektívnejšie využívanie energie z obnoviteľných zdrojov, najmä fotovoltických systémov, znižovanie nákladov na energiu, vyššia energetická sebestačnosť a podpora decentralizovanej energetiky. Energetické komunity sa postupne stávajú významnou súčasťou európskej energetickej politiky a ich význam bude v nasledujúcich desaťročiach narastať.

### Vodíkové technológie

Vodík sa považuje za jeden z perspektívnych energetických nosičov budúcnosti. V budovách môže slúžiť ako forma dlhodobej akumulácie energie alebo ako palivo pre palivové články.

Jeho využitie sa predpokladá najmä pri sezónnom skladovaní energie, výrobe elektrickej energie v palivových článkoch, podpore vykurovania budov a integrácii s obnoviteľnými zdrojmi energie. Rozvoj vodíkových technológií môže významne prispieť k riešeniu problému dlhodobej akumulácie energie z fotovoltických a veterných systémov.

### Inteligentné siete

Inteligentné energetické siete (Smart Grids) predstavujú moderný systém distribúcie energie založený na digitálnych technológiách a obojsmernej komunikácii medzi výrobcami, spotrebiteľmi a prevádzkovateľmi siete.

Ich prínos spočíva najmä v efektívnejšom riadení energetických tokov, integrácii obnoviteľných zdrojov energie, podpore elektromobility, zvyšovaní stability energetickej sústavy a optimalizácii spotreby energie. Budovy budú v budúcnosti aktívnou súčasťou inteligentných sietí a budú schopné reagovať na aktuálnu situáciu v energetickom systéme.

### Autonómne energetické systémy

Jedným z najvýznamnejších trendov je vznik autonómnych energetických systémov schopných fungovať s minimálnou závislosťou od externých dodávok energie.

Takéto systémy budú kombinovať fotovoltické elektrárne, batériové úložiská, tepelné čerpadlá, vodíkové technológie a inteligentné riadiace systémy do jedného integrovaného celku. Výsledkom budú budovy schopné samostatne vyrábať, ukladať a riadiť energiu podľa aktuálnych potrieb.

### **Perspektíva budúcnosti**

Technologický vývoj smeruje k budovám, ktoré budú plne integrované do digitálneho a decentralizovaného energetického prostredia. Kombinácia umelej inteligencie, energetických komunít, vodíkových technológií, inteligentných sietí a autonómnych energetických systémov vytvorí základ novej generácie budov s minimálnou uhlíkovou stopou.

Tieto technológie budú významne prispievať k dosahovaniu klimatickej neutrality, zvyšovaniu energetickej bezpečnosti a transformácii stavebného sektora smerom k udržateľnej budúcnosti. Do roku 2050 sa očakáva, že mnohé z nich sa stanú štandardnou súčasťou budov s nulovými emisiami (ZEB) a inteligentných miest budúcnosti (Obrázok 25).

Technológie predstavujú jeden z najdôležitejších pilierov nízkouhlíkových budov a zohrávajú rozhodujúcu úlohu pri dosahovaní energetickej efektívnosti, znižovaní prevádzkových emisií a podpore klimatickej neutrality. Moderné budovy už nie sú založené iba na kvalitnej obálke a vhodných stavebných materiáloch, ale využívajú komplexné technické systémy, ktoré umožňujú efektívne riadenie výroby, distribúcie a spotreby energie.

Kapitola predstavila najvýznamnejšie technológie využívané v nízkouhlíkových budovách. Osobitná pozornosť bola venovaná tepelným čerpadlám, ktoré využívajú energiu zo vzduchu, zeme alebo vody a umožňujú výrazne znižovať spotrebu fosílnych palív. Vďaka vysokým hodnotám koeficientu výkonnosti COP patria medzi najefektívnejšie systémy vykurovania a prípravy teplej vody.

Významnú úlohu zohrávajú aj fotovoltické systémy, ktoré premieňajú slnečné žiarenie na elektrickú energiu a umožňujú lokálnu výrobu energie priamo v budove. V kombinácii s batériovými úložiskami zvyšujú energetickú sebestačnosť objektov a podporujú efektívnejšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie. Dôležitým doplnkom sú solárne termické systémy využívané na prípravu teplej vody a podporu vykurovania.

Kapitola zdôraznila aj význam systémov rekuperácie tepla, ktoré umožňujú zabezpečiť kvalitné vnútorné prostredie pri minimálnych tepelných stratách. Moderné rekuperačné jednotky dosahujú účinnosť spätného získavania tepla až 95 %, čím významne prispievajú k znižovaniu potreby energie na vykurovanie.



**Obrázok 25 Budúce trendy**

Pozornosť bola venovaná geotermálnym systémom, ktoré využívajú energiu geologického podlažia a predstavujú stabilný a efektívny zdroj energie počas celého roka. Ich kombinácia s tepelnými čerpadlami patrí medzi najúčinnnejšie riešenia využívané v energeticky efektívnych budovách. Významným prvkom moderných budov sa stávajú aj inteligentné technológie. Smart Building koncept, Building Management System (BMS), Internet vecí (IoT), umelá inteligencia a digitálne dvojčatá budov umožňujú monitorovanie a optimalizáciu prevádzky v reálnom čase. Tieto systémy podporujú efektívne využívanie energie, znižovanie prevádzkových nákladov a implementáciu prediktívnej údržby technických zariadení. Kapitola sa venovala aj energetickému manažmentu budov, ktorý využíva ukazovatele ako Energy Use Intensity (EUI) na hodnotenie energetickej výkonnosti budov. Dôležitú úlohu zohrávajú aj mikrogridy, ktoré prepájajú obnoviteľné zdroje energie, batériové úložiská a inteligentné riadenie do lokálnych energetických systémov schopných fungovať s vysokou mierou energetickej nezávislosti. Významnou súčasťou nízkouhlíkových budov sa stáva aj podpora elektromobility prostredníctvom integrácie nabíjacích staníc pre elektrické vozidlá. Prepojenie elektromobility s obnoviteľnými zdrojmi energie a inteligentným energetickým manažmentom vytvára nové možnosti znižovania emisií v sektore dopravy. Budúci vývoj technológií smeruje k využívaniu umelej inteligencie, energetických komunít, vodíkových technológií, inteligentných energetických sietí a autonómnych energetických systémov. Tieto inovácie umožnia budovám fungovať ako aktívne prvky energetickej infraštruktúry schopné samostatne vyrábať, ukladať a optimalizovať energiu. Na základe uvedených poznatkov možno konštatovať, že technológie predstavujú základný pilier nízkouhlíkových budov. Tepelné čerpadlá, fotovoltické systémy, rekuperácia tepla a inteligentné riadenie umožňujú výrazné zníženie spotreby energie a emisií CO<sub>2</sub>. Budúce budovy budú fungovať ako inteligentné energetické systémy schopné optimalizovať vlastnú prevádzku pomocou umelej inteligencie, digitálnych dvojčiat a lokálnych obnoviteľných zdrojov energie. Tieto technológie budú zohrávať kľúčovú úlohu pri dosahovaní klimatickej neutrality stavebného sektora do roku 2050 (Obrázok 26).





**Obrázok 26** Technológie v nízkouhlíkových budovách



## 7 NÁVRH A PROJEKTOVANIE NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV

### 7.1 Úvod

Návrh a projektovanie predstavujú rozhodujúcu etapu životného cyklu budovy, počas ktorej sa prijímajú strategické rozhodnutia s dlhodobým vplyvom na jej energetickú hospodárnosť, uhlíkovú stopu, ekonomickú efektívnosť a celkovú environmentálnu výkonnosť. Práve v počiatočných fázach projektového procesu sa určuje základná koncepcia budovy, jej architektonické riešenie, orientácia voči svetovým stranám, tvar, konštrukčný systém, výber stavebných materiálov a technických zariadení. Tieto rozhodnutia následne ovplyvňujú prevádzku objektu počas celého jeho životného cyklu, ktorý môže presiahnuť niekoľko desaťročí.

V kontexte nízkouhlíkoveho stavebníctva predstavuje projektová fáza najvýznamnejší nástroj na znižovanie uhlíkovej stopy budov. Hoci opatrenia realizované počas prevádzky môžu priniesť významné úspory energie a redukciu emisií skleníkových plynov, ich účinnosť je vo veľkej miere podmienená rozhodnutiami prijatými už počas návrhu. Moderné projektovanie preto smeruje k optimalizácii budovy ešte pred začiatkom výstavby s cieľom minimalizovať environmentálne dopady počas celého jej životného cyklu.

Najväčší potenciál znižovania uhlíkovej stopy vzniká už v konceptuálnej fáze projektu. Rozhodnutia prijaté v tomto období ovplyvňujú energetickú hospodárnosť budovy, množstvo a druh použitých stavebných materiálov, investičné aj prevádzkové náklady a celkové environmentálne dopady stavby počas jej životnosti. Výsledky viacerých odborných štúdií poukazujú na to, že približne 70 až 80 % budúcich environmentálnych dopadov budovy je determinovaných už v počiatočných etapách projektovania. Architektonické a technické rozhodnutia prijaté ešte pred začiatkom realizácie preto zásadným spôsobom ovplyvňujú energetickú náročnosť budovy, množstvo zabudovaného uhlíka, jej životnosť aj ekonomickú efektívnosť.

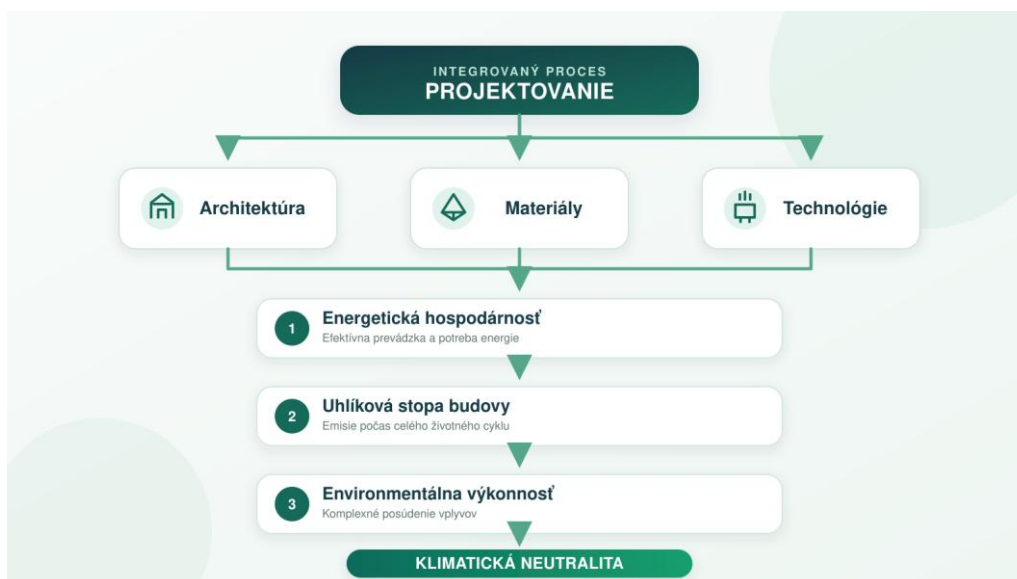
Osobitnú pozornosť je potrebné venovať orientácii budovy voči svetovým stranám, jej tvaru a kompaktnosti, návrhu obálky budovy, voľbe konštrukčného systému, výberu stavebných materiálov, návrhu technických zariadení a integrácii obnoviteľných zdrojov energie. Vzájomná koordinácia týchto rozhodnutí vytvára základ pre dosiahnutie vysokej energetickej efektívnosti a nízkej uhlíkovej stopy počas celej životnosti objektu.

Moderné projektovanie nízkouhlíkových budov je založené na princípoch integrovaného procesu navrhovania (Integrated Design Process – IDP). Tento prístup predpokladá úzku spoluprácu architektov, projektantov, energetických špecialistov, odborníkov na metodiku Life Cycle Assessment (LCA), investorov aj budúcich používateľov už od najskorších etáp projektového procesu. Cieľom je optimalizovať budovu ako jeden vzájomne prepojený systém, v ktorom jednotlivé rozhodnutia podporujú dosahovanie spoločných environmentálnych, technických a ekonomických cieľov.

Integrovaný návrh umožňuje optimalizovať energetickú hospodárnosť budovy, znižovať zabudovaný uhlík (Embodied Carbon), efektívne využívať obnoviteľné zdroje energie, minimalizovať prevádzkové emisie a zvyšovať ekonomickú efektívnosť stavebných projektov. Významnú úlohu pritom zohrávajú digitálne technológie, predovšetkým Building Information Modeling (BIM), energetické simulácie, metodika Life Cycle Assessment (LCA), hodnotenie Whole Life Carbon (WLC) a digitálne dvojčatá budov (Digital Twins). Tieto nástroje umožňujú analyzovať dôsledky projektových rozhodnutí ešte pred začiatkom výstavby a optimalizovať návrh z pohľadu energetických, ekonomických aj environmentálnych kritérií.

Rastúci význam získava aj európsky rámec Level(s) a požiadavky smernice EPBD 2024, ktoré zdôrazňujú potrebu komplexného hodnotenia budov počas celého životného cyklu. Projektovanie sa tak postupne presúva od hodnotenia samotnej energetickej hospodárnosti k integrovanému posudzovaniu environmentálnych dopadov, uhlíkovej stopy, využívania zdrojov, adaptability budov a ich pripravenosti na budúce klimatické výzvy.

Cieľom tejto kapitoly je analyzovať základné princípy navrhovania nízkouhlíkových budov, identifikovať rozhodujúce faktory ovplyvňujúce ich uhlíkovú stopu a predstaviť moderné metodiky, digitálne nástroje a projektové prístupy využívané pri navrhovaní budov s minimálnym environmentálnym dopadom počas celého ich životného cyklu (Obrázok 27).



**Obrázok 27** Vplyv projektových rozhodnutí na životný cyklus budovy

## 7.2 Integrovaný proces navrhovania

Integrovaný proces navrhovania (Integrated Design Process – IDP) predstavuje moderný prístup k projektovaniu budov založený na úzkej spolupráci všetkých odborníkov zapojených do prípravy, realizácie a budúcej prevádzky stavebného diela. Na rozdiel od tradičného sekvenčného projektovania, pri ktorom jednotlivé profesie pracujú prevažne samostatne a ich činnosť na seba nadväzuje postupne, integrovaný proces vytvára priestor na spoločné rozhodovanie už od najskorších etáp návrhu.

Základnou myšlienkou integrovaného projektovania je posudzovať budovu ako jeden vzájomne prepojený systém, v ktorom architektonické, konštrukčné, energetické, technické, environmentálne aj ekonomické rozhodnutia navzájom ovplyvňujú celkovú kvalitu výsledného riešenia. Takýto prístup umožňuje efektívnejšie koordinovať jednotlivé profesie, identifikovať potenciálne problémy už v počiatočných fázach projektu a prijímať rozhodnutia založené na komplexnom hodnotení budovy počas celého jej životného cyklu.

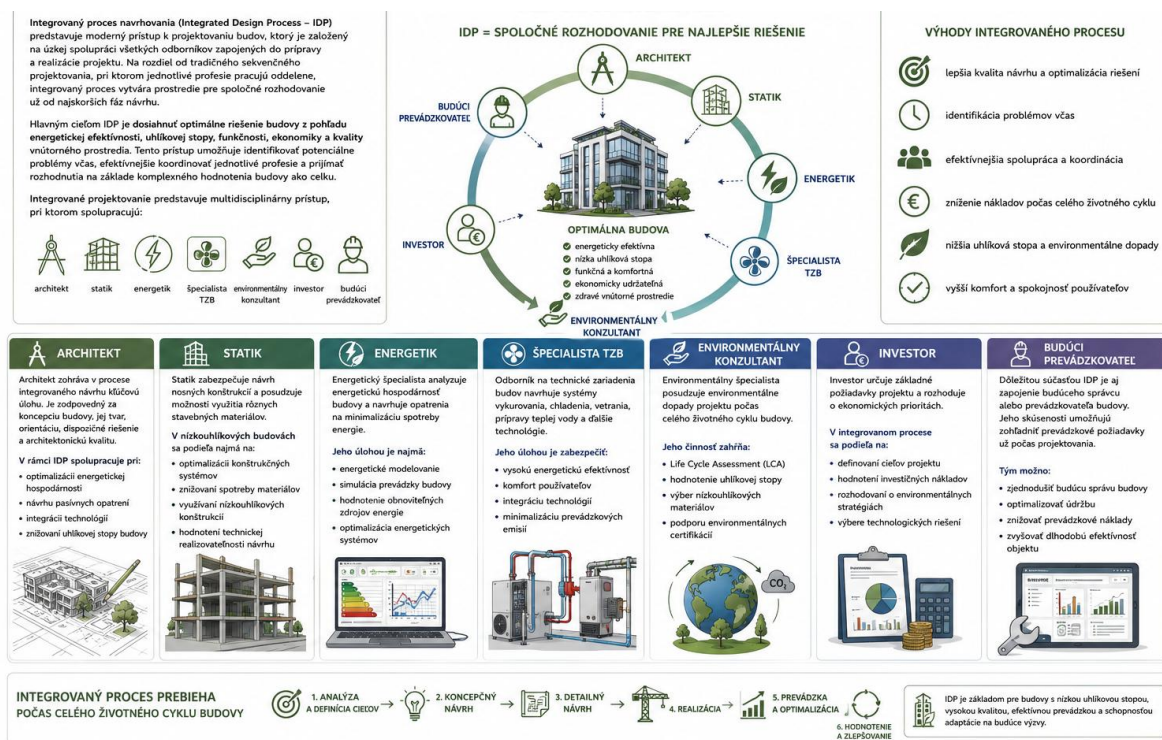
Hlavným cieľom Integrated Design Process je navrhnúť budovu, ktorá dosahuje optimálnu rovnováhu medzi energetickou efektívnosťou, uhlíkovou stopou, technickou funkčnosťou, ekonomickou efektívnosťou a kvalitou vnútorného prostredia. Význam integrovaného projektovania pritom nespočíva iba v optimalizácii jednotlivých technických riešení, ale predovšetkým v hľadaní ich vzájomnej synergie, ktorá umožňuje dosahovať vyššiu environmentálnu aj ekonomickú výkonnosť budovy.

Integrovaný proces navrhovania je založený na multidisciplinárnej spolupráci odborníkov z rôznych oblastí stavebníctva. Do projektového tímu spravidla patria:

- architekt,
- statik,
- energetický špecialista,
- projektant technických zariadení budov (TZB),
- odborník na environmentálne hodnotenie a metodiku Life Cycle Assessment (LCA),
- investor,
- budúci správca alebo prevádzkovateľ budovy.

Zapojenie všetkých zainteresovaných strán už v úvodných etapách projektového procesu umožňuje efektívnejšie koordinovať jednotlivé rozhodnutia, minimalizovať riziko dodatočných zmien počas realizácie stavby a súčasne vytvárať predpoklady na optimalizáciu uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy (Obrázok 25).

Integrovaný proces navrhovania sa v súčasnosti považuje za jeden zo základných princípov projektovania nízkouhlíkových budov. V spojení s metodikami Building Information Modeling (BIM), Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a digitálnymi simulačnými nástrojmi umožňuje prijímať projektové rozhodnutia na základe objektívnych údajov a vytvárať budovy spĺňajúce požiadavky energetickej efektívnosti, environmentálnej udržateľnosti aj klimatickej neutrality (Obrázok 28).



**Obrázok 28** Integrované navrhovanie budov

## Architekt

Architekt zohráva v procese integrovaného navrhovania (Integrated Design Process – IDP) kľúčovú úlohu. Je zodpovedný za vytvorenie základnej koncepcie budovy, jej tvarové riešenie, orientáciu voči svetovým stranám, dispozičné usporiadanie a celkovú architektonickú kvalitu. Už v počiatočných etapách návrhu prijíma rozhodnutia, ktoré významne ovplyvňujú energetickú hospodárnosť, uhlíkovú stopu a budúce prevádzkové náklady objektu.

V rámci integrovaného navrhovania spolupracuje s ostatnými odborníkmi na optimalizácii energetickej hospodárnosti budovy, návrhu pasívnych opatrení, integrácii technických systémov a znížení zabudovaného uhlíka.

## Statik

Statik zabezpečuje návrh nosných konštrukcií a posudzuje možnosti využitia jednotlivých konštrukčných systémov a stavebných materiálov. V nízkouhlíkových budovách sa zameriava predovšetkým na optimalizáciu konštrukčných riešení, znížovanie spotreby stavebných materiálov a využívanie nízkouhlíkových konštrukčných systémov pri zachovaní požadovanej bezpečnosti a spoľahlivosti stavby.

Úzko spolupracuje s architektom pri hľadaní riešení, ktoré spájajú architektonickú kvalitu s vysokou materiálovou efektívnosťou a nízkou uhlíkovou stopou.

### **Energetický špecialista**

Energetický špecialista posudzuje energetickú hospodárnosť budovy a navrhuje opatrenia na minimalizáciu jej energetickej náročnosti. Využíva energetické modelovanie, simuluje prevádzku budovy a hodnotí možnosti využitia obnoviteľných zdrojov energie. Na základe výsledkov simulácií optimalizuje návrh technických systémov tak, aby budova spĺňala požiadavky na nízkoenergetické, pasívne alebo nulovoemisné štandardy.

Špecialista technických zariadení budov

Odborník na technické zariadenia budov (TZB) navrhuje systémy vykurovania, chladenia, vetrania, prípravy teplej vody, osvetlenia a ďalšie technické zariadenia zabezpečujúce prevádzku budovy. Jeho úlohou je navrhnúť technológie s vysokou energetickou účinnosťou, zabezpečiť komfort používateľov a koordinovať ich vzájomnú spoluprácu s obnoviteľnými zdrojmi energie a inteligentnými systémami riadenia.

### **Environmentálny konzultant**

Environmentálny konzultant hodnotí environmentálne dopady projektu počas celého životného cyklu budovy. Využíva metodiky Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC) na hodnotenie uhlíkovej stopy stavebných materiálov a navrhovaných riešení. Zároveň odporúča využívanie nízkouhlíkových materiálov a podporuje získanie environmentálnych certifikácií, ako sú BREEAM, LEED alebo DGNB.

### **Investor**

Investor určuje základné požiadavky projektu, stanovuje ekonomické priority a rozhoduje o úrovni environmentálnych ambícií pripravovanej budovy. V procese integrovaného navrhovania sa podieľa na definovaní cieľov projektu, posudzovaní investičných nákladov, hodnotení ekonomickej efektívnosti jednotlivých riešení a výbere technológií, ktoré budú implementované počas realizácie.

### **Budúci prevádzkovateľ**

Významnou súčasťou integrovaného navrhovania je aj zapojenie budúceho správcu alebo prevádzkovateľa budovy. Jeho skúsenosti umožňujú zohľadniť požiadavky na správu, údržbu a prevádzku už počas projektovania. Takýto prístup uľahčuje budúcu správu objektu, optimalizuje servisné zásahy, znižuje prevádzkové náklady a zvyšuje dlhodobú efektívnosť budovy.

### **Budova ako integrovaný systém**

Základnou filozofiou integrovaného procesu navrhovania je vnímanie budovy ako jedného vzájomne prepojeného systému. Jednotlivé stavebné konštrukcie, technické zariadenia a obnoviteľné zdroje energie sa neposudzujú samostatne, ale ako navzájom spolupracujúce prvky ovplyvňujúce celkovú energetickú, ekonomickú a environmentálnu výkonnosť budovy. Takýto prístup umožňuje optimalizovať energetickú hospodárnosť, minimalizovať zabudovaný aj prevádzkový uhlík, zvyšovať komfort používateľov, znižovať prevádzkové náklady a maximalizovať environmentálnu výkonnosť objektu počas celého jeho životného cyklu. V porovnaní s tradičným projektovaním prináša vyššiu kvalitu návrhu, lepšiu koordináciu jednotlivých profesií a efektívnejšie využívanie stavebných materiálov aj technológií.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Integrovaný proces navrhovania patrí medzi základné princípy moderného nízkouhlíkového stavebníctva. Keďže rozhodujúca časť budúcich environmentálnych dopadov budovy vzniká už počas počiatočných etáp projektovania, predstavuje Integrated Design Process (IDP) jeden z najúčinnějších nástrojov na optimalizáciu energetickej hospodárnosti, uhlíkovej stopy a ekonomickej efektívnosti budov.

Úzka spolupráca architektov, statikov, energetických špecialistov, odborníkov na technické zariadenia budov, environmentálnych konzultantov, investorov a budúcich prevádzkovateľov umožňuje navrhovať budovy ako jeden integrovaný systém. V spojení s metodikami Building

Information Modeling (BIM), Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) vytvára integrovaný návrh základ pre realizáciu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a budúcich klimaticky neutrálnych stavieb (Obrázok 29).



Obrázok 29 Integrovaný proces navrhovania budov

## 7.2.1 Výhody

Integrovaný proces navrhovania (Integrated Design Process – IDP) prináša významné prínosy počas celého životného cyklu budovy. Včasná spolupráca všetkých účastníkov projektového procesu umožňuje prijímať rozhodnutia založené na komplexnom hodnotení environmentálnych, technických a ekonomických aspektov stavby. Výsledkom je budova s vyššou energetickou efektívnosťou, nižšou uhlíkovou stopou, kvalitnejším technickým riešením a priaznivejšími prevádzkovými nákladmi.

Prínosy integrovaného navrhovania možno rozdeliť do troch základných oblastí – environmentálnej, technickej a ekonomickej. Ich vzájomné prepojenie vytvára predpoklady na optimalizáciu budovy počas celého jej životného cyklu.

### Environmentálne prínosy

Jedným z hlavných dôvodov uplatňovania integrovaného procesu navrhovania je možnosť systematicky znižovať environmentálne dopady budovy už v počiatočných etapách projektového procesu. Včasná spolupráca architektov, projektantov, energetických špecialistov a odborníkov na environmentálne hodnotenie umožňuje optimalizovať návrh z pohľadu uhlíkovej stopy, energetickej hospodárnosti aj efektívneho využívania prírodných zdrojov. Významným prínosom je predovšetkým znižovanie uhlíkovej stopy budovy. Integrované projektovanie umožňuje optimalizovať výber stavebných materiálov, konštrukčných systémov a technických zariadení s cieľom minimalizovať emisie skleníkových plynov počas celého životného cyklu stavby. Projektový tím môže už vo fáze návrhu využívať materiály s nízkou uhlíkovou stopou, optimalizovať konštrukčné riešenia, redukovať zabudovaný uhlík (Embodied Carbon) a efektívne integrovať obnoviteľné zdroje energie. Výsledkom je významné zníženie celkovej uhlíkovej stopy budovy. Rovnako dôležitým prínosom je znižovanie spotreby energie. Integrovaný návrh umožňuje koordinovať architektonické riešenie, technické zariadenia budovy a energetické systémy ako jeden funkčný celok. Optimalizácia orientácie budovy, efektívne využitie pasívnych solárnych ziskov,

kvalitná tepelná ochrana obálky a návrh vysokoúčinných technických systémov vytvárajú predpoklady na dosiahnutie veľmi nízkej potreby energie počas prevádzky. Takýto prístup umožňuje spĺňať požiadavky budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) aj budov s nulovými emisiami (ZEB).

### **Technické prínosy**

Integrovaný proces navrhovania významne zvyšuje kvalitu projektovej prípravy a koordináciu jednotlivých profesií. Spoločná práca architektov, statikov, projektantov technických zariadení budov, energetikov a ďalších odborníkov umožňuje riešiť technické problémy už v počiatočných fázach projektu, čím sa výrazne znižuje riziko projektových chýb. Výsledkom integrovaného prístupu je vyššia technická úroveň navrhovaných budov, efektívnejšie využívanie moderných technológií a lepšia optimalizácia prevádzkových parametrov. Budovy navrhnuté týmto spôsobom dosahujú vyššiu spoľahlivosť technických systémov, jednoduchšiu prevádzku a dlhšiu životnosť. Významným prínosom je aj eliminácia kolízií medzi jednotlivými profesiami. Pri tradičnom projektovaní sa technické konflikty často identifikujú až počas výstavby, čo vedie k dodatočným úpravám projektu, časovým sklzom a zvyšovaniu investičných nákladov. Integrované projektovanie umožňuje tieto problémy identifikovať už počas projektovej prípravy, čím sa znižuje počet zmien počas realizácie stavby a zvyšuje sa efektívnosť celého stavebného procesu.

### **Ekonomické prínosy**

Hoci integrovaný proces navrhovania vyžaduje intenzívnejšiu spoluprácu už v počiatočných etapách projektu, z dlhodobého hľadiska prináša významné ekonomické výhody. Optimalizácia návrhu umožňuje znižovať náklady počas celej životnosti budovy a zároveň zvyšovať návratnosť investovaných prostriedkov. Najvýznamnejším ekonomickým prínosom sú nižšie prevádzkové náklady. Energeticky efektívne technické systémy, kvalitná tepelná ochrana a optimalizované hospodárenie s energiou vedú k výrazným úsporám nákladov na vykurovanie, chladenie, osvetlenie, vetranie aj údržbu technických zariadení. Tieto úspory sa kumulujú počas celej životnosti budovy a významne ovplyvňujú jej ekonomickú efektívnosť. Integrovaný návrh zároveň podporuje rozhodovanie založené na metodike Life Cycle Costing (LCC), ktorá hodnotí nielen počiatočné investičné náklady, ale aj náklady na prevádzku, údržbu, obnovu a ukončenie životnosti budovy. Takýto prístup umožňuje prijímať rozhodnutia zohľadňujúce dlhodobú ekonomickú efektívnosť projektu, skracovať návratnosť investícií do energetických opatrení, zvyšovať trhovú hodnotu nehnuteľností a znižovať prevádzkové riziká.

### **Význam integrovaného navrhovania pre nízkouhlíkové budovy**

Environmentálne, technické a ekonomické prínosy integrovaného procesu navrhovania jednoznačne potvrdzujú jeho význam pri projektovaní nízkouhlíkových budov. Včasná spolupráca všetkých odborníkov umožňuje optimalizovať budovu ako jeden vzájomne prepojený systém a prijímať rozhodnutia založené na objektívnom hodnotení ich dlhodobých dôsledkov.

V spojení s metodikami Building Information Modeling (BIM), Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC) a európskym rámcom Level(s) predstavuje integrovaný proces navrhovania jeden z najúčinnějších nástrojov na znižovanie uhlíkovej stopy budov, optimalizáciu využívania prírodných zdrojov a podporu klimatickej neutrality počas celého životného cyklu stavebných diel.

## **7.3 Pasívne princípy navrhovania**

### **7.3.1 Podstata pasívneho dizajnu**

Pasívny dizajn predstavuje jeden zo základných princípov navrhovania nízkouhlíkových a energeticky efektívnych budov. Je založený na maximálnom využívaní prirodzených



klimatických podmienok a fyzikálnych vlastností budovy s cieľom zabezpečiť tepelný komfort používateľov pri minimálnej potrebe dodatočnej energie.

Na rozdiel od aktívnych technológií, akými sú tepelné čerpadlá, klimatizačné systémy alebo mechanické vykurovanie, pasívny dizajn využíva architektonické, urbanistické a konštrukčné riešenia, ktoré prirodzene ovplyvňujú energetickú bilanciu budovy. Tieto opatrenia sa navrhujú už v počiatočných etapách projektového procesu a významným spôsobom určujú budúcu spotrebu energie počas celej životnosti objektu.

Základným cieľom pasívneho dizajnu je minimalizovať potrebu vykurovania a chladenia prostredníctvom optimálneho využitia prírodných zdrojov energie a kvalitného architektonického riešenia.

### **Princíp fungovania**

Podstata pasívneho dizajnu spočíva v optimalizácii vzájomného pôsobenia budovy a okolitého prostredia. Správne navrhnutá budova dokáže efektívne využívať slnečné žiarenie počas zimného obdobia, obmedzovať prehrievanie interiéru v letných mesiacoch a minimalizovať tepelné straty prostredníctvom kvalitnej obálky budovy.

Na rozdiel od aktívnych technológií pasívne opatrenia nevyžadujú počas prevádzky dodatočnú energiu ani zložité technické zariadenia. Ich účinok sa prejavuje nepretržite počas celej životnosti budovy, čím významne prispievajú k dlhodobej energetickej efektívnosti a znižovaniu prevádzkových emisií.

### **Základné princípy pasívneho návrhu**

Úspešný pasívny návrh je založený na vhodnej orientácii budovy voči svetovým stranám, optimalizácii jej tvaru a kompaktnosti, efektívnom využívaní pasívnych solárnych ziskov, kvalitnej tepelnej izolácii obálky budovy, eliminácii tepelných mostov, účinnom tienení presklených plôch, využívaní prirodzeného vetrania a vhodnej akumulácii tepla v stavebných konštrukciách.

Vzájomná kombinácia týchto opatrení umožňuje významne znižovať potrebu energie na vykurovanie aj chladenie a vytvára základ pre návrh budov s veľmi nízkou energetickou náročnosťou.

### **Pasívne využívanie slnečnej energie**

Jedným z najdôležitejších prvkov pasívneho dizajnu je efektívne využívanie slnečného žiarenia. V zimnom období môžu vhodne orientované presklené plochy zabezpečovať významné tepelné zisky bez potreby dodatočného vykurovania, čím sa znižuje spotreba energie a prevádzkové náklady budovy.

Počas letných mesiacov je naopak nevyhnutné zabezpečiť účinné tienenie, ktoré obmedzuje prehrievanie interiéru a znižuje potrebu mechanického chladenia. Správne navrhnuté pasívne solárne opatrenia tak umožňujú využívať bezplatnú energiu zo slnka počas zimy a súčasne chrániť budovu pred nadmerným prehrievaním v lete.

### **Význam obálky budovy**

Kľúčovým predpokladom úspešného pasívneho návrhu je kvalitná obálka budovy. Vysokoúčinná tepelná izolácia, eliminácia tepelných mostov, kvalitné okná a vysoká vzduchotesnosť minimalizujú tepelné straty a umožňujú efektívne využívať získané teplo.

Správne navrhnutá obálka budovy predstavuje základ energetickej efektívnej prevádzky a významne ovplyvňuje potrebu energie na vykurovanie aj chladenie počas celej životnosti objektu.

### **Prínosy pasívneho dizajnu**

Pasívny dizajn prináša významné environmentálne, technické aj ekonomické prínosy. Umožňuje znižovať spotrebu energie, minimalizovať prevádzkové náklady, zvyšovať tepelný komfort používateľov a obmedzovať emisie skleníkových plynov. Súčasne zvyšuje energetickú

odolnosť budovy, znižuje závislosť od technických zariadení a podporuje dlhodobú udržateľnosť stavebných riešení.

Keďže väčšina pasívnych opatrení nevyžaduje dodatočnú energiu ani náročnú údržbu, ich pozitívny vplyv sa prejavuje počas celej životnosti budovy.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Pasívny dizajn predstavuje základný predpoklad úspešného návrhu nízkouhlíkových budov. Každá jednotka energie, ktorú nie je potrebné vyrobiť alebo spotrebovať, znamená zníženie prevádzkových nákladov aj emisií skleníkových plynov. Z tohto dôvodu sa pasívne opatrenia považujú za najefektívnejší spôsob znižovania prevádzkového uhlíka (Operational Carbon) už v počiatočných etapách návrhu.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov integrovaného procesu navrhovania (Integrated Design Process – IDP) tvorí pasívny dizajn základ energeticky efektívnej budovy, na ktorý následne nadväzujú aktívne technológie, ako sú tepelné čerpadlá, fotovoltické systémy, rekuperácia tepla a inteligentné riadenie budovy.

V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), pasívnych domoch a budovách s nulovými emisiami (ZEB) predstavuje kombinácia pasívnych a aktívnych opatrení najúčinnnejší spôsob dosahovania vysokej energetickej efektívnosti, nízkej uhlíkovej stopy a klimateckej neutrality počas celého životného cyklu budovy.

## **7.3.2 Hlavné princípy**

Pasívny dizajn je založený na súbore architektonických a konštrukčných princípov, ktorých cieľom je minimalizovať potrebu energie na vykurovanie, chladenie a vetranie budovy. Správna aplikácia týchto princípov umožňuje dosahovať vysokú energetickú efektívnosť už prostredníctvom samotného návrhu budovy, ešte pred využitím aktívnych technologických systémov.

Úspešný pasívny návrh vychádza zo vzájomného pôsobenia viacerých opatrení, medzi ktoré patrí vhodná orientácia budovy, kompaktnosť jej tvaru, kvalitná tepelná izolácia, eliminácia tepelných mostov, vysoká vzduchotesnosť obálky, efektívne využívanie pasívnych solárnych ziskov a prirodzené vetranie. Iba ich vzájomná kombinácia umožňuje dosiahnuť vysokú energetickú hospodárnosť a dlhodobú prevádzkovú efektívnosť budovy.

### **Orientácia budovy**

Správna orientácia budovy voči svetovým stranám patrí medzi najvýznamnejšie rozhodnutia prijímané už v úvodných etapách projektovania. Umožňuje efektívne využívať slnečné žiarenie počas zimného obdobia a súčasne obmedzovať prehrievanie interiéru počas leta.

Pri návrhu sa obytné priestory orientujú prednostne na južnú stranu, kde možno maximalizovať pasívne solárne zisky. Naopak, severná fasáda sa navrhuje s obmedzenou plochou presklenia, aby sa minimalizovali tepelné straty. Dôležitou súčasťou návrhu je aj vhodné tienenie južných fasád, ktoré zabraňuje nadmernému prehrievaniu počas letných mesiacov.

### **Kompaktnosť tvaru**

Energetická hospodárnosť budovy významne závisí aj od jej geometrického riešenia. Kompaktný tvar znižuje plochu obálky vystavenej vonkajšiemu prostrediu, čím sa obmedzujú tepelné straty a znižuje spotreba energie. Najefektívnejšie sú budovy s jednoduchou geometriou a nízkym pomerom plochy obálky k vykurovanému objemu (A/V faktor). Takéto riešenie prináša nielen nižšie prevádzkové straty, ale často aj nižšie investičné náklady na realizáciu obvodového plášťa.

### **Tepelná izolácia**

Kvalitná tepelná izolácia predstavuje základný prvok pasívneho návrhu. Jej úlohou je minimalizovať prestup tepla cez obvodové konštrukcie budovy a zabezpečiť stabilné vnútorné prostredie počas celého roka. Osobitná pozornosť sa venuje izolácii obvodových stien,



strešných konštrukcií, podláh a základových konštrukcií. Správne navrhnutá tepelná ochrana významne znižuje potrebu energie na vykurovanie aj chladenie a vytvára základ pre energeticky efektívnu prevádzku budovy.

### **Eliminácia tepelných mostov**

Dôležitým predpokladom kvalitného pasívneho návrhu je eliminácia tepelných mostov. Ide o miesta stavebných konštrukcií, v ktorých dochádza k zvýšenému prestupu tepla, čo môže spôsobovať energetické straty, povrchovú kondenzáciu vodnej pary a vznik plesní.

Minimalizácia tepelných mostov sa dosahuje vhodným riešením konštrukčných detailov, zabezpečením súvislej vrstvy tepelnej izolácie a obmedzením prerušenia izolačných vrstiev nosnými prvkami. Správne navrhnuté detaily prispievajú nielen k vyššej energetickej efektívnosti, ale aj k dlhšej životnosti stavebných konštrukcií.

### **Vzduchotesnosť obálky**

Významným parametrom pasívnych budov je vysoká vzduchotesnosť obálky. Nekontrolovaná infiltrácia vzduchu predstavuje významný zdroj tepelných strát a negatívne ovplyvňuje energetickú hospodárnosť objektu.

Kvalitná vzduchotesná obálka znižuje energetické straty, zvyšuje tepelný komfort používateľov a zabezpečuje správnu funkciu systémov riadeného vetrania s rekuperáciou tepla. V pasívnych budovách patrí vzduchotesnosť medzi základné kritériá kvality stavebného riešenia.

### **Pasívne solárne zisky**

Jedným zo základných princípov pasívneho dizajnu je efektívne využívanie slnečnej energie bez potreby technických zariadení. Slnečné žiarenie prenikajúce cez vhodne orientované presklené plochy prirodzene ohrieva vnútorné priestory budovy a znižuje potrebu vykurovania počas zimného obdobia. Na zabezpečenie priaznivej energetickej bilancie je však potrebné navrhnuť aj účinné tienenie, ktoré počas letných mesiacov obmedzuje prehrievanie interiéru a znižuje potrebu mechanického chladenia.

### **Prirodzené vetranie**

Prirodzené vetranie využíva tlakové a teplotné rozdiely medzi vnútorným a vonkajším prostredím na zabezpečenie výmeny vzduchu bez potreby mechanických zariadení. Správne navrhnutý systém prirodzeného vetrania prispieva k zlepšeniu kvality vnútorného ovzdušia, obmedzuje potrebu mechanického chladenia a zvyšuje tepelný komfort najmä počas prechodných období roka.

V moderných nízkouhlíkových budovách sa prirodzené vetranie často vhodne kombinuje s riadeným mechanickým vetraním a rekuperáciou tepla, čím sa spájajú výhody oboch systémov.

### **Význam pasívnych princípov pre nízkouhlíkové budovy**

Uvedené princípy tvoria základ energeticky efektívneho návrhu budov. Ich správna aplikácia umožňuje významne znižovať potrebu energie ešte pred implementáciou aktívnych technológií, ako sú tepelné čerpadlá, fotovoltaické systémy alebo inteligentné riadiace systémy. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Integrated Design Process (IDP) predstavuje pasívny dizajn najefektívnejší spôsob znižovania prevádzkového uhlíka (Operational Carbon) už vo fáze návrhu budovy. V kombinácii s obnoviteľnými zdrojmi energie a inteligentnými technológiami vytvára základ pre realizáciu pasívnych domov, budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB), ktoré predstavujú budúci štandard udržateľného stavebníctva.

## **7.4 Orientácia budovy**

### **7.4.1 Význam orientácie**

Orientácia budovy patrí medzi najvýznamnejšie rozhodnutia prijímané v počiatočných etapách projektového procesu. Správne umiestnenie objektu voči svetovým stranám umožňuje efektívne využívať slnečné žiarenie, prirodzené denné osvetlenie a klimatické podmienky lokality. Tieto faktory významne ovplyvňujú energetickú hospodárnosť budovy, tepelný komfort používateľov aj celkovú uhlíkovú stopu počas jej prevádzky. Na rozdiel od technických zariadení alebo stavebných materiálov nemožno orientáciu budovy po jej realizácii jednoducho meniť. Z tohto dôvodu patrí medzi najdôležitejšie strategické rozhodnutia pri navrhovaní nízkouhlíkových budov. Výsledky viacerých štúdií ukazujú, že správna orientácia môže znížiť potrebu energie približne o 10 až 30 %, pričom konkrétna úspora závisí od klimatických podmienok, typu budovy, rozsahu presklených plôch a kvality ostatných pasívnych opatrení.

### **Využitie slnečnej energie**

Hlavným cieľom správnej orientácie budovy je maximalizovať využitie slnečného žiarenia počas zimného obdobia a zároveň minimalizovať riziko prehrievania interiéru v letných mesiacoch. Efektívne využívanie pasívnych solárnych ziskov umožňuje znižovať potrebu vykurovania, zlepšovať prirodzené osvetlenie vnútorných priestorov a obmedzovať spotrebu elektrickej energie na umelé osvetlenie. Správne navrhnutá orientácia tak významne prispieva k optimalizácii energetickej bilancie budovy.

### **Južná orientácia**

V klimatických podmienkach strednej Európy sa za najvýhodnejšiu považuje orientácia hlavných obytných a pracovných priestorov smerom na juh. Južná fasáda umožňuje počas zimného obdobia dosahovať najvyššie pasívne solárne zisky a zároveň zabezpečuje kvalitné denné osvetlenie interiéru. V letnom období možno prehrievaniu účinne predchádzať pomocou vhodne navrhnutých exteriérových tieniacich prvkov, ako sú presahy striech, žalúzie alebo fasádne lamely.

### **Severá orientácia**

Severná fasáda prijíma počas roka najmenšie množstvo slnečného žiarenia, preto sa odporúča obmedzovať rozsah presklených plôch orientovaných týmto smerom. Na severnú stranu budovy sa spravidla umiestňujú technické miestnosti, schodiská, sklady alebo hygienické zariadenia, ktoré nevyžadujú intenzívne prirodzené osvetlenie. Takéto dispozičné riešenie prispieva k znižovaniu tepelných strát a zlepšuje celkovú energetickú hospodárnosť budovy.

### **Východná a západná orientácia**

Východné a západné fasády sú počas letných mesiacov vystavené slnečnému žiareniu pod nízkym uhlom dopadu, čo môže spôsobovať výrazné prehrievanie vnútorných priestorov. Pri ich návrhu je preto potrebné venovať zvýšenú pozornosť veľkosti presklených plôch a návrhu účinného vonkajšieho tienenia. Správna kombinácia architektonického riešenia a tieniacich prvkov významne zvyšuje tepelný komfort používateľov a znižuje potrebu mechanického chladenia.

### **Orientácia a obnoviteľné zdroje energie**

Orientácia budovy významne ovplyvňuje aj efektívnosť využívania obnoviteľných zdrojov energie. Vhodne orientované strechy a fasády vytvárajú priaznivé podmienky na inštaláciu fotovoltických panelov a solárnych termických kolektorov, čím sa zvyšuje výroba energie z obnoviteľných zdrojov a podporuje energetická sebestačnosť budovy.

Pri návrhu nízkouhlíkových budov je preto potrebné posudzovať orientáciu nielen z hľadiska pasívnych solárnych ziskov, ale aj z pohľadu možností integrácie obnoviteľných energetických systémov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Orientácia budovy predstavuje jedno z najefektívnejších pasívnych opatrení na znižovanie energetickej náročnosti. Nevyžaduje dodatočné technológie ani prevádzkové náklady, pričom jej pozitívny vplyv sa prejavuje počas celej životnosti budovy.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a integrovaného procesu navrhovania (Integrated Design Process – IDP) patrí správna orientácia medzi základné rozhodnutia ovplyvňujúce budúcu energetickú hospodárnosť aj uhlíkovú stopu objektu. V pasívnych domoch, budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) predstavuje jeden zo základných princípov návrhu. V kombinácii s kvalitnou obálkou budovy, pasívnymi solárnymi ziskami a obnoviteľnými zdrojmi energie významne prispieva k znižovaniu spotreby energie, prevádzkových nákladov a emisií skleníkových plynov.

## **7.4.2 Južná orientácia**

V klimatických podmienkach Slovenskej republiky predstavuje južná orientácia budovy najvýhodnejšie riešenie z hľadiska energetickej hospodárnosti a efektívneho využívania pasívnych solárnych ziskov. Južná fasáda počas vykurovacieho obdobia prijíma najväčšie množstvo slnečného žiarenia, ktoré možno využiť na prirodzené vykurovanie interiéru a znižovanie potreby dodatočnej energie. Správna orientácia budovy preto patrí medzi základné princípy pasívneho navrhovania a zohráva významnú úlohu pri projektovaní nízkoenergetických, pasívnych a nulovoemisných budov. Pri dispozičnom riešení sa odporúča orientovať obytné a pracovné priestory na južnú stranu budovy, zatiaľ čo technické a obslužné miestnosti sa spravidla umiestňujú na severnú fasádu. Takéto usporiadanie umožňuje efektívnejšie využívať prirodzené slnečné žiarenie, zlepšuje energetickú bilanciu budovy a zároveň znižuje tepelné straty vykurovaných priestorov. Na južnú stranu sa zvyčajne orientujú obývacie izby, jedálne, kuchyne, pracovné priestory alebo detské izby, teda miestnosti s najvyššou intenzitou denného využívania. Počas zimného obdobia prenikajú slnečné lúče hlbšie do interiéru, čím prispievajú k prirodzenému ohrievaniu vnútorných priestorov. Okrem znižovania potreby vykurovania sa zlepšujú aj podmienky denného osvetlenia, čo vedie k nižšej spotrebe elektrickej energie na umelé osvetlenie a k vyššiemu tepelnému aj vizuálnemu komfortu používateľov. Naopak severná fasáda prijíma počas roka najmenej slnečného žiarenia a zároveň predstavuje časť budovy s najvyššími tepelnými stratami. Z tohto dôvodu sa na sever orientujú predovšetkým technické miestnosti, sklady, garáže, schodiská, chodby alebo hygienické zariadenia. Takéto dispozičné riešenie vytvára medzi vykurovanými obytnými priestormi a vonkajším prostredím určitú ochrannú zónu, ktorá prispieva k znižovaniu tepelných strát a zlepšuje celkovú energetickú hospodárnosť budovy. Významnou súčasťou návrhu južne orientovaných budov je aj ochrana pred letným prehrievaním. Hoci južná orientácia prináša počas zimy významné energetické prínosy, počas letných mesiacov môže spôsobovať nadmerné tepelné zisky. Z tohto dôvodu je potrebné navrhovať účinné systémy exteriérového tienenia, ako sú strešné presahy, vonkajšie žalúzie, rolety, vegetačné prvky alebo architektonické tieniace konštrukcie. Správne navrhnuté tienenie dokáže účinne blokovať vysoké letné slnko a zároveň zachovať priaznivé pasívne solárne zisky počas zimného obdobia.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Južná orientácia patrí medzi najjednoduchšie a zároveň najefektívnejšie pasívne opatrenia na znižovanie energetickej náročnosti budovy. Na rozdiel od technických zariadení nevyžaduje dodatočné investície ani prevádzkové náklady a jej pozitívny vplyv sa prejavuje počas celej životnosti objektu. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) predstavuje správna orientácia budovy významný nástroj na znižovanie prevádzkovej spotreby energie a uhlíkovej stopy. V pasívnych budovách, budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) tvorí jeden zo základných princípov architektonického návrhu a v kombinácii s kvalitnou

tepelnou ochranou, pasívnymi solárnymi ziskami a inteligentnými technológiami významne prispieva k dosahovaniu vysokej energetickej efektívnosti a klimatickej neutrality budov.

### 7.4.3 Vplyv na energetickú bilanciu

V klimatických podmienkach Slovenskej republiky predstavuje južná orientácia budovy najvýhodnejšie riešenie z hľadiska energetickej hospodárnosti a využívania pasívnych solárnych ziskov. Južná fasáda prijíma počas vykurovacieho obdobia najväčšie množstvo slnečného žiarenia, ktoré možno efektívne využiť na prirodzené vykurovanie interiéru.

Pri navrhovaní nízkouhlíkových budov sa odporúča orientovať:

- obytné miestnosti na juh,
- technické priestory na sever.

Na južnú stranu sa najčastejšie umiestňujú obývacie izby, jedálne, kuchyne, pracovné priestory a detské izby. Takéto riešenie umožňuje dosahovať vyššie pasívne solárne zisky, lepšie prirodzené osvetlenie a nižšiu potrebu vykurovania počas zimného obdobia.

Severná fasáda prijíma najmenej slnečného žiarenia a vykazuje najvyššie tepelné straty. Preto sa na severnú stranu spravidla orientujú technické miestnosti, sklady, garáže, schodiská, chodby a hygienické zariadenia. Tieto priestory zároveň vytvárajú ochrannú zónu medzi vykurovanými obytnými priestormi a vonkajším prostredím. Dôležitou súčasťou južnej orientácie je ochrana pred prehrievaním počas letného obdobia. Na tento účel sa využívajú strešné presahy, vonkajšie žalúzie, vegetačné tienenie alebo architektonické prvky fasády. Správne navrhnuté tienenie obmedzuje letné prehrievanie a zároveň zachováva zimné solárne zisky. Južná orientácia patrí medzi najefektívnejšie pasívne opatrenia na znižovanie energetickej náročnosti budovy. V kombinácii s kvalitnou tepelnou izoláciou, vzduchotesnosťou a pasívnymi solárnymi ziskami významne prispieva k dosahovaniu štandardov pasívnych domov, budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

## 7.5 Kompaktnosť budovy

### 7.5.1 Faktor tvaru

Kompaktnosť budovy patrí medzi základné princípy pasívneho navrhovania a významne ovplyvňuje energetickú hospodárnosť objektu. Čím je budova kompaktnjšia, tým menšia je plocha jej obálky vystavená vonkajšiemu prostrediu a tým nižšie sú tepelné straty počas prevádzky.

Na hodnotenie kompaktnosti sa používa faktor tvaru, ktorý vyjadruje pomer medzi plochou obálky budovy a vykurovaným objemom. Tento ukazovateľ umožňuje porovnávať rôzne architektonické riešenia z hľadiska ich energetickej efektívnosti.

Faktor tvaru sa určuje vzťahom:

$$f = \frac{A}{V}$$

kde:

- (A) = plocha obálky budovy (m<sup>2</sup>),
- (V) = vykurovaný objem budovy (m<sup>3</sup>).

Jednotkou faktora tvaru je:

$$m^{-1}$$

Faktor tvaru patrí medzi základné ukazovatele energetickej hospodárnosti budovy. Vyjadruje pomer plochy teplovýmenného obalu budovy k jej vykurovanému objemu (A/V faktor) a predstavuje jeden z rozhodujúcich parametrov ovplyvňujúcich tepelné straty objektu. Keďže

prestup tepla prebieha predovšetkým cez obvodový plášť budovy, veľkosť jeho plochy priamo ovplyvňuje množstvo energie potrebnej na zabezpečenie požadovanej vnútornej teploty. Vo všeobecnosti platí, že čím nižší je faktor tvaru, tým vyššia je energetická efektívnosť budovy. Kompaktné objekty s menšou plochou obálky vzhľadom na vykurovaný objem vykazujú nižšie tepelné straty, nižšiu potrebu energie na vykurovanie a priaznivejšiu uhlíkovú bilanciu počas prevádzky. Naopak, budovy s vysokou hodnotou faktora tvaru majú väčšiu plochu obvodového plášťa, čo vedie k vyšším tepelným stratám a vyššej energetickej náročnosti. Za energeticky najvýhodnejšie sa preto považujú budovy s jednoduchou a kompaktnou geometriou. V praxi sa za priaznivé hodnoty faktora tvaru považujú približne 0,6 až 0,8 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, pričom konkrétna hodnota závisí od typu budovy, počtu podlaží a architektonického riešenia. Takáto úroveň kompaktnosti vytvára vhodné predpoklady na dosahovanie štandardov nízkoenergetických a pasívnych budov.

### **Vplyv architektonického riešenia**

Hodnota faktora tvaru je vo veľkej miere ovplyvnená architektonickou koncepciou objektu. Jednoduché geometrické formy, ako sú kocka alebo kváder s vhodnými proporciami, dosahujú spravidla priaznivejšie hodnoty než členité budovy s veľkým počtom výstupkov, balkónov, arkierov alebo zalomených fasád. Najnižšie hodnoty faktora tvaru preto vykazujú kompaktné viacpodlažné budovy s jednoduchou geometriou, zatiaľ čo rozsiahlo členené rodinné domy alebo objekty s komplikovaným tvarovým riešením majú spravidla vyššie tepelné straty spôsobené väčšou plochou obálky.

### **Energetický význam**

Optimalizácia faktora tvaru predstavuje jedno z najúčinnějších pasívnych opatrení, ktoré možno realizovať už v počiatočných etapách projektovania. Zmenšenie plochy obálky budovy vedie k znižovaniu tepelných strát, obmedzeniu potreby vykurovania a chladenia, nižším investičným nákladom na obvodový plášť a zároveň k znižovaniu prevádzkových nákladov počas celej životnosti objektu. Významným prínosom je aj redukcia prevádzkových emisií skleníkových plynov, keďže nižšia potreba energie priamo prispieva k znižovaniu uhlíkovej stopy budovy.

## **7.5.2 Význam**

Vo všeobecnosti platí, že čím je faktor tvaru nižší, tým sú tepelné straty menšie a tým nižšia je potreba energie na vykurovanie a chladenie budovy. Z tohto dôvodu patrí kompaktnosť budovy medzi základné princípy pasívneho a nízkouhlíkového navrhovania.

### **Tepelné straty a energetická hospodárnosť**

Znižovanie faktora tvaru vedie k obmedzeniu plochy obálky, cez ktorú dochádza k prestupu tepla medzi interiérom a exteriérom. Menšia plocha obvodových konštrukcií znamená nižšie tepelné straty počas zimného obdobia a zároveň nižšie tepelné zisky počas leta. Výsledkom je stabilnejšia vnútorná teplota, vyšší tepelný komfort a nižšia potreba energie na zabezpečenie požadovaných vnútorných podmienok. Nižšie tepelné straty sa priamo premietajú do nižšej spotreby energie, nižších prevádzkových nákladov a menších nárokov na výkon vykurovacích a chladiacich systémov. Súčasne dochádza aj k znižovaniu prevádzkových emisií skleníkových plynov, čo významne prispieva k zlepšeniu environmentálnej bilancie budovy.

### **Vplyv architektonického riešenia**

Hodnota faktora tvaru závisí predovšetkým od architektonického riešenia objektu. Najpriaznivejšie hodnoty dosahujú kompaktné viacpodlažné budovy s jednoduchou geometriou, ako sú bytové domy alebo administratívne budovy s pravidelným pôdorysom. Takéto objekty majú menší pomer plochy obálky k vykurovanému objemu, a preto vykazujú nižšie tepelné straty.

Naopak, členité rodinné domy, budovy s veľkým množstvom výstupkov, zalomených fasád, balkónov alebo rozsiahlymi nevykurovanými priestormi majú spravidla vyšší faktor tvaru. Väčšia plocha obálky vedie k vyšším energetickým stratám a zvyšuje potrebu energie počas prevádzky. Pri návrhu nízkouhlíkových budov sa preto odporúča uprednostňovať jednoduché a kompaktné architektonické riešenia, ktoré vytvárajú priaznivejšie podmienky pre dosahovanie vysokej energetickej efektívnosti.

Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Optimalizácia faktora tvaru predstavuje jedno z najefektívnejších pasívnych opatrení na znižovanie energetickej náročnosti budov. Na rozdiel od aktívnych technológií nevyžaduje dodatočné investície do technických zariadení ani dodatočné prevádzkové náklady, pričom jej pozitívny vplyv sa prejavuje počas celej životnosti objektu.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Integrated Design Process (IDP) patrí optimalizácia faktora tvaru medzi najvýznamnejšie rozhodnutia prijímané už v koncepcnej fáze návrhu. Kompaktnosť budovy prispieva k znižovaniu prevádzkového uhlíka (Operational Carbon), zlepšuje energetickú hospodárnosť a podporuje dosahovanie štandardov pasívnych budov, budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

### 7.5.3 Príklady

Vplyv tvaru budovy na energetickú hospodárnosť možno ilustrovať porovnaním orientačných hodnôt faktora tvaru ( $A/V$ ) pre rôzne typy objektov (Tabuľka 12). Nižšia hodnota faktora tvaru znamená priaznivejší pomer medzi plochou obálky a vykurovaným objemom budovy, čo vedie k nižším tepelným stratám a vyššej energetickej efektívnosti.

**Tabuľka 12** Orientačné hodnoty faktora tvaru

| Typ budovy      | Faktor $A/V$ ( $m^{-1}$ ) |
|-----------------|---------------------------|
| Kompaktný kubus | 0,60                      |
| Bytový dom      | 0,50                      |
| Rodinný dom     | 0,80                      |
| Členitá vila    | > 1,00                    |

Z tabuľky vyplýva, že viacpodlažné bytové domy dosahujú najnižšie hodnoty faktora tvaru, približne  $A/V = 0,50$ , a preto vykazujú najnižšie tepelné straty na jednotku vykurovaného objemu. Veľmi priaznivé energetické vlastnosti majú aj kompaktné budovy kubického tvaru, ktorých faktor tvaru sa pohybuje približne na úrovni 0,60.

Naopak, samostatne stojace rodinné domy majú spravidla vyššie hodnoty faktora tvaru, približne 0,80, keďže ich obálka uzatvára podstatne menší vykurovaný objem. Napriek tomu možno vhodným architektonickým riešením, kvalitnou tepelnou ochranou a optimalizáciou dispozičného usporiadania dosiahnuť veľmi dobré energetické parametre aj pri tomto type budov.

Najmenej priaznivé hodnoty vykazujú členité objekty s veľkým počtom výstupkov, arkierov, terás alebo zalomených fasád, pri ktorých faktor tvaru často presahuje hodnotu 1,00. Takéto riešenia zvyšujú plochu obálky budovy, komplikujú elimináciu tepelných mostov a vedú k vyšším tepelným stratám, vyšším investičným aj prevádzkovým nákladom.

Porovnanie jednotlivých typov budov potvrdzuje, že kompaktnosť objektu patrí medzi najúčinnnejšie pasívne opatrenia na znižovanie energetickej náročnosti. Správne navrhnutý tvar budovy umožňuje obmedziť tepelné straty bez potreby dodatočných technických zariadení alebo prevádzkových nákladov. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov integrovaného navrhovania (Integrated Design Process – IDP) predstavuje optimalizácia faktora tvaru jedno z najefektívnejších opatrení na znižovanie prevádzkového uhlíka (Operational Carbon). Preto sa pri návrhu pasívnych budov, budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB) odporúča uprednostňovať jednoduché a kompaktné architektonické riešenia.

## 7.6 Tepelnotechnické vlastnosti obálky

### 7.6.1 Obvodové steny

Obvodové steny predstavujú jednu z najvýznamnejších častí obálky budovy a zásadným spôsobom ovplyvňujú jej energetickú hospodárnosť. Ich hlavnou úlohou je obmedzovať prestup tepla medzi vnútorným a vonkajším prostredím, zabezpečovať tepelný komfort používateľov a prispievať k celkovej energetickej efektívnosti objektu.

V nízkouhlíkových budovách sa kladie mimoriadny dôraz na vysokú úroveň tepelnej ochrany obvodových konštrukcií. Kvalitne navrhnuté obvodové steny významne znižujú potrebu energie na vykurovanie aj chladenie a vytvárajú predpoklady na dosahovanie požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB).

Základným ukazovateľom hodnotenia tepelnotechnických vlastností obvodových stien je súčiniteľ prechodu tepla  $U$ , ktorý vyjadruje množstvo tepla prestupujúceho cez konštrukciu s plochou  $1 \text{ m}^2$  pri rozdieli teplôt  $1 \text{ K}$  medzi vnútorným a vonkajším prostredím.

Jednotkou súčiniteľa prechodu tepla je:

$$\frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Čím je hodnota ( $U$ ) nižšia, tým lepšie tepelnoizolačné vlastnosti konštrukcia dosahuje.

Moderné nízkouhlíkové budovy dosahujú:

$$U \leq 0,15 \frac{W}{m^2 K}$$

Takéto hodnoty predstavujú výrazne vyšší štandard oproti starším budovám, ktorých obvodové steny často dosahovali hodnoty presahujúce  $0,50$  až  $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

#### Význam nízkeho súčiniteľa prechodu tepla

Nízka hodnota súčiniteľa prechodu tepla významne obmedzuje tepelné straty cez obvodové konštrukcie a priamo ovplyvňuje energetickú bilanciu budovy. Výsledkom je nižšia potreba energie na vykurovanie počas zimného obdobia, obmedzenie prehrievania interiéru počas leta, vyšší tepelný komfort používateľov a nižšie prevádzkové náklady. Súčasne dochádza aj k znižovaniu prevádzkových emisií skleníkových plynov, keďže menšia spotreba energie znamená nižšiu produkciu oxidu uhličitého. Kvalitná tepelná ochrana obvodových stien preto patrí medzi najefektívnejšie pasívne opatrenia na znižovanie energetickej náročnosti budov.

#### Konštrukčné riešenia

Požadované hodnoty súčiniteľa prechodu tepla možno dosiahnuť vhodnou kombináciou nosnej konštrukcie a dostatočne hrubej tepelnej izolácie. V súčasnom stavebníctve sa najčastejšie využívajú murované konštrukcie s kontaktnými zateplovacími systémami, drevostavby s viacvrstvovou skladbou, panely z CLT s vonkajšou tepelnou izoláciou, sendvičové prefabrikované konštrukcie alebo moderné nízkouhlíkové kompozitné systémy. Okrem samotnej tepelnej izolácie je nevyhnutné venovať pozornosť aj eliminácii tepelných mostov a zabezpečeniu vysokej vzduchotesnosti obálky budovy. Práve tieto aspekty významne ovplyvňujú skutočnú energetickú hospodárnosť objektu počas prevádzky.

#### Vplyv na energetickú hospodárnosť budovy

Obvodové steny tvoria významnú časť teplovýmenného obalu budovy, a preto ich kvalita priamo ovplyvňuje potrebu energie na vykurovanie a chladenie, energetickú triedu budovy, prevádzkové náklady aj celkovú uhlíkovú stopu počas jej životnosti.

V nízkoenergetických a pasívnych budovách môže kvalitná tepelná ochrana obvodových stien znížiť potrebu energie na vykurovanie o niekoľko desiatok percent v porovnaní s tradičnými stavebnými riešeniami. Súčasne umožňuje navrhovať technické zariadenia s nižším výkonom, čo prináša ďalšie ekonomické aj environmentálne prínosy.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Obvodové steny s veľmi nízkym súčiniteľom prechodu tepla predstavujú jeden zo základných predpokladov energeticky efektívnej budovy. V kombinácii s kvalitnými oknami, vysokou vzduchotesnosťou obálky, systémami riadeného vetrania s rekuperáciou tepla a obnoviteľnými zdrojmi energie umožňujú dosahovať veľmi nízku potrebu energie a minimálne prevádzkové emisie skleníkových plynov. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov integrovaného procesu navrhovania (Integrated Design Process – IDP) predstavuje návrh obvodových stien jedno z najvýznamnejších rozhodnutí ovplyvňujúcich energetickú hospodárnosť a environmentálnu výkonnosť budovy počas celého jej životného cyklu. Správne navrhnutá obálka preto tvorí základ moderných pasívnych budov, budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

## **7.6.2 Strecha**

Strešná konštrukcia patrí medzi najvýznamnejšie časti tepelnej obálky budovy z hľadiska tepelných strát. Keďže teplý vzduch prirodzene stúpa smerom nahor, môže cez nedostatočne izolovanú strechu unikať značné množstvo tepelnej energie. Z tohto dôvodu sa na strešné konštrukcie nízkouhlíkových budov kladú mimoriadne vysoké požiadavky z hľadiska tepelnej ochrany. Kvalitne navrhnutá strecha významne prispieva k znižovaniu potreby energie na vykurovanie počas zimného obdobia a zároveň obmedzuje prehrievanie interiéru v letných mesiacoch. Správne riešenie strešného plášťa preto zásadne ovplyvňuje energetickú hospodárnosť budovy počas celého roka.

Základným ukazovateľom tepelnotechnickej kvality strechy je súčiniteľ prechodu tepla  $U$ , ktorý vyjadruje množstvo tepla prestupujúceho cez strešnú konštrukciu pri rozdieli teplôt 1 K medzi vnútorným a vonkajším prostredím. Pre moderné nízkouhlíkové budovy sa odporúča hodnota:

$$U \leq 0,10 \frac{W}{m^2 K}$$

ktorá zodpovedá štandardom pasívnych budov, budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

### **Význam tepelnej ochrany strechy**

Nízka hodnota súčiniteľa prechodu tepla významne obmedzuje tepelné straty cez strešný plášť, čím znižuje potrebu energie na vykurovanie a súčasne prispieva k obmedzeniu prehrievania budovy počas letného obdobia. Výsledkom je vyšší tepelný komfort používateľov, nižšie prevádzkové náklady a znižovanie prevádzkových emisií skleníkových plynov.

Keďže strecha tvorí významnú časť teplovýmenného obalu budovy, aj relatívne malé zlepšenie jej tepelnotechnických vlastností môže priniesť výrazné energetické úspory počas celej životnosti objektu.

### **Konštrukčné riešenia**

Požadované hodnoty súčiniteľa prechodu tepla možno dosiahnuť vhodnou skladbou strešného plášťa a použitím dostatočne hrubej vrstvy tepelnej izolácie. Najčastejšie sa využíva minerálna vlna, celulózová izolácia, drevovláknité dosky, polyuretánové izolácie alebo viacvrstvové izolačné systémy kombinujúce viaceré materiály.

Pri pasívnych a nízkoenergetických budovách sa hrúbka tepelnej izolácie strechy spravidla pohybuje približne v rozmedzí 300 až 500 mm, pričom jej konkrétna hodnota závisí od typu použitého materiálu a požadovaných tepelnotechnických parametrov.



### **Letná tepelná stabilita**

Strecha zohráva významnú úlohu aj pri ochrane budovy pred prehrievaním počas letného obdobia. Okrem kvalitnej tepelnej izolácie je dôležitá dostatočná tepelná akumulácia konštrukcie, použitie reflexných povrchov, správne odvetranie strešného plášťa alebo využitie vegetačných striech.

Tieto opatrenia významne obmedzujú prestup tepla do interiéru, znižujú potrebu mechanického chladenia a prispievajú k stabilnejšiemu vnútornému prostrediu.

### **Vegetačné strechy**

V moderných nízkouhlíkových budovách sa čoraz častejšie využívajú vegetačné strechy, ktoré okrem zlepšenia tepelnotechnických vlastností prinášajú aj viaceré environmentálne prínosy. Vegetačný súvrstvomý systém zvyšuje tepelnú stabilitu strechy, obmedzuje prehrievanie povrchu, zadržiava dažďovú vodu, podporuje biodiverzitu a prispieva k zlepšeniu mikroklimy v urbanizovanom prostredí.

V kombinácii s fotovoltickými systémami môžu vegetačné strechy zároveň zvyšovať účinnosť fotovoltických panelov, keďže nižšia povrchová teplota vegetačného súvrstvia priaznivo ovplyvňuje ich prevádzku.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Strešná konštrukcia s veľmi nízkym súčiniteľom prechodu tepla predstavuje jeden zo základných predpokladov energeticky efektívnej budovy. V kombinácii s kvalitnou tepelnou ochranou obvodových stien, vzduchotesnosťou obálky, systémami riadeného vetrania s rekuperáciou tepla a obnoviteľnými zdrojmi energie umožňuje dosahovať veľmi nízku potrebu energie na vykurovanie aj chladenie.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) patrí návrh strešného plášťa medzi rozhodujúce opatrenia ovplyvňujúce energetickú hospodárnosť a environmentálnu výkonnosť budovy počas celého jej životného cyklu.

## **7.6.3 Podlaha**

Podlaha na teréne alebo podlaha nad nevykurovaným priestorom predstavuje významnú časť tepelnej obálky budovy. Hoci tepelné straty cez podlahu bývajú spravidla nižšie než cez strechu alebo obvodové steny, pri nízkoenergetických a pasívnych budovách zohráva jej tepelnotechnická kvalita významnú úlohu pri dosahovaní veľmi nízkej potreby energie na vykurovanie. Správne navrhnutá podlahová konštrukcia zabezpečuje nielen obmedzenie tepelných strát, ale aj vyšší tepelný komfort používateľov. Nedostatočne izolovaná podlaha môže spôsobovať ochladzovanie vnútorného prostredia, vznik tepelných mostov a zvýšenú spotrebu energie počas prevádzky budovy. Aj pri podlahe je základným ukazovateľom súčiniteľ prechodu tepla  $U$ , pričom pre nízkouhlíkové budovy sa odporúča hodnota:

$$U \leq 0,15 \frac{W}{m^2 K}$$

Takáto hodnota zodpovedá požiadavkám moderných nízkoenergetických, pasívnych a nulovoemisných budov.

### **Tepelná ochrana podlahy**

Kvalitná tepelná izolácia podlahy významne obmedzuje tepelné straty smerom do podlažia, zvyšuje tepelný komfort používateľov a súčasne znižuje riziko kondenzácie vodnej pary v konštrukcii. Správne navrhnutá podlaha zároveň prispieva k eliminácii tepelných mostov a predlžuje životnosť stavebných konštrukcií. Na dosiahnutie požadovaných tepelnotechnických parametrov sa najčastejšie využíva extrudovaný polystyrén (XPS), expandovaný polystyrén

(EPS), penové sklo, polyuretánové izolácie alebo moderné recyklované izolačné materiály. Pri pasívnych budovách sa hrúbka tepelnej izolácie spravidla pohybuje približne v rozmedzí 150 až 300 mm, v závislosti od typu konštrukcie a použitého materiálu.

### **Podlaha na teréne**

Pri podlahách v kontakte so zeminou je potrebné venovať osobitnú pozornosť riešeniu detailov napojenia podlahy na základy a obvodové steny. Kľúčové je zabezpečiť súvislú vrstvu tepelnej izolácie, tepelné oddelenie základových konštrukcií, ochranu proti zemnej vlhkosti a elimináciu tepelných mostov. Správne navrhnuté detaily významne ovplyvňujú energetickú hospodárnosť budovy a prispievajú k jej dlhodobej spoľahlivosti.

### **Podlahové vykurovanie**

Moderné nízkouhlíkové budovy často využívajú nízkotepelné podlahové vykurovanie, ktoré je mimoriadne vhodné najmä v kombinácii s tepelnými čerpadlami. Takýto systém zabezpečuje rovnomerné rozloženie teploty v interiéri, vysoký tepelný komfort a veľmi efektívnu prevádzku pri nízkych teplotách vykurovacej vody. Nevyhnutným predpokladom jeho správnej funkcie je kvalitná tepelná izolácia podlahovej konštrukcie, ktorá minimalizuje únik tepla smerom do podlažia.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Podlahová konštrukcia s nízkym súčiniteľom prechodu tepla tvorí dôležitú súčasť energetickej efektívnej obálky budovy. V kombinácii s kvalitne izolovanými stenami, strechou, vysokou vzduchotesnosťou a elimináciou tepelných mostov umožňuje dosahovať veľmi nízku potrebu energie na vykurovanie.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) predstavuje návrh podlahovej konštrukcie významný prvok ovplyvňujúci energetickú hospodárnosť a environmentálnu výkonnosť budovy počas celého jej životného cyklu. Správne navrhnutá podlaha preto patrí medzi základné predpoklady realizácie pasívnych budov, budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

## **7.7 Okná a transparentné konštrukcie**

### **7.7.1 Význam**

Okná a transparentné konštrukcie predstavujú špecifickú časť obálky budovy, ktorá významne ovplyvňuje jej energetickú hospodárnosť, kvalitu vnútorného prostredia a celkový komfort používateľov. Na rozdiel od nepriehľadných konštrukcií zabezpečujú prístup denného svetla, vizuálny kontakt s exteriérom, prirodzené vetranie a zároveň významne ovplyvňujú tepelné zisky aj tepelné straty budovy. Z energetickeho hľadiska patria okná medzi najcitlivejšie časti obálky budovy. Aj pri použití moderných technológií dosahujú spravidla vyšší súčiniteľ prechodu tepla než kvalitne izolované obvodové steny alebo strechy. Súčasne však predstavujú významný zdroj pasívnych solárnych ziskov, ktoré môžu počas vykurovacieho obdobia výrazne znížiť potrebu energie na vykurovanie. Z uvedeného dôvodu predstavujú transparentné konštrukcie jeden z rozhodujúcich prvkov energetickej bilancie budovy. Ich návrh musí zabezpečiť rovnováhu medzi minimalizáciou tepelných strát, efektívnym využívaním slnečnej energie, dostatočným prístupom denného svetla a ochranou interiéru pred prehrievaním počas letného obdobia.

### **Tepelné straty**

V porovnaní s nepriehľadnými časťami obálky ukazujú okná vyšší prestup tepla, a preto môžu predstavovať významný zdroj tepelných strát počas vykurovacej sezóny. Ich veľkosť závisí predovšetkým od typu zasklenia, kvality rámového systému, veľkosti presklených plôch, orientácie okien, ako aj od kvality montáže a riešenia stavebných detailov. Moderné

nízkoenergetické budovy využívajú vysokoizolačné okná s trojitým zasklením, tepelne optimalizovanými rámami a kvalitným osadením do obvodového plášťa, čím sa negatívny vplyv tepelných strát výrazne obmedzuje.

### **Pasívne solárne zisky**

Významnou výhodou transparentných konštrukcií je schopnosť využívať slnečné žiarenie na prirodzené vykurovanie interiéru. Slnečná energia prenikajúca cez zasklenie predstavuje bezplatný obnoviteľný zdroj tepla, ktorý počas zimného obdobia významne zlepšuje energetickú bilanciu budovy. Najväčší potenciál pasívnych solárnych ziskov majú južne orientované presklené plochy, ktoré prijímajú najvyššie množstvo slnečného žiarenia počas vykurovacej sezóny. Správne navrhnuté zasklenie tak umožňuje znižovať potrebu vykurovania bez využitia dodatočných technických zariadení.

### **Denné osvetlenie**

Transparentné konštrukcie zohrávajú významnú úlohu aj pri zabezpečovaní prirodzeného denného osvetlenia vnútorných priestorov. Dostatočný prísun denného svetla zvyšuje vizuálny komfort používateľov, znižuje potrebu umelého osvetlenia a prispieva k nižšej spotrebe elektrickej energie. Vhodne navrhnuté presklené plochy zároveň pozitívne ovplyvňujú kvalitu vnútorného prostredia, produktivitu používateľov a celkovú pohodu pri využívaní budovy.

### **Ochrana pred prehrievaním**

Veľké presklené plochy môžu počas letných mesiacov spôsobovať nadmerné tepelné zisky a následné prehrievanie interiéru. Súčasťou kvalitného pasívneho návrhu preto musí byť účinná ochrana pred slnečným žiarením. V praxi sa využívajú najmä exteriérové tieniace systémy, architektonické presahy striech, žalúzie, rolety alebo pevné fasádne tieniace prvky. Ich vhodná kombinácia s prirodzeným alebo mechanickým vetraním umožňuje významne obmedziť potrebu mechanického chladenia a zabezpečiť vysoký tepelný komfort aj počas letného obdobia.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Správny návrh okien a transparentných konštrukcií patrí medzi rozhodujúce faktory ovplyvňujúce energetickú hospodárnosť budovy. Transparentné konštrukcie môžu byť zároveň zdrojom tepelných strát aj významným zdrojom bezplatnej slnečnej energie, preto je ich optimalizácia jednou z najdôležitejších úloh pri navrhovaní nízkouhlíkových budov.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) predstavujú okná významný prvok ovplyvňujúci prevádzkovú spotrebu energie aj celkovú environmentálnu výkonnosť budovy. V kombinácii s kvalitnou tepelnou ochranou obálky, účinným tienením, systémami riadeného vetrania s rekuperáciou tepla a obnoviteľnými zdrojmi energie vytvárajú základ pre realizáciu pasívnych budov, budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

## **7.7.2 Trojsklá**

Moderné nízkouhlíkové budovy využívajú vysokoizolačné okenné systémy, ktorých základným prvkom je trojité izolačné zasklenie (trojsklo). V porovnaní s dvojitém zasklením poskytuje trojsklo výrazne lepšie tepelnoizolačné vlastnosti a umožňuje významne obmedzovať tepelné straty cez transparentné konštrukcie. Trojité izolačné zasklenie pozostáva z troch sklenených tabúl oddelených dvoma medzisklenými priestormi, ktoré sú spravidla vyplnené inertným plynom, najčastejšie argónom alebo kryptónom. Súčasťou moderných systémov sú aj nízkoemisné vrstvy (Low-E coatings), ktoré výrazne obmedzujú sálavý prestup tepla medzi interiérom a exteriérom. Vďaka tejto kombinácii technológií dosahujú moderné okná hodnotu súčiniteľa prechodu tepla

$$U \leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}),$$

čo predstavuje súčasný štandard pre pasívne budovy, budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB).

### **Tepelnotechnické vlastnosti**

Konštrukcia trojskla významne znižuje prestup tepla cez transparentné konštrukcie, čím prispieva k znižovaniu potreby energie na vykurovanie a zvyšovaniu tepelného komfortu. Vyššia vnútorná povrchová teplota skla zároveň obmedzuje vznik kondenzácie vodnej pary a znižuje pocit chladného sálania v blízkosti okien. Významným prínosom trojitého zasklenia je aj zlepšenie akustickej ochrany budovy. Väčšia hrúbka zasklenia a viacvrstvová konštrukcia účinne tlmia prenikanie vonkajšieho hluku, čo zvyšuje kvalitu vnútorného prostredia najmä v mestských oblastiach alebo v blízkosti dopravnej infraštruktúry.

### **Pasívne solárne zisky**

Napriek vysokej tepelnej izolácii umožňujú moderné trojsklá efektívne využívať aj pasívne solárne zisky. Vhodne navrhnuté zasklenie prepúšťa významnú časť slnečného žiarenia do interiéru počas vykurovacieho obdobia, čím znižuje potrebu dodatočného vykurovania.

Pri návrhu transparentných konštrukcií je preto potrebné vyvažovať požiadavky na minimalizáciu tepelných strát, maximalizáciu solárnych ziskov, zabezpečenie dostatočného denného osvetlenia a ochranu pred prehrievaním počas letných mesiacov.

### **Význam rámových systémov**

Celkové tepelnoizolačné vlastnosti okna nezávisia iba od kvality zasklenia, ale aj od typu rámového systému. V súčasnosti sa najčastejšie používajú drevené, drevohliníkové, viackomorové plastové rámy alebo hliníkové profily s prerušeným tepelným mostom.

Správna kombinácia rámu a trojitého izolačného zasklenia umožňuje dosahovať veľmi nízke hodnoty celkového súčiniteľa prechodu tepla okna a významne prispieva k zlepšeniu energetickej hospodárnosti budovy.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Trojité izolačné zasklenie predstavuje štandard moderných energeticky efektívnych budov. V kombinácii s kvalitnými rámovými systémami, správnou montážou a elimináciou tepelných mostov významne znižuje tepelné straty cez transparentné konštrukcie a zároveň umožňuje efektívne využívať pasívne solárne zisky. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) patrí optimalizácia transparentných konštrukcií medzi rozhodujúce opatrenia ovplyvňujúce prevádzkovú spotrebu energie aj celkovú uhlíkovú stopu budovy. Trojité zasklenie preto tvorí neoddeliteľnú súčasť pasívnych budov, budov nZEB aj budov ZEB.

## **7.7.3 Solárny faktor**

Popri súčiniteli prechodu tepla patrí medzi najvýznamnejšie parametre transparentných konštrukcií aj solárny faktor ( $g$ ), ktorý vyjadruje schopnosť zasklenia prepúšťať slnečnú energiu do interiéru budovy. Tento parameter významne ovplyvňuje energetickú bilanciu objektu, keďže určuje veľkosť pasívnych solárnych ziskov počas vykurovacieho obdobia a zároveň mieru prehrievania interiéru počas letných mesiacov. Solárny faktor predstavuje podiel celkovej dopadajúcej slnečnej energie, ktorý prenikne cez zasklenie do vnútorného priestoru vo forme tepla. Označuje sa symbolom  $g$  a vyjadruje sa ako bezrozmerná hodnota alebo v percentách. Napríklad hodnota

$$g = 0,60$$

znamená, že približne 60 % dopadajúcej slnečnej energie prenikne cez zasklenie do interiéru.

Moderné izolačné trojsklá dosahujú solárny faktor približne 0,45 až 0,65, pričom jeho konkrétna hodnota závisí od typu zasklenia, použitých nízkoemisných vrstiev, vlastností skla a požiadaviek na energetickú hospodárnosť budovy.

### **Vplyv na energetickú bilanciu**

Vyšší solárny faktor umožňuje väčší prienik slnečného žiarenia do budovy, čím zvyšuje pasívne solárne zisky a znižuje potrebu vykurovania počas zimného obdobia. Tento prístup je výhodný najmä pri južne orientovaných presklených plochách, kde možno efektívne využívať bezplatnú energiu zo slnka. Na druhej strane príliš vysoká hodnota solárneho faktora môže počas letných mesiacov spôsobovať nadmerné prehrievanie interiéru a zvyšovať potrebu mechanického chladenia. Preto je nevyhnutné kombinovať vhodne zvolený solárny faktor s účinnými systémami vonkajšieho tienenia, ktoré obmedzujú nežiaduce tepelné zisky počas leta. Nižšie hodnoty solárneho faktora síce znižujú riziko prehrievania, zároveň však obmedzujú pasívne solárne zisky v zimnom období. Návrh transparentných konštrukcií preto vždy predstavuje kompromis medzi tepelnými stratami, využitím slnečnej energie, požiadavkami na denné osvetlenie a ochranou pred prehrievaním.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Solárny faktor patrí medzi rozhodujúce parametre energeticky efektívnych okien. Jeho správna optimalizácia umožňuje efektívne využívať bezplatnú slnečnú energiu počas vykurovacieho obdobia a zároveň minimalizovať riziko letného prehrievania. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov pasívneho navrhovania predstavuje vhodne zvolený solárny faktor významný nástroj na znižovanie prevádzkovej spotreby energie. V pasívnych budovách, budovách nZEB a ZEB zohráva dôležitú úlohu pri optimalizácii transparentných konštrukcií a významne prispieva k dosahovaniu vysokej energetickej hospodárnosti a nízkej uhlíkovej stopy.

## **7.8 Tepelné mosty**

Tepelné mosty predstavujú miesta v obálke budovy, v ktorých dochádza k zvýšenému prechodu tepla v porovnaní s okolitými časťami konštrukcie. Vznikajú najmä v dôsledku geometrických nepravidelností, zmien použitých materiálov alebo prerušenia súvislej vrstvy tepelnej izolácie. Ich prítomnosť negatívne ovplyvňuje energetickú hospodárnosť budovy, tepelný komfort používateľov aj dlhodobú životnosť stavebných konštrukcií.

Z fyzikálneho hľadiska sa teplo šíri cestou najmenšieho tepelného odporu. V miestach, kde je tepelný odpor konštrukcie nižší, vzniká intenzívnejší tepelný tok, ktorý spôsobuje lokálne ochladzovanie vnútorného povrchu a zvyšuje tepelné straty budovy. Tepelný most možno preto definovať ako časť konštrukcie so zvýšeným prechodom tepla oproti okolitému prostrediu. Najčastejšie vznikajú v miestach napojenia jednotlivých stavebných konštrukcií, pri prerušení tepelnej izolácie alebo pri použití materiálov s vysokou tepelnou vodivosťou. Typickými príkladmi sú napojenia obvodových stien na strechu alebo podlahu, balkónové dosky, železobetónové vence, ostenia okien a dverí, stĺpy, nosníky či kotviace prvky fasádnych systémov. Práve týmto detailom je potrebné venovať zvýšenú pozornosť už počas projektovania. Prítomnosť tepelných mostov vedie k zvýšeným tepelným stratám, vyššej potrebe energie na vykurovanie a zvyšovaniu prevádzkových nákladov. Zároveň môže spôsobovať lokálne zníženie povrchovej teploty konštrukcie, vznik kondenzácie vodnej pary, rast plesní a postupnú degradáciu stavebných materiálov. V nízkoenergetických a pasívnych budovách, kde sú tepelné straty cez obálku výrazne redukované, nadobúda význam tepelných mostov ešte väčší význam. Z pohľadu uhlíkovej stopy vedú zvýšené tepelné straty k vyššej spotrebe energie na vykurovanie, čo sa následne prejavuje rastom prevádzkových emisií skleníkových plynov. Eliminácia tepelných mostov preto predstavuje jedno z najúčinnějších opatrení na znižovanie spotreby energie, prevádzkových nákladov aj emisií CO<sub>2</sub> počas celej životnosti budovy. V moderných pasívnych budovách, budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) patrí riešenie tepelných mostov medzi

základné požiadavky návrhu. Kvalitné konštrukčné detaily umožňujú minimalizovať tepelné straty, zabezpečiť vysoký tepelný komfort a významne zlepšiť environmentálnu výkonnosť budovy.

## 7.8.2 Dôsledky

Tepelné mosty predstavujú významný problém z pohľadu stavebnej fyziky, energetickej hospodárnosti aj kvality vnútorného prostredia. Hoci sa spravidla vyskytujú iba na relatívne malých plochách konštrukcie, ich negatívny vplyv sa prejavuje počas celej životnosti budovy. Najvýznamnejším dôsledkom je zvýšený prestup tepla cez obálku budovy. V miestach s nižším tepelným odporom uniká podstatne viac energie než cez okolité konštrukcie, čo vedie k vyššej potrebe vykurovania, rastu spotreby energie, vyšším prevádzkovým nákladom a zvýšeniu emisií skleníkových plynov. Významným problémom je aj lokálne ochladzovanie vnútorného povrchu stavebných konštrukcií. Ak povrchová teplota klesne pod teplotu rosného bodu, dochádza ku kondenzácii vodnej pary. Dlhodobé pôsobenie vlhkosti vytvára vhodné podmienky na vznik plesní, poškodenie povrchových úprav a postupnú degradáciu stavebných materiálov. Rizikové sú najmä kúty miestností, ostenia okien, balkónové napojenia a ďalšie konštrukčné detaily s výraznými tepelnými mostmi.

Okrem technických problémov ovplyvňujú tepelné mosty aj tepelný komfort používateľov. Chladné povrchy spôsobujú neprijemné sálanie chladu, lokálne ochladzovanie vnútorného prostredia a znižovanie kvality vnútorného prostredia, a to aj v prípadoch, keď je teplota vzduchu v miestnosti dostatočná. Z pohľadu nízkouhlíkového stavebníctva patrí eliminácia tepelných mostov medzi základné predpoklady dosahovania vysokej energetickej efektívnosti. Ich odstránenie umožňuje znižovať spotrebu energie, predchádzať kondenzácii vodnej pary, zlepšovať tepelný komfort a predlžovať životnosť stavebných konštrukcií. Preto predstavujú neoddeliteľnú súčasť návrhu pasívnych budov, budov nZEB aj ZEB.

## 7.8.3 Eliminácia

Eliminácia tepelných mostov patrí medzi základné požiadavky energeticky efektívneho navrhovania budov. Keďže ich negatívne účinky ovplyvňujú energetickú hospodárnosť, kvalitu vnútorného prostredia aj životnosť konštrukcií, ich riešenie musí byť súčasťou projektovej prípravy už od najskorších etáp návrhu. Najúčinnnejším opatrením je zabezpečenie súvislej vrstvy tepelnej izolácie po celom obvode budovy. Kontinuálna tepelná izolácia minimalizuje prestup tepla, zabraňuje lokálnemu ochladzovaniu konštrukcií a významne znižuje riziko kondenzácie vodnej pary. Mimoriadnu pozornosť si vyžadujú najmä napojenia obvodových stien na strechu, podlahu, balkónové konštrukcie, okenné a dverové otvory, kde aj malé prerušenie izolačnej vrstvy môže výrazne zhoršiť tepelnotechnické vlastnosti celej obálky. Rovnako dôležitý je kvalitný návrh stavebných detailov. Moderné projektovanie využíva tepelne oddelované balkónové prvky, optimalizované železobetónové vence, správne osadenie výplní otvorov do roviny tepelnej izolácie, izolačné prvky v miestach napojenia konštrukcií a obmedzovanie kovových prvkov s vysokou tepelnou vodivosťou. Tepelnotechnické simulácie dnes umožňujú identifikovať kritické miesta ešte pred začiatkom výstavby a optimalizovať ich riešenie. Významnú úlohu zohráva aj kvalita realizácie. Aj najlepšie navrhnuté riešenie môže stratiť svoju účinnosť pri nepresnej montáži alebo nedostatočnom vyhotovení detailov. Preto je potrebné zabezpečiť presné uloženie tepelnej izolácie, elimináciu medzier medzi izolačnými doskami, správne osadenie okien a dverí, vysokú vzduchotesnosť obálky a dôslednú kontrolu kritických detailov počas realizácie. Správnosť návrhu aj realizácie možno overovať pomocou tepelnotechnických výpočtov, dvojrozmerných a trojrozmerných numerických simulácií, termovízných meraní alebo skúšok vzduchotesnosti typu blower-door test. Tieto metódy umožňujú identifikovať problematické miesta a overiť dosiahnutie požadovaných energetických parametrov. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) patrí eliminácia tepelných mostov medzi najúčinnnejšie pasívne opatrenia na znižovanie

prevádzkového uhlíka (Operational Carbon). V pasívnych budovách, budovách nZEB a ZEB predstavuje správne riešenie konštrukčných detailov jeden zo základných predpokladov vysokej energetickej hospodárnosti, dlhodobej životnosti a klimateknej neutrality budovy.

## **7.9 Vzduchotesnosť budov**

### **7.9.1 Význam**

Vzduchotesnosť predstavuje jednu zo základných požiadaviek moderných nízkoenergetických a nízkouhlíkových budov. Vyjadruje schopnosť obálky budovy zabráňovať nekontrolovanému prúdeniu vzduchu medzi interiérom a exteriérom. Cieľom nie je úplne zabrániť výmene vzduchu, ale zabezpečiť, aby prebiehala kontrolovaným spôsobom prostredníctvom riadeného systému vetrania. Staršie budovy boli charakteristické vysokou mierou prirodzenej infiltrácie vzduchu cez netesnosti stavebných konštrukcií, škáry okien a dverí alebo prestupy inštalácií. Moderné energeticky efektívne budovy sú naopak navrhované s vysokou vzduchotesnosťou, ktorá minimalizuje tepelné straty a umožňuje efektívnu prevádzku systémov riadeného vetrania s rekuperáciou tepla. Vzduchotesnosť významne ovplyvňuje spotrebu energie, kvalitu vnútorného prostredia, tepelný komfort používateľov aj dlhodobú energetickú hospodárnosť budovy.

#### **Vplyv na energetickú hospodárnosť**

Nekontrolované prenikanie vzduchu cez netesnosti obálky spôsobuje tepelné straty počas zimného obdobia a nežiaduce tepelné zisky počas leta. Dôsledkom je zvýšená potreba energie na vykurovanie aj chladenie. Vysoká vzduchotesnosť umožňuje výrazne obmedziť tepelné straty infiltráciou, zvyšuje účinnosť systémov rekuperácie tepla a prispieva k optimalizácii energetickej hospodárnosti budovy. V pasívnych budovách môžu netesnosti predstavovať významný podiel celkových energetických strát, preto patrí zabezpečenie vzduchotesnosti medzi základné princípy ich návrhu.

#### **Vplyv na kvalitu vnútorného prostredia**

Vzduchotesnosť úzko súvisí aj s kvalitou vnútorného prostredia. Nekontrolované prúdenie vzduchu môže spôsobovať prievan, kolísanie teploty a znižovanie tepelného komfortu používateľov. Kvalitne navrhnutá vzduchotesná obálka vytvára stabilné vnútorné podmienky, umožňuje efektívnu prevádzku systémov riadeného vetrania, zlepšuje reguláciu vlhkosti vzduchu a prispieva k vyššej kvalite vnútorného ovzdušia. Nevyhnutnou podmienkou je však jej kombinácia s vhodne navrhnutým systémom mechanického vetrania, najčastejšie s rekuperáciou tepla.

#### **Riziká nedostatočnej vzduchotesnosti**

Nedostatočná vzduchotesnosť vedie nielen k zvýšenej spotrebe energie, ale môže negatívne ovplyvniť aj funkciu technických zariadení budovy. Netesnosti často spôsobujú kondenzáciu vodnej pary v konštrukciách, vznik plesní, zhoršenie kvality vnútorného prostredia a znižovanie tepelného komfortu. Z týchto dôvodov patrí vzduchotesnosť medzi základné ukazovatele kvality obálky budovy a predstavuje jednu z hlavných požiadaviek moderného nízkouhlíkového stavebníctva.

#### **Zabezpečenie vzduchotesnosti**

Dosiahnutie vysokej vzduchotesnosti si vyžaduje kvalitný architektonický návrh, správne riešenie stavebných detailov a precíznu realizáciu. Mimoriadnu pozornosť treba venovať spojom jednotlivých konštrukcií, montáži okien a dverí, prestupom technických inštalácií a aplikácii vzduchotesných vrstiev. Kvalita realizácie je pritom rovnako dôležitá ako samotný projektový návrh, pretože aj malé netesnosti môžu významne zhoršiť energetické parametre celej budovy.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Vzduchotesnosť predstavuje jeden zo základných predpokladov energeticky efektívnej budovy. V kombinácii s kvalitnou tepelnou izoláciou, elimináciou tepelných mostov a systémami riadeného vetrania s rekuperáciou tepla umožňuje významne znižovať spotrebu energie aj prevádzkové emisie skleníkových plynov. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) patrí vzduchotesnosť medzi rozhodujúce faktory ovplyvňujúce prevádzkovú energetickú náročnosť budovy. V pasívnych budovách, budovách nZEB a ZEB predstavuje jednu zo základných požiadaviek na návrh a realizáciu obálky budovy.

## 7.9.2 Blower Door Test

Blower Door Test predstavuje štandardnú metódu overovania vzduchotesnosti obálky budovy. Jeho cieľom je stanoviť množstvo nekontrolovanej výmeny vzduchu cez netesnosti stavebných konštrukcií a objektívne posúdiť kvalitu realizácie obálky budovy.

Skúška sa vykonáva pomocou špeciálneho ventilátora osadeného do otvoru dverí alebo okna. Ventilátor vytvára medzi interiérom a exteriérom definovaný tlakový rozdiel 50 Pa, pričom sa meria množstvo vzduchu potrebné na jeho udržanie. Na základe výsledkov sa určuje intenzita výmeny vzduchu spôsobená netesnosťami obálky.

Základným hodnoteným parametrom je

$$n_{50} \text{ (h}^{-1}\text{)}$$

ktorý vyjadruje počet výmen vzduchu za hodinu pri tlakovom rozdieli 50 Pa.

Vo všeobecnosti platí, že čím nižšia je hodnota  $n_{50}$ , tým vyššia je vzduchotesnosť budovy. Tento parameter priamo ovplyvňuje energetickú hospodárnosť objektu, účinnosť systémov rekuperácie tepla, tepelný komfort používateľov aj kvalitu vnútorného prostredia.

Počas skúšky možno pomocou termovíznej kamery alebo dymových skúšok lokalizovať konkrétne miesta netesností, čo umožňuje ich odstránenie ešte pred uvedením budovy do prevádzky.

Pre pasívne budovy platí medzinárodne uznávaná požiadavka

$$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1},$$

čo znamená, že pri skúšobnom tlaku 50 Pa sa môže objem vzduchu v budove vymeniť najviac 0,6-krát za hodinu. Takáto hodnota zabezpečuje veľmi nízke tepelné straty infiltráciou, vysokú účinnosť rekuperácie tepla a stabilné vnútorné prostredie.

Orientačné hodnoty vzduchotesnosti sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 13).

**Tabuľka 13** Orientačné hodnoty vzduchotesnosti

| Typ budovy              | $n_{50} \text{ (h}^{-1}\text{)}$ |
|-------------------------|----------------------------------|
| Bežná staršia budova    | 5 – 15                           |
| Moderná novostavba      | 1 – 3                            |
| Nízkoenergetická budova | $\leq 1,5$                       |
| Pasívny dom             | $\leq 0,6$                       |

Z tabuľky je zrejмый výrazný rozdiel medzi tradičnými stavbami a modernými energeticky efektívnymi budovami. Znižovanie hodnoty parametra  $n_{50}$  priamo súvisí s vyššou energetickou efektívnosťou a nižšou potrebou energie na vykurovanie.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Blower Door Test predstavuje jeden z najdôležitejších nástrojov kontroly kvality realizácie obálky budovy. Umožňuje objektívne overiť splnenie projektovaných parametrov



vzduchotesnosti a identifikovať prípadné nedostatky ešte pred uvedením objektu do prevádzky. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a požiadaviek na budovy nZEB a ZEB patrí zabezpečenie vysokej vzduchotesnosti medzi základné predpoklady minimalizácie prevádzkových tepelných strát a dosahovania vysokej energetickej hospodárnosti. Blower Door Test sa preto stal štandardnou súčasťou hodnotenia kvality moderných nízkouhlíkových budov.

## **7.10 Denné osvetlenie**

Denné osvetlenie patrí medzi základné princípy pasívneho navrhovania budov. Predstavuje prirodzený zdroj svetla, ktorý významne ovplyvňuje energetickú hospodárnosť budovy, kvalitu vnútorného prostredia aj celkový komfort používateľov. Správne navrhnuté využitie denného svetla umožňuje znižovať potrebu umelého osvetlenia, a tým aj spotrebu elektrickej energie počas prevádzky budovy.

V moderných nízkouhlíkových budovách sa preto kladie dôraz na optimalizáciu veľkosti presklených plôch, orientácie budovy a dispozičného riešenia interiéru s cieľom čo najefektívnejšie využívať prirodzené svetlo počas celého dňa.

### **Energetický význam**

Jedným z najvýznamnejších prínosov denného osvetlenia je obmedzenie potreby využívania umelého osvetlenia počas dennej prevádzky budovy. Pri vhodnom architektonickom návrhu možno významne skrátiť čas prevádzky svietidiel, čím sa znižuje spotreba elektrickej energie a zároveň sa obmedzujú vnútorné tepelné zisky vznikajúce prevádzkou osvetľovacích sústav. Tento efekt je obzvlášť významný pri administratívnych budovách, školách alebo zdravotníckych zariadeniach, kde môže osvetlenie predstavovať významnú časť celkovej spotreby elektrickej energie.

### **Ekonomické prínosy**

Nižšia spotreba elektrickej energie sa priamo premieta do znižovania prevádzkových nákladov budovy. Úspory vznikajúce v dôsledku efektívneho využívania denného svetla sa kumulujú počas celej životnosti objektu a významne prispievajú k jeho ekonomickej efektívnosti.

### **Komfort používateľov**

Denné svetlo pozitívne ovplyvňuje nielen energetickú hospodárnosť budovy, ale aj zdravie a pohodu jej používateľov. Dostatočné prirodzené osvetlenie zlepšuje vizuálny komfort, podporuje koncentráciu, zvyšuje produktivitu práce a priaznivo vplyva na prirodzený cirkadiánnny rytmus človeka. Z tohto dôvodu sa kvalitné denné osvetlenie považuje za jeden z rozhodujúcich faktorov kvality vnútorného prostredia.

### **Návrhové princípy**

Efektívne využívanie denného svetla závisí od správnej orientácie budovy, veľkosti a umiestnenia okien, dispozície vnútorných priestorov, svetelnej priepustnosti zasklenia a odrazivosti vnútorných povrchov. Pri návrhu je zároveň potrebné zabezpečiť ochranu pred oslnením a prehrievaním počas letných mesiacov vhodným tienením alebo architektonickými opatreniami.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Denné osvetlenie predstavuje jedno z najjednoduchších a zároveň najúčinnějších pasívnych opatrení na znižovanie spotreby energie. Keďže nevyžaduje dodatočnú energiu na svoju prevádzku, jeho pozitívny vplyv sa prejavuje počas celej životnosti budovy.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) patrí optimalizácia denného osvetlenia medzi základné opatrenia na znižovanie prevádzkového uhlíka. V pasívnych budovách, budovách nZEB a ZEB

významne prispieva k zníženiu spotreby elektrickej energie, prevádzkových nákladov a emisií skleníkových plynov.

## 7.10.2 Daylight Factor

Kvalita denného osvetlenia sa pri navrhovaní budov hodnotí pomocou ukazovateľa Daylight Factor (DF), ktorý vyjadruje pomer medzi intenzitou osvetlenia vo vnútornom priestore a súčasnou intenzitou vonkajšieho difúzneho denného svetla pri zatiahnutej oblohe. Matematicky možno faktor denného osvetlenia vyjadriť vzťahom:

$$DF = \frac{E_i}{E_e} \times 100$$

kde:

DF – činiteľ denného osvetlenia (*Daylight Factor*) (%),

$E_i$  – intenzita osvetlenia vo vnútornom priestore (lx),

$E_e$  – súčasná intenzita vonkajšieho osvetlenia na vodorovnej rovine pri zatiahnutej oblohe (lx).

Hodnota DF vyjadruje, aká časť dostupného denného svetla preniká do interiéru. Vyššie hodnoty znamenajú lepšie prirodzené osvetlenie, nižšiu potrebu umelého osvetlenia a vyšší vizuálny komfort používateľov.

Pre väčšinu obytných a administratívnych priestorov sa odporúča hodnota

$$DF = 2 - 5\%$$

ktorá predstavuje optimálnu úroveň prirodzeného osvetlenia pri zachovaní energetickej efektívnosti a vizuálneho komfortu. Orientačné hodnoty možno interpretovať nasledovne (Tabuľka 14).

**Tabuľka 14** Orientačné hodnoty Daylight Factor

| Daylight Factor | Hodnotenie                                                   |
|-----------------|--------------------------------------------------------------|
| < 2 %           | nedostatočné denné osvetlenie                                |
| 2 – 5 %         | optimálne denné osvetlenie                                   |
| > 5 %           | veľmi dobré osvetlenie, možné riziko oslnenia a prehrievania |

Na výslednú hodnotu činiteľa denného osvetlenia vplyva viacero faktorov, najmä veľkosť a orientácia okien, hĺbka miestnosti, svetelná priepustnosť zasklenia, tienenie, odrazivosť vnútorných povrchov a charakter okolitej zástavby. Návrh transparentných konštrukcií preto musí zabezpečiť vyvážený vzťah medzi dostatočným denným osvetlením, tepelnou ochranou a ochranou proti prehrievaniu. Z pohľadu nízkouhlíkového stavebníctva predstavuje optimalizácia denného osvetlenia jeden zo základných princípov pasívneho návrhu. Správne navrhnuté presklené plochy umožňujú znižovať spotrebu elektrickej energie pri zachovaní vysokej kvality vnútorného prostredia, čím významne prispievajú k zníženiu prevádzkových emisií budovy.

## 7.11 Prirodzené vetranie

Prirodzené vetranie predstavuje pasívny spôsob zabezpečenia výmeny vzduchu v budove bez využitia mechanických ventilačných zariadení. Je založené na prirodzených fyzikálnych javoch, predovšetkým na rozdieloch tlaku vzduchu spôsobených vetrom a rozdieloch hustoty vzduchu vyvolaných teplotným gradientom medzi interiérom a exteriérom. Správne navrhnuté prirodzené vetranie prispieva k zlepšeniu kvality vnútorného prostredia, zníženiu energetickej náročnosti budovy a zabezpečeniu tepelného komfortu používateľov.

V nízkouhlíkových budovách sa prirodzené vetranie využíva najmä v kombinácii s ďalšími pasívnymi opatreniami, ako sú vhodná orientácia budovy, účinné tienenie, tepelná akumulácia konštrukcií alebo nočné chladenie. Najväčší prínos prináša počas prechodných období roka, keď nie je potrebné intenzívne vykurovanie ani mechanické chladenie.

### **Krížové vetranie**

Krížové vetranie (Cross Ventilation) využíva rozdiel tlaku vzduchu medzi náveternou a záveternou stranou budovy. Vzduch vstupuje do interiéru cez otvory orientované na náveternú fasádu a následne prirodzene prúdi smerom k otvorom na opačnej strane budovy.

Účinnosť tohto spôsobu vetrania závisí od vhodného dispozičného riešenia, zabezpečenia otvorov na protihľých fasádach a dostatočného tlakového rozdielu spôsobeného prúdením vetra. Krížové vetranie umožňuje intenzívnu výmenu vzduchu, zlepšuje kvalitu vnútorného prostredia, odvádza vnútorné tepelné zisky a počas letného obdobia významne obmedzuje potrebu mechanického chladenia.

### **Komínový efekt**

Komínový efekt (Stack Effect) využíva rozdiel hustoty teplého a studeného vzduchu. Teplý vzduch sa prirodzene pohybuje smerom nahor a je odvádzaný cez otvory umiestnené vo vyšších častiach budovy, zatiaľ čo chladnejší vzduch vstupuje cez otvory v nižších úrovniach objektu. Takto vznikajúce prirodzené prúdenie vzduchu zabezpečuje kontinuálnu výmenu vnútorného prostredia bez potreby mechanických zariadení. Tento princíp nachádza uplatnenie najmä vo viacpodlažných budovách, átriových objektoch alebo stavbách využívajúcich ventilačné šachty.

### **Nočné chladenie**

Nočné chladenie (Night Cooling) predstavuje pasívnu stratégiu využívanú predovšetkým počas letného obdobia. Je založené na intenzívnom vetraní budovy počas nočných hodín, keď je vonkajšia teplota nižšia než teplota vnútorného prostredia.

Počas nočného vetrania dochádza k odvádzaniu tepla akumulovaného počas dňa a k ochladzovaniu stavebných konštrukcií, ktoré následne počas nasledujúceho dňa prispievajú k stabilizácii vnútornej teploty. Najvyššiu účinnosť dosahuje tento spôsob chladenia v budovách s vysokou tepelnou akumuláciou, napríklad pri železobetónových alebo murovaných konštrukciách.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Krížové vetranie, komínový efekt a nočné chladenie predstavujú základné princípy pasívneho zabezpečenia kvalitného vnútorného prostredia pri minimálnej spotrebe energie. Ich správna integrácia do architektonického návrhu umožňuje obmedziť potrebu mechanického vetrania a klimatizácie, čím sa znižujú prevádzkové náklady aj emisie skleníkových plynov.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) patrí prirodzené vetranie medzi významné pasívne opatrenia podporujúce znižovanie prevádzkového uhlíka (Operational Carbon). V pasívných budovách, budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) tvorí dôležitú súčasť architektonického návrhu a významne prispieva k energetickej efektívnosti, klimatekovej odolnosti a dlhodobej udržateľnosti budov.

## **7.12 Ochrana proti prehrievaniu**

### **7.12.1 Význam**

V dôsledku klimatických zmien sa ochrana budov pred prehrievaním stáva jednou z najvýznamnejších výziev súčasného stavebníctva. Rast priemerných teplôt, častejší výskyt tepelných vln a predlžovanie letného obdobia vedú k zvyšovaniu tepelných ziskov v budovách,

čo negatívne ovplyvňuje energetickú hospodárnosť, komfort používateľov aj kvalitu vnútorného prostredia.

Kým v minulosti bola hlavná pozornosť venovaná predovšetkým znižovaniu potreby energie na vykurovanie, súčasné klimatické podmienky si vyžadujú vyvážený prístup, ktorý rovnocenne rieši aj ochranu pred letným prehrievaním. Nedostatočne navrhnutá ochrana proti prehrievaniu vedie k rastúcej spotrebe energie na klimatizáciu, zvyšovaniu prevádzkových nákladov a zhoršovaniu vnútorného prostredia.

Prehrievanie budov vzniká predovšetkým v dôsledku nadmerných tepelných ziskov zo slnečného žiarenia prenikajúceho cez transparentné konštrukcie, vnútorných tepelných ziskov od osôb, osvetlenia a elektrických zariadení, ako aj v dôsledku nedostatočného vetrania. Riziko prehrievania je najvyššie pri budovách s rozsiahlymi presklenými plochami, nevhodnou orientáciou alebo nedostatočným tienením.

Dlhodobé vystavenie zvýšeným vnútorným teplotám vedie k znižovaniu tepelného komfortu, poklesu pracovnej výkonnosti, zvýšeniu zdravotných rizík a rastúcej potrebe mechanického chladenia. Tieto dôsledky majú významný vplyv na energetickú spotrebu aj prevádzkovú uhlíkovú stopu budovy. Najúčinnnejším spôsobom ochrany pred prehrievaním je využívanie pasívnych opatrení, ktoré nevyžadujú dodatočnú energiu na svoju prevádzku. Medzi najvýznamnejšie patria vhodná orientácia budovy, optimalizácia presklených plôch, exteriérové tienenie, prirodzené vetranie, nočné chladenie, tepelná akumulácia stavebných konštrukcií a vegetačné prvky. Ich vzájomná kombinácia umožňuje výrazne obmedziť potrebu klimatizácie a znižovať prevádzkovú spotrebu energie. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a požiadaviek na budovy nZEB a ZEB predstavuje ochrana proti prehrievaniu nevyhnutnú súčasť moderného nízkouhlíkového navrhovania. Správna kombinácia pasívnych opatrení významne prispieva k znižovaniu spotreby energie, prevádzkových emisií CO<sub>2</sub> a zároveň zvyšuje odolnosť budov voči očakávaným klimatickým zmenám.

## **7.13 Zelené strechy**

### **7.13.1 Typy**

Zelené strechy predstavujú vegetačné systémy umiestnené na strešných konštrukciách budov. Okrem estetických a ekologických prínosov významne prispievajú k zlepšovaniu tepelnej stability objektov, zadržiavaniu dažďovej vody a zmierňovaniu negatívnych dôsledkov klimatických zmien. V nízkouhlíkovom stavebníctve sa považujú za významný prvok udržateľného navrhovania, ktorý podporuje adaptáciu budov na meniace sa klimatické podmienky a zároveň prispieva k znižovaniu ich energetickej náročnosti.

Podľa hrúbky vegetačného súvrstvia, použitej vegetácie a spôsobu využívania sa zelené strechy rozdeľujú na extenzívne a intenzívne systémy.

#### **Extenzívne zelené strechy**

Extenzívne zelené strechy predstavujú najjednoduchší a zároveň najrozšírenejší typ vegetačných striech. Sú navrhnuté s cieľom minimalizovať zaťaženie nosnej konštrukcie aj požiadavky na údržbu. Hrúbka vegetačného substrátu sa spravidla pohybuje v rozmedzí 5 až 15 cm, pričom sa využívajú najmä rozchodníky (Sedum), machy, nízke trvalky a ďalšie suchomilné rastliny schopné prežívať aj pri obmedzenej dostupnosti vody.

Vďaka nízkej hmotnosti, jednoduchej realizácii a minimálnym nárokom na údržbu sú extenzívne vegetačné strechy vhodné nielen pre novostavby, ale aj pre rekonštrukcie existujúcich objektov. Ich environmentálny význam spočíva predovšetkým v obmedzovaní prehrievania strešného plášťa, zlepšovaní mikroklimy, zadržiavaní dažďovej vody, zmierňovaní efektu mestského tepelného ostrova a podpore biodiverzity. Vegetačný kryt zároveň chráni hydroizolačné vrstvy pred ultrafialovým žiarením a teplotnými výkyvmi, čím predlžuje životnosť strešnej konštrukcie. Počas letného obdobia vegetačná vrstva významne znižuje teplotu povrchu strechy a obmedzuje prestup tepla do interiéru. Výsledkom je nižšia

potreba mechanického chladenia, vyšší tepelný komfort používateľov a znižovanie prevádzkových emisií skleníkových plynov. Extenzívne zelené strechy nachádzajú uplatnenie predovšetkým na administratívnych budovách, bytových domoch, priemyselných objektoch, verejných stavbách a nízkoenergetických rodinných domoch. V kombinácii s fotovoltickými systémami vytvárajú multifunkčné strešné riešenia podporujúce energetickú efektívnosť aj klimatickú odolnosť budovy.

### **Intenzívne zelené strechy**

Intenzívne zelené strechy predstavujú technicky náročnejší typ vegetačných systémov, ktorý umožňuje pestovanie širšieho spektra rastlín vrátane trávnikov, okrasných rastlín, kríkov a menších stromov. V porovnaní s extenzívnymi strechami vyžadujú väčšiu hrúbku vegetačného substrátu, vyššiu únosnosť nosnej konštrukcie a pravidelnú údržbu.

Hrúbka substrátu sa spravidla pohybuje v rozmedzí 15 až 100 cm, pričom pri strešných záhradách môže byť ešte väčšia. Väčší objem substrátu umožňuje vytvárať rekreačné a pobytové plochy, komunitné záhrady alebo mestské poľnohospodárske priestory.

V porovnaní s extenzívnymi systémami poskytujú intenzívne zelené strechy výraznejšie environmentálne prínosy. Vďaka väčšiemu objemu vegetácie účinnejšie znižujú prehrievanie budovy, zlepšujú mikroklimu, zachytávajú dažďovú vodu, podporujú biodiverzitu a prispievajú k zlepšovaniu kvality ovzdušia. Významným prínosom je aj vyššia tepelná akumulácia strešného plášťa, ktorá prispieva k stabilizácii vnútorného prostredia, znižovaniu potreby chladenia a obmedzovaniu prevádzkových emisií CO<sub>2</sub>. Súčasne vytvárajú nové verejné alebo súkromné priestory určené na oddych, rekreáciu a spoločenské aktivity.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Extenzívne aj intenzívne vegetačné strechy predstavujú významný prvok moderného nízkouhlíkového stavebníctva. Výber vhodného systému závisí od funkcie budovy, statických možností nosnej konštrukcie, prevádzkových požiadaviek a ekonomických možností investora. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) predstavujú zelené strechy významné opatrenie podporujúce znižovanie energetickej náročnosti budov, adaptáciu na klimatické zmeny a zlepšovanie environmentálnej kvality urbanizovaného prostredia.

## **7.13.2 Prínosy zelených striech**

Zelené strechy predstavujú významný prvok udržateľného stavebníctva, ktorý prináša environmentálne, energetické, technické aj urbanistické prínosy. Na rozdiel od tradičných strešných konštrukcií plnia viacero funkcií súčasne – znižujú energetickú náročnosť budov, podporujú hospodárenie so zrážkovou vodou, zvyšujú biodiverzitu a priaznivo ovplyvňujú mikroklimatické podmienky urbanizovaného prostredia.

### **Znižovanie prehrievania budov**

Jedným z najvýznamnejších prínosov vegetačných striech je ich schopnosť obmedzovať prehrievanie budov počas letného obdobia. Vegetačný substrát spolu s rastlinným pokryvom absorbuje časť dopadajúceho slnečného žiarenia a prostredníctvom evapotranspirácie ochladzuje povrch strechy. Tým sa znižuje množstvo tepla prenikajúceho do interiéru, obmedzuje sa potreba mechanického chladenia a zvyšuje sa tepelný komfort používateľov.

Okrem samotnej budovy vegetačné strechy významne prispievajú aj k zmierneniu efektu mestského tepelného ostrova (Urban Heat Island), ktorý patrí medzi hlavné dôsledky urbanizácie.

### **Retencia dažďovej vody**

Významnou funkciou zelených striech je schopnosť zachytávať a dočasne zadržiavať zrážkovú vodu. Vegetačný substrát spolu s rastlinným pokryvom dokáže akumulovať významnú časť zrážok, čím sa znižuje povrchový odtok vody, odľahčuje kanalizačný systém a

obmedzuje riziko lokálnych záplav. V závislosti od typu vegetačnej strechy, hrúbky substrátu a klimatických podmienok možno zachytiť približne 40 až 90 % ročných zrážok, čo robí zo zelených striech významný prvok udržateľného hospodárenia s dažďovou vodou.

### Podpora biodiverzity

Vegetačné strechy vytvárajú nové biotopy pre rastliny, opelujúci hmyz, vtáctvo a ďalšie organizmy, čím prispievajú k zvyšovaniu biodiverzity v urbanizovaných oblastiach. Predstavujú ekologické koridory podporujúce zachovanie prírodných procesov aj v intenzívne zastavanom prostredí a zvyšujú ekologickú stabilitu miest.

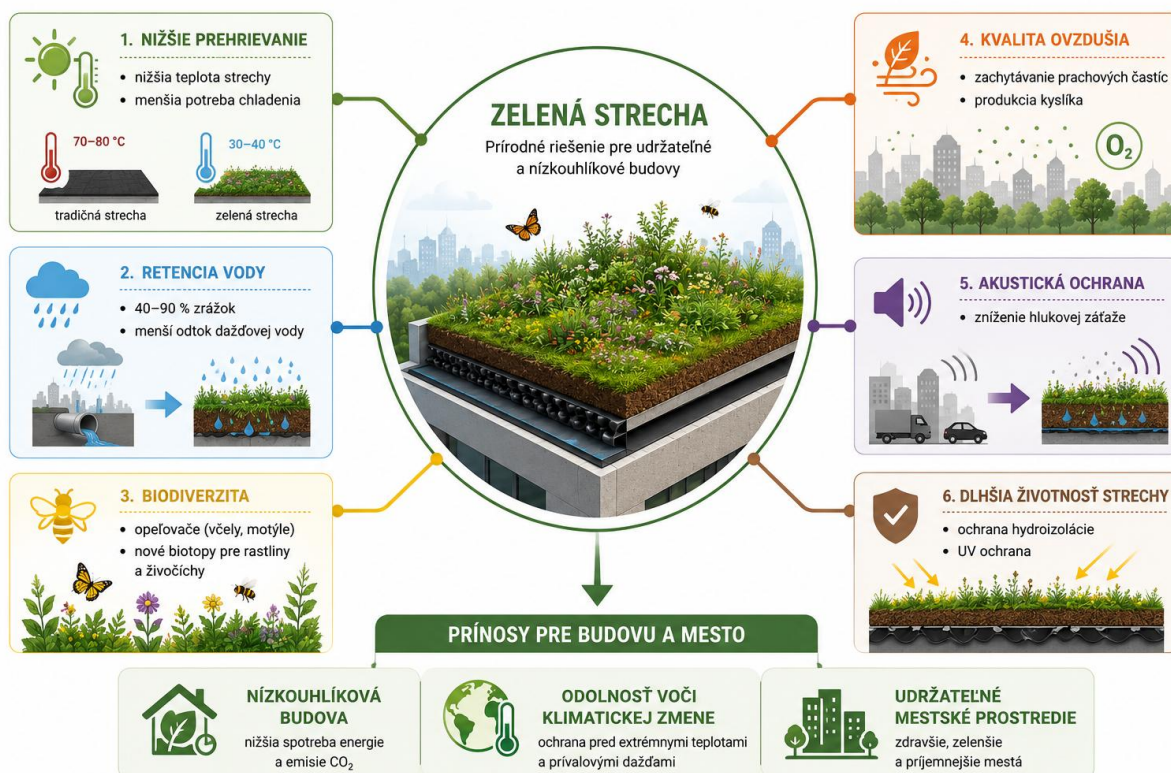
### Ďalšie prínosy

Okrem uvedených funkcií prinášajú zelené strechy aj ďalšie environmentálne a prevádzkové výhody. Prispievajú k zachytávaniu prachových častíc, zlepšujú kvalitu ovzdušia, znižujú hlukovú záťaž, chránia hydroizolačné vrstvy pred UV žiarením a predlžujú životnosť strešných konštrukcií. Súčasne zvyšujú estetickú hodnotu budov a pozitívne ovplyvňujú kvalitu mestského prostredia (Obrázok 30).

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Schopnosť znižovať prehrievanie budov, efektívne hospodáriť so zrážkovou vodou a podporovať biodiverzitu robí zo zelených striech významný adaptačný prvok nízkouhlíkového stavebníctva. Ich využívanie prispieva k znižovaniu potreby energie na chladenie, zlepšuje hospodárenie s vodnými zdrojmi a pozitívne ovplyvňuje mikroklimatické podmienky urbanizovaných území.

Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) predstavujú vegetačné strechy významný nástroj adaptácie budov na klimatické zmeny. V pasívnych budovách, budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) tvoria dôležitú súčasť integrovaného návrhu a významne prispievajú k znižovaniu prevádzkovej spotreby energie, obmedzovaniu emisií skleníkových plynov a podpore klimatickej neutrality.



## 7.14 Modrozelená infraštruktúra

### 7.14.1 Definícia

Modrozelená infraštruktúra (Blue-Green Infrastructure – BGI) predstavuje moderný prístup k plánovaniu, navrhovaniu a správe budov a urbanizovaného prostredia, ktorý integruje prírodné prvky do zastavaného územia s cieľom zvyšovať environmentálnu kvalitu, klimatickú odolnosť a kvalitu života obyvateľov. Na rozdiel od tradičných technických riešení využíva prirodzené ekologické procesy na reguláciu vodného režimu, zmierňovanie prehrievania miest a podporu biodiverzity. Koncept modrozelenej infraštruktúry vznikol ako reakcia na rastúce dôsledky urbanizácie a klimatických zmien, medzi ktoré patrí zvyšovanie teploty zastavaného prostredia, úbytok vegetácie, rast povrchového odtoku dažďovej vody, častejší výskyt prívalových zrážok a postupné zhoršovanie mikroklimatických podmienok miest. Jeho cieľom je vytvárať funkčné systémy schopné prirodzene regulovať vodný režim, znižovať environmentálne zaťaženie a zvyšovať ekologickú stabilitu urbanizovaného územia.

Základným princípom modrozelenej infraštruktúry je vzájomná integrácia dvoch navzájom prepojených zložiek – zelenej infraštruktúry, predstavovanej vegetáciou a prírodnými ekosystémami, a modrej infraštruktúry, zahŕňajúcej vodné prvky a systémy hospodárenia so zrážkovou vodou. Zelenú infraštruktúru tvoria predovšetkým vegetačné strechy, zelené fasády, mestské parky, stromoradia, dažďové záhrady, vegetačné pásy a komunitné záhrady. Tieto prvky prispievajú k ochladzovaniu prostredia prostredníctvom tienenia a evapotranspirácie, zlepšujú kvalitu ovzdušia, zachytávajú prachové častice a podporujú biodiverzitu. Modrá infraštruktúra zahŕňa retenčné nádrže, dažďové záhrady, vsakovacie systémy, vodné plochy, mokrade, otvorené vodné toky a ďalšie opatrenia zabezpečujúce efektívne hospodárenie so zrážkovou vodou. Ich úlohou je zadržiavať dažďovú vodu v území, znižovať povrchový odtok, podporovať prirodzené dopĺňanie zásob podzemnej vody a zmierňovať riziko lokálnych záplav.





**Obrázok 31** Modrozelená infraštruktúra

Synergické pôsobenie vegetácie a vodných prvkov vytvára komplexný systém, ktorý znižuje prehrievanie urbanizovaného prostredia, podporuje prirodzený kolobeh vody a vytvára priaznivejšie mikroklimatické podmienky.

Modrozelená infraštruktúra sa preto stáva neoddeliteľnou súčasťou moderného nízkouhlíkového stavebníctva a jedným z najvýznamnejších adaptačných opatrení na zmierňovanie dôsledkov klimatických zmien (Obrázok 31).

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

V nízkouhlíkových budovách predstavuje modrozelená infraštruktúra významný nástroj adaptácie na klimatické zmeny. Pomáha znižovať potrebu mechanického chladenia, zlepšovať hospodárenie so zrážkovou vodou a vytvárať zdravšie vnútorné aj vonkajšie prostredie. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) patrí medzi základné opatrenia podporujúce klimatickú odolnosť budov. V kombinácii so zelenými strechami, vegetačnými fasádami, retenčnými systémami a ďalšími prvkami udržateľného navrhovania významne prispieva k realizácii budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

### 7.14.2 Funkcie

Modrozelená infraštruktúra plní v modernom urbanizovanom prostredí viacero významných environmentálnych, klimatických a spoločenských funkcií. Integrácia vegetácie a vodných prvkov umožňuje zmierňovať negatívne dôsledky urbanizácie, zlepšovať mikroklimatické podmienky a zvyšovať odolnosť budov i celých sídel voči klimatickým zmenám.

Jednou z jej najvýznamnejších funkcií je ochladzovanie prostredia. Vegetácia a vodné prvky znižujú teplotu okolitého prostredia prostredníctvom tienenia a evapotranspirácie, pri ktorej sa časť dopadajúcej slnečnej energie spotrebúva na odparovanie vody. Výsledkom je znižovanie povrchových teplôt, obmedzenie efektu mestského tepelného ostrova (Urban Heat Island), zlepšenie mikroklimy a zvýšenie tepelného komfortu používateľov.

Rovnako významnou funkciou je retencia dažďovej vody. Vegetačné plochy, retenčné nádrže, dažďové záhrady a vsakovacie systémy zachytávajú a dočasne zadržiavajú zrážkovú vodu,



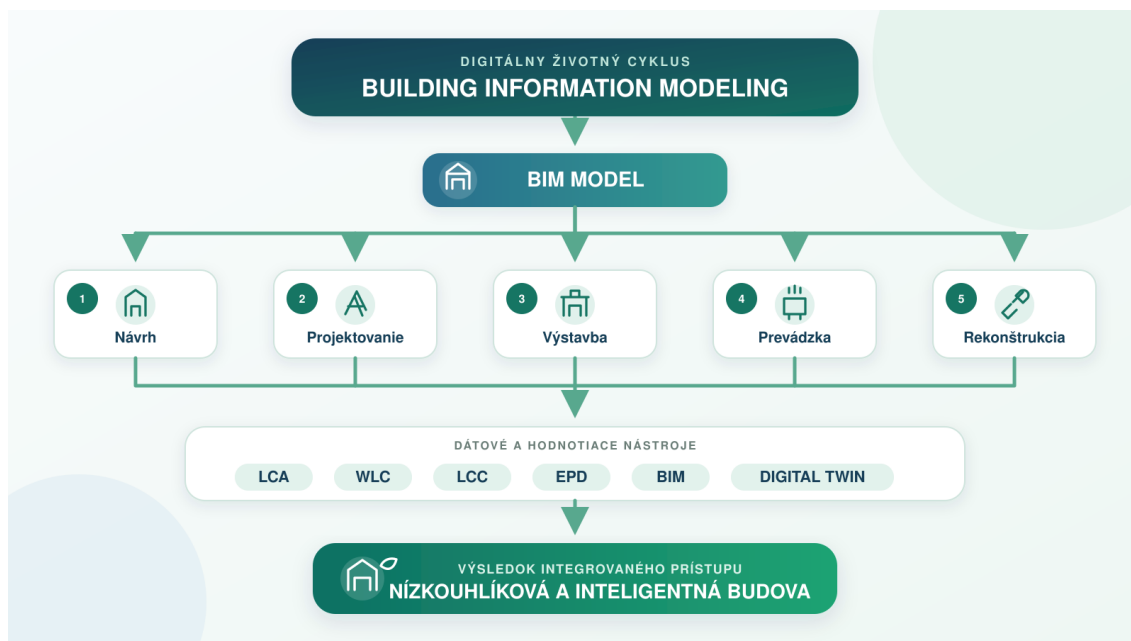
čím znižujú povrchový odtok, odľahčujú kanalizačné siete a prispievajú k dopĺňaniu zásob podzemnej vody. Súčasne významne obmedzujú riziko lokálnych záplav počas intenzívnych zrážok. Modrozelená infraštruktúra predstavuje aj jedno z najvýznamnejších adaptačných opatrení na klimatické zmeny. Prispieva k zmierňovaniu prehrievania miest, zvyšuje odolnosť urbanizovaného prostredia voči obdobiam sucha, znižuje riziko povodní a podporuje ekologickú stabilitu územia. Jej význam bude v budúcnosti naďalej narastať v súvislosti s očakávaným rastom priemerných teplôt a častejším výskytom extrémnych klimatických javov. Okrem uvedených funkcií prináša modrozelená infraštruktúra aj ďalšie významné environmentálne a spoločenské prínosy. Prispieva k zlepšovaniu kvality ovzdušia, zachytávaniu prachových častíc, podpore biodiverzity, zvyšovaniu estetickej hodnoty mestského prostredia a pozitívne vplyva na psychickú pohodu obyvateľov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

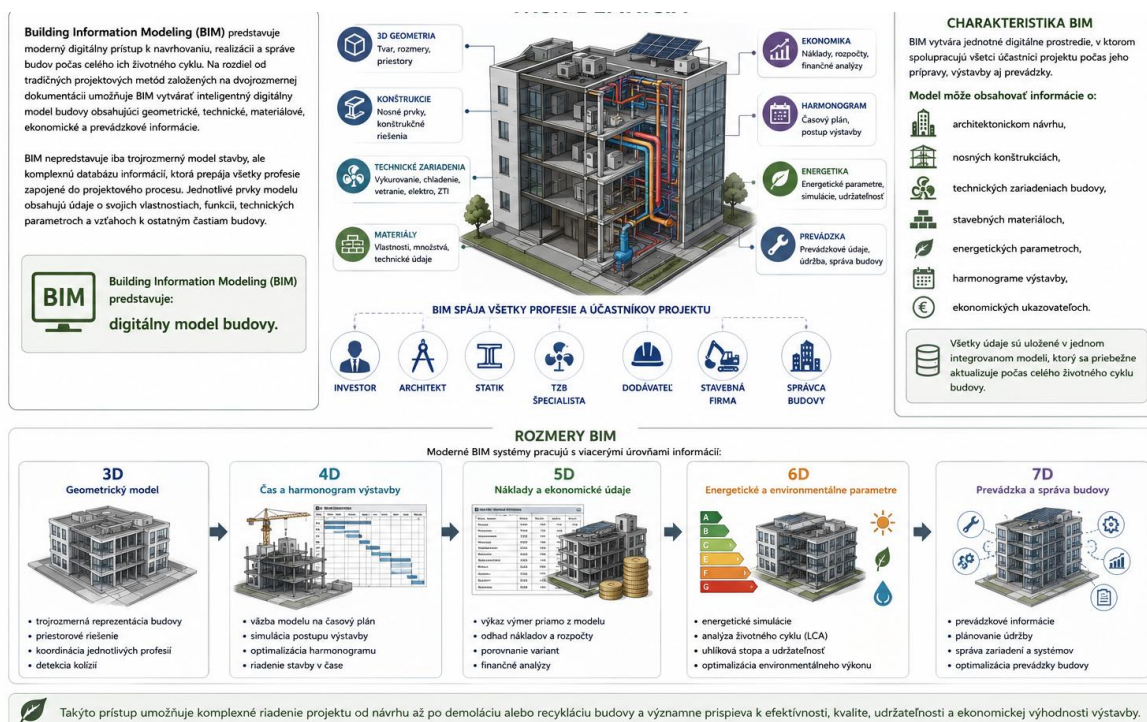
Ochladzovanie prostredia, efektívne hospodárenie so zrážkovou vodou a adaptácia na klimatické zmeny robia z modrozelenej infraštruktúry významný prvok nízkouhlíkového stavebníctva. Integrácia vegetácie a vodných prvkov umožňuje znižovať energetickú náročnosť budov, obmedzovať potrebu mechanického chladenia a zlepšovať environmentálnu výkonnosť stavebných projektov. Z pohľadu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípov Integrated Design Process (IDP) predstavuje modrozelená infraštruktúra jeden z najvýznamnejších nástrojov adaptácie zastavaného prostredia na klimatické zmeny. V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) významne podporuje klimatickú odolnosť, udržateľné hospodárenie s vodnými zdrojmi a dlhodobé znižovanie uhlíkovej stopy budov aj urbanizovaného prostredia.

## **7.15 BIM v projektovaní**

Building Information Modeling (BIM) predstavuje moderný digitálny prístup k navrhovaniu, realizácii, správe a prevádzke budov počas celého ich životného cyklu (Obrázok 32). Na rozdiel od tradičných projektových metód založených prevažne na dvojrozmernej projektovej dokumentácii umožňuje BIM vytvárať inteligentný digitálny model budovy, ktorý integruje geometrické, technické, materiálové, ekonomické a prevádzkové informácie do jednotného informačného prostredia. BIM nepredstavuje iba trojrozmerný model stavby, ale komplexnú databázu vzájomne prepojených údajov, ktorá prepája všetky profesie zapojené do projektového procesu. Jednotlivé stavebné prvky obsahujú informácie o svojej geometrii, materiálovom zložení, technických vlastnostiach, nákladoch, životnosti a vzájomných väzbách. Digitálny model sa tak stáva spoločným informačným prostredím, ktoré umožňuje efektívnu koordináciu návrhu, realizácie aj následnej správy budovy. Význam technológie BIM v posledných rokoch výrazne vzrástol v súvislosti s digitalizáciou stavebníctva, implementáciou princípov Industry 4.0 a rastúcimi požiadavkami na navrhovanie energeticky efektívnych a nízkouhlíkových budov. Integrácia projektových údajov do jednotného digitálneho modelu umožňuje analyzovať dôsledky jednotlivých návrhových riešení už v počiatočných etapách projektu a optimalizovať budovu z pohľadu energetickej hospodárnosti, uhlíkovej stopy, ekonomickej efektívnosti aj prevádzkovej udržateľnosti. V prostredí nízkouhlíkového stavebníctva predstavuje BIM významný nástroj na podporu metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC). Prepojenie digitálneho modelu s databázami stavebných materiálov, environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a energetickými simulačnými nástrojmi umožňuje hodnotiť environmentálne dopady budovy už počas projektovania a optimalizovať návrh ešte pred začiatkom realizácie stavby. Moderné BIM prostredie zároveň vytvára základ pre digitálne riadenie celého životného cyklu budovy – od architektonického návrhu, cez projektovanie a výstavbu až po prevádzku, údržbu, rekonštrukciu a ukončenie životnosti objektu. V kombinácii s digitálnymi dvojčatami (Digital Twin), internetom vecí (IoT) a umelou inteligenciou (AI) predstavuje jeden z kľúčových nástrojov transformácie stavebného sektora smerom k inteligentným, energeticky efektívnym a klimaticky neutrálnym budovám (Obrázok 33).



Obrázok 32 BIM počas životného cyklu budovy



Obrázok 33 BIM v projektovaní

## 7.15.2 Výhody

Building Information Modeling prináša významné prínosy počas celého životného cyklu budovy – od počiatočného návrhu cez realizáciu až po správu a prevádzku objektu. V porovnaní s tradičnými projektovými metódami umožňuje efektívnejšiu koordináciu odborných profesií, presnejšie plánovanie výstavby a komplexné hodnotenie energetických, ekonomických aj environmentálnych parametrov budovy. Jednou z najvýznamnejších výhod BIM je koordinácia všetkých profesií v spoločnom digitálnom modeli. Architekti, statici, projektanti technických

zariadení budov, energetickí špecialisti aj environmentálni konzultanti pracujú s jednotnou databázou údajov, čo umožňuje včas identifikovať kolízie medzi jednotlivými systémami, znižovať počet projektových chýb a minimalizovať dodatočné náklady počas realizácie stavby. Významným prínosom BIM je aj možnosť vykonávať pokročilé energetické simulácie. Digitálny model poskytuje podklady na hodnotenie potreby energie na vykurovanie a chladenie, analýzu využitia obnoviteľných zdrojov energie, optimalizáciu orientácie budovy, posúdenie pasívnych solárnych ziskov a návrh energeticky efektívnych technických systémov. Projektanti tak môžu priebežne optimalizovať energetickú hospodárnosť budovy ešte pred začiatkom výstavby. Ďalšou významnou výhodou je možnosť integrovať environmentálne údaje o stavebných materiáloch a vykonávať priebežné hodnotenie uhlíkovej stopy budovy. Prepojenie BIM s databázami EPD a metodikou Life Cycle Assessment (LCA) umožňuje analyzovať zabudovaný uhlík (Embodied Carbon), porovnávať alternatívne materiálové riešenia a optimalizovať návrh z pohľadu celého životného cyklu budovy. Okrem uvedených funkcií BIM zlepšuje presnosť výkazov výmer, podporuje plánovanie výstavby, uľahčuje správu budovy a vytvára predpoklady na využívanie digitálnych dvojčiat (Digital Twin) počas prevádzky objektu. Tieto vlastnosti významne zvyšujú efektívnosť projektového procesu a znižujú riziko chýb počas realizácie.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Koordinácia profesií, energetické simulácie a priebežné hodnotenie uhlíkovej stopy robia z BIM jeden z najvýznamnejších nástrojov moderného nízkouhlíkoveho stavebníctva. V spojení s metodikami LCA, Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) umožňuje navrhovať budovy komplexne, optimalizovať ich environmentálne parametre a efektívne riadiť celý ich životný cyklus. V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) predstavuje BIM základný nástroj digitálneho projektovania a významne prispieva k dosahovaniu klimatickej neutrality a trvalo udržateľného rozvoja stavebného sektora.

## **7.15.3 BIM a LCA**

Jedným z najvýznamnejších trendov súčasného projektovania nízkouhlíkových budov je prepojenie metodiky Building Information Modeling (BIM) s hodnotením životného cyklu budovy (Life Cycle Assessment – LCA). Integrácia týchto prístupov umožňuje analyzovať environmentálne dopady stavebných materiálov, konštrukčných riešení a technických systémov už počas projektovej fázy a prijímať rozhodnutia vedúce k systematickému znižovaniu uhlíkovej stopy budovy. Tradičné hodnotenie environmentálnych dopadov sa vo väčšine prípadov realizovalo až po dokončení projektového návrhu. Moderné BIM platformy však umožňujú automatizované spracovanie údajov o stavebných materiáloch a ich prepojenie s databázami environmentálnych parametrov. Environmentálne aspekty možno preto hodnotiť priebežne počas celého procesu projektovania, čo významne zvyšuje možnosti optimalizácie návrhu ešte pred začiatkom výstavby.

### **Automatizovaný výpočet stavebných materiálov**

Digitálny BIM model obsahuje podrobné informácie o všetkých stavebných prvkoch vrátane ich geometrie, objemov, materiálového zloženia a technických vlastností. Na základe týchto údajov možno automaticky vytvárať výkazy výmer, materiálové bilancie a podklady pre plánovanie realizácie stavby bez potreby manuálneho spracovania údajov. Automatizované spracovanie výrazne zvyšuje presnosť výpočtov, minimalizuje riziko projektových chýb, optimalizuje spotrebu stavebných materiálov a prispieva k znižovaniu materiálových strát. Zároveň umožňuje efektívnejšie plánovanie výstavby a vytvára spoľahlivý základ pre ďalšie environmentálne a ekonomické analýzy.

### **Hodnotenie zabudovaného uhlíka**

Jednou z najvýznamnejších výhod integrácie BIM a metodiky LCA je možnosť priebežného hodnotenia zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) jednotlivých stavebných prvkov. Digitálny model možno prepojiť s databázami environmentálnych produktových deklarácií (EPD), ktoré obsahujú údaje o uhlíkovej stope stavebných materiálov a výrobkov.

Projektanti tak môžu už počas tvorby projektu priebežne vyhodnocovať uhlíkovú stopu budovy, porovnávať alternatívne materiálové riešenia, identifikovať hlavné zdroje emisií a optimalizovať návrh z environmentálneho hľadiska. Tento prístup významne podporuje znižovanie zabudovaného uhlíka ešte pred začiatkom samotnej realizácie stavby.

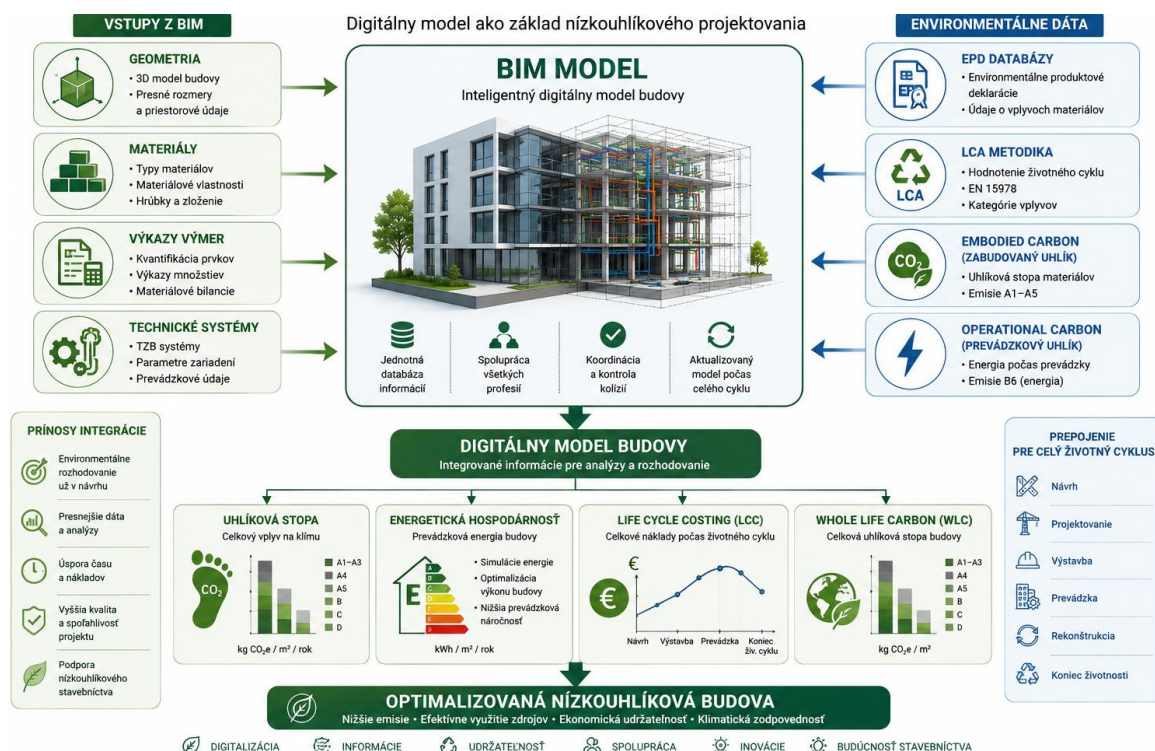
### Prepojenie s environmentálnymi databázami

Moderné BIM platformy možno integrovať s databázami obsahujúcimi EPD, údaje o zabudovanom uhlíku stavebných materiálov, energetické parametre výrobkov, informácie o recyklovateľnosti a ďalšie údaje potrebné na vykonávanie analýz Life Cycle Assessment.

Významným trendom je aj prepojenie BIM modelov s Digitálnymi produktovými pasmi (Digital Product Passports – DPP), ktoré umožňujú automaticky získavať údaje o pôvode materiálov, ich environmentálnych vlastnostiach, možnostiach recyklácie a opätovného využitia. Takéto riešenie vytvára predpoklady pre efektívnejšie riadenie materiálových tokov počas celého životného cyklu budovy a podporuje princípy obehového hospodárstva.

### Prínosy integrácie BIM a LCA

Integrácia metodík BIM a LCA predstavuje významný krok smerom k digitalizácii projektového procesu a navrhovaniu budov s minimálnym environmentálnym dopadom. Umožňuje rýchlejšie spracovanie environmentálnych analýz, presnejšie hodnotenie uhlíkovej stopy, efektívnejší výber stavebných materiálov a objektívne porovnávanie jednotlivých návrhových variantov. Významným prínosom je aj možnosť prepájať environmentálne hodnotenie s ekonomickými analýzami Life Cycle Costing (LCC) a hodnotením Whole Life Carbon (WLC). Projektový tím tak môže prijímať rozhodnutia založené na komplexnom posudzovaní technických, ekonomických a environmentálnych aspektov stavby bez negatívneho vplyvu na funkčné alebo prevádzkové vlastnosti budovy.



**Obrazok 34** Integrácia BIM a LCA

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Integrácia Building Information Modeling (BIM) a Life Cycle Assessment (LCA) predstavuje jeden z najvýznamnejších nástrojov moderného projektovania nízkouhlíkových budov. V spojení s metodikou Whole Life Carbon (WLC), rámcom Level(s), environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a digitálnymi produktovými pasmi (DPP) umožňuje hodnotiť environmentálne dopady stavebných materiálov a konštrukcií počas celého ich životného cyklu. Takýto prístup podporuje navrhovanie budov s minimálnou uhlíkovou stopou, efektívnejšie využívanie prírodných zdrojov a implementáciu princípov obehového hospodárstva. Digitalizácia projektového procesu sa tak stáva jedným z hlavných predpokladov transformácie stavebného sektora smerom ku klimaticky neutrálnemu a udržateľnému stavebníctvu (Obrázok 34).

## **7.16 Parametrické navrhovanie**

Parametrické navrhovanie predstavuje moderný prístup k projektovaniu budov založený na využívaní digitálnych algoritmov a matematických vzťahov na generovanie, analýzu a optimalizáciu návrhových riešení. Na rozdiel od tradičného projektovania, pri ktorom sa jednotlivé úpravy vykonávajú manuálne, parametrické modelovanie umožňuje automaticky meniť geometriu, technické vlastnosti a funkčné charakteristiky budovy na základe vopred definovaných parametrov. Tento prístup využíva špecializované softvérové nástroje, ktoré umožňujú vytvárať vzájomne prepojené digitálne modely reagujúce na zmenu vstupných údajov v reálnom čase. Projektant tak môže rýchlo analyzovať veľké množstvo návrhových variantov a identifikovať riešenie s najlepšimi energetickými, ekonomickými alebo environmentálnymi parametrami. Parametrické navrhovanie sa preto stáva významnou súčasťou digitálneho projektovania nízkouhlíkových budov.

### **Princíp parametrického modelovania**

Základom parametrického navrhovania je definovanie parametrov, ktoré ovplyvňujú výslednú podobu budovy. Parametre môžu predstavovať geometrické rozmery, orientáciu objektu, veľkosť presklených plôch, konštrukčný systém, energetické požiadavky alebo environmentálne kritériá. Pri zmene ktoréhokoľvek vstupného parametra systém automaticky upraví geometriu modelu, prepočíta technické charakteristiky, aktualizuje energetické ukazovatele a vyhodnotí environmentálne dopady navrhovaného riešenia. Projektant tak môže v krátkom čase analyzovať veľké množstvo variantov bez potreby opakovaného manuálneho prepracovania projektu. Takýto spôsob práce výrazne urýchľuje projektový proces, zvyšuje presnosť návrhu a umožňuje prijímať rozhodnutia založené na objektívnych dátach.

### **Využitie v architektonickom navrhovaní**

Parametrické modelovanie nachádza široké uplatnenie pri navrhovaní moderných budov. Využíva sa najmä pri optimalizácii tvaru budovy, návrhu fasádnych systémov, analýze denného osvetlenia, návrhu tienenia, optimalizácii konštrukčných systémov a hodnotení energetickej hospodárnosti. Projektanti môžu pomocou parametrických modelov porovnávať desiatky až stovky návrhových alternatív a identifikovať riešenia s najlepšimi technickými, ekonomickými a environmentálnymi parametrami. Tento prístup významne podporuje tvorbu architektonicky kvalitných a zároveň energeticky efektívnych budov.

### **Optimalizácia energetickej hospodárnosti**

V nízkouhlíkovom stavebníctve predstavuje parametrické navrhovanie jeden z najvýznamnejších nástrojov optimalizácie energetickej hospodárnosti budov. Umožňuje analyzovať vplyv jednotlivých návrhových rozhodnutí na spotrebu energie a identifikovať riešenia s najnižšími prevádzkovými emisiami. Pomocou parametrických modelov možno optimalizovať orientáciu budovy, pomer presklených plôch, faktor tvaru, využitie pasívnych solárnych ziskov, návrh tieniacich systémov aj integráciu obnoviteľných zdrojov energie. Výsledkom sú budovy s minimálnou potrebou energie na vykurovanie, chladenie a osvetlenie,



ktoré spĺňajú požiadavky budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) alebo budov s nulovými emisiami (ZEB) (Obrázok 33).

## Prepojenie s BIM a environmentálnym hodnotením

Význam parametrického navrhovania výrazne rastie pri jeho prepojení s metodikou Building Information Modeling (BIM) a hodnotením životného cyklu budov (Life Cycle Assessment – LCA). Digitálne modely umožňujú automaticky vyhodnocovať vplyv zmien návrhu na spotrebu stavebných materiálov, zabudovaný uhlík (Embodied Carbon), energetickú hospodárnosť aj ekonomické ukazovatele projektu. V spojení s metodikami Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC), environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a rámcom Level(s) vytvára parametrické modelovanie komplexný nástroj na optimalizáciu budov počas celého ich životného cyklu.

## Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Parametrické navrhovanie predstavuje jeden z najvýznamnejších trendov digitálnej transformácie stavebníctva. Umožňuje navrhovať budovy na základe objektívnych údajov, optimalizovať spotrebu materiálov, znižovať zabudovaný aj prevádzkový uhlík a efektívnejšie využívať obnoviteľné zdroje energie. V kombinácii s Building Information Modeling (BIM), metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a nástrojmi využívajúcimi umelú inteligenciu (Artificial Intelligence – AI) vytvára parametrické navrhovanie základ pre novú generáciu inteligentných, nízkouhlíkových a klimaticky neutrálnych budov (Obrázok 35).



Obrázok 35 Parametrické navrhovanie

## 7.16.2 Využitie

Parametrické navrhovanie nachádza v súčasnom stavebníctve široké uplatnenie pri optimalizácii architektonických, energetických a environmentálnych parametrov budov. Vďaka využívaniu algoritmov, matematických modelov a automatizovaných výpočtov umožňuje analyzovať veľké množstvo návrhových variantov a identifikovať riešenia s najlepšimi výsledkami z hľadiska energetickej efektívnosti, komfortu používateľov, ekonomickej efektívnosti a uhlíkovej stopy. V nízkouhlíkovom stavebníctve sa parametrické modelovanie

využíva predovšetkým na optimalizáciu orientácie budovy, návrh presklených plôch, minimalizáciu emisií skleníkových plynov a podporu generatívneho navrhovania.

### **Optimalizácia orientácie budovy**

Orientácia budovy patrí medzi najvýznamnejšie faktory ovplyvňujúce energetickú hospodárnosť objektu. Parametrické nástroje umožňujú automaticky analyzovať rôzne varianty natočenia budovy voči svetovým stranám a vyhodnocovať ich energetické dôsledky na základe klimatických údajov konkrétnej lokality. Projektanti môžu optimalizovať pasívne solárne zisky, intenzitu denného osvetlenia, potrebu vykurovania a chladenia, ako aj potenciál využitia fotovoltických systémov. Výsledkom je návrh orientácie budovy, ktorá najlepšie využíva miestne klimatické podmienky a zároveň minimalizuje energetickú náročnosť počas celej prevádzky.

### **Optimalizácia presklených plôch**

Veľkosť, tvar a umiestnenie presklených plôch významne ovplyvňujú energetickú bilanciu budovy. Parametrické modelovanie umožňuje analyzovať rôzne konfigurácie zasklenia a hľadať optimálny kompromis medzi tepelnými stratami, pasívnymi solárnymi ziskami a zabezpečením dostatočného denného osvetlenia.

Pomocou parametrických algoritmov možno optimalizovať pomer presklenia k ploche fasády, orientáciu okien, solárny faktor zasklenia, návrh tieniacich systémov aj intenzitu prirodzeného osvetlenia. Takýto prístup umožňuje navrhovať budovy s vysokým vizuálnym komfortom pri súčasnom znižovaní potreby energie na vykurovanie, chladenie a umelé osvetlenie.

### **Minimalizácia uhlíkovej stopy**

Jednou z najvýznamnejších aplikácií parametrického navrhovania je minimalizácia emisií skleníkových plynov počas celého životného cyklu budovy. Prepojenie parametrických modelov s databázami environmentálnych údajov, environmentálnymi produktovými deklaráciami (EPD) a metodikou Life Cycle Assessment (LCA) umožňuje priebežne vyhodnocovať environmentálne dôsledky jednotlivých návrhových rozhodnutí.

Projektový tím môže porovnávať uhlíkovú stopu rôznych materiálových riešení, optimalizovať výber stavebných výrobkov, znižovať zabudovaný uhlík (Embodied Carbon) a súčasne minimalizovať prevádzkové emisie. Parametrické modelovanie tak významne podporuje navrhovanie budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) aj budov s nulovými emisiami (ZEB).

### **Generatívne navrhovanie**

Významným smerom ďalšieho rozvoja parametrického modelovania je generatívne navrhovanie (Generative Design). Pri tomto prístupe algoritmus automaticky vytvára veľké množstvo návrhových variantov na základe vopred definovaných kritérií a obmedzení. Projektant následne vyberá riešenie, ktoré najlepšie spĺňa požadované technické, ekonomické a environmentálne požiadavky. Generatívne navrhovanie umožňuje analyzovať tisíce návrhových alternatív v priebehu krátkeho času, skracuje dobu projektovania a podporuje rozhodovanie založené na objektívnych dátach. V kombinácii s prvkami umelej inteligencie (Artificial Intelligence – AI) a strojového učenia predstavuje jednu z najperspektívnejších technológií digitálnej transformácie stavebníctva.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Optimalizácia orientácie budovy, návrhu presklených plôch a uhlíkovej stopy patrí medzi najvýznamnejšie oblasti využitia parametrického navrhovania v nízkouhlíkovom stavebníctve. Schopnosť analyzovať veľké množstvo návrhových variantov umožňuje navrhovať budovy s vyššou energetickou efektívnosťou, nižšou uhlíkovou stopou a lepšími prevádzkovými parametrami. V spojení s metodikami Building Information Modeling (BIM), Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC) a európskym rámcom Level(s) predstavuje parametrické modelovanie jeden z najvýznamnejších nástrojov

moderného projektovania. Jeho ďalší rozvoj, podporený umelou inteligenciou a generatívnym dizajnom, bude zohrávať kľúčovú úlohu pri navrhovaní klimaticky neutrálnych budov a digitálnej transformácii stavebného sektora.

## **7.17 Simulačné nástroje**

Simulačné nástroje predstavujú neoddeliteľnú súčasť moderného projektovania nízkouhlíkových budov. Umožňujú analyzovať energetické, environmentálne a prevádzkové vlastnosti budovy ešte pred začiatkom výstavby, čím vytvárajú predpoklady na prijímanie rozhodnutí založených na objektívnych údajoch. Prostredníctvom numerických simulácií možno porovnávať rôzne návrhové varianty, optimalizovať architektonické a technické riešenia a identifikovať opatrenia vedúce k znižovaniu spotreby energie, prevádzkových nákladov a emisií skleníkových plynov.

V súčasnej projektovej praxi sa simulačné nástroje využívajú najmä na energetické modelovanie budov, analýzu tepelnej pohody, simuláciu denného osvetlenia, hodnotenie využitia obnoviteľných zdrojov energie, výpočet prevádzkových emisií a podporu navrhovania budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

### **EnergyPlus**

Jedným z najvýznamnejších simulačných nástrojov je EnergyPlus, vyvinutý Ministerstvom energetiky Spojených štátov amerických (U.S. Department of Energy). Program patrí medzi najpresnejšie nástroje na dynamické energetické modelovanie budov a umožňuje simulovať potrebu energie na vykurovanie a chladenie, prevádzku systémov HVAC, spotrebu energie, tepelnú pohodu používateľov aj využívanie obnoviteľných zdrojov energie. Výpočtové jadro EnergyPlus využíva aj viacero komerčných softvérov.

### **DesignBuilder**

DesignBuilder predstavuje grafické používateľské prostredie využívajúce výpočtové jadro EnergyPlus. Oproti samotnému EnergyPlus ponúka intuitívnejšie modelovanie budov, jednoduchšiu tvorbu geometrických modelov a prehľadnú vizualizáciu výsledkov. Okrem energetických simulácií umožňuje analyzovať denné osvetlenie, tepelnú pohodu a prevádzkovú energetickú hospodárnosť budov. V projektovej praxi patrí medzi najrozšírenejšie nástroje pri návrhu nízkoenergetických a pasívnych budov.

### **IES Virtual Environment**

IES Virtual Environment (IES VE) predstavuje komplexnú platformu určenú na environmentálne modelovanie budov. Umožňuje vykonávať energetické simulácie, hodnotenie tepelnej pohody, analýzu denného osvetlenia, výpočet uhlíkovej stopy aj podporu environmentálnych certifikačných systémov, ako sú BREEAM alebo LEED. Vďaka širokému rozsahu funkcií patrí medzi najkomplexnejšie simulačné nástroje používané pri navrhovaní udržateľných budov.

### **TRNSYS**

TRNSYS (Transient System Simulation Tool) je špecializovaný simulačný program zameraný na modelovanie energetických systémov budov. Využíva sa najmä pri analýze obnoviteľných zdrojov energie, modelovaní tepelných čerpadel, solárnych systémov, akumulácie energie a ďalších technických zariadení budov. Program umožňuje detailne analyzovať dynamické správanie energetických systémov počas ich prevádzky.

### **PHPP**

Passive House Planning Package (PHPP) predstavuje štandardný nástroj na projektovanie pasívnych budov. Vyvinutý bol organizáciou Passive House Institute a využíva sa predovšetkým na výpočet potreby energie na vykurovanie, hodnotenie energetickej



hospodárnosti budov a overovanie splnenia kritérií pasívneho štandardu. V Európe patrí medzi základné nástroje pri navrhovaní a certifikácii pasívnych domov.

### **Význam simulačných nástrojov**

Simulačné nástroje umožňujú projektantom analyzovať dôsledky jednotlivých návrhových rozhodnutí ešte pred realizáciou stavby a optimalizovať budovu z pohľadu energetickej hospodárnosti, environmentálnych dopadov aj ekonomickej efektívnosti. Ich využívanie prispieva k znižovaniu projektových rizík, presnejšiemu dimenzovaniu technických systémov, optimalizácii spotreby energie a minimalizácii prevádzkových emisií skleníkových plynov.

Významným prínosom je aj možnosť prepojenia simulačných nástrojov s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC) a prostredím Building Information Modeling (BIM). Takáto integrácia umožňuje komplexne hodnotiť budovu počas celého jej životného cyklu a prijímať rozhodnutia podporujúce udržateľný rozvoj stavebníctva.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Simulačné nástroje predstavujú jeden zo základných pilierov digitálneho projektovania nízkouhlíkových budov. Umožňujú optimalizovať architektonické riešenie, technické zariadenia aj environmentálne parametre budovy ešte pred začiatkom výstavby. V spojení s metodikami BIM, LCA, Whole Life Carbon (WLC) a Life Cycle Costing (LCC) vytvárajú komplexný rámec na navrhovanie budov s vysokou energetickou efektívnosťou, nízkou uhlíkovou stopou a minimálnymi prevádzkovými emisiami. Z tohto dôvodu patria systémy EnergyPlus, DesignBuilder, IES VE, TRNSYS a PHPP medzi najvýznamnejšie nástroje podporujúce realizáciu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

## **7.18 Optimalizácia uhlíkovej stopy**

Jedným z hlavných cieľov navrhovania nízkouhlíkových budov je minimalizácia celkovej uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu stavby. Moderný projektant preto nemôže hodnotiť iba energetickú hospodárnosť budovy počas jej prevádzky, ale musí súčasne zohľadňovať environmentálne dopady stavebných materiálov, technických systémov, spôsobu výstavby aj budúcich možností recyklácie a opätovného využitia jednotlivých stavebných prvkov. Súčasný prístup vychádza z konceptu Whole Life Carbon (WLC), ktorý zahŕňa všetky emisie vznikajúce od získavania surovín, výroby stavebných materiálov a realizácie stavby až po jej prevádzku, obnovu, rekonštrukcie a ukončenie životnosti. Optimalizácia uhlíkovej stopy preto predstavuje komplexný proces založený na súčasnom hodnotení viacerých navzájom prepojených faktorov.

### **Prevádzkový uhlík**

Prevádzkový uhlík (Operational Carbon) predstavuje emisie skleníkových plynov vznikajúce počas používania budovy. Súvisí predovšetkým so spotrebou energie potrebnej na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody, osvetlenie a prevádzku technických zariadení budovy. Projektant môže prevádzkové emisie významne ovplyvniť už v počiatočných etapách návrhu prostredníctvom pasívneho architektonického riešenia, kvalitnej tepelnej ochrany obálky budovy, efektívneho využívania obnoviteľných zdrojov energie a implementácie inteligentných systémov riadenia technických zariadení. Významnú úlohu zohráva aj návrh energeticky účinných technológií, ktoré znižujú spotrebu energie počas celej prevádzky budovy. Pri budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) sa prevádzkový uhlík postupne približuje minimálnym hodnotám, čím sa do popredia dostáva význam emisií vznikajúcich počas výroby stavebných materiálov.

### **Zabudovaný uhlík**

S rastúcou energetickou efektívnosťou budov nadobúda čoraz väčší význam zabudovaný uhlík (Embodied Carbon), ktorý zahŕňa emisie vznikajúce počas výroby stavebných materiálov, ich dopravy, realizácie stavby, údržby, rekonštrukcií aj ukončenia životnosti budovy. Jeho znižovanie je možné dosiahnuť predovšetkým využívaním stavebných materiálov s nízkou uhlíkovou stopou, uplatňovaním drevených alebo hybridných konštrukčných systémov, optimalizáciou spotreby stavebných materiálov, využívaním recyklovaných surovín a hodnotením environmentálnych produktových deklarácií (EPD).

Pri moderných nízkoenergetických budovách môže zabudovaný uhlík predstavovať viac ako polovicu celkovej uhlíkovej stopy počas životného cyklu objektu. Z tohto dôvodu sa jeho hodnotenie stáva neoddeliteľnou súčasťou projektového procesu.

### **Životnosť budovy**

Významným faktorom optimalizácie uhlíkovej stopy je aj navrhovaná životnosť budovy. Čím dlhšie si objekt zachová svoje funkčné vlastnosti, tým priaznivejšia je jeho environmentálna bilancia, pretože emisie vzniknuté počas výstavby sa rozložia na dlhšie obdobie.

Projektovanie by preto malo podporovať trvácne konštrukčné riešenia, flexibilné dispozičné usporiadanie, jednoduchú údržbu a adaptabilitu budovy na budúce zmeny funkčného využitia. Takýto prístup znižuje potrebu rozsiahlych rekonštrukcií a predlžuje životnosť stavebných konštrukcií, čo sa priaznivo prejavuje na celkovej uhlíkovej bilancii.

### **Recyklovateľnosť stavebných materiálov**

Moderné nízkouhlíkové stavebníctvo je úzko prepojené s princípmi obehového hospodárstva (Circular Economy). Projektovanie by preto malo uprednostňovať materiály a konštrukčné riešenia umožňujúce jednoduchú demontáž, opätovné využitie alebo recykláciu po skončení životnosti budovy. Pri výbere stavebných materiálov je potrebné posudzovať ich recyklovateľnosť, potenciál opätovného využitia stavebných prvkov, jednoduchosť demontáže konštrukcií a možnosti materiálového zhodnotenia. Významnú úlohu pritom zohrávajú environmentálne produktové deklarácie (EPD) a pripravované Digitálne produktové pasy (Digital Product Passport – DPP), ktoré umožnia presnejšie sledovať materiálové toky počas celého životného cyklu stavebných výrobkov. Takýto prístup významne znižuje množstvo stavebného odpadu, obmedzuje spotrebu primárnych surovín a podporuje cirkulárny model stavebníctva.

### **Integrovaná optimalizácia uhlíkovej stopy**

Úspešná optimalizácia uhlíkovej stopy si vyžaduje komplexné hodnotenie všetkých uvedených faktorov. Moderné projektovanie preto využíva kombináciu energetických simulácií, metodiky Life Cycle Assessment (LCA), Building Information Modeling (BIM), hodnotenia Whole Life Carbon (WLC) a ekonomických analýz Life Cycle Costing (LCC). Vzájomná integrácia týchto metodík umožňuje projektantom analyzovať dôsledky jednotlivých návrhových rozhodnutí už počas projektovej prípravy a optimalizovať budovu ešte pred začiatkom výstavby. Výsledkom je návrh, ktorý spĺňa požiadavky energetickej efektívnosti, ekonomickej udržateľnosti aj minimalizácie environmentálnych dopadov.

## OPTIMALIZÁCIA UHLÍKOVEJ STOPY POČAS NÁVRHU BUDOVY

Integrovaný prístup k minimalizácii emisií počas celého životného cyklu budovy (Whole Life Carbon)



**Obrázok 36** Optimalizácia uhlíkovej stopy počas návrhu budovy

### Význam pre nízkouhlíkové budovy

Optimalizácia prevádzkového uhlíka, zabudovaného uhlíka, životnosti budovy a recyklovateľnosti stavebných materiálov predstavuje základný predpoklad úspešného návrhu nízkouhlíkových budov. Moderné stavebníctvo sa postupne presúva od hodnotenia samotnej energetickej hospodárnosti k komplexnému hodnoteniu celého životného cyklu budovy, ktoré zohľadňuje environmentálne, technické aj ekonomické aspekty navrhovaného riešenia.

V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC), Building Information Modeling (BIM), rámcom Level(s) a požiadavkami novej smernice EPBD 2024 vzniká integrovaný systém navrhovania budov, ktorý podporuje znižovanie uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu stavby. Takýto prístup vytvára základ pre navrhovanie budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a budúcej generácie klimaticky neutrálnych stavieb spĺňajúcich environmentálne, ekonomické aj spoločenské požiadavky udržateľného rozvoja (Obrázok 36).

## 7.19 Adaptácia na klimatické zmeny

Adaptácia na klimatické zmeny sa stáva jednou z najvýznamnejších požiadaviek súčasného stavebníctva. Budovy navrhované v súčasnosti budú slúžiť niekoľko desaťročí a počas svojej životnosti budú vystavené postupne sa meniacim klimatickým podmienkam. Projektovanie preto musí zohľadňovať nielen energetickú hospodárnosť a minimalizáciu uhlíkovej stopy, ale aj schopnosť budovy odolávať budúcim klimatickým extrémom. Podľa klimatických scenárov sa v Európe očakáva postupný rast priemerných teplôt, častejší výskyt vln horúčav, intenzívnejšie zrážkové udalosti, dlhšie obdobia sucha a vyššia frekvencia extrémnych poveternostných javov. Tieto zmeny môžu významne ovplyvniť prevádzku, životnosť, bezpečnosť aj ekonomickú efektívnosť budov. Adaptácia na klimatické zmeny sa preto stáva neoddeliteľnou súčasťou navrhovania nízkouhlíkových budov a je podporovaná aj novou smernicou EPBD 2024, ktorá zdôrazňuje potrebu zvyšovania klimatickej odolnosti stavebného fondu.

### **Adaptácia na extrémne teploty**

Jedným z najvýznamnejších dôsledkov klimatických zmien je rast priemerných letných teplôt a častejší výskyt dlhodobých horúčav. Projektovanie budov preto musí smerovať k obmedzovaniu prehrievania interiérov pri súčasnom minimalizovaní potreby mechanického chladenia. Účinnými adaptačnými opatreniami sú predovšetkým exteriérové tieniace systémy, zelené strechy, zelené fasády, prirodzené vetranie, nočné chladenie a využitie stavebných materiálov s vyššou tepelnou akumuláciou. Tieto riešenia umožňujú stabilizovať vnútornú teplotu, zvyšujú tepelný komfort používateľov a súčasne znižujú spotrebu energie počas letného obdobia. Rovnako dôležité je zabezpečiť dostatočnú tepelnú ochranu budovy aj počas zimných extrémov, aby sa minimalizovala potreba energie na vykurovanie a zachovala vysoká úroveň energetickej hospodárnosti.

### **Adaptácia na intenzívne zrážky**

Klimatické zmeny vedú k častejšiemu výskytu prívalových dažďov a krátkodobých intenzívnych zrážok, ktoré zvyšujú riziko lokálnych záplav. Moderné budovy preto musia efektívne hospodáriť s dažďovou vodou a minimalizovať jej rýchly odtok do kanalizačných systémov. Významnú úlohu zohrávajú retenčné nádrže, zelené strechy, dažďové záhrady, vsakovacie systémy a priepustné povrchy. Tieto opatrenia podporujú prirodzený kolobeh vody, znižujú zaťaženie kanalizačnej siete a prispievajú k ochrane budov aj okolitého prostredia pred negatívnymi dôsledkami extrémnych zrážok.

### **Odolnosť voči vetru**

Rastúca intenzita extrémnych meteorologických javov zvyšuje požiadavky na odolnosť stavebných konštrukcií voči silnému vetru. Projektovanie budov preto musí zohľadňovať nielen statickú bezpečnosť nosných systémov, ale aj spoľahlivé kotvenie strešných konštrukcií, odolnosť fasádnych prvkov, ochranu presklených plôch a stabilitu vegetačných systémov. Správne navrhnuté konštrukčné riešenia významne znižujú riziko poškodenia budovy počas extrémnych veterných udalostí a prispievajú k jej dlhodobej prevádzkovej spoľahlivosti.

### **Adaptácia na sucho**

Dlhodobé obdobia sucha predstavujú rastúci problém najmä v urbanizovanom prostredí. Nedostatok vody ovplyvňuje nielen prevádzku budov, ale aj kvalitu mestského prostredia a mikroklimy. Projektovanie budov preto čoraz viac využíva systémy zberu dažďovej vody, opätovného využívania vody, vegetačné systémy odolné voči suchu, efektívne zavlažovanie a technológie znižujúce spotrebu pitnej vody. Tieto opatrenia podporujú efektívne hospodárenie s vodnými zdrojmi a zvyšujú odolnosť budov voči dlhodobým klimatickým zmenám.

### **Klimaticky odolné budovy**

Moderné nízkouhlíkové budovy musia spájať vysokú energetickú efektívnosť s odolnosťou voči meniacim sa klimatickým podmienkam. Klimatická odolnosť sa tak stáva rovnako dôležitým kritériom ako znižovanie emisií skleníkových plynov. Budovy budúcnosti budú musieť súčasne zabezpečovať komfort používateľov, efektívne hospodárenie s energiou, ochranu prírodných zdrojov a schopnosť reagovať na extrémne prejavy počasia.

### **Význam pre budovy budúcnosti**

Budovy budúcnosti budú fungovať v podmienkach častejších klimatických extrémov, preto bude ich schopnosť odolávať vysokým teplotám, intenzívnym zrážkam, veterným udalostiam a obdobiam sucha jedným zo základných kritérií projektovania. Adaptácia na klimatické zmeny sa tak stáva neoddeliteľnou súčasťou návrhu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) aj budov s nulovými emisiami (ZEB).

V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Building Information Modeling (BIM) a princípmi integrovaného navrhovania vytvára klimatická adaptácia základ pre budovy novej generácie, ktoré budú nielen energeticky efektívne a nízkouhlíkové, ale aj odolné voči dôsledkom klimatických zmien počas celého svojho životného cyklu (Obrázok 34).

## **7.20 Zásady návrhu nízkouhlíkovej budovy**

Návrh nízkouhlíkovej budovy vyžaduje komplexný prístup, ktorý zohľadňuje energetické, environmentálne, technické a ekonomické aspekty počas celého životného cyklu stavby. Jednotlivé opatrenia nemožno posudzovať izolovane, ale ako súčasť integrovaného systému, ktorého cieľom je minimalizovať spotrebu energie, emisie skleníkových plynov a environmentálne dopady budovy.

Na základe súčasných poznatkov a princípov udržateľného stavebníctva možno formulovať desať základných zásad návrhu nízkouhlíkovej budovy (Obrázok 37):

### **1. Kompaktný tvar**

Budova by mala mať jednoduchú a kompaktnú geometriu s nízkym pomerom plochy obálky k vykurovanému objemu. Nižší faktor tvaru vedie k znižovaniu tepelných strát a potrebe energie na vykurovanie.

### **2. Optimálna orientácia**

Orientácia budovy voči svetovým stranám by mala umožňovať efektívne využívanie pasívnych solárnych ziskov, prirodzeného osvetlenia a obnoviteľných zdrojov energie pri súčasnom obmedzení prehrievania počas letného obdobia.

### **3. Kvalitná obálka budovy**

Obvodové steny, strecha, podlaha a okná musia dosahovať vysokú úroveň tepelnej ochrany. Kvalitná obálka minimalizuje tepelné straty a vytvára základ energeticky efektívnej prevádzky budovy.

### **4. Eliminácia tepelných mostov**

Konštrukčné detaily musia byť navrhnuté tak, aby sa minimalizoval výskyt tepelných mostov. Ich eliminácia znižuje tepelné straty, riziko kondenzácie a vznik plesní.

### **5. Maximálne využitie denného svetla**

Pri návrhu treba zabezpečiť dostatočný prístup prirodzeného svetla do vnútorných priestorov. Kvalitné denné osvetlenie znižuje potrebu umelého osvetlenia a zlepšuje komfort používateľov.

### **6. Rekuperácia tepla**

Vzduchotesné budovy musia byť vybavené účinným systémom riadeného vetrania so spätným získavaním tepla. Rekuperácia výrazne znižuje energetické straty spôsobené výmenou vzduchu.

### **7. Obnoviteľné zdroje energie**

Budova by mala maximálne využívať obnoviteľné zdroje energie, ako sú:

- fotovoltaické systémy,
- tepelné čerpadlá,
- solárne kolektory,
- geotermálne systémy.

Tieto technológie prispievajú k znižovaniu prevádzkových emisií a energetickej sebestačnosti budovy.

### **8. Inteligentné riadenie**

Moderné budovy by mali využívať systémy inteligentného riadenia, ktoré optimalizujú spotrebu energie a prevádzku technických zariadení v reálnom čase.

Medzi kľúčové technológie patria:

- Building Management System (BMS),
- Internet vecí (IoT),
- umelá inteligencia,
- energetický manažment budov.



## 9. Nízkouhlíkové materiály

Výber stavebných materiálov by mal zohľadňovať ich uhlíkovú stopu počas celého životného cyklu.

Preferované sú najmä:

- drevené konštrukcie,
- CLT systémy,
- prírodné izolácie,
- recyklované materiály,
- nízkouhlíkové betóny.

Tým možno výrazne znižovať zabudovaný uhlík budovy.

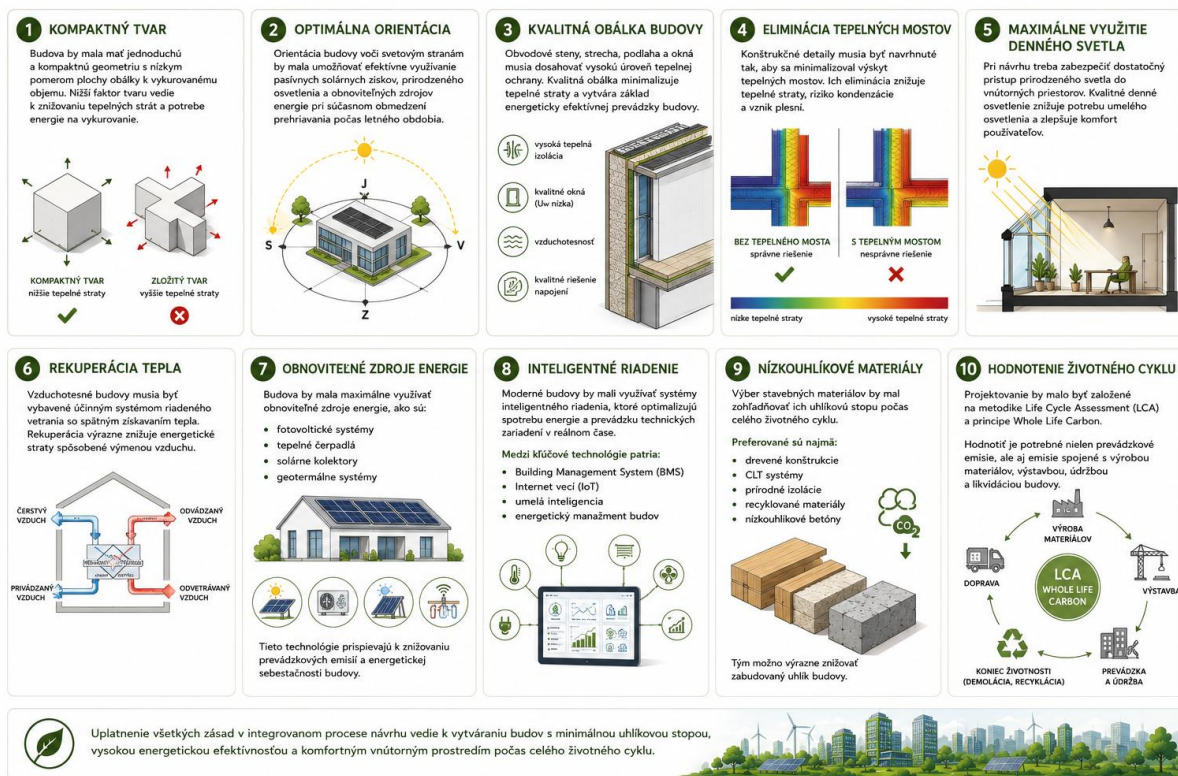
## 10. Hodnotenie životného cyklu

Projektovanie by malo byť založené na metodike Life Cycle Assessment (LCA) a princípe Whole Life Carbon. Hodnotiť je potrebné nielen prevádzkové emisie, ale aj emisie spojené s výrobou materiálov, výstavbou, údržbou a likvidáciou budovy.

### Význam integrovaného prístupu

Uvedené zásady tvoria základ moderného nízkouhlíkového stavebníctva. Ich vzájomná kombinácia umožňuje navrhovať budovy s minimálnou spotrebou energie, nízkou uhlíkovou stopou a vysokou odolnosťou voči klimatickým zmenám.

Budovy navrhnuté podľa týchto princípov vytvárajú predpoklady na dosahovanie štandardov pasívnych domov, budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB), ktoré predstavujú budúcnosť udržateľného stavebného sektora (Obrázok 35). Návrh a projektovanie predstavujú najdôležitejšiu fázu životného cyklu budovy z pohľadu jej budúcej energetickej hospodárnosti, uhlíkovej stopy a environmentálnych dopadov. Rozhodnutia prijaté počas prvých etáp projektovania ovplyvňujú nielen spotrebu energie počas prevádzky, ale aj množstvo použitých materiálov, ekonomickú efektívnosť a možnosti budúcej adaptácie budovy na meniace sa klimatické podmienky. Odborné štúdie pritom poukazujú na skutočnosť, že väčšina environmentálnych dopadov budovy je určená už počas konceptuálnej fázy návrhu.



### Obrázok 37 Zásady návrhu nízkouhlíkovej budovy

Kapitola predstavila princípy integrovaného procesu navrhovania (Integrated Design Process – IDP), ktorý je založený na spolupráci architektov, statikov, energetikov, projektantov technických zariadení budov, environmentálnych špecialistov, investorov a budúcich prevádzkovateľov. Takýto prístup umožňuje optimalizovať budovu ako jeden funkčný systém a dosahovať lepšie environmentálne, technické aj ekonomické výsledky.

Osobitná pozornosť bola venovaná pasívnym princípom navrhovania, ktoré predstavujú základ energeticky efektívnych budov. Medzi najvýznamnejšie opatrenia patria správna orientácia budovy, kompaktnosť tvaru, kvalitná tepelná ochrana obálky, eliminácia tepelných mostov, vysoká vzduchotesnosť, využívanie pasívnych solárnych ziskov a prirodzené vetranie. Tieto princípy umožňujú výrazne znižovať potrebu energie ešte pred použitím aktívnych technických systémov.

Významnú úlohu zohráva návrh obálky budovy, ktorá predstavuje hlavný prvok ovplyvňujúci tepelné straty a energetickú hospodárnosť. Moderné nízkouhlíkové budovy využívajú vysokoizolačné konštrukcie, kvalitné okná s trojsklom a dôsledne riešené detaily eliminujúce vznik tepelných mostov. Súčasťou návrhu je aj optimalizácia denného osvetlenia, ochrana proti prehrievaniu a využívanie vegetačných prvkov.

Kapitola zdôraznila význam zelených striech a modrozelenej infraštruktúry ako nástrojov adaptácie budov na klimatické zmeny. Tieto riešenia prispievajú k znižovaniu prehrievania, retencii dažďovej vody, podpore biodiverzity a zlepšovaniu mikroklimatických podmienok urbanizovaného prostredia.

Dôležitou súčasťou moderného projektovania sa stávajú digitálne nástroje. Building Information Modeling (BIM) umožňuje vytvárať komplexné digitálne modely budov a prepájať ich s energetickými, ekonomickými a environmentálnymi analýzami. Integrácia BIM s metodikou Life Cycle Assessment (LCA) umožňuje automatizované hodnotenie zabudovaného uhlíka a environmentálnych dopadov stavebných materiálov.

Pozornosť bola venovaná aj parametrickému navrhovaniu a simulačným nástrojom, ktoré umožňujú optimalizovať orientáciu budovy, rozsah presklenia, energetickú hospodárnosť a uhlíkovú stopu. Programy ako EnergyPlus, DesignBuilder, IES VE, TRNSYS a PHPP poskytujú projektantom možnosť analyzovať rôzne návrhové varianty ešte pred začiatkom výstavby a vyberať riešenia s najlepšimi výsledkami.

Kapitola zároveň zdôraznila potrebu optimalizácie uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy. Projektanti musia zohľadňovať prevádzkové emisie, zabudovaný uhlík, životnosť budovy a recyklovateľnosť použitých materiálov. Takýto prístup je základom konceptu Whole Life Carbon, ktorý sa stáva novým štandardom environmentálneho hodnotenia budov.

Vzhľadom na očakávané dôsledky klimatických zmien je nevyhnutné navrhovať budovy odolné voči extrémnym teplotám, prívalovým dažďom, veterným udalostiam a obdobiam sucha. Adaptácia na klimatické zmeny sa stáva rovnako dôležitou súčasťou projektovania ako znižovanie energetickej náročnosti a emisií skleníkových plynov.

Na základe uvedených poznatkov možno konštatovať, že návrh budovy predstavuje najdôležitejšiu fázu z pohľadu budúcej uhlíkovej stopy. Správna orientácia, kompaktnosť, kvalitná obálka budovy, využitie pasívnych princípov a digitálnych nástrojov umožňujú dosiahnuť významné zníženie energetickej náročnosti a emisií CO<sub>2</sub>. Integrovaný projektový proces, BIM modelovanie a environmentálne simulácie sa stávajú nevyhnutnou súčasťou navrhovania moderných nízkouhlíkových budov a vytvárajú základ pre dosahovanie cieľov klimatickej neutrality v stavebnom sektore.

## 8 EKONOMICKÉ ASPEKTY NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV

Ekonomická realizovateľnosť predstavuje jeden z rozhodujúcich faktorov ovplyvňujúcich rozvoj nízkouhlíkových budov. Hoci medzi hlavné motivácie ich výstavby patria znižovanie emisií skleníkových plynov, energetická efektívnosť a ochrana životného prostredia, rozhodovanie investorov je vo väčšine prípadov založené predovšetkým na ekonomických kritériách. Posúdenie finančnej návratnosti, prevádzkových nákladov a dlhodobej ekonomickej efektívnosti preto zohráva kľúčovú úlohu pri implementácii princípov udržateľného stavebníctva.

V minulosti boli nízkouhlíkové budovy často považované za finančne náročnejšiu alternatívu ku konvenčným stavbám. Vyššie investičné náklady súviseli najmä s kvalitnejšou tepelnou ochranou obálky budovy, využívaním obnoviteľných zdrojov energie, implementáciou inteligentných technológií a vyššími požiadavkami na projektovú prípravu. Takéto hodnotenie však vo väčšine prípadov vychádzalo iba z počiatočných investičných nákladov bez zohľadnenia ekonomických prínosov počas celej životnosti budovy.

Súčasná analýza ukazuje, že vyššie počiatočné investície možno počas prevádzky budovy postupne kompenzovať nižšími prevádzkovými nákladmi, nižšou spotrebou energie, vyššou trhovou hodnotou nehnuteľnosti, lepšou atraktivitou pre investorov a nájomcov, ako aj nižším rizikom budúcich legislatívnych zásahov súvisiacich s dekarbonizáciou stavebného sektora. Rast cien energií, sprísňovanie environmentálnych požiadaviek a rozvoj zeleného financovania zároveň zvyšujú ekonomickú atraktivitu energeticky efektívnych budov. Nízkouhlíkové budovy tak predstavujú nielen environmentálne, ale aj ekonomicky perspektívne riešenie.

Z ekonomického hľadiska je preto nevyhnutné hodnotiť budovu počas celého jej životného cyklu. Tento prístup je založený na metodike Life Cycle Costing (LCC), ktorá zohľadňuje všetky náklady vznikajúce od projektovej prípravy a výstavby až po prevádzku, údržbu, rekonštrukcie a ukončenie životnosti stavby vrátane demolácie alebo recyklácie použitých materiálov. Práve prevádzkové náklady predstavujú počas životnosti budovy najväčší podiel celkových výdavkov, a preto môžu opatrenia vedúce k znižovaniu spotreby energie prinášať významné ekonomické úspory počas niekoľkých desaťročí prevádzky.

Moderné ekonomické hodnotenie nízkouhlíkových budov už nezohľadňuje iba priame finančné náklady, ale aj širšie ekonomické prínosy. Medzi ne patrí predovšetkým zvyšovanie trhovej hodnoty nehnuteľností, vyššia obsadenosť komerčných budov, nižšie prevádzkové riziká, jednoduchší prístup k zelenému financovaniu a vyššia odolnosť voči budúcim legislatívnym požiadavkám. Významným faktorom sa stáva aj rastúci dopyt investorov po budovách s kvalitnými environmentálnymi parametrami, ktoré spĺňajú požiadavky ESG hodnotenia a Taxonómie Európskej únie.

Ekonomický význam nízkouhlíkových budov bude v nasledujúcich rokoch naďalej narastať aj v dôsledku implementácie smernice EPBD 2024, rozvoja zelených finančných produktov a pripravovaných požiadaviek na hodnotenie uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budov. Ekonomické rozhodovanie sa tak bude čoraz viac opierať o integrované hodnotenie technických, environmentálnych a finančných aspektov stavebných projektov.

Cieľom tejto kapitoly je analyzovať základné ekonomické aspekty nízkouhlíkových budov, predstaviť metodiky hodnotenia nákladov počas životného cyklu, identifikovať hlavné zdroje ekonomických prínosov a posúdiť ekonomickú efektívnosť jednotlivých opatrení zameraných na znižovanie uhlíkovej stopy budov. Osobitná pozornosť bude venovaná metodike Life Cycle Costing (LCC), investičným a prevádzkovým nákladom, návratnosti nízkouhlíkových technológií, zelenému financovaniu a rastúcemu významu ESG princípov pri ekonomickom hodnotení stavebných projektov.



## 8.1 Náklady počas životného cyklu budovy

Pri hodnotení ekonomickej efektívnosti budov už v súčasnosti nestačí posudzovať iba počiatočné investičné náklady spojené s ich výstavbou. Moderné nízkouhlíkové stavebníctvo vyžaduje komplexné ekonomické hodnotenie zahŕňajúce všetky náklady vznikajúce počas celého životného cyklu stavby. Tento prístup je známy ako Life Cycle Costing (LCC) a predstavuje jeden zo základných nástrojov ekonomického hodnotenia udržateľných budov.

Tradičný spôsob hodnotenia stavebných projektov bol dlhodobo orientovaný predovšetkým na minimalizáciu investičných nákladov. Skúsenosti z praxe však ukazujú, že rozhodujúcu časť celkových výdavkov budovy tvoria náklady spojené s jej prevádzkou, údržbou, obnovou a ukončením životnosti. Rozhodnutia prijaté počas projektovej prípravy preto významne ovplyvňujú ekonomickú efektívnosť budovy počas niekoľkých desaťročí jej využívania.

Metodika Life Cycle Costing hodnotí ekonomické dopady vo všetkých etapách životného cyklu budovy – od projektovej prípravy cez výstavbu, prevádzku a údržbu až po ukončenie životnosti stavby. Takýto prístup umožňuje objektívnejšie posudzovať ekonomickú efektívnosť jednotlivých návrhových riešení a prijímať rozhodnutia založené na dlhodobých nákladoch, nie iba na výške počiatočnej investície.

### Návrh a projektovanie

Prvá etapa životného cyklu zahŕňa náklady spojené s prípravou stavebného projektu. Patria sem najmä architektonický návrh, spracovanie projektovej dokumentácie, energetické simulácie, modelovanie pomocou Building Information Modeling (BIM) a environmentálne analýzy.

Hoci tieto náklady predstavujú iba relatívne malý podiel celkových investičných výdavkov, rozhodnutia prijaté počas projektovania zásadným spôsobom ovplyvňujú budúce prevádzkové náklady, energetickú hospodárnosť aj uhlíkovú stopu budovy. Kvalitná projektová príprava preto patrí medzi najefektívnejšie nástroje optimalizácie ekonomickej aj environmentálnej výkonnosti stavby.

### Výstavba

Etapa výstavby zahŕňa počiatočné investičné náklady spojené s realizáciou stavebného diela. Patria sem náklady na stavebné práce, stavebné materiály, technické zariadenia budovy, montážne práce aj realizáciu inžinierskych sietí.

Hoci investičné náklady predstavujú významnú časť rozpočtu projektu, z pohľadu celého životného cyklu spravidla nepredstavujú najväčší podiel celkových nákladov. Práve preto je nevyhnutné posudzovať ekonomickú efektívnosť budovy v širšom časovom horizonte.

### Prevádzka

Prevádzková fáza predstavuje ekonomicky najvýznamnejšie obdobie životného cyklu budovy. Zahŕňa náklady na vykurovanie, chladenie, spotrebu elektrickej energie, prípravu teplej vody, spotrebu vody, správu budovy a bežnú údržbu.

Výška prevádzkových nákladov priamo závisí od kvality architektonického návrhu, energetickej hospodárnosti budovy, účinnosti technických zariadení a spôsobu prevádzky objektu. V nízkouhlíkových budovách práve úspory energie predstavujú hlavný zdroj ekonomických prínosov počas celej životnosti stavby.

### Údržba a rekonštrukcie

Počas životnosti budovy je nevyhnutné zabezpečovať pravidelnú údržbu stavebných konštrukcií aj technických zariadení. Súčasťou tejto etapy sú náklady na servis technických systémov, výmenu opotrebovaných stavebných prvkov, obnovu fasád, modernizáciu technológií a rekonštrukčné práce.

Tieto náklady významne ovplyvňujú dlhodobú ekonomickú efektívnosť budovy a zároveň vplývajú na jej environmentálnu výkonnosť. Kvalitne navrhnuté stavebné materiály a technické systémy dokážu potrebu rozsiahlych rekonštrukcií významne obmedziť.

### Ukončenie životnosti budovy

Poslednú etapu životného cyklu predstavuje demolácia alebo dekonštrukcia budovy vrátane spracovania stavebných materiálov po skončení jej životnosti. Zahŕňa náklady spojené s odstránením stavebných konštrukcií, likvidáciou stavebného odpadu, recykláciou materiálov a prípadnou sanáciou územia.

Hoci náklady tejto etapy zvyčajne predstavujú menší podiel celkových životných nákladov, ich význam rastie v súvislosti s rozvojom princípov obehového hospodárstva (Circular Economy), recyklácie a opätovného využívania stavebných materiálov. Moderné projektovanie preto čoraz viac podporuje konštrukcie navrhnuté na jednoduchú demontáž a materiálové zhodnotenie.

### Význam metodiky Life Cycle Costing

Metodika Life Cycle Costing (LCC) umožňuje projektantom, investorom aj správcom budov hodnotiť ekonomickú efektívnosť stavebných projektov v dlhodobom časovom horizonte. Na rozdiel od tradičného hodnotenia založeného iba na počiatočných investičných nákladoch poskytuje komplexný pohľad na celkové ekonomické dopady budovy počas celej jej životnosti. V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Building Information Modeling (BIM) a európskym rámcom Level(s) vytvára LCC integrovaný systém hodnotenia budov, ktorý umožňuje navrhovať stavby spĺňajúce požiadavky environmentálnej udržateľnosti, ekonomickej efektívnosti a technickej kvality počas celého životného cyklu. Takýto prístup predstavuje jeden zo základných pilierov moderného nízkouhlíkového stavebníctva a podporuje dosahovanie klimatickej neutrality v sektore budov.

### Priemerné rozdelenie nákladov

Orientačné rozdelenie nákladov počas životného cyklu budovy je uvedené v tabuľke (Tabuľka 15).

**Tabuľka 15** Orientačné rozdelenie nákladov počas životného cyklu budovy

| Fáza          | Podiel nákladov |
|---------------|-----------------|
| Projektovanie | 1 – 3 %         |
| Výstavba      | 15 – 25 %       |
| Prevádzka     | 60 – 80 %       |
| Demolácia     | 1 – 5 %         |

Z tabuľky vyplýva, že najväčšia časť nákladov vzniká počas prevádzky budovy.

Táto skutočnosť zdôrazňuje význam energetickej efektívnosti a kvalitného návrhu už v počiatočných fázach projektu.

### Význam pre nízkouhlíkové budovy

Pri nízkouhlíkových budovách sú počiatočné investičné náklady spravidla vyššie v dôsledku využívania kvalitnejších stavebných materiálov, účinnejšej tepelnej ochrany, moderných technických zariadení a obnoviteľných zdrojov energie. Tieto dodatočné investície však nemožno posudzovať izolovane, pretože sa počas životnosti budovy postupne kompenzujú prostredníctvom nižších prevádzkových nákladov, nižšej spotreby energie a obmedzených nárokov na údržbu.

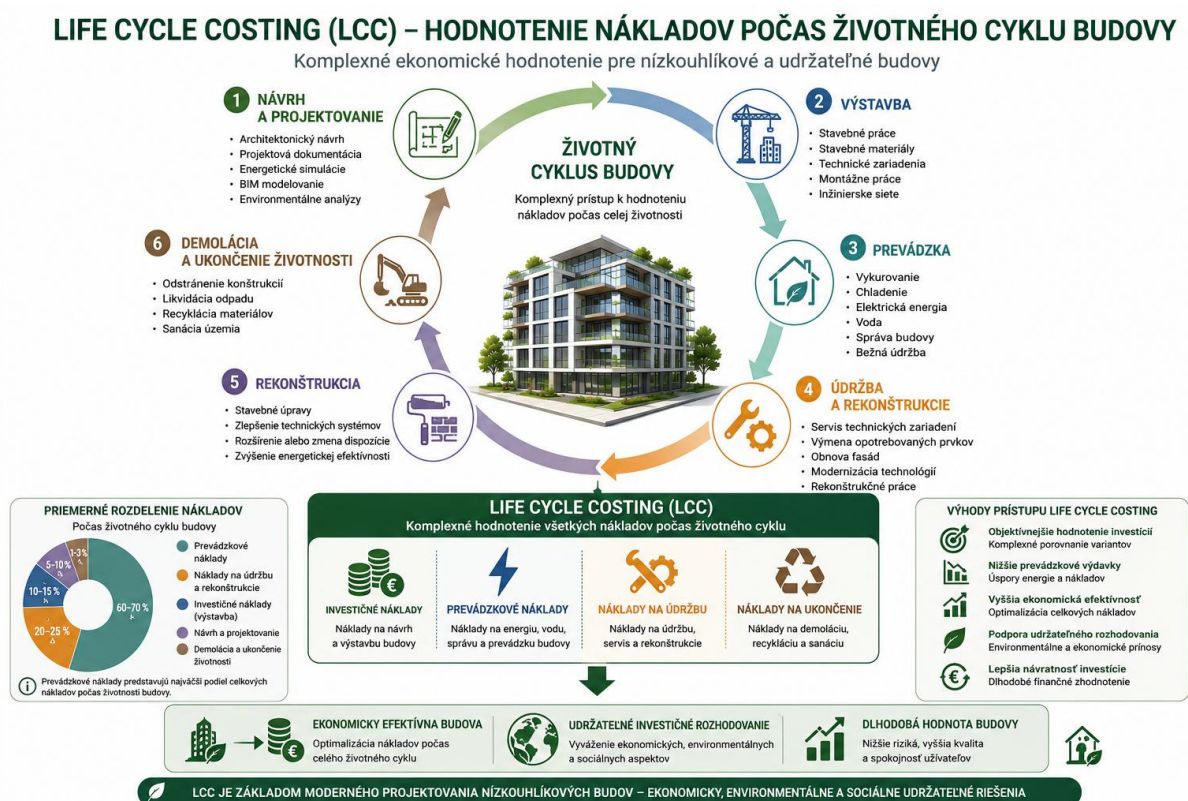
Metodika Life Cycle Costing (LCC) umožňuje objektívnejšie hodnotiť ekonomickú efektívnosť stavebných projektov tým, že zohľadňuje všetky náklady vznikajúce počas životného cyklu budovy. Medzi jej hlavné prínosy patria:

- objektívnejšie ekonomické hodnotenie investičných variantov,
- znižovanie prevádzkových nákladov,
- vyššia dlhodobá ekonomická efektívnosť,
- podpora udržateľného investičného rozhodovania,

- priaznivejšia návratnosť investícií.

Význam metodiky Life Cycle Costing spočíva v tom, že presúva pozornosť od minimalizácie počiatočných investičných nákladov k optimalizácii celkových nákladov počas životnosti budovy. Takýto prístup umožňuje prijímať rozhodnutia, ktoré sú výhodné nielen z krátkodobého ekonomického hľadiska, ale aj z pohľadu dlhodobej prevádzky, environmentálnej udržateľnosti a celkovej hodnoty stavebného diela.

V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a Building Information Modeling (BIM) sa hodnotenie nákladov počas životného cyklu stáva neoddeliteľnou súčasťou projektovania moderných nízkouhlíkových budov. Integrácia týchto prístupov vytvára komplexný rámec pre navrhovanie stavieb, ktoré sú energeticky efektívne, ekonomicky udržateľné a pripravené spĺňať požiadavky klimateckej neutrality počas celého svojho životného cyklu (Obrázok 38).



**Obrázok 38** Life Cycle Costing (LCC) – hodnotenie nákladov počas životného cyklu budovy

## 8.2 Investičné náklady (CAPEX)

Capital Expenditure (CAPEX) predstavuje počiatočné investičné náklady potrebné na realizáciu stavebného projektu a jeho uvedenie do prevádzky. Zahŕňa všetky finančné prostriedky vynaložené pred začiatkom prevádzky budovy vrátane nákladov na projektovú prípravu, výstavbu, technické vybavenie a uvedenie objektu do užívania.

Pri ekonomickom hodnotení nízkouhlíkových budov predstavujú investičné náklady jedno z rozhodujúcich kritérií investičného rozhodovania. Moderné energeticky efektívne budovy si často vyžadujú vyššie počiatočné investície v dôsledku kvalitnejšej tepelnej ochrany obálky, využívania nízkouhlíkových stavebných materiálov, implementácie obnoviteľných zdrojov energie a inteligentných systémov riadenia budovy. Takéto investície však nemožno posudzovať izolovane, ale vždy v kontexte celkových nákladov počas životného cyklu budovy. Do investičných nákladov sa spravidla zahŕňajú výdavky na projektovú prípravu, stavebné práce, stavebné materiály a konštrukcie, technické zariadenia budovy, obnoviteľné zdroje energie, inteligentné radiacie systémy, montážne práce a uvedenie budovy do prevádzky.

Z pohľadu metodiky Life Cycle Costing (LCC) predstavuje CAPEX iba jednu časť celkových životných nákladov budovy. Hoci sú investičné náklady pri nízkouhlíkových budovách spravidla vyššie ako pri konvenčných stavbách, počas prevádzky sa tieto zvýšené investície postupne kompenzujú nižšou spotrebou energie, nižšími nákladmi na údržbu, vyššou ekonomickou hodnotou nehnuteľnosti a lepšou pripravenosťou budovy na budúce legislatívne požiadavky.

### **Projektová príprava**

Projektová príprava predstavuje prvú etapu investičných nákladov a vytvára základ pre budúcu technickú, ekonomickú aj environmentálnu kvalitu budovy. Zahŕňa architektonický návrh, spracovanie projektovej dokumentácie, inžiniersku činnosť, energetické simulácie, modelovanie v prostredí Building Information Modeling (BIM), ako aj environmentálne analýzy vrátane metodiky Life Cycle Assessment (LCA).

Pri nízkouhlíkových budovách býva projektová príprava spravidla rozsiahlejšia než pri konvenčných stavbách, keďže si vyžaduje podrobné hodnotenie energetických, environmentálnych a ekonomických parametrov počas celého životného cyklu budovy.

### **Stavebné práce**

Najväčšiu časť investičných nákladov spravidla predstavujú stavebné práce a samotná realizácia objektu. Zahŕňajú zemné práce, zakladanie stavby, realizáciu nosných konštrukcií, obvodových stien, strešných konštrukcií, povrchových úprav a dokončovacích prác. Výška týchto nákladov závisí od typu budovy, použitých stavebných materiálov, technickej náročnosti projektu a požadovanej úrovne energetickej hospodárnosti.

### **Technické zariadenia budovy**

Významnú časť investičných nákladov tvoria technické zariadenia budovy. V nízkouhlíkových stavbách sa čoraz častejšie implementujú technológie zamerané na znižovanie spotreby energie a prevádzkových emisií, ako sú tepelné čerpadlá, fotovoltické systémy, rekuperačné jednotky, batériové úložiská, inteligentné riadiace systémy, Building Management System (BMS) alebo nabíjacie stanice elektromobilov.

Tieto technológie síce zvyšujú počiatočné investičné náklady, zároveň však významne prispievajú k znižovaniu prevádzkových nákladov, zvyšovaniu energetickej efektívnosti a znižovaniu uhlíkovej stopy budovy.

### **Uvedenie budovy do prevádzky**

Poslednú etapu investičných nákladov predstavujú činnosti súvisiace s uvedením budovy do prevádzky. Patria sem funkčné skúšky technických zariadení, proces commissioningu, energetická certifikácia, kolaudačné konanie a školenie budúcej obsluhy alebo správcu budovy. Správne uvedenie objektu do prevádzky je nevyhnutnou podmienkou na dosiahnutie projektovaných energetických, prevádzkových a environmentálnych parametrov.

### **CAPEX v nízkouhlíkových budovách**

Pri nízkouhlíkových budovách bývajú investičné náklady spravidla o niekoľko percent vyššie než pri tradičných stavebných riešeniach. Vyššie počiatočné investície sú spôsobené použitím kvalitnejších stavebných materiálov, vysokoúčinných technických zariadení, obnoviteľných zdrojov energie a pokročilých systémov riadenia budovy.

Tieto dodatočné investície však prinášajú významné dlhodobé prínosy vo forme nižších prevádzkových nákladov, vyššej energetickej efektívnosti, nižších emisií skleníkových plynov, vyššej trhovej hodnoty nehnuteľnosti a lepšej pripravenosti na budúce legislatívne požiadavky súvisiace s dekarbonizáciou stavebného sektora.

### **Význam pre ekonomické hodnotenie**

Investičné náklady predstavujú základný vstup do ekonomického hodnotenia stavebných projektov. V prípade nízkouhlíkových budov je však nevyhnutné posudzovať ich v kontexte

budúcich prevádzkových úspor, environmentálnych prínosov a celkových nákladov počas životného cyklu budovy.

Z pohľadu metodiky Life Cycle Costing (LCC), Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC) preto nemožno CAPEX hodnotiť samostatne. Moderné ekonomické hodnotenie stavebných projektov je založené na optimalizácii celkových životných nákladov a dlhodobej udržateľnosti investície, nie iba na minimalizácii počiatočných investičných výdavkov.

### 8.3.2 CAPEX nízkouhlíkových budov

Jednou z najčastejších otázok pri navrhovaní nízkouhlíkových budov je výška počiatočných investičných nákladov v porovnaní s konvenčnými stavbami. Vyššie investície sú spravidla spojené s kvalitnejšou tepelnou ochranou, efektívnejšími technológiami, využívaním obnoviteľných zdrojov energie a vyššími požiadavkami na projektovanie.

Rozsah navýšenia investičných nákladov závisí od energetického štandardu budovy, použitých technológií, cien stavebných materiálov a lokálnych podmienok trhu. Moderné analýzy však ukazujú, že rozdiely medzi konvenčnými a nízkouhlíkovými budovami sa postupne znižujú v dôsledku technologického pokroku a rastúceho rozšírenia energeticky efektívnych riešení. V porovnaní s konvenčnými budovami bývajú investičné náklady vyššie približne o hodnoty uvedené v tabuľke (Tabuľka 16).

**Tabuľka 16** Navýšenie CAPEX

| Typ budovy              | Navýšenie CAPEX |
|-------------------------|-----------------|
| Nízkoenergetická budova | 3 – 8 %         |
| Pasívna budova          | 5 – 15 %        |
| Net Zero Building       | 10 – 25 %       |

Pri nízkooenergetických budovách sa investičné náklady zvyšujú približne o 3 až 8 %, pričom hlavnými dôvodmi sú kvalitnejšia tepelná izolácia, vysokoizolačné okná, eliminácia tepelných mostov a účinnejšie technické systémy. Takéto zvýšenie investícií býva spravidla kompenzované nižšími nákladmi na vykurovanie už počas prvých rokov prevádzky.

Pasívne budovy vyžadujú vyššiu úroveň energetickej efektívnosti a prísnejšie technické parametre. Vyššie investície súvisia najmä s realizáciou veľmi kvalitnej obálky budovy, použitím trojitého zasklenia, zabezpečením vysokej vzduchotesnosti, inštaláciou systémov riadeného vetrania s rekuperáciou tepla a precíznou realizáciou stavebných detailov. Navýšenie investičných nákladov sa spravidla pohybuje v rozmedzí 5 až 15 %, pričom počas prevádzky sú tieto náklady kompenzované výrazne nižšou spotrebou energie.

Najvyšší stupeň energetickej efektívnosti predstavujú budovy s nulovou energetickou bilanciou (Net Zero Buildings), pri ktorých sa investičné náklady zvyšujú približne o 10 až 25 %. Vyššie investície sú spôsobené implementáciou rozsiahlych fotovoltických systémov, batériových úložísk, tepelných čerpadiel, inteligentných riadiacich systémov a ďalších pokročilých energetických technológií. Tieto budovy však dosahujú minimálne prevádzkové náklady a veľmi nízku uhlíkovú stopu počas celej životnosti.

Skutočná výška investičných nákladov závisí od viacerých faktorov, medzi ktoré patrí veľkosť budovy, zvolený konštrukčný systém, ceny stavebných materiálov a energií, klimatické podmienky lokality, ako aj rozsah využitia obnoviteľných zdrojov energie. Významný potenciál optimalizácie investičných nákladov prináša integrovaný proces navrhovania (Integrated Design Process – IDP) a využitie metodiky Building Information Modeling (BIM).

Pri ekonomickom hodnotení nízkouhlíkových budov je nevyhnutné posudzovať investičné náklady v spojení s prevádzkovými úsporami. Vyšší CAPEX je spravidla kompenzovaný nižšími nákladmi na energiu a údržbu, vyššou energetickou nezávislosťou, vyššou trhovou hodnotou nehnuteľnosti, väčšou odolnosťou voči rastu cien energií a lepším prístupom k zelenému financovaniu. Z tohto dôvodu sa pri modernom ekonomickom hodnotení stavebných projektov využíva metodika Life Cycle Costing (LCC), ktorá zohľadňuje všetky náklady počas životného cyklu stavby.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Aj keď sú počiatočné investičné náklady nízkouhlíkových budov spravidla vyššie než pri konvenčných riešeniach, ich ekonomická efektívnosť sa prejavuje počas celej životnosti objektu. Znižovanie spotreby energie, rast cien energií a sprísňovanie environmentálnych požiadaviek spôsobujú, že investície do energeticky efektívnych budov sú z dlhodobého hľadiska čoraz výhodnejšie. Vyšší CAPEX preto nemožno chápať ako dodatočný náklad, ale ako strategickú investíciu do budúcej ekonomickej, energetickej a environmentálnej udržateľnosti budovy.

### **8.3.3 Hlavné dôvody vyšších nákladov**

Vyššie investičné náklady nízkouhlíkových budov sú spôsobené predovšetkým implementáciou stavebných riešení a technológií, ktoré znižujú spotrebu energie, prevádzkové emisie skleníkových plynov a environmentálne dopady počas celého životného cyklu budovy. Hoci tieto opatrenia zvyšujú počiatočné investície, prinášajú významné ekonomické úspory počas prevádzky a zároveň zvyšujú dlhodobú hodnotu nehnuteľnosti.

Významnú časť dodatočných investícií predstavujú vysokoizolačné okenné systémy využívajúce trojité zasklenie, nízkoemisné vrstvy, inertné plyny v medzisklených priestoroch a tepelne optimalizované rámové systémy. Ich správna montáž zároveň prispieva k eliminácii tepelných mostov a zabezpečeniu vysokej vzduchotesnosti obálky budovy.

Ďalším významným faktorom je použitie hrubších vrstiev tepelnej izolácie. Dosiahnutie veľmi nízkych hodnôt súčiniteľa prechodu tepla si vyžaduje väčšie množstvo tepelnoizolačných materiálov, kvalitnejšie izolačné systémy a precíznejšie riešenie stavebných detailov, čo vedie k výraznému zníženiu tepelných strát a potreby energie na vykurovanie a chladenie.

Štandardnou súčasťou moderných nízkouhlíkových budov sú systémy riadeného vetrania s rekuperáciou tepla. Ich realizácia zahŕňa rekuperačnú jednotku, rozvody vzduchotechniky, regulačné prvky a uvedenie systému do prevádzky. Rekuperácia významne znižuje tepelné straty spôsobené vetraním a zároveň zlepšuje kvalitu vnútorného prostredia.

Významnú položku investičných nákladov predstavujú aj fotovoltické systémy, ktoré umožňujú lokálnu výrobu elektrickej energie a znižujú závislosť budovy od distribučnej siete. Ich súčasťou sú fotovoltické moduly, meniče, nosné konštrukcie, elektrické rozvody a v prípade potreby aj batériové úložiská.

K ďalším významným technológiám patria tepelné čerpadlá, ktorých investičné náklady zahŕňajú samotné zariadenie, geotermálne vrty alebo zemné kolektory pri systémoch zem – voda, akumulčné zásobníky a regulačné prvky. Napriek vyšším vstupným nákladom umožňujú výrazne znížiť spotrebu fosílnych palív a prevádzkové náklady budovy.

Rastúci význam získavajú aj inteligentné systémy riadenia budov, medzi ktoré patria Building Management System (BMS), senzory, technológie internetu vecí (IoT) a platformy energetického manažmentu. Tieto technológie umožňujú optimalizovať prevádzku budovy, efektívnejšie využívať obnoviteľné zdroje energie a znižovať spotrebu energie počas celej prevádzky.

Vyššie počiatočné investície prinášajú celý rad dlhodobých ekonomických a environmentálnych prínosov. Okrem nižších prevádzkových nákladov zabezpečujú vyššiu energetickú nezávislosť, vyššiu trhovú hodnotu nehnuteľnosti a významné znížovanie emisií skleníkových plynov. Pri ekonomickom hodnotení je preto nevyhnutné posudzovať tieto investície v kontexte celého životného cyklu budovy.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Kvalitné okenné systémy, účinná tepelná izolácia, rekuperácia tepla, fotovoltické systémy, tepelné čerpadlá a inteligentné riadenie predstavujú základné technologické prvky moderných nízkouhlíkových budov. Z pohľadu metodík Life Cycle Costing (LCC), Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC) nejde o dodatočné náklady, ale o strategické investície,

ktoré podporujú dlhodobú ekonomickú efektívnosť, environmentálnu udržateľnosť a klimatickú neutralitu budov.

### 8.3 Prevádzkové náklady (OPEX)

Operational Expenditure (OPEX) predstavuje prevádzkové náklady vznikajúce počas používania budovy. Na rozdiel od investičných nákladov (Capital Expenditure – CAPEX), ktoré sú vynakladané počas návrhu a výstavby, vznikajú prevádzkové náklady priebežne počas celej životnosti objektu a spravidla tvoria najväčšiu časť celkových nákladov životného cyklu budovy.

V moderných nízkouhlíkových budovách zohráva optimalizácia prevádzkových nákladov kľúčovú úlohu, pretože práve počas prevádzky možno dosahovať najvýznamnejšie ekonomické úspory prostredníctvom vysokej energetickej efektívnosti, inteligentného riadenia technických systémov a využívania obnoviteľných zdrojov energie.

Prevádzkové náklady zahŕňajú predovšetkým výdavky na spotrebu energie, vody, pravidelný servis technických zariadení, údržbu stavebných konštrukcií a technológií, ako aj opravy a obnovu jednotlivých komponentov budovy.

Najväčší podiel na prevádzkových výdavkoch predstavujú náklady na energiu potrebnú na vykurovanie, chladenie, prípravu teplej vody, osvetlenie a prevádzku technických zariadení. V nízkouhlíkových budovách sa tieto náklady významne znižujú vďaka kvalitnej tepelnej ochrane obálky budovy, systémom riadeného vetrania s rekuperáciou tepla, tepelným čerpadlám, fotovoltickým systémom a inteligentnému energetickému manažmentu. Práve úspory energie predstavujú hlavný ekonomický prínos energeticky efektívnych budov.

Významnú časť prevádzkových nákladov tvoria aj výdavky spojené so spotrebou vody a odvádzaním odpadových vôd. Moderné budovy využívajú úsporné armatúry, systémy zberu dažďovej vody, recykláciu sivej vody a inteligentné monitorovanie spotreby, čím sa znižujú prevádzkové náklady aj environmentálne dopady.

Neoddeliteľnou súčasťou prevádzkových nákladov sú aj výdavky na servis a údržbu technických zariadení budovy. Pravidelné odborné prehliadky, revízie, nastavovanie regulačných systémov a preventívna údržba zabezpečujú spoľahlivú prevádzku technológií, predlžujú ich životnosť a znižujú riziko vzniku porúch. Súčasne vznikajú aj náklady na opravy a obnovu opotrebovaných stavebných prvkov a technických zariadení, ktorých rozsah závisí od kvality návrhu, použitých materiálov a úrovne údržby.

Hlavnou výhodou nízkouhlíkových budov je schopnosť významne znižovať prevádzkové náklady počas celej životnosti objektu. Najväčšie úspory vznikajú v oblasti spotreby energie, spotreby vody, prevádzky technických zariadení a nákladov na vykurovanie a chladenie. V mnohých prípadoch práve nižšie prevádzkové náklady postupne kompenzujú vyššie počiatočné investičné náklady.

Pri ekonomickom hodnotení budov preto nemožno posudzovať iba výšku investičných nákladov. Keďže prevádzkové náklady predstavujú najväčšiu časť výdavkov počas životného cyklu budovy, sú rozhodujúcim faktorom jej dlhohodovej ekonomickej efektívnosti. Z tohto dôvodu sa pri hodnotení nízkouhlíkových budov uplatňuje metodika Life Cycle Costing (LCC), ktorá zohľadňuje všetky náklady vznikajúce počas životnosti objektu a umožňuje objektívne posudzovať ekonomické prínosy energeticky efektívnych riešení.

#### 8.3.1 Úspory

Jedným z najvýznamnejších ekonomických prínosov nízkouhlíkových budov je výrazné znižovanie spotreby energie počas ich prevádzky. Vďaka kvalitnej tepelnej ochrane obálky budovy, vysokoúčinným technickým zariadeniam, využívaniu obnoviteľných zdrojov energie a inteligentným systémom riadenia dosahujú moderné budovy podstatne nižšie prevádzkové náklady než konvenčné stavebné objekty.

Rozsah energetických úspor závisí predovšetkým od dosiahnutého energetického štandardu budovy a rozsahu implementovaných opatrení. Orientačné hodnoty úspor energie uvádza Tabuľka 17.

**Tabuľka 17** Orientačné hodnoty úspor energie

| Typ budovy              | Úspora energie |
|-------------------------|----------------|
| Nízkoenergetická budova | 40 – 60 %      |
| Pasívna budova          | 70 – 90 %      |
| Net Zero Building       | 90 – 100 %     |

Nízkoenergetické budovy dosahujú úspory približne 40 až 60 % v porovnaní s konvenčnými stavbami. Tieto výsledky sú dôsledkom kvalitnejšej tepelnej ochrany obálky budovy, vysokoizolačných okien, eliminácie tepelných mostov a efektívnejších systémov vykurovania. Pasívne budovy predstavujú vyšší stupeň energetickej efektívnosti. Ich návrh je založený na minimalizácii tepelných strát prostredníctvom veľmi kvalitnej obálky budovy, vysokej vzduchotesnosti, systémov riadeného vetrania s rekuperáciou tepla, optimalizovanej orientácie objektu a využívania pasívnych solárnych ziskov. Vďaka tomu dosahujú úspory energie približne 70 až 90 %.

Najvyšší stupeň energetickej efektívnosti predstavujú budovy s nulovou energetickou bilanciou (Net Zero Buildings), ktorých cieľom je zabezpečiť, aby ročná výroba energie z obnoviteľných zdrojov pokryla celkovú spotrebu objektu. Využívajú kombináciu pasívnych princípov navrhovania, fotovoltických systémov, tepelných čerpadiel, batériových úložísk a inteligentného energetického manažmentu. Energetické úspory sa pri tomto štandarde pohybujú približne v rozsahu 90 až 100 %, pričom budova sa môže stať takmer energeticky sebestačnou.

Energetické úspory prinášajú celý rad ekonomických prínosov. Okrem nižších účtov za energiu zabezpečujú vyššiu predvídateľnosť prevádzkových výdavkov, nižšiu citlivosť na rast cien energií, vyššiu energetickú bezpečnosť a väčšiu ekonomickú stabilitu prevádzky budovy. Počas celej životnosti objektu tieto úspory často prevyšujú počiatočné zvýšenie investičných nákladov.

Energetické úspory zároveň predstavujú hlavný zdroj návratnosti investícií do nízkouhlíkových technológií. Vyššie počiatočné investície sú postupne kompenzované nižšími prevádzkovými nákladmi, vyššou hodnotou nehnuteľnosti, lepším prístupom k zelenému financovaniu a nižšími prevádzkovými rizikami. Moderné ekonomické hodnotenie stavebných projektov sa preto čoraz viac orientuje na princípy životného cyklu a dlhodobé prevádzkové prínosy.

Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Energetické úspory predstavujú jeden z hlavných ekonomických argumentov podporujúcich výstavbu nízkouhlíkových budov. V spojení s rastúcimi cenami energií, požiadavkami ESG, metodikami Life Cycle Costing (LCC), Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC) sa energetická efektívnosť stáva nielen environmentálnou, ale aj ekonomickou nevyhnutnosťou moderného stavebníctva. Výrazné znížovanie prevádzkových nákladov počas celej životnosti budovy tak predstavuje jeden z rozhodujúcich faktorov dlhobej návratnosti investície a udržateľnosti stavebných projektov.

## 8.4 Life Cycle Costing (LCC)

Life Cycle Costing (LCC) predstavuje metódu ekonomického hodnotenia budov založenú na posudzovaní všetkých nákladov vznikajúcich počas celého životného cyklu stavby. Na rozdiel od tradičného prístupu, ktorý sa zameriava predovšetkým na počiatočné investičné náklady, metodika LCC zohľadňuje aj budúce prevádzkové náklady, náklady na údržbu, obnovu a ukončenie životnosti budovy.



Cieľom metodiky je identifikovať návrhové riešenie, ktoré zabezpečí najnižšie celkové náklady počas celej životnosti objektu pri zachovaní požadovanej funkčnosti, technickej kvality a environmentálnych parametrov. Základnou myšlienkou Life Cycle Costing je skutočnosť, že ekonomicky najvýhodnejšie riešenie nemusí byť vždy riešením s najnižšími počiatočnými investičnými nákladmi.

Pri hodnotení sa preto zohľadňujú investičné náklady (CAPEX), prevádzkové náklady (OPEX), náklady na údržbu, obnovu technických zariadení, ukončenie životnosti budovy vrátane demolácie alebo recyklácie a prípadná zostatková hodnota objektu. Takýto prístup umožňuje prijímať rozhodnutia založené na dlhodobej ekonomickej efektívnosti namiesto minimalizácie počiatočných investícií.

Pri nízkouhlíkových budovách má metodika LCC mimoriadny význam, pretože energeticky efektívne stavebné riešenia si spravidla vyžadujú vyššie počiatočné investície do kvalitnej obálky budovy, tepelných čerpadiel, fotovoltických systémov, rekuperácie alebo inteligentných systémov riadenia. Tieto náklady sú však počas prevádzky kompenzované nižšou spotrebou energie, nižšími nákladmi na údržbu, vyššou hodnotou nehnuteľnosti a nižším rizikom budúcich legislatívnych alebo environmentálnych nákladov.

Významnou výhodou metodiky Life Cycle Costing je jej úzke prepojenie s metodikou Life Cycle Assessment (LCA). Kým LCC hodnotí ekonomické aspekty životného cyklu budovy, LCA analyzuje jej environmentálne dopady. Spoločné využitie oboch metodík umožňuje navrhovať budovy, ktoré sú ekonomicky aj environmentálne optimálne.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Rast cien energií, požiadavky ESG, taxonómia Európskej únie a ciele klimatickej neutrality spôsobujú, že Life Cycle Costing sa postupne stáva štandardnou súčasťou ekonomického hodnotenia stavebných projektov. V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) predstavuje jeden z najvýznamnejších nástrojov preukazovania dlhodobej ekonomickej efektívnosti a podpory udržateľného investovania.

## 8.5.2 Výpočet

Metodika **Life Cycle Costing** je založená na výpočte všetkých nákladov vznikajúcich počas životného cyklu budovy. Cieľom je určiť celkové ekonomické zaťaženie projektu od jeho návrhu až po ukončenie životnosti a umožniť objektívne porovnanie jednotlivých návrhových variantov z pohľadu ich dlhodobej ekonomickej efektívnosti. Zjednodušený výpočet možno vyjadriť vzťahom:

$$LCC = CAPEX + OPEX + Maintenance + Replacement + Disposal$$

kde:

- CAPEX = investičné náklady (Capital Expenditure),
- OPEX = prevádzkové náklady (Operational Expenditure),
- Maintenance = náklady na údržbu,
- Replacement = náklady na výmenu a obnovu prvkov,
- Disposal = náklady na demoláciu a likvidáciu.

Investičné náklady vznikajú predovšetkým počas projektovej prípravy a výstavby objektu. Prevádzkové náklady vznikajú počas celej doby používania budovy a zahŕňajú výdavky na energiu, vodu, správu objektu a servis technických zariadení. Náklady na údržbu zabezpečujú zachovanie funkčnosti budovy, zatiaľ čo náklady na obnovu zahŕňajú výmenu opotrebovaných technických zariadení, obnovu fasád alebo modernizáciu energetických systémov. Poslednou zložkou sú náklady na demoláciu, likvidáciu stavebného odpadu, recykláciu materiálov a sanáciu územia po ukončení životnosti stavby.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Výpočet Life Cycle Costing umožňuje objektívne porovnávať rôzne návrhové riešenia z dlhodobého ekonomického hľadiska. Pri nízkouhlíkových budovách bývajú investičné náklady spravidla vyššie, avšak výrazne nižšie prevádzkové náklady a spotreba energie vedú počas životnosti budovy k významným ekonomickým úsporám. Metodika LCC preto patrí medzi základné nástroje ekonomického hodnotenia budov nZEB, ZEB a ďalších udržateľných stavebných projektov.

### 8.5.3 Význam metodiky Life Cycle Costing

Life Cycle Costing predstavuje jeden z najvýznamnejších nástrojov ekonomického hodnotenia budov. Na rozdiel od tradičného posudzovania investičných nákladov umožňuje analyzovať všetky náklady vznikajúce počas životného cyklu stavby, čím poskytuje podstatne komplexnejší pohľad na ekonomickú efektívnosť projektu.

V kontexte nízkouhlíkového stavebníctva má metodika LCC mimoriadny význam, pretože mnohé energeticky efektívne riešenia si vyžadujú vyššie počiatočné investície, ktoré sa však postupne vracajú prostredníctvom nižších prevádzkových nákladov. Metóda preto umožňuje objektívne porovnávať alternatívne konštrukčné riešenia, stavebné materiály, technické zariadenia alebo systémy využívajúce obnoviteľné zdroje energie na základe ich celkových nákladov počas celej životnosti budovy.

Významným prínosom metodiky je podpora optimalizácie investičných rozhodnutí už počas projektovej prípravy. Projektanti a investori môžu analyzovať návratnosť jednotlivých opatrení, budúce prevádzkové úspory, životnosť technológií, náklady na údržbu a obnovu jednotlivých systémov. V mnohých prípadoch sa ukazuje, že vyššie počiatočné investície do energetickej efektívnosti vedú k výrazne nižším celkovým nákladom počas prevádzky.

Hlavným cieľom metodiky Life Cycle Costing je minimalizácia celkových nákladov počas životného cyklu budovy. Takýto prístup umožňuje znižovať prevádzkové náklady, optimalizovať údržbu, predlžovať životnosť technických zariadení, efektívnejšie plánovať budúce investície a súčasne podporovať environmentálne ciele projektu.

Pri nízkouhlíkových budovách umožňuje metodika LCC zohľadniť nielen úspory energie a nižšie prevádzkové náklady, ale aj vyššiu životnosť technológií, vyššiu trhovú hodnotu nehnuteľnosti a lepšiu pripravenosť na budúce legislatívne požiadavky súvisiace s dekarbonizáciou stavebného sektora. V mnohých prípadoch sa ukazuje, že budovy s vyšším CAPEX dosahujú počas životného cyklu nižšie celkové náklady než konvenčné stavebné riešenia.

#### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Metodika Life Cycle Costing poskytuje investorom a projektantom objektívny podklad na strategické rozhodovanie a umožňuje hodnotiť stavebné projekty z pohľadu ich dlhobovej ekonomickej udržateľnosti. V spojení s metodikami Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC) a princípmi Integrated Design Process (IDP) predstavuje jeden zo základných nástrojov navrhovania ekonomicky efektívnych, energeticky úsporných a klimaticky neutrálnych budov. Jej význam bude naďalej narastať v súvislosti s rozvojom budov nZEB, ZEB, požiadavkami ESG, taxonómiou Európskej únie a rozvojom zeleného financovania.

### 8.5 Návratnosť investícií (ROI)

**Return on Investment (ROI)** patrí medzi najpoužívanejšie ekonomické ukazovatele hodnotenia investičných projektov. Vyjadruje mieru zhodnotenia investovaných finančných prostriedkov a umožňuje posudzovať ekonomickú efektívnosť jednotlivých investičných opatrení. V oblasti nízkouhlíkových budov sa využíva predovšetkým pri hodnotení investícií zameraných na znižovanie spotreby energie, implementáciu obnoviteľných zdrojov energie a využívanie energeticky efektívnych technológií.

Podstatou ukazovateľa ROI je vyjadriť ekonomický prínos investície vo vzťahu k výške vynaložených nákladov. Vyššia hodnota ukazovateľa znamená vyššiu ekonomickú efektívnosť

investície a spravidla aj rýchlejšie zhodnotenie vloženého kapitálu. V projektovej praxi sa ROI využíva pri hodnotení opatrení, ako sú zateplenie budov, výmena výplní otvorov, inštalácia fotovoltických systémov, tepelných čerpadiel, systémov riadeného vetrania s rekuperáciou tepla alebo inteligentných systémov riadenia budovy.

Pri nízkouhlíkových budovách majú investori často záujem o objektívne preukázanie ekonomických prínosov navrhovaných opatrení. Ukazovateľ ROI umožňuje kvantifikovať očakávané finančné prínosy, porovnávať alternatívne technické riešenia a podporovať rozhodovanie pri výbere energeticky efektívnych technológií. V spojení s metodikou Life Cycle Costing (LCC) poskytuje komplexnejší pohľad na ekonomickú efektívnosť budovy počas celého jej životného cyklu.

Výška návratnosti investície závisí od viacerých faktorov, medzi ktoré patrí výška počiatočnej investície, ceny energií, dosiahnuté energetické úspory, životnosť použitých technológií, náklady na údržbu, ako aj dostupnosť dotačných mechanizmov alebo iných foriem finančnej podpory. Významným faktorom je najmä budúci vývoj cien energií, ktorý môže výrazne ovplyvniť ekonomickú efektívnosť energeticky úsporných opatrení.

Hlavnou výhodou ukazovateľa ROI je jeho jednoduchá interpretácia a možnosť rýchleho porovnania rôznych investičných alternatív. Napriek tomu má aj určité obmedzenia, keďže nezohľadňuje časovú hodnotu peňazí, rozdielnu životnosť technológií ani environmentálne prínosy projektu. Z tohto dôvodu sa pri komplexnom ekonomickom hodnotení odporúča kombinovať ROI s ďalšími ukazovateľmi, ako sú Life Cycle Costing (LCC), Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) alebo doba návratnosti investície.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

S rastúcimi cenami energií, požiadavkami ESG, taxonómiou Európskej únie a cieľmi klimateckej neutrality nadobúda ekonomické hodnotenie investícií do nízkouhlíkových technológií čoraz väčší význam. Ukazovateľ Return on Investment poskytuje investorom jednoduchý a zrozumiteľný nástroj na hodnotenie ekonomickej efektívnosti energetických opatrení a podporuje rozhodovanie smerujúce k udržateľnejšiemu stavebníctvu. V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) patrí medzi základné ukazovatele ekonomickej efektívnosti investícií do energeticky úsporných technológií.

## 8.6.2 Výpočet ukazovateľa ROI

Ukazovateľ Return on Investment vyjadruje ekonomickú efektívnosť investície prostredníctvom pomeru dosiahnutého finančného prínosu k výške investovaných prostriedkov. Výsledok sa spravidla vyjadruje v percentách, čo umožňuje jednoduché porovnávanie rôznych investičných alternatív. Výpočet ROI možno vyjadriť vzťahom:

$$ROI = \frac{(Benefit - Cost)}{Cost} \times 100$$

kde:

- ROI – návratnosť investície (*Return on Investment*) (%),
- Benefit – celkový finančný prínos alebo výnos z investície (€),
- Cost – celkové investičné náklady (€).

Výsledná hodnota vyjadruje percentuálne zhodnotenie investovaných prostriedkov. Ak je hodnota ROI kladná, investícia prináša ekonomický prínos. Hodnota rovná nule znamená, že investícia sa presne vrátila, zatiaľ čo záporné hodnoty indikujú ekonomicky nevýhodnú investíciu. Čím vyššia je hodnota ukazovateľa, tým vyššia je ekonomická efektívnosť hodnoteného opatrenia.

V oblasti nízkouhlíkových budov sa ukazovateľ ROI využíva predovšetkým pri hodnotení zateplenia budov, výmeny okien, inštalácie tepelných čerpadiel, fotovoltických systémov,

systémov rekuperácie tepla alebo inteligentných systémov riadenia budovy. Jeho hlavnou výhodou je jednoduchý výpočet a zrozumiteľná interpretácia výsledkov, čo z neho robí jeden z najčastejšie používaných ekonomických ukazovateľov v stavebníctve.

Pri interpretácii výsledkov je však potrebné zohľadniť, že ukazovateľ ROI nezahŕňa časovú hodnotu peňazí, infláciu ani rozdielnu životnosť jednotlivých technológií. Rovnako nehodnotí environmentálne prínosy investície ani rast hodnoty nehnuteľnosti. Preto sa odporúča jeho kombinácia s metodikou Life Cycle Costing (LCC), čistou súčasnou hodnotou (NPV), vnútorným výnosovým percentom (IRR) alebo dobou návratnosti investície.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Výpočet ukazovateľa ROI umožňuje investorom objektívne posudzovať ekonomickú efektívnosť energeticky úsporných opatrení a kvantifikovať finančné prínosy nízkouhlíkových technológií. V spojení s metodikou LCC predstavuje dôležitý podklad pre rozhodovanie o investíciách do budov nZEB a ZEB, ktoré sú charakteristické vyššími počiatočnými investíciami, ale podstatne nižšími prevádzkovými nákladmi počas životného cyklu.

## **8.6.3 Interpretácia**

Hodnota ukazovateľa Return on Investment poskytuje informáciu o ekonomickej efektívnosti investície a umožňuje porovnávať jednotlivé návrhové varianty z pohľadu ich finančného prínosu. Vo všeobecnosti platí, že čím vyššia je hodnota ROI, tým vyšší ekonomický efekt investícia prináša.

Vyššia hodnota ukazovateľa znamená efektívnejšie využitie investovaných finančných prostriedkov, vyššie prevádzkové úspory a lepšiu ekonomickú výkonnosť projektu. Súčasne býva spojená s kratšou dobou návratnosti investície, nižším investičným rizikom a vyššou atraktivitou projektu pre investorov.

### **Orientačné hodnotenie ROI**

Interpretáciu možno zjednodušene rozdeliť ako je uvedené v tabuľke (Tabuľka 18).

**Tabuľka 18** Interpretácia ROI

| ROI       | Hodnotenie             |
|-----------|------------------------|
| < 0 %     | stratová investícia    |
| 0 – 10 %  | nízka návratnosť       |
| 10 – 30 % | dobrá návratnosť       |
| > 30 %    | veľmi dobrá návratnosť |

Pri nízkouhlíkových budovách dosahujú najvyššie hodnoty ROI najmä opatrenia s relatívne nízkymi investičnými nákladmi a rýchlou ekonomickou návratnosťou, ako sú inteligentné systémy riadenia budovy, LED osvetlenie, optimalizácia vykurovania alebo energetický manažment. Naopak technológie, ako sú fotovoltické systémy, tepelné čerpadlá alebo rozsiahle zateplenie budovy, si vyžadujú vyššie počiatočné investície, avšak prinášajú významné ekonomické prínosy počas dlhšieho obdobia prevádzky.

Pri interpretácii výsledkov je potrebné zohľadniť, že samotný ukazovateľ ROI neposkytuje úplný obraz o ekonomickej efektívnosti projektu. Nezohľadňuje časovú hodnotu peňazí, životnosť technológií, infláciu ani environmentálne prínosy investície. Z tohto dôvodu sa pri komplexnom ekonomickom hodnotení odporúča jeho kombinácia s metodikami Life Cycle Costing (LCC), Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) a dobou návratnosti investície.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Interpretácia ukazovateľa ROI umožňuje investorom objektívne posudzovať ekonomické dôsledky jednotlivých energeticky úsporných opatrení a identifikovať riešenia s najvyšším finančným prínosom. V spojení s metodikami LCC, LCA a Whole Life Carbon (WLC)

predstavuje významný nástroj na hodnotenie ekonomickej efektívnosti nízkouhlíkových budov a podporuje rozhodovanie smerujúce k dlhodobu udržateľným investíciám do stavebného sektora.

## 8.1 Čistá súčasná hodnota (NPV)

Čistá súčasná hodnota (Net Present Value – NPV) patrí medzi najvýznamnejšie ekonomické ukazovatele používané pri hodnotení investičných projektov. V oblasti nízkouhlíkových budov sa využíva predovšetkým na posudzovanie ekonomickej efektívnosti investícií do energeticky úsporných technológií, obnoviteľných zdrojov energie a ďalších opatrení zameraných na znižovanie prevádzkových nákladov a emisií skleníkových plynov.

Na rozdiel od jednoduchších ukazovateľov ekonomickej efektívnosti zohľadňuje NPV časovú hodnotu peňazí, ktorá vychádza z predpokladu, že finančné prostriedky dostupné v súčasnosti majú vyššiu hodnotu než rovnaká suma získaná v budúcnosti. Budúce peňažné toky sa preto diskontujú na ich súčasnú hodnotu pomocou vhodne zvolenej diskontnej sadzby.

Použitie metodiky NPV umožňuje objektívne porovnávať investičné projekty s rozdielnou dobou životnosti, odlišnými investičnými nákladmi aj rôznymi prevádzkovými prínosmi. V stavebníctve sa najčastejšie využíva pri ekonomickom hodnotení fotovoltických systémov, tepelných čerpadiel, energetických renovácií, nízkoenergetických budov, pasívnych domov a budov s nulovými emisiami.

Hodnota NPV predstavuje rozdiel medzi súčasnou hodnotou budúcich peňažných tokov a počiatočnými investičnými nákladmi. Ak je výsledná hodnota kladná, projekt vytvára ekonomickú hodnotu; nulová hodnota predstavuje hranicu rentability a záporná hodnota signalizuje ekonomicky nevýhodnú investíciu.

Významnou výhodou metódy NPV je zohľadnenie časovej hodnoty peňazí a hodnotenie celej životnosti investície. Vďaka tomu poskytuje spoľahlivejší obraz o ekonomickej efektívnosti projektu než jednoduché ukazovatele návratnosti.

Pri nízkouhlíkových budovách umožňuje NPV zohľadniť vyššie počiatočné investície do kvalitnej obálky budovy, obnoviteľných zdrojov energie alebo inteligentných technológií a zároveň objektívne vyhodnotiť dlhodobé prevádzkové úspory, rast cien energií, životnosť technických zariadení aj náklady na ich údržbu.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

V podmienkach rastúcich cien energií, sprísňujúcich sa environmentálnych požiadaviek, rozvoja ESG princípov a taxonómie Európskej únie patrí Net Present Value medzi základné nástroje ekonomického hodnotenia investícií do nízkouhlíkových budov. Investorom umožňuje prijímať rozhodnutia založené na dlhodobej ekonomickej efektívnosti a podporuje realizáciu udržateľných stavebných projektov.

## 8.7.2 Výpočet čistej súčasnej hodnoty

Čistá súčasná hodnota (Net Present Value – NPV) patrí medzi najvýznamnejšie metódy ekonomického hodnotenia investičných projektov. Jej cieľom je určiť rozdiel medzi súčasnou hodnotou budúcich peňažných tokov a počiatočnou investíciou. Na rozdiel od jednoduchých ukazovateľov návratnosti zohľadňuje časovú hodnotu peňazí, teda skutočnosť, že peniaze dostupné dnes majú vyššiu hodnotu než rovnaká suma v budúcnosti.

Výpočet NPV možno vyjadriť vzťahom:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0$$

kde:

NPV – čistá súčasná hodnota (*Net Present Value*) (€),

$CF_t$  – peňažný tok v roku  $t$  (€),  
 $r$  – diskontná sadzba (-),  
 $t$  – poradové číslo roku,  
 $n$  – počet rokov hodnoteného obdobia,  
 $I_0$  – počiatočná investícia (€).

Peňažné toky predstavujú finančné prínosy alebo úspory dosahované počas prevádzky budovy. Pri nízkouhlíkových budovách môžu zahŕňať predovšetkým úspory energie, nižšie náklady na prevádzku a údržbu, príjmy z výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov alebo ekonomické prínosy vyplývajúce z dotačných mechanizmov.

Diskontná sadzba predstavuje požadovanú mieru výnosnosti investície a zohľadňuje infláciu, cenu kapitálu, investičné riziko aj alternatívne možnosti investovania. Pri ekonomickom hodnotení stavebných projektov sa spravidla uvažuje s diskontnou sadzbou približne 3 až 8 %, pričom jej konkrétna hodnota závisí od charakteru projektu a ekonomických podmienok.

Počiatočná investícia zahŕňa všetky výdavky potrebné na realizáciu projektu vrátane projektovej prípravy, výstavby, technických zariadení a uvedenia budovy do prevádzky.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Metóda NPV patrí medzi najvhodnejšie nástroje na ekonomické hodnotenie investícií do tepelných čerpadiel, fotovoltických systémov, systémov rekuperácie tepla, zateplenia budov a inteligentného energetického manažmentu. Vzhľadom na dlhodobý charakter prevádzkových úspor umožňuje objektívne preukázať ekonomickú efektívnosť nízkouhlíkových technológií počas celej životnosti budovy.

## 8.7.3 Interpretácia výsledkov

Interpretácia ukazovateľa Net Present Value je založená na porovnaní výslednej hodnoty s nulou. Výsledok vyjadruje rozdiel medzi súčasnou hodnotou budúcich peňažných tokov a počiatočnými investičnými nákladmi a umožňuje posúdiť, či projekt vytvára ekonomickú hodnotu. Ak je hodnota NPV kladná, súčasná hodnota budúcich finančných prínosov prevyšuje počiatočné investičné náklady. Projekt dosahuje požadovanú mieru výnosnosti a vytvára dodatočnú ekonomickú hodnotu. Čím vyššia je hodnota NPV, tým atraktívnejšia je investícia.

Pri nulovej hodnote NPV dosahuje projekt presne požadovanú mieru výnosnosti. Investícia síce nevytvára dodatočný ekonomický zisk, avšak zabezpečuje požadovanú návratnosť vložených finančných prostriedkov. Ak je NPV záporná, budúce finančné prínosy nedokážu pokryť počiatočné investičné náklady pri zvolenej diskontnej sadzbe. Projekt preto z ekonomického hľadiska nevytvára hodnotu a investor môže uprednostniť inú investičnú alternatívu. Pri porovnávaní viacerých investičných variantov sa spravidla uprednostňuje riešenie s najvyššou hodnotou NPV (Tabuľka 19).

**Tabuľka 19** Hodnota NPV

| Hodnota NPV | Hodnotenie                             |
|-------------|----------------------------------------|
| $NPV > 0$   | investícia je výhodná                  |
| $NPV = 0$   | investícia je neutrálna                |
| $NPV < 0$   | investícia nie je ekonomicky efektívna |

Pri nízkouhlíkových budovách sa metóda NPV využíva predovšetkým pri hodnotení investícií do tepelných čerpadiel, fotovoltických systémov, systémov rekuperácie tepla, energetických renovácií alebo inteligentného riadenia budovy. Keďže tieto opatrenia prinášajú ekonomické úspory počas dlhého obdobia, zohľadnenie časovej hodnoty peňazí je pri ich hodnotení mimoriadne dôležité.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

V spojení s metodikami Life Cycle Costing (LCC), Return on Investment (ROI), Internal Rate of Return (IRR) a Life Cycle Assessment (LCA) predstavuje metóda Net Present Value jeden z najspoľahlivejších nástrojov ekonomického hodnotenia udržateľných stavebných projektov. Umožňuje objektívne preukázať, že vyššie počiatkové investície do nízkouhlíkových technológií môžu počas životného cyklu budovy priniesť významné ekonomické prínosy a podporiť dlhodobú finančnú aj environmentálnu udržateľnosť investície.

## 8.6 Analýza fotovoltických systémov

### 8.6.1 Modelový príklad

Na posúdenie ekonomickej efektívnosti fotovoltického systému možno uvažovať modelový príklad rodinného domu s inštalovaným fotovoltickým systémom s výkonom **10 kWp**, počiatkovou investíciou **12 000 €** a priemernou ročnou výrobou elektrickej energie **10 000 kWh**. Takýto systém predstavuje typické riešenie pre rodinné domy orientované na znižovanie prevádzkových nákladov a zvyšovanie energetickej sebestačnosti.

Ročná výroba elektrickej energie môže byť vyjadrená vzťahom:

$$E = 10\,000 \frac{kWh}{rok}$$

čo predstavuje približne 10 MWh elektrickej energie ročne. Pri vhodnom dimenzovaní systému možno väčšinu vyrobenej energie spotrebovať priamo v budove alebo ju akumulovať v batériovom úložisku, čím sa výrazne obmedzuje odber elektrickej energie z distribučnej siete. Ekonomický prínos fotovoltického systému závisí predovšetkým od ceny elektrickej energie, podielu vlastnej spotreby, možnosti akumulácie energie alebo dodávky prebytkov do siete, životnosti systému a výšky prevádzkových nákladov. Ak sa vyrobená elektrická energia využíva priamo v budove, dochádza k významnému zníženiu prevádzkových nákladov, vyššej ochrane pred rastom cien energií, zvýšeniu hodnoty nehnuteľnosti a súčasne aj k redukcii prevádzkových emisií skleníkových plynov.

Modelový príklad potvrdzuje, že investícia do fotovoltického systému môže prinášať významné ekonomické aj environmentálne prínosy. Pri vhodnom návrhu a vysokej miere vlastnej spotreby predstavuje fotovoltika jedno z najefektívnejších opatrení na znižovanie spotreby energie počas prevádzky budovy. V kombinácii s metodikami Life Cycle Costing (LCC), Return on Investment (ROI) a Net Present Value (NPV) možno objektívne posúdiť ekonomickú efektívnosť investície počas celej životnosti systému.

#### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Fotovoltické systémy patria medzi základné technológie nízkouhlíkových budov. Umožňujú vyrábať elektrickú energiu priamo v mieste spotreby, znižovať závislosť od distribučnej siete, obmedzovať prevádzkové náklady aj emisie CO<sub>2</sub> a podporujú dosahovanie štandardov nZEB a ZEB.

### 8.6.2 Ročná úspora

Ekonomický prínos fotovoltického systému je priamo závislý od množstva vyrobenej elektrickej energie a aktuálnej ceny elektriny. Pri využívaní vlastnej vyrobenej energie dochádza k zníženiu odberu elektriny z distribučnej siete, čo sa bezprostredne premieta do nižších prevádzkových nákladov budovy.

V modelovom príklade sa uvažuje s orientačnou ročnou úsporou vo výške 2 000 €, ktorá predstavuje priamy finančný prínos prevádzky fotovoltického systému. Skutočná výška úspor závisí od viacerých faktorov, najmä od vývoja cien elektrickej energie, podielu vlastnej spotreby, využitia batériového úložiska alebo kombinácie fotovoltiky s tepelným čerpadlom.

Naopak nižšie úspory možno očakávať pri nižších cenách elektriny alebo pri vysokom podiele energie dodávanej do distribučnej siete.

Pri životnosti fotovoltického systému približne 25 až 30 rokov môže celkový ekonomický prínos niekoľkonásobne prevýšiť počiatočné investičné náklady. Okrem finančných úspor prináša fotovoltický systém aj významné environmentálne prínosy vo forme znižovania spotreby elektrickej energie zo siete, redukcie emisií CO<sub>2</sub>, podpory obnoviteľných zdrojov energie a zvyšovania energetickej sebestačnosti budovy.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Modelový príklad potvrdzuje, že fotovoltické systémy predstavujú ekonomicky efektívne riešenie s významnými dlhodobými finančnými aj environmentálnymi prínosmi. V kombinácii s tepelnými čerpadlami, batériovými úložiskami a inteligentným energetickým manažmentom patria medzi základné technológie budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

## 8.6.3 Návratnosť

Jedným zo základných ekonomických ukazovateľov pri hodnotení investícií do fotovoltických systémov je doba návratnosti (Payback Period). Tento ukazovateľ vyjadruje čas potrebný na to, aby sa počiatočná investícia vrátila prostredníctvom dosiahnutých finančných úspor počas prevádzky systému.

Výpočet možno vyjadriť vzťahom:

$$Payback = \frac{Investment}{Annual Savings}$$

kde:

Payback (PB) – doba návratnosti investície (roky),

I (Investment) – počiatočné investičné náklady (€),

S (Annual Savings) – ročné finančné úspory (€·rok<sup>-1</sup>).

Pri modelovom príklade možno pri investičných nákladoch 12 000 € a ročnej úspore 2 000 € určiť jednoduchú dobu návratnosti približne

$$PB = \frac{12\,000}{2\,000} = 6 \text{ rokov}$$

Skutočná návratnosť investície závisí od viacerých faktorov, medzi ktoré patrí cena elektrickej energie, tempo jej rastu, miera vlastnej spotreby vyrobenej energie, využitie batériových úložísk, životnosť systému alebo dostupnosť dotačných mechanizmov. Pri raste cien elektriny sa finančné úspory zvyšujú, čo vedie ku skracovaniu doby návratnosti.

Výhodou ukazovateľa Payback Period je jeho jednoduchý výpočet a ľahká interpretácia, vďaka čomu patrí medzi najčastejšie používané metódy predbežného ekonomického hodnotenia energetických opatrení. Nevýhodou je, že nezohľadňuje časovú hodnotu peňazí, infláciu, prevádzkové náklady systému ani peňažné toky po dosiahnutí návratnosti. Z tohto dôvodu sa odporúča jeho kombinácia s metodikami ROI, NPV, IRR a Life Cycle Costing (LCC).

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Modelový príklad ukazuje, že fotovoltický systém dosahuje jednoduchú dobu návratnosti približne šesť rokov, pričom jeho technická životnosť spravidla presahuje 25 rokov. Po dosiahnutí návratnosti preto systém generuje čisté finančné úspory počas ďalších desaťročí prevádzky. Fotovoltické systémy tak patria medzi ekonomicky najatraktívnejšie technológie využívané v budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB).



## 8.7 Analýza tepelných čerpadiel

### 8.7.1 Modelový príklad

Na posúdenie ekonomickej efektívnosti tepelného čerpadla možno uvažovať modelový príklad rodinného domu, pri ktorom počiatkové investičné náklady predstavujú 12 000 € a predpokladaná ročná finančná úspora dosahuje 1 500 €. Takéto parametre zodpovedajú bežným podmienkam rodinného domu využívajúceho tepelné čerpadlo ako hlavný zdroj vykurovania a prípravy teplej vody.

Tepelné čerpadlá patria medzi najvýznamnejšie technológie nízkouhlíkových budov, pretože v porovnaní s konvenčnými vykurovacími systémami využívajúcimi fosílnu palivá umožňujú výrazne znížiť spotrebu primárnej energie, prevádzkové náklady aj emisie skleníkových plynov. V modelovom prípade sa predpokladá, že tepelné čerpadlo nahrádza tradičný zdroj tepla a prináša každoročnú finančnú úsporu vo výške

$$S = 1\,500 \text{ €} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Táto úspora je výsledkom vysokej energetickej účinnosti systému, nižšej spotreby energie na vykurovanie a využívania obnoviteľnej energie akumulovanej vo vzduchu, pôde alebo podzemnej vode.

Počiatkové investičné náklady zahŕňajú samotné tepelné čerpadlo, montáž zariadenia, hydraulické komponenty, akumulčný zásobník, regulačný systém a uvedenie zariadenia do prevádzky. Dosahované prevádzkové úspory následne vytvárajú základ na výpočet ekonomických ukazovateľov, ako sú doba návratnosti, Return on Investment (ROI) alebo Net Present Value (NPV).

Okrem ekonomických prínosov prinášajú tepelné čerpadlá aj významné environmentálne benefity. Ich využívanie vedie k znižovaniu emisií CO<sub>2</sub>, obmedzeniu spotreby fosílnych palív a zvyšovaniu energetickej efektívnosti budovy. Pri kombinácii s fotovoltickými systémami možno prevádzkové emisie objektu znížiť na minimálnu úroveň.

#### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Modelový príklad potvrdzuje, že tepelné čerpadlá predstavujú ekonomicky aj environmentálne efektívne riešenie vykurovania moderných budov. Napriek vyšším počiatkovým investičným nákladom prinášajú počas celej životnosti významné prevádzkové úspory a predstavujú jednu zo základných technológií budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

### 8.7.2 Faktory ovplyvňujúce návratnosť

Skutočná ekonomická návratnosť tepelného čerpadla závisí od viacerých technických, ekonomických a prevádzkových faktorov. Modelové výpočty poskytujú iba orientačný odhad, pričom reálne výsledky môžu byť ovplyvnené charakteristikami budovy, miestnymi klimatickými podmienkami, vývojom cien energií alebo spôsobom prevádzky systému.

Významný vplyv má predovšetkým cena elektrickej energie, ktorá priamo ovplyvňuje prevádzkové náklady tepelného čerpadla. Pri vyšších cenách elektriny sa ekonomická návratnosť predlžuje, zatiaľ čo pri využívaní elektriny vyrobenej vlastným fotovoltickým systémom možno prevádzkové náklady výrazne znížiť a dobu návratnosti skrátiť.

Ekonomickú efektívnosť ovplyvňuje aj cena nahradzaného paliva, najčastejšie zemného plynu. Rast cien fosílnych palív zvyšuje finančné úspory dosahované tepelným čerpadlom a skracuje dobu návratnosti investície. Naopak pri nízkych cenách plynu sa ekonomický rozdiel medzi jednotlivými systémami vykurovania znižuje.

Dôležitým faktorom sú aj klimatické podmienky lokality. Najvýraznejšie sa prejavujú pri tepelných čerpadlách typu vzduch – voda, ktorých sezónna účinnosť závisí od vonkajšej

teploty. V miernejších klimatických podmienkach dosahujú tepelné čerpadlá vyššie hodnoty sezónneho vykurovacieho faktora (SCOP) a lepšiu ekonomickú návratnosť.

Rozhodujúci význam má aj samotná účinnosť systému, ktorá sa hodnotí pomocou ukazovateľov Coefficient of Performance (COP) a Seasonal Coefficient of Performance (SCOP). Vyššie hodnoty týchto ukazovateľov znamenajú nižšiu spotrebu elektrickej energie, vyššie prevádzkové úspory a kratšiu dobu návratnosti investície. Najvyššiu účinnosť spravidla dosahujú systémy zem – voda a voda – voda, ktoré využívajú stabilnejšie teplotné podmienky zdroja tepla.

Na ekonomickú návratnosť môžu vplývať aj ďalšie faktory, ako sú výška dotačnej podpory, náklady na údržbu, životnosť zariadenia, rast cien energií alebo celková energetická náročnosť budovy.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Cena energií, klimatické podmienky a energetická účinnosť systému patria medzi rozhodujúce faktory ekonomickej efektívnosti tepelných čerpadiel. Pri správnom návrhu a vhodných prevádzkových podmienkach predstavujú tepelné čerpadlá jednu z najvýhodnejších technológií z hľadiska dlhodobých prevádzkových úspor aj znižovania emisií skleníkových plynov. Ich význam bude naďalej narastať v dôsledku rastúcich cien fosílnych palív, rozvoja obnoviteľných zdrojov energie a pokračujúcej dekarbonizácie stavebného sektora.

## **8.8 Hodnota nehnuteľnosti**

Ekonomické prínosy nízkouhlíkových budov sa neprejavujú iba vo forme nižších prevádzkových nákladov, ale aj rastom trhovej hodnoty samotnej nehnuteľnosti. Zvyšujúce sa požiadavky na energetickú efektívnosť, environmentálnu udržateľnosť a plnenie kritérií Environmental, Social and Governance (ESG) spôsobujú, že investori, nájomcovia aj finančné inštitúcie čoraz častejšie uprednostňujú budovy s preukázateľne lepšími environmentálnymi parametrami.

Významnú úlohu pri zvyšovaní hodnoty nehnuteľností zohrávajú medzinárodné systémy environmentálnej certifikácie, predovšetkým LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) a WELL Building Standard. Tieto certifikačné systémy poskytujú nezávislé potvrdenie kvality budovy, jej energetickej hospodárnosti a environmentálnej výkonnosti, čím zvyšujú jej konkurencieschopnosť na trhu nehnuteľností.

Výsledky viacerých medzinárodných štúdií naznačujú, že environmentálne certifikované budovy dosahujú vyššie nájomné, vyššiu mieru obsadenosti a vyššiu trhovú hodnotu než porovnateľné necertifikované objekty. Tento jav je dôsledkom nižších prevádzkových nákladov, kvalitnejšieho vnútorného prostredia, vyššieho komfortu používateľov a rastúceho záujmu investorov o udržateľné nehnuteľnosti.

Vyššie nájomné je spôsobené predovšetkým nižšími prevádzkovými nákladmi nájomcov, vyššou energetickou efektívnosťou budovy a lepšou kvalitou vnútorného prostredia. Moderné administratívne a komerčné spoločnosti zároveň čoraz častejšie uplatňujú ESG princípy pri výbere kancelárskych priestorov, čo zvyšuje dopyt po certifikovaných budovách.

Vyššia kvalita budovy sa spravidla prejavuje aj vyššou mierou obsadenosti a nižšou fluktuáciou nájomcov. Stabilnejšie príjmy z prenájmu následne znižujú investičné riziko vlastníkov a pozitívne ovplyvňujú ekonomickú hodnotu nehnuteľnosti.

Kombinácia nižších prevádzkových nákladov, vyššieho dopytu a lepších environmentálnych parametrov sa premieta do vyššej trhovej hodnoty budovy. V odbornej literatúre sa tento jav označuje ako green premium, teda cenová prímia za environmentálne kvalitnú budovu. Certifikované objekty často dosahujú vyššie predajné ceny, lepšie podmienky financovania a vyššiu investičnú atraktivitu.

Význam environmentálnych parametrov ďalej rastie v súvislosti s implementáciou ESG princípov a taxonómie Európskej únie. Investori pri hodnotení stavebných projektov čoraz

častejšie posudzujú energetickú hospodárnosť budovy, uhlíkovú stopu, úroveň environmentálnej certifikácie, klimatickú odolnosť a súlad s požiadavkami udržateľného financovania. Budovy, ktoré tieto požiadavky nespĺňajú, môžu v budúcnosti čeliť poklesu trhovej hodnoty alebo obmedzenému prístupu k investičnému kapitálu.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Vyššie nájomné, vyššia obsadenosť a rast trhovej hodnoty predstavujú významné ekonomické prínosy nízkouhlíkových budov. Tieto benefity dopĺňajú úspory prevádzkových nákladov a významne zlepšujú celkovú ekonomickú návratnosť investície. Z pohľadu investorov sa preto nízkouhlíkové budovy stávajú nielen environmentálne zodpovedným, ale aj ekonomicky atraktívnym riešením. Očakáva sa, že význam energetickej efektívnosti a environmentálnych certifikácií bude v nasledujúcich rokoch naďalej narastať v súvislosti s dekarbonizáciou stavebného sektora a rozvojom udržateľného financovania.

### **Vplyv environmentálnych certifikácií na hodnotu budovy**

Environmentálne certifikované budovy dosahujú na trhu nehnuteľností spravidla vyššiu hodnotu než porovnateľné necertifikované objekty. Vyššia tržová cena je výsledkom kombinácie nižších prevádzkových nákladov, vyššej energetickej efektívnosti, kvalitnejšieho vnútorného prostredia a rastúceho záujmu investorov o udržateľné nehnuteľnosti. Orientačné zvýšenie hodnoty budov podľa jednotlivých certifikačných systémov uvádza Tabuľka 20.

**Tabuľka 20** Nárast hodnoty u jednotlivých certifikácií

| <b>Certifikácia</b> | <b>Nárast hodnoty</b> |
|---------------------|-----------------------|
| LEED                | 5 – 15 %              |
| BREEAM              | 5 – 12 %              |
| DGNB                | 3 – 10 %              |

Najvyššie nárasty hodnoty sú spravidla spojené s certifikáciou LEED, pri ktorej sa podľa publikovaných štúdií môže tržová hodnota budovy zvýšiť približne o 5 až 15 %. Tento efekt je spôsobený najmä nižšími prevádzkovými nákladmi, vyššou energetickou efektívnosťou, atraktivitou pre nájomcov a lepším ESG profilom budovy.

Certifikácia BREEAM, ktorá patrí medzi najrozšírenejšie systémy environmentálneho hodnotenia budov v Európe, prináša zvýšenie trhovej hodnoty približne o 5 až 12 %. Vyššia hodnota je výsledkom kvalitnejšieho technického riešenia budovy, lepších environmentálnych parametrov, vyššej obsadenosti a nižšieho investičného rizika.

Nemecký certifikačný systém DGNB kladie dôraz na vyvážené hodnotenie environmentálnych, ekonomických a sociálnych aspektov udržateľnosti. Certifikované budovy podľa dostupných údajov dosahujú zvýšenie trhovej hodnoty približne o 3 až 10 %, pričom významným prínosom je ich dlhodobá ekonomická efektívnosť a nízka uhlíková stopa počas životného cyklu.

Vyššia tržová hodnota environmentálne certifikovaných budov je výsledkom synergického pôsobenia viacerých faktorov, medzi ktoré patrí nižšia spotreba energie, nižšie prevádzkové náklady, vyšší komfort používateľov, vyššia obsadenosť, nižšie investičné riziko a lepšia dostupnosť zeleného financovania.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Environmentálne certifikácie predstavujú nielen nástroj na preukazovanie kvality a udržateľnosti budovy, ale zároveň vytvárajú merateľnú ekonomickú hodnotu. V kombinácii s vysokou energetickou efektívnosťou, nízkymi prevádzkovými nákladmi a pripravenosťou na budúce legislatívne požiadavky významne zvyšujú konkurencieschopnosť nízkouhlíkových budov na trhu nehnuteľností. Z pohľadu investorov tak predstavujú dôležitý faktor podporujúci dlhodobú ekonomickú návratnosť a udržateľnosť stavebných projektov.

## 8.9 Zelené financovanie

### 8.9.1 Definícia

Zelené financovanie (Green Finance) predstavuje systém finančných nástrojov a investičných mechanizmov určených na podporu projektov s preukázateľným pozitívnym environmentálnym prínosom. Jeho cieľom je smerovať kapitál do aktivít podporujúcich znižovanie emisií skleníkových plynov, zvyšovanie energetickej efektívnosti, využívanie obnoviteľných zdrojov energie a adaptáciu na klimatické zmeny.

V sektore stavebníctva zohráva zelené financovanie čoraz významnejšiu úlohu, pretože umožňuje realizovať investície do nízkouhlíkových budov, energetických renovácií a udržateľnej infraštruktúry. Rastúci význam tejto oblasti súvisí s klimatickými cieľmi Európskej únie, implementáciou princípov Environmental, Social and Governance (ESG) a rastúcimi požiadavkami investorov na environmentálne zodpovedné projekty.

Základným princípom zeleného financovania je poskytovanie kapitálu projektom, ktoré preukázateľne prispievajú k znižovaniu emisií CO<sub>2</sub>, zvyšovaniu energetickej efektívnosti, využívaniu obnoviteľných zdrojov energie, ochrane prírodných zdrojov a adaptácii na klimatické zmeny. Finančné inštitúcie preto pri poskytovaní financovania čoraz častejšie vyžadujú preukázanie environmentálnych prínosov prostredníctvom energetických analýz, environmentálnych certifikácií alebo hodnotenia podľa kritérií ESG.

V oblasti stavebníctva sa zelené financovanie využíva najmä pri výstavbe nízkouhlíkových budov, energetických renováciách, implementácii obnoviteľných zdrojov energie, modernizácii technických zariadení budov a projektoch zameraných na adaptáciu na klimatické zmeny. Projekty spĺňajúce požiadavky udržateľnosti často získavajú výhodnejšie podmienky financovania než konvenčné stavebné projekty.

Významným prvkom rozvoja zeleného financovania je Taxonómia Európskej únie, ktorá stanovuje kritériá na identifikáciu environmentálne udržateľných ekonomických činností. V sektore budov sa posudzuje predovšetkým energetická hospodárnosť, úroveň emisií skleníkových plynov, využívanie obnoviteľných zdrojov energie a celková environmentálna výkonnosť stavby. Súlad s taxonómiou môže výrazne zlepšiť prístup projektu k externému financovaniu.

Pre investorov a vlastníkov budov predstavuje zelené financovanie viacero ekonomických výhod, medzi ktoré patria výhodnejšie úrokové sadzby, nižšie náklady na kapitál, lepší prístup k finančným zdrojom, vyššia investičná atraktivita projektu a podpora plnenia ESG cieľov.

#### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Zelené financovanie predstavuje jeden z hlavných nástrojov transformácie stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite. Umožňuje efektívnejšie financovať energeticky efektívne budovy a podporuje implementáciu technológií znižujúcich uhlíkovú stopu. V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) sa stáva významným faktorom ekonomickej realizovateľnosti projektov a zároveň podporuje plnenie klimatických cieľov Európskej únie do roku 2050.

### 8.9.2 Nástroje zeleného financovania

Rozvoj zeleného financovania priniesol vznik viacerých špecializovaných finančných nástrojov určených na podporu environmentálne udržateľných projektov. Tieto nástroje umožňujú investorom, developerom a vlastníkom budov získavať kapitál na realizáciu energeticky efektívnych a nízkouhlíkových riešení za výhodnejších podmienok než pri tradičných formách financovania.

#### **Zelené úvery**

Zelené úvery (Green Loans) predstavujú úverové produkty určené na financovanie projektov s preukázateľným environmentálnym prínosom. Najčastejšie sa využívajú pri výstavbe

nízkouhlíkových budov, energetických renováciách, inštalácii fotovoltických systémov, tepelných čerpadiel a modernizácii technických zariadení budov. Ich hlavnou výhodou sú priaznivejšie úrokové sadzby, výhodnejšie podmienky financovania a možnosť kombinácie s dotačnými programami. Poskytnutie financovania je spravidla podmienené preukázaním energetických alebo environmentálnych prínosov projektu.

### **Zelené hypotéky**

Zelené hypotéky (Green Mortgages) predstavujú špecifický typ hypotekárneho financovania určený na kúpu alebo výstavbu energeticky efektívnych budov, prípadne na realizáciu energetických renovácií existujúcich objektov. Zvýhodnené podmienky financovania vychádzajú z predpokladu nižších prevádzkových nákladov budovy, vyššej hodnoty nehnuteľnosti a nižšieho finančného rizika dlžníka.

### **ESG fondy**

ESG fondy predstavujú investičné fondy, ktoré pri výbere projektov zohľadňujú environmentálne, sociálne a riadiace kritériá. V oblasti stavebníctva smerujú investície predovšetkým do udržateľných budov, obnoviteľných zdrojov energie, inteligentnej infraštruktúry a projektov podporujúcich klimatickú neutralitu. Ich význam rastie v dôsledku rastúceho záujmu investorov o zodpovedné investovanie a udržateľný rozvoj.

### **Zelené dlhopisy**

Zelené dlhopisy (Green Bonds) predstavujú dlhové cenné papiere emitované s cieľom financovať environmentálne udržateľné projekty. Získané finančné prostriedky sa využívajú predovšetkým na výstavbu nízkouhlíkových budov, zvyšovanie energetickej efektívnosti, rozvoj obnoviteľných zdrojov energie, klimatickú adaptáciu a udržateľnú infraštruktúru. Významnou výhodou zelených dlhopisov je prístup k širokému okruhu investorov, transparentnosť využitia finančných prostriedkov a posilnenie ESG profilu emitenta. Trh zelených dlhopisov patrí v súčasnosti medzi najrýchlejšie rastúce segmenty udržateľného financovania.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Zelené úvery, zelené hypotéky, ESG fondy a zelené dlhopisy vytvárajú komplexný finančný rámec podporujúci rozvoj nízkouhlíkoveho stavebníctva. Umožňujú znižovať náklady na financovanie, zvyšujú dostupnosť kapitálu a podporujú realizáciu projektov, ktoré by pri tradičných formách financovania nemuseli byť ekonomicky realizovateľné. V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) sa tieto finančné nástroje stávajú významným predpokladom ekonomickej realizovateľnosti projektov a významne prispievajú k transformácii stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite.

## **8.10 Green Bonds**

Green Bonds (zelené dlhopisy) predstavujú špecifický druh dlhových cenných papierov určených na financovanie projektov s preukázateľným pozitívnym environmentálnym dopadom. Emitent prostredníctvom emisie dlhopisov získava finančné prostriedky od investorov a zaväzuje sa použiť ich výlučne na financovanie projektov podporujúcich udržateľný rozvoj, znižovanie emisií skleníkových plynov, zvyšovanie energetickej efektívnosti a ochranu životného prostredia. Prvé zelené dlhopisy emitovala v roku 2007 Európska investičná banka (European Investment Bank – EIB). Odvtedy sa stali jedným z najvýznamnejších nástrojov udržateľného financovania, ktorý využívajú vlády, samosprávy, finančné inštitúcie aj súkromné spoločnosti na financovanie environmentálne orientovaných investícií. Významná časť finančných prostriedkov získaných prostredníctvom zelených dlhopisov smeruje do projektov obnoviteľných zdrojov energie, medzi ktoré patria fotovoltické elektrárne, veterné parky, geotermálne systémy, vodné elektrárne a systémy akumulácie energie. Tieto investície podporujú transformáciu energetiky smerom k nízkouhlíkovým

zdrojom a prispievajú k znižovaniu závislosti od fosílnych palív. Dôležitou oblasťou využitia Green Bonds sú aj projekty zamerané na zvyšovanie energetickej efektívnosti. Ide najmä o energetické renovácie budov, modernizáciu technických zariadení, inteligentné systémy riadenia budov, systémy riadeného vetrania s rekuperáciou tepla a modernizáciu osvetlenia. Tieto opatrenia významne znižujú spotrebu energie aj prevádzkové emisie skleníkových plynov. Významné uplatnenie nachádzajú zelené dlhopisy aj vo financovaní nízkouhlíkových budov. Finančné prostriedky sa využívajú predovšetkým na výstavbu budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB), ako aj objektov certifikovaných podľa systémov LEED, BREEAM alebo DGNB. Takéto projekty významne prispievajú k dekarbonizácii stavebného sektora a zvyšovaniu energetickej efektívnosti budov.

Väčšina emisií Green Bonds sa realizuje v súlade s medzinárodnými Green Bond Principles (GBP) vydávanými organizáciou International Capital Market Association (ICMA). Tieto princípy definujú požiadavky na využitie získaných finančných prostriedkov, výber financovaných projektov, správu kapitálu a transparentný reporting environmentálnych prínosov. Dodržiavanie týchto pravidiel zvyšuje dôveryhodnosť emisií a posilňuje ochranu investorov. Green Bonds prinášajú výhody emitentom aj investorom. Emitenti získavajú prístup k širšiemu okruhu investorov, podporujú svoju ESG stratégiu, posilňujú reputáciu organizácie a získavajú kapitál na realizáciu klimatických projektov. Investori zároveň získavajú možnosť podporovať udržateľné investície, diverzifikovať svoje portfólio a podieľať sa na financovaní transformácie smerom ku klimaticky neutrálnej ekonomike.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Green Bonds predstavujú významný nástroj financovania transformácie stavebného sektora smerom k nízkouhlíkovej ekonomike. Umožňujú získavať kapitál na výstavbu energeticky efektívnych budov, implementáciu obnoviteľných zdrojov energie a realizáciu projektov podporujúcich klimatickú neutralitu. V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovách s nulovými emisiami (ZEB) sa stávajú jedným z hlavných zdrojov financovania udržateľného stavebníctva.

## **8.12.2 Výhody Green Bonds**

Zelené dlhopisy sa v posledných rokoch zaradili medzi najvýznamnejšie nástroje financovania udržateľných investícií. Ich rastúca popularita súvisí s rastúcim záujmom investorov o environmentálne zodpovedné projekty, rozvojom princípov ESG a implementáciou klimatických cieľov Európskej únie a Parížskej dohody.

Jednou z najvýznamnejších výhod Green Bonds je možnosť získania kapitálu za priaznivejších finančných podmienok. Vysoký dopyt po udržateľných investíciách, rastúci počet ESG investorov a podpora zeleného financovania zo strany finančných inštitúcií umožňujú emitentom dosahovať nižšie úrokové sadzby a výhodnejšie podmienky financovania. Tento jav sa v odbornej literatúre označuje ako greenium, teda cenová prémia spojená so zeleným financovaním. Ďalšou významnou výhodou je rastúci záujem investorov. Green Bonds priťahujú predovšetkým ESG fondy, penzijné fondy, poisťovne, investičné spoločnosti a ďalších inštitucionálnych investorov, ktorí pri svojich investičných rozhodnutiach zohľadňujú environmentálne kritériá. Vyšší záujem investorov zlepšuje likviditu emisií, rozširuje investorskú základňu a zvyšuje stabilitu financovania projektov. Významným prínosom je aj pozitívny vplyv na ESG profil emitenta. Emisia zelených dlhopisov preukazuje záväzok organizácie podporovať dekarbonizáciu, energetickú efektívnosť a klimatickú neutralitu. Transparentné financovanie environmentálnych projektov posilňuje reputáciu organizácie, zlepšuje jej postavenie voči investorom a zvyšuje konkurencieschopnosť na trhu. V sektore stavebníctva sa Green Bonds využívajú najmä na financovanie energeticky efektívnych budov, projektov nZEB, budov s nulovými emisiami (ZEB), obnoviteľných zdrojov energie a inteligentných energetických systémov. Ich význam bude v nasledujúcich rokoch pravdepodobne ďalej narastať v súvislosti s rastúcim významom udržateľného financovania a klimatickej politiky Európskej únie.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Green Bonds predstavujú jeden z najvýznamnejších finančných nástrojov podporujúcich rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva. Výhodnejšie podmienky financovania, rastúci záujem investorov a pozitívny vplyv na ESG hodnotenie zvyšujú ekonomickú realizovateľnosť udržateľných stavebných projektov. V spojení s princípmi Life Cycle Costing (LCC), Life Cycle Assessment (LCA) a požiadavkami taxonómie Európskej únie vytvárajú významný predpoklad úspešnej transformácie stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite.

## **8.11 ESG investície**

ESG investície (Environmental, Social and Governance) predstavujú investičný prístup, pri ktorom sa popri tradičných finančných ukazovateľoch hodnotia aj environmentálne, sociálne a riadiace aspekty projektu alebo organizácie. V posledných rokoch sa ESG stalo jedným z rozhodujúcich faktorov ovplyvňujúcich rozhodovanie investorov, finančných inštitúcií a developerských spoločností.

Rastúci dôraz na klimatickú neutralitu, udržateľný rozvoj a environmentálnu zodpovednosť spôsobuje, že budovy s nízkou uhlíkovou stopou a vysokou energetickou efektívnosťou získavajú významnú konkurenčnú výhodu. Investori pri hodnotení nehnuteľností čoraz viac zohľadňujú environmentálne parametre budov, ich energetickú hospodárnosť a schopnosť spĺňať budúce legislatívne požiadavky.

Jedným z najvýznamnejších environmentálnych kritérií ESG je uhlíková stopa budovy počas celého jej životného cyklu. Hodnotí sa najmä množstvo prevádzkových emisií CO<sub>2</sub>, úroveň zabudovaného uhlíka použitých stavebných materiálov, podiel obnoviteľných zdrojov energie a stratégia dekarbonizácie vlastníka alebo správcu budovy. Objekty s nízkou uhlíkovou stopou sú vnímané ako perspektívnejšie investície s nižším regulačným rizikom a vyššou dlhodobou hodnotou.

Dôležitým ukazovateľom ESG výkonnosti je aj energetická efektívnosť budovy. Investori posudzujú predovšetkým spotrebu energie, energetickú hospodárnosť, podiel obnoviteľných zdrojov energie a schopnosť budovy plniť klimatické ciele. Energeticky efektívne budovy prinášajú nižšie prevádzkové náklady, vyššiu mieru obsadenosti, vyššiu trhovú hodnotu a nižšie prevádzkové riziká. Práve z tohto dôvodu sa budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovy s nulovými emisiami (ZEB) stávajú čoraz atraktívnejším segmentom trhu nehnuteľností.

Významným aspektom ESG hodnotenia je aj environmentálna transparentnosť. Moderní investori vyžadujú spoľahlivé údaje o environmentálnej výkonnosti budovy, ktoré sú získavané prostredníctvom ESG reportingu, environmentálnych produktových deklarácií (EPD), metodiky Life Cycle Assessment (LCA), uhlíkových auditov alebo energetických certifikátov. Transparentnosť environmentálnych údajov umožňuje presnejšie hodnotenie investičných rizík a dlhodobej udržateľnosti projektu.

Rastúci význam ESG mení aj spôsob oceňovania nehnuteľností. Budovy s vysokou ESG výkonnosťou spravidla dosahujú vyššiu trhovú hodnotu, vyššie nájomné, vyššiu mieru obsadenosti a lepší prístup k financovaniu. Naopak objekty s nízkou energetickou efektívnosťou môžu v budúcnosti čeliť poklesu trhovej hodnoty, vyšším nákladom na modernizáciu alebo obmedzenému prístupu ku kapitálu.

Význam ESG investícií podporuje aj legislatíva Európskej únie, predovšetkým Taxonómia EÚ, Sustainable Finance Disclosure Regulation (SFDR) a Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD). Tieto iniciatívy zvyšujú tlak na investorov a vlastníkov budov, aby pri investičných rozhodnutiach zohľadňovali environmentálne aspekty a prispievali k dosahovaniu klimatickej neutrality do roku 2050.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Nízka uhlíková stopa, vysoká energetická efektívnosť a transparentné environmentálne údaje sa stávajú základnými požiadavkami moderného investičného trhu. ESG kritériá významne

ovplyvňujú dostupnosť financovania, trhovú hodnotu aj konkurencieschopnosť budov. Vysoká ESG výkonnosť preto predstavuje nielen environmentálnu, ale aj významnú ekonomickú výhodu nízkouhlíkových budov a vytvára predpoklady pre ich dlhodobú udržateľnosť.

### **8.13.2 Vplyv na budovy**

Význam ESG kritérií v sektore nehnuteľností v posledných rokoch výrazne vzrástol. Environmentálne, sociálne a riadiace aspekty sa stávajú neoddeliteľnou súčasťou hodnotenia investičných projektov a významne ovplyvňujú dostupnosť financovania, hodnotu nehnuteľností aj investičné riziko. Budovy s vysokým ESG skóre sú vnímané ako dlhodobo udržateľnejšie a odolnejšie voči budúcim regulačným, ekonomickým a environmentálnym zmenám, čo zvyšuje ich atraktivitu pre investorov aj finančné inštitúcie.

Jedným z hlavných ekonomických prínosov vysokého ESG hodnotenia je výhodnejší prístup k financovaniu. Finančné inštitúcie pri poskytovaní úverov čoraz častejšie zohľadňujú energetickú hospodárnosť budovy, uhlíkovú stopu a kvalitu ESG reportingu. Budovy s priaznivými environmentálnymi parametrami môžu získať nižšie úrokové sadzby, jednoduchší prístup k zeleným úverom, výhodnejšie podmienky refinancovania alebo financovanie prostredníctvom zelených dlhopisov. Tento trend je podporovaný rozvojom udržateľného financovania aj implementáciou Taxonómie Európskej únie.

Budovy s vysokým ESG skóre sú zároveň považované za menej rizikové investície. Nižšia spotreba energie, menšia citlivosť na rast cien energií, vyššia pripravenosť na budúce legislatívne požiadavky a lepšia adaptácia na klimatické zmeny znižujú prevádzkové aj investičné riziká. Takéto objekty dosahujú spravidla stabilnejšie príjmy z prenájmu a nižšie riziko poklesu trhovej hodnoty.

Vysoké ESG hodnotenie sa pozitívne premieta aj do trhovej hodnoty nehnuteľnosti. Investori a nájomcovia čoraz viac uprednostňujú budovy, ktoré ponúkajú nižšie prevádzkové náklady, kvalitnejšie vnútorné prostredie, vyšší komfort používateľov a lepšie environmentálne parametre. Výsledkom býva vyššia obsadenosť budovy, vyššie nájomné a vyššia predajná cena nehnuteľnosti.

Rastúce požiadavky na dekarbonizáciu stavebného sektora zároveň zvyšujú význam ESG hodnotenia z pohľadu budúcej legislatívy. Budovy s nízkym ESG skóre môžu čeliť vyšším nákladom na modernizáciu, obmedzenému prístupu k financovaniu, nižšej konkurencieschopnosti a postupnému poklesu trhovej hodnoty. Naopak objekty s vysokou ESG výkonnosťou sú lepšie pripravené na budúce regulačné požiadavky a predstavujú stabilnejšie dlhodobé investície.

#### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Nízkouhlíkové budovy prirodzene dosahujú priaznivejšie výsledky v oblasti ESG hodnotenia vďaka nižšej uhlíkovej stope, vysokej energetickej efektívnosti a využívaniu obnoviteľných zdrojov energie. Výhodnejšie financovanie, nižšie investičné riziko a vyššia trhovacia hodnota predstavujú významné ekonomické prínosy, ktoré dopĺňajú úspory prevádzkových nákladov. ESG sa tak stáva nielen nástrojom hodnotenia udržateľnosti, ale aj významným faktorom ekonomickej konkurencieschopnosti moderných budov.

### **8.12 Dotácie a podporné programy**

Verejné dotačné programy predstavujú významný nástroj podpory rozvoja nízkouhlíkových budov, energetických renovácií a implementácie technológií využívajúcich obnoviteľné zdroje energie. Ich hlavným cieľom je znižovať počiatočné investičné náklady, skracovať dobu návratnosti investícií a podporovať plnenie národných aj európskych klimatických a energetických cieľov.

Na Slovensku patria medzi najvýznamnejšie podporné mechanizmy program Zelená domácnostiam, program Obnov dom a opatrenia financované z Plánu obnovy a odolnosti Slovenskej republiky. Spoločným cieľom týchto schém je urýchliť transformáciu stavebného



sektora smerom k energetickej efektívnosti, dekarbonizácii a využívaniu obnoviteľných zdrojov energie.

### **Program Zelená domácnostiam**

Program Zelená domácnostiam patrí medzi najvýznamnejšie národné schémy podpory využívania obnoviteľných zdrojov energie v domácnostiach. Je financovaný z verejných zdrojov a administruje ho Slovenská inovačná a energetická agentúra (SIEA).

Program poskytuje finančné príspevky predovšetkým na inštaláciu fotovoltických systémov a tepelných čerpadel. Cieľom podpory je znižovanie spotreby elektrickej energie z distribučnej siete, zvyšovanie energetickej sebestačnosti domácností, podpora využívania obnoviteľných zdrojov energie a redukcia emisií skleníkových plynov. Poskytnutá dotácia zároveň významne znižuje počiatočné investičné náklady a skracuje dobu návratnosti investície.

Pri tepelných čerpadlách sa podpora vzťahuje predovšetkým na systémy vzduch – voda, zem – voda a voda – voda, ktoré patria medzi najefektívnejšie technológie vykurovania nízkouhlíkových budov. Ich využívanie prispieva k znižovaniu spotreby fosílnych palív, zvyšovaniu energetickej efektívnosti budov a dekarbonizácii sektora vykurovania.

### **Program Obnov dom**

Program Obnov dom predstavuje národnú schému podpory energetickej obnovy existujúcich rodinných domov. Jeho hlavným cieľom je znižovanie energetickej náročnosti budov, spotreby energie a prevádzkových emisií skleníkových plynov prostredníctvom komplexných energetických renovácií.

Podpora je určená najmä na zateplenie obvodového plášťa a strešných konštrukcií, výmenu okien a dverí, modernizáciu vykurovacích systémov, inštaláciu tepelných čerpadel, fotovoltických systémov, systémov riadeného vetrania s rekuperáciou tepla a ďalších obnoviteľných zdrojov energie. Podmienkou získania podpory je spravidla dosiahnutie požadovanej úrovne energetických úspor po realizácii obnovy.

Program významne znižuje investičné náklady vlastníkov rodinných domov, skracuje dobu návratnosti energetických renovácií a zvyšuje hodnotu obnovovaných nehnuteľností. Keďže značná časť budov, ktoré budú využívané aj po roku 2050, už dnes existuje, predstavuje energetická obnova existujúceho stavebného fondu jeden z rozhodujúcich nástrojov dekarbonizácie sektora budov.

### **Plán obnovy a odolnosti Slovenskej republiky**

Významným zdrojom financovania nízkouhlíkového stavebníctva je aj Plán obnovy a odolnosti Slovenskej republiky, financovaný z európskeho nástroja NextGenerationEU. V oblasti budov podporuje najmä komplexnú obnovu verejných budov, zvyšovanie energetickej efektívnosti, rozvoj obnoviteľných zdrojov energie, dekarbonizáciu vykurovania a digitalizáciu správy budov.

Investície financované z Plánu obnovy smerujú predovšetkým do znižovania energetickej náročnosti budov, zlepšovania kvality vnútorného prostredia, modernizácie technických zariadení budov a implementácie inteligentných systémov energetického manažmentu. Cieľom je urýchliť transformáciu stavebného sektora smerom ku klimatickej neutralite a zvýšiť odolnosť budov voči dôsledkom klimatických zmien.

**Ekonomický význam dotačných programov**

Verejné podporné programy zohrávajú významnú úlohu pri ekonomickom hodnotení investícií do nízkouhlíkových technológií. Znižujú počiatočné investičné náklady, skracujú dobu návratnosti investície, zvyšujú dostupnosť moderných energetických technológií a znižujú investičné riziko. V mnohých prípadoch práve dotačná podpora rozhoduje o ekonomickej realizovateľnosti projektu.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Program Zelená domácnostiam, program Obnov dom a opatrenia financované z Plánu obnovy a odolnosti SR predstavujú základné nástroje podpory transformácie stavebného sektora na

Slovensku. Prostredníctvom podpory fotovoltaických systémov, tepelných čerpadiel, energetických renovácií a obnoviteľných zdrojov energie významne prispievajú k znižovaniu spotreby energie, redukcii emisií skleníkových plynov a zvyšovaniu energetickej sebestačnosti budov. Tieto programy zároveň podporujú plnenie cieľov klimateckej neutrality Slovenskej republiky a Európskej únie a vytvárajú predpoklady pre širšie uplatňovanie budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

### **8.13 Uhlíková cena**

Uhlíková cena predstavuje ekonomický nástroj klimateckej politiky, ktorého cieľom je premietnuť environmentálne náklady emisií skleníkových plynov do ekonomického rozhodovania. Základným princípom je internalizácia externých nákladov spôsobených emisiami oxidu uhličitého a ďalších skleníkových plynov, pričom subjekty produkujúce emisie nesú finančnú zodpovednosť za ich negatívny vplyv na klímu.

V Európskej únii je hlavným mechanizmom stanovovania uhlíkovej ceny Systém obchodovania s emisnými kvótami Európskej únie (European Union Emissions Trading System – EU ETS). Tento systém funguje na princípe stanovenia maximálneho objemu povolených emisií (cap), pričom podniky musia disponovať dostatočným množstvom emisných povoleniek na pokrytie svojich skutočných emisií. Emisné povolenky možno nakupovať a predávať na trhu, čím vzniká ekonomický stimul na znižovanie emisií. Subjekty, ktoré svoje emisie znížia pod pridelený limit, môžu prebytočné povolenky predat', zatiaľ čo podniky s vyššími emisiami sú nútené dodatočné povolenky nakúpiť.

Postupné sprísňovanie klimateckých cieľov Európskej únie vedie k systematickému znižovaniu množstva dostupných emisných povoleniek, čo sa prejavuje rastom ich trhovej ceny. Vyššie náklady na emisie vytvárajú ekonomickú motiváciu investovať do energetickej efektívnosti, obnoviteľných zdrojov energie a ďalších nízkouhlíkových technológií.

V rámci balíka Fit for 55 Európska únia postupne rozširuje pôsobnosť systému obchodovania s emisiami aj na ďalšie sektory hospodárstva. Osobitný význam má zavedenie systému EU ETS 2, ktorý sa bude vzťahovať na emisie z budov, cestnej dopravy a ďalších sektorov využívajúcich fosílnu palivá. Tento vývoj bude mať priamy vplyv na prevádzkové náklady budov využívajúcich zemný plyn, vykurovacie oleje alebo iné fosílnu palivá.

Rast uhlíkovej ceny bude postupne zvyšovať ekonomické zaťaženie energeticky náročných budov a vytvorí silnejší tlak na realizáciu energetických renovácií, modernizáciu technických zariadení a implementáciu obnoviteľných zdrojov energie. Naopak budovy využívajúce tepelné čerpadlá, fotovoltaické systémy alebo ďalšie nízkouhlíkové technológie budú voči rastu cien emisií podstatne menej citlivé.

Zvyšovanie ceny emisií má významné ekonomické dôsledky aj pre trh nehnuteľností. Budovy s vysokou energetickou náročnosťou môžu byť v budúcnosti vystavené vyšším prevádzkovým nákladom, potrebe dodatočných investícií do modernizácie a postupnému poklesu trhovej hodnoty. Naopak energeticky efektívne budovy dosahujú nižšie prevádzkové náklady, vyššiu investičnú atraktivitu, lepšie ESG hodnotenie a vyššiu trhovú hodnotu. Tento jav je v odbornej literatúre označovaný pojmami green premium, predstavujúci cenovú prémiiu environmentálne kvalitných budov, a brown discount, označujúci pokles hodnoty energeticky neefektívnych nehnuteľností.

#### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Postupný rast uhlíkovej ceny predstavuje jeden z rozhodujúcich ekonomických stimulov podporujúcich transformáciu stavebného sektora smerom ku klimateckej neutralite. Vyššie náklady spojené s využívaním fosílnych palív budú zvyšovať ekonomickú atraktivitu investícií do energetickej efektívnosti, obnoviteľných zdrojov energie a dekarbonizácie budov. Budovy s vysokou energetickou hospodárnosťou a nízkou uhlíkovou stopou tak budú z dlhodobého hľadiska dosahovať nielen nižšie prevádzkové náklady, ale aj vyššiu investičnú hodnotu a lepšiu konkurencieschopnosť na trhu nehnuteľností. Z tohto dôvodu sa uhlíková cena stáva

významným ekonomickým nástrojom podporujúcim rozvoj budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

### 8.13.1 Dopad uhlíkovej ceny na sektor budov

Postupné zvyšovanie uhlíkovej ceny a rozširovanie systému obchodovania s emisnými povolenkami EU ETS bude mať významný ekonomický vplyv na sektor budov. Najvýraznejšie dôsledky sa prejavujú pri objektoch, ktoré sú vo veľkej miere závislé od fosílnych palív na vykurovanie, prípravu teplej vody alebo prevádzku technických zariadení. V dôsledku sprísňovania klimateckej politiky Európskej únie sa budú ekonomické rozdiely medzi nízkouhlíkovými a konvenčnými budovami postupne zväčšovať, pričom energeticky neefektívne budovy budú čeliť rastúcim prevádzkovým nákladom a vyšším požiadavkám na modernizáciu.

Jedným z najvýznamnejších dôsledkov rastúcej uhlíkovej ceny bude postupné zvyšovanie prevádzkových nákladov budov využívajúcich zemný plyn, uhlie, vykurovacie oleje alebo iné fosílné palivá. Vyššie ceny emisných povoleniek sa premietnu do cien energií, nákladov na vykurovanie, prípravu teplej vody a celkových prevádzkových výdavkov budov. Najvýraznejší dopad možno očakávať pri energeticky náročných objektoch s vysokou spotrebou energie a nízkou úrovňou energetickej hospodárnosti. Naopak budovy využívajúce tepelné čerpadlá, fotovoltické systémy, obnoviteľné zdroje energie alebo inteligentné systémy energetického manažmentu budú voči rastu uhlíkovej ceny podstatne odolnejšie.

Rastúce environmentálne požiadavky zároveň zvyšujú investičné riziko budov s vysokou uhlíkovou stopou. Vlastníci takýchto objektov budú v budúcnosti častejšie čeliť potrebe rozsiahlych energetických renovácií, vyšším nákladom na financovanie, obmedzenému prístupu k zelenému kapitálu a postupnému znižovaniu konkurencieschopnosti svojich nehnuteľností. Environmentálna výkonnosť budov sa preto stáva významným kritériom investičného rozhodovania finančných inštitúcií aj súkromných investorov.

V odbornej literatúre sa v tejto súvislosti používa pojem stranded assets, ktorým sa označujú aktíva, ktorých ekonomická hodnota môže byť významne znížená v dôsledku technologických, klimateckých alebo regulačných zmien. V sektore budov ide najmä o objekty s vysokou spotrebou energie, vysokými emisiami CO<sub>2</sub>, nedostatočnou energetickou hospodárnosťou alebo obmedzenou schopnosťou spĺňať budúce legislatívne požiadavky. Takéto budovy môžu v budúcnosti zaznamenať pokles trhovej hodnoty, zhoršenie podmienok financovania a nižší záujem zo strany investorov aj nájomcov.

Rast uhlíkovej ceny zároveň vytvára silný ekonomický stimul na realizáciu energetických renovácií, implementáciu obnoviteľných zdrojov energie, znižovanie uhlíkovej stopy budov a zavádzanie princípov Environmental, Social and Governance (ESG) do správy nehnuteľností. Investície do energetickej efektívnosti sa tak stávajú nielen prostriedkom znižovania prevádzkových nákladov, ale aj nástrojom minimalizácie budúcich ekonomických rizík vyplývajúcich z klimateckej politiky.

**Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Postupné zvyšovanie uhlíkovej ceny bude predstavovať jeden z rozhodujúcich ekonomických faktorov ovplyvňujúcich budúci rozvoj stavebného sektora. Budovy závislé od fosílnych palív budú postupne strácať svoju ekonomickú konkurencieschopnosť v dôsledku rastúcich prevádzkových nákladov a vyšších investičných rizík. Naopak nízkouhlíkové budovy budú profitovať z nižšej spotreby energie, vyššej odolnosti voči rastu cien energií, lepšieho ESG hodnotenia a vyššej trhovej hodnoty. Uhlíková cena sa tak stáva významným ekonomickým mechanizmom podporujúcim transformáciu stavebného sektora smerom k budovám s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budovám s nulovými emisiami (ZEB) a klimatecky neutrálnemu stavebníctvu.

## 8.14 Ekonomické bariéry

Napriek rastúcemu významu nízkouhlíkových budov a ich preukázaným environmentálnym aj ekonomickým prínosom existuje viacero faktorov, ktoré spomaľujú ich širšie uplatňovanie v stavebnej praxi. Tieto faktory predstavujú ekonomické bariéry ovplyvňujúce rozhodovanie investorov, developerov, vlastníkov budov aj finančných inštitúcií. Vo väčšine prípadov súvisia s vyššími počiatočnými investičnými nákladmi, obmedzenou dostupnosťou kapitálu, neistotou ekonomickej návratnosti alebo nedostatočnými odbornými skúsenosťami pri navrhovaní a realizácii energeticky efektívnych budov. Najčastejšie uvádzanou bariérou zostávajú vyššie počiatočné investičné náklady (CAPEX) v porovnaní s konvenčnými stavebnými riešeniami. Zvýšené náklady sú spojené predovšetkým s kvalitnejšou tepelnou ochranou obálky budovy, využívaním tepelných čerpadiel, fotovoltických systémov, systémov riadeného vetrania s rekuperáciou tepla a inteligentných systémov riadenia budov. Hoci tieto technológie počas prevádzky prinášajú významné energetické úspory, vyššia vstupná investícia môže odrádzať investorov orientovaných na krátkodobú ekonomickú návratnosť. Významným obmedzením zostáva aj nedostatočná dostupnosť finančných zdrojov. Mnohé domácnosti, podniky aj verejné inštitúcie nedisponujú dostatočným vlastným kapitálom na realizáciu energeticky efektívnych opatrení, pričom prístup k úverovým zdrojom môže byť limitovaný alebo ekonomicky nevýhodný. Situáciu často komplikuje aj neistota pri získavaní dotačných prostriedkov alebo časová náročnosť administrácie podporných programov. Tieto faktory sa prejavujú najmä pri komplexných energetických renováciách existujúcich budov.

Dalšou významnou bariérou je neistota ekonomickej návratnosti investícií. Investori často vnímajú energetické projekty ako rizikové vzhľadom na budúci vývoj cien energií, legislatívne zmeny, technologický pokrok alebo životnosť jednotlivých technických zariadení. Napriek tomu, že ekonomické analýzy založené na metodikách Life Cycle Costing (LCC), Net Present Value (NPV) alebo Return on Investment (ROI) vo väčšine prípadov potvrdzujú dlhodobú ekonomickú výhodosť nízkouhlíkových riešení, neistota budúcich podmienok môže spomaľovať investičné rozhodovanie. Významným faktorom zostáva aj nedostatok kvalifikovaných odborníkov. Navrhovanie nízkouhlíkových budov si vyžaduje interdisciplinárne znalosti z oblasti energetickej hospodárnosti budov, obnoviteľných zdrojov energie, metodiky Life Cycle Assessment (LCA), informačného modelovania budov (BIM) či inteligentných systémov riadenia. Nedostatočné odborné kapacity môžu viesť k nevhodnému návrhu technických riešení, vyšším realizačným nákladom alebo nižšej energetickej efektívnosti budovy, čo následne znižuje dôveru investorov v moderné nízkouhlíkové technológie. Určitú prekážku predstavuje aj konzervatívny prístup časti investorov, ktorí uprednostňujú tradičné stavebné riešenia pred inovatívnymi technológiami. Takéto rozhodovanie býva motivované snahou minimalizovať počiatočné investície, obavami z technologických rizík alebo nedostatkom skúseností s realizáciou nízkouhlíkových projektov. Krátkodobé ekonomické uvažovanie tak často prevláda nad hodnotením celkových nákladov počas životného cyklu budovy. Odstraňovanie uvedených bariér je podporované rozvojom dotačných schém, zeleného financovania, ESG investícií, zvýhodnených úverových produktov, environmentálnych certifikácií a systematického vzdelávania odborníkov. Tieto nástroje postupne znižujú investičné riziko, zlepšujú dostupnosť kapitálu a podporujú širšie uplatňovanie nízkouhlíkových technológií v stavebnej praxi.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Ekonomické bariéry predstavujú jednu z hlavných prekážok rozvoja nízkouhlíkového stavebníctva. Ich postupné odstraňovanie prostredníctvom finančných stimulov, technologického pokroku, rozvoja odborných kapacít a rastúcej informovanosti investorov je nevyhnutným predpokladom úspešnej transformácie stavebného sektora. S rastúcimi cenami energií, rozvojom zeleného financovania a sprísňovaním environmentálnej legislatívy sa ekonomická atraktivita nízkouhlíkových budov postupne zvyšuje, čo vytvára priaznivé podmienky pre ich širšie uplatnenie v budúcnosti.

