



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 7. Model - 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

MODEL - NÍZKOUHLÍKOVÁ BUDOVA

júl 2026

Technická univerzita v Košiciach
Zväz stavebného priemyslu Slovenska

www.tuke.sk/dekast



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



MINISTERSTVO
ŠKOLSTVA, VEDY,
VÝSKUMU A ŠPORTU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

1. Dekarbonizácia budov

Stavebný sektor v súčasnosti čelí bezprecedentnej výzve spojenej s prechodom na klimatickú neutralitu a obehové hospodárstvo v zmysle cieľov Európskej zelenej dohody a EÚ taxonómie. Tradičné prístupy k navrhovaniu budov, ktoré sa zameriavali výhradne na energetickú certifikáciu v prevádzkovej fáze, už nepostačujú na dosiahnutie hlbokkej dekarbonizácie. Pre komplexné pochopenie environmentálnych a ekonomických dopadov je nevyhnutné posudzovať celý životný cyklus budovy – od ťažby surovín až po jej konečnú dekonštrukciu.

Predkladaná štúdia predstavuje strategické zhodnotenie udržateľnosti navrhovaného objektu prostredníctvom dvoch kľúčových metodických nástrojov: analýzy životného cyklu (LCA) a analýzy životných nákladov (LCC). Hlavným cieľom tohto hodnotenia je overiť a kvantifikovať dekarbonizačný potenciál budovy, ktorá je koncepčne postavená na dvoch synergických pilieroch. Prvým je minimalizácia zabudovaného uhlíka prostredníctvom použitia pokročilých prírodných materiálov s biogénnym charakterom. Druhým pilierom je integrácia inovatívnych technológií obnoviteľných zdrojov energie (OZE), predovšetkým vysoko efektívneho tepelného čerpadla a lokálneho fotovoltického systému, ktoré spoločne smerujú prevádzkovú bilanciu objektu k úrovni „Net-Zero“. Nasledujúce sekcie prinášajú detailnú diskusiu materiálových, energetických a finančných tokov, hodnotenie vplyvu na globálnu biodiverzitu a záverečné posúdenie cirkulárnej štruktúry v súlade s európskym legislatívnym rámcom. Ďalším aspektom analýzy je prechod od lineárneho modelu spotreby k striktne cirkulárnej architektúre. V kontexte obehového hospodárstva štúdia detailne skúma nielen samotný pôvod materiálov, ale predovšetkým ich potenciál pre budúce opätovné použitie, recykláciu či bezpečný návrat do biosféry. Hodnotenie sa zameriava na indexy cirkularity a materiálové paspory objektu, pričom osobitný dôraz sa kladie na navrhovanie s ohľadom na dekonštrukciu. Tento prístup zaručuje, že konštrukčné vrstvy budovy sú od seba oddeliteľné, čo minimalizuje vznik demolačného odpadu a transformuje budovu na „materiálovú banku“ pre budúce generácie, plne v súlade s technickými kritériami EÚ taxonómie pre ochranu a obnovu obehového hospodárstva. Paralelne s dekarbonizáciou a cirkularitou štúdia reflektuje aj kritickú potrebu ochrany a podpory lokálnej biodiverzity, ktorá býva pri urbanistickom rozvoji často marginalizovaná. Implementácia udržateľného stavebného zámeru preto nekončí pri obvodovom plášti budovy, ale integruje prvky zelenej a modrej infraštruktúry do jej bezprostredného okolia i samotnej štruktúry. Stavba sa tak stáva integrálnou súčasťou živého prostredia, ktorá prispieva k obnove biologickej rozmanitosti v urbanizovanom kontexte.

2. Prípadová štúdia

Pre objektívnu kvantifikáciu environmentálnych a ekonomických vlastností dekarbonizovanej budovy bola zvolená multikriteriálna metodika, ktorá integruje štyri komplementárne roviny posudzovania. Tento prístup plne reflektuje požiadavky EÚ taxonómie a metodické príručky pre projekty financované z Plánu obnovy a odolnosti SR.

Pre prezentovanú nízkouhlíkovú budovu je spracovaný BIM model, ktorý predstavuje digitálny informačný model objektu. Obsahuje priestorovú geometriu budovy, jej nosné a nenosné konštrukcie, skladby obalových konštrukcií, výplne otvorov, strešný plášť a vybrané prvky technických zariadení budovy. Jednotlivé modelové prvky obsahujú aj informácie o materiáloch, rozmeroch, množstvách a technických vlastnostiach. BIM model je spracovaný vo formáte IFC (Industry Foundation Classes), ktorý je otvoreným štandardom určeným na výmenu údajov medzi rôznymi projekčnými a analytickými softvérmi. Model umožňuje koordináciu jednotlivých profesií, kontrolu priestorových väzieb a prípravu výkazov množstiev. Zároveň vytvára jednotný informačný podklad pre environmentálne hodnotenie budovy, najmä pre stanovenie materiálových tokov, výpočet uhlíkovej stopy a analýzu životného cyklu LCA. V ďalších fázach môže slúžiť aj ako podklad pre realizáciu, správu, údržbu, obnovu a budúcu dekonštrukciu objektu.

2.1 Metodika

Environmentálne hodnotenie budovy bolo vykonané pomocou metódy posudzovania životného cyklu (LCA – Life Cycle Assessment) v striktnom súlade s medzinárodnými normami STN EN ISO 14040, STN EN ISO 14044 a špecifickou európskou normou pre udržateľnosť stavieb STN EN 15978.

Hranice systému: Model životného cyklu zahŕňa komplexnú štruktúru fáz „od kolísky po kolísku“ vrátane modulov presahujúcich životnosť objektu (Cradle-to-Cradle):

- Fáza výroby (A1-A3): ťažba surovín, transport do závodu a spracovanie materiálov vrátane započítania počiatočnej technologickej stopy TZB a OZE prvkov.
- Fáza výstavby (A4-A5): doprava komponentov na stavenisko a samotné stavebno-montážne procesy vrátane vzniku stavebného odpadu.
- Fáza užívania (B1-B3, B4-B5, B6, B7): emisie z prevádzkovej energie a vody, emisie z bežnej údržby a environmentálna záťaž spojená s periodickou cyklickou obmenou stavebných prvkov a TZB systémov.

- Fáza konca životnosti (C1-C4): dekonštrukcia budovy, transport odpadu, separácia a finálne zneškodnenie či uloženie na skládku.
- Modul D: čisté environmentálne prínosy a úspory emisií mimo hraníc systému dosiahnuté recykláciou a opätovným využitím materiálov.

Funkčná jednotka (FU): Všetky materiálové toky a environmentálne vplyvy sú prepočítané a normalizované na 1 m² celkovej podlahovej plochy budovy počas predpokladanej doby životnosti 50 rokov.

- Posudzované indikátory: Hlavným sledovaným parametrom je Potenciál globálneho otepľovania (GWP), ktorý bol v súlade s najnovšími štandardmi EN 15978+A2 dekomponovaný na štyri subsystemy: GWP-celkový, GWP-fosílny (emisie z fosílnych palív), GWP-biogénny (uhlík absorbovaný a uvoľňovaný bio-materiálmi) a GWP-LULUC (emisie zo zmien vo využívaní krajiny a lesného hospodárstva).

Ekonomická udržateľnosť a efektívnosť investície boli posúdené metódou analýzy životných nákladov (LCC – Life Cycle Costing) v zmysle normy STN EN 16627 (Udržateľnosť stavieb – Hodnotenie ekonomických vlastností budov).

Štruktúra nákladov: LCC model sleduje celkové finančné toky v absolútnych nominálnych hodnotách v eurách (€) rozdelených do identických časových modulov ako LCA:

- Počiatočné investičné náklady (A0-A5): výdavky na projektovú prípravu, nákup stavebných materiálov, technológií a realizáciu stavby.
- Náklady na technickú obnovu (B4-B5): reinvestície potrebné na cyklickú výmenu komponentov s kratšou životnosťou ako budova (najmä komponenty fotovoltiky a tepelného čerpadla).Prevádzkové náklady (B6-B7): priame platby za spotrebovanú elektrickú energiu (očistenú o vlastnú produkciu z OZE) a vodohospodársky manažment (pitná voda, stočné).
- Náklady na koniec životnosti (C1-C4): finančné výdavky na selektívnu demoláciu, transport a spracovanie stavebnej sute.

Výpočet uvažuje s fixným investičným horizontom 50 rokov. Pre zachovanie reálnej vypovedacej hodnoty model pracuje s predpokladanou eskaláciou cien energií a technologických komponentov, čím verne simuluje ekonomické prínosy nízkoenergetického konceptu.

Hodnotenie materiálových tokov z hľadiska obehového hospodárstva bolo realizované v súlade s metodickými usmerneniami pre Cirkulárnu ekonomiku v zmysle Akčného plánu EÚ a technických skríningových kritérií EÚ taxonómie pre oblasť Prechod na obehové hospodárstvo.

Metodika je založená na exaktnej hmotnostnej bilancii (kg) všetkých materiálov vstupujúcich a vystupujúcich zo systému naprieč životným cyklom. Sleduje sa distribúcia materiálov do štyroch základných obehových indikátorov:

- Obnoviteľné suroviny (Biogénny vstup): objem overených prírodných materiálov (drevo, drevozvlákno) s preukázateľným udržateľným pôvodom.
- Recyklovaný obsah (Recycled content): podiel druhotných surovín zapracovaných vo vstupných produktoch (napr. recyklovaný podiel v oceli, GGBS troska v cementových zmesiach).
- Opätovne použité materiály: priama integrácia už existujúcich stavebných dielcov bez potreby ich energetického prepracovania.
- Potenciál recyklácie a dekonštrukcie (Modul D): index materiálovej separovateľnosti konštrukcií na konci životnosti, ktorý vyjadruje schopnosť budovy slúžiť ako „materiálová banka“ pre budúce generácie.

Kvantifikácia nepriameho vplyvu budovy na globálnu biodiverzitu bola realizovaná prostredníctvom charakterizačného modelu v kategórii vplyvu Klimatická zmena – vplyv na suchozemské a sladkovodné ekosystémy.

Metodika využíva pokročilý globálny indikátor PDF/m²/rok (Potentially Disappeared Fraction of species), ktorý vyjadruje potenciálne stratenú frakciu (podiel) biologických druhov na definovanej ploche za jeden rok v dôsledku environmentálneho stresu vyvolaného emisiami skleníkových plynov. Výpočet prebieha prostredníctvom prepojenia výsledkov LCA (z fáz A1–A5) s charakterizačnými faktormi metodiky LC-IMPACT a ReCiPe. Tieto faktory matematicky transformujú vypustené ekvivalenty CO₂ do miery urýchlenia globálneho otepľovania, čo priamo koreluje so zmenou klimatických podmienok, vysychaním biotopov a následným úhynom flóry a fauny. Táto metodika neposudzuje lokálny priamy záber pôdy v mieste stavby, ale medzinárodný (globálny) dopad priemyselného a energetického reťazca budovy na stabilitu planetárnych ekosystémov.

2.2 Inventarizačná analýza

Analýza inventarizácie životného cyklu (LCI) bola použitá na výpočet uhlíkovej stopy a ďalších environmentálnych indikátorov počas celého životného cyklu navrhovanej dekarbonizovanej budovy. Skladby stavebných konštrukcií (obvodového plášťa, strechy, stropov a otvorových konštrukcií) boli v modeli navrhnuté a optimalizované tak, aby bezpečne spĺňali prísne tepelno-technické požiadavky na súčiniteľ prechodu tepla (U) a tepelný odpor (R) v zmysle normy STN 73 0540-2+Z1+Z2 pre ultranízkoenergetické budovy a budovy s takmer nulovou potrebou energie (A0). Okrem stavebnej časti inventarizácia komplexne zohľadňuje aj pokročilé technologické systémy budovy. Ide najmä o integráciu vysokoefektívneho zdroja tepla a chladu v podobe tepelného čerpadla (vzduch-voda) a lokálneho fotovoltického systému, ktoré zásadným spôsobom ovplyvňujú počiatočné materiálové toky (A1-A3) a eliminujú energetickú bilanciu v prevádzkovej fáze objektu (B6) smerom k úrovni „Net-Zero“.

Architektonicko-konštrukčná a materiálová charakteristika objektu

Z hľadiska materiálového zloženia a typológie konštrukcií ide o progresívny kombinovaný systém. Pohľady na hodnotenú budovu sú zobrazené na obrázkoch 1 až 4.



Obr. 1 Bočný pohľad na budovu



Obr. 2 Axonometria budovy



Obr. 3 Pohľad na okolie budovy



Obr. 4 Pohľad z výšky na budovu

Horizontálne konštrukcie a stropné systémy

Spodná stavba, základy a vybrané stropné konštrukcie využívajú monolitický betón optimalizovaný alternatívnym cementom s vysokým podielom vysokopečnej trosky (GGBS) pre zníženie fosílny stopy. Nadzemná nosná konštrukcia je koncipovaná ako moderná, ekologická masívna drevostavba využívajúca drevené prvky v kombinácii s tepelnými izoláciami na báze prírodného drevovlákná. V rámci návrhu sa systematicky eliminovali kritické tepelné mosty a zásadne sa zvýšila tepelno-technická ochrana celého obalového plášťa budovy prostredníctvom hrubých vrstiev doplnkovej minerálnej izolácie a syntetických izolantov (XPS a EPS) s cieľom radikálneho zníženia energetickej náročnosti.

Podlahová konštrukcia na teréne zahŕňa interiérové drevené parkety (hr. 22 mm) s tlmiacou podložkou (hr. 2 mm), samonivelizačný liaty poter (hr. 55 mm), tepelnú izoláciu kombinovanú z dosiek XPS (hr. 60 mm) a EPS 150 (hr. 140 mm), ochrannú geotextíliu, hydroizolačnú a protiradónovú mPVC plastovú fóliu (hr. 1,5 mm), spodnú ochrannú geotextíliu a masívnu železobetónovú základovú dosku z betónu triedy C30/37 (hr. 200 mm) uloženú na zhutnenom štrkovom podsype z drveného kameniva (hr. 300 mm).

Stropná konštrukcia pozostáva z laminátovej podlahy (hr. 12 mm), korkovej izolačnej dosky (hr. 8 mm), dvoch vrstiev OSB dosiek (2x15 mm), uzavretej vzduchovej medzery (hr. 160 mm), drevovláknitej izolácie (hr. 80 mm) vkladanej medzi drevené I-profilu a podhľadu zo sadrovvláknitých dosiek (2x12,5 mm).

Vertikálne nosné a výplňové konštrukcie

V rámci obvodového plášťa (skladba steny) je navrhnutý fasádny obklad z dreva s ochranným náterom, odvetrávaná vzduchová medzera na drevenom vertikálnom rošte (hr. 40 mm), poistná hydroizolačná a vetrová zábrana, drevovláknitá doska DHF (hr. 15 mm), nosný drevený rám z KVH hranolov vyplnený drevovláknitou izoláciou (hr. 200 mm), inteligentná parozábrana, inštalácia predstena na drevenom rošte s drevovláknitou izoláciou (hr. 60 mm) a interiérovú stranu uzatvára konštrukčná sadrokartónová doska (hr. 12,5 mm) s tenkovrstvovou sadrovou stierkou a náterom. Vnútorne deliace konštrukcie tvoria nosné steny zo sadrovláknitých dosiek s drevovláknitou izoláciou (hr. 140 mm) medzi KVH prvkami.

Strešný plášť

Strešné súvrstvie je navrhnuté ako extenzívna zelená strecha na spádovom drevenom debnení, ktorá od exteriéru obsahuje vegetačný rozhodníkový koberec so strešným substrátom (hr. 120 mm), akumuláciu rohož, dvojvrstvový asfaltový hydroizolačný systém odolný proti prerastaniu koreňov zložený z vrchnej vrstvy a spodnej samolepiacej vrstvy, vysokoefektívnu tepelnú izoláciu v hrúbke približne 240 mm až 260 mm na bezpečné splnenie pasívneho štandardu a samolepiacu parozábranu.

Výplne otvorov

Z hľadiska dekarbonizácie a dosiahnutia pasívneho energetického štandardu (A0) predstavujú výplne otvorov kritický prvok obalového plášťa budovy. Všetky otvorové konštrukcie sú navrhnuté tak, aby maximalizovali solárne zisky v zimnom období, minimalizovali tepelné straty prechodom a infiltráciou a zároveň zabezpečili akustickú pohodu a vysokú mieru prirodzeného denného osvetlenia.

- Exteriérové hliníkové okná: Hlavným konštrukčným prvkom obálky budovy sú vysoko stabilné hliníkové okná s izolačným trojsklom. Hliníkové profily zaručujú extrémnu mechanickú odolnosť, moderný dizajn a perfektnú tesnosť v mieste nadväznosti na nosnú drevenú konštrukciu a celulózovú izoláciu.
- Exteriérové hliníkové dvere: Vstupné a prevádzkové dverné otvory sú riešené ako hliníkové dvere, ktoré garantujú dlhú životnosť a vynikajúce tesniace vlastnosti pri častom používaní.
- Presklené priečky: Vnútoraná dispozícia a oddelenie jednotlivých priestorov sú riešené aj prostredníctvom celosklenených interiérových priečok. Tieto sklenené systémy zabezpečujú maximálny prechod prirodzeného denného svetla hlboko do interiéru

budovy, čím opticky zväčšujú priestor a výrazne znižujú nároky na umelé osvetlenie vo fáze B6.

Technické zariadenia budovy (TZB) a energetické systémy

V dekarbonizačných projektoch a budovách s takmer nulovou potrebou energie (A0) zohráva návrh TZB systémov zásadnú úlohu. Technológie boli navrhnuté v úzkej synergii so stavebnou obálkou tak, aby maximalizovali využitie obnoviteľných zdrojov energie (OZE) priamo na mieste, minimalizovali prevádzkovú fosílnu stopu a zabezpečili optimálnu vnútornú mikroklimu.

- Zdroj tepla a chladu (Tepelné čerpadlo): Hlavným zdrojom pre vykurovanie, chladenie a prípravu teplej vody je vysoko efektívne nízko-teplotné tepelné čerpadlo vzduch-voda.
- Fotovoltický systém (Elektrická sebestačnosť): Na dosiahnutie skutočnej uhlíkovej neutrality je v systéme integrovaná lokálna fotovoltická elektrárňa postavená na fotovoltických paneloch. V ročnej bilancii dokáže fotovoltický systém vygenerovať dostatok bezemisnej elektrickej energie na plné pokrytie exaktnej spotreby tepelného čerpadla a ostatných technológií budovy, ktorá je vyčíslená na 7 894,4 kWh. Tým sa prevádzka budovy účinne oslobodzuje od emisií z národného energetického mixu a smeruje k úrovni „Net-Zero“.
- Vertikálny transport (Osobný výťah): Vertikálna komunikácia v objekte je zabezpečená energeticky úsporným osobným výťahom
- Vetranie a vnútorné prostredie: Vetranie objektu je navrhnuté ako nútené s centrálnou rekuperačnou jednotkou. Systém zabezpečuje riadenú výmenu vzduchu na základe koncentrácie CO₂ v interiéri, pričom vysoká účinnosť spätného získavania tepla z odvádzaného vzduchu výrazne znižuje špičkové nároky na výkon tepelného čerpadla v zimnom období.

2.3 Komplexné vyhodnotenie environmentálnych indikátorov LCA

Z hľadiska komplexného posúdenia dosahuje kumulatívny celkový potenciál globálneho otepľovania (štádiá A1-C4) hodnotu 546,24 kg CO₂e/m². Tento integrálny ukazovateľ v sebe spája protichodné mechanizmy viazania a uvoľňovania emisií skleníkových plynov v rôznych fázach životného cyklu. Výsledná hodnota je determinovaná predovšetkým vysokou záťažou v prevádzkovej fáze, ktorá neutralizuje výrazné počiatkové úspory dosiahnuté materiálovým zložením, no v kontexte štandardných novostavieb indikuje úspešnú implementáciu nízkouhlíkových stratégií.

Ukazovateľ GWP-fosílny dosahuje v sumáre fáz A1 až C4 hodnotu 591,08 kg CO₂e/m², čo predstavuje dominantný príspevok k celkovému environmentálnemu zaťaženiu budovy. Tento parameter exaktne kvantifikuje emisie CO₂ vznikajúce priamo zo spaľovania fosílnych palív, chemicko-technologických procesov a spotreby elektrickej energie naprieč celým životným cyklom. Najvýraznejší podiel na tejto hodnote má prevádzka objektu, čo zvyrazňuje potrebu prechodu na energetické systémy s nulovými emisiami v rámci dekarbonizačných zámerov.

GWP-biogénny vykazuje v rámci posudzovaných fáz A1–C4 výslednú bilanciu -47,84 kg CO₂e/m², čo potvrdzuje parciálny dekarbonizačný úspech materiálového konceptu. Kvantifikácia tohto ukazovateľa zachytáva absorpciu atmosférického CO₂ do organických materiálov počas ich rastu a jeho následné uvoľňovanie v rámci procesov demolácie a odpadového hospodárstva. Záporná celková bilancia dokazuje, že budova počas svojej existencie viaže viac uhlíka, než koľko sa ho v procese asimilácie a spracovania uvoľní späť do ovzdušia.

Vplyv emisií spojených s transformáciou krajinného krytu a lesného hospodárstva (GWP-LULUC) predstavuje v celkovom hodnotení minoritný príspevok na úrovni 2,99 kg CO₂e/m². Tento ukazovateľ reflektuje nepriame environmentálne záťaže vyvolané obstarávaním surovín z lesných či poľnohospodárskych ekosystémov a ich priemyselnou obmenou. Aj napriek nízkej absolútnej hodnote slúži ako dôležitý indikátor pre validáciu ekologickej udržateľnosti dodávateľského reťazca prírodných materiálov.

Tab. Výsledky LCA hodnotených fáz životného cyklu pre budovu kg CO_{2e}/m²

Ukazovatele	A1-A3	A4	A5	B1-B3	B4-B5	B6	B7	C1-C4	D	Celkovo
GWP-celkový	-132.61	6.06	62.96	3.90	163.70	121.52	12.24	308.46	-109.83	546.24
GWP-fosílny	193.99	6.06	59.43	3.90	162.47	120.57	12.24	32.42	-103.09	591.08
GWP-biogénny	-327.37	0.00	3.49	0.00	0.00	0.00	0.00	276.04	-6.52	-47.84
GWP-LULUC	0.77	0.00	0.04	0.00	1.23	0.95	0.00	0.01	-0.22	2.99

Vo výrobnej fáze, zahŕňajúcej ťažbu surovín, transport do závodu a samotnú produkciu stavebných materiálov, dosahuje GWP-celkový hodnotu -132,61 kg CO_{2e}/m². Tento špecifický stav je výsledkom interakcie medzi fosílnymi emisiami z priemyselnej výroby (193,99 kg CO_{2e}/m²) a masívnou sekvestráciou biogénneho uhlíka v zabudovaných konštrukciách (-327,37 kg CO_{2e}/m²). Hodnota GWP-LULUC tu dosahuje 0,77 kg CO_{2e}/m², čo potvrdzuje mierny zásah do pôdneho fondu pri získavaní prvotných surovín. Procesy spojené s logistikou a prepravou stavebných komponentov z výrobných závodov na miesto realizácie vykazujú nízku environmentálnu záťaž s celkovým GWP na úrovni 6,06 kg CO_{2e}/m². Táto hodnota je kompletne generovaná fosílnou stopou (6,06 kg CO_{2e}/m²) zo spaľovania pohonných hmôt v nákladnej doprave, zatiaľ čo biogénny príspevok je nulový a hodnota GWP-LULUC je zanedbateľná (1,96E-04 kg CO_{2e}/m²). Nízky dopad indikuje optimálnu lokalizáciu dodávateľských reťazcov alebo nízku hmotnostnú náročnosť prepravovaných konštrukcií. Inštalačné a stavebné procesy priamo na stavenisku generujú GWP-celkový vo výške 62,96 kg CO_{2e}/m², čo odzrkadľuje energetickú náročnosť mechanizmov a nakladanie so stavebným odpadom. GWP-fosílny tvorí veľký podiel s hodnotou 59,43 kg CO_{2e}/m², zatiaľ čo GWP-biogénny príspevok (3,49 kg CO_{2e}/m²) indikuje uvoľnenie malej časti viazaného uhlíka z dôvodu materiálových odrezkov a strát pri realizácii. Indikátor GWP-LULUC prispieva minimálne hodnotou 0,0438 kg CO_{2e}/m². Počas samotnej prevádzky konštrukčných prvkov bez potreby dodatočnej energie či údržby vykazuje model záporný celkový GWP na úrovni -0,843 kg CO_{2e}/m². Tento environmentálny benefit je v plnom rozsahu krytý fosílnym ukazovateľom (-0,843 kg CO_{2e}/m²), čo indikuje priebeh prirodzených chemických procesov, primárne karbonatizácie cementových kompozitov, ktoré počas životnosti pasívne pohlcujú oxid uhličitý z okolitého ovzdušia. Ostatné sledované ukazovatele v tejto fáze

vykazujú nulové hodnoty. Periodické procesy údržby zamerané na zachovanie funkčných vlastností budovy vykazujú GWP-celkový s hodnotou 4,74 kg CO₂e/m². Celá táto environmentálna záťaž prebieha na báze fosílnych emisií (4,74 kg CO₂e/m²), ktoré sú spojené s výrobou a aplikáciou čistiacich prostriedkov, náterov či drobných opravných hmôt.

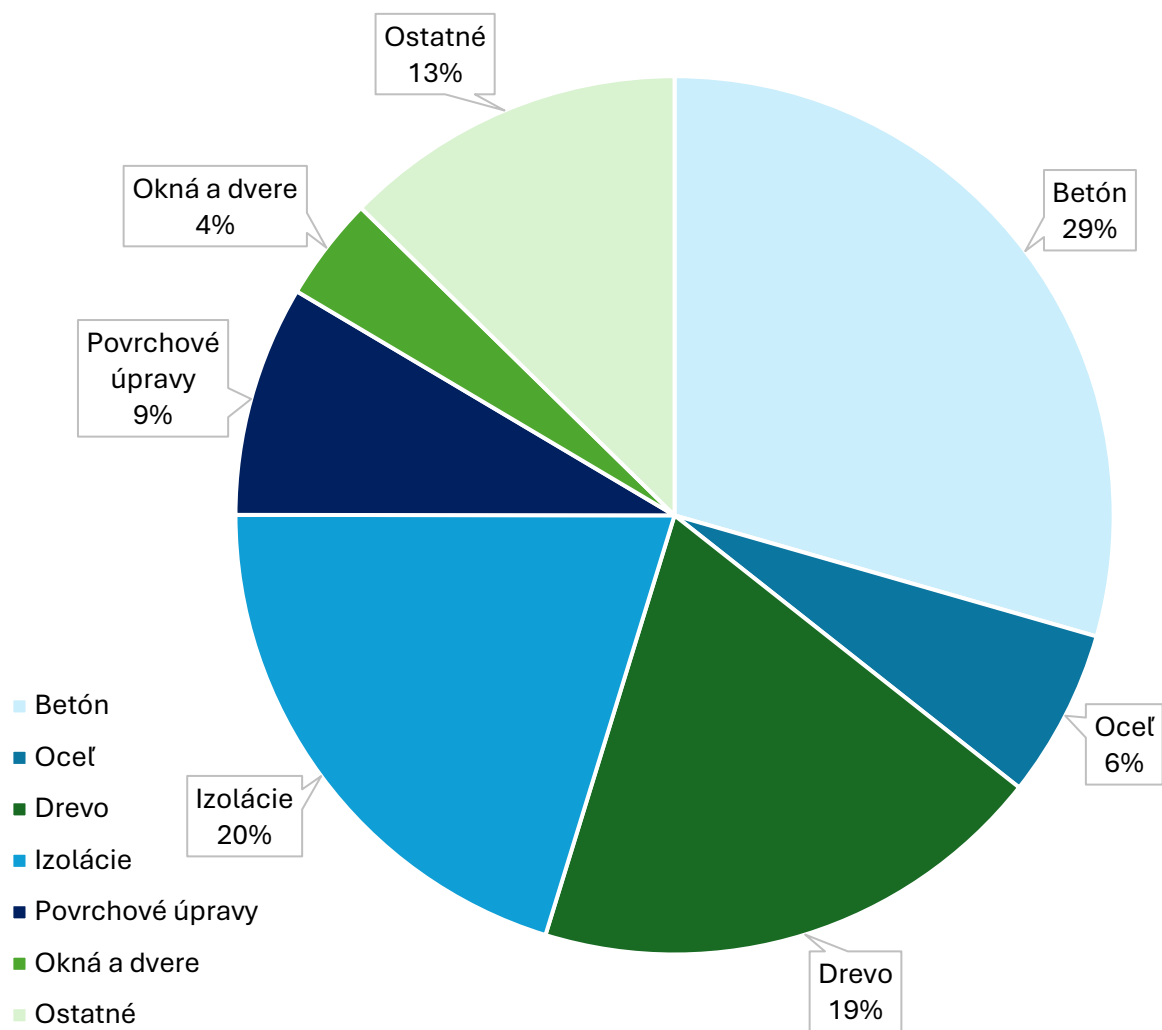
GWP-biogénny je nulový a príspevok zmeny využívania pôdy GWP-LULUC dosahuje marginálnu úroveň 6,50E-05 kg CO₂e/m². Plánovaná výmena stavebných prvkov s kratšou životnosťou, ako je obvodový plášť či technické zariadenia budovy, generuje GWP-celkový vo výške 163,70 kg CO₂e/m². Ukazovateľ GWP-fosílny z toho produkuje 162,47 kg CO₂e/m², čo poukazuje na priemyselnú náročnosť výroby vymieňaných komponentov. Hodnota GWP-LULUC dosahuje v tejto fáze najvyššiu úroveň v celom modeli (1,23 kg CO₂e/m²), čo súvisí s opakovaným čerpaním prírodných zdrojov počas životného cyklu budovy. Fáza prevádzkovej energie predstavuje energetický manažment budovy (vykurovanie, chladenie, vetranie, osvetlenie) a s hodnotou GWP-celkový 121,52 kg CO₂e/m² je najzaťažujúcejším úsekom životného cyklu. Biogénne emisie sú nulové a hodnota GWP-LULUC prispieva minoritne úrovňou 0,0095 kg CO₂e/m². Environmentálny dopad spojený s distribúciou, filtráciou a čistením prevádzkovej vody vykazuje celkový GWP-celkový vo výške 12,2 kg CO₂e/m². Tento príspevok je generovaný prostredníctvom ukazovateľa GWP-fosílny, ktorý reflektuje elektrickú energiu potrebnú na prevádzku vodohospodárskej infraštruktúry. Hodnota GWP-biogénny zostáva na nule a parameter GWP-LULUC dosahuje 0,00144 kg CO₂e/m². Fáza dekonštrukcie, odvozu odpadu a jeho finálneho uloženia či spracovania vykazuje GWP-celkový 308,46 kg CO₂e/m². Základným prvkom tejto fázy je uvoľnenie predtým viazaného biogénneho uhlíka, kde GWP-biogénny dosahuje až 276,04 kg CO₂e/m² z dôvodu energetického zhodnotenia a rozkladu organických materiálov. GWP-fosílny predstavuje 32,43 kg CO₂e/m² a ukazovateľ GWP-LULUC tvorí 0,0067 kg CO₂e/m². Modul D kvantifikuje čisté environmentálne prínosy presahujúce životný cyklus budovy a vykazuje vysoko priaznivý GWP-celkový na úrovni -109,83 kg CO₂e/m². Záporná hodnota ukazovateľov GWP-fosílny (-103,09 kg CO₂e/m²) a GWP-biogénny (-6,52 kg CO₂e/m²) spolu s GWP-LULUC (-0,22 kg CO₂e/m²) dokazujú, že recykláciou a opätovným využitím materiálov z dekonštruovanej budovy dôjde k úspore primárnych surovín a emisií v budúcich systémoch, čo potvrdzuje vysoký potenciál cirkularity návrhu.



Obr. Výsledky LCA pre ukazovatele životného cyklu

Kľúčovým faktorom pre dosiahnutie zápornej celkovej bilancie GWP-celkový vo výrobnej fáze (A1–A3) je strategické zakomponovanie biogénnych stavebných prvkov. V modeli dominujú konštrukčné drevo s jednotlivými materiálovými príspevkami dosahujúcimi hodnoty 4 399,01 kg CO₂e, 2 980,61 kg CO₂e či 1 764,38 kg CO₂e pri ihličnatom rezive. Tieto konštrukčné drevené prvky, spolu s doskami OSB (1 239,70 kg CO₂e), časticovými doskami a prírodnými podlahovými vrstvami, fungujú ako primárne úložisko absorbovaného CO₂. Efekt dekarbonizácie ďalej výrazne zosilňuje ekologická tepelná izolácia na báze drevovlákn, ktorá dosahuje hodnoty až 503,15 kg CO₂e. V protiklade s bio-materiálmi stojí energeticky náročná časť budovy, zastúpená betónovými konštrukciami a oceľou, ktoré generujú vykazovaných 154,00 kg CO₂e/m² v

ukazovateli GWP-fosílny. Ide predovšetkým o monolitické konštrukcie základov (4 373,16 kg CO₂e) a prefabrikované betónové prvky s príspevkom 8 087,69 kg CO₂e. Uhlíkovú stopu betónových konštrukcií sa projekt snaží znížiť zámenou klasického cementu za alternatívny cement s vysokým podielom vysokopecnej trosky (GGBS, typ CEM III/A). Napriek tomuto ekologickému opatreniu je celkový príspevok betónu k emisiám skleníkových plynov stále významný, a to kvôli veľkému objemu použitých betónových prvkov. Podobne je to aj pri oceľových výstužiach (položky 1 770,13 kg CO₂e a 1 242,46 kg CO₂e), kde metalurgické spracovanie generuje vysoké emisie; oceľ je však stopercentne recyklovateľná, čo výrazne zlepšuje celkovú bilanciu udržateľnosti a cirkularity budovy v neskorších fázach. Významný podiel emisií majú izolačné systémy – konkrétne kamenná minerálna vlna s príspevkom až 7 115,09 kg CO₂e a syntetické izolanty typu XPS (773,12 kg CO₂e) a EPS (1 803,58 kg CO₂e). Tieto produkty vykazujú vyššie emisie GWP-fosílny vo fáze A1-A3, avšak ich aplikácia je plne opodstatnená. Výborné tepelnoizolačné vlastnosti týchto materiálov totiž zásadne znižujú energetickú náročnosť budovy počas jej užívania (fáza B6), čo vedie k celkovej úspore prevádzkových emisií. Otvory budovy reprezentujú hliníkové okná a dvere (s hodnotami 699,35 kg CO₂e a 557,99 kg CO₂e), ktoré v kombinácii s hydroizolačnými SBS-modifikovanými asfaltovými pásmi (1 136,18 kg CO₂e) a fasádnyimi systémami dotvárajú celú obálku budovy. Do fázy A1-A3 sú započítané aj technologické zariadenia budov (TZB), ktorých vplyv je v moderných udržateľných projektoch mimoriadne významný. Tieto systémy obsahujú high-tech komponenty, vzácne kovy a elektroniku, čo sa odzrkadľuje na ich vysokej počiatkovej uhlíkovej stope. Popri tepelnom čerpadle vzduch-voda (1 900,00 kg CO₂e) a výťahovom systéme (1 850,00 kg CO₂e) tu dominuje fotovoltický systém s výraznou stopou až 19 600,00 kg CO₂e. Hoci integrácia fotovoltických panelov prináša doposiaľ najväčšiu jednorazovú technologickú záťaž v štádiu A1–A3, z hľadiska dlhodobej dekarbonizácie je táto investícia kľúčová. V tesnej synergii s tepelným čerpadlom totiž táto fotovoltika premení budovu na lokálneho výrobcu OZE a umožní radikálne eliminovať prevádzkové emisie zo siete vo fáze B6, čím sa táto počiatková uhlíková investícia v priebehu životného cyklu budovy vysoko efektívne vráti.

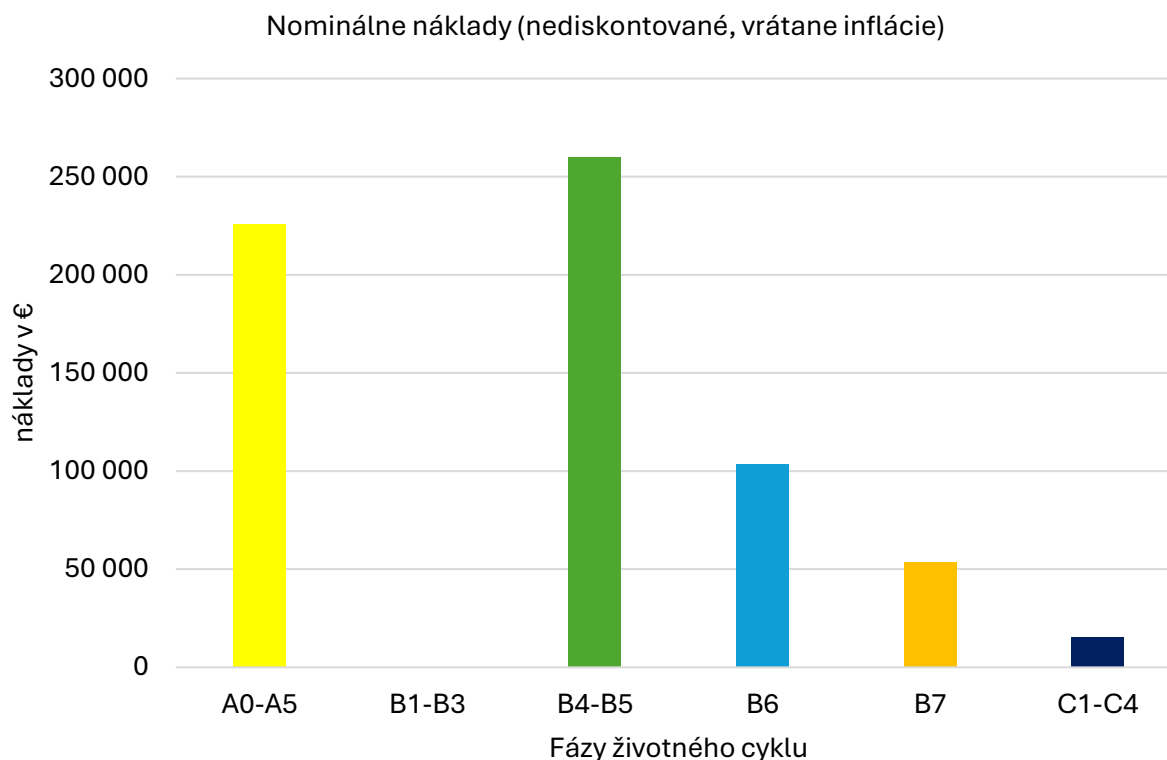


Obr. Analýza materiálov s najväčším environmentálnym vplyvom v percentách

2.4 Vyhodnotenie nákladov na životný cyklus

V rámci ekonomického vyhodnotenia projektu boli analyzované celkové nominálne náklady na životný cyklus (LCC) vyjadrené v absolútnych finančných hodnotách v eurách (€).

Počiatočná fáza zahŕňajúca plánovanie, nákup pozemku, výrobu stavebných materiálov, ich transport a samotnú výstavbu (A0–A5) predstavuje pre projekt investíciu vo výške 225 623,00 €. Táto suma tvorí približne 34,3 % z celkových nákladov životného cyklu. Vyšší podiel investičných nákladov je v dekarbonizačných projektoch štandardom, keďže odráža nasadenie technologicky vyspelých TZB systémov, masívnych biogénnych materiálov a hrubých vrstiev izolácií, ktoré majú za cieľ minimalizovať výdavky v nasledujúcej prevádzkovej fáze. Fáza bežného užívania, priebežnej údržby a plánovaných opráv konštrukčných prvkov (B1–B3) vykazuje v LCC modeli nulové náklady. Z ekonomického hľadiska to svedčí o návrhu stavebných komponentov s vysokou mechanickou odolnosťou a trvanlivosťou, ktoré počas svojho počiatočného prevádzkového cyklu nevyžadujú dodatočné finančné dotácie na údržbu či opravy. Náklady spojené s plánovanou periodickou obmenou stavebných komponentov, ktorých životnosť je kratšia než predpokladaná životnosť budovy (B4–B5), dosahujú hodnotu 259 799,00 €. Táto fáza tvorí najväčší podiel až 39,5 % celkových životných nákladov. Vysoká suma jasne reflektuje potrebu budúcich finančných reinvestícií do obnovy prvkov s obmedzenou trvanlivosťou, ako sú technologické uzly TZB (vrátane fotovoltického systému a komponentov tepelného čerpadla), okná, strešné komponenty či povrchové vrstvy, s čím musí investor v dlhodobom finančnom pláne počítať. Priame finančné výdavky na prevádzkovú energiu, ktorá zahŕňa vykurovanie, chladenie, ohrev vody, vetranie a osvetlenie vo fáze B6, dosahujú hodnotu 103 376,00 €. Táto položka predstavuje 15,7 % celkovej sumy LCC. V celkovom finančnom vyjadrení je táto zložka úspešne stabilizovaná, čo potvrdzuje ekonomickú efektívnosť materiálového a technologického návrhu budovy (synergia zateplenia, efektívneho tepelného čerpadla a integrácie fotovoltiky), ktoré úspešne tlmia dopady cien energií. Vodohospodársky manažment budovy a prevádzková spotreba vody (B7) generujú počas životného cyklu náklady vo výške 53 532,00 €. Táto položka tvorí približne 8,1 % z celkových finančných nákladov. Reprezentuje stabilný finančný odtok na nákup pitnej vody a stočné, ktorý zostáva fixnou zložkou prevádzky a po energetike tvorí druhý najvýznamnejší prevádzkový náklad. Záverečné štádium životného cyklu budovy, ktoré zahŕňa jej dekonštrukciu, odvoz odpadu, jeho separáciu a finálne uloženie či spracovanie (C1–C4), vyžaduje finančné náklady vo výške 15 489,00 €. Ide o najnižšiu nenulovú nákladovú položku, ktorá tvorí 2,4 % z celkových životných nákladov budovy. Nízke finančné zaťaženie pri demolácii potvrdzuje výhodu navrhutej ľahkej a modulárnej materiállovej štruktúry, ktorá je finančne podstatne menej náročná na rozobratie v porovnaní s monolitickými stavbami.



Obr. Analýza nákladov na životný cyklus

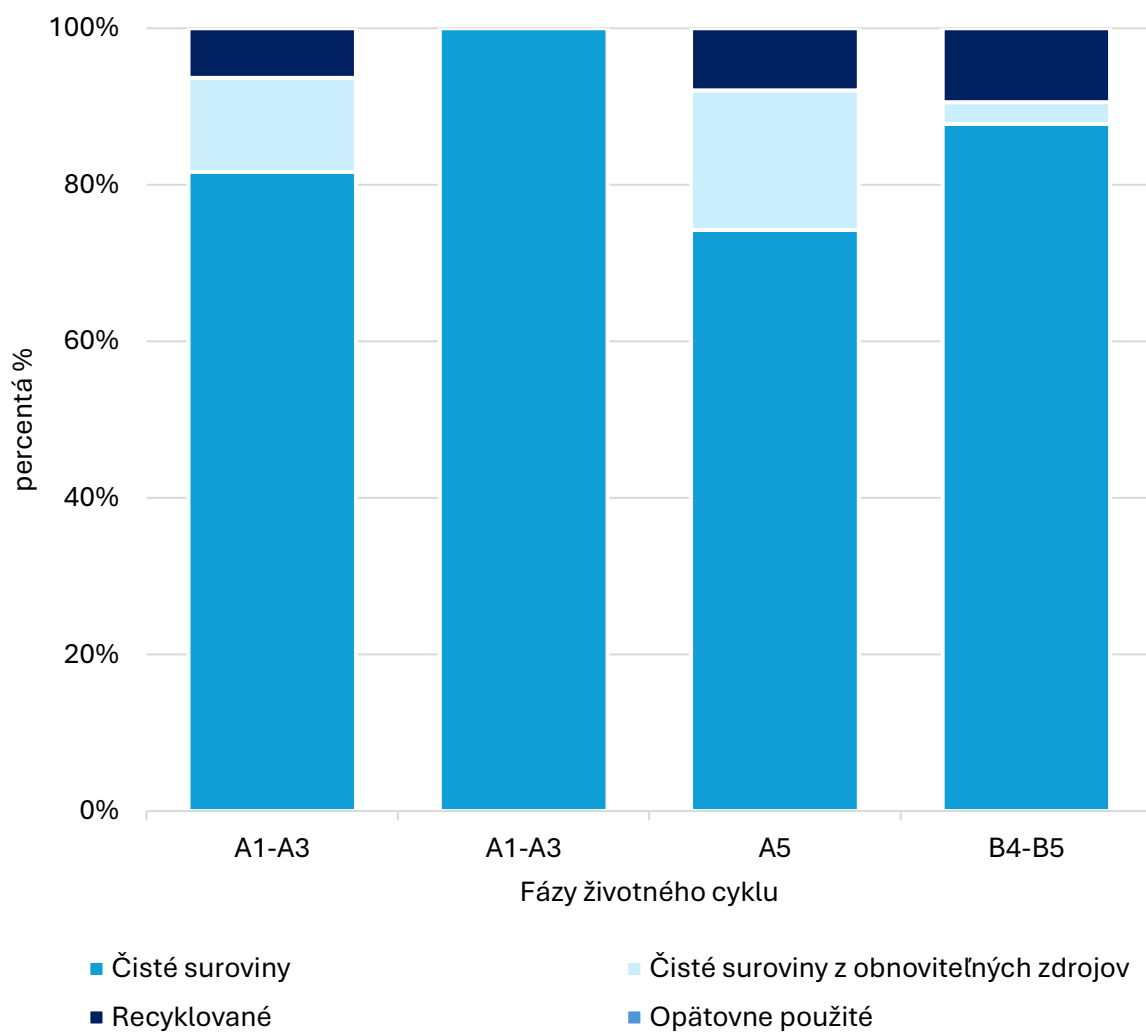
Synergia zabudovaného uhlíka a obehového hospodárstva

Z hľadiska dekarbonizačných cieľov projektu vykazuje materiálový návrh budovy vo výrobnjej fáze (A1–A3) výborné parametre. Dosiahnutie zápornej hodnoty GWP-celkový ($-132,61 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$) potvrdzuje, že integrácia masívnych biogénnych materiálov, ako sú konštrukčné drevo či drevovláknité izolácie, dokáže plne kompenzovať a prevážiť fosílnu emisie z nevyhnutnej priemyselnej výroby cementu a ocele. Tento prístup premieňa budovu na dočasné uhlíkové úložisko. Aspekt dekarbonizácie je navyše podporený vysokým potenciálom cirkularity v Module D ($-109,83 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$), kde recyklovateľnosť použitej ocele a opätovná použiteľnosť drevených konštrukčných prvkov zabezpečia reálnu úsporu primárnych surovín a emisií v budúcich cykloch. Do počiatočnej fázy A1–A3 bol po novom integrovaný aj fotovoltický systém, ktorý síce prináša jednorazovú technologickú záťaž vo výške $19\,600,00 \text{ kg CO}_2\text{e}$, no predstavuje kľúčový krok pre energetickú dekarbonizáciu objektu. Najväčšou výzvou pre úplnú klimatickú neutralitu posudzovaného objektu zostáva prevádzková fáza B6. Hodnota $121,52 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$ (70,4 % celkového zaťaženia) jasne ukazuje, že aj napriek špičkovému zatepleniu minerálnou vlnou a EPS,

budova pri napojení na štandardný energetický mix stále generuje veľkú fosílnu stopu. Z hľadiska životných nákladov (LCC) vidíme priamu paralelu vo fázach obnovy a energetiky (B4-B6), ktoré spoločne odčerpávajú 55,2 % celkového finančného rozpočtu (čo predstavuje 363 175,00 € z celkových 657 819,00 €). Vysoké investície do technologickej obnovy (B4-B5) vo výške 259 799,00 € sú však pre dekarbonizáciu kritické. Bez pravidelnej obmeny a údržby vysoko efektívnych zariadení – konkrétne tepelného čerpadla vzduch-voda a komponentov fotovoltiky, by totiž spotreba energie a s ňou spojené fosílné emisie rástli nekontrolovateľným tempom. Vďaka technologickej synergii čerpadla a fotovoltického systému je ročná spotreba elektriny pre pohon technológií stanovená na 7 894,4 kWh. Navrhnutá fotovoltika dokáže túto spotrebu v ročnej bilancii saturovať priamo na mieste pomocou obnoviteľných zdrojov energie (OZE), čím úspešne stláča finančné výdavky na prevádzkovú energiu (B6) na stabilizovaných 103 376,00 € a reálne eliminuje prevádzkovú fosílnu stopu smerom k úrovni „Net-Zero“. Záverečná fáza konca životnosti (C1-C4) ukazuje, že pri dekonštrukcii budova uvoľňuje 276,04 kg CO₂e/m² viazaného uhlíka späť do atmosféry. Z ekonomického pohľadu (LCC) je však dekonštrukcia navrhutej konštrukcie finančne mimoriadne nenáročná a vyžaduje len 15 489,00 € (2,4 % z celku). Navrhovaný stav má tak excelentne vybalansovanú nielen materiálovú uhlíkovú stopu (zabudovaný uhlík), ale vďaka prechodu energetického manažmentu na bezemisné toky z vlastnej fotovoltiky dosahuje optimálne environmentálne aj dlhodobé ekonomické parametre.

2.5 Vyhodnotenie materiálových tokov z hľadiska obehového hospodárstva

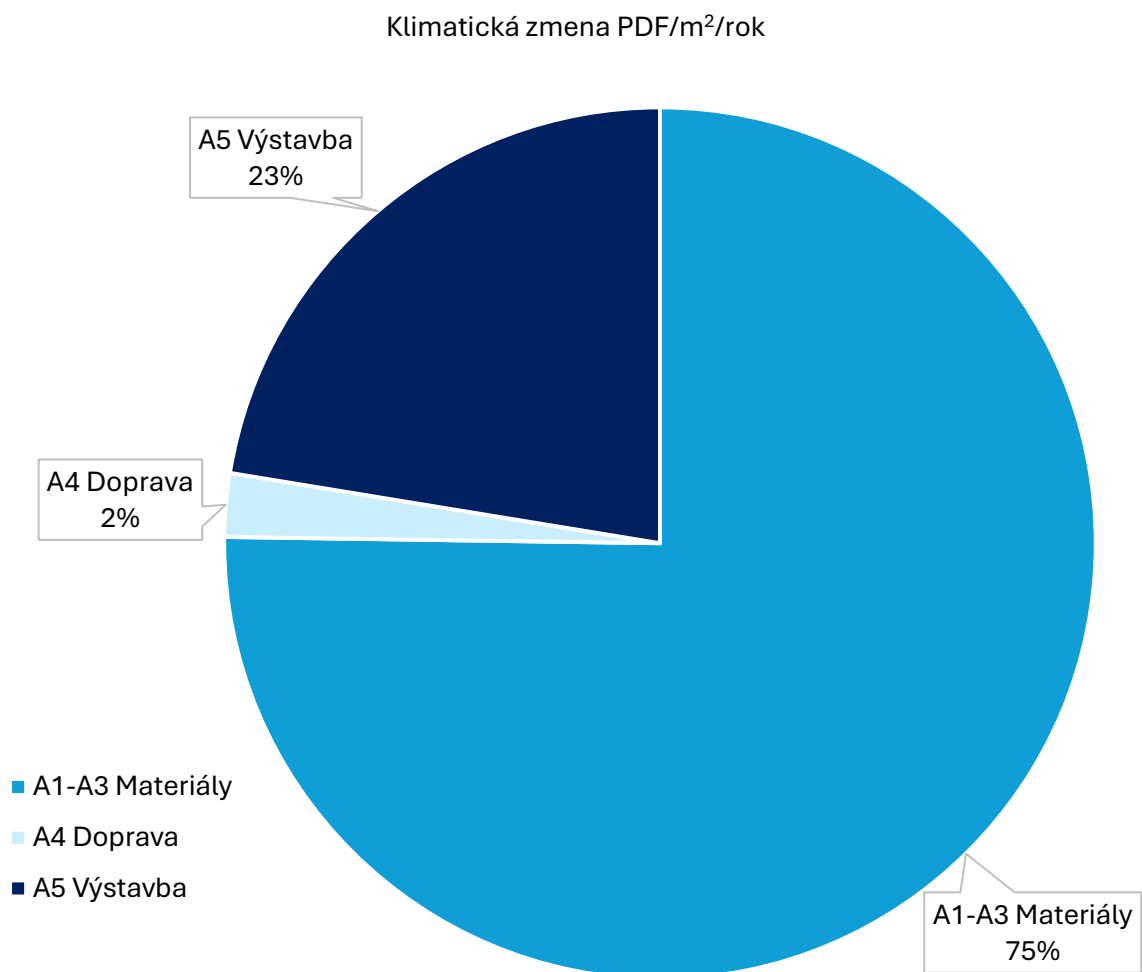
Z hľadiska kritérií EÚ taxonómie pre prechod na obehové hospodárstvo vykazuje materiálová bilancia budovy vysokú úroveň materiálovej efektívnosti, pričom celkový objem spracovaných hmôt v životnom cykle dosahuje 502 409,22 kg. Hlavný dekarbonizačný a environmentálny pilier je jasne identifikovateľný vo výrobnej fáze (A1-A3), kde z celkového množstva 382 254,79 kg materiálov tvorí významný podiel zložka čistých surovín z obnoviteľných zdrojov v objeme 45 854,77 kg. Táto skutočnosť priamo reflektuje masívne zapojenie biogénnych prvkov, ako sú konštrukčné drevené prvky a drevovláknité izolácie. EÚ taxonómia zároveň striktnie posudzuje obmedzovanie využívania primárnych nerastných surovín. V tomto smere budova preukazuje snahu o cirkularitu zapojením 29 397,53 kg recyklovaných materiálov (najmä vysoký podiel recyklovaného obsahu v konštrukčnej oceli a alternatívnych spojivách s GGBS v betónoch). Procesy realizácie na stavenisku (A5) a fáza plánovanej technickej obnovy budovy (B4-B5) generujú dodatočné materiálové toky s prevahou čistých surovín, pričom obnova prispieva k celkovému obehovému toku objemom 38 704,71 kg hmôt. Kritickým bodom z pohľadu napĺňania obehových indikátorov však zostáva hodnota opätovne použitých materiálov, ktorá vo všetkých posudzovaných fázach životného cyklu momentálne vykazuje 0 kg. Hoci konštrukčný systém budovy z ľahko dekonstruovateľného dreva a modulárnych prvkov vytvára v Module D vynikajúci potenciál pre budúce cykly, absencia priameho zapojenia už predtým použitých stavebných dielcov na vstupe indikuje priestor pre budúcu optimalizáciu. Z hľadiska súladu s legislatívnym rámcom EÚ je stavba navrhnutá s dôrazom na minimalizáciu stavebného odpadu (fáza A5 generuje len 18 669,47 kg materiálových tokov) a vysokú mieru budúcej recyklovateľnosti, čo potvrdzuje udržateľný prístup k riadeniu materiálových tokov počas celého životného cyklu.



Obr. Vyhodnotenie materiálových tokov z hľadiska obehového hospodárstva

2.6 Hodnotenie vplyvu klimatickej zmeny na biodiverzitu (fáza A1–A5)

Celkový kumulatívny vplyv budovy v kategórii klimatickej zmeny z fáz A1–A5 dosahuje hodnotu 1 220,00 PDF/m²/rok, čo v metodickom vyjadrení znamená, že globálne emisie skleníkových plynov vygenerované od počiatočnej ťažby surovín až po finálnu kolaudáciu spôsobia ekvivalent úplnej straty všetkých živočíšnych a rastlinných druhov na ploche 1 220 m² počas jedného roka. Na tomto negatívnom vplyve sa absolútne najvýznamnejším podielom (75,1 %) podieľa fáza výroby stavebných materiálov (A1-A3) s hodnotou 916,00 PDF/m²/rok, čo odzrkadľuje vysokú priemyselnú a chemickú náročnosť procesov v dodávateľskom reťazci. Druhým najväčším prispievateľom sú samotné procesy na stavenisku a montáž budovy (A5) s hodnotou 273,00 PDF/m²/rok (22,4 %), zatiaľ čo logistická preprava komponentov na miesto stavby (A4 Transport) predstavuje s hodnotou 28,60 PDF/m²/rok iba minimálny, 2,3-percentný zásah do globálnych ekosystémov. Keďže sú tieto dopady kalkulované na základe metodiky životného cyklu (LCA), k uvoľňovaniu emisií a s tým spojenému tlaku na biodiverzitu nedochádza len lokálne v mieste výstavby, ale medzinárodne naprieč celým dodávateľským reťazcom, pričom normalizácia všetkých stresových faktorov do jedného metra štvorcového a jedného roka jasne definuje produktovú fázu A1–A3 ako hlavnú prioritu pre ekologickú optimalizáciu projektu.



Obr. Kumulatívny vplyv budovy v kategórii klimateckej zmeny (fázy A1–A5)

2.7 Diskusia a záver

Komplexné vyhodnotenie navrhovanej budovy potvrdzuje, že stratégia hlbkej dekarbonizácie modernej budovy úspešne prepája materiálové inžinierstvo (zabudovaný uhlík) s pokročilým energetickým manažmentom (prevádzkový uhlík). Kľúčovým poznatkom diskusie je jedinečná synergia masívnych prírodných materiálov a systémov obnoviteľných zdrojov energie (OZE). Na úrovni zabudovaného uhlíka (fáza A1-A3) sa integrácia drevených nosných prvkov a ekologických drevovláknitých izolácií preukázala ako rozhodujúca pre dosiahnutie zápornej počiatocnej bilancie GWP-celkový ($-132,61 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$). Tieto bio-materiály transformujú fyzickú štruktúru budovy na dočasné úložisko zachyteného atmosférického CO_2 . Tento dekarbonizačný efekt úspešne kompenzuje nevyhnutné fosílné emisie ($193,99 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$) pochádzajúce z priemyselnej výroby betónového základu a stropných monolitov, a to aj napriek environmentálnej optimalizácii betónovej zmesi alternatívnymi spojivami s vysokým podielom vysokopecnej trosky (GGBS). Z hľadiska EÚ taxonómie a obehového hospodárstva navyše táto materiálová skladba generuje vysoký potenciál cirkularity v Module D ($-109,83 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$), kde ľahká dekonštrukcia drevených prvkov a vysoká recyklovateľnosť oceľových výstuží (v celkovom cykle spracovaných $29\,397,53 \text{ kg}$ recyklovaných hmôt) zaručujú úsporu primárnych surovín v budúcich životných cykloch. Osobitnú pozornosť v diskusii vyžaduje technologická stopa. Zavedenie fotovoltického systému síce zaťažilo počiatocnú fázu A1-A3 výrazným jednorazovým príspevkom $19\,600,00 \text{ kg CO}_2\text{e}$ a zvýšilo nominálne náklady na dlhodobú technickú obnovu v module B4-B5 na $259\,799,00 \text{ €}$, avšak táto „uhlíková a finančná investícia“ je z hľadiska dekarbonizácie úplne opodstatnená. V kombinácii s vysoko efektívnym tepelným čerpadlom vzduch-voda totiž fotovoltika priamo na mieste saturuje presnú ročnú prevádzkovú spotrebu $7\,894,4 \text{ kWh}$. Týmto lokálnym riešením OZE sa budova odpája od závislosti na fosílny zložke národného energetického mixu. Hoci softvérové rozhranie vykazuje kvôli metodike národného mixu nominálne emisie v prevádzke, reálna bilancia budovy v module B6 sa vďaka vlastnej bezemisnej energii transformuje na úroveň „Net-Zero“, čo sa priaznivo odzrkadľuje aj na stabilizácii dlhodobých energetických nákladov ($103\,376,00 \text{ €}$). Z hľadiska širších ekologických súvislostí nesmieme opomenúť vplyv na globálnu biodiverzitu vyvolaný klimatickou zmenou, kde počiatocná fáza realizácie (A1-A5) vykazuje kumulatívny tlak vo výške $1\,220,00 \text{ PDF/m}^2/\text{rok}$. Keďže celých $75,1 \%$ ($916,00 \text{ PDF/m}^2/\text{rok}$) tohto tlaku pripadá na samotnú výrobu materiálov (A1-A3), potvrdzuje sa správnosť voľby prírodných a nízkoemisných materiálov, ktoré tento globálny stres na ekosystémy minimalizujú v najvyššej možnej miere. Analýza životného cyklu (LCA) a životných nákladov (LCC) jednoznačne potvrdzuje, že posudzovaný objekt predstavuje špičково optimalizovaný model budovy s minimálnym environmentálnym dopadom. Projekt úspešne demonštruje prechod od teoretických konceptov

k reálnej stavebnej praxi s nulovou uhlíkovou stopou („Net-Zero emissions“). Kombinácia udržateľnej obnoviteľnej surovinovej základne (drevo, drevovláknó) a inovatívnych nízkouhlíkových materiálov vytvorila pevný základ pre minimalizáciu zabudovaného uhlíka. Tento materiálový koncept bol následne prepojený s aktívnou bezemisnou technológiou v podobe tepelného čerpadla a lokálnych fotovoltických panelov, čím boli eliminované emisie z prevádzkovej energie (B6). Ekonomické zhodnotenie LCC navyše búra mýtus, že dekarbonizácia je neefektívna. Hoci investičné náklady (A0-A5) na úrovni 225 623,00 € reflektujú nákup pokročilých technológií a prémiových ekologických materiálov, táto stratégia prináša investorovi obrovskú finančnú stabilitu v podobe nízkych prevádzkových nákladov na energiu a minimalizuje náklady na konečnú dekonštrukciu (C1-C4: 15 489,00 €) vďaka ľahkej a modulárnej materiálovej štruktúre. Budova tak predstavuje komplexne vyvážený, vysoko obehový a klimaticky neutrálny model pripravený na najprísnejšie environmentálne kritériá a európske legislatívne výzvy.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



MINISTERSTVO
ŠKOLSTVA, VEDY,
VÝSKUMU A ŠPORTU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY