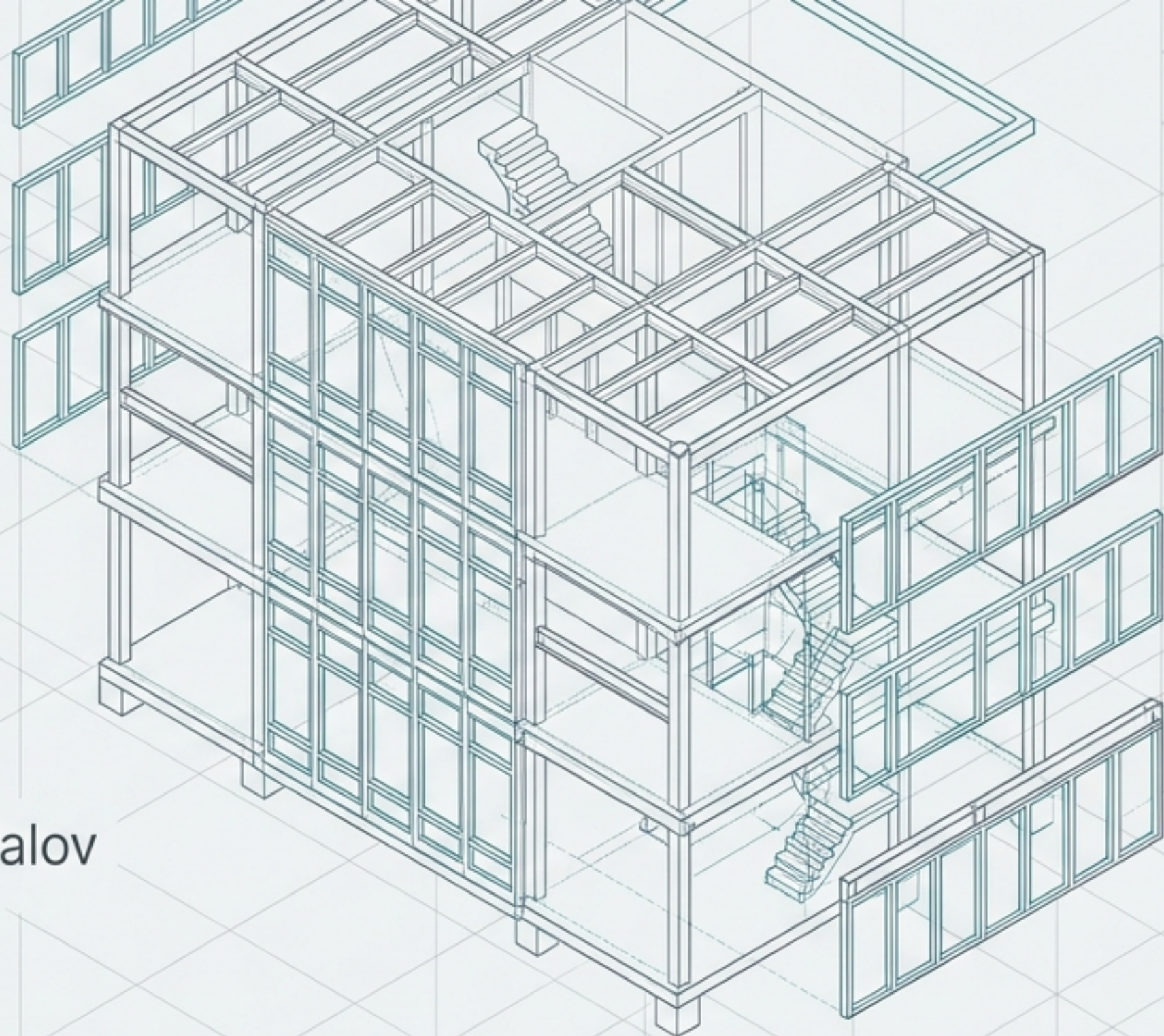


Dekonstrukcija trajnostnega mita v gradbeništvu

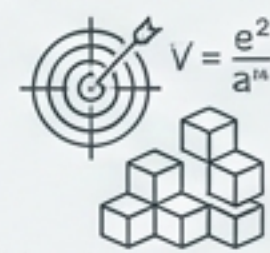
Sistemska inženirska analiza globalnih materialov za stanovanjsko gradnjo do leta 2050.



Fokus: Globalna stanovanjska preskrba 2025–2050

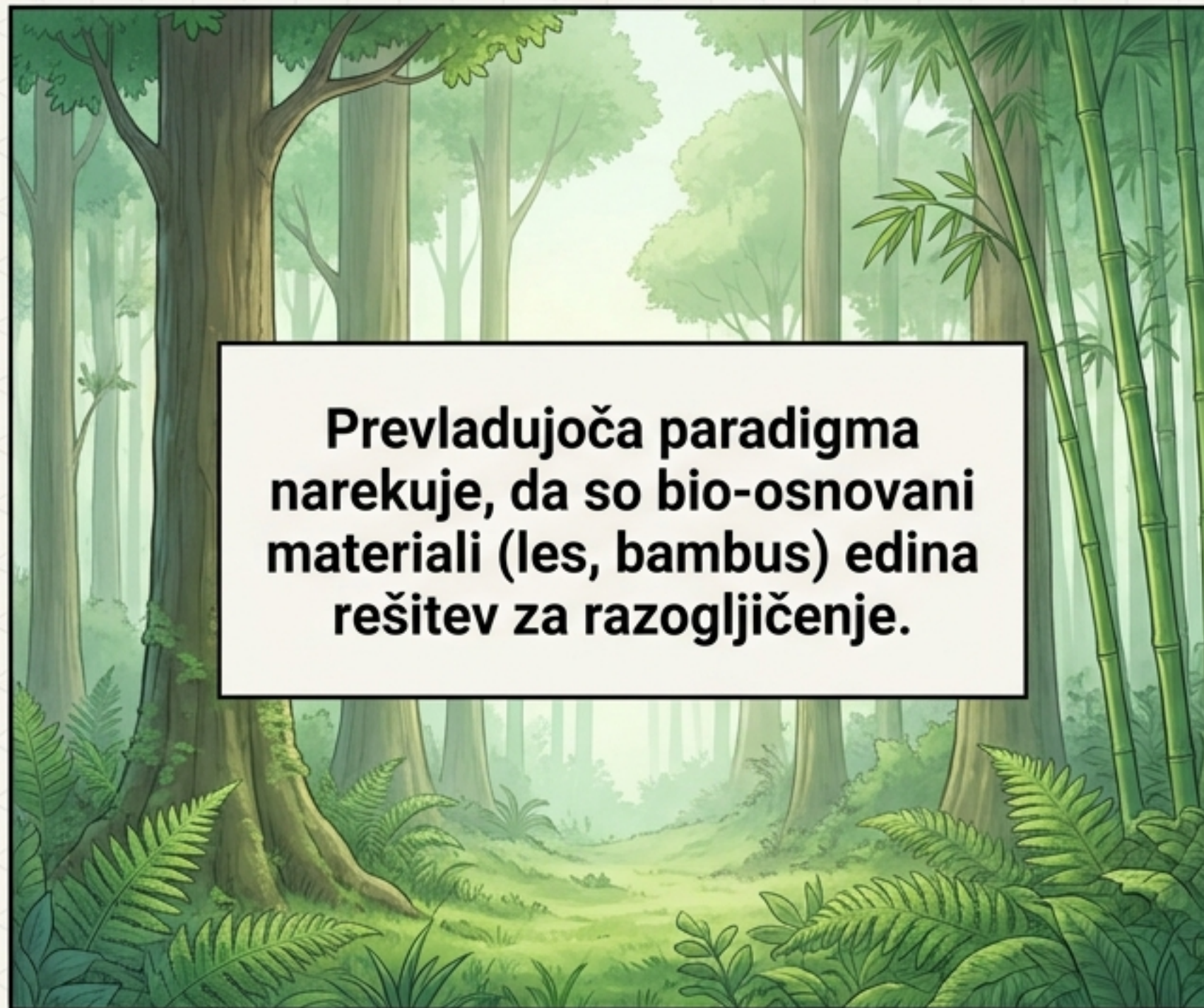


Metodologija: Razširjena LCA analiza (vključno s CHARM modeliranjem gozdov)



Cilj: Identifikacija matematično vzdržnih in industrijsko razširljivih rešitev

Inženirska realnost nasproti priljubljenemu mitu



Ali lahko bio-osnovani materiali dejansko zadostijo globalnemu povpraševanju, ne da bi presegli nosilne zmogljivosti planeta?

Tri dimenzije sistemske ocene materialov



Resnični vgrajeni ogljik (Accounting)

Preseganje faz A1-A3. Zahteva vključitev izgub biogenega ogljika pri sečnji (CHARM model).



Gozdnogospodarske omejitve (Resource Constraints)

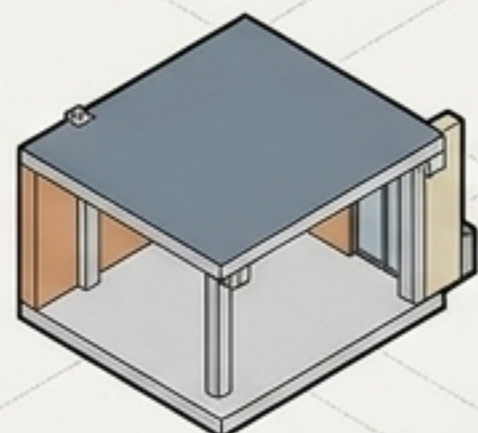
Matematična meja trajnostnega pridelka (Yield) glede na razpoložljive globalne površine.



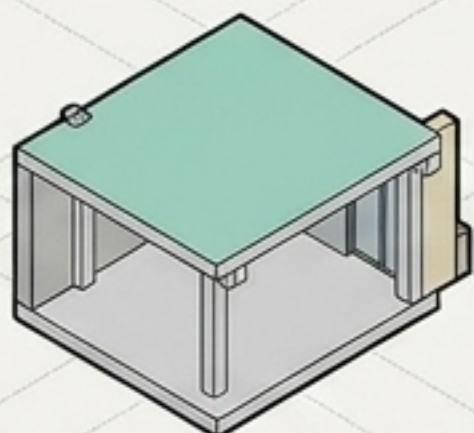
Industrijska razširljivost (Production Scalability)

Logistična zmogljivost in obstoječa infrastruktura za eksponentno povečanje proizvodnje do leta 2050.

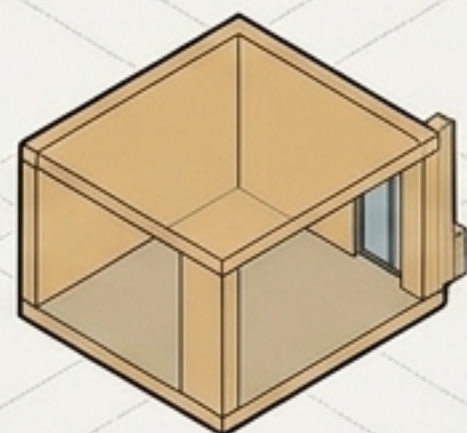
Definicija tipologij in strukturni arhetip



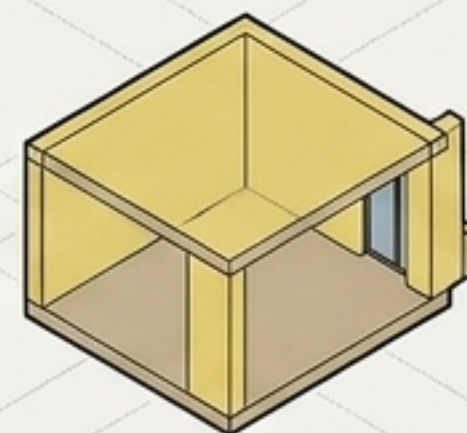
Concrete-BAU
(1093 kg/m²)



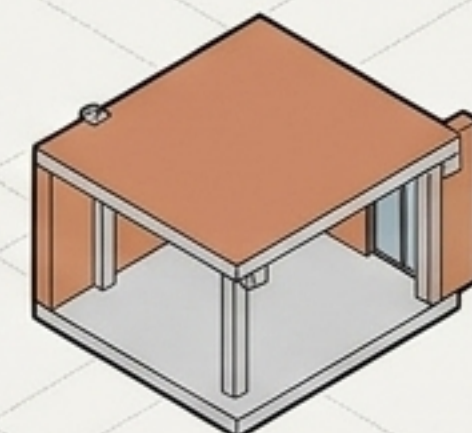
Concrete-ECO
(1030 kg/m²)



Timber-CLT
(428 kg/m²)



Bamboo-LVB
(519 kg/m²)



Earth-SEB
(1805 kg/m²)

	Concrete-BAU (1093 kg/m ²)	Concrete-ECO (1030 kg/m ²)	Timber-CLT (428 kg/m ²)	Bamboo-LVB (519 kg/m ²)	Earth-SEB (1805 kg/m ²)
Plošče	Reinforced PC concrete	Reinforced eco-concrete	CLT	LVB	Reinforced eco-concrete
Stebri/Nosilne stene	Reinforced PC concrete	Reinforced eco-concrete	CLT	LVB	Stabilized earth blocks Eco-mortar
Nenosilne stene	Fired clay bricks PC mortar	Eco-concrete blocks Eco-mortar	CLT	LVB	Fired clay bricks Eco-mortar
Temelji	Reinforced PC concrete	Reinforced eco-concrete	Reinforced eco-concrete	Reinforced eco-concrete	Reinforced eco-concrete

Opomba: Vsi arhetipi so statično izračunani po standardih Evrokod (EN 1992-1-2) in optimizirani za 4-nadstropno urbano gradnjo. Temelji so v vseh primerih betonski.

Iluzija ogljične nevtralnosti: Problem računovodstva

Metoda 1:
Izključujoče računovodstvo
(Semi-static GWPbio)



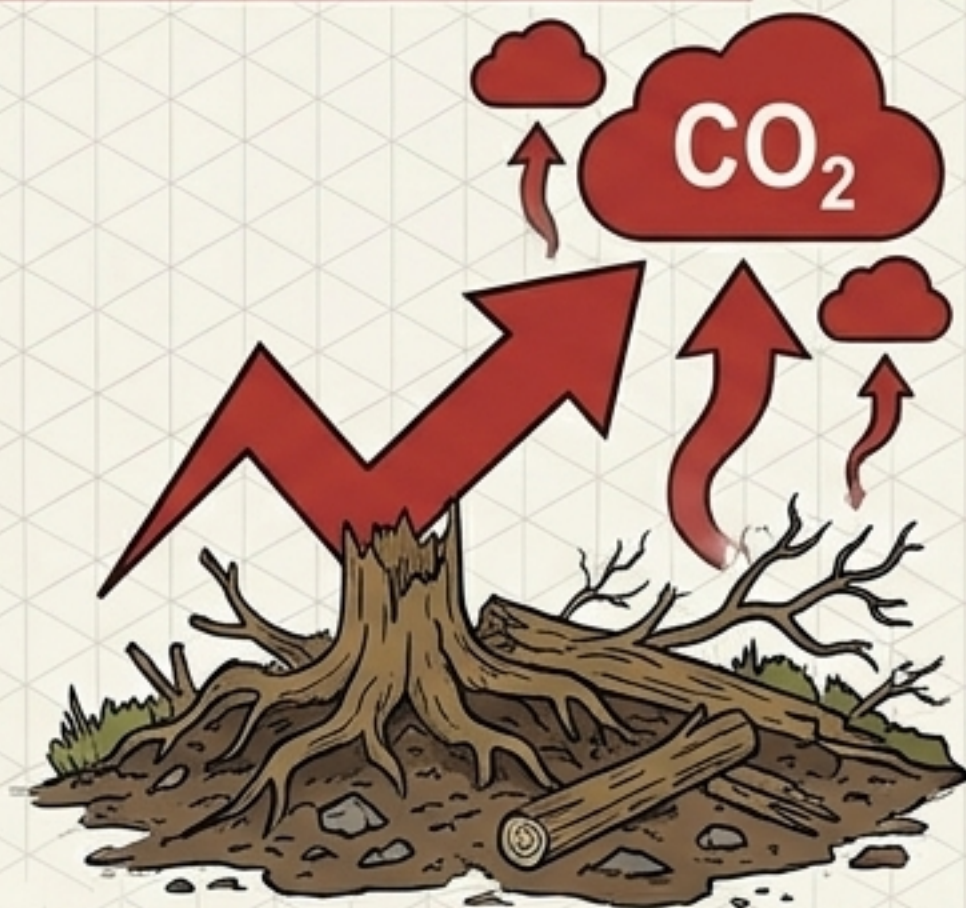
A1-A3



Metoda 2:
Vključujoče računovodstvo
(CHARM Model)



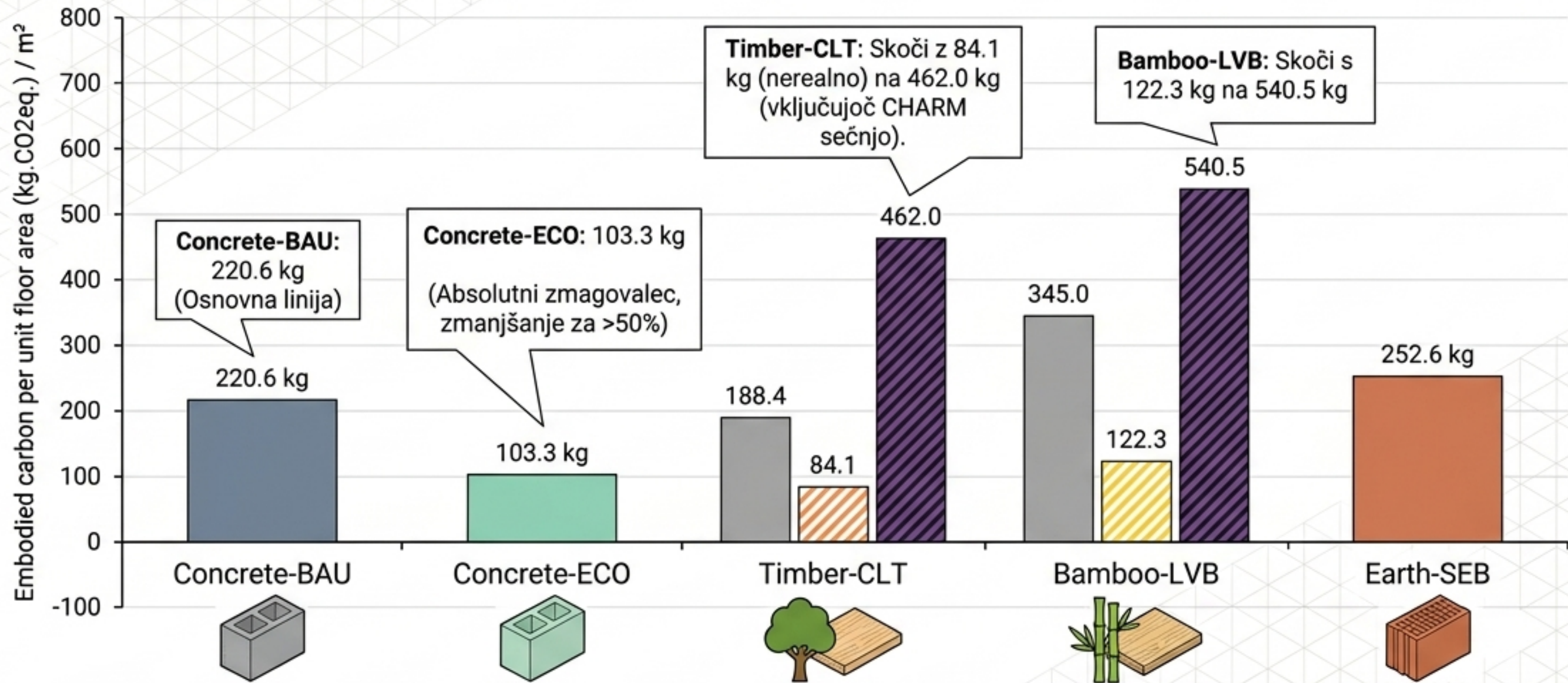
A1-A3



Zajema proizvodnjo (A1-A3) in predpostavlja popolno obnovo ogljika preko rasti novega gozda. Ignorira degradacijo tal. (Pogosto vodi do napačne ocene "ogljikovo negativno").

Sistemska realnost: Za 1 tono vgrajenega ogljika v stavbi se v ozračje sprosti bistveno večja količina iz razpadajočih korenin, vej in izgube gozdnih tal pri sečnji.

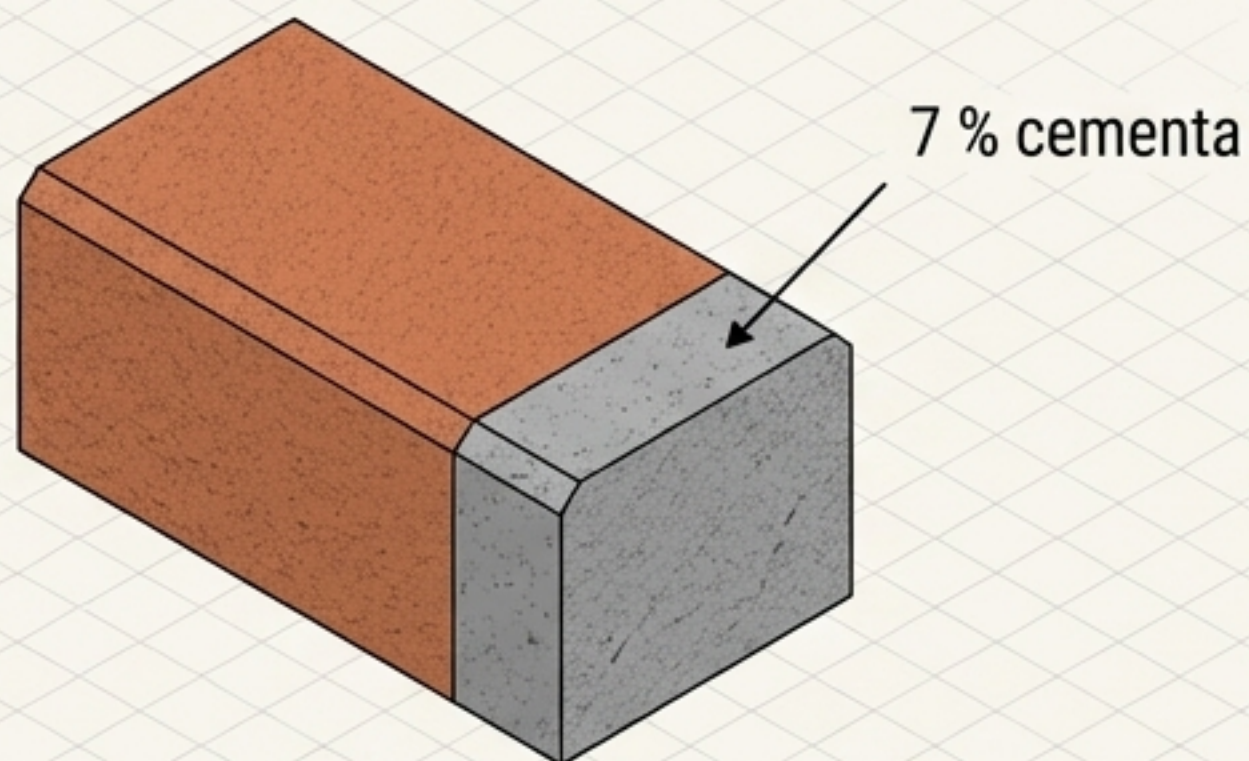
Resnični vgrajeni ogljik na kvadratni meter (kg CO₂eq / m²)



Pri uporabi rigoroznega, vključujočega LCA računovodstva imata industrijski les in bambus več kot 4-krat večji ogljični odtis od nizkoogljirnega betona

Paradoks zemeljskih blokov in faktorji zamenjave

Paradoks Earth-SEB



Stabilizirani zemeljski bloki (SEB) zahtevajo minimalno 7 % cementa za doseganje nosilnosti. Zaradi visoke mase materiala (1805 kg/m^2) in neoptimizirane uporabe cementa je končni odtis (252.6 kg CO_2) višji od standardnega betona (220.6 kg CO_2).

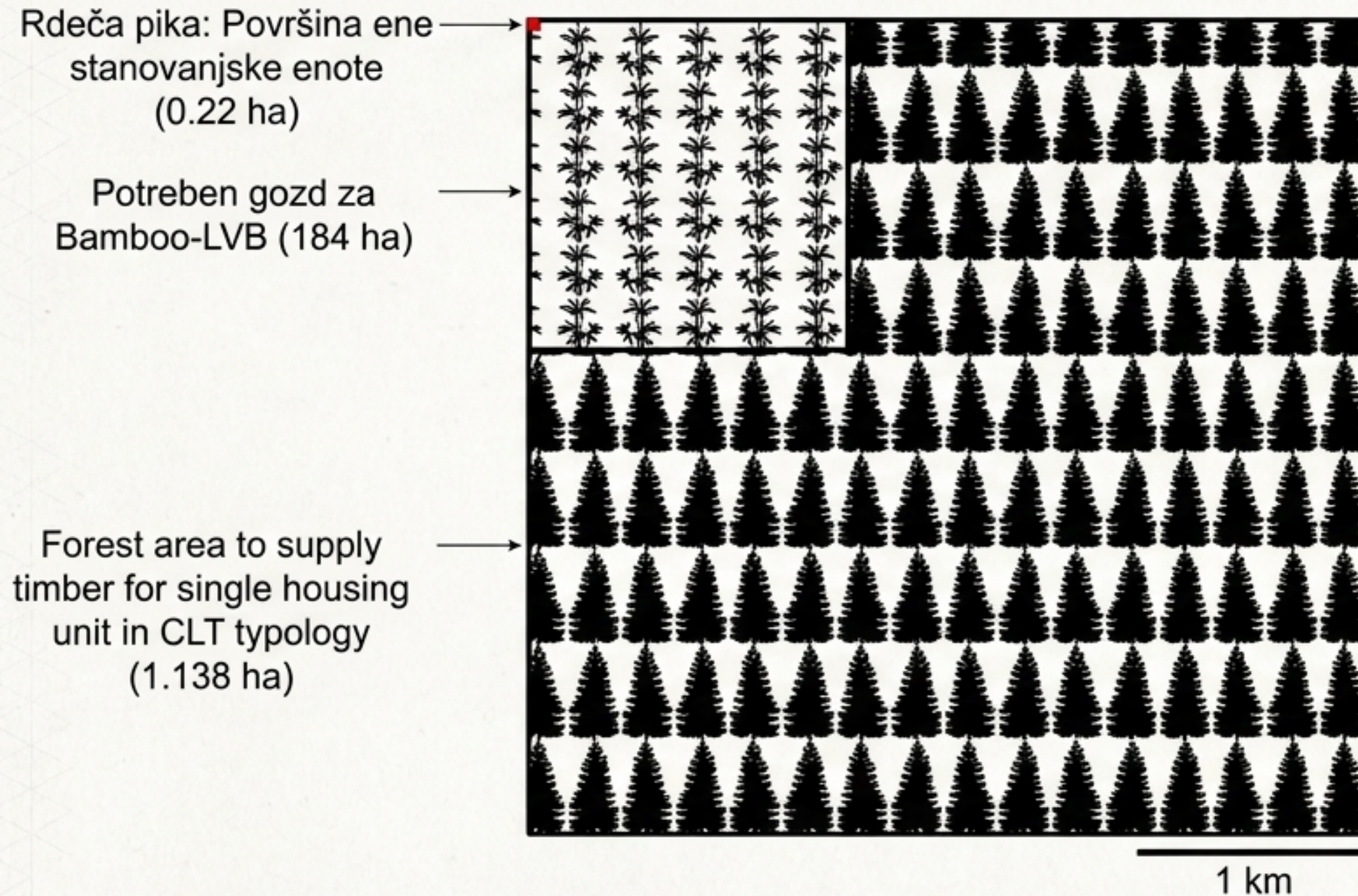
Zamenitveni faktorji (Displacement Factors)

Kontekst: Prikazuje vpliv zamenjave betona z lesom na skupni ogljik.

Materialna Zamenjava	Vrednost
Zamenjava Concrete-ECO s Timber-CLT	-0.73
Zamenjava Concrete-ECO z Bamboo-LVB	-0.64

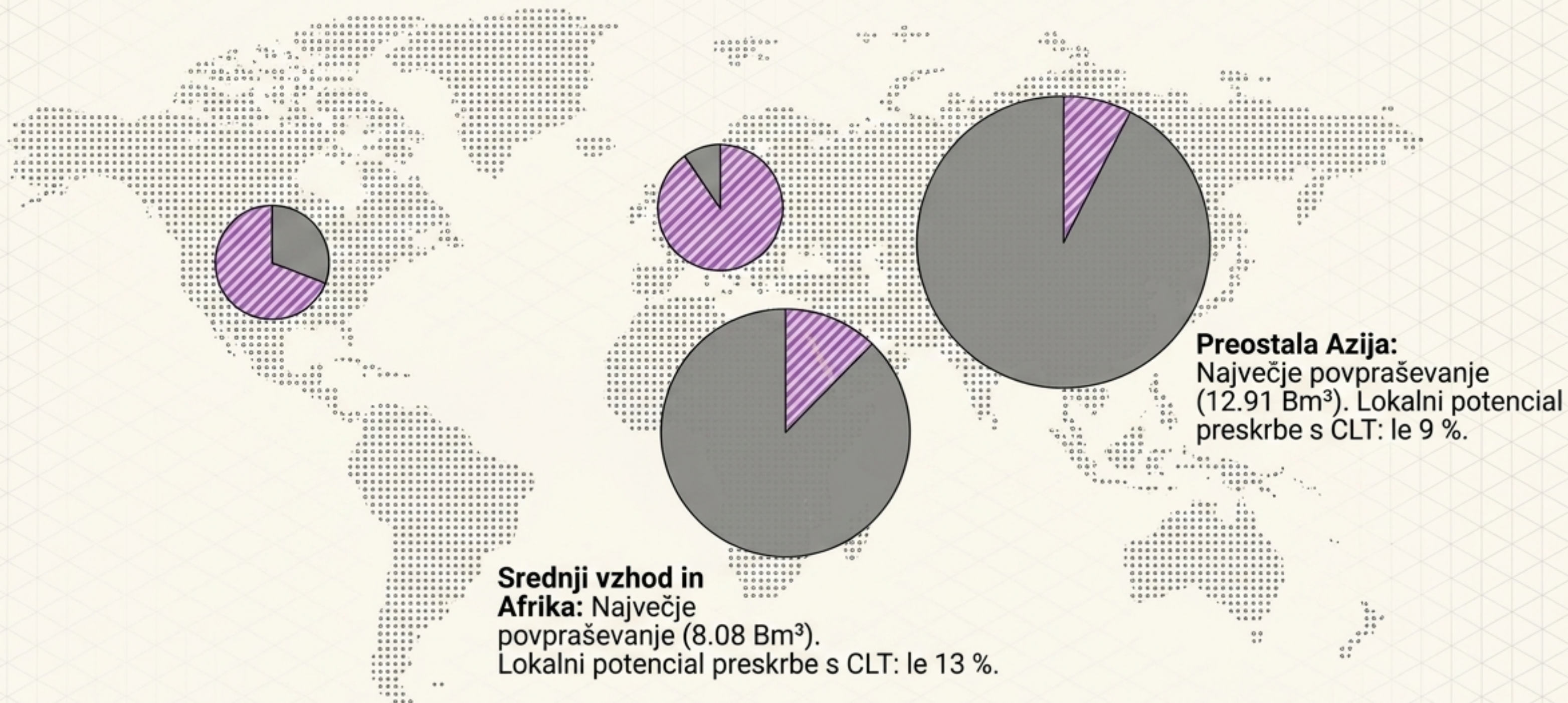
Podatek: Negativni faktorji (-0.73 za CLT v primerjavi s Concrete-ECO) dokazujejo, da zamenjava betona z lesom dejansko poveča skupne emisije.

Dimenzija 2: Neskončen gozd ne obstaja



Analitični vpogled: Ob predpostavki trajnostnega gospodarjenja (brez krčenja primarnih gozdov in s 30-letnim rotacijskim ciklom) je prostorska neučinkovitost bio-materialov za masovno urbano gradnjo inženirsko nevzdržna.

Geografsko neravnovesje ponudbe in povpraševanja

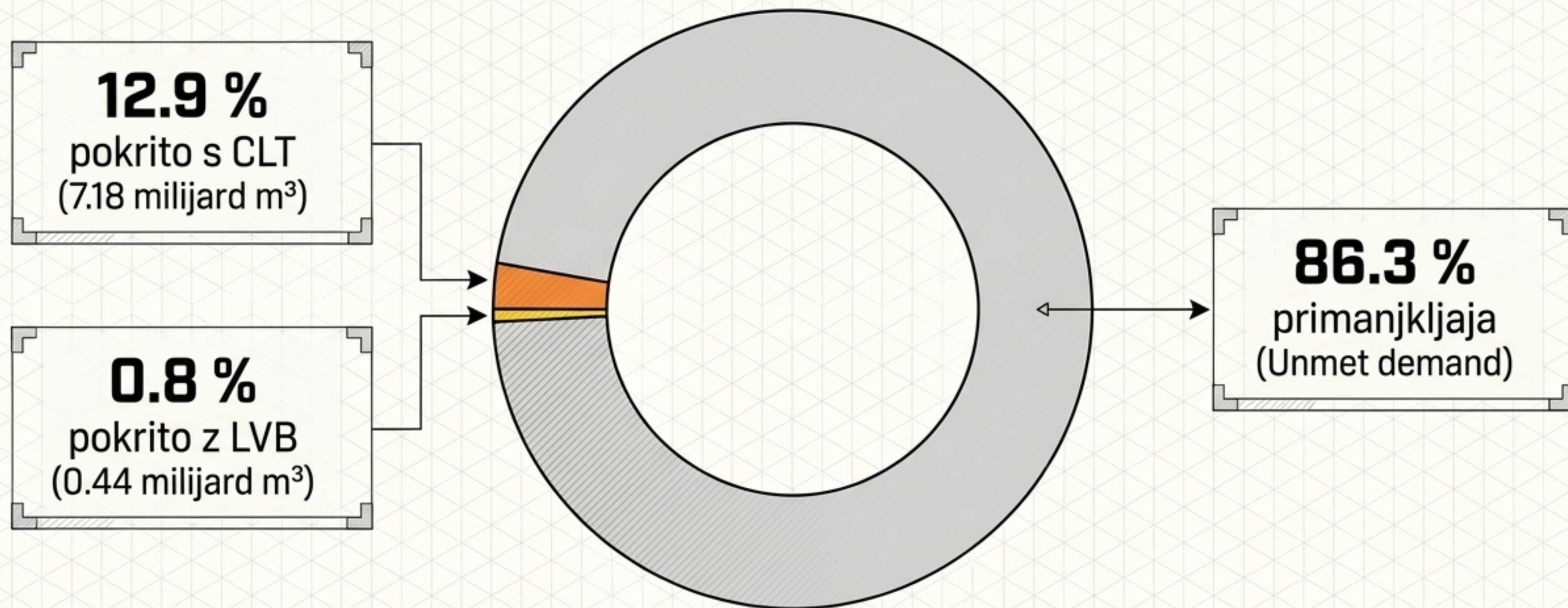


Preostala Azija:
Največje povpraševanje
(12.91 Bm³). Lokalni potencial
preskrbe s CLT: le 9 %.

**Srednji vzhod in
Afrika:** Največje
povpraševanje (8.08 Bm³).
Lokalni potencial preskrbe s CLT: le 13 %.

Logistična omejitev: Masovni medcelinski transport težkega industrijskega lesa iz Evrope v Afriko bi ustvaril astronomske transportne emisije (ki lahko celo presežejo emisije faze A1-A3), s čimer rešitev izgubi vsak smisel.

Maksimalna globalna zmogljivost: <14 %



Inženirska sinteza: Tudi če bi globalno gozdarstvo doseglo absolutni maksimum trajnostne sečnje (brez masovnega pogoždovanja, ki ogroža pridelavo hrane), bio-materiali preprosto ne morejo rešiti globalne stanovanjske krize. Potrebujemo material brez omejitev virov.

Dimenzija 3: Industrijska infrastruktura in razširljivost

Bio-materials (The Factory Illusion)



Zahtevan obseg: Povečanje proizvodnje CLT za 100-krat (iz 3.5 milijona m³).

Infrastruktura: Decentralizirana, majhne tovarne (10–50 kt/leto). Geografsko omejeno na globalni sever (Evropa, Severna Amerika).

Concrete-ECO (The Pragmatic Scale)



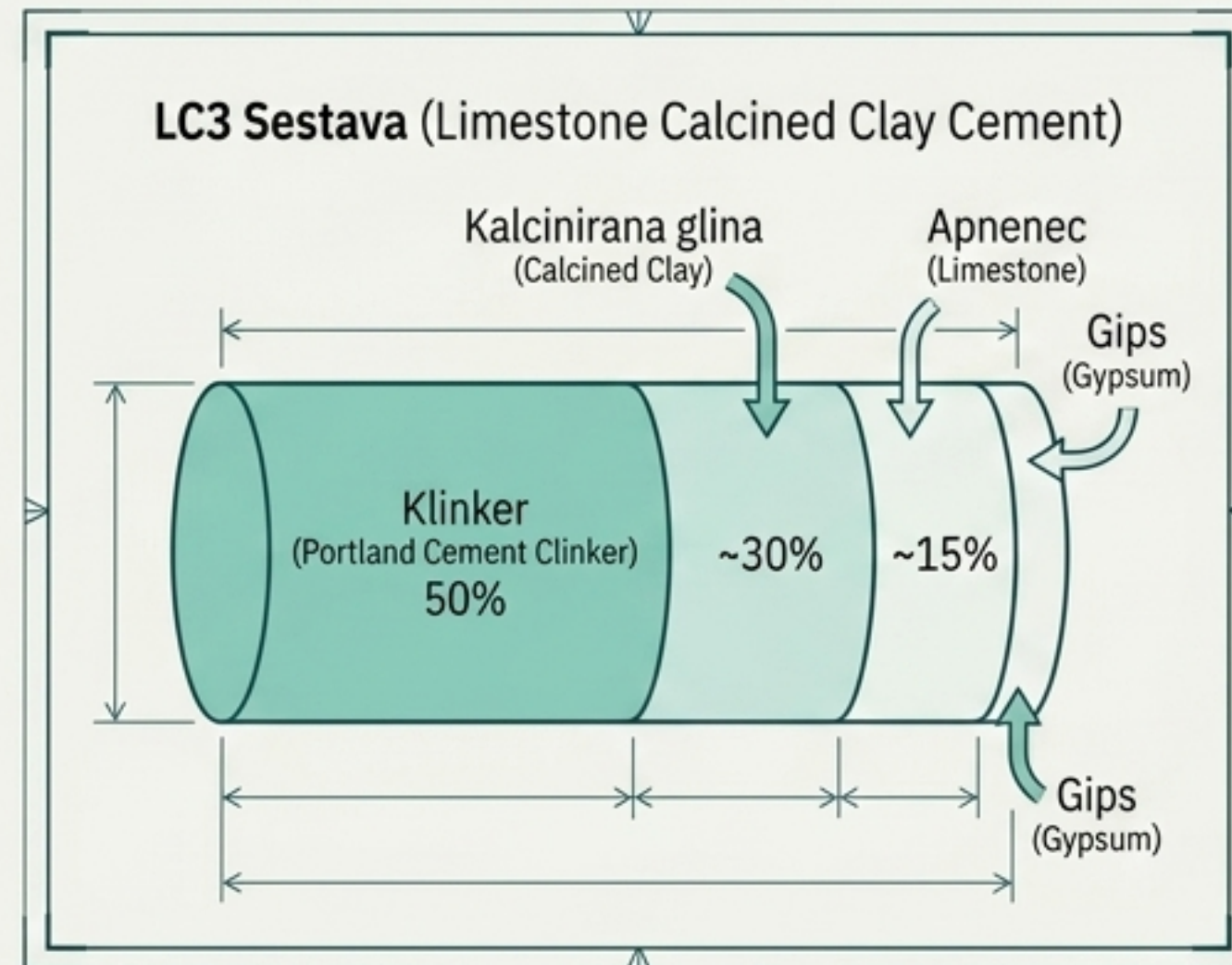
Zahtevan obseg: Povečanje proizvodnje za 50-krat, vendar znotraj obstoječega logističnega omrežja.

Infrastruktura: Centralizirane mega-tovarne (~1000 kt/leto). Geološki viri (glina, apnenec) so obilni točno tam, kjer je rast prebivalstva največja.

Inženiring nizkoogljičnega betona (Concrete-ECO)

Optimizacija veziva (LC3)

- Zamenjava klinkerja (znižanje s 75 % na 50 %) s kalcinirano glino in apnencem.
- CAPEX za prenovo obstoječih rotacijskih peči je zgolj 6–12 milijonov €, kar omogoča izjemno hitro globalno prilagoditev.



Optimizacija mešanice

- Zmanjšanje povprečne globalne vsebnosti veziva (s 351 kg/m³ na 304 kg/m³).

To ni futuristična tehnologija. LC3 ima že danes proizvodno zmogljivost 25 milijonov m³/leto in se lahko takoj implementira v obstoječe betonarne širom Afrike in Azije.

Globalni vpliv na emisije do leta 2050

Concrete-ECO

Popolna adopcija
prinese prihranek
14.3 Gt CO₂eq
v primerjavi s
statusom quo
(Concrete-BAU).



Concrete-ECO

Timber-CLT (Vključujoče računovodstvo)

Če maksimiziramo uporabo
lesa (12.9 % trga), se
zaradi izgube gozdnega
ogljika globalne emisije
dejansko povečajo za
3.80 Gt CO₂eq.



Timber-CLT

Edina matematično dokazljiva pot do znižanja globalnih emisij v gradbeništvu je dekarbonizacija betona, ne pa beg k alternativnim materialom.

Matrika sistemske vzdržnosti do 2050

Tipologija	1. Ogljični odtis (CHARM)	2. Globalna preskrba	3. Industrijska razširljivost
Concrete-BAU	220 kg (Srednje)	Neomejeno (Odlično)	Visoka (Odlično)
Timber-CLT	462 kg (Slabo) ❌	<13 % trga (Kritično) ❌	Zahteva 100x rast (Slabo) ❌
Bamboo-LVB	540 kg (Slabo) ❌	<1 % trga (Kritično) ❌	Eksperimentalno (Slabo) ❌
Earth-SEB	252 kg (Slabo) ❌	Lokalno omejeno (Srednje)	Decentralizirano (Slabo) ❌
Concrete-ECO	103 kg (Odlično) ✅	Neomejeno (Odlično) ✅	Obstoječa logistika (Odlično) ✅

Inženirski konsenz za prihodnost gradbeništva



1. **Prekinite enačenje bio-materialov z avtomatično 'zelenimi' rešitvami.** Vključujoča analiza življenjskega cikla in gozdnih tal strogo izpodbija ta mit.

2. **Prepoznajte geografske in logistične omejitve.** Les ne more zgraditi milijarde stanovanj v ekvatorialni Afriki in Aziji.

3. **Osredotočite se na optimizacijo betona.** Nizkoogljični beton (LC3, optimizirane mešanice) ni zgolj 'manjše zlo', temveč je edina pragmatična, **industrijsko razširljiva** in **matematično dokazana rešitev** za razogljčenje do leta 2050.

Vir: Low-carbon concrete has the potential to meet global urban housing needs by 2050 (Nature Portfolio).