## 8.15 Ekonomické prínosy

Nízkouhlíkové budovy prinášajú široké spektrum ekonomických prínosov, ktoré presahujú rámec samotných úspor energie. Ich pozitívne efekty sa prejavujú počas celého životného cyklu budovy a ovplyvňujú vlastníkov, investorov, nájomcov aj spoločnosť ako celok. Z ekonomického hľadiska možno tieto prínosy rozdeliť na priame a nepriame efekty.

Priame ekonomické prínosy sa prejavujú bezprostredne vo finančných výsledkoch vlastníka alebo používateľa budovy. Najvýznamnejším z nich je znižovanie prevádzkových nákladov prostredníctvom nižšej spotreby energie. Vysoká kvalita tepelnej ochrany obálky budovy, využívanie systémov riadeného vetrania s rekuperáciou tepla, tepelných čerpadiel, fotovoltických systémov a inteligentného energetického manažmentu umožňujú výrazne znižovať náklady na vykurovanie, chladenie, prípravu teplej vody aj spotrebu elektrickej energie. Tieto úspory sa kumulujú počas celej životnosti budovy a významne zlepšujú jej ekonomickú efektívnosť. Energeticky efektívne budovy zároveň dosahujú vyššiu trhovú hodnotu než porovnateľné konvenčné objekty. Dôvodom sú nižšie prevádzkové náklady, vyššia atraktivita pre nájomcov, lepšie ESG hodnotenie, vyššia energetická hospodárnosť a nižšie riziko budúcich investícií do modernizácie. Budovy certifikované podľa systémov LEED, BREEAM alebo DGNB často dosahujú vyššie predajné ceny aj vyššie nájomné.

Okrem priamych finančných efektov prinášajú nízkouhlíkové budovy aj významné nepriame ekonomické prínosy. Kvalitné vnútorné prostredie s dostatočným denným osvetlením, stabilnou tepelnou pohodou, kvalitným vzduchom a nízkou hlučnosťou pozitívne ovplyvňuje produktivitu práce, koncentráciu aj spokojnosť používateľov. V administratívnych budovách môže ekonomický prínos zvýšenej produktivity zamestnancov prevýšiť samotné úspory energií. Pozitívny vplyv sa prejavuje aj v oblasti zdravia používateľov. Lepšia kvalita vnútorného prostredia prispieva k znižovaniu chorobnosti, nižšej absencii zamestnancov, vyššiemu komfortu bývania a celkovému zlepšeniu kvality života. Tieto efekty prinášajú významné ekonomické prínosy nielen jednotlivcom, ale aj zamestnávateľom a verejnému sektoru. Významným spoločenským prínosom je aj znižovanie emisií skleníkových plynov. Nižšia uhlíková stopa budov prispieva k zmierňovaniu klimatických zmien, obmedzovaniu environmentálnych škôd a plneniu klimatických cieľov Európskej únie. V podmienkach postupného rastu uhlíkovej ceny bude ekonomický význam znižovania emisií naďalej narastať.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Komplexné ekonomické prínosy potvrdzujú, že nízkouhlíkové budovy predstavujú nielen environmentálne zodpovedné, ale aj ekonomicky výhodné riešenie. Kombinácia nižších prevádzkových nákladov, vyššej hodnoty nehnuteľnosti, lepšieho zdravia používateľov, vyššej produktivity práce a nižších emisií vytvára silný argument pre investície do energeticky efektívnych budov. S rastúcimi cenami energií, sprísňujúcou sa klimatickou legislatívou a rastúcim významom ESG kritérií bude ekonomická atraktivita nízkouhlíkových budov v nasledujúcich rokoch naďalej rásť, čím sa stanú jedným z rozhodujúcich smerov rozvoja moderného stavebníctva.

## 8.16 Scenáre vývoja do roku 2050

Ekonomické prostredie stavebného sektora bude v nasledujúcich desaťročiach výrazne ovplyvňované klimatickou politikou, transformáciou energetiky a rastúcimi požiadavkami na environmentálnu udržateľnosť budov. Európska únia si stanovila cieľ dosiahnuť klimatickú neutralitu do roku 2050, čo bude mať zásadný vplyv na spôsob navrhovania, výstavby, financovania aj prevádzky budov (Obrázok 39). Očakáva sa, že ekonomické výhody nízkouhlíkových budov budú postupne narastať, zatiaľ čo prevádzka energeticky neefektívnych objektov bude čoraz nákladnejšia. Budovy budú musieť spĺňať prísnejšie požiadavky na energetickú hospodárnosť, uhlíkovú stopu, využívanie obnoviteľných zdrojov energie a klimatickú odolnosť. Medzi hlavné faktory, ktoré budú formovať ekonomiku

stavebného sektora do roku 2050, patrí rast cien energií, zvyšovanie uhlíkovej ceny, sprísňovanie legislatívnych požiadaviek a rast trhovej hodnoty nízkouhlíkových budov.

## Rast cien energií

Dlhodobé prognózy predpokladajú pokračujúci rast cien energií v dôsledku rastúceho dopytu po elektrickej energii, transformácie energetického sektora, rozsiahlych investícií do obnoviteľných zdrojov energie, geopolitických faktorov a nákladov spojených s dekarbonizáciou hospodárstva. Tento vývoj bude zvyšovať ekonomický význam energetickej efektívnosti, lokálnej výroby energie z obnoviteľných zdrojov a energetickej sebestačnosti budov. Nízkoenergetické a nízkouhlíkové budovy budú voči rastu cien energií podstatne odolnejšie než objekty závislé od fosílnych palív.

## Rast uhlíkovej ceny

Postupné sprísňovanie klimateckej politiky Európskej únie a rozširovanie systému obchodovania s emisnými povolenkami (EU ETS) povedie k ďalšiemu rastu nákladov spojených s využívaním fosílnych palív. Očakáva sa zvyšovanie cien emisných povoleniek, rast uhlíkových poplatkov a zvyšovanie nákladov na vykurovanie budov využívajúcich zemný plyn alebo iné fosílné palivá. Tento trend bude vytvárať silnejší ekonomický stimul na implementáciu tepelných čerpadiel, fotovoltických systémov, batériových úložísk a inteligentných systémov energetického manažmentu.



Obrázok 39 Scenáre vývoja do roku 2050

## Sprísňovanie legislatívnych požiadaviek

Významným faktorom bude aj ďalšie sprísňovanie legislatívy v oblasti energetickej hospodárnosti budov. V nadväznosti na revíziu smernice Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) možno očakávať postupné rozšírenie požiadaviek na budovy s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB), povinné hodnotenie uhlíkovej stopy počas životného cyklu budov prostredníctvom metodiky Life Cycle Assessment (LCA), širšie uplatňovanie princípov Environmental, Social and Governance (ESG) a sprísňovanie

energetických štandardov novostavieb aj existujúcich budov. Budovy, ktoré nebudú spĺňať nové požiadavky, môžu čeliť rastúcim prevádzkovým nákladom, potrebe rozsiahlych energetických renovácií a postupnému poklesu trhovej hodnoty.

### **Rast hodnoty nízkouhlíkových budov**

Rastúci dôraz investorov, finančných inštitúcií a nájomcov na environmentálnu výkonnosť budov bude zároveň podporovať rast trhovej hodnoty nízkouhlíkových nehnuteľností. Predpokladá sa, že budovy s vysokou energetickou efektívnosťou, nízkou uhlíkovou stopou a kvalitným ESG profilom budú dosahovať vyššie nájomné, vyššiu mieru obsadenosti, výhodnejší prístup k financovaniu a nižšie investičné riziko. Tieto faktory prispievajú k ďalšiemu zvyšovaniu ich konkurencieschopnosti na trhu nehnuteľností.

### **Transformácia stavebného sektora**

Do roku 2050 možno očakávať zásadnú transformáciu stavebného sektora smerom ku klimaticky neutrálnym budovám, princípom obehového hospodárstva, digitálnemu projektovaniu založenému na informačnom modelovaní budov (Building Information Modeling – BIM) a inteligentným systémom energetického manažmentu. Významnú úlohu budú zohrávať obnoviteľné zdroje energie, digitalizácia prevádzky budov a využívanie moderných technológií umožňujúcich minimalizovať spotrebu energie aj prevádzkové emisie skleníkových plynov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Predpokladaný rast cien energií, uhlíkovej ceny a legislatívnych požiadaviek bude postupne zvyšovať ekonomické výhody nízkouhlíkových budov. Investície do energetickej efektívnosti, obnoviteľných zdrojov energie, inteligentných systémov riadenia a udržateľných stavebných riešení budú predstavovať nielen environmentálne zodpovedné, ale aj ekonomicky najvýhodnejšie riešenie. Možno preto predpokladať, že do roku 2050 sa budovy s nízkou uhlíkovou stopou stanú dominantným segmentom trhu nehnuteľností a budú predstavovať štandard moderného klimaticky neutrálneho stavebníctva.

## **8.17 Odporúčania pre investorov**

Rozhodovanie o investíciách do nízkouhlíkových budov by malo vychádzať z komplexného hodnotenia ekonomických, environmentálnych a strategických aspektov projektu. Rast cien energií, sprísňovanie klimatickej legislatívy, rozvoj zeleného financovania a rastúci význam kritérií Environmental, Social and Governance (ESG) postupne menia podmienky na trhu nehnuteľností a zvyšujú význam udržateľných investícií. Z dlhodobého hľadiska sa preto investičné rozhodovanie nemôže opierať iba o výšku počiatočných investičných nákladov, ale musí zohľadňovať celý životný cyklus budovy.

### **Hodnotenie životného cyklu budovy**

Pri ekonomickom hodnotení investícií sa odporúča využívať metodiku Life Cycle Costing (LCC), ktorá umožňuje analyzovať všetky náklady vznikajúce počas životného cyklu budovy. Okrem počiatočných investičných nákladov zahŕňa aj prevádzkové náklady, výdavky na údržbu, obnovu technických zariadení a náklady spojené s ukončením životnosti objektu. Takýto prístup poskytuje objektívnejší obraz o ekonomickej efektívnosti projektu a umožňuje porovnávať alternatívne návrhové riešenia na základe ich dlhodobých ekonomických prínosov.

### **Posudzovanie investičných nákladov**

Vyššie počiatočné investičné náklady nízkouhlíkových budov nemožno hodnotiť izolovane. Investície do kvalitnej tepelnej ochrany, obnoviteľných zdrojov energie, tepelných čerpadiel, systémov riadeného vetrania s rekuperáciou tepla alebo inteligentných technológií sú počas prevádzky kompenzované nižšími nákladmi na energiu, vyššou energetickou efektívnosťou a

rastom trhovej hodnoty nehnuteľnosti. Z ekonomického hľadiska preto najnižší CAPEX nemusí predstavovať najvýhodnejšie investičné riešenie.

### **Využívanie podporných mechanizmov**

Významnú úlohu pri financovaní nízkouhlíkových budov zohrávajú verejné dotačné programy a nástroje zeleného financovania. Efektívne využitie schém, ako sú Zelená domácnosť, Obnov dom, Plán obnovy a odolnosti Slovenskej republiky, zelené úvery alebo ďalšie európske podporné mechanizmy, umožňuje znižovať počiatočné investičné náklady, skracovať dobu návratnosti investície a zvyšovať ekonomickú realizovateľnosť projektov.

### **Integrácia obnoviteľných zdrojov energie**

Súčasťou investičnej stratégie by mala byť aj integrácia obnoviteľných zdrojov energie a moderných energetických technológií. Fotovoltické systémy, tepelné čerpadlá, solárne termické kolektory a batériové úložiská významne znižujú prevádzkové náklady budovy, zvyšujú energetickú sebestačnosť a obmedzujú citlivosť objektu na budúci rast cien energií. Ich význam bude v nasledujúcich desaťročiach ďalej narastať v dôsledku pokračujúcej dekarbonizácie energetiky.

### **Uplatňovanie ESG princípov**

Pri rozhodovaní o investíciách je vhodné systematicky zohľadňovať aj kritériá Environmental, Social and Governance (ESG). Hodnotenie uhlíkovej stopy, energetickej efektívnosti, environmentálnych certifikácií, klimatickej odolnosti a kvality ESG reportingu sa stáva významným faktorom ovplyvňujúcim dostupnosť financovania, investičnú atraktivitu aj dlhodobú hodnotu nehnuteľností. Budovy s vysokou ESG výkonnosťou spravidla dosahujú lepšie podmienky financovania, vyššiu trhovú hodnotu a nižšie investičné riziko.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Komplexné hodnotenie životného cyklu budovy, efektívne využívanie dotačných schém, integrácia obnoviteľných zdrojov energie a systematické uplatňovanie ESG princípov predstavujú základné predpoklady ekonomicky úspešných nízkouhlíkových projektov. Tieto prístupy podporujú nielen dosahovanie dlhodobej ekonomickej efektívnosti, ale aj plnenie cieľov klimatickej neutrality a udržateľného rozvoja stavebného sektora.

Ekonomické aspekty predstavujú jeden z rozhodujúcich faktorov ovplyvňujúcich rozvoj nízkouhlíkových budov. Hoci environmentálne prínosy, znižovanie emisií skleníkových plynov a zvyšovanie energetickej efektívnosti patria medzi hlavné dôvody ich realizácie, rozhodovanie investorov je vo významnej miere determinované ekonomickou efektívnosťou a dlhodobou návratnosťou investícií.

V kapitole bolo preukázané, že tradičné hodnotenie stavebných projektov založené výlučne na počiatočných investičných nákladoch neposkytuje dostatočný obraz o ich skutočnej ekonomickej výhodnosti. Moderné prístupy preto využívajú metodiku Life Cycle Costing (LCC), ktorá umožňuje komplexne hodnotiť náklady vznikajúce počas celého životného cyklu budovy vrátane investičných, prevádzkových, údržbových a obnovovacích nákladov.

Analýza zároveň ukázala, že vyššie počiatočné investície (CAPEX) do kvalitnej obálky budovy, tepelných čerpadiel, fotovoltických systémov, rekuperácie tepla a inteligentných systémov riadenia sú počas prevádzky kompenzované výrazne nižšími prevádzkovými nákladmi (OPEX) a vyššou energetickou efektívnosťou. Ekonomickú výhodnosť týchto riešení potvrdzujú aj ukazovatele Return on Investment (ROI), Net Present Value (NPV) a výsledky modelových analýz fotovoltických systémov a tepelných čerpadiel.

Osobitná pozornosť bola venovaná rastúcemu významu environmentálnych certifikácií, zeleného financovania a ESG investícií, ktoré sa stávajú dôležitými faktormi ovplyvňujúcimi hodnotu nehnuteľností, dostupnosť kapitálu aj konkurencieschopnosť stavebných projektov. Súčasne bolo poukázané na ekonomické bariéry rozvoja nízkouhlíkového stavebníctva, medzi ktoré patria najmä vyššie počiatočné investície, obmedzená dostupnosť kapitálu, neistota návratnosti investícií a nedostatok odborných kapacít.



Významným faktorom budúceho vývoja bude pokračujúci rast cien energií, rozširovanie systému obchodovania s emisnými kvótami, sprísňovanie klimateckej legislatívy a rast významu uhlíkovej ceny. Tieto trendy budú postupne zvyšovať ekonomickú atraktivitu nízkouhlíkových budov a súčasne znižovať konkurencieschopnosť energeticky neefektívnych objektov.

Na základe uvedených poznatkov možno konštatovať, že nízkouhlíkové budovy predstavujú nielen environmentálne zodpovedné, ale aj ekonomicky efektívne investície. Pri hodnotení ich prínosov je nevyhnutné vychádzať z princípov hodnotenia celého životného cyklu stavby, ktoré zohľadňujú dlhodobé prevádzkové úspory, rastúcu hodnotu nehnuteľnosti, environmentálne prínosy a meniace sa podmienky ekonomického prostredia. Tieto faktory budú zohrávať rozhodujúcu úlohu pri transformácii stavebného sektora smerom ku klimaticky neutrálnym budovám a udržateľnému rozvoju.

## 9 PRÍPADOVÉ ŠTÚDIE NÍZKOUHLÍKOVÝCH BUDOV

### 9.1 Úvod

Prípadové štúdie predstavujú významný zdroj poznatkov o praktickej aplikácii princípov nízkouhlíkového stavebníctva. Umožňujú overovať teoretické predpoklady v reálnych podmienkach a poskytujú cenné informácie o technických, ekonomických a environmentálnych výsledkoch konkrétnych projektov. Analýza úspešných realizácií zároveň pomáha identifikovať osvedčené postupy, technologické riešenia a faktory, ktoré prispievajú k dosahovaniu vysokej energetickej efektívnosti a nízkej uhlíkovej stopy budov. V súčasnosti existuje množstvo budov po celom svete, ktoré slúžia ako príklady dobrej praxe v oblasti udržateľného a klimaticky neutrálneho stavebníctva. Tieto projekty demonštrujú možnosti využívania obnoviteľných zdrojov energie, inteligentných technológií, nízkouhlíkových stavebných materiálov a pokročilých metód projektovania. Prípadové štúdie umožňujú komplexne hodnotiť energetickú hospodárnosť budov, použité stavebné materiály, technické zariadenia, ekonomickú efektívnosť navrhnutých riešení aj environmentálne dopady počas celého životného cyklu stavby. Výsledky takýchto analýz poskytujú cenné poznatky projektantom, investorom, výskumníkom aj tvorcom verejných politík a prispievajú k rozširovaniu osvedčených postupov v oblasti nízkouhlíkového stavebníctva. Výber analyzovaných budov bol založený na viacerých kritériách, ktoré umožňujú objektívne posúdiť ich environmentálnu a technickú úroveň. Posudzovaná bola predovšetkým vysoká energetická efektívnosť, nízka uhlíková stopa, rozsah využívania obnoviteľných zdrojov energie, implementácia inovatívnych technológií a medzinárodné odborné uznanie jednotlivých projektov.

#### **Vysoká energetická efektívnosť**

Do analýzy boli zaradené budovy, ktoré dosahujú mimoriadne nízku spotrebu energie a spĺňajú najvyššie štandardy energetickej hospodárnosti. Hodnotila sa najmä potreba energie na vykurovanie, celková spotreba energie, úroveň energetickej sebestačnosti a efektívnosť technických systémov budovy. Práve tieto ukazovatele patria medzi základné kritériá úspešnosti nízkouhlíkových budov.

#### **Nízka uhlíková stopa**

Významným kritériom výberu bola aj schopnosť budovy minimalizovať emisie skleníkových plynov počas celého životného cyklu. Posudzované boli prevádzkové emisie, zabudovaný uhlík, využitie nízkouhlíkových stavebných materiálov a výsledky hodnotenia životného cyklu prostredníctvom metodiky LCA. Budovy s nízkou uhlíkovou stopou predstavujú dôležitý nástroj na dosahovanie klimatickej neutrality a znižovanie environmentálnych dopadov stavebníctva.

#### **Využitie obnoviteľných zdrojov energie**

Analyzované budovy vo významnej miere využívajú obnoviteľné zdroje energie, ktoré prispievajú k znižovaniu závislosti od fosílnych palív. Najčastejšie ide o fotovoltické systémy, tepelné čerpadlá, geotermálne technológie, solárne kolektory a energetické úložiská. Ich vzájomná integrácia predstavuje jeden zo základných predpokladov dosahovania vysokej energetickej efektívnosti a nízkych prevádzkových emisií.

#### **Inovatívne technológie**

Výber zahŕňa budovy využívajúce pokročilé technologické riešenia podporujúce energetickú efektívnosť a inteligentné riadenie prevádzky. Ide predovšetkým o systémy Building Management System (BMS), internet vecí (IoT), umelú inteligenciu, digitálne dvojčatá budov a inteligentné energetické systémy. Tieto technológie umožňujú optimalizovať spotrebu energie, zvyšovať komfort používateľov a znižovať prevádzkové náklady.

#### **Medzinárodné uznanie**

Posledným kritériom bol medzinárodný význam a odborné uznanie analyzovaných projektov. Do výberu boli zaradené budovy, ktoré získali významné environmentálne certifikácie, predstavujú referenčné projekty vo svojich krajinách, sú často citované v odbornej literatúre a slúžia ako príklady dobrej praxe pri navrhovaní nízkouhlíkových budov.

Takto definované kritériá umožňujú vytvoriť reprezentatívny súbor prípadových štúdií, ktoré poskytujú komplexný pohľad na súčasné možnosti nízkouhlíkového stavebníctva a zároveň identifikujú riešenia s najväčším potenciálom uplatnenia v budúcej projektovej praxi.

### Cieľ kapitoly

Cieľom tejto kapitoly je analyzovať vybrané prípadové štúdie nízkouhlíkových budov a identifikovať faktory, ktoré prispeli k ich úspechu. Pozornosť bude venovaná architektonickým riešeniam, stavebným materiálom, technickým systémom, energetickej hospodárnosti, ekonomickým výsledkom a environmentálnym prínosom.

Praktické skúsenosti získané z týchto projektov predstavujú cenný zdroj poznatkov pre budúci rozvoj nízkouhlíkových budov a klimaticky neutrálneho stavebníctva.

## 9.2 Powerhouse Brattørkaia (Nórsko)

### 9.2.1 Základná charakteristika

Powerhouse Brattørkaia patrí medzi najvýznamnejšie príklady nízkouhlíkových a energeticky pozitívnych budov na svete. Projekt je súčasťou medzinárodnej iniciatívy Powerhouse, ktorej cieľom je navrhovať budovy schopné počas svojho životného cyklu vyrobiť viac energie, než sa spotrebuje na ich výstavbu, prevádzku, údržbu a ukončenie životnosti. Tento koncept predstavuje jeden z najpokročilejších prístupov k navrhovaniu klimaticky neutrálnych budov a významne prispieva k napĺňaniu cieľov udržateľného stavebníctva.

Budova sa nachádza v meste Trondheim v Nórsku, ktoré je charakteristické chladným severským podnebím s dlhým vykurovacím obdobím a vysokými požiadavkami na energetickú hospodárnosť budov. Klimatické podmienky lokality predstavovali významnú výzvu pre projektantov, keďže cieľom bolo dosiahnuť energeticky pozitívnu bilanciu aj v prostredí s relatívne nízkym potenciálom slnečného žiarenia počas zimných mesiacov.

Powerhouse Brattørkaia bola dokončená v roku 2019 a slúži ako administratívna budova s celkovou podlahovou plochou približne 18 000 m<sup>2</sup>. Napriek veľkému rozsahu objektu sa podarilo dosiahnuť mimoriadne nízku spotrebu energie pri súčasnom zabezpečení vysokého komfortu vnútorného prostredia pre používateľov. Základné technické údaje o budove sú uvedené v Tabuľke 21.

**Tabuľka 21** Základné údaje o budove Powerhouse Brattørkaia

| Parameter        | Hodnota                |
|------------------|------------------------|
| Lokalita         | Trondheim, Nórsko      |
| Dokončenie       | 2019                   |
| Funkcia          | Administratívna budova |
| Podlahová plocha | 18 000 m <sup>2</sup>  |
| Certifikácia     | BREEAM Outstanding     |

Významným potvrdením kvality projektu je získanie certifikácie BREEAM Outstanding, ktorá predstavuje najvyšší stupeň hodnotenia podľa medzinárodného systému BREEAM. Certifikácia potvrdzuje vysokú úroveň energetickej efektívnosti, environmentálnej výkonnosti, kvality vnútorného prostredia, hospodárenia s energiou a vodou, ako aj uplatnenie princípov udržateľnosti počas celého životného cyklu budovy.

Powerhouse Brattørkaia je považovaná za referenčný projekt predovšetkým preto, že počas svojej prevádzky produkuje viac energie, než sama spotrebuje. Tento výsledok bol dosiahnutý kombináciou kvalitného pasívneho architektonického návrhu, vysokoúčinnnej obálky budovy, rozsiahleho využitia obnoviteľných zdrojov energie a inteligentného systému energetického

manažmentu. Projekt zároveň kladie dôraz na minimalizáciu uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu stavby, čím presahuje tradičné hodnotenie energetickej hospodárnosti budov zamerané iba na prevádzkovú fázu.

### Význam pre výskum nízkouhlíkových budov

Powerhouse Brattørkaia predstavuje jednu z najvýznamnejších medzinárodných prípadových štúdií v oblasti nízkouhlíkového stavebníctva. Projekt preukazuje, že kombináciou pasívnych princípov navrhovania, vysokoúčinnnej obálky budovy, obnoviteľných zdrojov energie, inteligentného energetického manažmentu a hodnotenia celého životného cyklu je možné dosiahnuť energeticky pozitívnu prevádzku aj v klimaticky náročných podmienkach severnej Európy. Získané skúsenosti predstavujú významný zdroj poznatkov pre ďalší vývoj budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a budúcich energeticky pozitívnych budov (Obrázok 40).



Powerhouse Brattørkaia patrí medzi najznámejšie príklady nízkouhlíkových a energeticky pozitívnych budov na svete. Projekt je súčasťou medzinárodnej iniciatívy Powerhouse, ktorej cieľom je navrhovať budovy produkujúce počas svojej životnosti viac energie, než spotrebujú na výstavbu, prevádzku, údržbu a demoláciu.

Budova predstavuje významný míľnik v oblasti udržateľného stavebníctva a je často uvádzaná ako príklad dobrej praxe pri navrhovaní budov s minimálnou uhlíkovou stopou. Vďaka kombinácii pasívnych princípov, obnoviteľných zdrojov energie a inteligentného energetického manažmentu dosahuje mimoriadne vysokú úroveň energetickej efektívnosti.

| ZÁKLADNÉ ÚDAJE O BUDOVE |                        |
|-------------------------|------------------------|
| Lokalita                | Trondheim, Nórsko      |
| Dokončenie              | 2019                   |
| Funkcia                 | Administratívna budova |
| Podlahová plocha        | 18 000 m <sup>2</sup>  |
| Certifikácia            | BREEAM Outstanding     |



Obrázok 40 Powerhouse Brattørkaia (Nórsko)

## 9.2.2 Koncept budovy

Powerhouse Brattørkaia predstavuje jednu z prvých administratívnych budov na svete navrhnutých podľa princípov energeticky pozitívnych budov (Energy Positive Buildings). Projekt vznikol v rámci iniciatívy Powerhouse Alliance, ktorej cieľom je navrhovať budovy schopné počas svojho životného cyklu vyrobiť viac energie, než sa spotrebuje na výrobu stavebných materiálov, výstavbu, prevádzku, údržbu a ukončenie životnosti objektu. Tento prístup predstavuje významný posun od tradičného hodnotenia energetickej hospodárnosti smerom ku komplexnému posudzovaniu celého životného cyklu budovy.

Na rozdiel od konvenčných nízkoenergetických budov sa projekt nezameriava iba na minimalizáciu prevádzkovej spotreby energie. Energetická bilancia zahŕňa aj energiu potrebnú na výrobu stavebných materiálov, dopravu, realizáciu stavby, budúcu údržbu a obnovu technických zariadení. Takýto spôsob hodnotenia zodpovedá princípom metodiky Whole Life Carbon (WLC) a umožňuje komplexnejšie posúdenie environmentálnej výkonnosti budovy.

Najväčšia pozornosť bola venovaná minimalizácii prevádzkovej spotreby energie. Budova využíva vysokoúčinnú tepelnú ochranu obvodového plášťa, kvalitné zasklenie, systémy spätného získavania tepla a inteligentné riadenie technických zariadení. Významnú úlohu zohráva aj optimalizácia denného osvetlenia, ktorá prispieva k znižovaniu spotreby elektrickej energie na osvetlenie administratívnych priestorov.

Dôležitou súčasťou návrhu bolo aj znižovanie zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon). Pri výbere stavebných materiálov sa posudzovala energetická náročnosť ich výroby, emisie oxidu uhličitého, životnosť aj možnosti recyklácie po ukončení prevádzky budovy. Tento prístup vychádza z metodiky Life Cycle Assessment (LCA) a podporuje princípy obehového hospodárstva.

Energeticky pozitívna bilancia bola dosiahnutá kombináciou viacerých architektonických a technických opatrení. Kľúčovú úlohu zohrala optimalizovaná orientácia budovy, kompaktný architektonický tvar, vysokoúčinná obálka, rozsiahly fotovoltický systém integrovaný do strechy a fasády, inteligentný energetický manažment a využitie vysokoúčinných technických zariadení. Práve vzájomná koordinácia týchto opatrení umožňuje, aby budova počas svojho životného cyklu vyrobila viac energie, než sama spotrebuje.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Powerhouse Brattørkaia predstavuje významný referenčný projekt demonštrujúci možnosti energeticky pozitívnych administratívnych budov. Potvrďuje, že kombináciou kvalitného architektonického návrhu, komplexného hodnotenia životného cyklu, obnoviteľných zdrojov energie a inteligentného riadenia možno dosiahnuť mimoriadne priaznivé energetické aj environmentálne parametre. Projekt zároveň predstavuje významnú inšpiráciu pre budovy s nulovými emisiami (ZEB) a budúcu generáciu klimaticky neutrálnych stavieb.

## **9.2.3 Technológie**

Jedným z rozhodujúcich faktorov úspechu budovy Powerhouse Brattørkaia je komplexná integrácia obnoviteľných zdrojov energie s vysokoúčinnými technickými systémami. Energetická koncepcia objektu je založená na kombinácii fotovoltických panelov, tepelných čerpadiel využívajúcich morskú vodu, inteligentného systému riadenia budovy (Building Management System – BMS) a ďalších technológií umožňujúcich minimalizovať spotrebu energie pri súčasnom zabezpečení vysokého komfortu používateľov.

### **Fotovoltický systém**

Základným prvkom energetického konceptu budovy je rozsiahly fotovoltický systém integrovaný do strechy a časti fasády objektu. Celková plocha fotovoltických panelov dosahuje približne 3 000 m<sup>2</sup>, pričom ich orientácia a sklon boli optimalizované s ohľadom na klimatické podmienky severného Nórska a maximálne využitie dostupného slnečného žiarenia počas celého roka.

Ročná výroba elektrickej energie predstavuje približne 500 MWh, čo umožňuje pokrývať energetické potreby budovy a zároveň vytvárať energetický prebytok potrebný na dosiahnutie pozitívnej energetickej bilancie počas celého životného cyklu objektu. Vyrobená elektrina zabezpečuje prevádzku vykurovania, chladenia, osvetlenia, vzduchotechnických zariadení a inteligentných riadiacich systémov. V období vyššej výroby môže byť prebytočná energia dodávaná do distribučnej siete alebo využívaná na ďalšie energetické účely.

Fotovoltické panely boli navrhnuté ako integrálna súčasť architektonického riešenia budovy. Ich návrh zohľadňuje optimálnu orientáciu, vhodný sklon, minimalizáciu vzájomného tienenia aj estetické začlenenie do celkovej architektonickej koncepcie objektu. Takýto prístup umožňuje dosahovať vysoké energetické výnosy bez negatívneho ovplyvnenia architektonického výrazu budovy.

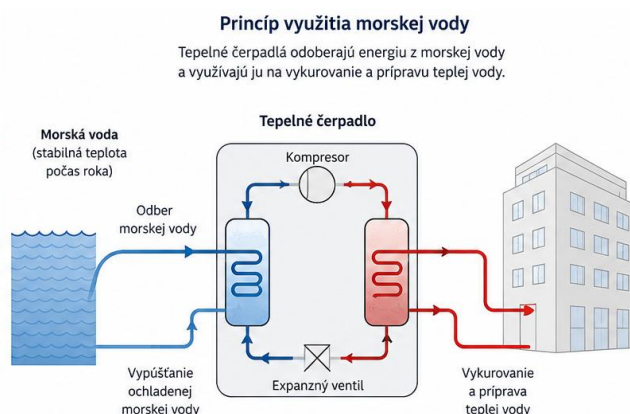
Významným prínosom fotovoltického systému je aj redukcia environmentálnych dopadov prevádzky budovy. Výroba elektriny z obnoviteľného zdroja významne obmedzuje spotrebu

energie z externých zdrojov, znižuje prevádzkové emisie oxidu uhličitého a prispieva k dosahovaniu klimatickej neutrality počas celého životného cyklu stavby.

Tepelné čerpadlá využívajúce morskú vodu

Významnou súčasťou energetického systému budovy sú tepelné čerpadlá využívajúce morskú vodu ako stabilný nízkopotenciálny zdroj tepla. Vzhľadom na polohu budovy pri pobreží Trondheimskeho fjordu bolo možné efektívne využiť relatívne stabilnú teplotu morskej vody počas celého roka. Tepelné čerpadlá zabezpečujú vykurovanie, chladenie aj prípravu teplej vody s vysokou energetickou účinnosťou a výrazne znižujú potrebu využívania konvenčných zdrojov energie.

V porovnaní so systémami založenými na fosílnych palivách umožňuje využitie morskej vody významne znižovať spotrebu primárnej energie aj prevádzkové emisie skleníkových plynov. Spojenie tepelných čerpadiel s fotovoltaickým systémom zároveň vytvára synergický efekt, ktorý významne prispieva k energeticky pozitívnej bilancii celej budovy (Obrázok 41).



**Stabilný a obnoviteľný zdroj**

Morská voda má stabilnú teplotu počas celého roka, čo zabezpečuje vysokú účinnosť tepelného čerpadla.



**Vysoká účinnosť**

Tepelné čerpadlá dosahujú vysoké COP, čím znižujú spotrebu primárnej energie a prevádzkové náklady.



**Ekologické riešenie**

Využívanie morskej vody znižuje emisie CO<sub>2</sub> a podporuje dosahovanie nízkouhlíkových a udržateľných budov.

**Obrázok 41** Tepelné čerpadlá

### Inteligentný systém riadenia budovy

Neoddeliteľnou súčasťou energetickej koncepcie Powerhouse Brattørkaia je inteligentný systém Building Management System (BMS), ktorý zabezpečuje koordinované riadenie všetkých technických zariadení budovy. Jeho hlavnou úlohou je optimalizovať spotrebu energie pri zachovaní vysokej úrovne vnútorného komfortu a maximálneho využitia obnoviteľných zdrojov energie. Systém priebežne monitoruje prevádzkové parametre budovy a na základe údajov zo senzorov automaticky reguluje vykurovanie, vetranie, chladenie aj osvetlenie. Riadenie osvetlenia využíva senzory prítomnosti osôb a intenzity denného svetla, čím zabezpečuje automatické vypínanie osvetlenia v neobsadených priestoroch a plynulú reguláciu intenzity svietidiel podľa aktuálnych svetelných podmienok. Riadenie vykurovania vychádza z priebežného vyhodnocovania vonkajšej teploty, vnútorných klimatických podmienok, obsadenosti jednotlivých zón a aktuálnych energetických potrieb budovy. Takýto spôsob prevádzky umožňuje udržiavať stabilné vnútorné prostredie pri minimálnej spotrebe energie. Systém zároveň riadi prevádzku vzduchotechniky na základe koncentrácie oxidu uhličitého, teploty, relatívnej vlhkosti vzduchu a obsadenosti jednotlivých priestorov. Inteligentná regulácia zabezpečuje vysokú kvalitu vnútorného prostredia pri súčasnej optimalizácii prevádzky rekuperačných jednotiek a minimalizácii energetických strát.

Komplexná koordinácia jednotlivých technológií umožňuje znižovať prevádzkovú spotrebu energie, optimalizovať využívanie elektriny vyrobenej fotovoltaickým systémom a podporovať energeticky pozitívnu bilanciu budovy. V administratívnych objektoch podobného rozsahu



môže inteligentné riadenie prinášať významné prevádzkové úspory v porovnaní s tradičnými systémami regulácie.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Powerhouse Brattørkaia demonštruje význam komplexnej integrácie obnoviteľných zdrojov energie, vysokoúčinných technológií a inteligentného riadenia budov. Kombinácia rozsiahleho fotovoltického systému, tepelných čerpadiel využívajúcich morskú vodu a systému Building Management System umožňuje dosahovať energeticky pozitívnu prevádzku aj pri rozsiahlej administratívnej budove v náročných klimatických podmienkach severnej Európy. Projekt tak predstavuje významný referenčný príklad využitia moderných technológií pri navrhovaní budov s nulovými emisiami (ZEB) a budúcich energeticky pozitívnych stavieb.

## **9.3 Bosco Verticale (Taliansko)**

### **9.3.1 Charakteristika**

Bosco Verticale (Vertikálny les) (Obrázok 42) patrí medzi najvýznamnejšie príklady bioklimatickej architektúry a integrácie prírody blízkyh riešení do výškových budov. Projekt predstavuje inovatívny prístup k začleneniu vegetácie do obálky budovy a stal sa jedným zo symbolov udržateľného urbanizmu a adaptácie miest na klimatické zmeny. Jeho základnou myšlienkou je preniesť ekologické funkcie mestského lesa do vertikálneho prostredia obytných budov, čím sa vegetácia stáva aktívnou súčasťou architektúry namiesto tradičného dekoratívneho prvku. Projekt sa nachádza v štvrti Porta Nuova v talianskom Miláne, jednom z najvýznamnejších ekonomických centier Európy. Lokalita je charakteristická vysokou hustotou zástavby, intenzívnou dopravou a zvýšenou koncentráciou znečisťujúcich látok v ovzduší, čo vytvorilo vhodné podmienky na realizáciu experimentálneho projektu zameraného na zlepšenie kvality mestského prostredia. Bosco Verticale bolo dokončené v roku 2014 podľa návrhu talianskeho architekta Stefana Boeriho, ktorý je známy svojimi projektmi prepájajúcimi architektúru, urbanizmus a environmentálnu udržateľnosť. Základné údaje o projekte sú uvedené v Tabuľke 22.

**Tabuľka 22** Základné údaje o projekte Bosco Verticale

| Parameter  | Hodnota           |
|------------|-------------------|
| Lokalita   | Miláno, Taliansko |
| Dokončenie | 2014              |
| Architekt  | Stefano Boeri     |

Architektonický význam projektu spočíva v prepojení výškovej architektúry s vegetačnými systémami, ktoré plnia nielen estetickú, ale predovšetkým environmentálnu funkciu. Bosco Verticale predstavuje jeden z prvých projektov, ktorý demonštroval možnosti využitia vegetácie ako aktívnej súčasti obálky budovy a stal sa inšpiráciou pre množstvo obdobných realizácií na viacerých kontinentoch.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Bosco Verticale patrí medzi referenčné príklady využívania prírody blízkyh riešení v architektúre. Hoci jeho hlavným cieľom nebolo dosiahnutie energeticky pozitívnej bilancie, projekt významne prispieva k znižovaniu prehrievania, zlepšovaniu mikroklimy a podpore biodiverzity v mestskom prostredí. Súčasne potvrdzuje, že vegetácia môže predstavovať významný nástroj adaptácie budov na klimatické zmeny a dôležitý prvok moderného nízkouhlíkového stavebníctva.



**Obrázok 42** Bosco Verticale (Taliansko)

### 9.3.2 Koncept

Bosco Verticale pozostáva z dvoch obytných veží, ktorých charakteristickým znakom je rozsiahla vegetácia integrovaná do balkónov a terás po celej výške objektov. Na rozdiel od tradičných výškových budov vegetácia netvorí iba doplnok architektúry, ale jej funkčnú súčasť, ktorá významne ovplyvňuje mikroklimatické aj energetické vlastnosti budovy.

Celý vegetačný systém zahŕňa viac ako 900 stromov, niekoľko tisíc kríkov a desiatky tisíc ďalších rastlín, pričom celkový rozsah zelene zodpovedá približne niekoľkohektárovému mestskému lesu prenesenému do vertikálneho priestoru. Výber rastlinných druhov bol prispôbený orientácii jednotlivých fasád, výške ich umiestnenia aj miestnym klimatickým podmienkam, aby bola zabezpečená dlhodobá stabilita vegetácie a jej environmentálna funkčnosť. Integrovaná vegetácia vytvára viacvrstvový ekosystém, ktorý zabezpečuje prirodzené tienenie fasád, znižovanie prehrievania, zachytávanie prachových častíc, produkciu kyslíka a vytváranie vhodných podmienok pre výskyt vtáctva a hmyzu. Projekt tak predstavuje nový prístup k navrhovaniu výškových budov, pri ktorom architektúra aktívne prispieva k zlepšovaniu environmentálnej kvality urbanizovaného prostredia.

#### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Bosco Verticale demonštruje možnosti integrácie vegetácie do výškových budov ako významného adaptačného opatrenia na zmierňovanie dôsledkov klimatických zmien. Projekt potvrdzuje, že vegetácia môže plniť nielen estetickú funkciu, ale aj významne prispievať k energetickej efektívnosti budovy a zlepšovaniu kvality mestského prostredia.

### 9.3.3 Environmentálne prínosy

Rozsiahla vegetácia integrovaná do fasád budovy zabezpečuje celý rad environmentálnych funkcií. Prostredníctvom fotosyntézy zachytáva oxid uhličitý z atmosféry a ukladá uhlík vo svojej biomase, čím prispieva k znižovaniu uhlíkovej stopy mestského prostredia. Súčasne produkuje kyslík, filtruje prachové častice a ďalšie znečisťujúce látky a vytvára priaznivejšie mikroklimatické podmienky. Jedným z najvýznamnejších prínosov vegetácie je znižovanie



prehrievania budovy. Stromy a kríky vytvárajú prirodzené tienenie fasád, zatiaľ čo evapotranspirácia zabezpečuje ochladzovanie okolitého prostredia. Výsledkom je nižšia teplota povrchov, vyšší tepelný komfort používateľov a obmedzenie potreby mechanického chladenia počas letných mesiacov. Okrem klimatických funkcií vegetácia významne podporuje biodiverzitu. Budova vytvára biotopy pre vtáky, opeľujúci hmyz a ďalšie organizmy, čím prispieva k ekologickej stabilite urbanizovaného prostredia.

#### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Bosco Verticale potvrdzuje, že prírode blízke riešenia môžu významne prispieť k znižovaniu environmentálnych dopadov budov. Zachytávanie oxidu uhličitého, produkcia kyslíka, ochladzovanie prostredia a podpora biodiverzity predstavujú významné adaptačné mechanizmy, ktoré budú zohrávať čoraz dôležitejšiu úlohu pri navrhovaní klimaticky odolných miest.

### **9.3.4 Energetické riešenia**

Environmentálna výkonnosť Bosco Verticale nie je založená výlučne na vegetácii, ale aj na implementácii moderných energetických technológií. Budova využíva vysokoúčinné tepelné čerpadlá, systémy riadeného vetrania so spätným získavaním tepla a kvalitnú obálku budovy navrhnutú s dôrazom na minimalizáciu tepelných strát. Tepelné čerpadlá zabezpečujú vykurovanie aj chladenie budovy pri vysokej energetickej účinnosti, čím významne znižujú spotrebu primárnej energie a prevádzkové emisie skleníkových plynov. Riadené vetranie s rekuperáciou tepla zabezpečuje vysokú kvalitu vnútorného prostredia pri minimálnych energetických stratách, zatiaľ čo kvalitná tepelná izolácia, vysokoúčinné zasklenie a eliminácia tepelných mostov prispievajú k vysokej energetickej hospodárnosti objektu. Najvýznamnejším prínosom projektu je synergické pôsobenie architektonického riešenia, vegetácie a technických systémov. Ich vzájomná integrácia umožňuje znižovať spotrebu energie, zvyšovať tepelný komfort používateľov a minimalizovať environmentálne dopady prevádzky budovy.

#### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Bosco Verticale dokazuje, že úspešná environmentálna architektúra je výsledkom komplexnej integrácie prírode blízkyh riešení a moderných energetických technológií. Projekt predstavuje významný referenčný príklad využitia vegetácie ako aktívneho prvku obálky budovy a súčasne potvrdzuje význam vysokoúčinnnej technickej infraštruktúry pri navrhovaní klimaticky odolných a nízkouhlíkových budov budúcnosti.

## **9.4 BedZED (Spojené kráľovstvo)**

### **9.4.1 Charakteristika**

Projekt BedZED (Beddington Zero Energy Development) patrí medzi najvýznamnejšie a najcitovanejšie príklady udržateľného bývania na svete. Bol navrhnutý ako experimentálna obytná štvrť, ktorej cieľom bolo minimalizovať spotrebu energie, emisie skleníkových plynov a environmentálne dopady každodenného života obyvateľov. V čase svojho vzniku predstavoval jeden z prvých komplexných pokusov o realizáciu obytného súboru založeného na princípoch nízkouhlíkového stavebníctva a udržateľného urbanizmu. Projekt sa nachádza v londýnskej mestskej časti Sutton a bol dokončený v roku 2002. Lokalita bola zvolená s cieľom demonštrovať možnosti udržateľného rozvoja v podmienkach veľkého európskeho mesta pri využití existujúcej infraštruktúry a dobrej dopravnej dostupnosti. Základné údaje o projekte sú uvedené v Tabuľke 23.

**Tabuľka 23** Základné údaje o projekte BedZED

| Parameter | Hodnota                                     |
|-----------|---------------------------------------------|
| Názov     | BedZED (Beddington Zero Energy Development) |

|            |                            |
|------------|----------------------------|
| Lokalita   | Londýn, Spojené kráľovstvo |
| Dokončenie | 2002                       |

Projekt bol od začiatku koncipovaný ako modelová ukážka udržateľného bývania pre 21. storočie. Jeho cieľom nebolo iba navrhnuť energeticky efektívne budovy, ale vytvoriť funkčnú komunitu založenú na princípoch nízkej spotreby energie, využívania obnoviteľných zdrojov, ekologickej dopravy a efektívneho hospodárenia s prírodnými zdrojmi. Práve komplexný prístup k riešeniu urbanistických, architektonických, energetických a spoločenských aspektov odlišuje BedZED od väčšiny dovtedajších rezidenčných projektov. (Obrázok 43).



**Obrázok 43** BedZED (Spojené kráľovstvo)

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

BedZED predstavuje významný historický míľnik vo vývoji nízkouhlíkoveho stavebníctva. Projekt preukázal, že princípy energetickej efektívnosti, obnoviteľných zdrojov energie a environmentálneho urbanizmu možno úspešne aplikovať na úrovni celého obytného súboru. Získané skúsenosti významne ovplyvnili ďalší vývoj ekologických obytných štvrtí v Európe aj vo svete.

### 9.4.2 Ciele projektu

Hlavným cieľom projektu BedZED bolo vytvoriť obytnú štvrť s minimálnymi environmentálnymi dopadmi pri zachovaní vysokej kvality bývania. Koncepcia projektu vychádzala z integrovaného prístupu prepájajúceho architektúru, energetiku, urbanizmus a spôsob života obyvateľov. Základným zámerom bolo dosiahnuť výrazné zníženie spotreby energie

prostredníctvom kvalitnej tepelnej ochrany budov, využitia pasívnych solárnych ziskov, prirodzeného osvetlenia, systémov riadeného vetrania so spätným získavaním tepla a ďalších energeticky efektívnych technológií. Výsledkom bola podstatne nižšia spotreba energie v porovnaní s bežnými obytnými budovami Spojeného kráľovstva. Významným cieľom bolo aj znižovanie emisií skleníkových plynov prostredníctvom obmedzenia využívania fosílnych palív, implementácie obnoviteľných zdrojov energie a využívania nízkouhlíkových stavebných materiálov. Environmentálna stratégia projektu bola doplnená urbanistickým riešením podporujúcim ekologickejší spôsob života obyvateľov. Neoddeliteľnou súčasťou koncepcie bola podpora udržateľnej mobility. Urbanistické riešenie motivovalo obyvateľov využívať pešiu dopravu, bicykle, verejnú dopravu a systémy zdieľania automobilov, čím sa podarilo významne obmedziť dopravné emisie a spotrebu fosílnych palív.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Projekt BedZED ukázal, že dosiahnutie nízkej uhlíkovej stopy si vyžaduje integrovaný prístup prepájajúci architektonický návrh, energetické systémy, urbanizmus a správanie používateľov. Tento princíp sa následne stal základom väčšiny moderných konceptov udržateľných obytných štvrtí.

### **9.4.3 Technológie**

Energetická koncepcia BedZED je založená predovšetkým na využívaní pasívnych princípov navrhovania, ktoré sú doplnené efektívnymi technickými systémami a obnoviteľnými zdrojmi energie. Na rozdiel od mnohých novších projektov nebola dominantným cieľom implementácia technologicky náročných zariadení, ale optimalizácia architektonického návrhu s cieľom minimalizovať potrebu energie už v počiatočných etapách projektovania.

Základ energetickej stratégie tvorí pasívny dizajn založený na kompaktnom tvare budov, vysokej kvalite tepelnej izolácie, eliminácii tepelných mostov, kvalitnom zasklení a vzduchotesnej obálke. Budovy boli orientované tak, aby maximálne využívali pasívne solárne zisky počas zimného obdobia a súčasne minimalizovali riziko prehrievania počas leta. Tento prístup významne znižuje potrebu energie na vykurovanie, chladenie aj osvetlenie.

Dôležitú úlohu zohrávajú aj pasívne solárne zisky. Veľké južne orientované presklené plochy umožňujú efektívne využívať slnečné žiarenie na prirodzené vykurovanie interiérov, zatiaľ čo konštrukcie s vysokou tepelnou akumuláciou ukladajú prijaté teplo a postupne ho uvoľňujú počas chladnejších častí dňa. Výsledkom je ďalšie znižovanie potreby vykurovania bez dodatočných energetických vstupov.

Projekt zároveň využíva systémy riadeného vetrania so spätným získavaním tepla, ktoré zabezpečujú vysokú kvalitu vnútorného prostredia pri minimálnych tepelných stratách. Rekuperácia významne znižuje potrebu energie na vykurovanie a zároveň zabezpečuje dostatočný prívod čerstvého vzduchu do obytných priestorov. Energetickú koncepciu dopĺňajú fotovoltické panely využívané na výrobu elektrickej energie pre spoločné priestory a technické zariadenia budovy. Hoci ich výkon nepredstavuje hlavný zdroj energie projektu, významne prispievajú k znižovaniu prevádzkových emisií a zvyšovaniu energetickej sebestačnosti obytného komplexu. Najväčším prínosom projektu je vzájomná koordinácia všetkých uvedených opatrení. Kombinácia pasívneho architektonického návrhu, využívania solárnych ziskov, riadeného vetrania s rekuperáciou tepla a obnoviteľných zdrojov energie umožňuje dosahovať výrazne nižšiu spotrebu energie pri zachovaní vysokého komfortu bývania.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

Technologické riešenie BedZED potvrdzuje, že vysoká energetická efektívnosť nemusí byť založená výlučne na náročných technológiách, ale predovšetkým na kvalitnom architektonickom návrhu a efektívnom využívaní prirodzených zdrojov energie. Aj po viac ako dvoch desaťročiach od dokončenia zostáva projekt významným referenčným príkladom úspešného uplatnenia pasívnych princípov navrhovania, ktoré sa stali základom súčasných nízkoenergetických a pasívnych budov.

## 9.5 Bullitt Center (USA)

### 9.5.1 Charakteristika

Bullitt Center patrí medzi najvýznamnejšie príklady udržateľnej architektúry a nízkouhlíkového stavebníctva v Severnej Amerike. Budova bola navrhnutá s cieľom vytvoriť administratívny objekt dosahujúci mimoriadne vysokú energetickú efektívnosť, minimálnu uhlíkovú stopu a dlhodobú environmentálnu udržateľnosť. V odbornej literatúre je často označovaná ako „najzelenšia kancelárska budova sveta“, keďže spĺňa najprísnejšie požiadavky na energetickú hospodárnosť, hospodárenie s vodou, výber stavebných materiálov a kvalitu vnútorného prostredia.

Budova sa nachádza v meste Seattle v štáte Washington (USA), ktoré patrí medzi severoamerické mestá dlhodobo podporujúce rozvoj udržateľnej architektúry a ekologických technológií. Miestne klimatické podmienky významne ovplyvnili návrh objektu, najmä z hľadiska efektívneho využívania denného svetla, zberu dažďovej vody a výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. Bullitt Center bolo dokončené v roku 2013 a disponuje celkovou podlahovou plochou približne 4 600 m<sup>2</sup>. Základné údaje o budove sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 26).

**Tabuľka 24** Základné údaje o budove Bullitt Center

| Parameter        | Hodnota              |
|------------------|----------------------|
| Lokalita         | Seattle, USA         |
| Dokončenie       | 2013                 |
| Podlahová plocha | 4 600 m <sup>2</sup> |

Architektonická koncepcia vychádza z princípov energetickej sebestačnosti, minimalizácie uhlíkovej stopy, efektívneho využívania prírodných zdrojov a dlhej životnosti stavebných konštrukcií. Návrh bol orientovaný na maximálne využitie obnoviteľných zdrojov energie, hospodárne nakladanie s vodou a vytvorenie zdravého pracovného prostredia pre používateľov budovy. (Obrázok 44).

#### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Bullitt Center predstavuje významný referenčný projekt administratívnej budovy, ktorá demonštruje možnosti dosahovania vysokej energetickej efektívnosti a klimatickej neutrality aj v komerčnom sektore. Projekt potvrdzuje, že princípy nízkouhlíkového stavebníctva možno úspešne aplikovať na kancelárske budovy bez negatívneho vplyvu na komfort používateľov a prevádzkovú funkčnosť objektu.





**Obrázok 44 Bullitt Center (USA)**

## 9.5.2 Filozofia

Filozofia Bullitt Center vychádza zo snahy vytvoriť budovu, ktorá nebude predstavovať environmentálnu záťaž, ale aktívnu súčasť mestského ekosystému. Projektanti sa neusilovali iba o minimalizáciu spotreby energie alebo získanie environmentálnej certifikácie, ale o vytvorenie objektu schopného fungovať v súlade s prírodnými procesmi počas celého svojho životného cyklu. Jedným zo základných princípov bolo zabezpečenie energetickej sebestačnosti budovy prostredníctvom lokálnych obnoviteľných zdrojov energie pri súčasnej minimalizácii energetických potrieb už v počiatočnej fáze architektonického návrhu. Rovnako významná pozornosť bola venovaná efektívnemu hospodáreniu s vodou, využívaniu zdravotne neškodných stavebných materiálov a vytvoreniu kvalitného vnútorného prostredia podporujúceho zdravie a produktivitu používateľov. Bullitt Center bolo navrhnuté podľa princípov certifikačného systému Living Building Challenge (LBC), ktorý patrí medzi najnáročnejšie systémy hodnotenia udržateľných budov na svete. Na rozdiel od väčšiny environmentálnych certifikácií nehodnotí iba projektový návrh, ale aj skutočné prevádzkové parametre budovy. Hodnotenie zahŕňa energetickú sebestačnosť, hospodárenie s vodou, používanie zdravotne bezpečných materiálov, kvalitu vnútorného prostredia a celkový environmentálny dopad stavby. Významným aspektom filozofie projektu je aj návrh budovy s predpokladanou životnosťou presahujúcou 250 rokov. Dlhodobá životnosť stavebných konštrukcií, jednoduchá údržba a možnosť budúcich adaptačných zásahov umožňujú rozložiť environmentálne dopady výstavby na podstatne dlhšie obdobie, čím sa znižuje celková uhlíková stopa počas životného cyklu budovy. Nemenej dôležitým cieľom bolo vytvorenie zdravého pracovného prostredia. Návrh budovy preto kladie dôraz na maximálne využitie denného svetla, kvalitné vnútorné ovzdušie, vizuálny kontakt s exteriérom a celkový komfort používateľov. Projekt vychádza z predpokladu, že environmentálne kvalitná budova má zároveň podporovať zdravie, pohodu a produktivitu svojich používateľov.

## Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Bullitt Center predstavuje významný posun od tradičného konceptu energeticky efektívnych budov k budovám, ktoré aktívne podporujú ochranu životného prostredia a udržateľný rozvoj. Projekt preukazuje, že administratívne budovy môžu dosahovať vysokú energetickú efektívnosť, minimálnu uhlíkovú stopu a zároveň poskytovať kvalitné a zdravé pracovné prostredie.

### 9.5.3 Technológie

Technologická koncepcia Bullitt Center je založená na vzájomnej integrácii obnoviteľných zdrojov energie, efektívneho hospodárenia s vodou a moderných technických systémov. Základným princípom návrhu bolo minimalizovať závislosť budovy od externých energetických a vodných zdrojov a zabezpečiť jej dlhodobú prevádzkovú udržateľnosť. Kľúčovým prvkom energetického systému je rozsiahla strešná fotovoltaická elektráreň, ktorá zabezpečuje výrobu elektrickej energie pre celú prevádzku objektu. Fotovoltaické panely premieňajú slnečné žiarenie na elektrickú energiu, čím umožňujú dosahovať energetickú sebestačnosť budovy a výrazne znižovať prevádzkové emisie oxidu uhličitého. Vďaka dôslednej optimalizácii spotreby energie dokáže budova pokryť svoje energetické potreby výlučne z obnoviteľného zdroja. Významnou súčasťou projektu je aj komplexný systém hospodárenia s dažďovou vodou. Zrážková voda zachytávaná na streche je akumulovaná v zásobných nádržiach, následne filtrovaná a upravovaná na ďalšie využitie v budove. Takéto riešenie významne znižuje spotrebu pitnej vody a zároveň obmedzuje zaťaženie verejnej vodovodnej infraštruktúry. Jedným z najinovatívnejších technických riešení sú kompostovacie toalety, ktoré minimalizujú spotrebu pitnej vody na sanitárne účely. Na rozdiel od tradičných splachovacích systémov umožňujú biologické spracovanie odpadu, čím podporujú princípy obehového hospodárstva a znižujú environmentálne zaťaženie kanalizačných systémov. Najväčšou výhodou Bullitt Center je vzájomná integrácia všetkých technológií do jedného funkčného celku. Kombinácia fotovoltaického systému, hospodárenia s dažďovou vodou, kompostovacích toaliet a energeticky efektívneho architektonického návrhu umožňuje minimalizovať spotrebu energie aj vody a výrazne obmedziť environmentálne dopady prevádzky budovy. Súčasne sa zvyšuje odolnosť objektu voči budúcemu rastu cien energií a zmenám dostupnosti prírodných zdrojov.

#### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Bullitt Center demonštruje možnosti navrhovania administratívnych budov s minimálnou závislosťou od externých zdrojov energie a vody. Kombinácia fotovoltaických panelov, systému zberu dažďovej vody, kompostovacích toaliet a kvalitného architektonického návrhu predstavuje referenčný príklad technologického riešenia podporujúceho klimatickú neutralitu. Projekt sa preto považuje za jeden z najvýznamnejších vzorov udržateľného administratívneho stavebníctva a významnú inšpiráciu pre budovy budúcnosti.

### 9.5.The Edge (Holandsko)

The Edge patrí medzi najvýznamnejšie inteligentné administratívne budovy na svete a predstavuje referenčný príklad prepojenia energetickej efektívnosti, digitalizácie a inteligentného riadenia budov. Projekt je často označovaný za jednu z technologicky najvyspelejších kancelárskych budov súčasnosti a demonštruje možnosti využitia moderných digitálnych technológií pri optimalizácii energetickej hospodárnosti administratívnych objektov. Budova sa nachádza v obchodnej štvrti Zuidas v Amsterdame, ktorá patrí medzi najvýznamnejšie administratívne a finančné centrá Holandska. Lokalita bola zvolená s dôrazom na vysokú dostupnosť verejnej dopravy, kvalitnú mestskú infraštruktúru a podporu udržateľnej mobility. Projekt je zároveň súčasťou širšej transformácie Amsterdamu smerom k inteligentnému a klimaticky odolnému mestu. The Edge bola dokončená v roku 2015 ako moderná administratívna budova využívajúca najnovšie digitálne technológie na riadenie prevádzky. Základné údaje o objekte sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 25).

**Tabuľka 25** Základné údaje o budove The Edge

| Parameter  | Hodnota                |
|------------|------------------------|
| Lokalita   | Amsterdam, Holandsko   |
| Dokončenie | 2015                   |
| Typ budovy | Administratívna budova |

Významným znakom budovy je rozsiahla sieť senzorov monitorujúcich teplotu, intenzitu denného osvetlenia, obsadenosť pracovísk, kvalitu vnútorného ovzdušia a spotrebu energie. Získané údaje sú v reálnom čase spracovávané centrálnym systémom riadenia, ktorý optimalizuje prevádzku technických zariadení s cieľom minimalizovať spotrebu energie pri zachovaní vysokého komfortu používateľov. Energetická koncepcia budovy je založená na využívaní obnoviteľných zdrojov energie, vysokoúčinných technických systémov a inteligentného energetického manažmentu. Kombinácia fotovoltických panelov, tepelných čerpadiel, LED osvetlenia a pokročilého systému Building Management System umožňuje dosahovať mimoriadne nízku energetickú náročnosť prevádzky. Projekt získal certifikáciu BREEAM Outstanding, ktorá potvrdzuje vysokú úroveň energetickej efektívnosti, environmentálnej výkonnosti, hospodárenia so zdrojmi aj kvality vnútorného prostredia. The Edge sa tak zaradila medzi najvyššie hodnotené administratívne budovy na svete (Obrázok 45).

### 9.6 The Edge (Holandsko)

#### 9.6.1 Charakteristika

**Lokalita:**  
Amsterdam, Holandsko

**Dokončenie:**  
2015

The Edge je považovaná za jednu z najinteligentnejších a najudržateľnejších kancelárskych budov na svete. Nachádza sa v obchodnej štvrti Zuidas v Amsterdame a slúži ako sídlo spoločnosti Deloitte.

Budova bola navrhnutá s cieľom dosiahnuť maximálnu energetickú efektívnosť, zdravé pracovné prostredie a vysoký komfort používateľov vďaka pokročilým digitálnym technológiám a inovatívnym riešeniam.

Vďaka kombinácii inteligentného riadenia, udržateľných technológií a architektonického riešenia získala budova najvyššie hodnotenia v oblasti environmentálnych certifikácií, vrátane BREEAM Outstanding.

**KLÚČOVÉ INFORMÁCIE**

- Najinteligentnejšia kancelárska budova na svete
- Energeticky pozitívna budova
- Vysoký komfort a zdravé pracovné prostredie
- Inteligentné technológie a senzory
- Certifikácia: BREEAM Outstanding (98,36 %)

**ENERGETICKÁ EFEKTÍVNOSŤ**

Budova vyrába viac energie, než spotrebuje.

**NÍZKE EMISIE**

Minimalizácia emisií a ekologická prevádzka.

**INTELIGENTNÉ RIADENIE**

Senzory optimalizujú osvetlenie, teplotu a spotrebu energie.

**UDRŽATEĽNOSŤ**

Využívanie obnoviteľných zdrojov a efektívne hospodárenie s vodou.

**KOMFORT**

Zdravé vnútorné prostredie s dostatkom denného svetla a kvalitným vzduchom.

**Obrázok 45** The Edge (Holandsko)

## Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

The Edge predstavuje významný príklad využitia inteligentných technológií v nízkouhlíkovom stavebníctve. Projekt demonštruje, že kombinácia energeticky efektívnej architektúry, obnoviteľných zdrojov energie a digitálneho riadenia prevádzky umožňuje výrazne znížiť spotrebu energie aj environmentálne dopady administratívnych budov.

## 9.6.2 Inteligentné technológie

Jedným z hlavných dôvodov medzinárodného významu budovy The Edge je rozsiahla implementácia inteligentných technológií založených na princípoch Smart Building. Všetky technické zariadenia budovy sú navzájom prepojené prostredníctvom digitálnej infraštruktúry a riadené na základe priebežného zberu a vyhodnocovania prevádzkových údajov. Cieľom systému je minimalizovať spotrebu energie, optimalizovať využitie priestorov a zabezpečiť vysoký komfort používateľov.

Budova využíva viac ako 28 000 senzorov, ktoré nepretržite monitorujú teplotu, relatívnu vlhkosť vzduchu, intenzitu osvetlenia, obsadenosť pracovných miest, kvalitu vnútorného ovzdušia a spotrebu energie. Údaje zo senzorov sú spracovávané centrálnym systémom Building Management System, ktorý na ich základe automaticky upravuje prevádzku vykurovania, chladenia, vetrania a osvetlenia. Takýto spôsob riadenia umožňuje veľmi presne reagovať na aktuálne prevádzkové podmienky a minimalizovať energetické straty.

Významnú úlohu zohráva inteligentný systém osvetlenia založený na LED svietidlách prepojených so senzormi prítomnosti osôb a intenzity denného svetla. Osvetlenie sa automaticky prispôsobuje aktuálnym svetelným podmienkam a obsadenosti jednotlivých priestorov, čím sa významne znižuje spotreba elektrickej energie pri zachovaní vysokého vizuálneho komfortu.

Dôležitou súčasťou technologickej koncepcie je aj adaptívne riadenie technických zariadení budovy. Building Management System priebežne analyzuje údaje zo senzorov a automaticky optimalizuje prevádzku vykurovania, chladenia, vzduchotechniky a energetických systémov podľa počtu používateľov, klimatických podmienok, dennej doby a okamžitého energetického zaťaženia budovy. Výsledkom je vysoká energetická efektívnosť bez negatívneho vplyvu na komfort pracovného prostredia.

Projekt zároveň predstavuje ukážku praktického využitia konceptu Internet of Things (IoT) v stavebníctve. Prepojenie tisícov zariadení prostredníctvom digitálnej komunikačnej siete umožňuje automatizáciu prevádzky, kontinuálny zber dát a prediktívne riadenie budovy. Digitalizácia sa tak stáva jedným z hlavných nástrojov zvyšovania energetickej efektívnosti moderných administratívnych budov.

### **Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo**

The Edge potvrdzuje, že budovy budúcnosti budú založené nielen na kvalitnom architektonickom návrhu a obnoviteľných zdrojoch energie, ale aj na inteligentnom využívaní dát. Rozsiahla sieť senzorov, adaptívne riadenie a koncept Internet of Things predstavujú základné prvky moderných inteligentných budov a významne prispievajú k znižovaniu spotreby energie aj prevádzkových emisií.

### **9.6.3 Prevádzkové výsledky**

Prevádzkové výsledky budovy The Edge potvrdzujú, že inteligentné technológie môžu významne zlepšiť energetickú hospodárnosť administratívnych budov. Kombinácia rozsiahlej senzorovej siete, adaptívneho riadenia, obnoviteľných zdrojov energie a kvalitného architektonického návrhu umožnila dosiahnuť mimoriadne priaznivé prevádzkové parametre pri zachovaní vysokého komfortu používateľov.

Významné úspory energie sú dosahované predovšetkým prostredníctvom inteligentného LED osvetlenia, automatického riadenia vykurovania, chladenia a vetrania, efektívneho využívania denného svetla a priebežnej optimalizácie prevádzky technických zariadení. Budova dokáže pružne reagovať na aktuálne využitie jednotlivých priestorov, čím minimalizuje energetické straty a znižuje prevádzkové náklady. Energetická efektívnosť sa priamo premieta aj do nižších emisií skleníkových plynov. Vysoká úroveň digitalizácie umožňuje efektívne využívať obnoviteľné zdroje energie a významne obmedzovať uhlíkovú stopu prevádzky budovy. Súčasne sa zvyšuje kvalita pracovného prostredia prostredníctvom kvalitného denného osvetlenia, stabilnej vnútornej teploty, vysokej kvality vnútorného vzduchu a možnosti individuálneho nastavenia pracovného prostredia. Významným ekonomickým prínosom projektu sú aj nižšie prevádzkové náklady, efektívnejšia správa budovy a vyššia trhová



hodnota nehnuteľnosti. Projekt tak potvrdzuje, že vysoká energetická efektívnosť a inteligentné riadenie predstavujú nielen environmentálny, ale aj ekonomický prínos.

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

The Edge patrí medzi najvýznamnejšie referenčné projekty inteligentných administratívnych budov na svete. Projekt preukazuje, že digitalizácia, inteligentný energetický manažment a efektívne využívanie prevádzkových dát predstavujú jeden z rozhodujúcich smerov ďalšieho rozvoja nízkouhlíkového stavebníctva. Kombinácia inteligentných technológií, obnoviteľných zdrojov energie a kvalitného architektonického návrhu vytvára model budovy schopnej zabezpečiť vysokú energetickú efektívnosť, nízke prevádzkové emisie a kvalitné pracovné prostredie, ktoré bude charakteristické pre administratívne budovy budúcnosti.

## 9.6 Slovenské príklady

### 9.7.1 Administratívna budova Einpark

Administratívna budova Einpark patrí medzi najvýznamnejšie príklady moderného nízkouhlíkového stavebníctva na Slovensku. Projekt predstavuje súčasný prístup k navrhovaniu administratívnych budov založený na kombinácii vysokej energetickej efektívnosti, inteligentných technológií a kvalitného vnútorného prostredia pre používateľov. Realizácia zároveň dokumentuje postupnú implementáciu princípov udržateľného stavebníctva do komerčných budov na Slovensku. Budova sa nachádza v Bratislave, v dynamicky sa rozvíjajúcej administratívnej a rezidenčnej zóne, ktorá poskytuje dobré podmienky pre uplatňovanie princípov udržateľnej mobility a efektívneho využívania existujúcej mestskej infraštruktúry. Lokalita zabezpečuje kvalitnú dostupnosť verejnej dopravy, peších trás aj cyklistickej infraštruktúry, čím prispieva k znižovaniu environmentálnych dopadov dopravy spojenej s prevádzkou budovy. Základné údaje o objekte sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 26).

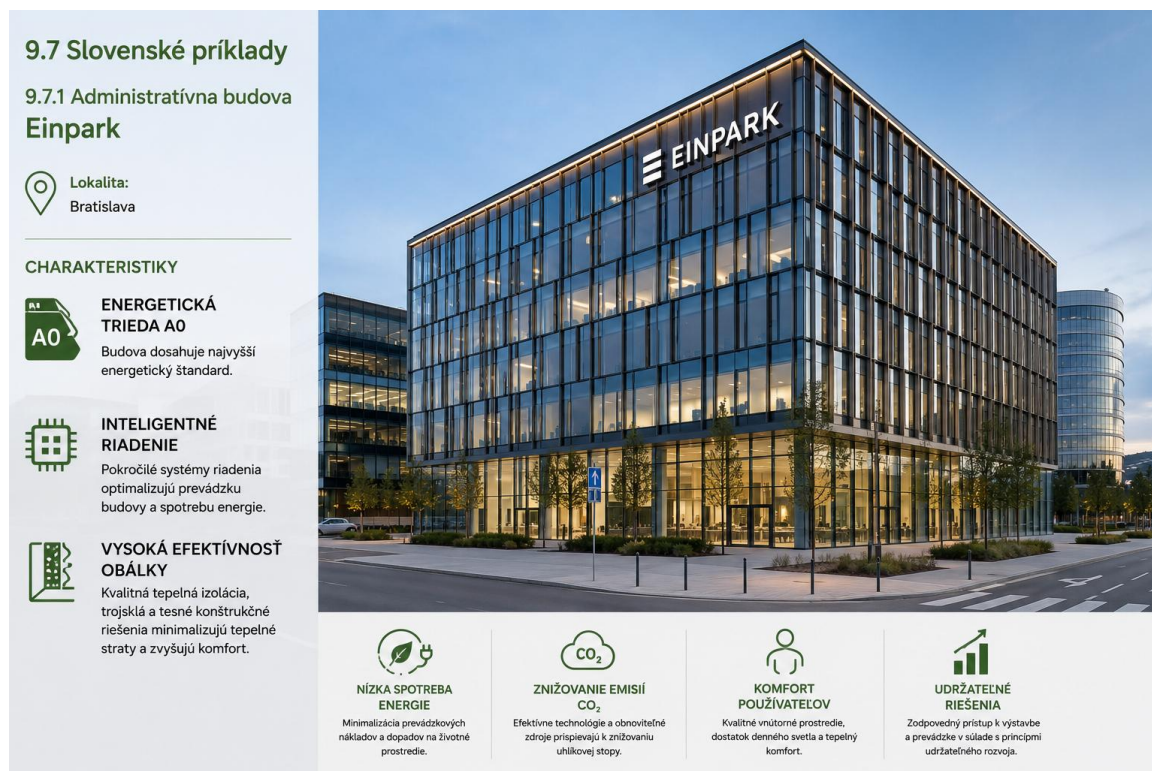
**Tabuľka 26** Základné údaje o budove Einpark

| Parameter            | Hodnota                |
|----------------------|------------------------|
| Lokalita             | Bratislava             |
| Typ budovy           | Administratívna budova |
| Energetický štandard | A0                     |

Budova spĺňa požiadavky energetickej triedy A0, ktorá predstavuje najvyšší energetický štandard pre nové budovy podľa platnej slovenskej legislatívy. Dosiahnutie tejto úrovne bolo umožnené kombináciou kvalitnej tepelnej ochrany obálky budovy, vysokoúčinných technických zariadení, využívania obnoviteľných zdrojov energie a inteligentného riadenia prevádzky. Výsledkom je veľmi nízka potreba primárnej energie a výrazné zníženie prevádzkových nákladov v porovnaní s konvenčnými administratívnymi budovami.

Významnou súčasťou energetickej koncepcie objektu je inteligentný systém riadenia budovy (Building Management System – BMS), ktorý zabezpečuje koordinovanú prevádzku vykurovania, chladenia, osvetlenia a ďalších technických zariadení. Systém priebežne monitoruje spotrebu energií a prevádzkové parametre budovy, pričom na základe získaných údajov automaticky optimalizuje činnosť jednotlivých technológií. Takýto spôsob riadenia umožňuje znižovať energetické straty pri súčasnom zachovaní vysokej úrovne komfortu používateľov. Dôležitým prvkom energetickej stratégie je aj kvalitná obálka budovy, ktorá pozostáva z vysokoúčinnnej tepelnej izolácie, moderných fasádnych systémov, energeticky efektívnych transparentných konštrukcií, eliminácie tepelných mostov a vysokej vzduchotesnosti. Tieto opatrenia významne obmedzujú tepelné straty počas vykurovacieho obdobia a zároveň znižujú riziko prehrievania interiéru počas letných mesiacov. Výsledkom je stabilnejšie vnútorné prostredie a nižšia potreba energie na vykurovanie aj chladenie.

Environmentálny význam projektu spočíva predovšetkým v znižovaní spotreby energie, obmedzovaní prevádzkových emisií oxidu uhličitého a vytváraní kvalitného pracovného prostredia. Projekt zároveň podporuje princípy udržateľného rozvoja mestského prostredia a potvrdzuje, že moderné administratívne budovy môžu spĺňať vysoké požiadavky na energetickú hospodárnosť bez negatívneho vplyvu na komfort používateľov (Obrázok 46).



**Obrázok 46** Administratívna budova Einpark

### Význam pre slovenské nízkouhlíkové stavebníctvo

Administratívna budova Einpark predstavuje významný referenčný projekt demonštrujúci uplatnenie princípov nízkouhlíkového stavebníctva v podmienkach Slovenskej republiky. Kombinácia kvalitného architektonického návrhu, energeticky efektívnej obálky budovy, inteligentných systémov riadenia a moderných technických zariadení potvrdzuje, že aj slovenské administratívne budovy dokážu spĺňať vysoké požiadavky na energetickú hospodárnosť a environmentálnu výkonnosť. Projekt zároveň dokumentuje postupný prechod slovenského stavebného sektora smerom k budovám s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a vytvára predpoklady pre ďalší rozvoj klimaticky udržateľného stavebníctva.

### 9.7.2 Ekocentrum SOSNA

Ekocentrum SOSNA patrí medzi najvýznamnejšie príklady ekologického a nízkouhlíkového stavebníctva na Slovensku. Nachádza sa v obci Krásny Brod a slúži ako vzdelávacie, environmentálne a komunitné centrum zamerané na propagáciu princípov trvalo udržateľného rozvoja, ekologického hospodárenia a environmentálnej výchovy. Projekt predstavuje praktickú ukážku možností kombinácie tradičných stavebných postupov s modernými ekologickými technológiami a zároveň demonštruje využitie lokálnych prírodných zdrojov pri navrhovaní budov s minimálnym environmentálnym dopadom. Na rozdiel od väčšiny moderných administratívnych budov je hlavná pozornosť venovaná využívaniu prírodných stavebných materiálov, obnoviteľných zdrojov energie a jednoduchých technických riešení s nízkou energetickou náročnosťou. Projekt sa preto stal významným referenčným príkladom ekologickej architektúry realizovanej v podmienkach Slovenskej republiky. Lokalita centra

poskytuje vhodné podmienky na praktickú demonštráciu ekologických stavebných postupov a súčasne vytvára priestor na odborné vzdelávanie verejnosti v oblasti ochrany životného prostredia, udržateľného stavebníctva a klimatickej adaptácie.

### **Architektonická a environmentálna koncepcia**

Jedným zo základných princípov projektu bolo maximálne využitie prírodných a lokálne dostupných stavebných materiálov. Pri realizácii objektov sa uplatnilo drevo, hlina, slama a ďalšie prírodné izolačné materiály, ktoré sa vyznačujú nízkou energetickou náročnosťou výroby, nízkou uhlíkovou stopou a priaznivými tepelnoizolačnými vlastnosťami. Významným prínosom týchto materiálov je aj schopnosť vytvárať zdravú vnútornú mikroklimu a podporovať princípy obehového hospodárstva prostredníctvom využívania obnoviteľných a recyklovateľných surovín. Energetická koncepcia centra je založená na využívaní obnoviteľných zdrojov energie. V jednotlivých objektoch sa využívajú najmä solárne termické systémy, fotovoltické panely, vykurovanie biomasou a ďalšie nízkoenergetické vykurovacie technológie. Tieto riešenia umožňujú významne obmedzovať spotrebu fosílnych palív, znižovať emisie oxidu uhličitého a zvyšovať energetickú sebestačnosť centra. Projekt tak predstavuje praktický príklad využitia obnoviteľných zdrojov energie vo vidieckom prostredí. Významnou súčasťou environmentálnej stratégie je aj udržateľné hospodárenie s vodou. Objekt využíva zber dažďovej vody, prirodzené vsakovanie zrážkových vôd, opatrenia na znižovanie spotreby pitnej vody a environmentálne šetrné sanitárne systémy. Tieto riešenia prispievajú k ochrane vodných zdrojov, znižujú prevádzkové náklady a podporujú prirodzený kolobeh vody v krajine. Projekt zároveň demonštruje možnosti adaptácie budov na meniace sa klimatické podmienky.

### **Vzdelávací význam**

Popri samotnej prevádzke ekologickej budovy plní Ekocentrum SOSNA významnú vzdelávaciu funkciu. Slúži ako centrum environmentálnej výchovy, miesto odborných školení a praktických ukážok ekologických technológií, pričom zároveň vytvára priestor pre komunitné aktivity zamerané na podporu udržateľného rozvoja. Návštevníci majú možnosť oboznámiť sa s princípmi ekologického stavebníctva priamo v reálnych prevádzkových podmienkach, čo významne podporuje šírenie poznatkov o nízkouhlíkovom stavebníctve.

### **Význam pre slovenské nízkouhlíkové stavebníctvo**

Ekocentrum SOSNA predstavuje významný slovenský príklad ekologickej architektúry založenej na využívaní prírodných stavebných materiálov, obnoviteľných zdrojov energie a udržateľného hospodárenia s vodou. Projekt potvrdzuje, že nízkouhlíkové stavebníctvo nemusí byť založené výlučne na technologicky náročných riešeniach, ale môže úspešne využívať aj tradičné materiály a jednoduché princípy ekologického navrhovania. Vďaka svojej demonštračnej a vzdelávacej funkcii zohráva významnú úlohu pri rozširovaní poznatkov o udržateľnom stavebníctve a predstavuje cenný príklad dobrej praxe v podmienkach Slovenskej republiky (Obrázok 47).



**Obrázok 47** Ekocentrum SOSNA

### Význam pre nízkouhlíkové budovy

Ekocentrum SOSNA predstavuje významný slovenský príklad ekologickej architektúry založenej na využívaní prírodných materiálov, obnoviteľných zdrojov energie a šetnom hospodárení s vodou. Projekt dokazuje, že nízkouhlíkové stavebníctvo nemusí byť založené iba na pokročilých technológiách, ale môže efektívne využívať aj tradičné materiály a jednoduché ekologické riešenia. Vďaka svojej vzdelávacej a demonstračnej funkcii zohráva dôležitú úlohu pri šírení princípov udržateľného rozvoja a predstavuje cenný príklad dobrej praxe v podmienkach Slovenskej republiky.

### 9.7.3 Pasívne rodinné domy

Významnú súčasť rozvoja nízkouhlíkového stavebníctva na Slovensku predstavujú certifikované pasívne rodinné domy. V posledných rokoch bolo realizovaných viacero úspešných projektov, ktoré potvrdili, že princípy pasívneho štandardu možno efektívne uplatniť aj v klimatických podmienkach Slovenskej republiky. Tieto budovy sa vyznačujú mimoriadne nízkou potrebou energie na vykurovanie, vysokou kvalitou vnútorného prostredia a minimálnou uhlíkovou stopou, pričom ich energetické parametre sú porovnateľné s najlepšimi európskymi realizáciami. Energetická koncepcia slovenských pasívnych rodinných domov je založená na synergickom pôsobení kvalitnej obálky budovy, vysokoúčinnnej vzduchotesnosti, riadeného vetrania so spätným získavaním tepla a využívania obnoviteľných zdrojov energie. V praxi sa najčastejšie uplatňujú tepelné čerpadlá, rekuperačné jednotky a fotovoltaické systémy, ktoré spoločne zabezpečujú veľmi nízku potrebu dodávanej energie a vysokú energetickú sebestačnosť objektov. Tepelné čerpadlá predstavujú najrozšírenejší zdroj tepla v slovenských pasívnych domoch. Najčastejšie sa využívajú systémy typu vzduch – voda a zem – voda, ktoré sa vyznačujú vysokou energetickou účinnosťou, nízkou spotrebou primárnej energie a minimálnymi prevádzkovými emisiami skleníkových plynov. Keďže pasívne budovy



majú veľmi nízku potrebu tepla na vykurovanie, postačujú zariadenia s relatívne nízkym výkonom, čo priaznivo ovplyvňuje investičné aj prevádzkové náklady systému.

Neoddeliteľnou súčasťou pasívnych domov je systém riadeného vetrania so spätným získavaním tepla. Rekuperácia zabezpečuje nepretržitú výmenu vzduchu pri zachovaní vysokej kvality vnútorného prostredia a zároveň minimalizuje tepelné straty spôsobené vetraním. Moderné rekuperačné jednotky dosahujú účinnosť spätného získavania tepla približne 80 až 95 %, čím významne znižujú potrebu energie na vykurovanie počas zimného obdobia a prispievajú k vytváraniu stabilného a zdravého vnútorného prostredia.

Významným prvkom energetickej koncepcie sa stávajú aj fotovoltické systémy, ktoré umožňujú vyrábať elektrickú energiu priamo v mieste spotreby. Vyrobená elektrina pokrýva časť prevádzkových potrieb budovy, znižuje odber elektriny z distribučnej siete a prispieva k zvyšovaniu energetickej sebestačnosti domácností. V kombinácii s tepelnými čerpadlami vytvára fotovoltika efektívny systém využívania obnoviteľných zdrojov energie, ktorý približuje pasívne rodinné domy k štandardu budov s nulovými emisiami (Zero Emission Buildings – ZEB). Vďaka uvedeným opatreniam dosahujú slovenské pasívne rodinné domy potrebu energie na vykurovanie približne 15 kWh/(m<sup>2</sup>·rok), čo predstavuje niekoľkonásobne nižšiu hodnotu v porovnaní s konvenčnými rodinnými domami realizovanými podľa starších stavebných štandardov. Výsledkom sú veľmi nízke prevádzkové náklady, vysoký tepelný komfort, kvalitné vnútorné prostredie a výrazne nižšie emisie skleníkových plynov počas celej prevádzky budovy. Ekonomické prínosy pasívnych rodinných domov sa prejavujú predovšetkým vo výraznom znižovaní nákladov na energiu, vyššej energetickej nezávislosti a rastúcej trhovej hodnote nehnuteľnosti. Súčasne vytvárajú zdravšie vnútorné prostredie a významne prispievajú k plneniu cieľov dekarbonizácie stavebného sektora.

### Význam pre slovenské nízkouhlíkové stavebníctvo

Rozvoj pasívnych rodinných domov na Slovensku potvrdzuje, že princípy nízkouhlíkového stavebníctva možno úspešne uplatňovať aj v klimatických podmienkach strednej Európy. Kombinácia kvalitnej obálky budovy, tepelných čerpadiel, riadeného vetrania s rekuperáciou tepla a fotovoltických systémov umožňuje dosahovať veľmi vysokú energetickú efektívnosť pri zachovaní vysokej úrovne komfortu bývania. Tieto realizácie predstavujú významný krok smerom k budovám s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budovám s nulovými emisiami (ZEB) a zároveň dokumentujú rastúcu úroveň slovenského nízkouhlíkového stavebníctva.

## 9.7 Porovnanie analyzovaných budov

Predchádzajúce kapitoly predstavili významné príklady nízkouhlíkových budov realizovaných v rôznych klimatických, geografických a spoločenských podmienkach. Napriek rozdielnemu funkčnému využitiu, architektonickému riešeniu a technickým koncepciám všetky analyzované projekty sledujú spoločný cieľ – minimalizovať spotrebu energie, znižovať emisie skleníkových plynov a vytvárať budovy s vysokou environmentálnou výkonnosťou počas celého životného cyklu. Základné charakteristiky jednotlivých projektov sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 27).

**Tabuľka 27** Porovnanie projektov

| Projekt                | Krajina            | Typ budovy  |
|------------------------|--------------------|-------------|
| Powerhouse Brattørkaia | Nórsko             | kancelárska |
| Bosco Verticale        | Taliansko          | obytná      |
| BedZED                 | Spojené kráľovstvo | obytná      |
| Bullitt Center         | USA                | kancelárska |
| The Edge               | Holandsko          | kancelárska |

Jednotlivé projekty reprezentujú odlišné prístupy k dosahovaniu udržateľnosti. Powerhouse Brattørkaia demonštruje možnosti navrhovania energeticky pozitívnych administratívnych budov, ktoré počas svojho životného cyklu vyrobia viac energie, než spotrebujú. Kľúčovú úlohu

zohráva rozsiahla integrácia fotovoltických panelov, využitie morskej vody ako zdroja energie pre tepelné čerpadlá a inteligentný energetický manažment. Naopak Bosco Verticale predstavuje príklad biologicky orientovanej architektúry, ktorej dominantným prínosom je integrácia vegetácie do obálky budovy. Projekt významne podporuje biodiverzitu, zlepšuje kvalitu ovzdušia a zmierňuje efekt mestského tepelného ostrova prostredníctvom rozsiahlych vegetačných systémov. Projekt BedZED patrí medzi priekopnícke realizácie udržateľného bývania. Jeho význam spočíva predovšetkým v uplatnení pasívneho architektonického návrhu, využívaní obnoviteľných zdrojov energie, podpore ekologickej mobility a vytváraní komunitného spôsobu bývania s nízkou uhlíkovou stopou. Bullitt Center predstavuje referenčný príklad administratívnej budovy navrhutej podľa princípov energetickej sebestačnosti a komplexnej environmentálnej udržateľnosti. Charakteristické je využitie fotovoltických panelov pokrývajúcich celkovú spotrebu elektrickej energie, systému zberu dažďovej vody a kompostovacích toaliet, ktoré významne znižujú spotrebu pitnej vody. Významným predstaviteľom inteligentných administratívnych budov je The Edge, ktorého dominantnou charakteristikou je rozsiahla digitalizácia prevádzky. Využitie viac ako 28 000 senzorov, inteligentného osvetlenia a adaptívneho riadenia technických zariadení umožňuje priebežne optimalizovať spotrebu energie a zvyšovať komfort používateľov.

### Spoločné charakteristiky projektov

Komparatívna analýza ukazuje, že napriek rozdielnym architektonickým riešeniam možno identifikovať viacero spoločných znakov charakteristických pre všetky analyzované budovy. Patrí medzi ne predovšetkým dôraz na vysokú energetickú efektívnosť, rozsiahle využívanie obnoviteľných zdrojov energie, minimalizáciu prevádzkových emisií oxidu uhličitého, implementáciu inteligentných technológií riadenia a vytváranie kvalitného vnútorného prostredia. Spoločným menovateľom všetkých projektov je zároveň uplatnenie princípov integrovaného navrhovania, pri ktorom architektonické, technické a environmentálne riešenia tvoria jeden vzájomne prepojený systém.

### Rozdiely medzi projektmi

Hoci všetky analyzované budovy sledujú spoločný cieľ znižovania environmentálnych dopadov, ich hlavné prínosy sa navzájom líšia. Prehľad dominantných charakteristík jednotlivých projektov uvádza tabuľka (Tabuľka 28).

**Tabuľka 28** Dominantné prínosy jednotlivých projektov

| Projekt                | Dominantný prínos        |
|------------------------|--------------------------|
| Powerhouse Brattørkaia | energetická pozitívnosť  |
| Bosco Verticale        | biodiverzita a vegetácia |
| BedZED                 | udržateľné bývanie       |
| Bullitt Center         | energetická sebestačnosť |

Porovnanie potvrdzuje, že nízkouhlíkové stavebníctvo nemožno redukovať na jediný technologický alebo architektonický prístup. Výsledná environmentálna výkonnosť budovy závisí od vhodnej kombinácie pasívnych architektonických opatrení, efektívnych technických zariadení, obnoviteľných zdrojov energie, inteligentného riadenia a rešpektovania miestnych klimatických a prevádzkových podmienok.

### Poučenia pre budovy budúcnosti

Analyzované prípadové štúdie jednoznačne dokazujú, že úspešné nízkouhlíkové budovy sú výsledkom integrovaného prístupu k navrhovaniu, pri ktorom architektonická koncepcia, energetická efektívnosť, obnoviteľné zdroje energie, inteligentné technológie a environmentálne zodpovedný výber stavebných materiálov vytvárajú jeden funkčný celok. Hoci jednotlivé projekty využívajú rozdielne technické riešenia, všetky potvrdzujú význam komplexného hodnotenia budovy počas celého jej životného cyklu.

Skúsenosti získané z analyzovaných realizácií predstavujú cenný zdroj poznatkov pre ďalší rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva na Slovensku aj v zahraničí. Súčasne potvrdzujú, že budovy s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budovy s nulovými emisiami (ZEB) a budúce energeticky pozitívne budovy predstavujú realizovateľný smer vývoja moderného stavebníctva a budú zohrávať kľúčovú úlohu pri dosahovaní klimatickej neutrality.

## 9.8 Energetické ukazovatele

Energetická náročnosť budov patrí medzi najdôležitejšie ukazovatele pri hodnotení ich environmentálnej výkonnosti a prevádzkovej efektívnosti. Množstvo energie spotrebovanej na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody a osvetlenie významne ovplyvňuje prevádzkové náklady aj emisie skleníkových plynov. Porovnanie energetických ukazovateľov analyzovaných budov umožňuje objektívne posúdiť prínosy nízkouhlíkových technológií a pasívnych princípov navrhovania. Prehľad vybraných hodnôt je uvedený v nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 29).

**Tabuľka 29** Spotreby energií jednotlivých budov

| Budova                 | Spotreba energie (kWh/m <sup>2</sup> /rok) |
|------------------------|--------------------------------------------|
| Konvenčná budova       | 150 – 250                                  |
| BedZED                 | 80                                         |
| Powerhouse Brattørkaia | 21                                         |
| Bullitt Center         | ~30                                        |
| Pasívny dom            | 15 – 30                                    |

Z porovnania vyplýva výrazný rozdiel medzi konvenčnými budovami a modernými nízkouhlíkovými stavbami. Bežné administratívne alebo obytné budovy postavené podľa starších stavebných štandardov dosahujú spotrebu energie približne 150 až 250 kWh/(m<sup>2</sup>·rok). Vysoká energetická náročnosť je spôsobená predovšetkým nedostatočnou tepelnou ochranou obálky budovy, vysokými tepelnými stratami, nižšou účinnosťou technických zariadení a absenciou obnoviteľných zdrojov energie. Výsledkom sú vyššie prevádzkové náklady aj vyššie emisie oxidu uhličitého.

Významné zlepšenie predstavuje projekt BedZED, ktorého potreba energie dosahuje približne 80 kWh/(m<sup>2</sup>·rok). Takmer dvojnásobné zníženie spotreby v porovnaní s konvenčnými budovami bolo dosiahnuté kombináciou pasívneho architektonického návrhu, kvalitnej tepelnej izolácie, riadeného vetrania so spätným získavaním tepla a využívania obnoviteľných zdrojov energie. Projekt tak preukázal možnosti výrazného znižovania energetickej náročnosti obytných budov už začiatkom 21. storočia.

Najlepšie výsledky spomedzi analyzovaných administratívnych budov dosahuje Powerhouse Brattørkaia, ktorej spotreba energie predstavuje približne 21 kWh/(m<sup>2</sup>·rok). Takto priaznivé parametre sú výsledkom energeticky pozitívnej koncepcie budovy založenej na rozsiahlej integrácii fotovoltických panelov, využívaní morskej vody ako nízkopotenciálneho zdroja energie pre tepelné čerpadlá, vysokoúčinnou obálkou budovy a inteligentnom systéme riadenia prevádzky. Projekt predstavuje referenčný príklad budovy schopnej dosahovať mimoriadne nízku energetickú náročnosť aj v náročných klimatických podmienkach severnej Európy.

Veľmi priaznivé energetické parametre vykazuje aj Bullitt Center, ktorého spotreba energie sa pohybuje približne na úrovni 30 kWh/(m<sup>2</sup>·rok). K dosiahnutiu tejto hodnoty prispieva kombinácia fotovoltických panelov, kvalitnej obálky budovy, inteligentného riadenia technických zariadení a efektívneho hospodárenia s vodou. Projekt potvrdzuje, že administratívne budovy môžu dosahovať veľmi nízku energetickú náročnosť pri zachovaní vysokej kvality pracovného prostredia.

Najnižšiu potrebu energie na vykurovanie dosahujú pasívne rodinné domy, ktorých spotreba sa pohybuje približne v rozsahu 15 až 30 kWh/(m<sup>2</sup>·rok). Tieto výsledky sú dosahované prostredníctvom kvalitnej tepelnej ochrany obálky budovy, vysokej vzduchotesnosti, riadeného vetrania s rekuperáciou tepla a efektívneho využívania pasívnych solárnych ziskov. V

kombinácii s tepelnými čerpadlami a fotovoltickými systémami sa mnohé z týchto budov približujú štandardu budov s nulovými emisiami.

### Diskusia výsledkov

Komparatívna analýza energetických ukazovateľov jednoznačne potvrdzuje, že moderné nízkouhlíkové budovy dosahujú niekoľkonásobne nižšiu spotrebu energie než konvenčné stavby. Najvýznamnejší podiel na tomto zlepšení majú pasívne architektonické princípy, kvalitná tepelná ochrana obálky budovy, využívanie obnoviteľných zdrojov energie a inteligentné systémy riadenia technických zariadení. Kombinácia uvedených opatrení umožňuje významne znižovať potrebu energie dodávanej z externých zdrojov a súčasne obmedzovať prevádzkové emisie skleníkových plynov.

Z environmentálneho hľadiska sa nižšia spotreba energie priamo premieta do redukcie emisií oxidu uhličitého, nižších prevádzkových nákladov, vyššej energetickej bezpečnosti a menšej závislosti od fosílnych palív. Energetická efektívnosť sa preto stáva jedným z rozhodujúcich nástrojov dekarbonizácie stavebného sektora a významným predpokladom dosiahnutia klimateckej neutrality.

### Význam pre budovy budúcnosti

Analyzované projekty jednoznačne dokazujú, že moderné nízkouhlíkové budovy môžu dosahovať spotrebu energie niekoľkonásobne nižšiu než tradičné stavby. Súčasne potvrdzujú význam kvalitného architektonického návrhu, vysokoúčinnnej obálky budovy, obnoviteľných zdrojov energie a inteligentných systémov riadenia pri dosahovaní vysokej energetickej efektívnosti. Energetické ukazovatele prezentované v tejto kapitole naznačujú smer ďalšieho vývoja stavebného sektora a potvrdzujú, že budovy s veľmi nízkou spotrebou energie sa postupne stávajú novým štandardom udržateľného a klimaticky neutrálneho stavebníctva.

## 9.9 Uhlíkové ukazovatele

Popri energetickej hospodárnosti predstavuje uhlíková stopa jeden z najvýznamnejších ukazovateľov environmentálnej výkonnosti budov. Vyjadruje celkové množstvo emisií skleníkových plynov vznikajúcich počas životného cyklu stavby, od výroby stavebných materiálov cez výstavbu a prevádzku až po údržbu, obnovu a ukončenie životnosti objektu. Na rozdiel od hodnotenia založeného výlučne na spotrebe energie poskytuje komplexnejší pohľad na environmentálne dopady budovy a umožňuje objektívne posudzovať jej príspevok ku klimatickým zmenám. V súčasnom nízkouhlíkovom stavebníctve sa čoraz väčší dôraz kladie nielen na znižovanie prevádzkovej spotreby energie, ale aj na minimalizáciu emisií spojených s výrobou stavebných materiálov a celkovým životným cyklom budovy. Tento prístup vychádza z metodiky Whole Life Carbon (WLC), ktorá integruje hodnotenie zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) a prevádzkového uhlíka (Operational Carbon). Orientačné hodnoty uhlíkovej stopy vybraných typov budov sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 30).

**Tabuľka 30** Orientačné hodnoty uhlíkovej stopy vybraných typov budov

| Budova                 | Uhlíková stopa (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|------------------------------------------------------|
| Bežná budova           | 800 – 1200                                           |
| Pasívna budova         | 300 – 600                                            |
| Net Zero Building      | 150 – 350                                            |
| Powerhouse Brattørkaia | < 150                                                |

Z porovnania vyplýva, že tradičné budovy postavené podľa starších stavebných štandardov dosahujú uhlíkovú stopu približne 800 až 1 200 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Takéto hodnoty sú dôsledkom vysokej spotreby energie počas prevádzky, využívania fosílnych palív, energeticke náročných stavebných materiálov a nižšej energetickej efektívnosti technických systémov. Konvenčné budovy preto predstavujú významný zdroj emisií skleníkových plynov v sektore stavebníctva.



Výrazné zníženie uhlíkovej stopy dosahujú pasívne budovy, ktorých celkové emisie sa pohybujú približne v rozsahu 300 až 600 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Redukcia emisií je výsledkom veľmi nízkej potreby energie na vykurovanie, kvalitnej tepelnej ochrany obálky budovy, vysokej vzduchotesnosti, riadeného vetrania so spätným získavaním tepla a využívania energeticky efektívnych technických zariadení. Pasívny štandard tak predstavuje významný krok smerom k dekarbonizácii sektora budov.

Ďalším stupňom vývoja sú budovy s nulovou energetickou bilanciou (Net Zero Buildings), ktorých uhlíková stopa dosahuje približne 150 až 350 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Takéto výsledky sú dosahované kombináciou minimálnej potreby energie, rozsiahleho využívania obnoviteľných zdrojov energie, inteligentných systémov riadenia budovy a aplikácie nízkouhlíkových stavebných materiálov. Net Zero Buildings predstavujú významný nástroj na dosahovanie klimatekovej neutrality v stavebnom sektore.

Najpriaznivejšie výsledky spomedzi analyzovaných prípadových štúdií dosahuje Powerhouse Brattørkaia, ktorej uhlíková stopa je nižšia ako 150 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Mimoriadne nízka hodnota bola dosiahnutá vďaka energeticky pozitívnej koncepcii budovy, rozsiahlej integrácii fotovoltických panelov, využívaniu obnoviteľných zdrojov energie a systematickej optimalizácii stavebných materiálov počas celého životného cyklu objektu. Projekt predstavuje jeden z najpokročilejších príkladov nízkouhlíkoveho stavebníctva na medzinárodnej úrovni.

### **Diskusia výsledkov**

Porovnanie uhlíkových ukazovateľov jednoznačne potvrdzuje, že moderné nízkouhlíkové budovy dokážu výrazne redukovať emisie skleníkových plynov v porovnaní s konvenčnými stavbami. Zatiaľ čo tradičné budovy produkujú vysoké emisie počas prevádzky aj výstavby, pasívne budovy, Net Zero Buildings a energeticky pozitívne budovy systematicky znižujú emisie prostredníctvom kvalitného architektonického návrhu, efektívnych technických systémov, obnoviteľných zdrojov energie a zodpovedného výberu stavebných materiálov.

Výsledky zároveň potvrdzujú, že hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov nemožno obmedziť iba na spotrebu energie počas prevádzky. Rastúci význam nadobúda hodnotenie celého životného cyklu stavby vrátane zabudovaného uhlíka, ktorý môže pri moderných energeticky efektívnych budovách predstavovať významnú časť celkových emisií.

### **Trendy ďalšieho vývoja**

Význam uhlíkových ukazovateľov bude v nasledujúcich rokoch naďalej narastať v súvislosti s implementáciou Európskej zelenej dohody (European Green Deal), smernice EPBD, Taxonómie EÚ a metodiky Whole Life Carbon. Očakáva sa postupné zavádzanie povinného hodnotenia životného cyklu budov (Life Cycle Assessment – LCA), systematické sledovanie zabudovaného uhlíka a sprísňovanie limitov emisií počas celého životného cyklu stavby. Tieto požiadavky budú motivovať projektantov aj investorov k využívaniu nízkouhlíkových materiálov, obnoviteľných zdrojov energie a princípov obehového hospodárstva.

### **Význam pre budovy budúcnosti**

Analýza uhlíkových ukazovateľov potvrdzuje, že budovy s vysokou energetickou efektívnosťou a nízkou uhlíkovou stopou predstavujú základ budúceho rozvoja stavebného sektora. Príklady, ako je Powerhouse Brattørkaia, dokazujú, že aj rozsiahle administratívne budovy môžu dosahovať mimoriadne nízke emisie počas celého životného cyklu. Uhlíkové ukazovatele sa tak stávajú rovnako významnými ako energetické parametre a budú tvoriť jeden zo základných nástrojov hodnotenia budov v podmienkach klimatekovej neutrálneho stavebníctva.

## **9.10 Faktory úspechu**

Komparatívna analýza zahraničných aj slovenských prípadových štúdií ukázala, že napriek rozdielnym architektonickým riešeniam, funkčnému využitiu, klimateckým podmienkam a použitým technológiám možno identifikovať niekoľko spoločných faktorov, ktoré rozhodujúcim spôsobom ovplyvňujú úspešnosť nízkouhlíkových budov. Projekty Powerhouse Brattørkaia,

Bosco Verticale, BedZED, Bullitt Center, The Edge, ako aj slovenské realizácie Einpark, Ekocentrum SOSNA a certifikované pasívne rodinné domy potvrdzujú, že dosiahnutie vysokej energetickej efektívnosti a nízkej uhlíkovej stopy nie je výsledkom implementácie jednej technológie, ale dôsledkom komplexného a integrovaného prístupu k navrhovaniu, výstavbe a prevádzke budov.

Jedným z najvýznamnejších faktorov úspechu je integrovaný proces navrhovania (Integrated Design Process – IDP). Všetky analyzované projekty boli založené na úzkej spolupráci architektov, projektantov technických zariadení budov, energetických špecialistov, statikov, environmentálnych konzultantov a investorov už v počiatočných etapách projektovej prípravy. Takýto prístup umožňuje optimalizovať budovu ako jeden vzájomne prepojený systém a vytvára predpoklady na dosiahnutie výrazne lepších energetických aj environmentálnych parametrov než tradičné sekvenčné projektovanie jednotlivých profesií.

Druhým spoločným znakom úspešných projektov je vysokoúčinná obálka budovy. Bez ohľadu na typ objektu alebo klimatické podmienky tvorila kvalitná tepelná izolácia, eliminácia tepelných mostov, vysokoúčinné transparentné konštrukcie, vysoká vzduchotesnosť a účinná ochrana proti prehrievaniu základ energetickej koncepcie každej analyzovanej budovy. Výsledky prípadových štúdií jednoznačne potvrdzujú, že práve kvalitná obálka predstavuje najúčinnnejšie pasívne opatrenie na znižovanie potreby energie na vykurovanie a chladenie.

Ďalším spoločným faktorom bolo rozsiahle využívanie obnoviteľných zdrojov energie. Väčšina analyzovaných projektov využíva fotovoltické systémy, tepelné čerpadlá alebo ďalšie obnoviteľné zdroje energie na pokrytie významnej časti svojej energetickej spotreby. V prípade projektov Powerhouse Brattørkaia a Bullitt Center sa obnoviteľné zdroje stali základným predpokladom dosiahnutia energetickej sebestačnosti, zatiaľ čo pri slovenských pasívnych rodinných domoch významne prispievajú k znižovaniu prevádzkových nákladov aj emisií skleníkových plynov. Kombinácia veľmi nízkej potreby energie s vlastnou výrobou energie sa ukazuje ako jeden z charakteristických znakov moderných budov s nulovými emisiami.

Významným prvkom moderných nízkouhlíkových budov sa stáva aj inteligentné riadenie prevádzky. Projekty ako The Edge alebo Powerhouse Brattørkaia demonštrujú možnosti využitia Building Management System (BMS), internetu vecí (IoT) a rozsiahlej siete senzorov na priebežnú optimalizáciu spotreby energie. Inteligentné riadenie umožňuje automaticky prispôbovať prevádzku technických zariadení aktuálnym podmienkam, čím sa dosahuje vysoká energetická efektívnosť bez negatívneho vplyvu na komfort používateľov.

Spoločným znakom väčšiny analyzovaných budov je aj získanie medzinárodne uznávaných environmentálnych certifikácií, ako sú BREEAM, LEED, Living Building Challenge alebo DGNB. Certifikačné systémy poskytujú nezávislé hodnotenie environmentálnej kvality budovy a súčasne podporujú systematickú optimalizáciu návrhu z hľadiska energetickej hospodárnosti, hospodárenia s vodou, kvality vnútorného prostredia a využívania stavebných materiálov. Environmentálna certifikácia zároveň zvyšuje dôveryhodnosť projektu, jeho investičnú atraktivitu a uľahčuje prístup k zelenému financovaniu.

Najdôležitejším zistením komparatívnej analýzy je skutočnosť, že jednotlivé faktory úspechu nepôsobia samostatne, ale navzájom sa dopĺňajú. Najlepšie environmentálne aj energetické výsledky dosahujú budovy, ktoré kombinujú kvalitný architektonický návrh, vysokoúčinnú obálku, obnoviteľné zdroje energie, inteligentné technológie riadenia a systematické environmentálne hodnotenie. Práve synergické pôsobenie týchto opatrení umožňuje dosahovať veľmi nízku spotrebu energie, minimálnu uhlíkovú stopu a vysokú kvalitu vnútorného prostredia.

### **Význam pre budovy budúcnosti**

Identifikované faktory úspechu predstavujú základné princípy navrhovania budov budúcnosti. Skúsenosti získané z analyzovaných projektov potvrdzujú, že cesta ku klimaticky neutrálnemu stavebníctvu vedie prostredníctvom integrovaného projektovania, kvalitnej obálky budovy, efektívneho využívania obnoviteľných zdrojov energie, inteligentného riadenia prevádzky a dôsledného environmentálneho hodnotenia počas celého životného cyklu stavby. Tieto princípy budú zohrávať rozhodujúcu úlohu pri ďalšom rozvoji budov s takmer nulovou potrebou

energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a klimaticky neutrálneho stavebníctva v nasledujúcich desaťročiach.

## 9.11 Bariéry realizácie

Napriek preukázaným environmentálnym, energetickým a ekonomickým prínosom nízkouhlíkových budov ich širšiemu uplatňovaniu v stavebnej praxi naďalej bráni viacero technických, ekonomických, legislatívnych a organizačných faktorov. Analýza zahraničných aj slovenských prípadových štúdií ukazuje, že úspešná realizácia nízkouhlíkových projektov nie je podmienená iba dostupnosťou vhodných technológií, ale aj vytvorením priaznivého investičného prostredia, kvalitnej legislatívy a dostatočných odborných kapacít. Mnohé z identifikovaných bariér sa prejavujú už v počiatočných etapách projektovej prípravy a významne ovplyvňujú rozhodovanie investorov, projektantov aj verejných inštitúcií.

Jednou z najvýznamnejších prekážok zostávajú vyššie počiatočné investičné náklady. Moderné nízkouhlíkové budovy si spravidla vyžadujú kvalitnejšiu tepelnú ochranu obálky, vysokoúčinné okná, tepelné čerpadlá, fotovoltické systémy, inteligentné systémy riadenia budovy a v mnohých prípadoch aj environmentálnu certifikáciu. Hoci sa tieto dodatočné investície počas prevádzky spravidla kompenzujú prostredníctvom nižších prevádzkových nákladov a vyššej hodnoty nehnuteľnosti, rozhodovanie investorov je často orientované predovšetkým na minimalizáciu počiatočných investičných nákladov (CAPEX). Nedostatočné zohľadňovanie nákladov počas celého životného cyklu budovy preto predstavuje významnú bariéru širšieho rozvoja nízkouhlíkového stavebníctva.

Ďalším limitujúcim faktorom je nedostatok kvalifikovaných odborníkov. Navrhovanie a realizácia nízkouhlíkových budov si vyžaduje interdisciplinárne znalosti z oblasti energetickej hospodárnosti budov, Building Information Modeling (BIM), metodiky Life Cycle Assessment (LCA), obnoviteľných zdrojov energie, inteligentných systémov riadenia a environmentálnej certifikácie. Nedostatok špecialistov môže viesť k predĺženiu projektovej prípravy, zvýšeniu realizačných nákladov a nižšej kvalite navrhovaných riešení. Zvyšovanie odborných kompetencií projektantov, architektov a realizačných firiem preto predstavuje jeden z rozhodujúcich predpokladov ďalšieho rozvoja udržateľného stavebníctva.

Významnú prekážku predstavujú aj legislatívne a administratívne obmedzenia. Napriek tomu, že európska aj slovenská legislatíva postupne vytvára priaznivejšie podmienky pre rozvoj nízkouhlíkových budov, v praxi sa stále objavujú komplikácie spojené so zdĺhavými povoľovacími procesmi, nejednotným výkladom technických predpisov alebo obmedzenými možnosťami implementácie inovatívnych technológií. Zjednodušenie administratívnych postupov a jednoznačnejšie legislatívne požiadavky by mohli významne urýchliť zavádzanie moderných stavebných riešení.

Významným faktorom ovplyvňujúcim tempo rozvoja nízkouhlíkového stavebníctva zostáva aj konzervatívny prístup investorov. Mnohí investori stále preferujú tradičné stavebné postupy a technológie, pričom nové riešenia vnímajú ako technologicky alebo ekonomicky rizikové. Obavy z neistoty návratnosti investícií, nedostatok praktických skúseností s nízkouhlíkovými projektmi a orientácia na krátkodobé ekonomické výsledky môžu spomaľovať implementáciu inovatívnych technológií, napriek tomu, že ich dlhodobé ekonomické prínosy sú preukázané. Skúsenosti získané z analyzovaných projektov zároveň ukazujú, že uvedené bariéry možno postupne eliminovať prostredníctvom vhodných ekonomických a legislatívnych nástrojov. Významnú úlohu zohráva rozvoj zeleného financovania, dotačných programov, environmentálnych certifikácií, systematického odborného vzdelávania, podpory výskumu a inovácií, ako aj legislatívnych stimulov podporujúcich výstavbu energeticky efektívnych budov. Rovnako dôležité je zvyšovanie povedomia investorov o ekonomických prínosoch nízkouhlíkových budov počas celého ich životného cyklu, ktoré možno objektívne preukázať prostredníctvom metodík Life Cycle Costing (LCC), Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC).

### Význam pre budovy budúcnosti

Identifikované bariéry predstavujú významné výzvy pre ďalší rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva, ich význam sa však bude postupne znižovať v dôsledku technologického pokroku, rastúcich cien energií, rozvoja zeleného financovania a sprísňovania klimateckej legislatívy. Skúsenosti z analyzovaných prípadových štúdií potvrdzujú, že systematické odstraňovanie ekonomických, legislatívnych a odborných prekážok vytvára priaznivé podmienky pre širšie uplatnenie nízkouhlíkových budov. V nasledujúcich desaťročiach bude práve schopnosť prekonávať tieto bariéry jedným z rozhodujúcich faktorov transformácie stavebného sektora smerom ku klimateckej neutralite a trvalo udržateľnému rozvoju.

## 9.12 Prenositel'nosť riešení na Slovensko

Analyzované prípadové štúdie z Nórska, Talianska, Spojeného kráľovstva, Spojených štátov amerických, Holandska a Slovenska dokumentujú široké spektrum architektonických, technologických a prevádzkových riešení využívaných pri navrhovaní nízkouhlíkových budov. Hoci jednotlivé projekty vznikali v rozdielnych klimateckých, ekonomických a legislatívnych podmienkach, mnohé z použitých princípov možno aplikovať aj v podmienkach Slovenskej republiky. Miera ich implementácie však závisí od miestnych klimateckých charakteristík, technickej infraštruktúry, ekonomickej dostupnosti technológií a aktuálnych legislatívnych požiadaviek.

Slovensko disponuje vhodnými predpokladmi na ďalší rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva. Rastúce využívanie obnoviteľných zdrojov energie, sprísňovanie energetických požiadaviek na nové budovy, rozvoj dotačných programov a postupná digitalizácia stavebného sektora vytvárajú priaznivé prostredie na implementáciu technológií overených v zahraničných projektoch. Komparatívna analýza zároveň ukazuje, že najväčší potenciál pre slovenské podmienky predstavujú pasívne budovy, tepelné čerpadlá, fotovoltické systémy, vegetačné strechy a inteligentné systémy riadenia budov.

Jedným z najperspektívnejších smerov rozvoja sú pasívne budovy, ktorých princípy sú plne kompatibilné s klimateckými podmienkami Slovenskej republiky. Kvalitná tepelná ochrana obálky, eliminácia tepelných mostov, vysoká vzduchotesnosť, riadené vetranie so spätným získavaním tepla a efektívne využívanie pasívnych solárnych ziskov umožňujú dosahovať veľmi nízku potrebu energie na vykurovanie pri zachovaní vysokého komfortu vnútorného prostredia. Skúsenosti z realizovaných slovenských pasívnych domov potvrdzujú, že tento koncept je technicky aj ekonomicky realizovateľný a jeho význam bude v nasledujúcich rokoch naďalej narastať.

Významný potenciál majú aj tepelné čerpadlá, ktoré predstavujú jednu z najúčinnnejších technológií dekarbonizácie vykurovania budov. V slovenských podmienkach sa najčastejšie uplatňujú systémy typu vzduch – voda a zem – voda, ktoré umožňujú výrazne znižovať spotrebu fosílnych palív a prevádzkové emisie skleníkových plynov. Ich ekonomická atraktivita je podporovaná rastom cien energií, rozvojom dotačných programov a postupným rozširovaním využívania obnoviteľných zdrojov energie v sektore budov.

Veľmi priaznivé podmienky existujú aj pre ďalší rozvoj fotovoltických systémov. Klimatecké podmienky Slovenska umožňujú efektívne využívať slnečnú energiu na výrobu elektrickej energie priamo v mieste spotreby, čím sa znižuje závislosť budov od distribučnej siete a zároveň sa obmedzujú prevádzkové náklady aj emisie oxidu uhličitého. V kombinácii s tepelnými čerpadlami, batériovými úložiskami a inteligentným energetickým manažmentom predstavuje fotovoltika jeden zo základných pilierov budúcich budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB).

Skúsenosti získané z projektu Bosco Verticale poukazujú na význam vegetačných systémov pri adaptácii budov na klimatecké zmeny. Aj keď rozsiahle vertikálne lesy nie sú v slovenských podmienkach zatiaľ bežné, zelené strechy a vegetačné fasády predstavujú perspektívne riešenia najmä v mestskom prostredí. Ich využitie prispieva k znižovaniu prehrievania budov, zadržiavaniu dažďovej vody, zlepšovaniu mikroklimatických podmienok a podpore

biodiverzity. S rastúcou intenzitou tepelných ostrovov v mestách možno očakávať ďalší nárast významu týchto adaptačných opatrení.

Významným smerom budúceho rozvoja je aj digitalizácia prevádzky budov. Skúsenosti z projektu The Edge potvrdzujú, že systémy Building Management System (BMS), Internet vecí (IoT), inteligentné meranie spotreby energií a kontinuálny energetický monitoring umožňujú významne optimalizovať prevádzku budov a znižovať ich energetickú náročnosť. Postupná implementácia týchto technológií je už dnes pozorovateľná aj v moderných administratívnych budovách realizovaných na Slovensku a ich význam bude s ďalším rozvojom digitalizácie neustále narastať.

Rozšíreniu uvedených technológií napomáha viacero externých faktorov. Rast cien energií, rozvoj zeleného financovania, dotačné programy podporujúce obnoviteľné zdroje energie, sprísňovanie požiadaviek na budovy s takmer nulovou potrebou energie a klimatické ciele Európskej únie vytvárajú priaznivé ekonomické aj legislatívne prostredie pre implementáciu nízkouhlíkových riešení. Tieto stimuly zároveň zvyšujú ekonomickú atraktivitu investícií do energeticky efektívnych budov a urýchľujú transformáciu stavebného sektora.

### **Význam pre budúci rozvoj stavebníctva**

Analýza zahraničných aj slovenských príkladov potvrdzuje, že väčšina moderných nízkouhlíkových technológií je prenositeľná do podmienok Slovenskej republiky. Najväčší potenciál predstavujú pasívne budovy, tepelné čerpadlá, fotovoltické systémy, vegetačné strechy a inteligentné systémy riadenia budov. Ich systematická implementácia umožní znižovať energetickú náročnosť budov, redukovat' emisie skleníkových plynov a zvyšovať odolnosť stavebného sektora voči dôsledkom klimatických zmien. Súčasne skúsenosti získané z analyzovaných projektov potvrdzujú, že úspešná transformácia stavebníctva si vyžaduje integrovaný prístup spájajúci technologické inovácie, kvalitný architektonický návrh, vhodné ekonomické nástroje a účinnú podporu verejných politík. Práve tieto faktory budú rozhodujúce pre ďalší rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva na Slovensku v nasledujúcich desaťročiach.

## **9.13 Diskusia výsledkov**

Komparatívna analýza prípadových štúdií z Nórska, Talianska, Spojeného kráľovstva, Spojených štátov amerických, Holandska a Slovenskej republiky poskytla komplexný obraz o súčasných prístupoch k navrhovaniu a realizácii nízkouhlíkových budov. Skúmané projekty reprezentujú rozdielne klimatické podmienky, architektonické koncepcie aj funkčné využitie objektov, napriek tomu však vykazujú viaceré spoločné charakteristiky, ktoré možno považovať za rozhodujúce predpoklady úspešnej dekarbonizácie stavebného sektora.

Výsledky analýzy jednoznačne potvrdzujú, že realizácia budov s veľmi nízkou alebo dokonca pozitívnou energetickou bilanciou je pri súčasnej úrovni technického rozvoja plne uskutočniteľná. Moderné stavebné materiály, vysokoúčinné technické zariadenia, obnoviteľné zdroje energie a inteligentné systémy riadenia umožňujú dosahovať energetické parametre, ktoré boli ešte pred niekoľkými desaťročiami považované za technologicky nedosiahnuteľné. Zároveň sa ukázalo, že úspech analyzovaných projektov nebol založený na jedinej technológii, ale na systematickom uplatnení integrovaného prístupu počas celého životného cyklu budovy. Jedným z najvýznamnejších poznatkov analýzy je rozhodujúci význam projektovej prípravy. Všetky analyzované budovy potvrdzujú, že kvalita architektonického návrhu zásadným spôsobom ovplyvňuje energetickú hospodárnosť, uhlíkovú stopu aj ekonomickú efektívnosť objektu. Správna orientácia budovy, optimalizácia jej tvaru, kvalitná obálka a efektívne využívanie pasívnych solárnych ziskov umožňujú významne znižovať potrebu energie ešte pred implementáciou aktívnych technologických systémov.

Významným spoločným znakom úspešných projektov bolo využitie integrovaného projektového procesu (Integrated Design Process – IDP). Úzka spolupráca architektov, projektantov technických zariadení budov, energetických špecialistov, environmentálnych konzultantov a investorov umožnila optimalizovať budovy ako jeden funkčný systém. Tento

prístup sa ukázal ako efektívnejší než tradičné oddelené projektovanie jednotlivých profesií a významne prispel k dosiahnutiu vysokých energetických aj environmentálnych parametrov. Analýza zároveň potvrdila, že obnoviteľné zdroje energie sa stali neoddeliteľnou súčasťou moderného nízkouhlíkového stavebníctva. Fotovoltické systémy, tepelné čerpadlá, geotermálne zdroje energie a ďalšie technológie významne prispievajú k znižovaniu prevádzkových emisií, obmedzovaniu spotreby fosílnych palív a zvyšovaniu energetickej sebestačnosti budov. Projekty Powerhouse Brattørkaia a Bullitt Center zároveň preukázali, že pri vhodnom architektonickom a technologickom riešení je možné dosiahnuť energeticky pozitívnu alebo prakticky energeticky sebestačnú prevádzku aj pri administratívnych budovách.

Významnú úlohu zohrávajú aj inteligentné systémy riadenia budov. Projekty ako The Edge alebo Bullitt Center ukazujú, že Building Management System (BMS), internet vecí (IoT) a pokročilé analytické nástroje umožňujú priebežne optimalizovať spotrebu energie, monitorovať prevádzkové parametre a automaticky reagovať na meniace sa podmienky. Digitalizácia prevádzky budov sa tak stáva jedným z rozhodujúcich faktorov ďalšieho zvyšovania energetickej efektívnosti.

Porovnanie energetických a uhlíkových ukazovateľov analyzovaných budov jednoznačne preukázalo výrazný rozdiel medzi konvenčnými a nízkouhlíkovými stavbami. Moderné budovy dokážu dosahovať spotrebu energie na úrovni niekoľkých desiatok kWh/(m<sup>2</sup>·rok) a súčasne významne znižovať svoju uhlíkovú stopu počas celého životného cyklu. Výsledky zároveň potvrdzujú rastúci význam metodík Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC), ktoré umožňujú hodnotiť environmentálne dopady budov komplexnejšie než tradičné energetické ukazovatele.

Analýza prípadových štúdií poukázala aj na pretrvávajúce bariéry rozvoja nízkouhlíkového stavebníctva. Medzi najvýznamnejšie patria vyššie počiatočné investičné náklady, nedostatok kvalifikovaných odborníkov, legislatívne obmedzenia a konzervatívny prístup časti investorov. Skúsenosti zo zahraničných aj slovenských projektov však ukazujú, že tieto bariéry možno postupne prekonávať prostredníctvom integrovaného projektovania, zeleného financovania, dotačných programov, environmentálnych certifikácií a systematického rozvoja odborných kapacít.

Z pohľadu Slovenskej republiky predstavujú analyzované projekty významný zdroj poznatkov pre ďalší rozvoj udržateľného stavebníctva. Analýza potvrdila, že väčšina využívaných technológií, vrátane pasívnych stavebných princípov, tepelných čerpadiel, fotovoltických systémov, vegetačných striech a inteligentných systémov riadenia, je plne aplikovateľná aj v domácich klimatických a ekonomických podmienkach. Ich širšie využívanie môže významne prispieť k znižovaniu energetickej náročnosti budov, redukcii emisií skleníkových plynov a zvyšovaniu odolnosti stavebného sektora voči dôsledkom klimatických zmien.

Analyzované prípadové štúdie potvrdzujú, že nízkouhlíkové budovy už dnes predstavujú technicky realizovateľné, ekonomicky efektívne a environmentálne udržateľné riešenie. Ich spoločným znakom je integrovaný prístup k navrhovaniu, dôsledná optimalizácia energetickej hospodárnosti, využívanie obnoviteľných zdrojov energie, implementácia inteligentných technológií a hodnotenie budovy počas celého životného cyklu.

Skúsenosti získané z realizovaných projektov zároveň ukazujú, že neexistuje univerzálny model nízkouhlíkovej budovy. Úspešné riešenia vždy vychádzajú z kombinácie pasívnych architektonických opatrení, efektívnych technických systémov a rešpektovania miestnych klimatických, ekonomických a legislatívnych podmienok. Práve schopnosť integrovať tieto aspekty do jedného funkčného celku predstavuje rozhodujúci predpoklad úspechu budov budúcnosti.

Pre slovenské stavebníctvo predstavujú analyzované projekty cenný zdroj poznatkov a overených riešení, ktoré možno postupne implementovať pri navrhovaní nových budov aj pri obnove existujúceho stavebného fondu. V kontexte klimatických cieľov Európskej únie, rastúcich cien energií a postupnej dekarbonizácie stavebného sektora možno očakávať, že princípy prezentované v tejto kapitole sa stanú štandardnou súčasťou projektovania budov s

takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a ďalších generácií klimaticky neutrálnych stavieb.

## 10 HODNOTENIE ŽIVOTNÉHO CYKLU A MERANIE UHLÍKOVEJ STOPY BUDOV

### 10.1 Úvod

V minulosti bolo hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov zamerané predovšetkým na ich energetickú náročnosť počas prevádzky. Pozornosť sa sústreďovala najmä na spotrebu energie na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody a osvetlenie, pričom hlavným cieľom bolo znižovanie prevádzkových energetických potrieb budov. Takýto prístup však neposkytuje komplexný obraz o environmentálnych dopadoch stavebných objektov, keďže nezohľadňuje emisie vznikajúce pri výrobe stavebných materiálov, realizácii stavby, jej údržbe, obnove ani pri ukončení životnosti.

V súvislosti s rastúcim významom klimatickej neutrality, dekarbonizácie stavebného sektora a princípov obehového hospodárstva sa pozornosť postupne presúva na komplexné hodnotenie budov počas celého ich životného cyklu. Moderné nízkouhlíkové stavebníctvo preto vyžaduje systematický prístup, ktorý zohľadňuje všetky environmentálne dopady od získavania surovín až po demoláciu, recykláciu alebo opätovné využitie stavebných materiálov.

Komplexné hodnotenie životného cyklu umožňuje identifikovať hlavné zdroje emisií skleníkových plynov, porovnávať alternatívne návrhové riešenia, optimalizovať výber stavebných materiálov a technológií a podporovať navrhovanie budov s minimálnou uhlíkovou stopou. Súčasne poskytuje objektívny podklad pre rozhodovanie projektantov, investorov aj verejných inštitúcií pri posudzovaní environmentálnej udržateľnosti stavebných projektov.

Životný cyklus budovy zahŕňa všetky etapy jej existencie – od ťažby a spracovania surovín, výroby stavebných materiálov, dopravy a výstavby až po samotnú prevádzku, údržbu, obnovu a ukončenie životnosti objektu. Každá z uvedených fáz je spojená so spotrebou energie, využívaním prírodných zdrojov a produkciou emisií skleníkových plynov. V prípade moderných nízkoenergetických budov sa zároveň ukazuje, že význam emisií spojených s výrobou stavebných materiálov, označovaných ako zabudovaný uhlík (Embodied Carbon), sa postupne približuje alebo dokonca prevyšuje emisie vznikajúce počas prevádzky budovy (Operational Carbon).

Najvýznamnejším medzinárodne uznávaným nástrojom na hodnotenie environmentálnych dopadov je metodika Life Cycle Assessment (LCA), ktorá je štandardizovaná normami ISO 14040 a ISO 14044. Táto metodika umožňuje systematicky hodnotiť environmentálne dopady výrobkov, stavebných materiálov aj celých budov počas ich životného cyklu. Výsledky LCA sa využívajú pri environmentálnych certifikáciách budov, hodnotení uhlíkovej stopy, ESG reportingu, zelenom financovaní aj pri rozhodovaní o výbere stavebných materiálov a technických riešení.

Význam hodnotenia životného cyklu budov v posledných rokoch výrazne narastá aj v dôsledku pripravovaných legislatívnych zmien Európskej únie. Postupne sa rozširuje využívanie metodiky Whole Life Carbon (WLC), environmentálnych produktových deklarácií (Environmental Product Declarations – EPD), uhlíkových auditov a integrácie metodiky LCA do prostredia informačných modelov budov (Building Information Modeling – BIM). Tieto nástroje umožňujú presnejšie hodnotiť environmentálnu výkonnosť budov a vytvárajú predpoklady na systematickú dekarbonizáciu stavebného sektora.

Cieľom tejto kapitoly je predstaviť princípy hodnotenia životného cyklu budov, metodiku Life Cycle Assessment, základné prístupy k výpočtu uhlíkovej stopy a možnosti jej znižovania prostredníctvom vhodného architektonického návrhu, výberu stavebných materiálov a technických systémov. Pozornosť bude venovaná jednotlivým fázam životného cyklu budovy, metodikám hodnotenia environmentálnych dopadov a ich významu pri navrhovaní nízkouhlíkových a klimaticky neutrálnych stavieb.



## 10.2 Význam komplexného hodnotenia

Po dlhé obdobie bolo hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov založené predovšetkým na analýze ich energetickej náročnosti počas prevádzky. Pozornosť sa sústreďovala najmä na spotrebu energie na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody a osvetlenie, pričom hlavným cieľom bolo znižovanie prevádzkových emisií prostredníctvom zlepšovania energetickej hospodárnosti budov. Tento prístup významne prispel k rozvoju nízkoenergetických a pasívnych budov, avšak neposkytuje úplný obraz o celkových environmentálnych dopadoch stavebných objektov.

V súvislosti s rastúcimi požiadavkami na klimatickú neutralitu a dekarbonizáciu stavebného sektora sa ukázalo, že významná časť emisií skleníkových plynov vzniká ešte pred uvedením budovy do prevádzky. Ide predovšetkým o emisie spojené s výrobou stavebných materiálov, ich dopravou, realizáciou stavby a ďalšími etapami životného cyklu. Z tohto dôvodu sa postupne presadil komplexnejší prístup založený na hodnotení celého životného cyklu budovy, ktorý umožňuje objektívnejšie posudzovať jej environmentálnu výkonnosť.

Tradičný spôsob hodnotenia budov je zameraný výlučne na prevádzkovú fázu životného cyklu. Posudzuje predovšetkým spotrebu energie na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody a osvetlenie, pričom hlavnými nástrojmi znižovania emisií sú kvalitná tepelná ochrana obálky budovy, energeticky efektívne technické zariadenia a využívanie obnoviteľných zdrojov energie. Tento prístup vytvoril základ pre rozvoj nízkoenergetických budov, pasívnych domov a budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB). Jeho nevýhodou však zostáva skutočnosť, že nezohľadňuje environmentálne dopady vznikajúce počas výroby stavebných materiálov, výstavby ani po ukončení životnosti budovy.

Moderný prístup k hodnoteniu environmentálnej výkonnosti budov vychádza z analýzy všetkých emisií vznikajúcich počas ich celého životného cyklu. Do hodnotenia sa preto zahŕňajú procesy spojené s výrobou stavebných materiálov, dopravou, výstavbou, prevádzkou, údržbou, rekonštrukciami, demoláciou aj recykláciou stavebných prvkov. Takýto prístup umožňuje identifikovať všetky významné zdroje emisií skleníkových plynov a prijímať účinnejšie opatrenia na ich znižovanie už v počiatočných etapách projektovej prípravy. Výsledkom je podstatne realistickejšie hodnotenie skutočného environmentálneho dopadu budovy.

Komplexné hodnotenie uhlíkovej stopy sa v súčasnosti označuje ako Whole Life Carbon Assessment (WLCA). Jeho cieľom je kvantifikovať všetky emisie skleníkových plynov vznikajúce počas celého životného cyklu budovy vrátane emisií spojených s výrobou stavebných materiálov (Embodied Carbon), prevádzkou budovy (Operational Carbon), ukončením jej životnosti a potenciálnymi environmentálnymi prínosmi recyklácie alebo opätovného využitia stavebných materiálov. Výsledkom hodnotenia je komplexný ukazovateľ environmentálnej výkonnosti objektu, ktorý poskytuje objektívny základ na porovnávanie alternatívnych návrhov.

Význam zabudovaného uhlíka v posledných rokoch výrazne narastá. Výskumy ukazujú, že pri moderných energeticky efektívnych budovách môže predstavovať približne 40 až 70 % celkovej uhlíkovej stopy počas životného cyklu. Najvýznamnejšie zdroje emisií súvisia predovšetkým s výrobou cementu, ocele, tepelnoizolačných materiálov a dopravou stavebných výrobkov. Tento vývoj potvrdzuje, že samotné znižovanie prevádzkovej spotreby energie už nestačí na dosiahnutie klimatickej neutrality a že čoraz väčšiu pozornosť je potrebné venovať výberu stavebných materiálov a konštrukčných riešení.

Metodika Whole Life Carbon Assessment prináša viacero významných výhod. Umožňuje identifikovať hlavné zdroje emisií počas životného cyklu budovy, optimalizovať výber stavebných materiálov, podporovať princípy obehového hospodárstva a objektívne porovnávať alternatívne návrhové riešenia. Projektantom a investorom zároveň poskytuje podklady na prijímanie rozhodnutí vedúcich k minimalizácii environmentálnych dopadov už počas projektovania.

V súčasnosti sa komplexné hodnotenie uhlíkovej stopy stáva štandardnou súčasťou environmentálnych certifikačných systémov, ESG reportingu, zeleného financovania, verejných investícií aj hodnotenia budov s nulovými emisiami. Jeho význam podporujú aj pripravované legislatívne požiadavky Európskej únie, ktoré smerujú k povinnému hodnoteniu environmentálnych dopadov budov počas celého ich životného cyklu.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Komplexné hodnotenie životného cyklu predstavuje zásadný posun v prístupe k posudzovaniu environmentálnej výkonnosti budov. Na rozdiel od tradičného hodnotenia založeného výlučne na prevádzkovej spotrebe energie poskytuje ucelený pohľad na emisie skleníkových plynov vznikajúce počas celej existencie stavby. Metodika Whole Life Carbon Assessment sa preto stáva jedným zo základných nástrojov navrhovania nízkouhlíkových budov, budov s nulovými emisiami (ZEB) a klimaticky neutrálnych stavieb budúcnosti. V podmienkach postupnej dekarbonizácie stavebného sektora bude jej význam v nasledujúcich rokoch naďalej narastať a stane sa nevyhnutnou súčasťou projektovej prípravy aj environmentálneho hodnotenia budov.

## **10.3 Metodika Life Cycle Assessment (LCA)**

Life Cycle Assessment (LCA), alebo hodnotenie životného cyklu, predstavuje medzinárodne uznávanú metodiku na hodnotenie environmentálnych dopadov výrobkov, stavebných materiálov, technologických systémov a budov počas celého ich životného cyklu. Základným cieľom metodiky je systematicky identifikovať, kvantifikovať a vyhodnotiť environmentálne vplyvy vznikajúce vo všetkých etapách existencie hodnoteného objektu – od získavania prírodných surovín, cez výrobu a využívanie až po ukončenie životnosti, recykláciu alebo zneškodnenie.

V stavebníctve sa metodika Life Cycle Assessment stala jedným zo základných nástrojov hodnotenia environmentálnej výkonnosti budov. Umožňuje objektívne analyzovať uhlíkovú stopu stavebných objektov, identifikovať hlavné zdroje environmentálnych dopadov a porovnávať alternatívne materiálové, konštrukčné a technologické riešenia z pohľadu ich udržateľnosti. Význam metodiky neustále rastie najmä v súvislosti s požiadavkami na dekarbonizáciu stavebného sektora a dosahovanie klimatickej neutrality.

Metodika LCA vychádza z princípu, že environmentálne dopady nevznikajú iba počas samotnej prevádzky budovy, ale počas všetkých etáp jej životného cyklu. Pri hodnotení sa preto analyzuje spotreba energie a prírodných zdrojov, produkcia emisií skleníkových plynov, spotreba vody, tvorba odpadov a ďalšie environmentálne ukazovatele. Výsledkom je komplexný obraz o environmentálnej výkonnosti hodnoteného objektu a identifikácia etáp životného cyklu s najvýznamnejšími environmentálnymi dopadmi.

Pri budovách metodika zahŕňa všetky hlavné fázy životného cyklu, od získavania surovín, výroby stavebných materiálov, dopravy a samotnej výstavby cez obdobie prevádzky, údržby a rekonštrukcií až po demoláciu, spracovanie stavebného odpadu a recykláciu materiálov. Takýto komplexný prístup umožňuje projektantom a investorom prijímať rozhodnutia vedúce k zníženiu environmentálnych dopadov už v počiatočných etapách návrhu.

Metodika Life Cycle Assessment je štandardizovaná medzinárodnými normami ISO 14040 a ISO 14044, ktoré vytvárajú jednotný metodický rámec na hodnotenie životného cyklu výrobkov a stavebných objektov. Norma ISO 14040 definuje základné princípy, terminológiu a všeobecnú koncepciu metodiky LCA, zatiaľ čo norma ISO 14044 podrobnejšie špecifikuje metodické postupy, požiadavky na zber vstupných údajov, výpočtové postupy a interpretáciu výsledkov. Dodržiavanie týchto noriem zabezpečuje medzinárodnú porovnateľnosť výsledkov a jednotný prístup k hodnoteniu environmentálnych dopadov.

V stavebnom sektore nachádza metodika LCA široké uplatnenie pri hodnotení uhlíkovej stopy budov, optimalizácii výberu stavebných materiálov, porovnávaní projektových variantov a podpore dekarbonizácie stavebníctva. Výsledky analýz sa čoraz častejšie využívajú aj pri

environmentálnych certifikáciách budov, ESG reportingu, zelenom financovaní a pri navrhovaní budov s nízkou uhlíkovou stopou.

Významnou výhodou metodiky je možnosť hodnotiť viacero kategórií environmentálnych dopadov súčasne. Okrem emisií skleníkových plynov sa posudzuje napríklad globálny potenciál otepľovania (Global Warming Potential – GWP), spotreba primárnej energie, spotreba vody, acidifikácia prostredia, eutrofizácia alebo tvorba odpadu. V oblasti nízkouhlíkového stavebníctva sa však najväčšia pozornosť venuje práve hodnoteniu emisií skleníkových plynov vyjadrených ako ekvivalent oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>e).

V posledných rokoch sa metodika LCA čoraz viac integruje do digitálnych nástrojov projektovania budov. Jej prepojenie s informačnými modelmi budov (Building Information Modeling – BIM), environmentálnymi produktovými deklaráciami (Environmental Product Declarations – EPD) a metodikou Whole Life Carbon (WLC) umožňuje vykonávať environmentálne analýzy už počas projektovej prípravy. Projektanti tak môžu priebežne vyhodnocovať environmentálne dôsledky jednotlivých návrhových rozhodnutí a optimalizovať budovu ešte pred začiatkom realizácie.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Metodika Life Cycle Assessment predstavuje základný nástroj hodnotenia environmentálnej výkonnosti moderných budov. Na rozdiel od tradičných prístupov zameraných výlučne na prevádzkovú spotrebu energie umožňuje komplexne hodnotiť environmentálne dopady počas celého životného cyklu stavby. V kombinácii s metodikou Whole Life Carbon, environmentálnymi produktovými deklaráciami a digitálnymi nástrojmi projektovania vytvára objektívny základ na navrhovanie nízkouhlíkových budov, budov s nulovými emisiami (ZEB) a klimaticky neutrálnych stavieb budúcnosti. S rastúcimi požiadavkami na dekarbonizáciu stavebného sektora sa význam metodiky LCA bude naďalej zvyšovať a stane sa nevyhnutnou súčasťou projektovej prípravy aj environmentálneho hodnotenia budov.

## **Fázy metodiky Life Cycle Assessment**

Metodika Life Cycle Assessment (LCA) pozostáva zo štyroch vzájomne nadväzujúcich fáz, ktoré sú definované normami ISO 14040 a ISO 14044. Ich cieľom je zabezpečiť systematické, transparentné a medzinárodne porovnateľné hodnotenie environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu hodnoteného produktu alebo budovy. Jednotlivé fázy zahŕňajú definovanie cieľa a rozsahu hodnotenia, inventarizáciu vstupov a výstupov, hodnotenie environmentálnych dopadov a interpretáciu výsledkov.

### **Definovanie cieľa a rozsahu hodnotenia**

Prvou etapou metodiky LCA je stanovenie cieľa a rozsahu hodnotenia. V tejto fáze sa presne určuje predmet hodnotenia, hranice analyzovaného systému, funkčná jednotka a účel spracovania analýzy. Správne definovanie rozsahu je rozhodujúce pre zabezpečenie porovnateľnosti výsledkov a ich následnej interpretácie. Súčasťou tejto etapy je aj identifikácia všetkých procesov a životných etáp, ktoré budú do hodnotenia zahrnuté, ako aj určenie predpokladov a obmedzení analýzy.

### **Inventarizácia vstupov a výstupov (Life Cycle Inventory – LCI)**

Druhou fázou metodiky je inventarizácia životného cyklu (Life Cycle Inventory – LCI), ktorá predstavuje najrozsiahlejšiu a často aj časovo najnáročnejšiu časť celého hodnotenia. Jej cieľom je systematicky zhromaždiť a kvantifikovať všetky materiálové, energetické a environmentálne toky spojené s hodnoteným systémom. Presnosť výsledkov metodiky LCA závisí predovšetkým od kvality a spoľahlivosti údajov získaných v tejto etape.

Inventarizácia zahŕňa podrobnú evidenciu použitých stavebných materiálov, ich množstva, spôsobu výroby, pôvodu a environmentálnych charakteristík. Pri hodnotení budov sa analyzujú najmä betón, oceľ, drevo, keramické materiály, tepelné izolácie, sklo, plastové výrobky a technické zariadenia budovy. Údaje o jednotlivých materiáloch sa spravidla získavajú z

environmentálnych produktových deklarácií (Environmental Product Declarations – EPD) alebo z medzinárodných databáz LCA.

Významnou súčasťou inventarizácie je aj analýza spotreby energie počas jednotlivých etáp životného cyklu. Hodnotí sa energia potrebná na výrobu stavebných materiálov, ich dopravu, realizáciu stavby, prevádzku budovy, údržbu aj demoláciu. Zohľadňujú sa pritom všetky významné zdroje energie vrátane elektrickej energie, zemného plynu, biomasy, obnoviteľných zdrojov energie a pohonných látok. Spotreba energie predstavuje jeden z hlavných determinantov emisií skleníkových plynov počas životného cyklu budovy.

Súčasťou inventarizácie je aj hodnotenie dopravy stavebných materiálov, pri ktorom sa analyzujú dopravné vzdialenosti, druh použitého dopravného prostriedku, množstvo prepravovaného materiálu a logistické procesy. Environmentálne dopady dopravy môžu byť významné najmä pri materiáloch dovážaných na veľké vzdialenosti alebo pri využívaní energeticky náročných spôsobov prepravy.

Dôležitou časťou inventarizácie je aj evidencia odpadov vznikajúcich počas výroby stavebných materiálov, výstavby, prevádzky, údržby a demolácie budovy. Pri jednotlivých druhoch odpadu sa hodnotí ich množstvo, spôsob spracovania, možnosti recyklácie, energetického zhodnotenia alebo skládkovania. Takto získané údaje vytvárajú komplexnú databázu vstupov a výstupov, ktorá predstavuje základ pre následné hodnotenie environmentálnych dopadov.

Hodnotenie environmentálnych dopadov (Life Cycle Impact Assessment – LCIA)

Treťou etapou metodiky je Life Cycle Impact Assessment (LCIA), v ktorej sa údaje získané počas inventarizácie prevádzajú na konkrétne environmentálne ukazovatele. Cieľom tejto fázy je kvantifikovať environmentálne dôsledky jednotlivých procesov a identifikovať oblasti s najvýznamnejším negatívnym vplyvom na životné prostredie. Výsledky poskytujú podklad na optimalizáciu návrhu budovy a prijímanie opatrení vedúcich k znižovaniu jej environmentálnych dopadov.

V oblasti nízkouhlíkového stavebníctva sa najväčšia pozornosť venuje hodnoteniu emisií skleníkových plynov vyjadrených ako ekvivalent oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2\text{e}$ ). Súčasne sa hodnotí spotreba primárnej energie, spotreba vody a ďalšie kategórie environmentálnych dopadov, ako sú acidifikácia prostredia, eutrofizácia, tvorba fotochemického smogu, poškodzovanie ozónovej vrstvy alebo produkcia odpadu. Interpretácia jednotlivých ukazovateľov umožňuje identifikovať fázy životného cyklu s najvyššou environmentálnou záťažou a porovnávať alternatívne návrhové riešenia.

### **Interpretácia výsledkov**

Záverečnou etapou metodiky LCA je interpretácia výsledkov, ktorá predstavuje syntézu všetkých údajov získaných počas predchádzajúcich fáz hodnotenia. Jej cieľom je identifikovať hlavné zdroje environmentálnej záťaže, posúdiť spoľahlivosť použitých údajov a formulovať odporúčania na znižovanie environmentálnych dopadov hodnoteného objektu.

Interpretácia zahŕňa podrobnú analýzu jednotlivých environmentálnych ukazovateľov, identifikáciu kritických miest životného cyklu (hot spots) a porovnávanie alternatívnych materiálových, konštrukčných alebo technologických riešení. Osobitná pozornosť sa venuje hodnoteniu spoľahlivosti vstupných údajov, citlivosti výsledkov na zmenu vstupných parametrov a overeniu správnosti použitých predpokladov. Na základe získaných výsledkov možno navrhovať opatrenia zamerané na využívanie nízkouhlíkových stavebných materiálov, zvyšovanie energetickej efektívnosti, efektívnejšie hospodárenie s vodou alebo podporu recyklácie a opätovného využitia stavebných materiálov. Výsledky interpretácie predstavujú významný podklad pre projektantov, investorov, developerov, environmentálnych konzultantov aj verejné inštitúcie pri rozhodovaní o environmentálne optimálnych riešeniach.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Metodika Life Cycle Assessment predstavuje základný nástroj komplexného hodnotenia environmentálnej výkonnosti budov. Jej štyri na seba nadväzujúce fázy umožňujú systematicky identifikovať zdroje environmentálnych dopadov, kvantifikovať emisie skleníkových plynov a optimalizovať návrh budovy počas celého jej životného cyklu. V

kombinácii s metodikou Whole Life Carbon, environmentálnymi produktovými deklaráciami a digitálnymi nástrojmi projektovania vytvára objektívny základ pre navrhovanie nízkouhlíkových budov, budov s nulovými emisiami (ZEB) a klimaticky neutrálnych stavieb budúcnosti.

## 10.4 Funkčná jednotka

Jedným zo základných princípov metodiky Life Cycle Assessment (LCA) je definovanie funkčnej jednotky (functional unit), ktorá predstavuje referenčný základ pre všetky výpočty environmentálnych dopadov. Funkčná jednotka zabezpečuje objektívnosť, reprodukovateľnosť a vzájomnú porovnateľnosť výsledkov hodnotenia, pričom umožňuje analyzovať rôzne budovy, stavebné materiály alebo technologické riešenia bez ohľadu na ich veľkosť, konštrukčný systém alebo spôsob využívania. Jej správne stanovenie preto patrí medzi najdôležitejšie kroky úvodnej fázy metodiky LCA.

Podľa noriem ISO 14040 a ISO 14044 predstavuje funkčná jednotka kvantifikovaný opis funkcie hodnoteného systému, ku ktorému sa vzťahujú všetky vstupy, výstupy a environmentálne dopady. Všetky výsledky analýzy sa následne prepočítavajú na túto referenčnú jednotku, čím sa zabezpečuje ich objektívne porovnanie. Funkčná jednotka tak vytvára jednotný základ na hodnotenie alternatívnych návrhov, stavebných materiálov alebo technologických systémov a podporuje rozhodovanie počas projektovania budov.

Pri hodnotení budov sa v európskej praxi najčastejšie používa funkčná jednotka vyjadrená ako:

$$1 \text{ m}^2$$

podlahovej plochy počas referenčnej životnosti

$$50 \text{ rokov}$$

Takto definovaná funkčná jednotka zohľadňuje veľkosť budovy aj obdobie jej používania a umožňuje hodnotiť environmentálne dopady počas celého životného cyklu stavby. Jej využitie zabezpečuje porovnateľnosť budov rôznych veľkostí, funkcií a konštrukčných systémov na spoločnom základe.

Referenčná životnosť 50 rokov predstavuje najčastejšie používané obdobie v európskych metodikách hodnotenia životného cyklu budov vrátane normy EN 15978. Takéto časové obdobie pokrýva rozhodujúcu časť prevádzkovej fázy budovy a umožňuje zohľadniť pravidelnú údržbu, obnovu stavebných konštrukcií aj výmenu technických zariadení. V závislosti od požiadaviek konkrétnej metodiky alebo certifikačného systému sa však môžu používať aj iné referenčné obdobia, najčastejšie 60, 80 alebo 100 rokov, najmä pri hodnotení verejných budov alebo infraštruktúrnych projektov.

Výsledky hodnotenia uhlíkovej stopy budov sa štandardne vyjadrujú vo forme:

$$\text{kg CO}_2\text{e}/(\text{m}^2 \cdot 50 \text{ rokov})$$

kde  $\text{kg CO}_2\text{e}$  predstavuje emisie skleníkových plynov vyjadrené ako ekvivalent oxidu uhličitého,  $\text{m}^2$  označuje podlahovú plochu budovy a 50 rokov predstavuje referenčnú životnosť objektu. Takýto spôsob prezentácie výsledkov umožňuje jednoznačné porovnanie environmentálnej výkonnosti rôznych stavebných projektov bez ohľadu na ich celkovú veľkosť alebo účel využitia.

Používanie jednotnej funkčnej jednotky je nevyhnutným predpokladom objektívneho porovnávania alternatívnych návrhov budov, konštrukčných systémov, stavebných materiálov a technických zariadení. Zároveň umožňuje hodnotiť účinnosť jednotlivých nízkouhlíkových opatrení a analyzovať ich prínos k zníženiu uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy. Bez jednoznačne definovanej funkčnej jednotky by výsledky metodiky LCA neboli vzájomne porovnateľné ani správne interpretovateľné.

### Význam pre nízkouhlíkové budovy

Funkčná jednotka predstavuje jeden zo základných metodických prvkov hodnotenia životného cyklu budov a zabezpečuje objektívnosť, transparentnosť a medzinárodnú porovnateľnosť výsledkov. V európskej stavebnej praxi sa najčastejšie využíva funkčná jednotka 1 m<sup>2</sup> podlahovej plochy počas 50 rokov životnosti, pričom výsledky sa štandardne vyjadrujú v jednotkách kg CO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·50 rokov). Takto definovaný prístup vytvára jednotný rámec na hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov a predstavuje nevyhnutný predpoklad navrhovania nízkouhlíkových, energeticky efektívnych a klimaticky neutrálnych stavieb.

## 10.5 Indikátory environmentálnych dopadov

### 10.5.1 Global Warming Potential (GWP)

Jedným z najvýznamnejších indikátorov používaných pri hodnotení environmentálnych dopadov budov je Global Warming Potential (GWP), teda potenciál globálneho otepľovania. Tento ukazovateľ vyjadruje príspevok hodnoteného systému ku klimatickým zmenám prostredníctvom emisií skleníkových plynov a predstavuje základný indikátor používaný v metodike Life Cycle Assessment (LCA) pri hodnotení uhlíkovej stopy stavebných materiálov, technologických systémov aj celých budov. Vzhľadom na rastúce požiadavky na dekarbonizáciu stavebného sektora sa GWP stal jedným z hlavných kritérií environmentálnej výkonnosti budov.

Potenciál globálneho otepľovania vychádza zo skutočnosti, že jednotlivé skleníkové plyny majú rozdielnu schopnosť absorbovať dlhovlnné tepelné žiarenie v atmosfére, a tým prispievať ku globálnemu otepľovaniu. Medzi najvýznamnejšie skleníkové plyny patria oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), metán (CH<sub>4</sub>), oxid dusný (N<sub>2</sub>O) a fluorované skleníkové plyny. Keďže ich klimatický účinok nie je rovnaký, pri hodnotení životného cyklu sa všetky emisie prevádzajú na spoločnú referenčnú jednotku, ktorou je ekvivalent oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>e).

Oxid uhličitý predstavuje referenčný plyn, ktorému je priradená hodnota GWP = 1. Ostatné skleníkové plyny sa prepočítavajú pomocou medzinárodne stanovených prevodných faktorov. Napríklad jeden kilogram metánu predstavuje približne rovnaký klimatický účinok ako 28 kg CO<sub>2</sub>e, zatiaľ čo jeden kilogram oxidu dusného zodpovedá približne 265 kg CO<sub>2</sub>e. Takýto spôsob prepočtu umožňuje vyjadriť celkové klimatické dopady rôznych skleníkových plynov pomocou jedného spoločného ukazovateľa a objektívne porovnávať jednotlivé stavebné materiály, technologické riešenia alebo celé budovy.

Výsledky hodnotenia potenciálu globálneho otepľovania sa najčastejšie uvádzajú v jednotkách kg CO<sub>2</sub>e alebo t CO<sub>2</sub>e. Pri hodnotení budov sa štandardne používa vyjadrenie:

$$\text{kg CO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot 50 \text{ rokov})$$

ktoré predstavuje množstvo emisií skleníkových plynov pripadajúcich na jeden štvorcový meter podlahovej plochy počas referenčnej životnosti budovy. Takto definovaný ukazovateľ zabezpečuje porovnateľnosť výsledkov medzi rôznymi budovami bez ohľadu na ich veľkosť alebo funkčné využitie.

Pri hodnotení budov sa potenciál globálneho otepľovania posudzuje počas všetkých etáp životného cyklu definovaných normou EN 15978. Do výpočtu preto vstupujú emisie vznikajúce počas výroby stavebných materiálov, ich dopravy, výstavby, prevádzky, údržby, obnovy, demolácie aj recyklácie. Výsledná hodnota predstavuje celkovú uhlíkovú stopu budovy počas jej životného cyklu a umožňuje identifikovať fázy s najväčším environmentálnym zaťažením.

Význam ukazovateľa GWP spočíva najmä v možnosti objektívne porovnávať alternatívne stavebné materiály, konštrukčné systémy a technologické riešenia z hľadiska ich klimatického dopadu. Projektanti môžu už počas projektovej prípravy analyzovať dôsledky jednotlivých návrhových rozhodnutí, optimalizovať výber stavebných materiálov a systematicky znižovať uhlíkovú stopu budovy. GWP sa preto stáva významným nástrojom pri navrhovaní budov orientovaných na klimatickú neutralitu.

Ukazovateľ Global Warming Potential je dnes štandardnou súčasťou metodiky Life Cycle Assessment, environmentálnych produktových deklarácií (Environmental Product Declarations – EPD), systémov environmentálnej certifikácie budov LEED a BREEAM, ESG reportingu aj mechanizmov zeleného financovania. Všetky uvedené nástroje využívajú GWP ako základný indikátor hodnotenia klimatických dopadov stavebných projektov.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Global Warming Potential predstavuje najvýznamnejší indikátor hodnotenia uhlíkovej stopy budov a zároveň jeden z kľúčových parametrov metodiky Life Cycle Assessment. Umožňuje komplexne kvantifikovať klimatické dopady budovy počas celého jej životného cyklu a vytvára objektívny základ na porovnávanie alternatívnych návrhov, stavebných materiálov a technologických riešení. V podmienkach postupnej dekarbonizácie stavebného sektora sa GWP stáva jedným z rozhodujúcich kritérií navrhovania nízkouhlíkových budov, budov s nulovými emisiami (ZEB) a budúcich klimaticky neutrálnych stavieb. Jeho význam bude s implementáciou európskej legislatívy a metodiky Whole Life Carbon naďalej narastať a bude tvoriť základ environmentálneho hodnotenia moderných stavebných projektov.

## **10.5.2 Acidification Potential**

Acidification Potential (AP), teda potenciál acidifikácie prostredia, predstavuje jeden zo štandardných indikátorov environmentálnej výkonnosti hodnotených v metodike Life Cycle Assessment (LCA). Tento ukazovateľ vyjadruje schopnosť emisií uvoľňovaných počas životného cyklu výrobkov alebo budov prispievať k okysľovaniu pôdy, vodných ekosystémov a atmosféry. Hoci je v oblasti nízkouhlíkového stavebníctva najväčšia pozornosť venovaná emisiám skleníkových plynov a ukazovateľu Global Warming Potential (GWP), potenciál acidifikácie predstavuje významnú doplnkovú kategóriu environmentálnych dopadov, ktorá umožňuje komplexnejšie hodnotiť udržateľnosť stavebných projektov.

Acidifikácia vzniká predovšetkým v dôsledku emisií zlúčenín síry, dusíka a amoniaku, ktoré sa po uvoľnení do atmosféry chemicky premieňajú na kyslé zlúčeniny. Medzi najvýznamnejšie acidifikačné látky patria oxid siričitý ( $\text{SO}_2$ ), oxidy dusíka ( $\text{NO}_x$ ) a amoniak ( $\text{NH}_3$ ). Tieto zlúčeniny reagujú s vodnou parou a ďalšími zložkami atmosféry za vzniku kyseliny sírovej a kyseliny dusičnej, ktoré následne spôsobujú vznik kyslých zrážok a postupné okysľovanie pôdy a vodných ekosystémov.

Dlhodobé pôsobenie acidifikačných emisií môže mať významné environmentálne aj ekonomické dôsledky. Okysľovanie pôdy vedie k znižovaniu jej úrodnosti a k narušeniu prirodzených biochemických procesov, zatiaľ čo acidifikácia vodných tokov a jazier negatívne ovplyvňuje vodné ekosystémy a biodiverzitu. Zvýšené koncentrácie kyslých zlúčenín zároveň prispievajú k poškodeniu vegetácie, degradácii lesných porastov a urýchľujú koróziu stavebných materiálov, čím skracujú životnosť stavebných konštrukcií.

V sektore stavebníctva vzniká potenciál acidifikácie počas viacerých etáp životného cyklu budovy. Významný podiel predstavujú emisie súvisiace s výrobou stavebných materiálov, najmä cementu a ocele, spaľovaním fosílnych palív pri výrobe energie, dopravou stavebných výrobkov a prevádzkou budovy. Pri hodnotení životného cyklu sa preto analyzuje celý dodávateľský reťazec stavebných materiálov vrátane výrobných procesov, dopravy a spotreby energie.

Potenciál acidifikácie sa štandardne vyjadruje v jednotkách:

$$\text{kg SO}_{2\text{eq}}$$

(kilogram ekvivalentu oxidu siričitého).

Táto jednotka umožňuje previesť jednotlivé acidifikačné látky na spoločný referenčný základ, ktorým je oxid siričitý, a následne objektívne porovnávať ich environmentálne dopady. Vďaka tomu možno hodnotiť a porovnávať rôzne stavebné materiály, konštrukčné systémy alebo energetické riešenia z hľadiska ich príspevku k acidifikácii životného prostredia.

V metodike Life Cycle Assessment patrí Acidification Potential medzi štandardné kategórie environmentálnych dopadov spolu s ukazovateľmi, ako sú Global Warming Potential (GWP), Eutrophication Potential (EP) alebo Ozone Depletion Potential (ODP). Hodnotenie acidifikácie umožňuje identifikovať materiály a technologické procesy s vysokým environmentálnym zaťažením, porovnávať alternatívne návrhy budov a podporovať výber environmentálne priaznivejších stavebných riešení. Hoci klimatické zmeny predstavujú dominantnú environmentálnu výzvu súčasnosti, acidifikácia poskytuje dôležitý doplnkový pohľad na kvalitu životného prostredia a umožňuje komplexnejšie hodnotiť environmentálnu výkonnosť stavebných projektov.

Možnosti znižovania potenciálu acidifikácie sú vo veľkej miere podobné opatreniam využívaným pri redukcii emisií skleníkových plynov. Významný prínos prináša využívanie obnoviteľných zdrojov energie, znižovanie spotreby fosílnych palív, používanie nízkoemisných stavebných materiálov, optimalizácia dopravy stavebných výrobkov a zvyšovanie energetickej efektívnosti budov. Tieto opatrenia spravidla vedú nielen k obmedzeniu acidifikačných emisií, ale aj k súčasnému znižovaniu uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Potenciál acidifikácie predstavuje významný doplnkový indikátor environmentálnej výkonnosti budov, ktorý rozširuje hodnotenie nad rámec samotných emisií skleníkových plynov. Jeho začlenenie do metodiky Life Cycle Assessment umožňuje komplexnejšie posudzovať environmentálne dopady stavebných materiálov, technologických systémov a prevádzky budov na kvalitu ovzdušia, pôdy a vodných ekosystémov. Pri navrhovaní nízkouhlíkových budov je preto vhodné optimalizovať nielen ukazovateľ Global Warming Potential, ale aj ďalšie kategórie environmentálnych dopadov vrátane Acidification Potential. Takýto prístup podporuje komplexnú environmentálnu udržateľnosť stavebných projektov a prispieva k ochrane prírodných zdrojov počas celého životného cyklu budovy.

### **10.5.3 Eutrophication Potential**

Eutrophication Potential (EP), teda potenciál eutrofizácie, patrí medzi štandardné indikátory environmentálnych dopadov hodnotené v metodike Life Cycle Assessment (LCA). Tento ukazovateľ vyjadruje schopnosť emisií a znečisťujúcich látok prispievať k nadmernému obohatovaniu vodných a pôdných ekosystémov živinami, predovšetkým zlúčeninami dusíka a fosforu. V dôsledku toho dochádza k narušeniu prirodzenej ekologickej rovnováhy, zhoršovaniu kvality vôd a poklesu biodiverzity. Hoci sa pri hodnotení nízkouhlíkových budov najväčšia pozornosť venuje emisiám skleníkových plynov, potenciál eutrofizácie predstavuje významnú doplnkovú kategóriu environmentálnej výkonnosti. Eutrofizácia je proces spôsobený nadmerným prísunom živín do vodných alebo pôdných ekosystémov. Zvýšené koncentrácie zlúčenín dusíka a fosforu podporujú intenzívny rast rias, siníc a vodných rastlín, čo vedie k narušeniu prirodzených ekologických procesov. Následný rozklad nadmernej biomasy spôsobuje znižovanie koncentrácie rozpusteného kyslíka vo vode, čím dochádza k zhoršeniu životných podmienok vodných organizmov a postupnej degradácii ekosystémov. Dlhodobá eutrofizácia môže spôsobovať významné environmentálne dôsledky. Patrí medzi ne zhoršovanie kvality povrchových vôd, úhyn vodných organizmov, znižovanie biologickej rozmanitosti a vznik oblastí s nízkou koncentráciou kyslíka, označovaných ako mŕtve zóny (dead zones). Tieto procesy negatívne ovplyvňujú ekologickú stabilitu vodných ekosystémov a môžu mať aj významné hospodárske dôsledky, napríklad v oblasti zásobovania pitnou vodou alebo rybárstva. V sektore stavebníctva vznikajú emisie prispievajúce k eutrofizácii počas viacerých etáp životného cyklu budovy. Významný podiel predstavuje výroba stavebných materiálov, energetické procesy, doprava materiálov, prevádzka budovy, nakladanie s odpadmi a čistenie odpadových vôd. Medzi najvýznamnejšie látky prispievajúce k eutrofizácii patria oxidy dusíka ( $\text{NO}_x$ ), amoniak ( $\text{NH}_3$ ), fosforečné zlúčeniny a ďalšie nutrienty, ktoré sa prostredníctvom emisií alebo odpadových vôd dostávajú do pôdy a vodných tokov.

Potenciál eutrofizácie sa štandardne vyjadruje v jednotkách:



kg PO<sub>4</sub><sup>3--</sup><sub>eq</sub>

(kilogram ekvivalentu fosforečnanu).

Táto jednotka umožňuje prevádzať jednotlivé látky spôsobujúce eutrofizáciu na spoločný referenčný základ, ktorým je fosforečnan, a následne objektívne porovnávať ich environmentálne dopady. V metodike Life Cycle Assessment patrí Eutrophication Potential medzi základné kategórie environmentálnych dopadov spolu s ukazovateľmi Global Warming Potential (GWP), Acidification Potential (AP) alebo Ozone Depletion Potential (ODP). Hodnotenie eutrofizácie umožňuje identifikovať materiály a technologické procesy s významným negatívnym vplyvom na vodné prostredie, porovnávať alternatívne stavebné riešenia a podporovať výber environmentálne priaznivejších materiálov a výrobných procesov. Hoci je potenciál eutrofizácie menej diskutovaný než uhlíková stopa, predstavuje dôležitý ukazovateľ celkovej environmentálnej udržateľnosti stavebných projektov. Možnosti znižovania potenciálu eutrofizácie spočívajú predovšetkým vo využívaní ekologickejších výrobných technológií, obmedzovaní emisií zlúčenín dusíka, efektívnom čistení odpadových vôd, znižovaní znečistenia vodných zdrojov a využívaní stavebných materiálov s nižšími environmentálnymi dopadmi. Uvedené opatrenia zároveň podporujú ochranu vodných ekosystémov a prispievajú k udržateľnému využívaniu prírodných zdrojov.

#### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Pri hodnotení environmentálnej výkonnosti nízkouhlíkových budov je potrebné posudzovať nielen emisie skleníkových plynov, ale aj ďalšie kategórie environmentálnych dopadov. Eutrophication Potential poskytuje dôležité informácie o vplyve stavebných materiálov, technologických procesov a prevádzky budovy na kvalitu vodných a pôdných ekosystémov. V kombinácii s ukazovateľmi Global Warming Potential (GWP), Acidification Potential (AP) a ďalšími indikátormi metodiky Life Cycle Assessment vytvára komplexný obraz o environmentálnej výkonnosti budovy a podporuje navrhovanie stavebných riešení, ktoré sú nielen energeticky efektívne, ale aj celkovo šetrné k životnému prostrediu počas celého svojho životného cyklu.

### **10.5.4 Ozone Depletion Potential**

Ozone Depletion Potential (ODP), teda potenciál poškodzovania ozónovej vrstvy, patrí medzi štandardné environmentálne indikátory hodnotené v metodike Life Cycle Assessment (LCA). Tento ukazovateľ vyjadruje schopnosť určitých chemických látok prispievať k úbytku stratosférického ozónu, ktorý predstavuje prirodzenú ochranu Zeme pred škodlivým ultrafialovým (UV) žiarením. Hoci sa v súčasnosti pozornosť environmentálnych analýz sústreďuje predovšetkým na klimatické zmeny a emisie skleníkových plynov, potenciál poškodzovania ozónovej vrstvy zostáva významnou súčasťou komplexného hodnotenia environmentálnej výkonnosti stavebných materiálov, technologických systémov a budov.

Stratosférická ozónová vrstva sa nachádza vo výške približne 15 až 35 km nad zemským povrchom a zohráva nezastupiteľnú úlohu pri absorbovaní ultrafialového žiarenia dopadajúceho zo Slnka. Tým chráni živé organizmy pred jeho nepriaznivými účinkami a významne prispieva k zachovaniu ekologickej stability biosféry. Znižovanie koncentrácie ozónu vedie k zvýšenému prenikaniu UV-B žiarenia na zemský povrch, čo môže mať závažné dôsledky pre zdravie človeka aj prírodné ekosystémy.

Poškodzovanie ozónovej vrstvy spôsobujú predovšetkým chlorofluórované uhľovodíky (CFC), hydrochlorofluórované uhľovodíky (HCFC), halóny a ďalšie zlúčeniny obsahujúce chlór alebo bróm. V minulosti sa tieto látky vo veľkej miere používali ako chladivá v klimatizačných a chladiacich zariadeniach, ako hnacie plyny v aerosóloch alebo ako nadúvadlá pri výrobe niektorých tepelnoizolačných materiálov. Po ich uvoľnení do atmosféry dochádza pôsobením ultrafialového žiarenia k uvoľňovaniu atómov chlóru alebo brómu, ktoré katalyticky rozkladajú

molekuly ozónu. Výsledkom je postupné znižovanie koncentrácie ozónu v stratosfére a vznik tzv. ozónových dier.

Úbytok ozónovej vrstvy má významné environmentálne aj zdravotné dôsledky. Zvýšená intenzita ultrafialového žiarenia môže prispievať k vyššiemu výskytu rakoviny kože, poškodeniu zraku, oslabeniu imunitného systému človeka, ako aj k poškodeniu rastlín, vodných organizmov a prirodzených ekosystémov. Z uvedených dôvodov patrí ochrana ozónovej vrstvy medzi významné environmentálne priority medzinárodného spoločenstva.

V oblasti stavebníctva sa potenciál poškodzovania ozónovej vrstvy hodnotí najmä v súvislosti s výrobou stavebných materiálov a technických zariadení budov. Osobitná pozornosť sa venuje chladiacim a klimatizačným systémom, tepelným čerpadlám, izolačným materiálom a ďalším technológiám, pri ktorých môže dochádzať k používaniu alebo úniku látok s potenciálom poškodzovať ozónovú vrstvu. Moderné technológie však vo väčšine prípadov využívajú ekologickejšie chladivá s minimálnym alebo nulovým potenciálom poškodzovania ozónu, čím sa význam tejto kategórie environmentálnych dopadov v posledných desaťročiach výrazne znížil.

Potenciál poškodzovania ozónovej vrstvy sa štandardne vyjadruje v jednotkách

kg CFC<sup>-11</sup><sub>eq</sub>

(kilogram ekvivalentu CFC<sup>-11</sup>),

pričom CFC-11 slúži ako referenčná látka, voči ktorej sa prepočítava účinok ostatných látok poškodzujúcich ozónovú vrstvu. Takto definovaný ukazovateľ umožňuje objektívne porovnávať environmentálne dopady rôznych stavebných materiálov, technologických systémov a stavebných riešení.

V metodike Life Cycle Assessment patrí Ozone Depletion Potential medzi štandardne hodnotené kategórie environmentálnych dopadov. Jeho význam spočíva predovšetkým v identifikácii materiálov a technológií, ktoré môžu negatívne ovplyvňovať stav ozónovej vrstvy, a v podpore výberu environmentálne vhodnejších alternatív. Hoci v súčasnosti zohráva menšiu úlohu než ukazovatele súvisiace s klimatickými zmenami, jeho hodnotenie zostáva dôležitou súčasťou komplexného environmentálneho posudzovania stavebných projektov.

Významným medzinárodným míľnikom v ochrane ozónovej vrstvy bolo prijatie Montrealského protokolu v roku 1987, ktorý postupne obmedzil výrobu a používanie látok poškodzujúcich ozón. Implementácia tohto medzinárodného dohovoru viedla k výraznému poklesu emisií chlorofluorovaných uhľovodíkov, stabilizácii koncentrácie stratosférického ozónu a postupnej obnove ozónovej vrstvy. V dôsledku týchto opatrení dosahujú moderné stavebné materiály a technológie podstatne nižšie hodnoty ukazovateľa ODP než produkty používané v minulosti.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Ozone Depletion Potential predstavuje jednu z významných kategórií environmentálnych dopadov hodnotených v metodike Life Cycle Assessment. Hoci jeho význam je v súčasnosti menší než pri ukazovateľoch súvisiacich s klimatickými zmenami, poskytuje dôležité informácie o environmentálnej kvalite použitých stavebných materiálov a technických zariadení. Pri navrhovaní nízkouhlíkových budov je preto vhodné preferovať riešenia využívajúce materiály a technológie s minimálnym potenciálom poškodzovania ozónovej vrstvy. Takýto prístup podporuje komplexnú environmentálnu udržateľnosť budov a prispieva k ochrane atmosféry počas celého ich životného cyklu.

## **10.6 Výpočet uhlíkovej stopy budovy**

Jedným zo základných cieľov metodiky Life Cycle Assessment (LCA) je kvantifikácia celkovej uhlíkovej stopy budovy počas celého jej životného cyklu. Súčasný prístup k hodnoteniu environmentálnej výkonnosti stavebných objektov už nie je založený výlučne na analýze prevádzkových emisií, ale zahŕňa všetky emisie skleníkových plynov vznikajúce od výroby

stavebných materiálov až po ukončenie životnosti budovy. Takéto komplexné hodnotenie sa označuje ako Whole Life Carbon (WLC) a predstavuje základný nástroj na posudzovanie klimatických dopadov moderných budov.

Celkovú uhlíkovú stopu budovy možno zjednodušene vyjadriť vzťahom

$$WLC = EC + OC + EOL$$

kde:

WLC – Whole Life Carbon, celková uhlíková stopa budovy,

EC – Embodied Carbon, zabudovaný uhlík,

OC – Operational Carbon, prevádzkový uhlík,

EOL – End of Life Emissions, emisie vznikajúce na konci životnosti budovy.

Tento vzťah predstavuje základný model používaný pri hodnotení environmentálnych dopadov budov počas celého ich životného cyklu a vytvára rámec pre systematickú analýzu jednotlivých zdrojov emisií.

### Whole Life Carbon (WLC)

Whole Life Carbon predstavuje celkové množstvo emisií skleníkových plynov produkovaných počas všetkých etáp existencie budovy. Zahŕňa emisie spojené s výrobou stavebných materiálov, výstavbou, prevádzkou, údržbou, obnovou stavebných konštrukcií, ako aj s demoláciou, spracovaním stavebného odpadu a recykláciou materiálov po ukončení životnosti objektu.

Na rozdiel od tradičného hodnotenia založeného iba na prevádzkovej spotrebe energie poskytuje metodika Whole Life Carbon komplexný obraz o klimatickom dopade budovy. Výsledky sa spravidla vyjadrujú v jednotkách

kg CO<sub>2e</sub>

alebo

kg CO<sub>2e</sub>/(m<sup>2</sup>)

za referenčné obdobie životnosti budovy, ktoré je v európskej praxi najčastejšie stanovené na 50 rokov.

### Zabudovaný uhlík (Embodied Carbon)

Embodied Carbon (EC) predstavuje emisie skleníkových plynov vznikajúce ešte pred uvedením budovy do prevádzky. Zahŕňa environmentálne dopady spojené s ťažbou surovín, výrobou stavebných materiálov, ich dopravou na stavenisko, stavebnými procesmi a montážou jednotlivých konštrukcií.

Najvýznamnejšími zdrojmi zabudovaného uhlíka sú najmä výroba cementu, betónu, ocele, hliníka, skla a tepelnoizolačných materiálov. V dôsledku rastúcej energetickej efektívnosti moderných budov sa význam tejto zložky neustále zvyšuje. Súčasné výskumy ukazujú, že pri nízkoenergetických budovách môže zabudovaný uhlík predstavovať približne 40 až 70 % celkovej uhlíkovej stopy počas životného cyklu. Optimalizácia výberu stavebných materiálov sa preto stáva jedným z najúčinnějších nástrojov dekarbonizácie stavebníctva.

Prevádzkový uhlík (Operational Carbon)

Operational Carbon (OC) predstavuje emisie vznikajúce počas používania budovy. Zahŕňa spotrebu energie na vykurovanie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody, osvetlenie a prevádzku technických zariadení budovy.

Veľkosť prevádzkových emisií závisí predovšetkým od energetickej hospodárnosti budovy, použitých zdrojov energie, spôsobu prevádzky objektu, správania jeho používateľov a úrovne energetického manažmentu. Po mnoho rokov bolo práve znižovanie prevádzkového uhlíka hlavným cieľom energetickej efektívnosti stavebníctva. V súčasnosti sa však ukazuje, že

samotná redukcia prevádzkových emisií už nestačí na dosiahnutie klimateckej neutrality a musí byť doplnená o systematické znižovanie zabudovaného uhlíka.

### **Emisie na konci životnosti (End of Life Emissions)**

End of Life Emissions (EOL) zahŕňajú emisie vznikajúce počas ukončenia životnosti budovy. Ide predovšetkým o demoláciu alebo dekonštrukciu objektu, dopravu stavebného odpadu, jeho spracovanie, recykláciu, energetické zhodnotenie alebo skládkovanie.

Rozsah emisií v tejto etape závisí najmä od použitých stavebných materiálov, možností ich opätovného využitia a miery recyklácie. Budovy navrhnuté podľa princípov obehového hospodárstva (Circular Economy) umožňujú významne znižovať environmentálne dopady tejto fázy prostredníctvom opätovného využitia stavebných komponentov a recyklácie materiálov.

Význam výpočtu WLC pri projektovaní

Výpočet Whole Life Carbon poskytuje projektantom a investorom komplexný nástroj na hodnotenie klimatických dopadov budov už počas projektovej prípravy. Umožňuje identifikovať hlavné zdroje emisií, porovnávať alternatívne návrhové riešenia, optimalizovať výber stavebných materiálov a technologických systémov a podporovať rozhodovanie smerujúce k dekarbonizácii stavebného sektora. Výsledky výpočtu sa zároveň využívajú pri environmentálnych certifikáciách budov, ESG reportingu, zelenom financovaní a pri preukazovaní súladu s pripravovanými legislatívnymi požiadavkami Európskej únie.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Metodika Whole Life Carbon predstavuje základný nástroj hodnotenia klimatických dopadov moderných budov. Na rozdiel od tradičného prístupu zameraného iba na prevádzkovú spotrebu energie umožňuje komplexne posudzovať emisie skleníkových plynov počas celého životného cyklu stavby. Jej využívanie podporuje optimalizáciu stavebných materiálov, technických systémov aj prevádzkových stratégií a vytvára predpoklady na navrhovanie nízkouhlíkových budov, budov s nulovými emisiami (ZEB) a klimaticky neutrálnych stavieb. Vzhľadom na pripravované legislatívne požiadavky Európskej únie sa očakáva, že hodnotenie Whole Life Carbon sa v nasledujúcich rokoch stane štandardnou súčasťou projektovania a environmentálneho posudzovania budov.

## **10.7 Environmentálne databázy**

Presnosť výsledkov metodiky Life Cycle Assessment (LCA) závisí vo veľkej miere od kvality vstupných údajov použitých pri hodnotení jednotlivých procesov, stavebných materiálov a technológií. Získavanie primárnych environmentálnych údajov pre každý hodnotený produkt by bolo v praxi časovo aj ekonomicky veľmi náročné, preto sa pri výpočtoch využívajú špecializované environmentálne databázy. Tie obsahujú štandardizované údaje o environmentálnych dopadoch tisícov materiálov, výrobných procesov, energetických zdrojov, dopravných systémov a spôsobov nakladania s odpadmi.

Environmentálne databázy predstavujú základný zdroj vstupných údajov pre metodiku LCA a umožňujú projektantom, výskumníkom i environmentálnym konzultantom vykonávať spoľahlivé a medzinárodne porovnateľné analýzy bez potreby individuálneho zberu údajov pre každý hodnotený prvok. V stavebnom sektore sa najčastejšie využívajú databázy Ecoinvent, GaBi, ÖKOBAUDAT a ICE Database, ktoré patria medzi najvýznamnejšie zdroje environmentálnych údajov na medzinárodnej úrovni.

### **Ecoinvent**

Databáza Ecoinvent predstavuje najrozšírenejší medzinárodný zdroj údajov používaný pri hodnotení životného cyklu. Bola vytvorená vo Švajčiarsku a v súčasnosti patrí medzi najuznávanejšie databázy využívané vo výskume, priemysle aj stavebníctve. Obsahuje tisíce údajov o stavebných materiáloch, energetických systémoch, výrobných procesoch, doprave, odpadovom hospodárstve a recyklačných technológiách.

Význam databázy spočíva najmä v jej rozsahu, kvalite a pravidelnej aktualizácii údajov. V oblasti stavebníctva sa využíva predovšetkým pri výpočtoch zabudovaného uhlíka, hodnotení uhlíkovej stopy stavebných materiálov, analýzach životného cyklu budov a porovnávaní alternatívnych materiálových riešení. Databáza obsahuje údaje o emisiách skleníkových plynov, spotrebe energie a vody, acidifikácii, eutrofizácii, poškodzovaní ozónovej vrstvy i produkcii odpadov. Významnou výhodou je jej kompatibilita s väčšinou profesionálnych softvérov určených na hodnotenie životného cyklu, ako sú SimaPro, OpenLCA, GaBi alebo One Click LCA.

### **GaBi**

Databáza GaBi, vyvinutá v Nemecku, patrí medzi najvýznamnejšie profesionálne databázy využívané pri environmentálnom hodnotení výrobkov a stavebných materiálov. V porovnaní s databázou Ecoinvent je výraznejšie orientovaná na priemyselné výrobné procesy a poskytuje podrobné údaje o materiáloch, technológiách a energetických systémoch.

V stavebníctve sa využíva najmä na hodnotenie zabudovaného uhlíka stavebných materiálov, analýzu životného cyklu budov, porovnávanie konštrukčných systémov a podporu environmentálnych certifikácií. Databáza obsahuje údaje o emisiách skleníkových plynov, spotrebe energie a vody, acidifikácii, eutrofizácii, využívaní prírodných zdrojov a produkcii odpadov. Vďaka vysokej úrovni detailu predstavuje významný nástroj pri hodnotení komplexných výrobných procesov a vývoji nových stavebných materiálov.

### **ICE Database**

Inventory of Carbon and Energy (ICE Database) bola vyvinutá na University of Bath a patrí medzi najvýznamnejšie databázy zamerané na hodnotenie uhlíkovej stopy stavebných materiálov. Jej hlavným cieľom je poskytovať spoľahlivé údaje o zabudovanom uhlíku (Embodied Carbon) a zabudovanej energii (Embodied Energy) jednotlivých stavebných výrobkov.

Databáza obsahuje environmentálne údaje pre široké spektrum stavebných materiálov vrátane betónu, cementu, ocele, dreva, tehál, skla, plastov a tepelných izolácií. Hodnoty zabudovaného uhlíka sa najčastejšie uvádzajú v jednotkách kg CO<sub>2</sub>e/kg materiálu, zatiaľ čo zabudovaná energia je vyjadrená v MJ/kg. ICE Database umožňuje projektantom už počas návrhu budovy porovnávať alternatívne materiálové riešenia a identifikovať varianty s nižším environmentálnym dopadom. Databáza preto predstavuje významný nástroj pri optimalizácii uhlíkovej stopy budov.

### **ÖKOBAUDAT**

ÖKOBAUDAT predstavuje oficiálnu nemeckú databázu environmentálnych údajov o stavebných materiáloch a výrobkoch, ktorú spravuje Spolkové ministerstvo bývania, urbanizmu a stavebníctva. Databáza bola vytvorená s cieľom podporiť aplikáciu metodiky LCA v stavebnom sektore a v súčasnosti patrí medzi najvýznamnejšie európske zdroje údajov o environmentálnej výkonnosti stavebných výrobkov.

Databáza obsahuje štandardizované údaje o uhlíkovej stope, spotrebe energie a vody, acidifikácii, eutrofizácii, poškodzovaní ozónovej vrstvy a využívaní prírodných zdrojov. Údaje sú založené predovšetkým na environmentálnych produktových deklaráciách (EPD) a sú spracované v súlade s európskymi normami. Významnou výhodou databázy je jej prepojenie so systémom DGNB a kompatibilita s modernými digitálnymi nástrojmi, ako sú One Click LCA, eTool alebo BIM platformy. Bezplatná dostupnosť a vysoká kvalita údajov robia z databázy ÖKOBAUDAT jeden z najvýznamnejších nástrojov environmentálneho hodnotenia budov v Európe.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Environmentálne databázy predstavujú základný predpoklad spoľahlivého hodnotenia životného cyklu budov a výpočtu ich uhlíkovej stopy. Poskytujú štandardizované a vedecky overené údaje o environmentálnych dopadoch stavebných materiálov, výrobných procesov a

technológií, čím umožňujú objektívne porovnávať alternatívne návrhové riešenia. Databázy Ecoinvent, GaBi, ICE Database a ÖKOBAUDAT dnes tvoria základ väčšiny profesionálnych LCA analýz a zohrávajú kľúčovú úlohu pri navrhovaní nízkouhlíkových budov, budov s nulovými emisiami (ZEB) a klimaticky neutrálneho stavebníctva.

## **10.8 Environmentálne vyhlásenie o produkte (EPD)**

### **10.8.1 Charakteristika**

Environmentálne produktové deklarácie (Environmental Product Declarations – EPD) predstavujú štandardizované dokumenty poskytujúce objektívne, kvantifikované a overené informácie o environmentálnych vlastnostiach stavebných výrobkov počas ich životného cyklu. V súčasnosti patria medzi najvýznamnejšie zdroje údajov využívané pri hodnotení životného cyklu budov (Life Cycle Assessment – LCA), výpočtoch uhlíkovej stopy, environmentálnych certifikáciách a hodnotení klimatickej výkonnosti stavebných projektov.

Hlavným cieľom environmentálnych produktových deklarácií je zabezpečiť transparentné a vzájomne porovnateľné informácie o environmentálnych dopadoch stavebných materiálov a výrobkov. Projektantom, investorom, výrobcom aj environmentálnym konzultantom umožňujú prijímať kvalifikované rozhodnutia pri výbere stavebných materiálov a podporujú navrhovanie budov s nižšou uhlíkovou stopou a vyššou environmentálnou výkonnosťou.

Environmentálne produktové deklarácie sú spracovávané na základe metodiky Life Cycle Assessment a ich obsah je štandardizovaný podľa medzinárodných a európskych noriem ISO 14025, EN 15804 a ISO 21930. Tieto normy zabezpečujú jednotnú metodiku hodnotenia, transparentnosť spracovania údajov a ich medzinárodnú porovnateľnosť. Vďaka tomu možno objektívne porovnávať environmentálne vlastnosti výrobkov rôznych výrobcov pri zachovaní rovnakých metodických princípov.

Typická environmentálna produktová deklarácia obsahuje identifikáciu výrobku, opis výrobného procesu, výsledky analýzy životného cyklu, údaje o emisiách skleníkových plynov, spotrebe energie a vody, produkcii odpadu, možnostiach recyklácie a ďalších environmentálnych ukazovateľoch. Súčasťou deklarácie sú aj informácie o hraniciach hodnoteného systému, použitých metodických predpokladoch a referenčných scenároch životného cyklu výrobku.

Významnou charakteristikou EPD je nezávislé overovanie údajov treťou stranou. Pred zverejnením deklarácie prechádzajú všetky údaje odbornou kontrolou, pri ktorej sa overuje ich správnosť, úplnosť a súlad s požiadavkami príslušných noriem. Tento proces zabezpečuje vysokú dôveryhodnosť deklarovaných údajov a ich využiteľnosť pri odbornom hodnotení environmentálnych dopadov.

V stavebnom sektore nachádzajú environmentálne produktové deklarácie široké uplatnenie pri hodnotení životného cyklu budov, výpočtoch zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon), environmentálnych certifikáciách budov, ESG reportingu a zelenom financovaní. Projektanti môžu na základe údajov z EPD objektívne porovnávať alternatívne stavebné materiály a optimalizovať návrh budovy z hľadiska environmentálnych dopadov.

#### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Environmentálne produktové deklarácie predstavujú základný zdroj údajov pre hodnotenie životného cyklu moderných budov. Umožňujú identifikovať stavebné materiály s vysokou uhlíkovou stopou, optimalizovať ich výber, znižovať zabudovaný uhlík a podporovať princípy obehového hospodárstva. V podmienkach rastúcich požiadaviek na klimatickú neutralitu, ESG reporting a environmentálne certifikácie sa EPD stávajú nevyhnutnou súčasťou projektovania nízkouhlíkových budov, budov s nulovými emisiami (ZEB) a ďalších udržateľných stavebných projektov.

## 10.8.2 Obsah EPD

Environmentálna produktová deklarácia obsahuje komplexný súbor kvantifikovaných údajov opisujúcich environmentálne dopady stavebného výrobku počas jeho životného cyklu. Rozsah a štruktúra deklarovaných údajov sú definované medzinárodnými normami, čo zabezpečuje ich jednotné spracovanie a vzájomnú porovnateľnosť. Informácie obsiahnuté v EPD predstavujú základný vstup pre metodiku Life Cycle Assessment a umožňujú objektívne hodnotiť environmentálnu výkonnosť stavebných materiálov.

Jedným z najvýznamnejších údajov uvedených v EPD je uhlíková stopa výrobku, ktorá vyjadruje množstvo emisií skleníkových plynov vznikajúcich počas jeho životného cyklu. Výsledky sa spravidla uvádzajú v jednotkách kg CO<sub>2</sub>e a zahŕňajú emisie spojené so získavaním surovín, výrobou, dopravou, spracovaním, používaním aj ukončením životnosti výrobku. Práve tento ukazovateľ predstavuje základ pre hodnotenie zabudovaného uhlíka stavebných materiálov.

Významnou súčasťou deklarácie sú aj údaje o energetickej náročnosti výroby, ktoré zahŕňajú spotrebu primárnej energie, podiel obnoviteľných a neobnoviteľných zdrojov energie a celkovú energetickú bilanciu výrobku. Tieto údaje sa najčastejšie uvádzajú v jednotkách MJ alebo kWh a umožňujú identifikovať materiály s vysokou energetickou náročnosťou výroby.

Environmentálne produktové deklarácie obsahujú aj informácie o spotrebe vody počas výroby stavebného výrobku. Hodnotí sa množstvo technologickej vody, využívanie vodných zdrojov a environmentálne dopady súvisiace s vodným hospodárstvom. Vzhľadom na rastúci význam ochrany vodných zdrojov predstavuje tento ukazovateľ čoraz dôležitejšiu súčasť environmentálneho hodnotenia stavebných materiálov.

Súčasťou EPD sú aj údaje o recyklovateľnosti výrobku a možnostiach jeho opätovného využitia po skončení životnosti. Posudzuje sa podiel recyklovaného obsahu, možnosti materiálovej recyklácie, energetického zhodnotenia a potenciálne environmentálne prínosy vyplývajúce z princípov obehového hospodárstva. Tieto informácie umožňujú projektantom hodnotiť materiály nielen z pohľadu ich výroby, ale aj z hľadiska ich budúceho využitia po ukončení životnosti budovy.

Kombinácia uvedených ukazovateľov poskytuje komplexný obraz o environmentálnej výkonnosti stavebných výrobkov a vytvára objektívny základ na porovnávanie alternatívnych materiálových riešení. Projektanti môžu na základe údajov z EPD optimalizovať návrh budovy, znižovať zabudovaný uhlík a plniť požiadavky environmentálnych certifikačných systémov. Environmentálne produktové deklarácie sa preto stali jedným z najvýznamnejších zdrojov údajov využívaných pri navrhovaní moderných nízkouhlíkových budov.

### Význam pre nízkouhlíkové budovy

Údaje obsiahnuté v environmentálnych produktových deklaráciách umožňujú komplexne hodnotiť stavebné materiály z pohľadu ich uhlíkovej stopy, energetickej náročnosti, spotreby vody a recyklovateľnosti. V kombinácii s metodikou Life Cycle Assessment predstavujú objektívny základ na výber stavebných výrobkov s nižšími environmentálnymi dopadmi a významne prispievajú k navrhovaniu budov s nízkou uhlíkovou stopou, vysokou environmentálnou výkonnosťou a dlhodobou udržateľnosťou.

## 10.8.3 Význam

Environmentálne produktové deklarácie (Environmental Product Declarations – EPD) predstavujú jeden z najvýznamnejších nástrojov hodnotenia environmentálnych vlastností stavebných výrobkov. Ich hlavný význam spočíva v poskytovaní transparentných, nezávisle overených a medzinárodne porovnateľných údajov o environmentálnych dopadoch výrobkov počas celého ich životného cyklu. V súčasnosti tvoria základný zdroj údajov využívaných pri metodike Life Cycle Assessment (LCA), výpočtoch uhlíkovej stopy budov, environmentálnych certifikáciách aj pri hodnotení udržateľnosti stavebných projektov.

V minulosti bol výber stavebných materiálov založený predovšetkým na technických parametroch, ekonomických kritériách alebo skúsenostiach projektantov. Súčasné požiadavky na dekarbonizáciu stavebného sektora však rozšírili rozhodovací proces aj o environmentálne aspekty. Projektanti a investori dnes čoraz častejšie posudzujú stavebné výrobky nielen z hľadiska ich technických vlastností, ale aj podľa uhlíkovej stopy, energetickej náročnosti výroby, spotreby prírodných zdrojov či možností recyklácie. Environmentálne produktové deklarácie preto vytvárajú objektívny základ na výber materiálov s nižšími environmentálnymi dopadmi.

Jedným z najvýznamnejších prínosov EPD je možnosť objektívneho porovnávania alternatívnych stavebných materiálov na základe jednotnej metodiky hodnotenia. Projektanti môžu porovnávať napríklad betónové a drevené konštrukcie, rôzne druhy tepelnej izolácie, fasádne systémy alebo stavebné výrobky od rôznych výrobcov. Takéto porovnanie sa nevykonáva iba na základe technických alebo ekonomických parametrov, ale aj podľa ich uhlíkovej stopy, spotreby energie, spotreby vody, produkcie odpadu a recyklovateľnosti. Vďaka tomu je možné prijímať rozhodnutia založené na komplexnom hodnotení environmentálnej výkonnosti počas celého životného cyklu budovy.

Významnou vlastnosťou environmentálnych produktových deklarácií je ich vysoká miera transparentnosti. Údaje obsiahnuté v deklaráciách sú spracované podľa jednotných metodických pravidiel a pred ich zverejnením prechádzajú nezávislým overením treťou stranou. Tento proces zabezpečuje vysokú dôveryhodnosť výsledkov, ich medzinárodnú porovnateľnosť a možnosť ich využitia pri odbornom hodnotení stavebných projektov. Transparentnosť údajov zároveň znižuje riziko subjektívneho hodnotenia environmentálnych vlastností stavebných materiálov.

Environmentálne produktové deklarácie zároveň významne zvyšujú presnosť výpočtov metodiky Life Cycle Assessment. Ak by projektanti nemali k dispozícii údaje špecifické pre konkrétne výrobky, museli by využívať všeobecné databázy alebo priemerné hodnoty, ktoré nemusia dostatočne reprezentovať skutočné environmentálne vlastnosti materiálov. EPD poskytujú detailné údaje o konkrétnych výrobkoch vrátane emisných faktorov, energetickej náročnosti výroby, spotreby vody a ďalších environmentálnych ukazovateľov. Výsledky analýz LCA sú preto presnejšie, spoľahlivejšie a lepšie odrážajú skutočný environmentálny profil hodnoteného projektu.

Význam environmentálnych produktových deklarácií je mimoriadne výrazný aj pri hodnotení zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon) a celkovej uhlíkovej stopy budov (Whole Life Carbon). Údaje uvedené v EPD umožňujú identifikovať stavebné materiály s vysokými emisiami skleníkových plynov, analyzovať hlavné zdroje environmentálnych dopadov a optimalizovať materiálové riešenia už počas projektovej prípravy. Táto schopnosť predstavuje jeden zo základných predpokladov navrhovania nízkouhlíkových budov a budov s nulovými emisiami.

Environmentálne produktové deklarácie sa dnes stali neoddeliteľnou súčasťou viacerých systémov environmentálneho hodnotenia budov. Široko sa využívajú pri certifikačných systémoch LEED, BREEAM a DGNB, pri ESG reportingu, zelenom financovaní aj pri hodnotení súladu projektov s požiadavkami európskej taxonómie udržateľných investícií. Prostredníctvom údajov obsiahnutých v EPD možno objektívne preukázať environmentálnu kvalitu použitých stavebných materiálov a podporiť získanie vyššieho environmentálneho hodnotenia budovy.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Environmentálne produktové deklarácie predstavujú jeden z najdôležitejších informačných zdrojov využívaných pri navrhovaní nízkouhlíkových budov. Umožňujú objektívne porovnávať stavebné materiály na základe ich environmentálnych charakteristík, zvyšujú presnosť výpočtov metodiky Life Cycle Assessment a podporujú optimalizáciu uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy. V podmienkach rastúcich požiadaviek na klimatickú neutralitu, environmentálnu transparentnosť a udržateľné financovanie sa EPD stávajú nevyhnutným



nástrojom projektovania budov s nízkymi emisiami uhlíka, budov s nulovými emisiami (ZEB) a ďalších environmentálne udržateľných stavebných projektov.

## **10.9 Softvérové nástroje**

Moderné hodnotenie životného cyklu budov (Life Cycle Assessment – LCA) a výpočet uhlíkovej stopy predstavujú komplexné analytické úlohy založené na spracovaní rozsiahlych údajov o stavebných materiáloch, energetických tokoch, dopravných procesoch, prevádzke budovy a nakladaní so stavebným odpadom. Manuálne vykonávanie takýchto analýz by bolo časovo náročné a zároveň by zvyšovalo riziko výpočtových chýb. Z tohto dôvodu sa v súčasnosti využívajú špecializované softvérové nástroje, ktoré umožňujú automatizovať výpočty, využívať rozsiahle environmentálne databázy a integrovať hodnotenie životného cyklu priamo do procesu projektovania budov.

Súčasný softvérový riešenie umožňujú nielen výpočet uhlíkovej stopy budov, ale aj hodnotenie zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon), analýzu Whole Life Carbon, porovnávanie alternatívnych materiálových riešení, podporu environmentálnych certifikácií a spracovanie podkladov pre ESG reporting. Mnohé z nich sú zároveň prepojené s prostredím Building Information Modeling (BIM), čím umožňujú vykonávať environmentálne analýzy už počas projektovej prípravy.

Medzi najvýznamnejšie softvérové nástroje využívané v oblasti nízkouhlíkového stavebníctva patria One Click LCA, OpenLCA, SimaPro, Tally a DesignBuilder.

### **10.9.1 One Click LCA**

One Click LCA patrí medzi najrozšírenejšie európske softvérové riešenia určené na hodnotenie životného cyklu budov. Softvér bol vyvinutý špeciálne pre potreby architektov, projektantov, developerov a environmentálnych konzultantov s cieľom umožniť rýchly výpočet uhlíkovej stopy budov počas celého ich životného cyklu.

Program podporuje metodiky Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC) podľa normy EN 15978. Umožňuje hodnotiť zabudovaný uhlík stavebných materiálov, prevádzkové emisie budovy a environmentálne dopady jednotlivých konštrukčných riešení. Významnou výhodou je rozsiahla databáza Environmentálnych produktových deklarácií (EPD) a možnosť priamej integrácie s BIM platformami, ako sú Autodesk Revit, ArchiCAD alebo modely vo formáte IFC.

Softvér je podporovaný väčšinou medzinárodných certifikačných systémov vrátane LEED, BREEAM, DGNB, Level(s) a Living Building Challenge, čo z neho robí jeden z najvýznamnejších nástrojov environmentálneho hodnotenia budov v Európe.

### **10.9.2 OpenLCA**

OpenLCA predstavuje otvorenú softvérovú platformu určenú na hodnotenie životného cyklu výrobkov, procesov a budov. Na rozdiel od komerčných riešení umožňuje používateľom pracovať s viacerými medzinárodnými databázami, ako sú Ecoinvent, ÖKOBAUDAT alebo ELCD, a vytvárať vlastné databázové štruktúry.

Program podporuje všetky štandardné metodiky LCA vrátane hodnotenia uhlíkovej stopy, spotreby energie, acidifikácie, eutrofizácie a ďalších kategórií environmentálnych dopadov. Vďaka otvorenej architektúre patrí medzi najčastejšie využívané nástroje vo vedeckom výskume a akademickom prostredí.

### **10.9.3 SimaPro**

SimaPro patrí medzi najstaršie a najuznávanéjšie profesionálne softvérové riešenia na hodnotenie životného cyklu. Program je široko využívaný vo vedeckom výskume, priemysle aj environmentálnom poradenstve a podporuje všetky medzinárodne uznávané metodiky LCA.

Softvér umožňuje vykonávať detailné analýzy environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu výrobkov a budov, pracovať s rozsiahlymi databázami a porovnávať alternatívne materiálové a technologické riešenia. Významnou výhodou je vysoká flexibilita pri modelovaní zložitých procesov a možnosť vytvárať vlastné scenáre hodnotenia.

#### **10.9.4 Tally**

Tally predstavuje špecializovaný nástroj určený na integráciu metodiky LCA priamo do prostredia Autodesk Revit. Vďaka priamemu prepojeniu s BIM modelom dokáže automaticky využívať údaje o stavebných prvkoch a priebežne aktualizovať výsledky environmentálnych analýz počas projektovania.

Program umožňuje hodnotiť uhlíkovú stopu, zabudovaný uhlík a ďalšie environmentálne indikátory bez potreby manuálneho zadávania množstiev stavebných materiálov. Tým výrazne skraca čas potrebný na spracovanie analýz a podporuje rozhodovanie už v počiatočných etapách návrhu budovy.

#### **10.9.5 DesignBuilder**

DesignBuilder predstavuje komplexný softvérový nástroj na energetické modelovanie budov založený na výpočtovom jadre EnergyPlus. Okrem dynamických energetických simulácií umožňuje analyzovať spotrebu energie, tepelný komfort, denné osvetlenie a v novších verziách aj environmentálne dopady budovy počas jej životného cyklu.

Významnou výhodou programu je možnosť prepájať energetické simulácie s hodnotením uhlíkovej stopy, čím vzniká komplexný nástroj podporujúci optimalizáciu budov z energetického aj environmentálneho hľadiska.

### **10.10 Monitorovanie prevádzky budovy**

#### **10.10.1 Monitoring energií**

Po ukončení výstavby budovy predstavuje monitorovanie prevádzkových parametrov nevyhnutnú súčasť hodnotenia jej energetickej a environmentálnej výkonnosti. Zatiaľ čo projektové výpočty a simulačné modely poskytujú predpokladané hodnoty spotreby energie, skutočná prevádzka budovy môže byť ovplyvnená správaním používateľov, klimatickými podmienkami, kvalitou realizácie aj spôsobom riadenia technických zariadení. Z tohto dôvodu je systematický monitoring energií základným predpokladom overovania projektovaných parametrov a optimalizácie prevádzky budovy.

Monitoring energií predstavuje proces kontinuálneho merania, zaznamenávania a vyhodnocovania spotreby jednotlivých druhov energie počas prevádzky budovy. Získané údaje umožňujú identifikovať odchýlky medzi projektovanou a skutočnou spotrebou energie, lokalizovať neefektívnu prevádzku technických zariadení a navrhovať opatrenia vedúce k znižovaniu energetickej náročnosti.

V moderných nízkouhlíkových budovách sa monitorujú predovšetkým spotreba elektrickej energie, tepla, chladu, zemného plynu, vody a výroba energie z obnoviteľných zdrojov. Súčasne sa sledujú aj prevádzkové parametre technických zariadení budovy, ako sú teplota, relatívna vlhkosť vzduchu, koncentrácia oxidu uhličitého, intenzita osvetlenia alebo obsadenosť jednotlivých priestorov. Takéto údaje poskytujú komplexný obraz o energetickom správaní budovy počas jej prevádzky.

Základným nástrojom monitorovania sú inteligentné merače (smart meters), ktoré umožňujú priebežné zaznamenávanie spotreby energie vo vysokom časovom rozlíšení. Údaje z jednotlivých meračov sa prenášajú do centrálného systému správy budovy (Building Management System – BMS) alebo systému energetického manažmentu (Energy

Management System – EMS), kde sú automaticky spracované, archivované a vyhodnocované.

Moderné systémy monitorovania využívajú aj technológie Internet of Things (IoT), ktoré umožňujú prepojenie veľkého množstva senzorov a meracích zariadení do jedného integrovaného systému. Kombinácia IoT technológií, cloudových platforiem a pokročilých analytických nástrojov umožňuje priebežne sledovať energetické správanie budovy, identifikovať neštandardné prevádzkové stavy a podporovať prediktívnu údržbu technických zariadení.

Význam monitorovania energií spočíva nielen v kontrole spotreby, ale aj v možnosti priebežnej optimalizácie prevádzky budovy. Analýza nameraných údajov umožňuje identifikovať energetické straty, neefektívne nastavenie technických zariadení, nevhodné prevádzkové režimy alebo poruchy systémov. Výsledkom je znižovanie prevádzkových nákladov, vyššia energetická efektívnosť a súčasne aj redukcia emisií skleníkových plynov.

Monitoring energií zohráva významnú úlohu aj pri environmentálnom hodnotení budov. Prevádzkové údaje predstavujú dôležitý vstup pre aktualizáciu analýz Life Cycle Assessment (LCA), hodnotenie Whole Life Carbon (WLC), ESG reporting a environmentálne certifikácie budov podľa systémov LEED, BREEAM alebo DGNB. Overovanie skutočných prevádzkových parametrov zároveň umožňuje porovnávať projektované a reálne hodnoty spotreby energie a priebežne zvyšovať kvalitu navrhovania budúcich stavebných projektov.

Význam pre nízkouhlíkové budovy

Monitoring energií predstavuje základný nástroj riadenia prevádzky moderných nízkouhlíkových budov. Umožňuje priebežne sledovať spotrebu energie, overovať dosahovanie projektovaných parametrov a identifikovať možnosti ďalšej optimalizácie prevádzky. V kombinácii so systémami Building Management System (BMS), inteligentnými meracími technológiami a analytickými nástrojmi vytvára predpoklady na efektívne riadenie budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB) a budov s nulovými emisiami (ZEB), pričom významne prispieva k znižovaniu prevádzkových nákladov aj uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy.

### 10.10.2 Smart Metering

Smart Metering, alebo inteligentné meranie, predstavuje moderný systém kontinuálneho monitorovania spotreby energií a ďalších prevádzkových parametrov budovy v reálnom čase. V súčasnosti patrí medzi základné prvky inteligentných budov a systémov energetického manažmentu, pretože umožňuje presné sledovanie spotreby elektrickej energie, tepla, plynu, vody a výroby energie z obnoviteľných zdrojov. Na rozdiel od tradičných meracích systémov poskytujú inteligentné merače priebežné údaje o prevádzke budovy, ktoré možno analyzovať a následne využívať na optimalizáciu energetickej efektívnosti, znižovanie prevádzkových nákladov a redukciu emisií skleníkových plynov. Jednou z najvýznamnejších výhod inteligentného merania je online monitoring, ktorý zabezpečuje nepretržité sledovanie spotreby energií v reálnom čase. Inteligentné merače zaznamenávajú spotrebu elektrickej energie, tepla, vody a plynu, ako aj prevádzkové parametre technických zariadení budovy. Získané údaje sú automaticky prenášané do centrálného informačného systému, kde ich možno priebežne vyhodnocovať prostredníctvom systému energetického manažmentu alebo systému správy budovy (Building Management System – BMS). Takýto prístup umožňuje okamžite identifikovať prevádzkové odchýlky, poruchy technických zariadení alebo neštandardnú spotrebu energie a operatívne prijímať nápravné opatrenia. Významnou funkciou inteligentného merania je aj analýza trendov spotreby energie. Dlhodobé zhromažďovanie prevádzkových údajov umožňuje analyzovať denné, týždenné a sezónne profily spotreby, hodnotiť účinnosť technických systémov a posudzovať vplyv prevádzkových opatrení na energetickú hospodárnosť budovy. Analýza historických údajov poskytuje podklady na identifikáciu energetických strát, neefektívnych prevádzkových režimov a potenciálu ďalších úspor energie. Súčasne predstavuje významný nástroj strategického energetického manažmentu a plánovania prevádzky budov. Najväčší prínos systému Smart

Metering spočíva v možnosti optimalizácie prevádzky budovy na základe reálnych prevádzkových údajov. Informácie získané z inteligentných meračov umožňujú optimalizovať režimy vykurovania, chladenia, vetrania a osvetlenia, efektívnejšie riadiť spotrebu elektrickej energie, obmedzovať špičkové zaťaženie distribučnej siete a maximalizovať využitie energie vyrobenej z obnoviteľných zdrojov. V kombinácii so systémom Building Management System (BMS) možno automaticky prispôbovať prevádzku budovy aktuálnym podmienkam bez negatívneho vplyvu na komfort jej používateľov. Inteligentné meranie je zároveň neoddeliteľnou súčasťou konceptov Smart Buildings, Internet of Things (IoT) a digitálneho riadenia budov. Údaje získané z inteligentných meračov slúžia ako vstup pre automatické riadenie technických zariadení, prediktívnu údržbu, energetické simulácie, digitálne dvojčatá (Digital Twins) a spracovanie podkladov pre ESG reporting. Integrácia systémov Smart Metering s modernými informačnými technológiami vytvára základ efektívnej digitálnej správy budov počas celého ich životného cyklu. Implementácia inteligentných meracích systémov prináša aj významné ekonomické prínosy. Presné monitorovanie spotreby energie umožňuje znižovať prevádzkové náklady, spresňovať vyúčtovanie jednotlivých druhov energií, efektívnejšie plánovať údržbu technických zariadení a rýchlejšie identifikovať prevádzkové poruchy. Výsledky viacerých odborných štúdií potvrdzujú, že samotná dostupnosť podrobných údajov o spotrebe energie vedie k zmene správania používateľov budovy a môže priniesť významné energetické úspory aj bez rozsiahlych technických zásahov.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Smart Metering predstavuje jeden zo základných nástrojov moderného energetického manažmentu a digitálnej správy budov. Kontinuálny monitoring spotreby energie, analýza prevádzkových trendov a optimalizácia technických systémov umožňujú znižovať energetickú náročnosť budov, minimalizovať prevádzkové náklady a redukovať emisie skleníkových plynov. V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budovách s nulovými emisiami (ZEB) a inteligentných budovách predstavujú inteligentné meracie systémy nevyhnutnú súčasť efektívnej prevádzky. Ich význam bude v nasledujúcich rokoch naďalej narastať v súvislosti s rozvojom digitalizácie stavebníctva, internetu vecí, umelej inteligencie a inteligentných energetických sietí.

## **10.11 Building Performance Evaluation**

Building Performance Evaluation (BPE) predstavuje systematický proces hodnotenia skutočnej prevádzkovej výkonnosti budovy po jej dokončení a uvedení do užívania. Jeho hlavným cieľom je overiť, či budova počas reálnej prevádzky dosahuje energetické, environmentálne a prevádzkové parametre predpokladané vo fáze projektovania. Na rozdiel od energetických simulácií a projektových výpočtov vychádza BPE zo skutočne nameraných prevádzkových údajov, čím umožňuje objektívne posúdiť kvalitu návrhu, realizácie a následnej prevádzky budovy.

V minulosti bolo hodnotenie úspešnosti budov založené predovšetkým na projektovaných hodnotách spotreby energie alebo na výsledkoch simulačných modelov. Dlhodobé skúsenosti však ukázali, že medzi predpokladanou a skutočnou prevádzkou často vznikajú významné rozdiely. Tieto odchýlky môžu byť spôsobené kvalitou realizácie stavebných konštrukcií, nesprávnym nastavením technických zariadení, nevhodným spôsobom prevádzky alebo správaním používateľov. Building Performance Evaluation preto predstavuje dôležitý nástroj na identifikáciu tzv. performance gap, teda rozdielu medzi projektovanou a skutočnou výkonnosťou budovy.

Hodnotenie sa zameriava na komplexnú analýzu prevádzky budovy. Posudzujú sa predovšetkým energetická hospodárnosť, spotreba energie a vody, kvalita vnútorného prostredia, tepelný komfort, kvalita vnútorného vzduchu, denné osvetlenie, prevádzkové emisie skleníkových plynov, ekonomická efektívnosť prevádzky a spokojnosť používateľov. Takýto multidisciplinárny prístup umožňuje vytvoriť komplexný obraz o skutočnom fungovaní budovy a identifikovať oblasti, ktoré si vyžadujú optimalizáciu.

Proces Building Performance Evaluation sa realizuje po uvedení budovy do prevádzky, keď sú k dispozícii reálne prevádzkové údaje. Prvé hodnotenie sa zvyčajne vykonáva po niekoľkých mesiacoch alebo po prvom roku prevádzky, aby bolo možné zohľadniť sezónne zmeny klimatických podmienok a prevádzkového režimu. Pri významných alebo energeticky náročných budovách sa odporúča dlhodobé monitorovanie počas celej životnosti objektu, ktoré umožňuje priebežne hodnotiť vývoj energetickej hospodárnosti a účinnosť prijímaných optimalizačných opatrení.

Výsledky Building Performance Evaluation predstavujú významný zdroj spätnej väzby pre všetkých účastníkov stavebného procesu. Architektom, projektantom a energetickým špecialistom poskytujú informácie o správnosti návrhových riešení a umožňujú identifikovať konštrukčné alebo technologické nedostatky, ktoré sa prejavili počas prevádzky budovy. Získané poznatky možno následne využiť pri projektovaní ďalších stavebných objektov, čím sa postupne zvyšuje kvalita navrhovania nízkouhlíkových budov.

Významné prínosy prináša Building Performance Evaluation aj vlastníkovi a správcovi budov. Analýza prevádzkových údajov umožňuje optimalizovať nastavenie technických zariadení, znižovať spotrebu energie, identifikovať neefektívne prevádzkové režimy a včas odhaľovať poruchy alebo nedostatky technických systémov. Výsledkom je znižovanie prevádzkových nákladov, vyššia spoľahlivosť technických zariadení a súčasné zlepšovanie komfortu používateľov budovy.

V oblasti nízkouhlíkového stavebníctva zohráva Building Performance Evaluation mimoriadne významnú úlohu. Umožňuje objektívne overiť, či budova skutočne dosahuje projektovanú energetickú hospodárnosť, predpokladanú úroveň prevádzkových emisií skleníkových plynov a požadovanú účinnosť obnoviteľných zdrojov energie. Súčasne poskytuje informácie o funkčnosti inteligentných systémov riadenia budovy a o ich prínose k optimalizácii energetickej prevádzky. Bez systematického hodnotenia skutočnej prevádzky nie je možné spoľahlivo potvrdiť environmentálnu výkonnosť budovy ani objektívne posúdiť úspešnosť navrhnutých opatrení.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Building Performance Evaluation predstavuje nevyhnutný nástroj zabezpečovania kvality moderných budov a prepája projektovú fázu s ich reálnou prevádzkou. Systematické monitorovanie a hodnotenie prevádzkových parametrov umožňuje overovať dosahovanie projektovaných energetických a environmentálnych cieľov, identifikovať možnosti ďalšej optimalizácie a vytvárať spätnú väzbu pre budúce projekty. V budovách s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budovách s nulovými emisiami (ZEB) a inteligentných budovách sa Building Performance Evaluation stáva neoddeliteľnou súčasťou procesu riadenia kvality, pričom významne prispieva k znižovaniu spotreby energie, prevádzkových emisií a k dosahovaniu klimatickej neutrality stavebného sektora.

### **10.11.2 Hodnotené parametre**

Building Performance Evaluation (BPE) predstavuje komplexný proces hodnotenia skutočnej prevádzkovej výkonnosti budovy, ktorého cieľom je overiť mieru zhody medzi projektovanými a reálne dosahovanými parametrami. Na rozdiel od tradičného hodnotenia založeného prevažne na spotrebe energie sa metodika BPE zameriava aj na kvalitu vnútorného prostredia, tepelný komfort, spokojnosť používateľov a ďalšie prevádzkové ukazovatele. Takýto multidisciplinárny prístup umožňuje objektívne posúdiť, či budova počas svojej prevádzky spĺňa požiadavky na energetickú efektívnosť, komfort používateľov a environmentálnu udržateľnosť.

Jedným zo základných hodnotených parametrov je skutočná spotreba energie. Analýza sa zameriava na spotrebu elektrickej energie, tepla, energie na chladenie, vetranie, prípravu teplej vody a osvetlenie. Namerané prevádzkové údaje sa porovnávajú s projektovanými hodnotami, výsledkami energetických simulácií a požiadavkami platných energetických certifikácií. Takéto porovnanie umožňuje identifikovať rozdiely medzi predpokladanou a

skutočnou prevádzkou budovy, lokalizovať energetické straty, odhaliť neefektívne prevádzkové režimy alebo nesprávne nastavenie technických zariadení a navrhnúť opatrenia na zvýšenie energetickej hospodárnosti.

Dôležitou súčasťou hodnotenia je kvalita vnútorného prostredia, ktorá významne ovplyvňuje zdravie, pohodu a pracovnú výkonnosť používateľov budovy. Monitorujú sa najmä koncentrácia oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), relatívna vlhkosť vzduchu, vnútorná teplota, koncentrácia prachových častíc a obsah prchavých organických látok (VOC). Vyhovujúca kvalita vnútorného ovzdušia prispieva k vyššiemu komfortu používateľov, znižuje zdravotné riziká a podporuje produktivitu práce. V moderných nízkouhlíkových budovách sa na zabezpečenie optimálnych podmienok využívajú predovšetkým systémy riadeného vetrania so spätným získavaním tepla, ktoré umožňujú udržiavať vysokú kvalitu vnútorného prostredia pri minimálnej spotrebe energie.

Ďalším významným hodnoteným parametrom je tepelný komfort, ktorý vyjadruje mieru spokojnosti používateľov s tepelnými podmienkami vo vnútornom prostredí. Posudzujú sa predovšetkým vnútorná teplota, jej časová stabilita, relatívna vlhkosť vzduchu, rýchlosť prúdenia vzduchu a riziko letného prehrievania. Hodnotenie sa vykonáva počas zimného, letného aj prechodného obdobia, aby bolo možné objektívne posúdiť správanie budovy počas celého roka. Nedostatočný tepelný komfort môže viesť nielen k zníženiu spokojnosti používateľov, ale aj k zvýšenej spotrebe energie spôsobenej nevhodným používaním vykurovacích alebo chladiacich systémov.

Špecifickou charakteristikou metodiky Building Performance Evaluation je aj hodnotenie spokojnosti používateľov, ktoré dopĺňa technické merania o subjektívne hodnotenie kvality vnútorného prostredia. Informácie sa získavajú najčastejšie prostredníctvom štandardizovaných dotazníkov, rozhovorov alebo používateľských prieskumov. Hodnotí sa spokojnosť s tepelnými podmienkami, kvalitou vzduchu, úrovňou denného a umelého osvetlenia, akustickým komfortom, funkčnosťou technických systémov a celkovým komfortom budovy. Výsledky týchto prieskumov poskytujú cenné informácie o skutočnom fungovaní budovy z pohľadu jej používateľov a umožňujú identifikovať problémy, ktoré nemožno zistiť iba prostredníctvom technických meraní.

Komplexné hodnotenie uvedených parametrov poskytuje dôležitú spätnú väzbu projektantom, investorom aj správcom budov. Umožňuje overovať kvalitu projektového návrhu, identifikovať prevádzkové nedostatky, optimalizovať nastavenie technických zariadení a znižovať spotrebu energie pri zachovaní vysokej úrovne komfortu používateľov. Získané poznatky zároveň predstavujú významný zdroj informácií pre projektovanie budúcich stavebných objektov a prispievajú k neustálemu zvyšovaniu kvality nízkouhlíkového stavebníctva.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Pri nízkouhlíkových budovách je nevyhnutné hodnotiť nielen energetickú hospodárnosť, ale aj kvalitu vnútorného prostredia a spokojnosť používateľov. Spotreba energie, kvalita vnútorného vzduchu, tepelný komfort a subjektívne hodnotenie používateľov predstavujú základné ukazovatele skutočnej prevádzkovej výkonnosti budovy. Metodika Building Performance Evaluation umožňuje overiť, či budova počas reálnej prevádzky dosahuje projektované energetické a environmentálne parametre, identifikovať možnosti ďalšej optimalizácie a vytvárať spätnú väzbu pre navrhovanie budúcich budov s takmer nulovou potrebou energie (nZEB), budov s nulovými emisiami (ZEB) a ďalších klimaticky neutrálnych stavebných projektov.

## **10.12 Carbon Accounting**

### **10.12.1 Definícia**

S rastúcim dôrazom na klimatickú neutralitu, dekarbonizáciu hospodárstva a transparentné environmentálne reportovanie sa systematické sledovanie emisií skleníkových plynov stáva nevyhnutnou súčasťou riadenia organizácií, stavebných projektov aj prevádzky budov.

Investori, developeri, vlastníci budov, verejné inštitúcie a finančné organizácie čoraz častejšie vyžadujú spoľahlivé údaje o uhlíkovej stope s cieľom hodnotiť environmentálnu výkonnosť projektov, identifikovať možnosti znižovania emisií a preukazovať plnenie klimatických záväzkov.

Na tento účel sa využíva metodický prístup označovaný ako Carbon Accounting, ktorý predstavuje systematický proces identifikácie, kvantifikácie, monitorovania a vykazovania emisií skleníkových plynov. Výsledkom je komplexný prehľad o uhlíkovej stope organizácie, budovy alebo stavebného projektu, ktorý vytvára základ pre plánovanie dekarbonizačných opatrení, environmentálny manažment, ESG reporting a plnenie legislatívnych požiadaviek.

Carbon Accounting zahŕňa identifikáciu všetkých významných zdrojov emisií, ich kvantifikáciu pomocou štandardizovaných metód a priebežné sledovanie ich vývoja počas času. Takýto systematický prístup umožňuje hodnotiť účinnosť prijatých opatrení, porovnávať environmentálnu výkonnosť jednotlivých budov alebo projektov a podporovať rozhodovanie založené na objektívnych údajoch.

V rámci Carbon Accounting sa sledujú všetky významné skleníkové plyny vrátane oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), metánu (CH<sub>4</sub>), oxidu dusného (N<sub>2</sub>O) a fluorovaných skleníkových plynov. Keďže jednotlivé plyny majú rozdielny potenciál globálneho otepľovania, všetky emisie sa štandardne vyjadrujú ako ekvivalent oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>e), čo umožňuje ich vzájomné porovnávanie a agregáciu do jedného ukazovateľa.

V sektore budov zahŕňa Carbon Accounting emisie súvisiace so spotrebou elektrickej energie, vykurovaním, chladením, prípravou teplej vody, prevádzkou technických zariadení, výrobou stavebných materiálov, údržbou, rekonštrukciami aj ukončením životnosti budovy. Na základe týchto údajov možno určiť prevádzkový uhlík (Operational Carbon), zabudovaný uhlík (Embodied Carbon) a celkovú uhlíkovú stopu počas životného cyklu budovy (Whole Life Carbon).

Medzinárodne najrozšírenejším rámcom pre vykazovanie emisií je Greenhouse Gas Protocol, ktorý rozdeľuje emisie do troch základných kategórií. Scope 1 zahŕňa priame emisie vznikajúce z vlastných zdrojov organizácie, Scope 2 predstavuje nepriame emisie súvisiace s nakupovanou elektrickou energiou alebo teplom a Scope 3 zahŕňa ostatné nepriame emisie vznikajúce počas celého hodnotového reťazca. Pri hodnotení budov majú význam všetky tri kategórie, najmä pri komplexnom posudzovaní životného cyklu.

Carbon Accounting sa dnes stal neoddeliteľnou súčasťou environmentálneho manažmentu, ESG reportingu, zeleného financovania a environmentálnych certifikácií budov. Na spracovanie údajov sa využívajú špecializované digitálne nástroje, ako sú One Click LCA, eTool, rôzne kalkulatory uhlíkovej stopy a systémy energetického manažmentu, ktoré umožňujú automatizovaný zber, spracovanie a vyhodnocovanie environmentálnych údajov.

Systematické sledovanie emisií prináša organizáciám viacero významných výhod. Umožňuje presnejšie riadiť environmentálnu výkonnosť, identifikovať hlavné zdroje emisií, plánovať dekarbonizačné opatrenia, plniť legislatívne požiadavky a zároveň zvyšovať dôveryhodnosť organizácie vo vzťahu k investorom, finančným inštitúciám a verejnosti.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Carbon Accounting predstavuje základný nástroj merania a riadenia uhlíkovej stopy budov. Umožňuje systematicky monitorovať emisie počas celého životného cyklu stavby a poskytuje objektívne údaje potrebné na prijímanie opatrení smerujúcich k ich znižovaniu. V budovách s nízkou uhlíkovou stopou, budovách s nulovými emisiami (ZEB) a klimaticky neutrálnych projektoch sa Carbon Accounting stáva neoddeliteľnou súčasťou environmentálneho manažmentu a významným nástrojom na dosahovanie cieľov klimateckej neutrality.

## **10.12.2 Význam**

Význam Carbon Accounting v posledných rokoch výrazne narastá v dôsledku sprísňujúcich sa klimatických politík, rastúceho významu ESG kritérií a zvyšujúcich sa požiadaviek na transparentnosť environmentálnych údajov. Organizácie, developeri, vlastníci budov aj

finančné inštitúcie potrebujú spoľahlivé informácie o emisiách skleníkových plynov, aby mohli efektívne riadiť klimatické riziká, stanovovať dekarbonizačné stratégie a plniť legislatívne požiadavky.

Jednou z najvýznamnejších oblastí využitia Carbon Accounting je ESG reporting, v rámci ktorého sa hodnotia emisie skleníkových plynov, uhlíková stopa organizácie, energetická hospodárnosť budov, klimatické riziká a plnenie dekarbonizačných cieľov. Údaje získané prostredníctvom Carbon Accounting predstavujú základ pre prípravu nefinančných správ podľa požiadaviek smernice Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), nariadenia Sustainable Finance Disclosure Regulation (SFDR) a ďalších európskych regulačných rámcov. Bez spoľahlivého systému evidencie emisií nie je možné objektívne preukázať environmentálnu výkonnosť organizácie ani hodnotiť pokrok pri plnení klimatických záväzkov. Významnú úlohu zohráva Carbon Accounting aj pri environmentálnych certifikáciách budov, ako sú LEED, BREEAM, DGNB alebo Living Building Challenge. V rámci týchto systémov sa hodnotí uhlíková stopa budovy, energetická hospodárnosť, využívanie obnoviteľných zdrojov energie a environmentálne dopady počas celého životného cyklu. Presné údaje o emisiách umožňujú objektívne preukázať splnenie certifikačných požiadaviek a podporujú získanie vyššieho environmentálneho hodnotenia.

Carbon Accounting predstavuje zároveň významný nástroj environmentálneho manažmentu. Systematické monitorovanie emisií umožňuje identifikovať hlavné zdroje uhlíkovej stopy, stanovovať environmentálne ciele, priebežne hodnotiť účinnosť prijatých opatrení a podporovať dlhodobé znižovanie environmentálnych dopadov organizácie alebo budovy. Takýto prístup vytvára základ pre efektívne riadenie klimatických stratégií a plánovanie budúcich investícií do energetickej efektívnosti a obnoviteľných zdrojov energie.

Výsledky Carbon Accounting zároveň poskytujú významnú podporu pri tvorbe dekarbonizačných stratégií. Na základe podrobnej analýzy emisií možno identifikovať oblasti s najväčším potenciálom ich znižovania, efektívnejšie plánovať energetické renovácie, modernizáciu technických zariadení alebo implementáciu obnoviteľných zdrojov energie. Takéto údaje umožňujú smerovať investície tam, kde prinášajú najväčší environmentálny aj ekonomický prínos.

Význam Carbon Accounting neustále rastie aj z pohľadu investorov a finančných inštitúcií. Údaje o uhlíkovej stope sa využívajú pri hodnotení klimatických rizík, ESG výkonnosti, rozhodovaní o zelenom financovaní a identifikácii udržateľných investičných príležitostí. Budovy s nízkou uhlíkovou stopou sú čoraz častejšie vnímané ako perspektívnejšie, ekonomicky stabilnejšie a menej rizikové investície.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Carbon Accounting predstavuje jeden zo základných nástrojov environmentálneho riadenia moderných budov. Presné sledovanie, evidencia a vykazovanie emisií skleníkových plynov umožňujú objektívne hodnotiť environmentálnu výkonnosť stavebných projektov, podporujú implementáciu dekarbonizačných opatrení a vytvárajú predpoklady na získanie environmentálnych certifikácií aj zeleného financovania. V podmienkach rastúcich požiadaviek na klimatickú neutralitu sa Carbon Accounting stáva nevyhnutnou súčasťou navrhovania, prevádzky a hodnotenia nízkouhlíkových budov, budov s nulovými emisiami (ZEB) a ďalších udržateľných stavebných projektov.

## **10.13 Certifikácie budov**

Environmentálne certifikačné systémy predstavujú významný nástroj hodnotenia udržateľnosti budov a zohrávajú čoraz dôležitejšiu úlohu pri podpore dekarbonizácie stavebného sektora. Ich pôvodným cieľom bolo predovšetkým hodnotenie energetickej hospodárnosti budov, kvality vnútorného prostredia a efektívneho využívania prírodných zdrojov. V súčasnosti však certifikačné metodiky venujú rastúcu pozornosť aj hodnoteniu uhlíkovej stopy stavebných materiálov, emisií skleníkových plynov a environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu budovy.



Moderné certifikačné systémy podporujú využívanie metodiky Life Cycle Assessment (LCA), hodnotenie Whole Life Carbon (WLC) a používanie Environmentálnych produktových deklarácií (EPD). Tým motivujú investorov, projektantov a developerov k výberu stavebných riešení s nižšími environmentálnymi dopadmi a vytvárajú objektívny rámec na porovnávanie udržateľnosti budov.

Medzi najvýznamnejšie medzinárodné certifikačné systémy patria LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) a DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen). Hoci všetky podporujú znižovanie uhlíkovej stopy, ich metodický prístup sa v jednotlivých oblastiach čiastočne odlišuje.

### **LEED**

Systém LEED, vyvinutý organizáciou U.S. Green Building Council (USGBC), patrí medzi najrozšírenejšie environmentálne certifikácie budov na svete. Z pohľadu uhlíkovej stopy kladie dôraz predovšetkým na energetickú hospodárnosť budovy, využívanie obnoviteľných zdrojov energie, efektívne technické systémy a environmentálne vlastnosti stavebných materiálov.

Významnou súčasťou hodnotenia je podpora využívania materiálov s nižším zabudovaným uhlíkom, používanie Environmentálnych produktových deklarácií (EPD) a znižovanie prevádzkových emisií skleníkových plynov. Novšie verzie systému LEED zároveň postupne rozširujú využívanie metodiky Life Cycle Assessment, čím sa zvyšuje význam hodnotenia uhlíka počas celého životného cyklu budovy.

### **BREEAM**

BREEAM predstavuje najrozšírenejší systém environmentálnej certifikácie budov v Európe. Charakteristickým znakom tejto metodiky je dôraz na komplexné hodnotenie environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu budovy.

Na rozdiel od systému LEED využíva BREEAM vo väčšej miere metodiku Life Cycle Assessment (LCA), prostredníctvom ktorej hodnotí environmentálne dopady výroby stavebných materiálov, výstavby, prevádzky, údržby aj ukončenia životnosti budovy. Významnou súčasťou hodnotenia sú ukazovatele Global Warming Potential (GWP), spotreba energie, spotreba vody, produkcia odpadu a ďalšie kategórie environmentálnych dopadov.

V posledných verziách metodiky BREEAM sa čoraz väčší dôraz kladie na koncept Whole Life Carbon, ktorý umožňuje systematicky znižovať zabudovaný aj prevádzkový uhlík počas celého životného cyklu budovy.

### **DGNB**

Nemecký systém DGNB patrí medzi najkomplexnejšie metodiky hodnotenia udržateľnosti budov. Charakteristickým znakom certifikácie je veľmi silné prepojenie s metodikou Life Cycle Assessment a systematické hodnotenie environmentálnych, ekonomických a sociálnych aspektov budovy.

Na rozdiel od ostatných certifikačných systémov predstavuje LCA jedno zo základných hodnotiacich kritérií. Posudzujú sa emisie skleníkových plynov počas všetkých etáp životného cyklu, zabudovaný uhlík, prevádzkové emisie, spotreba energie, využívanie prírodných zdrojov a možnosti recyklácie stavebných materiálov.

Významnou výhodou systému DGNB je prepojenie metodiky Life Cycle Assessment (LCA) s metodikou Life Cycle Costing (LCC). Certifikácia preto neposudzuje iba environmentálne dopady budovy, ale zároveň hodnotí ekonomickú efektívnosť počas celého životného cyklu. Takýto prístup umožňuje optimalizovať návrh budovy z pohľadu klimatických aj ekonomických kritérií.

### **Porovnanie certifikačných systémov**

Z pohľadu hodnotenia uhlíkovej stopy možno jednotlivé certifikačné systémy charakterizovať nasledovne. Z pohľadu uhlíkovej stopy možno hlavné rozdiely zhrnúť ako je uvedené v tabuľke nižšie (Tabuľka 31).

**Tabuľka 31** Porovnanie systémov z pohľadu uhlíkovej stopy

| <b>Certifikácia</b> | <b>Hlavné oblasti hodnotenia</b>                                 |
|---------------------|------------------------------------------------------------------|
| LEED                | energia, materiály, emisie                                       |
| BREEAM              | životný cyklus, environmentálne dopady                           |
| DGNB                | Komplexné hodnotenie LCA, Whole Life Carbon a Life Cycle Costing |

Všetky tri systémy podporujú znižovanie uhlíkovej stopy stavebných projektov, ich metodické zameranie je však odlišné. LEED venuje väčšiu pozornosť energetickej hospodárnosti a prevádzkovým emisiám, BREEAM zdôrazňuje komplexné environmentálne hodnotenie počas životného cyklu a DGNB predstavuje najkomplexnejší prístup založený na integrácii metodík Life Cycle Assessment, Whole Life Carbon a Life Cycle Costing.

Význam pre nízkouhlíkové budovy

Environmentálne certifikačné systémy predstavujú významný nástroj podpory dekarbonizácie stavebného sektora. Prostredníctvom hodnotenia energetickej hospodárnosti, uhlíkovej stopy stavebných materiálov, metodiky Life Cycle Assessment a konceptu Whole Life Carbon motivujú projektantov a investorov k navrhovaniu budov s nižšími environmentálnymi dopadmi. V podmienkach rastúcich požiadaviek na klimatickú neutralitu, ESG reporting a udržateľné financovanie sa certifikácie LEED, BREEAM a DGNB stávajú významným nástrojom preukazovania environmentálnej kvality budov a podporujú rozvoj nízkouhlíkoveho stavebníctva.

## 10.14 Digitálne pasy budov

Digitalizácia stavebného sektora a rastúce požiadavky na transparentnosť environmentálnych údajov vedú k vzniku nových nástrojov na správu informácií o budovách počas celého ich životného cyklu. Jedným z najvýznamnejších pripravovaných nástrojov je Digitálny pas budovy (Digital Building Passport – DBP), ktorý sa postupne stáva súčasťou európskej stratégie dekarbonizácie budov, digitalizácie stavebníctva a podpory princípov obehového hospodárstva.

Cieľom digitálneho pasu budovy je zhromažďovať, aktualizovať a sprístupňovať technické, energetické, materiálové a environmentálne údaje o budove v jednotnom digitálnom formáte počas celého jej životného cyklu. Takýto systém umožní efektívnejšie riadenie budov, jednoduchšie plánovanie renovácií, transparentnejšie hodnotenie ich environmentálnej výkonnosti a podporí rozhodovanie vlastníkov, investorov aj verejných inštitúcií.

Zavedenie digitálnych pasov budov je podporované novou smernicou EPBD 2024 a úzko súvisí aj s pripravovaným rozvojom Digitálnych produktových pasov (Digital Product Passport – DPP) podľa nových európskych predpisov.

### Obsah digitálneho pasu budovy

Digitálny pas budovy predstavuje elektronický informačný systém, ktorý sprevádza budovu počas celého jej životného cyklu. Obsahuje komplexné údaje o technických vlastnostiach budovy, jej energetickej hospodárnosti, použitých stavebných materiáloch, uhlíkovej stope, vykonaných renováciách a ďalších environmentálnych charakteristikách. Informácie sa priebežne aktualizujú počas prevádzky objektu, čím vzniká aktuálna digitálna dokumentácia budovy.

### Energetické údaje

Jednou zo základných častí digitálneho pasu budú energetické informácie. Evidujú sa údaje o energetickej triede budovy, spotrebe energie, potrebe energie na vykurovanie a chladenie, využívaní obnoviteľných zdrojov energie, ako aj výsledky energetickej certifikácie.

Tieto informácie umožnia priebežne monitorovať energetickú hospodárnosť budovy, identifikovať potenciál energetických úspor a efektívnejšie plánovať budúce renovácie.

### **Uhlíková stopa budovy**

Významnou súčasťou digitálneho pasu bude evidencia uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy. Súčasťou databázy budú údaje o zabudovanom uhlíku (Embodied Carbon), prevádzkovom uhlíku (Operational Carbon), výsledkoch analýz Life Cycle Assessment (LCA) a hodnotení Whole Life Carbon (WLC).

Takýto prístup umožní priebežne monitorovať klimatické dopady budovy a poskytne spoľahlivý podklad na hodnotenie jej environmentálnej výkonnosti.

### **Materiálové zloženie**

Digitálny pas bude obsahovať aj podrobné informácie o použitých stavebných materiáloch. Evidovať sa budú druhy materiálov, ich množstvo, environmentálne produktové deklarácie (EPD), podiel recyklovaného obsahu, možnosti recyklácie aj potenciál opätovného využitia po skončení životnosti budovy.

Tieto údaje podporujú princípy obehového hospodárstva (Circular Economy) a vytvárajú predpoklady pre efektívnejšie hospodárenie so stavebnými materiálmi počas celého životného cyklu objektu.

### **Prepojenie s digitálnymi technológiami**

Digitálny pas budovy bude úzko prepojený s metodikou Building Information Modeling (BIM), databázami stavebných materiálov, systémami energetického manažmentu a inteligentnými technológiami riadenia budov.

Významnú úlohu bude zohrávať aj prepojenie s Digitálnymi produktovými pasmi (DPP) jednotlivých stavebných výrobkov, ktoré umožnia automaticky získavať údaje o ich pôvode, environmentálnych vlastnostiach, uhlíkovej stope, recyklovateľnosti a možnostiach opätovného využitia. Takáto integrácia umožní automatickú aktualizáciu údajov a výrazne zjednoduší správu budov počas celej ich životnosti.

### **Význam pre správu budov**

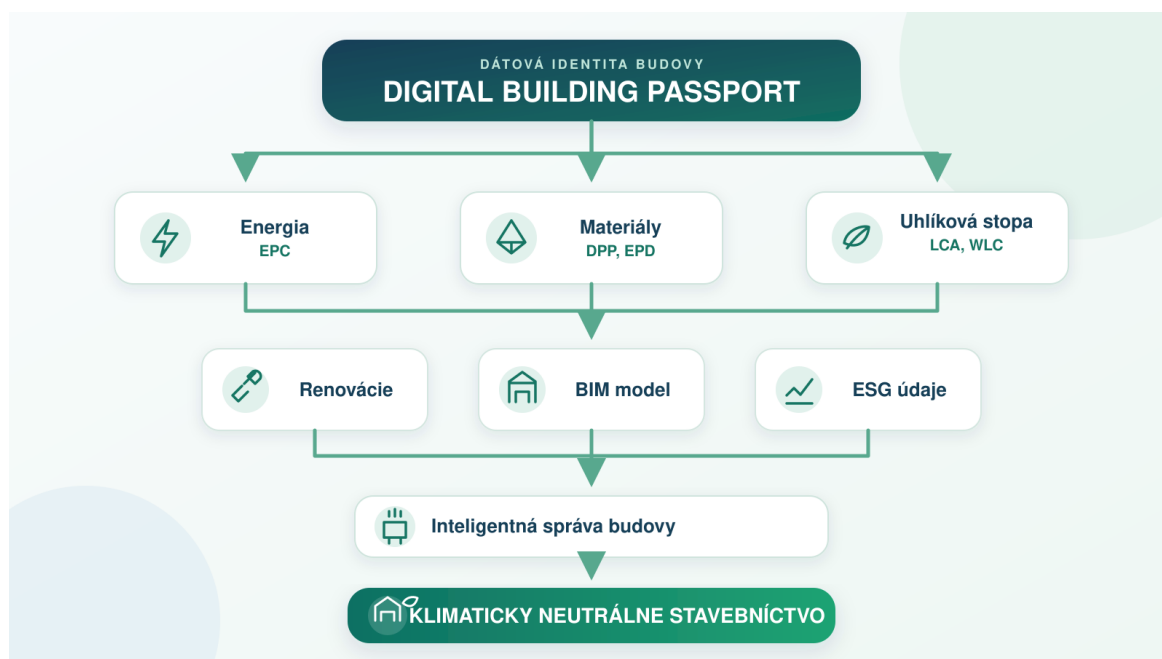
Zavedenie digitálnych pasov prinesie významné výhody pre všetkých účastníkov stavebného procesu. Zvýši transparentnosť údajov o budovách, zjednoduší plánovanie renovácií, podporí dekarbonizáciu stavebného fondu a umožní presnejšie environmentálne hodnotenie budov.

Digitálne pasy zároveň uľahčia správu majetku, podporia rozhodovanie investorov a vlastníkov budov a prispievajú k efektívnejšiemu využívaniu stavebných materiálov počas celého ich životného cyklu.

### **Súvislosť s európskou legislatívou**

Zavádzanie digitálnych pasov budov je súčasťou širších iniciatív Európskej únie zameraných na dosiahnutie klimatickej neutrality, podporu obehového hospodárstva a digitalizáciu stavebného sektora. Úzko súvisí s implementáciou smernice EPBD 2024, nariadenia Construction Products Regulation (CPR 2024), rámca Level(s) a pripravovaným systémom Digital Product Passport (DPP).

Očakáva sa, že digitálne pasy budov sa v nasledujúcich rokoch stanú štandardnou súčasťou správy budov vo všetkých členských štátoch Európskej únie (Obrázok 48).



**Obrázok 48** Digitálny pas budovy – informačný model počas životného cyklu

### Význam pre nízkouhlíkové stavebníctvo

Digitálny pas budovy predstavuje významný krok smerom k inteligentnému a transparentnému riadeniu budov počas celého ich životného cyklu. Evidencia energetických údajov, uhlíkovej stopy, materiálového zloženia a histórie renovácií umožní objektívne hodnotiť environmentálnu výkonnosť budov a podporí navrhovanie objektov s minimálnou uhlíkovou stopou.

V spojení s metodikami Building Information Modeling (BIM), Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC), ESG reportingom, Digitálnym produktovým pasom (DPP) a princípmi obehového hospodárstva predstavuje Digital Building Passport jeden z kľúčových nástrojov budúceho digitálneho, inteligentného a klimaticky neutrálneho stavebníctva.

### 10.15 Budúce smerovanie hodnotenia

Hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov prechádza v súčasnosti dynamickým vývojom. Rastúce požiadavky na klimatickú neutralitu, dekarbonizáciu stavebného sektora a transparentnosť environmentálnych údajov vedú k postupnému rozširovaniu metodík hodnotenia životného cyklu, uhlíkovej stopy a celkovej environmentálnej výkonnosti budov. Európska únia si stanovila ambiciózny cieľ dosiahnuť klimatickú neutralitu do roku 2050. Splnenie tohto cieľa si vyžaduje zásadnú transformáciu stavebného sektora a zavedenie nových digitálnych nástrojov umožňujúcich presné meranie, monitorovanie a riadenie environmentálnych dopadov budov počas celého ich životného cyklu.

Budúci vývoj bude charakterizovaný prechodom od hodnotenia energetickej hospodárnosti k komplexnému hodnoteniu environmentálnej výkonnosti budov, ktoré bude zahŕňať uhlíkovú stopu, spotrebu zdrojov, možnosti recyklácie stavebných materiálov aj klimatickú odolnosť budov.

### Whole Life Carbon Assessment

Jedným z najvýznamnejších trendov bude postupné zavádzanie Whole Life Carbon Assessment (WLCA) ako štandardného nástroja hodnotenia nových budov a významných renovácií. Na rozdiel od tradičného hodnotenia prevádzkovej energie umožňuje WLCA posudzovať emisie vznikajúce počas celého životného cyklu stavby vrátane výroby stavebných materiálov, výstavby, prevádzky, údržby, rekonštrukcií a ukončenia životnosti.

Očakáva sa, že budúce legislatívne požiadavky budú stanovovať maximálne prípustné hodnoty uhlíkovej stopy podobne, ako sú dnes definované požiadavky na energetickú hospodárnosť budov. Tento prístup je podporovaný aj novou smernicou EPBD 2024, ktorá vytvára rámec pre postupné zavádzanie hodnotenia uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budov.

### **Automatizované LCA analýzy**

Významný rozvoj možno očakávať aj v oblasti automatizácie metodiky Life Cycle Assessment (LCA). Moderné softvérové nástroje budú schopné automaticky spracovávať údaje o stavebných materiáloch, priebežne aktualizovať výsledky výpočtov a okamžite vyhodnocovať environmentálne dôsledky jednotlivých projektových rozhodnutí.

Automatizácia výrazne zníži časovú náročnosť environmentálnych analýz, umožní rýchle porovnávanie alternatívnych návrhov a podporí širšie využívanie LCA v každodennej projektovej praxi.

### **Prepojenie BIM s environmentálnymi databázami**

Jedným z hlavných smerov digitálnej transformácie stavebníctva bude hlbšia integrácia Building Information Modeling (BIM) s databázami environmentálnych údajov a nástrojmi na hodnotenie životného cyklu.

Digitálne modely budov budú priamo prepojené s databázami, ako sú Ecoinvent, GaBi, ICE Database alebo databázy Environmentálnych produktových deklarácií (EPD). Projektanti tak budú môcť v reálnom čase sledovať uhlíkovú stopu budovy, environmentálne dopady použitých materiálov aj energetickú náročnosť jednotlivých návrhových riešení.

Takéto prepojenie významne podporí environmentálnu optimalizáciu budov už počas projektovej prípravy.

### **ESG reporting a hodnotenie budov**

Význam ESG kritérií (Environmental, Social and Governance) bude v nasledujúcich rokoch naďalej narastať. Environmentálna výkonnosť budov sa stane jedným z rozhodujúcich faktorov pri investičnom rozhodovaní, oceňovaní nehnuteľností aj prístupe k zelenému financovaniu.

Budovy budú čoraz častejšie hodnotené z pohľadu uhlíkovej stopy, energetickej efektívnosti, klimatických rizík, hospodárenia so zdrojmi a celkovej environmentálnej výkonnosti. Transparentné vykazovanie týchto údajov sa stane štandardnou súčasťou správy budov, investičných analýz aj environmentálnych certifikácií.

### **Digital Building Passport a Digital Product Passport**

Významným trendom budúcnosti bude zavádzanie Digital Building Passport (DBP) a Digital Product Passport (DPP). Digitálny pas budovy bude obsahovať komplexné informácie o energetickej hospodárnosti, uhlíkovej stope, materiálovom zložení, realizovaných renováciách, technických systémoch a environmentálnych ukazovateľoch počas celého životného cyklu budovy.

Digitálne produktové pasy zároveň umožnia sledovať pôvod stavebných materiálov, ich environmentálne vlastnosti, možnosti recyklácie a opätovného využitia. Ich význam bude ďalej narastať v súvislosti s implementáciou Construction Products Regulation (CPR 2024) a rozvojom princípov obehového hospodárstva.

### **Umelá inteligencia a digitálne dvojčatá**

Budúcnosť environmentálneho hodnotenia budov bude úzko súvisieť aj s rastúcim využívaním umelej inteligencie (Artificial Intelligence – AI), strojového učenia (Machine Learning) a digitálnych dvojčiat budov (Digital Twins).

Tieto technológie umožnia automaticky optimalizovať prevádzku budov, predikovať budúcu spotrebu energie, modelovať emisie skleníkových plynov a identifikovať potenciál ďalších úspor. Digitálne dvojčatá budú zároveň poskytovať aktuálne informácie o technickom stave budovy a podporovať efektívnejšie riadenie počas celej jej životnosti.

### **Perspektívy ďalšieho vývoja**

Budúce hodnotenie environmentálnej výkonnosti budov bude založené na prepojení digitálnych technológií, automatizovaných environmentálnych analýz a komplexného posudzovania životného cyklu. Kombinácia metodík Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Building Information Modeling (BIM), rámca Level(s), digitálnych pasov budov a produktov, ako aj nástrojov umelej inteligencie vytvorí nový štandard projektovania a prevádzky budov.

Takýto integrovaný prístup umožní objektívne hodnotiť environmentálnu výkonnosť budov, podporí efektívnejšie využívanie prírodných zdrojov a prispeje k systematickému znižovaniu emisií skleníkových plynov. Budovy budúcnosti sa tak stanú inteligentnými, digitálne riadenými systémami schopnými optimalizovať svoju prevádzku počas celého životného cyklu a aktívne prispievať k dosahovaniu klimateckej neutrality stavebného sektora.

### **Význam pre nízkouhlíkové budovy**

Budúci vývoj hodnotenia environmentálnej výkonnosti smeruje k plnej integrácii digitálnych technológií, automatizovaných výpočtov a komplexného hodnotenia životného cyklu. Povinné Whole Life Carbon Assessment, BIM prepojenie s uhlíkovými databázami a ESG reporting výrazne zvýšia transparentnosť a presnosť environmentálneho hodnotenia budov.

Tieto nástroje budú zohrávať kľúčovú úlohu pri dosahovaní klimateckej neutrality a vytvoria základ pre budovy budúcnosti s minimálnou uhlíkovou stopou, vysokou energetickou efektívnosťou a plnou integráciou do digitálneho prostredia stavebného sektora.

Hodnotenie životného cyklu budov a kvantifikácia uhlíkovej stopy predstavujú základné nástroje moderného nízkouhlíkoveho stavebníctva a významne prispievajú k napĺňaniu cieľov klimateckej neutrality. Tradičný prístup zameraný predovšetkým na energetickú hospodárnosť počas prevádzky budovy už neposkytuje dostatočne komplexný obraz o jej environmentálnych dopadoch. Súčasné požiadavky preto smerujú k hodnoteniu celého životného cyklu stavby, ktoré zahŕňa všetky fázy od získavania surovín, výroby stavebných materiálov a výstavby až po prevádzku, obnovu, demoláciu a recykláciu.

V kapitole bola predstavená koncepcia životného cyklu budovy podľa normy EN 15978, ktorá vytvára systematický rámec pre hodnotenie environmentálnej výkonnosti stavebných objektov. Modulový prístup umožňuje identifikovať najvýznamnejšie zdroje emisií skleníkových plynov počas jednotlivých etáp životného cyklu a vytvára predpoklady na optimalizáciu návrhu budov z hľadiska ich celkového environmentálneho dopadu.

Osobitná pozornosť bola venovaná metodike Life Cycle Assessment (LCA), ktorá predstavuje medzinárodne uznávaný nástroj na hodnotenie environmentálnych dopadov budov a stavebných výrobkov. Metodika definovaná normami ISO 14040 a ISO 14044 umožňuje systematicky analyzovať spotrebu energie, využívanie prírodných zdrojov, produkciu emisií skleníkových plynov, spotrebu vody a ďalšie environmentálne ukazovatele počas celého životného cyklu stavby. Významným prvkom metodiky je správne definovanie funkčnej jednotky, ktorá zabezpečuje objektívnu porovnateľnosť výsledkov jednotlivých hodnotení.

Kapitola sa ďalej venovala hlavným indikátorom environmentálnej výkonnosti, medzi ktoré patria Global Warming Potential (GWP), Acidification Potential (AP), Eutrophication Potential (EP) a Ozone Depletion Potential (ODP). Spomedzi nich zohráva rozhodujúcu úlohu ukazovateľ potenciálu globálneho otepľovania, ktorý predstavuje základný parameter pri určovaní uhlíkovej stopy budov a stavebných materiálov.

Významnou súčasťou hodnotenia environmentálnej výkonnosti je koncept Whole Life Carbon (WLC), ktorý zahŕňa zabudovaný uhlík (Embodied Carbon), prevádzkový uhlík (Operational Carbon) a emisie vznikajúce na konci životnosti budovy (End of Life Emissions). Tento prístup umožňuje komplexne hodnotiť klimatecké dopady stavebných projektov a identifikovať opatrenia vedúce k ich minimalizácii počas celého životného cyklu.

Na realizáciu analýz LCA sú nevyhnutné kvalitné environmentálne údaje, ktoré poskytujú špecializované databázy, ako Ecoinvent, GaBi, ICE Database alebo ÖKOBAUDAT, ako aj

environmentálne produktové deklarácie (EPD). Tieto zdroje údajov umožňujú presnejšie hodnotenie stavebných materiálov a vytvárajú základ pre objektívne porovnávanie alternatívnych konštrukčných riešení. Významným prínosom digitálnej transformácie stavebníctva je aj využívanie softvérových nástrojov, ktoré umožňujú integrovať hodnotenie životného cyklu priamo do procesu projektovania budov.

Kapitola zároveň poukázala na rastúci význam monitorovania skutočnej prevádzky budov prostredníctvom Building Performance Evaluation (BPE), inteligentných systémov monitorovania spotreby energií a metodiky Carbon Accounting, ktorá umožňuje systematicky sledovať, vyhodnocovať a vykazovať emisie skleníkových plynov. Tieto nástroje vytvárajú dôležitú spätnú väzbu medzi projektovanou a skutočnou výkonnosťou budov a súčasne predstavujú základ pre ESG reporting, environmentálny manažment a zelené financovanie.

Významná pozornosť bola venovaná aj environmentálnym certifikačným systémom LEED, BREEAM a DGNB, ktoré čoraz výraznejšie integrujú princípy hodnotenia životného cyklu, uhlíkovej stopy a metodiky Whole Life Carbon. Certifikácie tak prestávajú hodnotiť iba energetickú hospodárnosť budov a stávajú sa komplexnými nástrojmi posudzovania ich environmentálnej výkonnosti.

Vývoj stavebného sektora zároveň smeruje k intenzívnej digitalizácii procesov hodnotenia budov. Rozvoj Building Information Modeling (BIM), automatizovaných výpočtov LCA, digitálnych pasov budov (Digital Building Passport) a ESG reportingu vytvára predpoklady na efektívnejšie riadenie environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu stavieb. Tieto nástroje umožnia nielen presnejšie hodnotenie uhlíkovej stopy, ale aj efektívnejšie rozhodovanie pri navrhovaní, výstavbe a prevádzke budov.

## 11 DISKUSIA

### 11.1 Interpretácia výsledkov

Výsledky prezentované v predchádzajúcich kapitolách potvrdzujú, že nízkouhlíkové budovy predstavujú jeden z najúčinnějších nástrojov na znižovanie emisií skleníkových plynov v stavebnom sektore. Analýza teoretických poznatkov, legislatívnych požiadaviek, ekonomických aspektov, metodík hodnotenia životného cyklu a realizovaných prípadových štúdií ukázala, že dekarbonizácia stavebníctva nemôže byť založená na izolovanom využívaní jednotlivých technológií, ale vyžaduje komplexný prístup zahŕňajúci všetky etapy životného cyklu budovy.

Stavebný sektor patrí medzi najvýznamnejších producentov emisií skleníkových plynov, pričom významná časť emisií vzniká nielen počas prevádzky budov, ale aj pri výrobe stavebných materiálov, výstavbe, rekonštrukciách a ukončení životnosti stavieb. Z tohto dôvodu už samotné znižovanie prevádzkovej spotreby energie nepostačuje na dosiahnutie klimatickej neutrality. Výsledky práce jednoznačne potvrdzujú rastúci význam metodík Life Cycle Assessment (LCA) a Whole Life Carbon (WLC), ktoré umožňujú hodnotiť environmentálne dopady budov počas celého ich životného cyklu.

Jedným z najvýznamnejších zistení je skutočnosť, že rozhodujúca časť budúcej environmentálnej výkonnosti budovy je ovplyvnená už v počiatočných fázach projektovania. Architektonický návrh, orientácia budovy, dispozičné riešenie, kvalita obálky a výber stavebných materiálov zásadným spôsobom určujú nielen energetickú hospodárnosť budovy, ale aj jej celkovú uhlíkovú stopu. Skúmané prípadové štúdie zároveň potvrdili, že najúspešnejšie nízkouhlíkové projekty nevychádzajú z jedného dominantného opatrenia, ale z integrácie viacerých navzájom prepojených stratégií.

Významným poznatkom je rastúci význam zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon). V minulosti predstavovali dominantnú časť uhlíkovej stopy budov prevádzkové emisie spojené s vykurovaním, chladením a prípravou teplej vody. Postupným sprísňovaním energetických požiadaviek a rozvojom nízkoenergetických a pasívnych budov sa však prevádzkové emisie výrazne znižujú, zatiaľ čo relatívny podiel emisií vznikajúcich pri výrobe stavebných materiálov, doprave a realizácii stavby neustále rastie. Tento trend potvrdzuje nevyhnutnosť systematického hodnotenia zabudovaného uhlíka už počas projektovej prípravy.

Výsledky práce zároveň poukazujú na význam využívania nízkouhlíkových stavebných materiálov. Tradičné materiály, ako cement, betón, oceľ alebo hliník, predstavujú významné zdroje emisií skleníkových plynov. Naopak, využívanie drevených konštrukcií, recyklovaných stavebných materiálov alebo výrobkov s environmentálnou produktovou deklaráciou (EPD) umožňuje významne znižovať uhlíkovú stopu budov ešte pred ich uvedením do prevádzky. Tento prístup je plne v súlade so súčasnými požiadavkami Európskej únie na podporu obehového hospodárstva a efektívneho využívania zdrojov.

Dôležitým výsledkom analýzy je aj potvrdenie významu obnoviteľných zdrojov energie pri znižovaní prevádzkových emisií. Prípadové štúdie, ako Powerhouse Brattørkaia alebo Bullitt Center, demonštrujú, že kombinácia kvalitnej obálky budovy, fotovoltických systémov, tepelných čerpadiel a inteligentného energetického manažmentu umožňuje dosahovať veľmi nízku alebo dokonca energeticky pozitívnu prevádzku budov. Obnoviteľné zdroje energie sa preto stávajú nevyhnutnou súčasťou moderného nízkouhlíkoveho stavebníctva.

Významný potenciál bol identifikovaný aj v oblasti digitalizácie stavebníctva. Rozvoj technológií Building Information Modeling (BIM), digitálnych dvojčiat budov (Digital Twins), inteligentných systémov riadenia (BMS) a umelej inteligencie vytvára nové možnosti optimalizácie prevádzky budov počas celého ich životného cyklu. Skúsenosti z analyzovaných projektov ukazujú, že inteligentné riadenie umožňuje významne znižovať spotrebu energie, zvyšovať prevádzkovú efektívnosť a súčasne zachovávať vysokú úroveň komfortu používateľov.

Analýza zároveň poukázala na rastúci význam ekonomických a legislatívnych nástrojov podporujúcich dekarbonizáciu stavebníctva. Európska zelená dohoda, smernica EPBD 2024,



Taxonómia Európskej únie, ESG kritériá a systém obchodovania s emisnými kvótami vytvárajú nové podmienky, v ktorých sa environmentálna výkonnosť budov stáva významným ekonomickým faktorom. Energeticky efektívne budovy s nízkou uhlíkovou stopou získavajú výhodnejší prístup k financovaniu, vyššiu investičnú hodnotu a lepšie predpoklady na splnenie budúcich regulačných požiadaviek.

Na druhej strane analýza identifikovala aj viaceré bariéry rozvoja nízkouhlíkového stavebníctva. Medzi najvýznamnejšie patria vyššie počiatkové investičné náklady, nedostatok kvalifikovaných odborníkov, obmedzená dostupnosť niektorých nízkouhlíkových materiálov, legislatívne prekážky a konzervatívny prístup časti investorov. Skúsenosti z realizovaných projektov však ukazujú, že väčšina týchto bariér je prekonateľná prostredníctvom kombinácie technologického pokroku, zeleného financovania, legislatívnej podpory a systematického vzdelávania odborníkov.

Výsledky práce zároveň naznačujú, že budúci rozvoj stavebného sektora bude založený na stále intenzívnejšej integrácii energetickej efektívnosti, nízkouhlíkových materiálov, obnoviteľných zdrojov energie, digitálnych technológií a komplexného hodnotenia životného cyklu. Takýto prístup umožní navrhovať budovy s minimálnymi environmentálnymi dopadmi a významne prispeje k dosahovaniu klimateckej neutrality.

### **Zhrnutie interpretácie výsledkov**

Výsledky predloženej práce potvrdzujú, že nízkouhlíkové budovy predstavujú technicky realizovateľné, ekonomicky perspektívne a environmentálne efektívne riešenie súčasných výziev stavebného sektora. Kľúčovým predpokladom ich úspechu je integrovaný prístup založený na kvalitnom architektonickom návrhu, využívaní nízkouhlíkových stavebných materiálov, obnoviteľných zdrojov energie, inteligentných systémov riadenia a metodík hodnotenia životného cyklu. Súčasné trendy jednoznačne naznačujú, že budúcnosť stavebníctva nebude založená iba na znižovaní prevádzkovej spotreby energie, ale predovšetkým na komplexnom riadení uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budov. Práve tento prístup predstavuje základný predpoklad úspešnej transformácie stavebného sektora smerom ku klimateckej neutralite a dlhodobu udržateľnému rozvoju.

## **11.2 Hlavné bariéry**

Napriek rastúcemu významu nízkouhlíkových budov a ich preukázaným environmentálnym, energetickým a ekonomickým prínosom existuje viacero faktorov, ktoré obmedzujú ich širšie uplatnenie v stavebnej praxi. Tieto bariéry sa prejavujú počas celého procesu prípravy, projektovania, realizácie aj prevádzky budov a ovplyvňujú rozhodovanie investorov, projektantov, stavebných spoločností i verejných inštitúcií. Analýza odbornej literatúry, medzinárodných skúseností a realizovaných projektov ukazuje, že prekážky rozvoja nízkouhlíkového stavebníctva možno rozdeliť na ekonomické, technické, legislatívne a sociálne.

### **Ekonomické bariéry**

Ekonomické faktory patria medzi najvýznamnejšie prekážky implementácie nízkouhlíkových riešení. Najčastejšie sa uvádzajú vyššie počiatkové investičné náklady a neistota ekonomickej návratnosti.

Vyššie investičné náklady súvisia predovšetkým s kvalitnejšou obálkou budovy, využívaním obnoviteľných zdrojov energie, inteligentných technológií riadenia, environmentálnych certifikácií a pokročilých stavebných materiálov. Hoci tieto opatrenia prinášajú významné úspory počas prevádzky, vyšší počiatkový CAPEX môže odrádzať investorov orientovaných na krátkodobé ekonomické výsledky.

Významnú úlohu zohráva aj neistota návratnosti investícií. Tá súvisí s budúcim vývojom cien energií, legislatívnymi zmenami, technologickým pokrokom, životnosťou technických zariadení a celkovou ekonomickou efektívnosťou navrhovaných opatrení. Napriek tomu, že metodiky Life Cycle Costing (LCC) a Life Cycle Assessment (LCA) dlhodobu potvrdzujú ekonomické

výhody nízkouhlíkových budov, neistota budúceho vývoja zostáva významným faktorom investičného rozhodovania.

### **Technické bariéry**

Technické bariéry súvisia najmä s vysokými odbornými nárokmi na projektovanie a realizáciu nízkouhlíkových budov. Navrhovanie takýchto objektov si vyžaduje znalosti energetických simulácií, metodiky Life Cycle Assessment, digitálneho projektovania BIM, návrhu obnoviteľných zdrojov energie a inteligentných systémov riadenia budov.

Nedostatok kvalifikovaných odborníkov môže viesť k nesprávnemu návrhu technických systémov, vyšším investičným nákladom alebo nižšej energetickej efektívnosti budovy počas prevádzky.

Ďalšou technickou prekážkou je obmedzená dostupnosť niektorých nízkouhlíkových stavebných materiálov, ako sú nízkouhlíkový betón, recyklované stavebné výrobky alebo špecializované izolačné materiály. V mnohých regiónoch ich výroba ešte nedosahuje dostatočný rozsah, čo môže komplikovať realizáciu projektov a zvyšovať ich náklady.

### **Legislatívne bariéry**

Významným faktorom ovplyvňujúcim rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva je aj regulačné prostredie. Napriek spoločným klimatickým cieľom Európskej únie pretrvávajú medzi jednotlivými členskými štátmi rozdiely v energetických normách, metodikách výpočtu, certifikačných systémoch aj stavebných predpisoch. Tieto rozdiely komplikujú medzinárodné porovnávanie budov a jednotnú implementáciu moderných technológií.

Problém predstavuje aj pomalšie tempo legislatívnych zmien v porovnaní s technologickým rozvojom. Dôsledkom sú zdĺhavé povoloňacie procesy, neistota pri aplikácii nových riešení a obmedzené využívanie inovatívnych technológií v stavebnej praxi.

### **Sociálne bariéry**

Rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva ovplyvňujú aj sociálne a psychologické faktory. Mnohí investori nemajú dostatočné informácie o ekonomických prínosoch nízkouhlíkových budov, možnostiach zeleného financovania alebo dostupných dotačných schémach. Nedostatočná informovanosť môže viesť k podceňovaniu dlhodobých ekonomických aj environmentálnych výhod udržateľných riešení.

Významnú úlohu zohráva aj konzervatívny prístup k novým technológiám. Obavy zo spoľahlivosti technických zariadení, vyšších nákladov na údržbu alebo technologickej zložitosti môžu spomaľovať implementáciu inovatívnych riešení, napriek ich preukázaným prínosom.

### **Možnosti prekonávania bariér**

Skúsenosti z úspešných projektov ukazujú, že väčšinu uvedených bariér možno postupne eliminovať prostredníctvom podpory výskumu a inovácií, rozvoja odborného vzdelávania, využívania zeleného financovania, dotačných programov a legislatívnych stimulov. Významnú úlohu zohráva aj systematické zvyšovanie povedomia o ekonomických a environmentálnych prínosoch nízkouhlíkových budov.

### **Význam pre budúci rozvoj**

Identifikované bariéry predstavujú významné výzvy na ceste ku klimaticky neutrálnemu stavebnému sektoru. Analýza však zároveň ukazuje, že väčšina z nich je riešiteľná prostredníctvom kombinácie technologického pokroku, ekonomických stimulov, vhodnej legislatívy a systematického rozvoja odborných kapacít. Ich postupné odstraňovanie bude rozhodujúcim predpokladom úspešnej transformácie stavebníctva smerom k budovám s nízkou uhlíkovou stopou.

### **Perspektívy ďalšieho rozvoja nízkouhlíkových budov**

Analýza súčasných trendov ukazuje, že potenciál ďalšieho znižovania uhlíkovej stopy budov zostáva veľmi vysoký. Rozvoj nových stavebných materiálov, digitalizácia projektovania, inteligentné technológie riadenia budov a rastúce využívanie obnoviteľných zdrojov energie vytvárajú predpoklady na ďalšie zlepšovanie environmentálnej výkonnosti budov počas celého

ich životného cyklu. Jedným z najperspektívnejších smerov je širšie využívanie drevených konštrukcií, ktoré sa vyznačujú nízkym zabudovaným uhlíkom, schopnosťou viazať atmosférický uhlík, obnoviteľným charakterom a vysokou recyklovateľnosťou. Súčasný technologický rozvoj umožňuje realizovať viacpodlažné drevostavby aj hybridné nosné systémy, ktoré významne prispievajú k dekarbonizácii stavebného sektora.

Významný potenciál predstavuje aj vývoj nízkouhlíkových cementov a betónov, založených na znižovaní obsahu slinku, využívaní recyklovaných prísad, geopolymerných spojív alebo technológií zachytávania oxidu uhličitého. Tieto materiály umožňujú zachovať požadované mechanické vlastnosti pri výrazne nižšej uhlíkovej stope.

Ďalší rozvoj možno očakávať v oblasti obnoviteľných zdrojov energie, predovšetkým fotovoltických systémov a tepelných čerpadel. Pokles cien technológií, rast ich účinnosti a rozvoj batériových úložísk umožňujú, aby sa budovy postupne stávali aktívnymi výrobcami energie a integrálnou súčasťou inteligentných energetických komunít.

Perspektívnym smerom je aj rozvoj digitálnych dvojčiat budov (Digital Twins), ktoré umožňujú priebežne monitorovať prevádzku budovy, simulovať alternatívne scenáre, optimalizovať spotrebu energie a podporovať prediktívnu údržbu technických zariadení. Významnú úlohu bude zohrávať aj umelá inteligencia, ktorá umožní optimalizovať energetickú prevádzku, predikovať spotrebu energie, automatizovať riadenie technických systémov a efektívne analyzovať rozsiahle prevádzkové údaje. Najväčší potenciál však neprinášajú jednotlivé technológie samostatne, ale ich vzájomná integrácia. Budovy budúcnosti budú prepájať nízkouhlíkové stavebné materiály, obnoviteľné zdroje energie, inteligentné systémy riadenia, digitálne modelovanie a algoritmy umelej inteligencie do jedného funkčného celku.

### **Význam pre budovy budúcnosti**

Budúci rozvoj stavebníctva bude založený na synergii nízkouhlíkových materiálov, digitalizácie a inteligentných energetických technológií. Ich postupná implementácia umožní významne znižovať uhlíkovú stopu budov, zvyšovať energetickú efektívnosť a podporovať klimatickú neutralitu stavebného sektora. Budovy budúcnosti tak nebudú iba energeticky efektívne, ale stanú sa inteligentnými, adaptívnymi systémami aktívne prispievajúcimi k ochrane životného prostredia a udržateľnému rozvoju spoločnosti.

## **11.3 Odporúčania pre prax**

Výsledky tejto monografie potvrdzujú, že dosiahnutie klimaticky neutrálneho stavebníctva si vyžaduje koordinovaný prístup všetkých aktérov zapojených do prípravy, realizácie a prevádzky stavebných projektov. Úspešná implementácia nízkouhlíkových riešení nezávisí výlučne od technologického pokroku, ale aj od kvality projektových rozhodnutí, investičných stratégií, legislatívneho prostredia, digitalizácie stavebníctva a úrovne odborného vzdelávania. Transformácia stavebného sektora smerom k vyššej energetickej efektívnosti, nižšej uhlíkovej stope a dlhodobej environmentálnej udržateľnosti si preto vyžaduje aktívnu spoluprácu projektantov, investorov, verejných inštitúcií, akademickej sféry a výrobcov stavebných materiálov. Na základe vykonanej analýzy možno formulovať niekoľko odporúčaní, ktoré môžu prispieť k efektívnejšej implementácii princípov nízkouhlíkového stavebníctva v aplikačnej praxi.

### **Odporúčania pre projektantov**

Projektanti zásadným spôsobom ovplyvňujú budúcu energetickú, ekonomickú aj environmentálnu výkonnosť budov. Rozhodnutia prijaté v počiatočných etapách projektovania determinujú významnú časť budúcich environmentálnych dopadov stavby, preto by mali byť založené na komplexnom hodnotení celého životného cyklu budovy.

Odporúča sa systematicky integrovať metodiku Life Cycle Assessment (LCA) už do počiatočných etáp návrhu, využívať Building Information Modeling (BIM) ako základný nástroj projektovej koordinácie a optimalizovať výber stavebných materiálov z pohľadu zabudovaného uhlíka. Projektovanie by malo vychádzať z princípov Whole Life Carbon (WLC) a využívať

digitálne simulačné nástroje umožňujúce priebežne hodnotiť environmentálne dôsledky jednotlivých návrhových variantov. Významným prínosom bude aj implementácia rámca Level(s) a využívanie Digitálnych produktových pasov (DPP) pri výbere stavebných výrobkov. Takýto prístup umožňuje prijímať projektové rozhodnutia založené na objektívnych údajoch a významne zvyšuje potenciál znižovania uhlíkovej stopy už vo fáze návrhu.

### **Odporúčania pre investorov**

Investori zohrávajú rozhodujúcu úlohu pri určovaní ekonomických priorít projektu a výbere technológií implementovaných počas výstavby. Pri hodnotení stavebných projektov je preto vhodné uprednostňovať dlhodobú ekonomickú efektívnosť pred minimalizáciou počiatočných investičných nákladov.

Rozhodovanie by malo vychádzať z metodiky Life Cycle Costing (LCC), hodnotenia uhlíkovej stopy počas celého životného cyklu budovy, podpory obnoviteľných zdrojov energie a investícií do kvalitnej obálky budovy. Rovnako dôležité je systematické zohľadňovanie ESG kritérií, ktoré sa stávajú významným faktorom pri investičnom rozhodovaní a prístupe k zelenému financovaniu.

Takýto prístup podporuje ekonomicky efektívne a zároveň environmentálne zodpovedné investície s vysokou dlhodobou hodnotou.

### **Odporúčania pre verejnú správu**

Verejná správa zohráva významnú úlohu pri vytváraní legislatívnych, ekonomických a organizačných podmienok podporujúcich rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva. Významným nástrojom zostáva podpora zeleného financovania, rozvoj dotačných programov orientovaných na dekarbonizáciu budov a systematická podpora environmentálnych certifikačných systémov.

Súčasne sa odporúča postupne zavádzať povinné hodnotenie životného cyklu budov, podporovať implementáciu smernice EPBD 2024, rámca Level(s), nového Construction Products Regulation (CPR 2024) a vytvárať podmienky na zavádzanie Digitálnych pasov budov (Digital Building Passport). Neoddeliteľnou súčasťou transformácie stavebného sektora by mala byť aj podpora výskumu, inovácií a digitalizácie stavebníctva.

### **Odporúčania pre akademickú sféru**

Univerzity a výskumné pracoviská zohrávajú kľúčovú úlohu pri rozvoji nových technológií, metodík a príprave budúcich odborníkov. Perspektívnymi oblasťami ďalšieho výskumu sú najmä nízkouhlíkové stavebné materiály, geopolymérne cementy, drevené konštrukčné systémy, bio-based materiály a recyklované stavebné výrobky.

Významný potenciál má aj interdisciplinárny výskum prepájajúci stavebníctvo, energetiku, digitalizáciu a umelú inteligenciu. Rovnako dôležité je rozvíjať vzdelávanie v oblastiach Life Cycle Assessment (LCA), Building Information Modeling (BIM), Whole Life Carbon (WLC), ESG, digitálnych pasov budov a nových európskych environmentálnych metodík.

Kľúčovým predpokladom úspechu zostáva intenzívnejšia spolupráca akademickej sféry so stavebnou praxou, ktorá umožní efektívnejší prenos výsledkov výskumu do reálnych projektov.

### **Potreba interdisciplinárnej spolupráce**

Skúsenosti z úspešných domácich aj zahraničných projektov jednoznačne ukazujú, že najlepšie výsledky možno dosiahnuť iba prostredníctvom úzkej spolupráce všetkých účastníkov stavebného procesu. Projektanti, investori, verejná správa, akademická sféra, výrobcovia stavebných materiálov aj prevádzkovatelia budov vytvárajú vzájomne prepojený systém, ktorého koordinované fungovanie predstavuje základ úspešnej transformácie stavebníctva.

Integrovaný prístup umožňuje efektívnejšie zavádzanie inovácií, rýchlejší prenos výsledkov výskumu do praxe a systematické dosahovanie klimatických cieľov Európskej únie.

### **Záverečné odporúčania**

Navrhnuté odporúčania predstavujú praktický rámec pre ďalší rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva. Ich dôsledná implementácia môže významne prispieť k zníženiu emisií skleníkových plynov, zvyšovaniu energetickej efektívnosti budov, podpore princípov obehového hospodárstva a dosahovaniu klimatickej neutrality.

Budúcnosť stavebného sektora bude založená na integrácii environmentálnych, technických, ekonomických a digitálnych prístupov do jednotného systému navrhovania, realizácie a prevádzky budov. Kľúčovú úlohu pritom budú zohrávať metodiky Life Cycle Assessment (LCA), Whole Life Carbon (WLC), Life Cycle Costing (LCC), Building Information Modeling (BIM), rámec Level(s), Digitálne pasy budov (DBP), Digitálne produktové pasy (DPP), princípy ESG a nové európske legislatívne požiadavky.

Práve koordinovaná spolupráca všetkých účastníkov stavebného procesu vytvára predpoklady na vznik novej generácie nízkouhlíkových budov, ktoré budú spĺňať požiadavky environmentálnej udržateľnosti, ekonomickej efektívnosti a spoločenskej zodpovednosti a budú významne prispievať k dosahovaniu klimatickej neutrality stavebného sektora (Obrázok 49).



**Obrázok 49** Odporúčania pre rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva

## 12 ZÁVER

Stavebný sektor patrí medzi najvýznamnejších producentov emisií skleníkových plynov a zároveň predstavuje jednu z oblastí s najväčším potenciálom ich systematického znižovania. Budovy počas svojho životného cyklu spotrebúvajú značné množstvo energie, stavebných materiálov a prírodných zdrojov, čím významne ovplyvňujú environmentálnu kvalitu zastavaného prostredia aj plnenie klimatických cieľov. V podmienkach prehlbujúcich sa klimatických zmien, rastúcich cien energií a sprísňujúcich sa legislatívnych požiadaviek sa preto nízkouhlíkové stavebníctvo stáva jedným zo základných pilierov udržateľného rozvoja. Cieľom tejto monografie bolo analyzovať princípy, technológie, stavebné materiály, environmentálne a ekonomické aspekty nízkouhlíkových budov a identifikovať možnosti ich širšieho uplatnenia v podmienkach Európskej únie a Slovenskej republiky. Súčasťou práce bolo spracovanie teoretických východísk, analýza metodík hodnotenia životného cyklu, posúdenie technologických riešení, ekonomických súvislostí a vybraných domácich i zahraničných prípadových štúdií.

Výsledky spracovanej analýzy potvrdzujú, že nízkouhlíkové budovy predstavujú jeden z najefektívnejších nástrojov na dosahovanie klimatickej neutrality do roku 2050. Ich význam nespočíva iba v znižovaní prevádzkových emisií prostredníctvom energeticky efektívnej prevádzky, ale predovšetkým v komplexnej minimalizácii environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu stavby. Úspešná realizácia nízkouhlíkových budov si vyžaduje integrovaný prístup založený na optimalizácii architektonického návrhu, využívaní nízkouhlíkových stavebných materiálov, implementácii obnoviteľných zdrojov energie, inteligentných technológií a hodnotení environmentálnych dopadov už v počiatočných etapách projektovania.

Jedným z najvýznamnejších poznatkov práce je rastúci význam zabudovaného uhlíka (Embodied Carbon). Zatiaľ čo tradičné prístupy sa sústreďovali najmä na znižovanie prevádzkovej spotreby energie, súčasné nízkoenergetické a nulovoemisné budovy dosahujú takú úroveň energetickej efektívnosti, že rozhodujúcu časť ich uhlíkovej stopy čoraz častejšie tvoria emisie spojené s výrobou stavebných materiálov, výstavbou, údržbou a ukončením životnosti budovy. Táto skutočnosť potvrdzuje potrebu uplatňovania metodiky Whole Life Carbon a komplexného hodnotenia environmentálnych dopadov počas celého životného cyklu stavebného diela.

Práca zároveň poukázala na význam metodík Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC), Building Information Modeling (BIM) a Whole Life Carbon (WLC), ktoré sa postupne stávajú základnými nástrojmi moderného projektovania. Ich vzájomná integrácia umožňuje projektantom a investorom prijímať rozhodnutia založené na objektívnych údajoch a optimalizovať budovy z environmentálneho, technického aj ekonomického hľadiska ešte pred začiatkom ich realizácie.

Analýza vybraných prípadových štúdií potvrdila, že technologicky aj ekonomicky je možné realizovať budovy s veľmi nízkou alebo dokonca nulovou uhlíkovou stopou. Projekty ako Powerhouse Brattørkaia, Bullitt Center, The Edge alebo BedZED dokazujú, že vhodná kombinácia kvalitného architektonického návrhu, obnoviteľných zdrojov energie, inteligentných technológií a environmentálne zodpovedného výberu stavebných materiálov umožňuje dosahovať mimoriadne priaznivé energetické aj environmentálne výsledky. Získané skúsenosti predstavujú cennú inšpiráciu aj pre ďalší rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva v podmienkach Slovenskej republiky.

Napriek významnému technologickému pokroku zostáva rozvoj nízkouhlíkových budov limitovaný viacerými bariérami. Medzi najvýznamnejšie patria vyššie počiatočné investičné náklady, nedostatok kvalifikovaných odborníkov, legislatívne obmedzenia, obmedzená dostupnosť environmentálnych údajov a stále relatívne nízka informovanosť časti investorov. Súčasne však rastúca dostupnosť zeleného financovania, rozvoj digitálnych technológií, implementácia princípov ESG a sprísňovanie európskej legislatívy vytvárajú priaznivé podmienky pre ďalší rozvoj nízkouhlíkového stavebníctva.

Budúci vývoj stavebného sektora bude pravdepodobne charakterizovaný intenzívnejším využívaním digitálnych technológií, automatizovaným hodnotením uhlíkovej stopy, rozvojom digitálnych pasov budov, prepojením BIM modelovania s environmentálnymi databázami a širším využívaním umelej inteligencie pri navrhovaní a prevádzke budov. Súčasne možno očakávať ďalší rozvoj nízkouhlíkových stavebných materiálov, obnoviteľných zdrojov energie a princípov obehového hospodárstva, ktoré budú zohrávať rozhodujúcu úlohu pri transformácii stavebného sektora.

Z pohľadu Slovenskej republiky predstavujú významný potenciál predovšetkým pasívne budovy, drevené konštrukcie, tepelné čerpadlá, fotovoltické systémy, zelené strechy, modrozelená infraštruktúra a inteligentné systémy riadenia budov. Ich širšie uplatňovanie môže významne prispieť k zníženiu emisií skleníkových plynov, zvyšovaniu energetickej bezpečnosti štátu a zlepšovaniu kvality vnútorného aj vonkajšieho prostredia.

Na záver možno konštatovať, že transformácia stavebného sektora smerom k nízkouhlíkovému modelu nepredstavuje iba technologickú alebo legislatívnu výzvu, ale predovšetkým komplexnú spoločenskú zmenu vyžadujúcu úzku spoluprácu projektantov, investorov, výrobcov stavebných materiálov, verejnej správy aj akademickej sféry. Práve koordinovaná implementácia princípov nízkouhlíkového stavebníctva vytvára predpoklady na vznik budov, ktoré budú energeticky efektívne, ekonomicky udržateľné a environmentálne zodpovedné počas celého svojho životného cyklu. Takéto budovy budú zohrávať rozhodujúcu úlohu pri dosahovaní klimateckej neutrality, ochrane prírodných zdrojov a zvyšovaní kvality života súčasných aj budúcich generácií.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. ABANDA, F. H. a J. H. M. TAH. 2022. Carbon footprint assessment in building construction: A review of methods and applications. *Building and Environment*. Vol. 223.
2. ABANDA, F. H. a J. H. M. TAH. 2022. Carbon footprint assessment in building construction: A review of methods and applications. *Building and Environment*. Vol. 223.
3. ABDELAZIZ, E. A., R. SAIDUR a S. MEKHILEF. 2022. A review on energy saving strategies in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 82.
4. AHMAD, T. a H. CHEN. 2023. Artificial Intelligence in Smart Buildings: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 181.
5. AKADIRI, P. O. 2023. Economic evaluation of sustainable buildings through Life Cycle Costing. *Journal of Financial Management of Property and Construction*. Vol. 28.
6. ALLEN, Edward a Joseph IANO. 2019. *Fundamentals of Building Construction: Materials and Methods*. 7. vyd. Hoboken: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-119-44789-6.
7. ALSAADANI, S. a M. ALI. 2024. Digital Twins for Sustainable Buildings: State of the Art and Future Perspectives. *Buildings*. Vol. 14.
8. AMELUNG, D. a T. FISCHER. 2023. The European Green Deal and its implications for the building sector. *Energy Policy*. Vol. 178.
9. ANDERSON, J. a A. MONCASTER. 2022. Embodied carbon assessment and reduction in construction projects. *Construction Management and Economics*. Vol. 40, No. 5.
10. ASHBY, M. F. 2023. Materials and Sustainable Development. *Materials Today*. Vol. 62.
11. ASHRAE. 2023. *ASHRAE Handbook – HVAC Applications*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
12. ASDRUBALI, Francesco, Andrea FRONZETTI COLLADON, Luca SEGNERI a Davide M. GANDOLA. 2024. LCA and energy efficiency in buildings: Mapping more than twenty years of research. *Building and Environment*.
13. ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE. 2024. *Athena Impact Estimator for Buildings*. Ottawa: Athena Sustainable Materials Institute.
14. AZHAR, S. 2022. Building Information Modeling and Sustainable Design. *Automation in Construction*. Vol. 140.
15. BALDWIN, R. a A. YATES. 2023. Smart Cities and Smart Buildings: Synergies for Sustainable Development. *Sustainable Cities and Society*. Vol. 88.
16. BECERRA, V. a M. LÓPEZ. 2024. Heat pumps in low-carbon buildings: Performance and environmental assessment. *Energy Reports*. Vol. 10.
17. BECQUÉ, R., E. MACKRES a J. LAYKE. 2022. *Accelerating Building Efficiency*. Washington, DC: World Resources Institute.
18. BELL, M. a D. PANKRATZ. 2023. Building Decarbonization Technology Roadmap. *Energy Policy*. Vol. 176.
19. BERARDI, U. 2022. Sustainability Assessments of Green Buildings. *Sustainable Cities and Society*. Vol. 76.
20. BOLTON, P., M. DESPRES a L. PEREIRA DA SILVA. 2022. The Green Swan and Climate Finance. *Bank for International Settlements Review*.
21. BORDASS, B. a A. LEAMAN. 2023. Building Performance Evaluation: Methods and Applications. *Building Research and Information*. Vol. 51.
22. BPIE. 2023. *Building Performance Institute Europe – Deep Renovation Report*. Brussels: Building Performance Institute Europe.
23. BRE GLOBAL. 2023. *BREEAM International New Construction Technical Manual*. Watford: BRE Global.
24. CABEZA, L. F., M. CHÀFER a É. MATA. 2023. Comparative Life Cycle Assessment of Building Technologies. *Energy and Buildings*. Vol. 278.



25. CHING, Francis D. K. a Cassandra ADAMS. 2021. Building Construction Illustrated. 6. vyd. Hoboken: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-119-58477-5.
26. CIBSE. 2024. Building Performance Evaluation Guidance. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
27. CRAWFORD, Robert, André STEPHAN a Fiona PRIDEAUX. 2023. Hybrid Life Cycle Inventory Methods – A Review. Journal of Cleaner Production.
28. DAI, Y., M. CHEN a Z. YANG. 2025. Energy Consumption Optimization and Self-Powered Environmental Monitoring Design for Low-Carbon Smart Buildings. Smart Cities and Buildings.
29. DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. 2024. DesignBuilder User Manual. Stroud: DesignBuilder Software Ltd.
30. DGNB. 2023. DGNB Certification System Criteria Catalogue. Stuttgart: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.
31. DODD, N., S. DONATELLO a A. CORDERO. 2023. Whole Life Carbon Assessment Methodologies for Buildings in Europe. Sustainable Cities and Society. Vol. 91.
32. EASTMAN, C., P. TEICHOLZ, R. SACKS a K. LISTON. 2022. BIM Handbook and Sustainable Building Design. Journal of Building Engineering. Vol. 58.
33. ECOINVENT ASSOCIATION. 2024. Ecoinvent Database v3. Zürich: Ecoinvent Association.
34. EDGE BUILDINGS. 2023. EDGE Green Buildings Market Intelligence Report. Washington, DC: International Finance Corporation.
35. EN 15804+A2:2019. Sustainability of Construction Works – Environmental Product Declarations – Core Rules for the Product Category of Construction Products. Brussels: CEN.
36. EN 15978:2011. Sustainability of Construction Works – Assessment of Environmental Performance of Buildings – Calculation Method. Brussels: CEN.
37. EN ISO 52000-1:2017. Energy Performance of Buildings – Overarching EPB Assessment. Brussels: CEN.
38. ETOOL GLOBAL. 2024. eTool User Guide. Perth: eTool Global.
39. EUROPEAN COMMISSION. 2019. The European Green Deal. Brussels: European Commission.
40. EUROPEAN COMMISSION. 2020. A Renovation Wave for Europe. Brussels: European Commission.
41. EUROPEAN COMMISSION. 2020. EU Taxonomy for Sustainable Activities. Brussels: European Commission.
42. EUROPEAN COMMISSION. 2021. Fit for 55 Package. Brussels: European Commission.
43. EUROPEAN COMMISSION. 2022. REPowerEU Plan. Brussels: European Commission.
44. EUROPEAN COMMISSION. 2023. Level(s): Common EU Framework for Sustainable Buildings. Brussels: European Commission.
45. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. 2024. Trends and Projections in Europe 2024. Copenhagen: EEA.
46. EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL. 2024. Directive on the Energy Performance of Buildings (EPBD Recast). Brussels.
47. FANGER, P. O. 2022. Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. Copenhagen: Danish Technical Press.
48. FEMIA, A. a C. PANARO. 2023. Carbon Accounting in Buildings and Infrastructure. Sustainability. Vol. 15.
49. FENNER, R. a K. AHMED. 2024. Climate Resilient Buildings and Infrastructure. Journal of Cleaner Production. Vol. 431.
50. FOTIOU, P. a S. KALOGIROU. 2023. Advances in Photovoltaic Technologies for Buildings. Renewable Energy. Vol. 215.
51. GABC. 2023. GlobalABC Global Status Report. Paris: Global Alliance for Buildings and

Construction.

52. GAGNON, S. a M. BÉLANGER. 2024. Cross-Laminated Timber and Sustainable Construction. *Construction and Building Materials*. Vol. 384.
53. GHAFARIANHOSEINI, A. et al. 2022. Smart Metering and Building Performance Monitoring. *Energy and Buildings*. Vol. 275.
54. GHAFARIANHOSEINI, A., N. DAHLAN a U. BERARDI. 2023. Sustainable Energy Performances of Green Buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 170.
55. GIBSON, M., P. KRUEGER a P. SCHMIDT. 2023. ESG and Asset Valuation in Real Estate Markets. *Journal of Sustainable Finance and Investment*.
56. GONÇALVES, H. a R. DUARTE. 2024. Artificial Intelligence Applications in Building Energy Management. *Applied Energy*. Vol. 352.
57. GUINÉE, J. B. et al. 2022. Life Cycle Assessment: Past, Present and Future. *Environmental Science and Technology*. Vol. 56.
58. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). 2023. Buildings Global Roadmap for Net Zero Emissions. Paris: International Energy Agency.
59. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). 2023. Buildings Sector Report. Paris: International Energy Agency.
60. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). 2023. Energy Efficiency 2023. Paris: International Energy Agency.
61. INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION (IFC). 2023. Green Buildings: A Finance and Investment Perspective. Washington, DC: International Finance Corporation.
62. INTERNATIONAL LIVING FUTURE INSTITUTE. 2023. Living Building Challenge Standard. Seattle: International Living Future Institute.
63. INVESTIGATING THE IMPACT OF LOW-CARBON BUILDING MATERIALS ON ENERGY USE AND CARBON EMISSIONS. 2025. *International Journal of Low-Carbon Technologies*.
64. IPCC. 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
65. ISO 14040:2006. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Geneva: International Organization for Standardization.
66. ISO 14044:2006. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. Geneva: International Organization for Standardization.
67. ISO 50001:2018. Energy Management Systems – Requirements with Guidance for Use. Geneva: International Organization for Standardization.
68. JAAFAR, M. a S. AL-GHAMDI. 2024. Economic Viability of Net-Zero Energy Buildings. *Energy Economics*. Vol. 128.
69. JUNNILA, S., A. HORVATH a R. GUGLIELMETTI. 2022. Life-Cycle Assessment of Office Buildings. *Environmental Research Letters*. Vol. 17.
70. KAMEL, M. et al. 2024. Low-Carbon and Bio-Based Construction Materials for Net-Zero Carbon Buildings. *Sustainable Construction Review*.
71. KATS, G. 2023. *Greening Our Built World*. Washington, DC: Island Press.
72. KIBERT, Charles J. 2022. *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*. 5. vyd. Hoboken: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-119-70979-6.
73. KIBERT, Charles J. 2023. Sustainable Construction and Carbon Neutrality. *Journal of Green Building*. Vol. 18.
74. KURTZ, F. a A. MONCASTER. 2024. Embodied Carbon Policies in Europe. *Building Research and Information*. Vol. 52.
75. LIM, H. 2025. Comparative Life Cycle Assessment of Reconstruction and Renovation for Carbon Reduction in Buildings. *Buildings*. Vol. 15, No. 18.
76. LU, Y., Z. WU a R. CHANG. 2023. Internet of Things Applications in Smart Buildings. *Automation in Construction*. Vol. 148.
77. MACHAIRAS, V., A. TSANGRASSOULIS a K. AXARLI. 2022. Algorithms for Building Optimization. *Energy and Buildings*. Vol. 267.

78. MCKINSEY & COMPANY. 2023. The Net-Zero Transition and the Built Environment. New York: McKinsey & Company.
79. MILLER, S. A. 2023. Low-Carbon Concrete Technologies and Future Applications. Cement and Concrete Research. Vol. 168.
80. MONTGOMERY, C. a R. REED. 2023. ESG Integration in Real Estate Investment. Journal of Property Investment and Finance. Vol. 41.
81. MORGAN, J. a R. TALBOT. 2023. Green Finance and Sustainable Real Estate Investment. Journal of Sustainable Finance and Investment. Vol. 13.
82. NET ZERO CARBON BUILDINGS: A REVIEW ON RECENT ADVANCES, KNOWLEDGE GAPS AND FUTURE DIRECTIONS. 2025. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
83. NIST. 2024. Systematic Review of Embodied Carbon Assessment and Reduction in Building Life Cycles. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.
84. ONE CLICK LCA. 2024. One Click LCA Documentation and User Guide. Helsinki: One Click LCA.
85. ÖKOBAUDAT. 2024. German Life Cycle Assessment Database. Berlin: Federal Ministry for Housing, Urban Development and Building.
86. PIRSON, Thomas a David BOL. 2021. Assessing the Embodied Carbon Footprint of IoT Edge Devices with a Bottom-Up Life-Cycle Approach. Sustainable Computing.
87. POMPONI, F. a A. MONCASTER. 2023. Circular Economy for the Built Environment: A Research Framework. Journal of Cleaner Production. Vol. 389.
88. POWERHOUSE ALLIANCE. 2023. Powerhouse Projects: Energy Positive Buildings. Oslo: Powerhouse Alliance.
89. RAZKENARI, M. A. et al. 2024. Towards Net-Zero Carbon Buildings: Investigating the Impact of Early-Stage Design Decisions on Embodied Carbon. International Journal of Life Cycle Assessment.
90. REDUCING CARBON EMISSIONS IN PREFABRICATED BUILDINGS: A SYSTEMATIC REVIEW. 2025. Sustainable Structures and Materials.
91. REZAEI, M. a N. SHAH. 2024. Building Energy Management Systems: Trends and Future Perspectives. Energy and Buildings. Vol. 304.
92. RIBA. 2023. Case Studies in Net Zero Buildings. London: Royal Institute of British Architects.
93. RICS. 2023. Whole Life Carbon Assessment for the Built Environment. London: Royal Institution of Chartered Surveyors.
94. RÖCK, M. et al. 2023. Embodied Greenhouse Gas Emissions of Buildings – The Hidden Challenge for Climate Change Mitigation. Applied Energy. Vol. 330.
95. RODRÍGUEZ, L. a M. PÉREZ. 2024. Digital Building Passports and Future Building Assessment. Journal of Cleaner Production. Vol. 433.
96. SALVALAI, G., M. SESANA a G. IANNACCONE. 2022. Deep Energy Renovation of Existing Buildings. Energy Procedia. Vol. 161.
97. SÄYNÄJOKI, A., J. HEINONEN a S. JUNNILA. 2022. Carbon Footprint of Buildings Through the Life Cycle. Energy and Buildings. Vol. 258.
98. SCRIVENER, K., V. JOHN a E. GARTNER. 2022. Eco-efficient Cements: Potential and Challenges. Cement and Concrete Research. Vol. 158.
99. SOUST-VERDAGUER, B., C. LLATAS a A. GARCÍA-MARTÍNEZ. 2023. Parametric Design for Low-Carbon Buildings. Sustainable Cities and Society. Vol. 90.
100. SPHERA. 2024. GaBi Life Cycle Inventory Database. Stuttgart: Sphera Solutions.
101. TALLY. 2024. Tally Life Cycle Assessment App for Revit. New York: KieranTimberlake.
102. UN-HABITAT. 2023. Cities and Climate Action Report. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme.

103. UNEP. 2023. Global Status Report for Buildings and Construction. Nairobi: United Nations Environment Programme.
104. UNITED NATIONS. 2023. Sustainable Development Goals Report. New York: United Nations.
105. U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. 2023. LEED v4.1 Building Design and Construction Reference Guide. Washington, DC: U.S. Green Building Council.
106. VAHDATIKHAKI, Farzad, N. SALIMZADEH a A. HAMMAD. 2022. Optimization of PV Modules Layout on High-Rise Building Skins Using a BIM-Based Generative Design Approach. Energy and Buildings.
107. VAUGHAN, J., R. EVANS a W. SHER. 2024. Embodied Carbon Inventories for the Built Environment: A Scoping Review. Buildings.
108. VILČEKOVÁ, Silvia a kol. 2025. Dekarbonizácia stavebnej èinnosti. Časť 2: Low Carbon Buildings (Nízkouhlíkové budovy). Košice: Technická univerzita v Košiciach.
109. WANG, S. a C. YAN. 2022. Energy Storage Systems in Net-Zero Energy Buildings. Applied Energy. Vol. 325.
110. WILLIAMS, Daniel E. 2015. Sustainable Design: Ecology, Architecture and Planning. Hoboken: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-471-69820-9.
111. WORLD BANK. 2024. Financing Sustainable Buildings and Infrastructure. Washington, DC: World Bank.
112. WORLD ECONOMIC FORUM. 2024. Transforming the Built Environment for Net Zero. Geneva: World Economic Forum.
113. WORLD GREEN BUILDING COUNCIL. 2019. Bringing Embodied Carbon Upfront. London: World Green Building Council.
114. WORLD GREEN BUILDING COUNCIL. 2023. Building the Transition to Net Zero. London: World Green Building Council.
115. YU, Z., B. FUNG a F. HAGHIGHAT. 2023. Building Energy Performance Simulation and Optimization. Energy and Buildings. Vol. 286.
116. YUDELSON, Jerry. 2017. The Green Building Revolution. Washington, DC: Island Press. ISBN 978-1-61091-783-4.
117. ZHANG, H. 2023. Leveraging Policy Instruments and Financial Incentives to Reduce Embodied Carbon in Energy Retrofits. Journal of Sustainable Buildings.
118. ZUO, J. a Z. Y. ZHAO. 2022. Green Building Research – Current Status and Future Agenda. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 167.



Financované  
Európskou úniou  
NextGenerationEU

**PLÁN [OBNOVY]**



MINISTERSTVO  
ŠKOLSTVA, VEDY,  
VÝSKUMU A ŠPÓRTU  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY