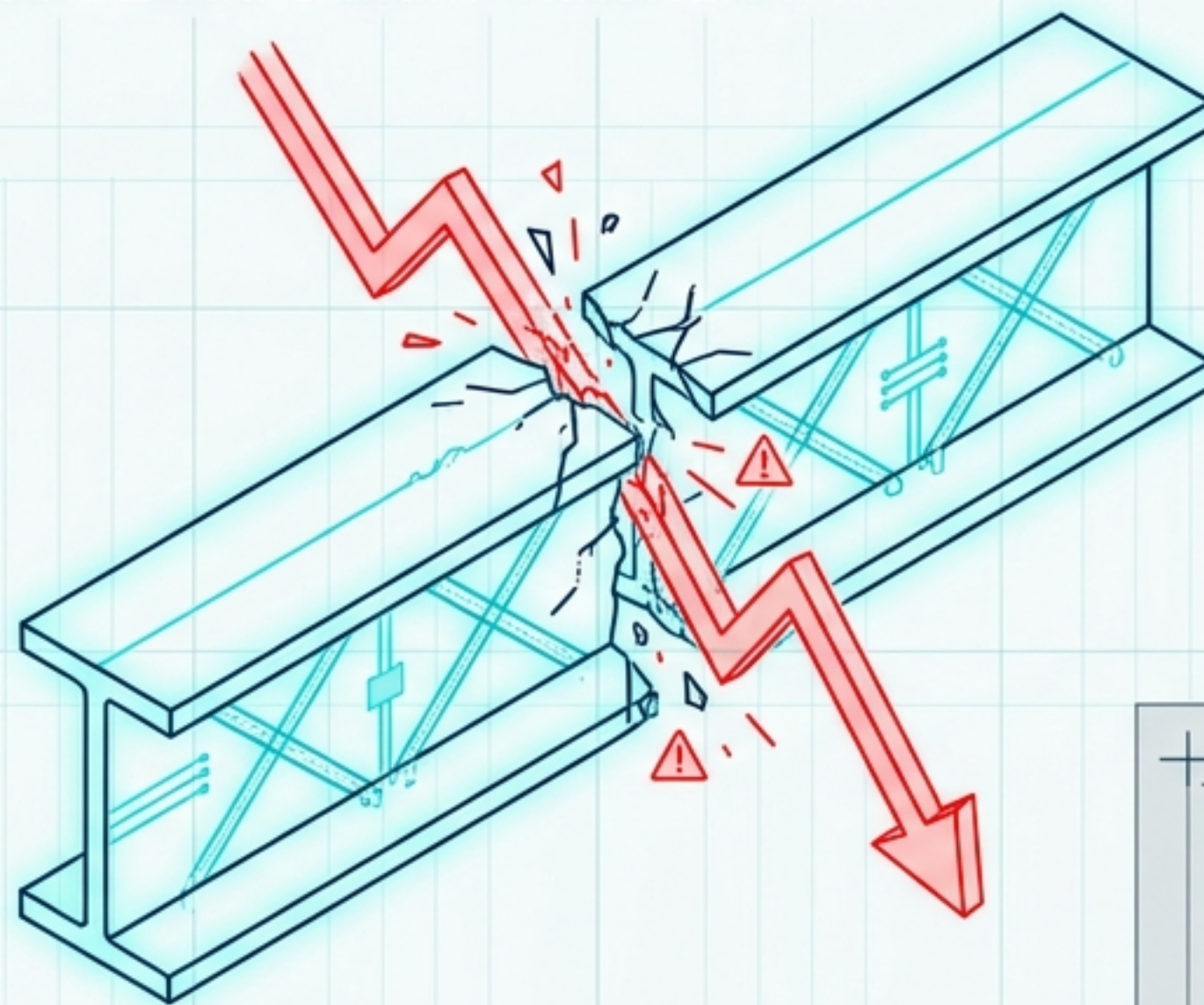


Sistemska meja: Matematična neizbežnost in prihodnost gradbeništva

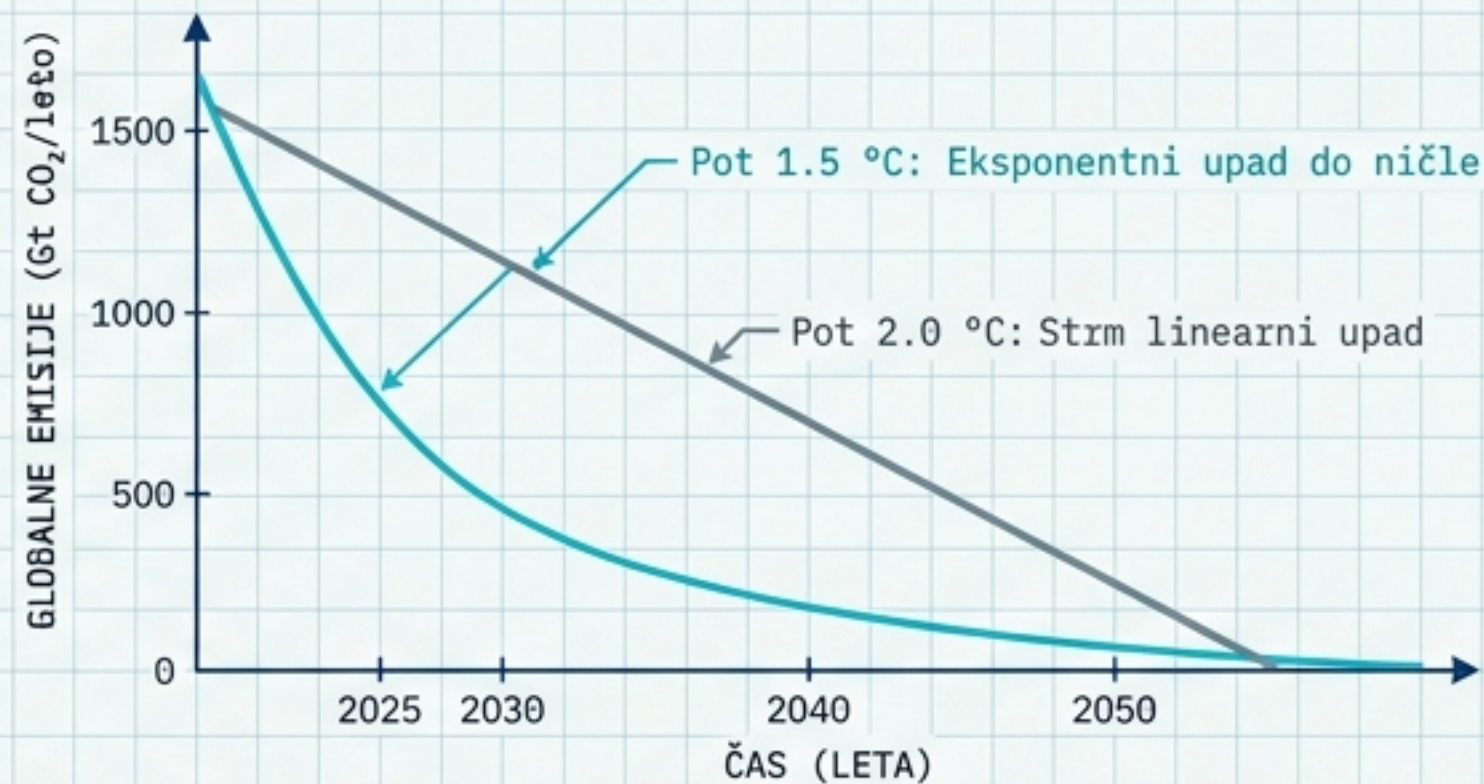
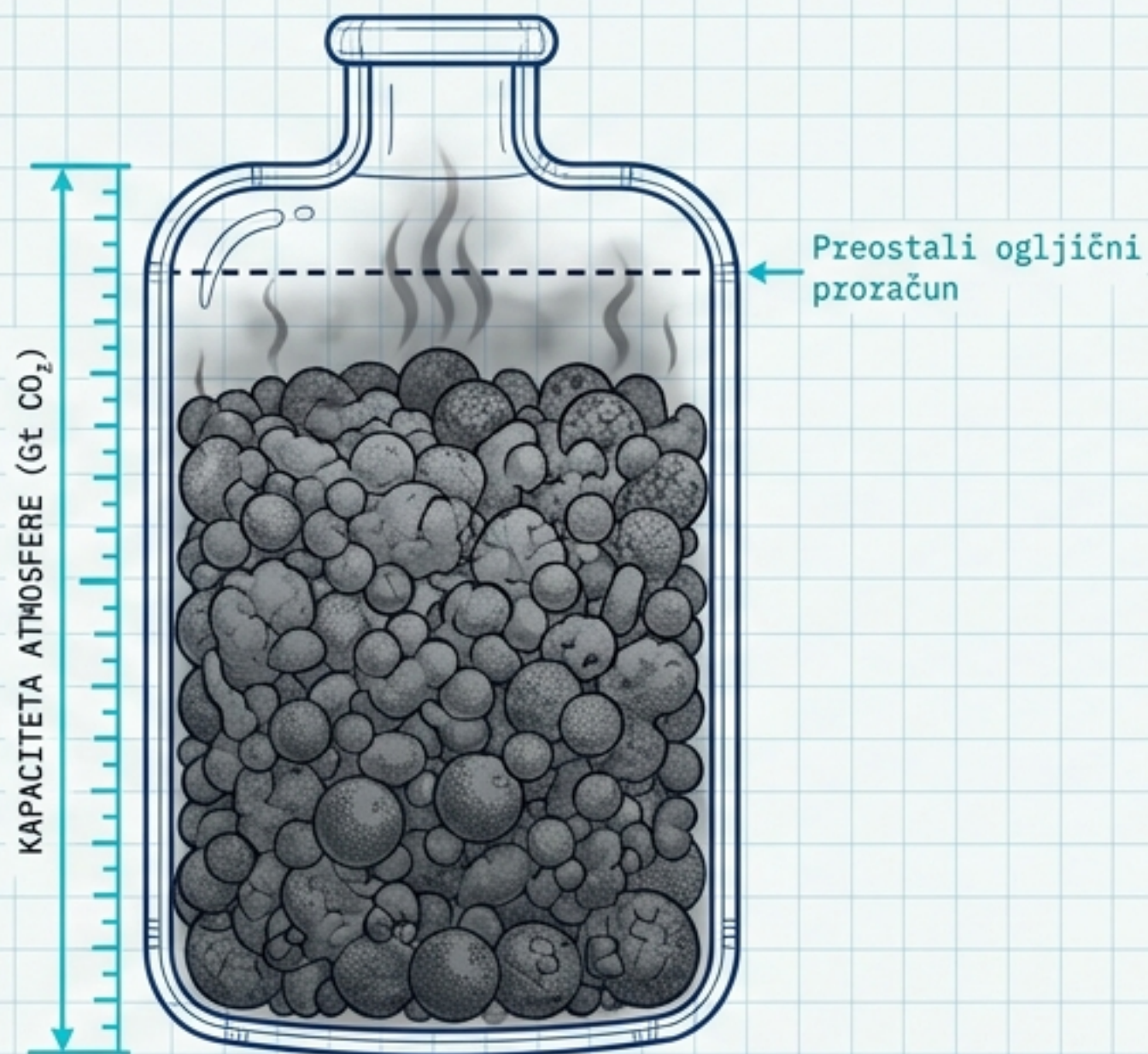
Zakaj bo globalna infrastruktura do leta 2040 izčrpala preostali ogljični proračun in kako moramo preoblikovati sistem materialov.



[METRIC]: Analiza obdobja: 1995–2022
(Zgodovinsko) | 2023–2050 (Projekcije)

[METRIC]: Metodologija: Multi-
regionalna Input-Output analiza
(EXIOBASE) & ARIMA modeliranje

Robni pogoj sistema: Pariški sporazum kot termodinamična omejitev



Meja 1.5 °C (83% verjetnost):

Preostali proračun je fiksna in omejena vrednost.
Zahteva eksponentni upad globalnih emisij do ničle.

Meja 2.0 °C (83% verjetnost):

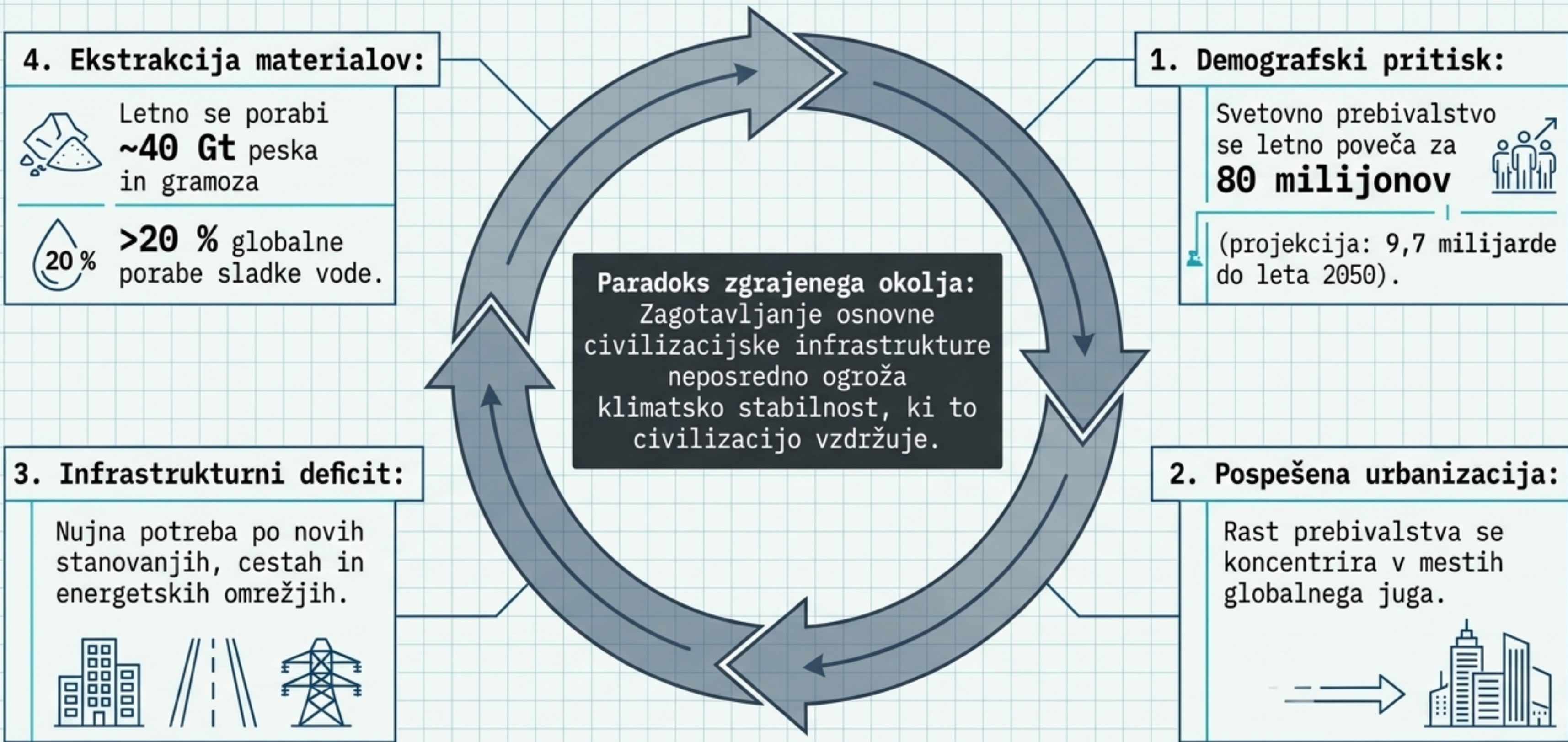
Zahteva strm linearni upad.



Sistemski konflikt: Povečanje emisij v kateremkoli posameznem sektorju zahteva **nesorazmerno in nerealistično zmanjšanje** v vseh ostalih sektorjih. Proračun je **fizikalna meja**, o kateri se ni mogoče pogajati.

Podatki IPCC 2023 potrjujejo hitro krčenje preostalega ogljičnega proračuna (Remaining Carbon Budget - RCB).

Pogonski motor: Zaklenjeno povpraševanje



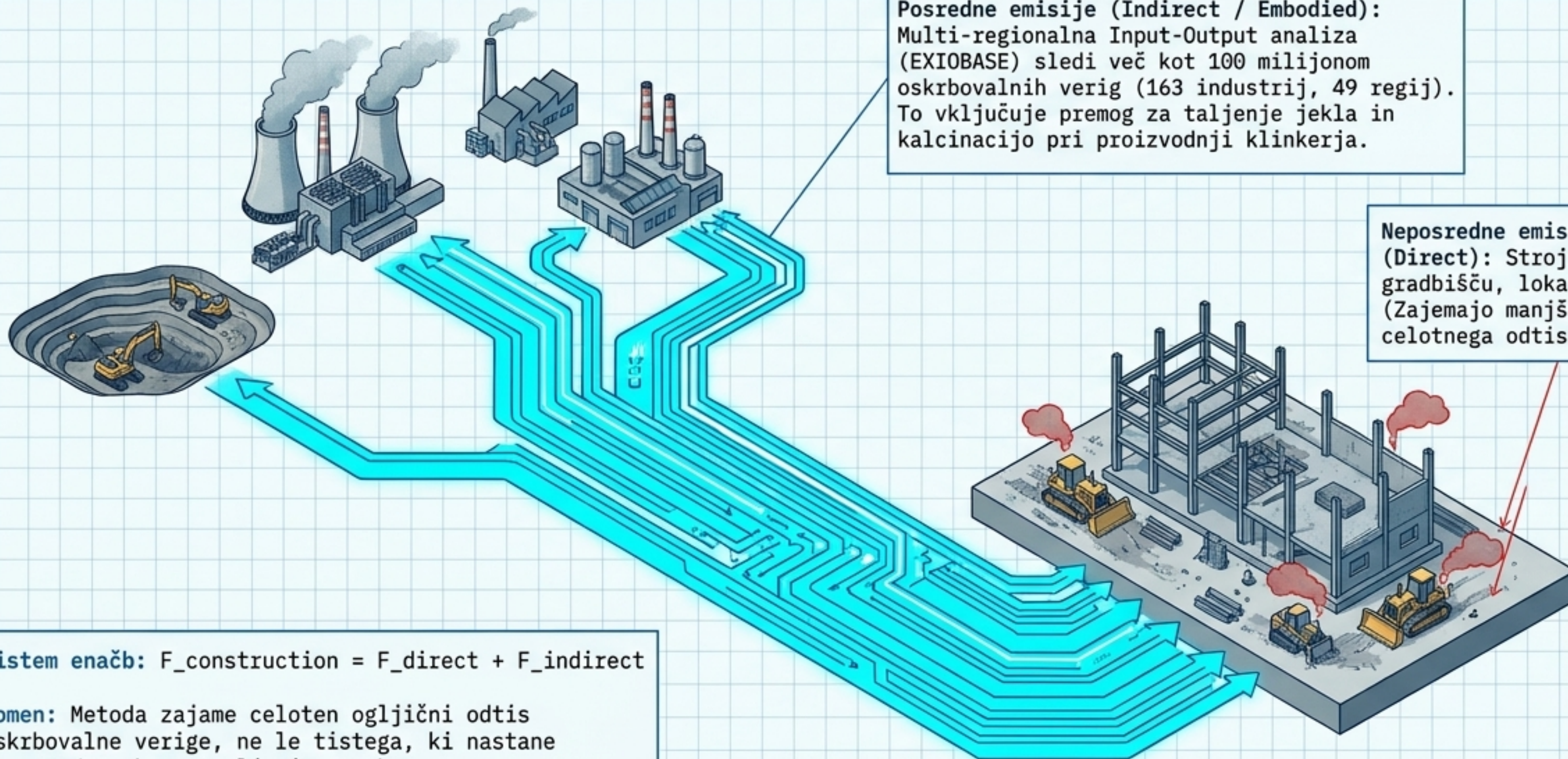
Dooločanje meje sistema: Od rudnika do gradbišča

Posredne emisije (Indirect / Embodied):
Multi-regionalna Input-Output analiza
(EXIOBASE) sledi več kot 100 milijonom
oskrbovalnih verig (163 industrij, 49 regij).
To vključuje premog za taljenje jekla in
kalcinacijo pri proizvodnji klinkerja.

Neposredne emisije
(Direct): Stroji na
gradbišču, lokalni transport.
(Zajemajo manjši del
celotnega odtisa).

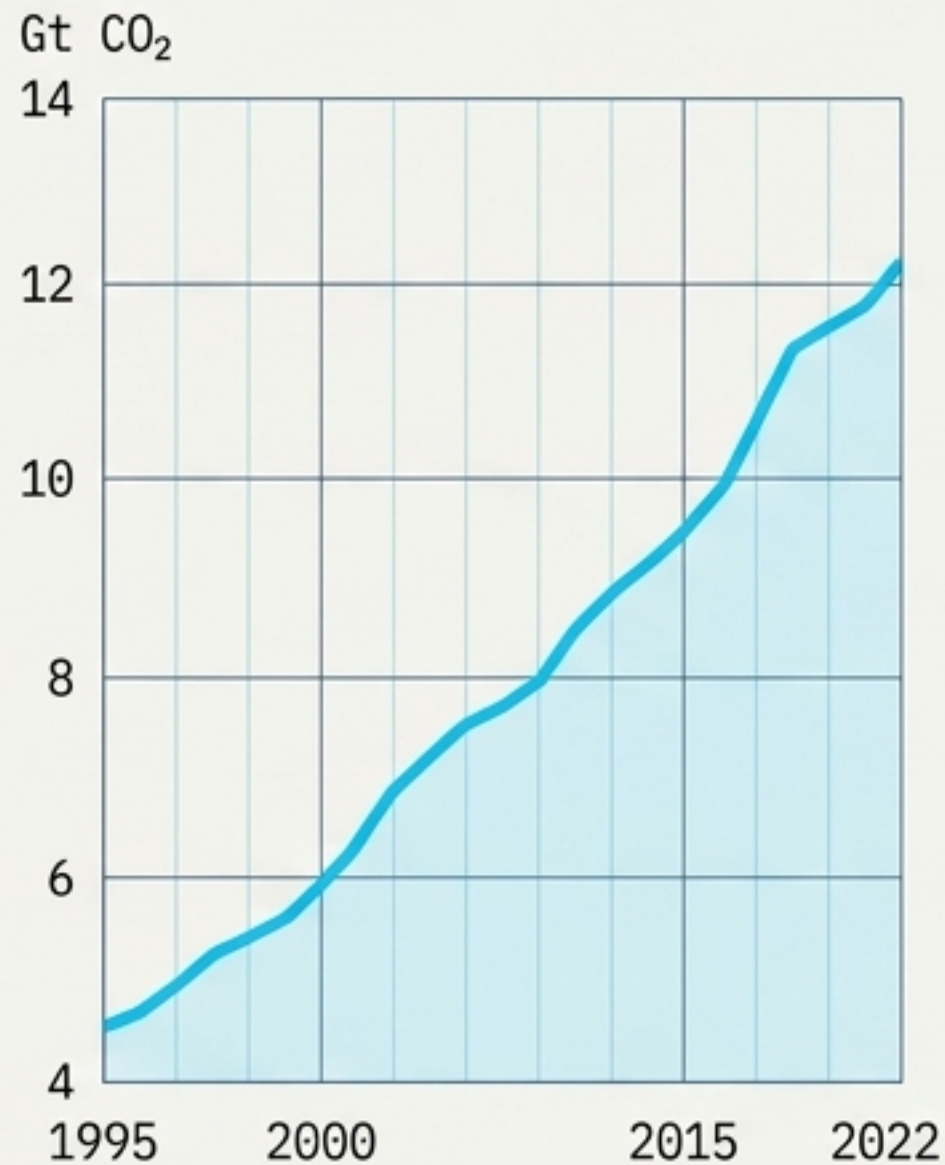
Sistem enačb: $F_{\text{construction}} = F_{\text{direct}} + F_{\text{indirect}}$

Pomen: Metoda zajame celoten ogljični odtis
oskrbovalne verige, ne le tistega, ki nastane
neposredno ob sestavljanju stavbe.

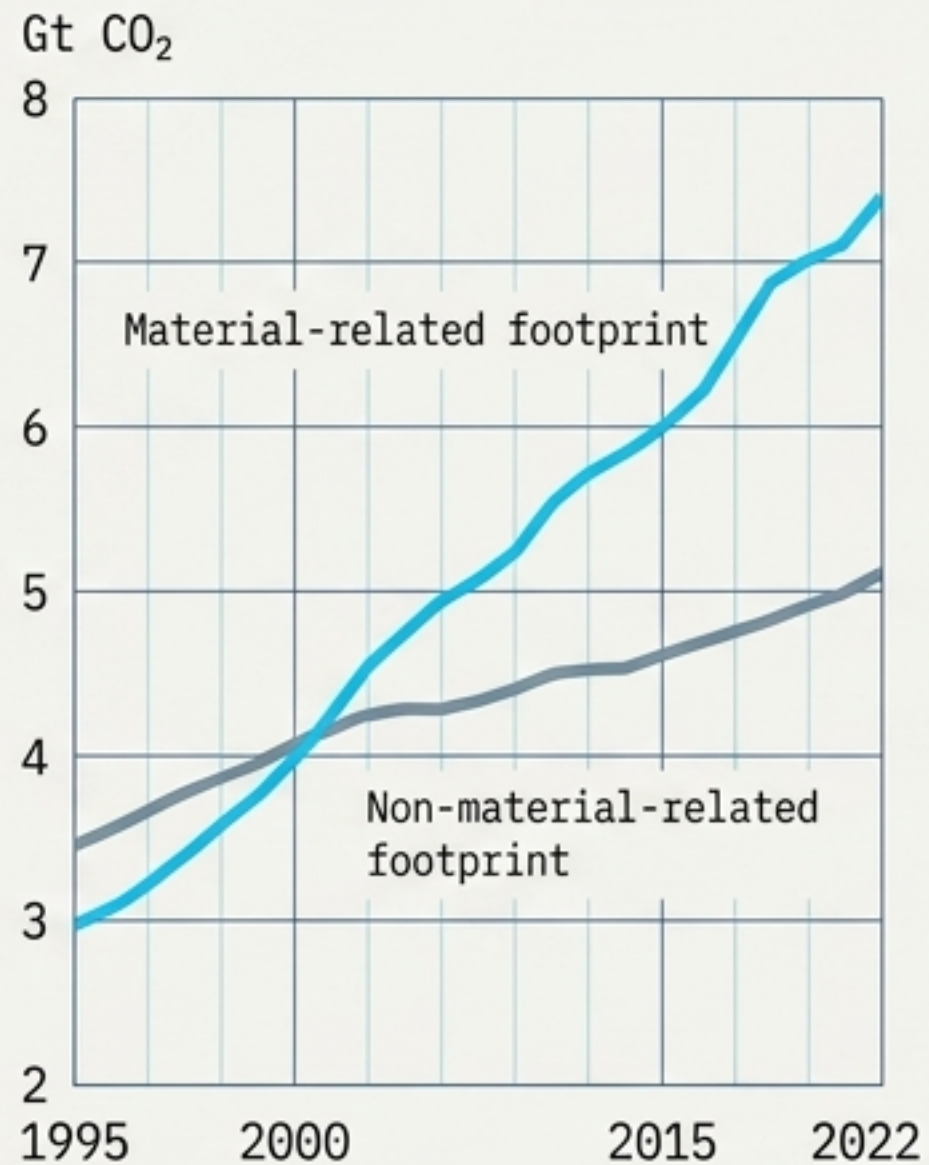


Zgodovinska analiza napak (1995–2022): EkspONENTNA RAST ODTISA

Ogljični odtis v gradbeni industriji



Primerjava materialnega in nematerialnega odtisa



PODVOJITEV OBREMENITVE:

Odtis gradbenega sektorja se je v manj kot treh desetletjih več kot podvojil (dosegel 12,2 Gt CO₂ leta 2022).

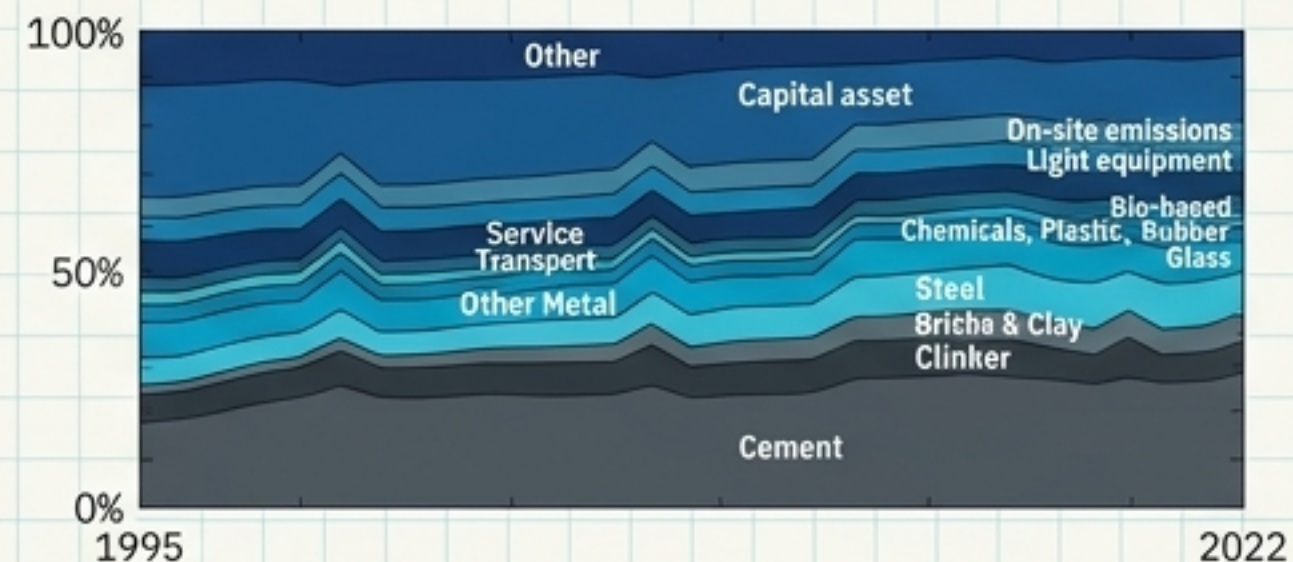
SISTEMSKA PREVLADA:

Delež gradbeništva v globalnih emisijah se je povečal z 20 % (1995) na 33 % (2022).

STRUKTURNI PREMIK:

Materialni odtis (cement, jeklo) je močno presežal nematerialnega (storitve, lahka oprema), kar kaže na vse večjo materialno potratnost industrije.

Analiza glavnih vzrokov: Matrika ogljične intenzivnosti materialov (2022)

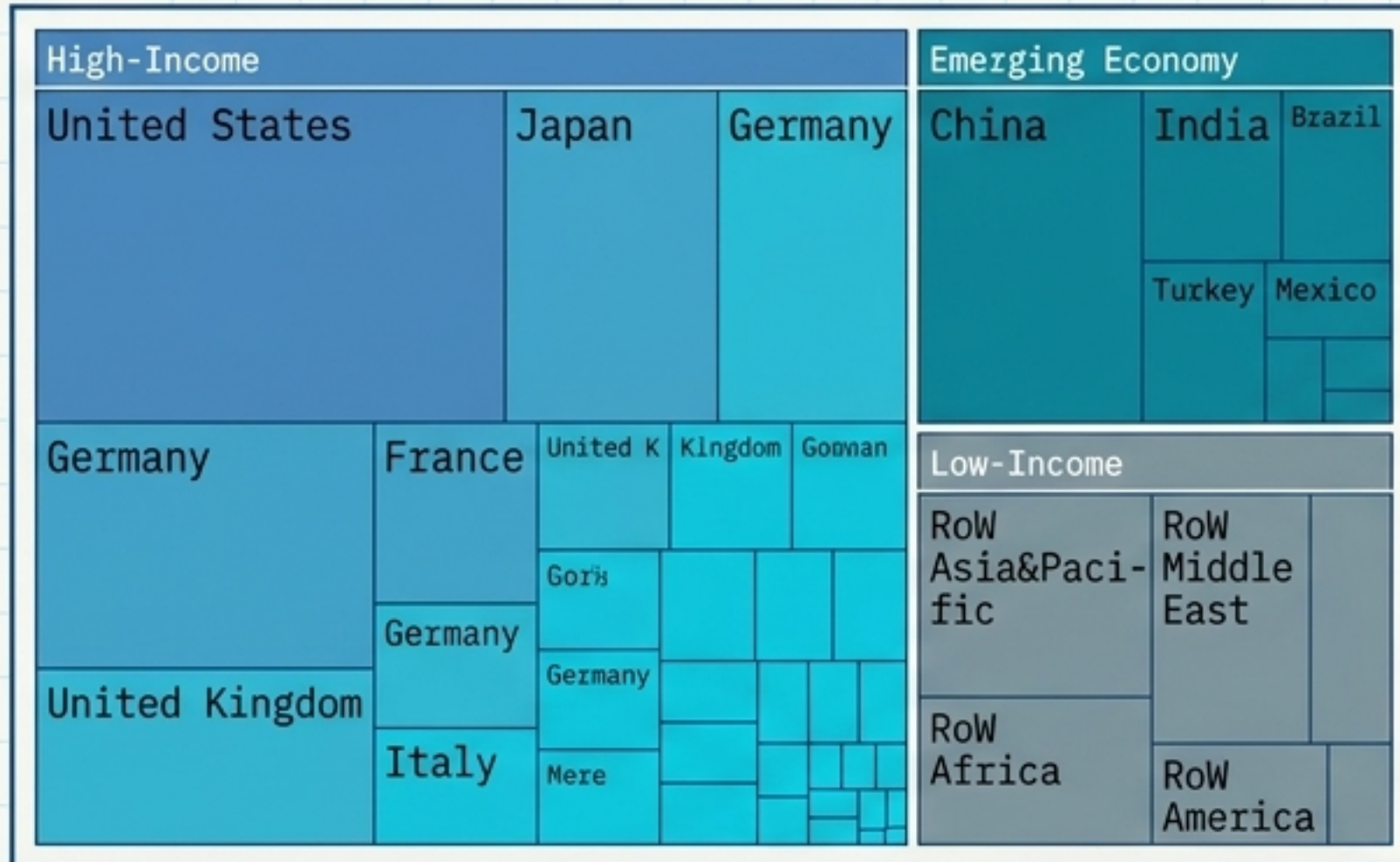


Materialna komponenta	Delež odtisa (2022)	Rast (1995-2022)	Primarna tehnična ovira za dekarbonizacijo
Cement in klinker	28 % ⚠	Ekstremna rast	Kemične procesne emisije (kalcinacija).
Opeka in keramika	12 %	Visoka rast	Energetsko intenzivna proizvodnja.
Jeklo in ostale kovine	15 % ⚠	Visoka rast	Odvisnost od premoga in primarnih peči.
Storitve, mehanizacija in gradbišče	37 %	Počasnejša rast/ Stagnacija	Elektrifikacija težke mehanizacije.

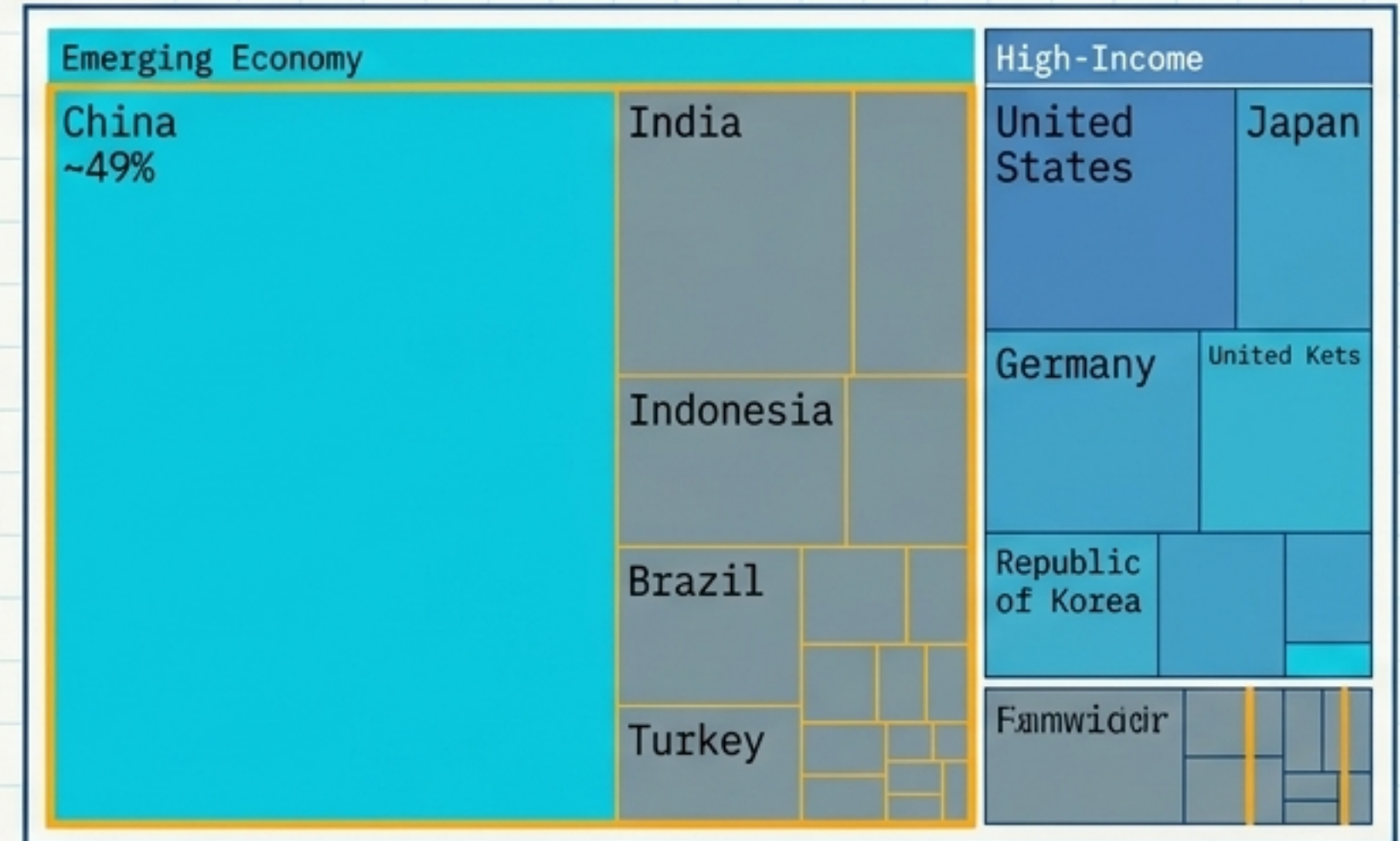
Nesolidarnostna 5-članska skupina materialov (cement, klinker, opeka, jeklo, aluminij) je svoj odtis povečala za **3,8-krat** (s **1,8 Gt** na **6,9 Gt CO₂**).

Tektonski premik emisij: Premik centra gravitacije

1995



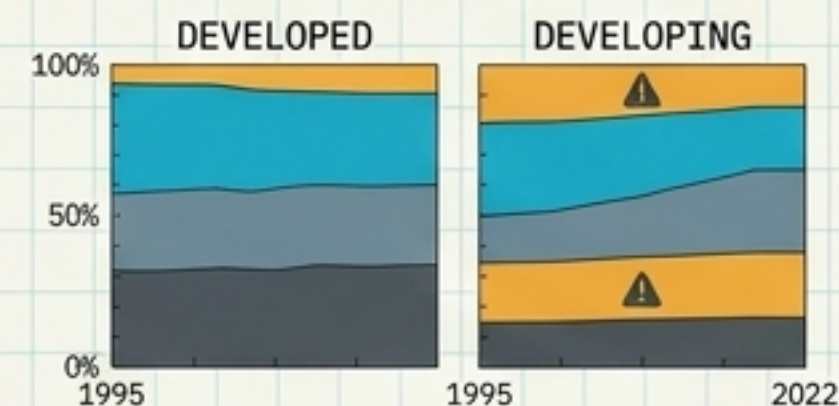
2022









Prevlada visokodohodkovnih gospodarstev. ZDA, EU, Japonska in Južna Koreja predstavljajo ~50 % globalnega odtisa (pri samo 20 % prebivalstva).

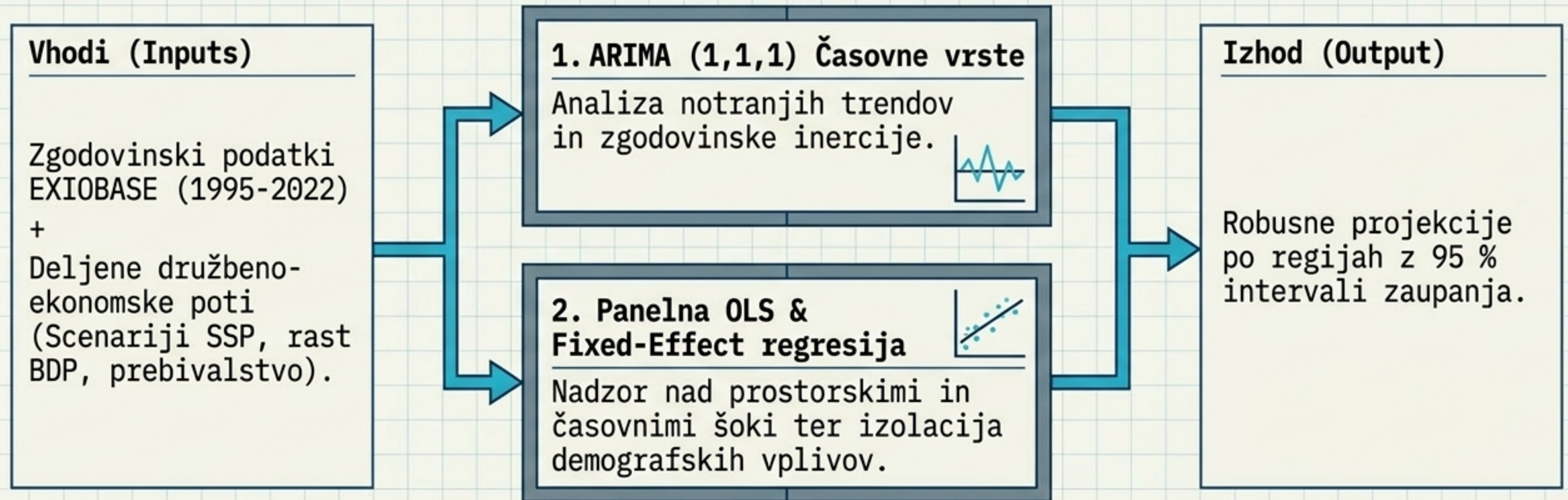
Prevlada gospodarstev v vzponu. Kitajska sama predstavlja absolutno prevlado (49 % globalnega odtisa), sledi ji Indija. Delež visokodohodkovnih regij drastično upade.

Diagnostična matrika gospodarstev: Strukturna divergenca



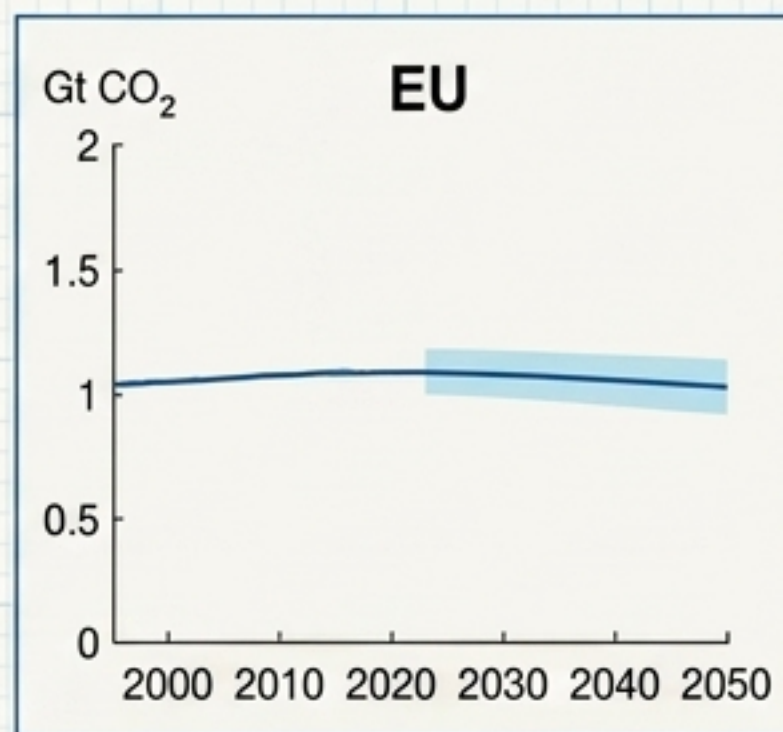
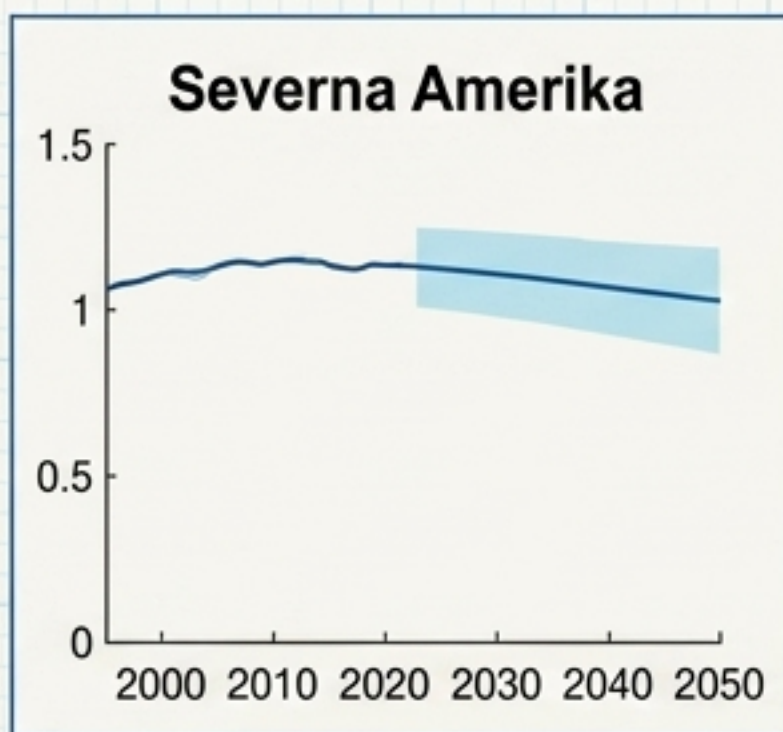
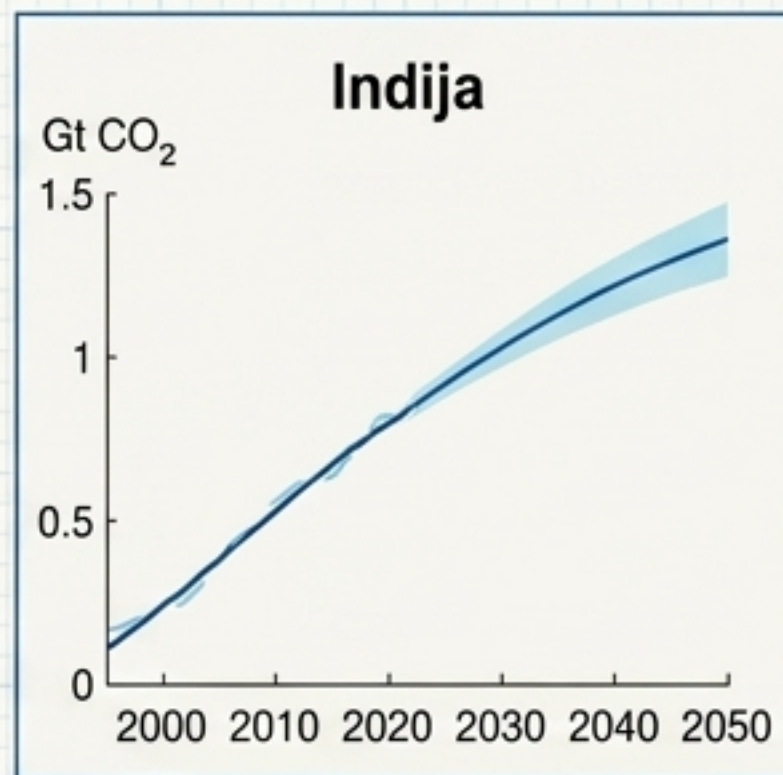
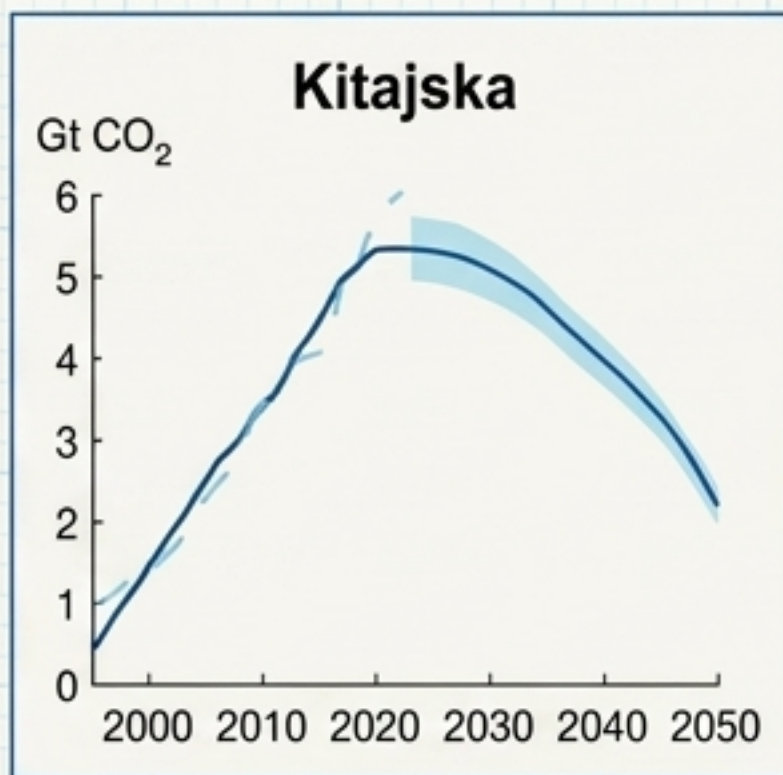
Visokodohodkovna gospodarstva (ZDA, EU)	Gospodarstva v vzponu (Kitajska, Indija, Brazilija)
<p>Dinamika Stagnacija. Delež odtisa je stabilen.</p> 	<p>Dinamika Eksplozivna rast (+73 % povečanje deleža cementa in jekla na Kitajskem).</p> 
<p>Struktura materialov Nizka odvisnost od netrajnostnih materialov (27-40 %). Večji delež popravil in vzdrževanja.</p> 	<p>Struktura materialov Visoka odvisnost (do 73 % odtisa izvira iz bazičnih materialov). Izgintje bio-osnovanih materialov.</p>  <p>Cement Steel</p>
<p>Inženirski izziv Krožno gospodarstvo, optimizacija obstoječega stavbnega fonda, energetska sanacija.</p> 	<p>Inženirski izziv Potreba po skalabilnih, nizkoogljičnih inovacijah za novo infrastrukturo in poceni alternativah.</p> 

Prediktivno modeliranje: Čas do odpovedi sistema (2022-2050)



Model potrjuje izjemno visoko korelacijo med rastjo prebivalstva in ogljičnim odtisom, pri čemer scenarij SSP2 (nespremenjeno stanje) služi kot osnovna raven.

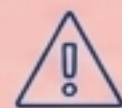
Trajektorije prihodnosti: Kje se bo sistem širil?



Kitajska (Vrh in upad):

Prebivalstvo je doseglo vrh leta 2022. Projekcije kažejo upad gradbenega odtisa zaradi politike enega otroka in zasičenosti infrastrukture.

Indija, Afrika in Bližnji vzhod (Kritična cona):

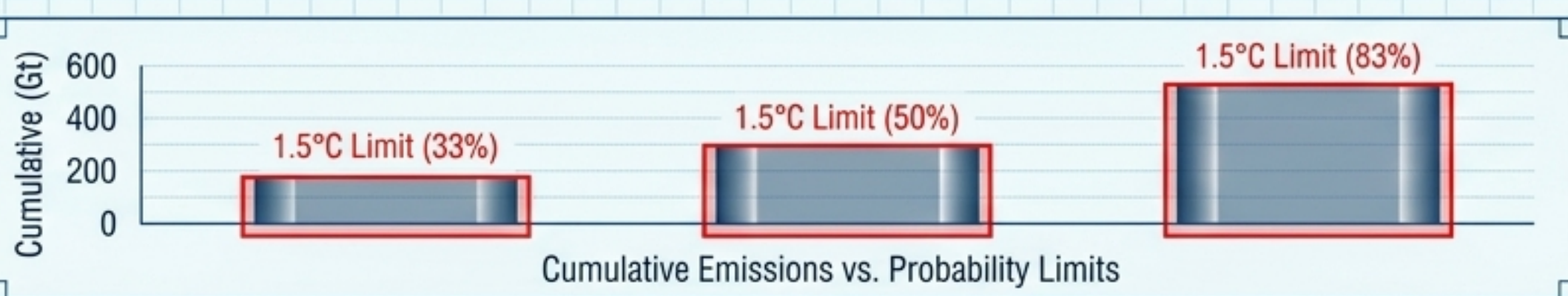
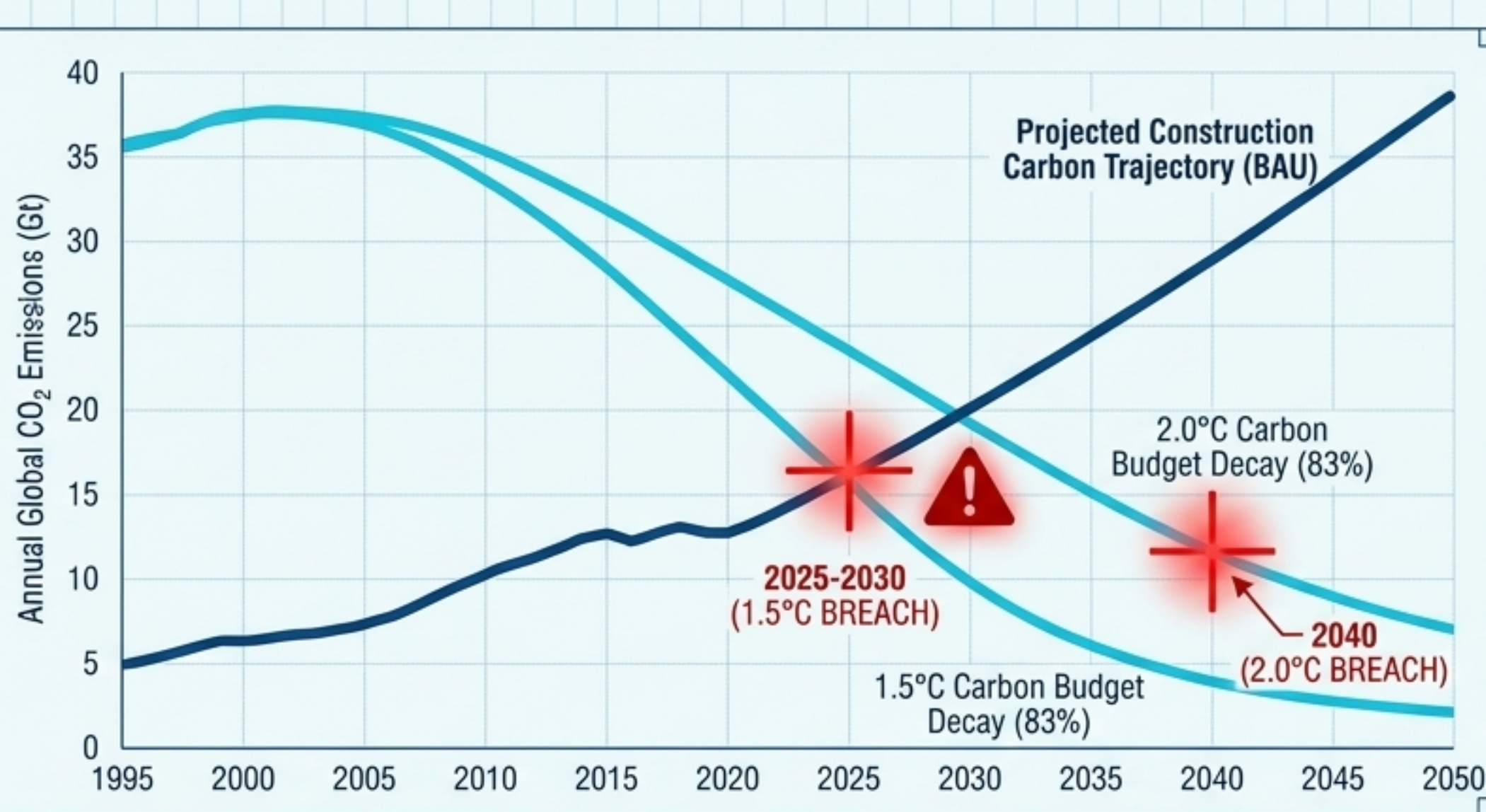


Območja najhitrejše eksponentne rasti. Ta območja zahtevajo takojšen dostop do nizkoogljičnih tehnologij pred zaklepanjem v betonsko in jekleno infrastrukturo.

Severna Amerika in EU (Plato):

Ostajajo na visoki, a večinoma ravni črti.

Matematična realnost: Točka presečišča (2025–2040)



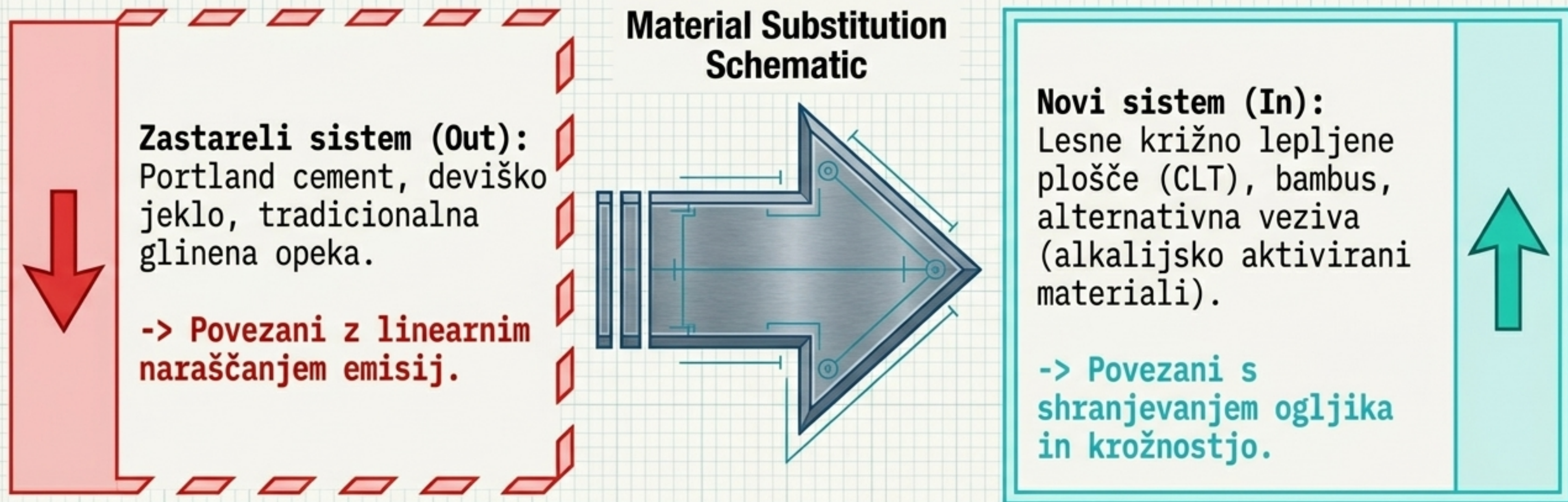
1. Absolutni podatek: Tudi če vse ostale industrije na Zemlji (kmetijstvo, letalstvo, tehnologija) zmanjšajo svoje emisije na absolutno ničlo, **bo globalni gradbeni sektor sam porabil celoten preostali ogljični proračun.**

2. Meja 1.5 °C: Izčrpana približno med letoma 2025 in 2030 (83 % verjetnost).
⚠️ 2025 – 2025 in 2030

3. Meja 2.0 °C: Izčrpana do leta 2040.
⚠️ leta 2040.

4. Skupna obremenitev: Akumulirane emisije gradbeništva do leta 2050 (SSP2 scenarij) bodo dosegle
⚠️ 440 Gt CO₂.

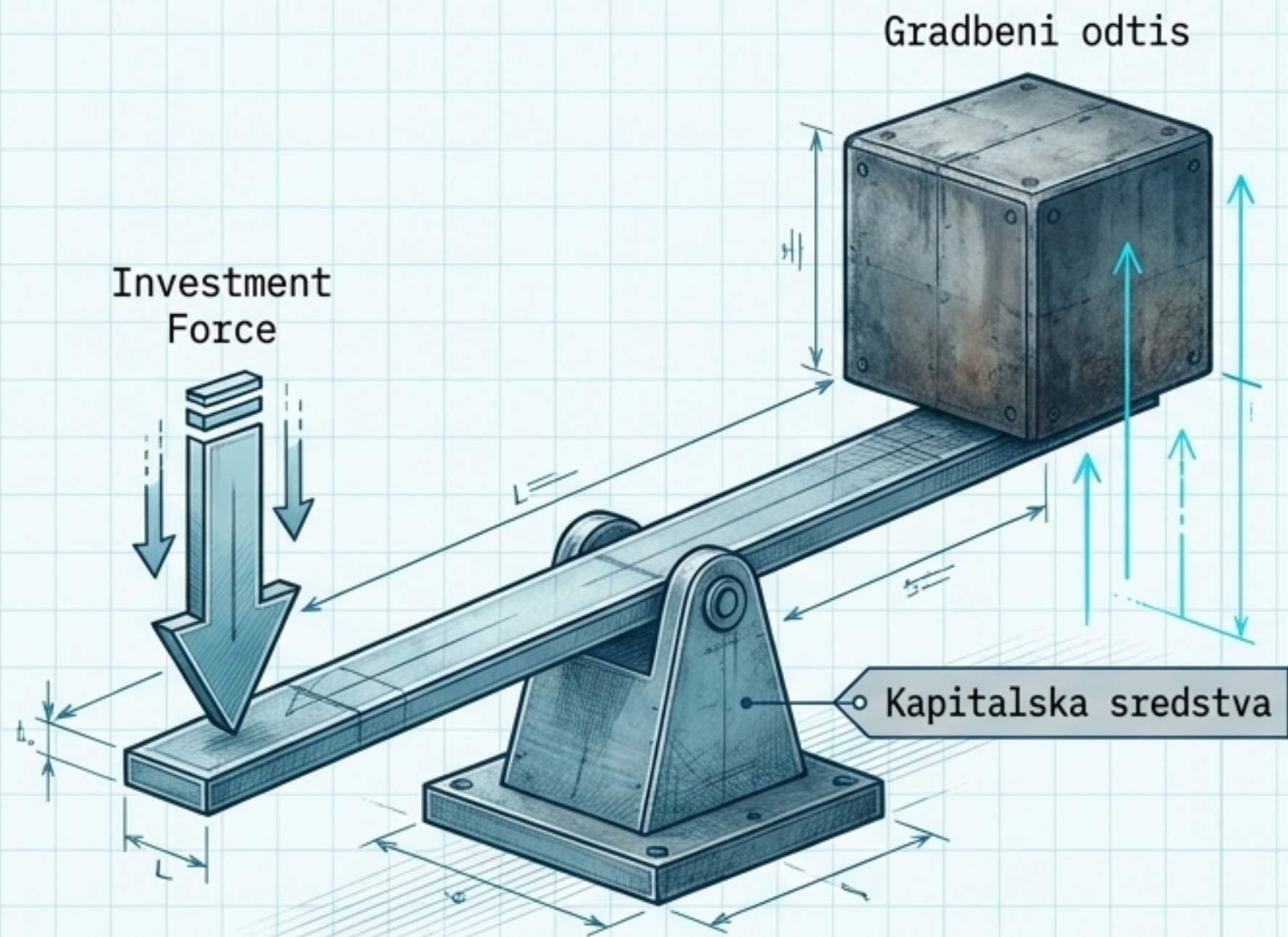
Sistemski preobrat: Materialna revolucija



Zamenjava materialov na globalni ravni prinaša nova tveganja. Bio-osnovani materiali tekmujejo za rabo zemljišč, ogrožajo biodiverzitetu in vplivajo na pridelavo hrane. **Trajnostni certifikati** in **strog nadzor** so nujni kontrolni mehanizmi.

Točka vzvoda: Prestrukturiranje kapitalskih sredstev

Spomnimo se metodologije EXIOBASE:
"Kapitalska sredstva" so drugi največji oskrbovalni vir emisij.



Glavna ovira za bio-osnovane materiale in nove tehnologije ni pomanjkanje idej, temveč neustrezna oskrbovalna infrastruktura (Scale-up problem).

Tradicionalna mehanizacija ni primerna za ravnanje z novimi materiali.

Dvojna dividenda (Double Dividend):

Usmeritev investicij v nova sredstva za proizvodnjo bio-materialov hkrati **zmanjša** stroške proizvodnje (ekonomija obsega) in neposredno **zniža posredne emisije**, vezane na težko zastarelo mehanizacijo.

Načrt za prihodnost: Inženirski mandat

1.

1. Diagnostika: Globalni gradbeni sektor je ujet v strukturno inercijo visokoogljičnih materialov. Sedanja trajektorija je matematično nezdržljiva s preživetjem podnebne sistema (Pariški sporazum).



2.

2. Časovnica odповіdi: Brez radikalnih sprememb bo zgrajeno okolje samo porabilo **1.5 °C proračun pred letom 2030** in **2.0 °C pred letom 2040**. Časa za postopne (inkrementalne) izboljšave ni več.



3.

3. Nujnost preoblikovanja: Sprememba zahteva materialno revolucijo (bio-osnovane alternative), pametno usmerjanje kapitalskih investicij v nove dobavne verige in strogo upoštevanje specifičnih potreb gospodarstev v vzponu. Sprememba gradbenih predpisov je nujna.



Zgodovina kaže na eksponentno rast napak. Prihodnost zahteva eksponentni inženirski preobrat.