



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 4. Inovatívny koncept procesu výstavby

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

v rámci pracovného balíka KPB2 s názvom Proces výstavby

INOVATÍVNY KONCEPT PROCESU VÝSTAVBY

december 2025

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

Obsah

1	ÚVOD.....	4
2	Východiská a návrhové princípy.....	5
3	Cieľový proces výstavby	6
4	Rozhodovacie brány procesu	8
5	Digitálna architektúra a dátový tok.....	9
6	Minimálny záznam emisie	10
7	Riadenie dopravy a mechanizácie.....	11
8	Riadenie materiálov z hľadiska cirkulárnej ekonomiky	13
9	Roly a zodpovednosti	14
10	Ukazovatele výkonnosti a cieľové hodnoty	15
11	Aplikácia konceptu	16
12	Implementačný plán.....	17
13	Riziká zavedenia a opatrenia	18
14	Odporúčanie a záver.....	19

1 ÚVOD

Konceptný dokument vychádzajúci z metodiky a prípadovej štúdie publikácie Proces výstavby DEKAST.

211 041 kg CO ₂ eq. spolu A4 a A5	72,2 % podiel dopravy A4	27,8 % podiel realizácie A5	82,6 % podiel nafty v A5
--	------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------

Účelom dokumentu je navrhnúť praktický cieľový proces, ktorý prepája plánovanie, realizáciu, logistiku, meranie emisií skleníkový plynov, kvalitu a odovzdanie stavby do jedného riadiaceho systému.

Odporúčaný cieľový model mení výstavbu z postupnosti samostatne riadených činností na jeden merateľný tok rozhodnutí. Každá technologická etapa dostane uhlíkový rozpočet, vlastníka dát, digitálny kontrolný bod a vopred určené nápravné opatrenie. Tým sa metodika hodnotenia emisií A4 a A5 zo zdrojového dokumentu presúva z dodatočného výpočtu do každodenného riadenia stavby.

Prípadová štúdia bytového domu Tramín uvádza celkové emisie 211 041,06 kg CO₂eq., teda 58,62 kg CO₂eq. na m². Doprava materiálov A4 tvorí 72,2 % a realizácia A5 tvorí 27,8 %. V rámci A5 pochádza 82,6 % emisií zo spotreby nafty mechanizmami. Riadenie logistiky a mechanizácie preto musí byť jadrom procesu, nie samostatnou environmentálnou prílohou.

Cieľom konceptu procesu výstavby je:

- vytvoriť digitálnu uhlíkovú základňu pred nákupom materiálov a pred nasadením mechanizmov
- prepojiť BIM model, harmonogram, rozpočet, plán dodávok a výkaz emisií A4 a A5
- riadiť zásobovanie cez digitálne časové okná a konsolidáciu dodávok
- merať energiu, palivá, prevádzkové hodiny, prestoje, odpad a dopravné výkony priebežne
- vyhodnocovať technologické etapy cez rozhodovacie brány a uzatvárať ich až po splnení kvality, bezpečnosti, času, nákladov a uhlíka
- odovzdať investorovi overený dátový balík ako základ digitálneho dvojčata a hodnotenia Whole Life Carbon

Výsledkom je proces, v ktorom manažment výstavby môže počas realizácie upraviť trasu, dodávateľa, veľkosť zásielky, nasadenie stroja alebo pracovný cyklus. Koncept zároveň vytvára auditovateľnú stopu údajov pre výpočet CO₂eq., rozhodovanie investora a porovnanie ďalších projektov.

2 Východiská a návrhové princípy

Nasledujúca tabuľka prezentuje konkrétne prvky riadenia na základe zistení prípadovej štúdie prezentovanej v PB 2. Ukazuje, že samotné meranie GHG emisií nie je postačujúce. Každý významný zdroj musí byť previazaný s rozhodnutím, zodpovednou rolou a údajom, podľa ktorého sa overí výsledok. Najvyššiu prioritu má logistika A4 a nasadenie mechanizmov v A5, pretože práve v týchto oblastiach sú identifikované dominantné emisie.

Zistenie	Dôsledok pre riadenie	Odpoveď konceptu
Doprava A4 je dominantný zdroj emisií	Rozhodnutia o dodávateľoch a trasách majú väčší vplyv než drobné úspory na stavenisku	Logistický kontrolný systém a uhlíkové hodnotenie objednávok
Nafta dominuje v A5	Prestoje a nevhodné nasadenie strojov priamo zvyšujú emisie aj náklady	Telematika, limit voľnobehu a plán elektrifikácie alebo HVO
Výstavba je rozdelená na technologické etapy	Etapy poskytujú prirodzenú jednotku plánovania a vyhodnotenia	Uhlíkový rozpočet a rozhodovacia brána pre každú etapu
Údaje vznikajú u viacerých účastníkov	Bez jednotných polí sa výpočet robí spätne a s medzerami	Spoločné dátové prostredie a určený vlastník každého údajá
Metodika počíta emisie ako aktivita krát emisný faktor	Kvalita výsledku závisí od kvality merania aktivity a verzie emisného faktora	Automatizovaný zber, evidencia zdroja a uzamknutie verzie faktora

Sedem návrhových princípov:

1. Jedna verzia údajov Harmonogram, množstvá, doprava, spotreby a emisie sa evidujú v spoločnom dátovom prostredí.
2. Rozhodovanie pred vznikom emisie Alternatívy sa porovnávajú pred objednávkou alebo nasadením stroja.
3. Riadenie podľa technologických etáp Každá etapa má vstupné podmienky, rozpočet, meranie a výstupné overenie.
4. Meranie pri zdroji Údaj sa zaznamená pri dodávke, tankovaní, nabíjaní, prevádzke stroja alebo odovzdaní odpadu.
5. Odchýlka spúšťa činnosť Dashboard bez určeného vlastníka a reakcie nie je riadiaci nástroj.
6. Uhlík spolu s časom a nákladmi Optimalizácia nesmie zhoršiť bezpečnosť, kvalitu alebo kritickú cestu.
7. Opakovateľnosť Dátová štruktúra a kontrolné brány sa používajú na každom projekte a zlepšujú sa z reálnych výsledkov.

3 Cieľový proces výstavby

Schéma znázorňuje uzavretý tok od nastavenia uhlíkového rámca až po digitálne odovzdanie. Poradie krokov je dôležité: údaje, ciele a zodpovednosti sa určia pred začiatkom obstarávania a realizácie, aby bolo možné ovplyvniť emisie ešte pred ich vznikom. Spätné vyhodnotenie z posledného kroku sa používa ako vstup pre ďalší projekt, čím sa proces postupne spresňuje.



V ďalšej tabuľke je rozpracovaný procesný obrázok do ôsmich vykonateľných krokov. Každý krok má definovanú činnosť aj povinný výstup, takže tím môže jednoznačne overiť jeho dokončenie. Kľúčovým princípom je, že etapa sa nepovažuje za uzatvorenú iba po dokončení stavebných prác, ale až po potvrdení množstiev, kvality, spotrieb, emisií a príslušných dokladov.

Krok	Fáza	Hlavná činnosť	Povinný výstup
0	Uhlíkový rámec a dátový plán	stanoviť hranice A4 a A5, referenčný scenár, zdroje emisných faktorov, dátové polia, zodpovednosti a cieľové ukazovatele	schválený uhlíkový plán projektu
1	Digitálna príprava	prepojiť BIM množstvá, 4D harmonogram, nákladový plán, technologické etapy a alternatívy realizácie	realizačný model a uhlíkový rozpočet etáp
2	Inteligentné stavenisko	navrhnuť dispozíciu, meranie elektriny a vody, napájanie, skladovanie, pohyb mechanizmov a dátové pripojenie	plán zariadenia staveniska s meracími bodmi
3	Riadená logistika A4	predkvalifikovať dodávateľov, vypočítať tkm, plánovať časové okná, konsolidovať zásielky a evidovať skutočné trasy	denný plán dodávok a priebežná bilancia A4
4	Výroba podľa etáp A5	riadiť týždenné záväzky, pripravenosť pracovísk, väzby profesií, kvalitu a skutočný výkon	uzatvorená etapa s potvrdenou kvalitou a množstvami

Krok	Fáza	Hlavná činnosť	Povinný výstup
5	Energia a mechanizácia	merať spotrebu, prevádzkové hodiny a voľnobeh; preferovať elektrické stroje, sieťové napájanie, HVO a batérie podľa dostupnosti	bilancia energie a mechanizmov s nápravnými krokmi
6	Cirkulárne toky	predchádzať odpadu, evidovať materiálové toky, spätný odber, opätovné použitie a recykláciu	materiálová bilancia a doklady o zhodnotení
7	Overenie a digitálne odovzdanie	uzavrieť A4 a A5, vysvetliť odchýlky, archivovať dôkazy a preniesť relevantné dáta do modelu skutočného vyhotovenia	overený report a dátový balík projektu

4 Rozhodovacie brány procesu

Rozhodovacia brána je krátke formálne overenie, že etapa môže začať alebo byť uzatvorená. Stavbyvedúci nesleduje iba plnenie termínu, ale kontroluje aj pripravenosť, bezpečnosť, kvalitu, náklady, uhlíkový rozpočet a úplnosť dát. Rozhodovacie brány zabrahujú tomu, aby sa práce alebo dodávky uvoľnili bez potrebnej pripravenosti. Tabuľka zároveň oddeľuje kontrolu rámca, staveniska, dodávok, realizácie a odovzdania. Pre prax je podstatné, že pri každej bráne je uvedený zodpovedný vlastník. Tým sa znižuje riziko, že zistená odchýlka zostane bez rozhodnutia alebo sa presunie medzi účastníkmi projektu.

Brána	Rozhodnutie	Minimálne dôkazy	Zodpovedný
G0	Schválenie rámca	hranice A4 a A5, základňa, ciele, zdroje faktorov, vlastníci dát	investor a projektový manažér
G1	Pripravenosť realizácie	koordinovaný model, harmonogram, alternatívy, plán obstarávania	projektový manažér a BIM manažér
G2	Pripravenosť staveniska	napájanie, meranie, bezpečné trasy, sklady, zóny odpadu, pripojenie dát	stavbyvedúci
G3	Uvoľnenie dodávky	množstvo, pôvod, vozidlo, trasa, vyťaženosť, časové okno, doklady	logistický koordinátor
G4	Uvoľnenie etapy	stavebná pripravenosť, pracovná sila, mechanizmy, materiál a kontrolný plán	stavbyvedúci a majster
G5	Týždenné vyhodnotenie	plán verzus skutočnosť, prestoje, energia, palivá, odpad a emisie	projektový tím
G6	Uzatvorenie etapy	kvalita, skutočné množstvá, spotreby, odchýlky a poučenia	stavbyvedúci a manažér kvality
G7	Odovzdanie	konečná bilancia A4 a A5, doklady, model skutočného vyhotovenia a odporúčania	investor a zhotoviteľ

Pravidlo reakcie na odchýlku

	ZELENÁ	Odchýlka je v tolerancii a etapa pokračuje.
	ORANŽOVÁ	Vlastník do 24 hodín určí príčinu a nápravné opatrenie.
	ČERVENÁ	Ďalšia dodávka alebo pracovný cyklus sa neuvoľní bez rozhodnutia stavbyvedúceho alebo projektového manažéra.

5 Digitálna architektúra a dátový tok

Koncept nevyžaduje jeden konkrétny softvér. Vyžaduje však jednotný dátový model, stabilné identifikátory objektov a etáp a jasné rozhranie medzi zdrojmi údajov. Základom je spoločné dátové prostredie, do ktorého prúdia plánované aj skutočné hodnoty.

Tabuľka ukazuje, že emisná bilancia nevzniká v jednom oddelenom systéme. Skladá sa z údajov modelu, nákupu, logistiky, mechanizácie, merania energií a materiálových tokov. Frekvencia zberu je prispôbena rýchlosti vzniku údajov: doprava sa zaznamenáva pri každej jazde, mechanizácia denne alebo automaticky a plán pri schválenej zmene. Takéto rozdelenie umožňuje udržať primeranú presnosť bez nadmernej administratívy.

Vrstva	Obsah	Zdroj alebo nástroj	Frekvencia
Model a plán	objekty, konštrukcie, množstvá, technologické etapy, harmonogram	BIM model a 4D plán	pri zmene schváleného plánu
Obstarávanie	dodávateľ, výrobná, hmotnosť, dopravná vzdialenosť, EPD alebo produktové údaje	objednávky a dodacie listy	pri objednávke a dodávke
Logistika	vozidlo, nosnosť, vyťaženosť, trasa, časy vstupu a výstupu, tkm	rezervačný systém a evidencia brány	každá jazda
Mechanizácia	stroj, palivo, spotreba, motohodiny, voľnobeh, pracovný cyklus	telematika alebo denný výkaz	denne alebo automaticky
Energia a voda	kWh, zdroj elektriny, špičkový výkon, m ³ vody	podružné merače a IoT	15 minút až denne
Materiály a odpad	prevzaté množstvo, zabudované množstvo, zostatok, druh odpadu, spôsob zhodnotenia	sklad, vážne lístky a protokoly	pri pohybe materiálu
Emisná bilancia	aktivita, jednotka, emisný faktor, verzia, výsledok CO ₂ eq.	výpočtová vrstva A4 a A5	denne a pri uzatvorení etapy

6 Minimálny záznam emisie

Minimálny záznam určuje rozsah údajov potrebný na spätné overenie výpočtu. Bez väzby na projekt, etapu, zdrojový doklad a verziu emisného faktora nemožno výsledok spoľahlivo auditovať ani porovnať s iným projektom. Povinný stav overenia zároveň odlišuje pracovný údaj od hodnoty, ktorá už môže vstúpiť do schválenej bilancie A4 a A5.

Pole	Príklad použitia	Kontrola kvality
Identifikátor projektu a etapy	SO 01 TE 02	musí zodpovedať harmonogramu
Dátum a zdroj aktivity	dodací list alebo telematika	dohľadateľný pôvodný doklad
Aktivita a jednotka	15 960 tkm alebo 120 l	jednotka povinná
Emisný faktor	kg CO ₂ eq. na tkm alebo liter	evidovaná verzia a zdroj
Výsledok	aktivita krát emisný faktor	automatický prepočet
Vlastník a stav overenia	logistika overené	schválenie pred uzatvorením etapy

7 Riadenie dopravy a mechanizácie

Logistický kontrolný systém pre A4:

- Pred objednávkou systém vypočíta emisie variantov podľa hmotnosti, vzdialenosti, vozidla a predpokladanej vyťaženia.
- Objednávka sa uvoľní až po potvrdení zdroja materiálu, trasy, času vykládky a požadovaných dokladov.
- Každá dodávka dostane digitálne časové okno. Brána zaznamená príchod, odchod, čakanie a odchýlku od plánu.
- Nevýťažené alebo duplicitné jazdy sa vyhodnotia do nasledujúceho denného plánu. Opakovaná príčina sa rieši s nákupom a dodávateľom.
- Skutočné tkm sa po dodávke priradia k objektu a technologickej etape.

Riadenie mechanizácie pre A5

Tabuľka spája typické straty pri prevádzke mechanizmov s merateľným ukazovateľom a konkrétnym zásahom. Tento prístup umožňuje rozlíšiť, či spotrebu spôsobuje technický stav stroja, nevhodný pohon, zlé rozmiestnenie pracoviska alebo nedostatočná koordinácia profesií. Opatrenie sa preto vyberá podľa príčiny, nie iba podľa celkovej spotreby paliva.

Riadiaci problém	Meranie	Zásah
Voľnobeh spaľovacieho motora	minúty voľnobehu a podiel z motohodín	automatické upozornenie, zmena pracovného cyklu alebo vypínanie
Nízke využitie stroja	produktívne hodiny verus dostupné hodiny	zdieľanie medzi pracoviskami, prenájom na kratšie obdobie alebo zmena kapacity
Nesprávny typ pohonu	spotreba a emisie na jednotku výkonu	elektrický alebo hybridný stroj, HVO, sieťové napájanie alebo BESS podľa podmienok
Opakovaná manipulácia	počet presunov a prejdená vzdialenosť	úprava dispozície skladu a miesta vykládky
Čakanie mechanizmu	čas bez produkcie podľa príčiny	oprava nadväznosti profesií a týždenného plánu

Denný riadiaci rytmus

Denný a týždenný rytmus zabezpečuje, že údaje sa používajú pri riadení a nezostávajú len v záverečnom reporte. Krátka kontrola na začiatku zmeny predchádza nepripravenosti, priebežný záznam zachytáva skutočný výkon a záverečné vyhodnotenie priraduje príčinu odchýlky. Týždenná porada potom schvaľuje opatrenia, ktoré sa premietnu do nasledujúceho plánu.

Čas	Úkon	Výstup
Začiatok zmeny 10 min	kontrola pripravenosti pracovísk, dodávok a mechanizmov	potvrdený denný plán
Priebežne	automatický alebo manuálny záznam dodávok, spotreby a prestojov	aktuálny stav A4 a A5
Koniec zmeny 15 min	porovnanie plánu so skutočnosťou a označenie príčin	zoznam odchýlok a vlastníkov
Týždenne 45 min	vyhodnotenie etáp, KPI, obmedzení a nasledujúceho plánu	schválené nápravné opatrenia

8 Riadenie materiálov z hľadiska cirkulárnej ekonomiky

Materiálový tok sa riadi od objednávky po zabudovanie alebo odovzdanie odpadu. Cieľom je znížiť nadobjednávanie, poškodenie, nevyužitie zostatky a prepravu odpadu. Evidencia sa vedie podľa objektu, etapy, materiálu a pôvodu.

Poradie opatrení rešpektuje hierarchiu nakladania s materiálmi. Najväčšiu hodnotu má predchádzanie odpadu, pretože eliminuje nákup, dopravu aj spracovanie nepotrebného materiálu. Recyklácia a skládkovanie nasledujú až vtedy, keď materiál nemožno znovu použiť alebo vrátiť dodávateľovi. Stípec s dôkazmi zabezpečuje, že deklarované opatrenie možno potvrdiť množstvom alebo dokladom.

Poradie	Opatrenie	Požadovaný dôkaz
1	Predísť vzniku odpadu presnejším výkazom výmer, koordináciou detailov a balením podľa potreby etapy	porovnanie objednaného a zabudovaného množstva
2	Opätovne použiť debnenie, ochranné prvky, dočasné komunikácie a vhodné zostatky	záznam opätovného použitia a umiestnenia
3	Dohodnúť spätný odber obalov, paliet a čistých odrezkov s dodávateľom	zmluvná podmienka a potvrdenie odberu
4	Triediť materiálové prúdy priamo na pracovisku	fotodokumentácia, označenie nádoby a vážny lístok
5	Recyklovať alebo zhodnotiť odpad u oprávneného partnera	doklad o množstve a spôsobe nakladania
6	Skládkovanie použiť až pre nevyužiteľný zvyšok	zdôvodnenie a evidencia odpadu

Prepojenie kvality a cirkularity

Kontrola materiálovej efektívnosti sa vykonáva spolu s kontrolou kvality. Chybná realizácia vytvára dodatočnú spotrebu materiálu, dopravu, odpad aj prestoje. Záznam vady preto obsahuje aj odhad množstva odstráneného materiálu, spôsob nakladania a príčinu opakovanej práce.

Praktické pravidlá obstarávania:

- pri ťažkých materiáloch porovnať varianty podľa ceny, technických parametrov, vzdialenosti a emisií dopravy
- vyžadovať údaje potrebné na výpočet A4 ešte pred podpisom objednávky
- zahrnúť do zmluvy povinnosť poskytovať dodacie a odpadové údaje v jednotnom formáte
- uprednostniť dodávky v množstve zodpovedajúcom krátkodobému plánu, ak tým nevznikne viac čiastočne vyťažených jázd
- posudzovať prefabrikáciu podľa celého účinku na materiál, dopravu, čas, žeriov a odpad

9 Roly a zodpovednosti

Environmentálne údaje nesmú zostať iba úlohou špecialistu udržateľnosti. Vznikajú pri rozhodnutiach nákupu, logistiky, výroby a riadenia staveniska. Každý údaj má preto jedného vlastníka a jeden schvaľovací bod. Rozdelenie rolí ukazuje, že dekarbonizácia nie je izolovanou úlohou jedného špecialistu. Investor nastavuje požiadavky, projektový manažér vyvažuje čas, náklady a uhlík, stavbyvedúci riadi realizáciu a prevádzkové údaje vznikajú u logistiky, mechanizácie a subdodávateľov. Manažér udržateľnosti zabezpečuje metodiku a kontrolu, ale nenahrádza vlastníkov prvotných záznamov.

Rola	Hlavná zodpovednosť v koncepte	Kľúčový výstup
Investor	schvaľuje hranice, ciele a rozhodovacie pravidlá	zadanie a schválenie G0 a G7
Projektový manažér	integruje čas, náklady, riziká a uhlík	rozhodnutia o odchýlkach a zdrojoch
Stavbyvedúci	riadi pripravenosť a realizáciu etáp	denný plán a uzatvorenie etapy
BIM manažér	udržiava identifikátory, množstvá, model a dátové väzby	koordinovaný model a dátový export
Manažér udržateľnosti	spravuje metodiku, emisné faktory a overenie bilancie	výpočet a report A4 a A5
Nákup	porovnáva dodávateľské alternatívy vrátane A4	objednávky s dátovými požiadavkami
Logistický koordinátor	riadi časové okná, bránu, trasy a tkm	skutočný záznam každej dodávky
Majster a subdodávateľ	vykazuje výkon, spotrebu, prestoje a odpad	denný záznam etapy
Manažér kvality a BOZP	overuje, že nízkoemisné opatrenia neznižujú kvalitu ani bezpečnosť	kontrolný protokol a súhlas s uzatvorením

Zásada vlastníctva dát

Vlastník procesu je zároveň vlastníkom prvotného údajov. Logistika zodpovedá za tkm a časy vozidiel, správca mechanizácie za palivá a motohodiny, energetik alebo stavbyvedúci za staveniskovú energiu a odpadový hospodár za množstvá a doklady. Manažér udržateľnosti údaje metodicky kontroluje, ale nenahrádza ich zber.

10 Ukazovatele výkonnosti a cieľové hodnoty

Ukazovatele sú rozdelené na výsledkové a procesné. Výsledkové ukazujú celkový dopad. Procesné ukazujú príčinu a umožňujú zasiahnuť počas výstavby. Hodnoty nižšie sú odporúčané pilotné ciele. Projekt ich má potvrdiť po vytvorení vlastnej základne a posúdení technických podmienok. Súbor KPI kombinuje výsledkové ukazovatele emisií s procesnými ukazovateľmi, ktoré vysvetľujú ich vývoj. Napríklad celkové A4 možno znížiť zlepšením vyťaženia vozidiel a skrátením čakania; A5 možno ovplyvniť obmedzením voľnobehu a spotreby zariadenia staveniska. Uvedené cieľové hodnoty sú pilotné. Pred plným nasadením sa majú potvrdiť voči reálnej základni projektu a technickým možnostiam dodávateľov.

Ukazovateľ	Jednotka	Frekvencia	Odporúčaný pilotný cieľ
Emisie A4	kg CO ₂ eq. a kg CO ₂ eq. na m ²	mesačne a po etape	zníženie najmenej o 15 % oproti schválenej základni
Emisie A5	kg CO ₂ eq. a kg CO ₂ eq. na m ²	mesačne a po etape	zníženie najmenej o 20 % oproti schválenej základni
Emisie dopravy na tonu	kg CO ₂ eq. na tonu materiálu	mesačne	klesajúci trend podľa skupiny materiálu
Vyťaženosť vozidiel	skutočné zaťaženie k nosnosti	týždenne	najmenej 80 % pri plánovateľných dodávkach
Čakanie vozidiel	minúty na dodávku	denne	medián najviac 20 minút
Voľnobeh mechanizmov	percento motohodín	denne a týždenne	najviac 10 %
Energia zariadenia staveniska	kWh na m ² a kWh na deň	týždenne	odchýlka najviac 10 % od plánu
Materiálová strata	percento objednaného množstva	po materiálovej skupine	cieľ podľa materiálu a pod 3 % pri štandardných položkách
Zhodnotenie odpadu	percento hmotnosti mimo skládky	mesačne	najmenej 90 % pri odpadoch vhodných na zhodnotenie
Úplnosť dát	percento povinných záznamov	týždenne	najmenej 95 %
Plnenie týždenného plánu	splnené záväzky k plánovaným	týždenne	najmenej 80 %

Výpočet emisií

$$\text{CO}_2\text{eq.} = \text{množstvo aktivity} \times \text{emisný faktor}$$

Výsledok sa uchováva spolu s jednotkou, zdrojovým dokladom, verzou emisného faktora, technologickou etapou a dátumom overenia. Zmena faktora nesmie spätne prepísať už schválenú bilanciu bez evidovanej revízie.

11 Aplikácia konceptu

Prípadová štúdia poskytuje vhodnú základňu pre pilotné overenie. Nasledujúce zásahy smerujú na dominantné zdroje identifikované v podklade. Nejde o nový výpočet úspory, ale o návrh rozhodnutí, ktoré sa majú v ďalšom projekte zmerať. Aplikácia na typ stavby Tramín smeruje opatrenia na zdroje, ktoré podklad identifikoval ako najvýznamnejšie. Doprava sa overuje cez skutočné tkm a počet jazd, mechanizácia cez palivá, motohodiny a voľnobeh a zariadenie staveniska cez denné profily elektriny. Tabuľka zámerne neuvádza garantovanú úsporu. Účinok sa má preukázať meraním počas pilotu a porovnaním so schválenou základňou.

Oblasť	Východisko	Pilotný zásah	Spôsob overenia
Doprava materiálov	A4 tvorí 152 407,39 kg CO ₂ eq.	porovnanie dodávateľov podľa tkm, konsolidácia a digitálne časové okná	skutočné tkm, vyťaženosť a počet jazd
Zemné práce a základy	vysoké nasadenie ťažkej mechanizácie a odvoz zeminy	bilancia zemín, trasy bez opakovanej manipulácie a telematika strojov	litre, motohodiny, voľnobeh, tony odvezenej zeminy
Hrubá stavba	betonáž, žeriav, výťahy a materiálová logistika	taktovanie dodávok, koordinácia čerpadla a žeriava, sieťové napájanie	čakanie vozidiel, kWh a výkon za pracovný cyklus
Zariadenie staveniska	37 149,16 kWh elektriny v podklade	podružné meranie, časové režimy, LED a riadenie vykurovania	denné profily kWh a špičkový príkon
Dokončovacie práce	nižšia energetická náročnosť, veľa materiálových tokov	balíky podľa zón, presné množstvá a spätný odber zvyškov	objednané verzus zabudované množstvo a odpad
Odovzdanie	metodika sa vyhodnocuje po výstavbe	uzatvárať údaje po etapách a vytvoriť digitálny balík A4 a A5	úplnosť dát, počet nevysvetlených odchýlok

Odporúčaný rozsah pilotu

- jeden stavebný objekt a tri emisne významné technologické etapy
- päť najťažších materiálových skupín podľa prepravenej hmotnosti
- všetky dieselové mechanizmy s pravidelným nasadením
- hlavný elektromer a podružné meranie zariadenia staveniska, žeriava a nabíjania
- úplný tok najmenej troch materiálových alebo odpadových skupín

12 Implementačný plán

Implementácia je rozdelená tak, aby sa proces najprv overil v malom rozsahu. Prvých 30 dní slúži na dohodu hraníc a údajov, ďalších 30 dní na technické nastavenie a tretí mesiac na riadenú pilotnú prevádzku. Rozšírenie má nasledovať až po uzatvorení aspoň jednej etapy a overení, že údaje sú úplné, použiteľné pri rozhodovaní a primerané administratívnej záťaži.

Obdobie	Fáza	Hlavné kroky	Výstup
0 až 30 dní	Príprava	určiť sponzora, tím, hranice A4 a A5, dátový slovník, základňu, pilotné KPI a vybrané etapy	schválený pilotný plán
31 až 60 dní	Nastavenie	prípraviť formuláre a integrácie, označenie objektov a strojov, časové okná, merače a školenie	funkčný zber údajov a test výpočtu
61 až 90 dní	Pilotná prevádzka	riadiť denné a týždenné cykly, sledovať odchýlky a overiť dôkazy	prvý uzavretý cyklus etapy
4 až 6 mesiacov	Rozšírenie	zahrnúť ďalšie etapy, dodávateľov, odpadové toky a automatizovať reporting	projektový dashboard A4 a A5
Po dokončení projektu	Štandardizácia	vyhodnotiť základňu, aktualizovať cieľové hodnoty a preniesť poučenia do šablón ďalších projektov	podnikový štandard procesu

Minimálny technologický balík

- spoločné dátové prostredie s riadením verzií a prístupov
- BIM model s identifikátormi stavebných objektov a technologických etáp
- 4D harmonogram a týždenný plán záväzkov
- rezervačný kalendár dodávok a evidencia vstupnej brány
- mobilný denný výkaz mechanizmov, spotreby a odpadu
- podružné meranie elektriny a export nameraných hodnôt
- výpočtová tabuľka alebo databáza s uzamknutými emisnými faktormi a revíziami
- dashboard s limitmi a určeným vlastníkom reakcie

Podmienky úspechu

- zmluvná povinnosť dodávateľov poskytovať údaje v požadovanom rozsahu
- jednoduchý zber priamo na mieste vzniku údajov
- vedenie stavby používa rovnaké ukazovatele pri týždennom riadení
- kvalita dát sa kontroluje pred uzatvorením etapy
- pilot sa hodnotí podľa merateľnej zmeny a použiteľnosti procesu, nie podľa počtu nasadených aplikácií

13 Riziká zavedenia a opatrenia

Najväčšie riziká nesúvisia iba s technológiou, ale najmä s kvalitou údajov, duplicitným vykazovaním a zapojením dodávateľov. Preventívne opatrenia preto kladú dôraz na jednoduchý dátový rozsah, jeden primárny zdroj, zmluvné povinnosti a postupné rozširovanie. Osobitnú kontrolu vyžaduje situácia, keď nízkoemisné opatrenie zhorší bezpečnosť, kvalitu alebo kritickú cestu; vtedy sa musí posúdiť spoločný účinok a nie iba uhlíková hodnota.

Riziko	Včasný signál	Preventívne opatrenie
Neúplné alebo oneskorené údaje	viac než 5 % chýbajúcich povinných polí	znížiť počet polí, automatizovať zdroj a určiť zástupcu vlastníka
Dvojité evidovanie	rozdielne hodnoty v denníku a reporte	určiť jeden primárny zdroj a zakázať ručné prepisovanie medzi systémami
Nízka účasť subdodávateľov	opakované chýbajúce doklady alebo výkazy	dátové požiadavky v zmluve, úvodné školenie a kontrola pri fakturácii
Optimalizácia uhlíka zhorší čas alebo kvalitu	rast prestojov, reklamácií alebo kritickej cesty	spoločná brána času, nákladov, kvality, bezpečnosti a uhlíka
Neaktuálne emisné faktory	neznáma verzia alebo zdroj faktora	centrálny register faktorov, dátum platnosti a riadenie revízií
Príliš zložitý pilot	tím obchádza nástroje a vedie paralelnú evidenciu	začať tromi etapami a dominantnými zdrojmi, potom rozširovať

14 Odporúčanie a záver

Ako praktické dekarbonizačné odporúčanie sa navrhuje postupné zavedenie systému riadenia emisií, začínajúce 90-dňovým pilotným overením na emisne významných etapách výstavby. Prvým výsledkom nemá byť rozsiahly informačný systém, ale spoľahlivý týždenný riadiaci cyklus s preukázateľnými údajmi o doprave, palivách, energii, odpade a výkone. Po overení sa rovnaká dátová štruktúra a rozhodovacie brány prenesú do obstarávania a riadenia ďalších stavieb.

Výsledky riešenia projektu v PB 2 poskytujú odborný rámec na výpočet emisií A4 a A5 a identifikujú kritické zdroje výstavby. Navrhnutý koncept tento rámec rozširuje o riadiacu vrstvu. Spája technologické etapy, logistiku, mechanizáciu, energiu, materiálové toky a kontrolu kvality do jedného opakovateľného procesu. Uhlíková stopa sa tak nestáva iba výsledkom na konci projektu, ale veličinou, podľa ktorej sa rozhoduje počas prípravy a každý týždeň realizácie.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



MINISTERSTVO
ŠKOLSTVA, VEDY,
VÝSKUMU A ŠPORTU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY