

# Planetarna diagnostika: Točke preloma zemeljskega sistema

Analiza nelinearne dinamike, sistemskih odповіdi in kaskadnih tveganj

Pripravljeno za študente inženirstva in tehnologij |  
Podatki temeljijo na poročilu Znanstvenega svetovalnega odbora ZN (2026)



# Zemlja kot kompleksen dinamični sistem

Točke preloma zemeljskega sistema so kritične meje, kjer majhne dodatne spremembe zunanjih parametrov sprožijo velike in nepovratne premike. Ti premiki so gnani s pomočjo notranjih povratnih procesov in jih je na človeški časovni skali težko ali nemogoče obrniti.

## Koralni grebeni



Tipping point range:

min	central	max
1°C	1,5°C	2°C

## Grenlandski ledeni pokrov



Tipping point range:

min	central	max
1°C	1,5°C	3°C

## Zahodnoantarktični ledeni pokrov

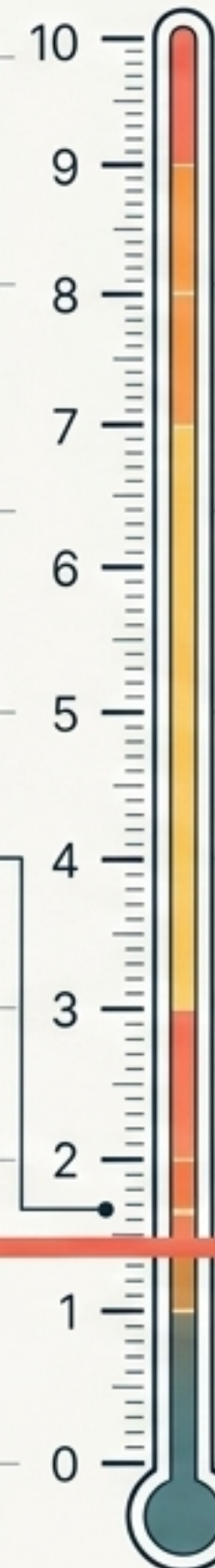


Tipping point range:

min	central	max
1°C	1,5°C	3°C

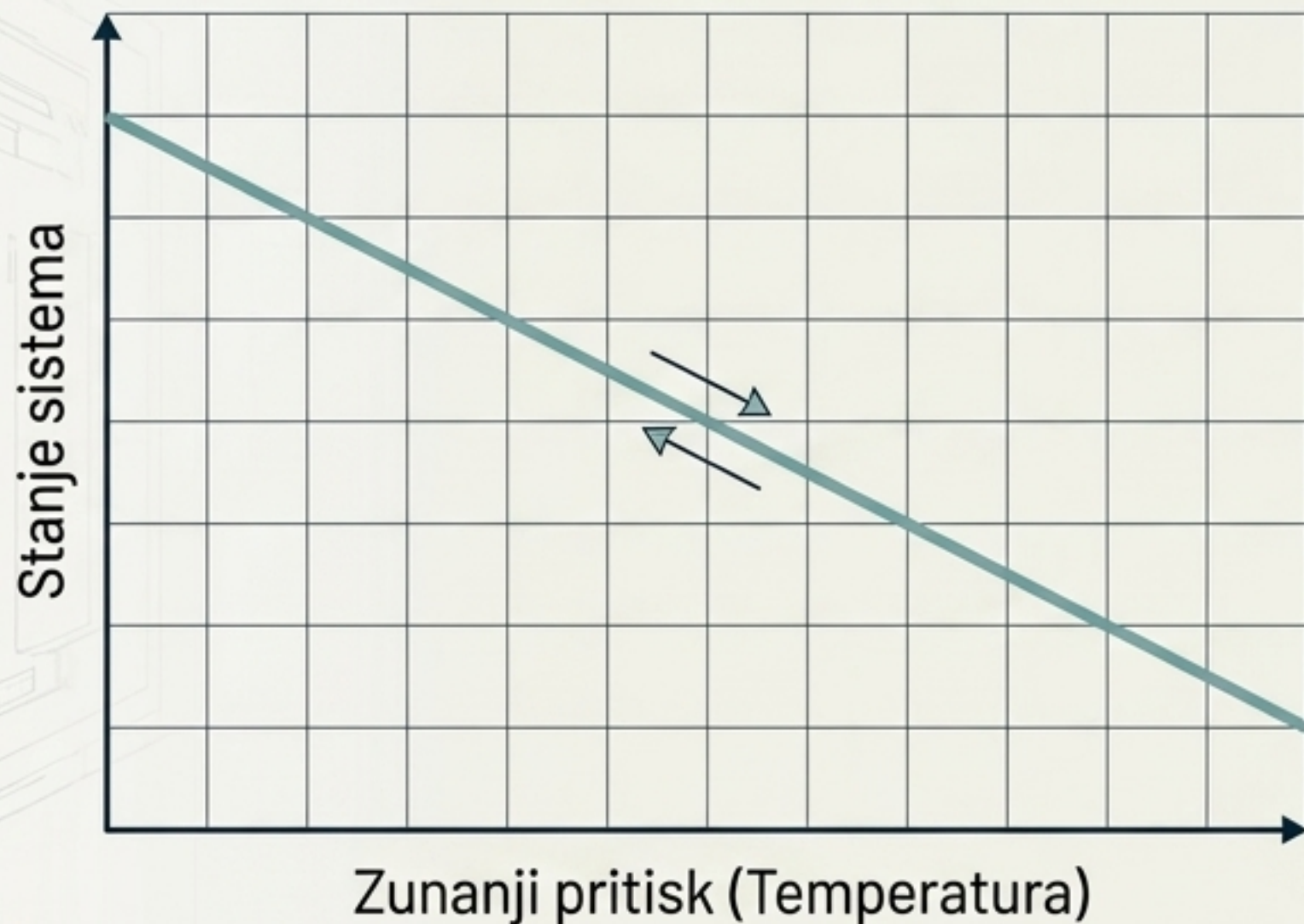
**Trenutna raven segrevanja: 1,3°C**

Global warming  
relative to pre-industrial (°C)

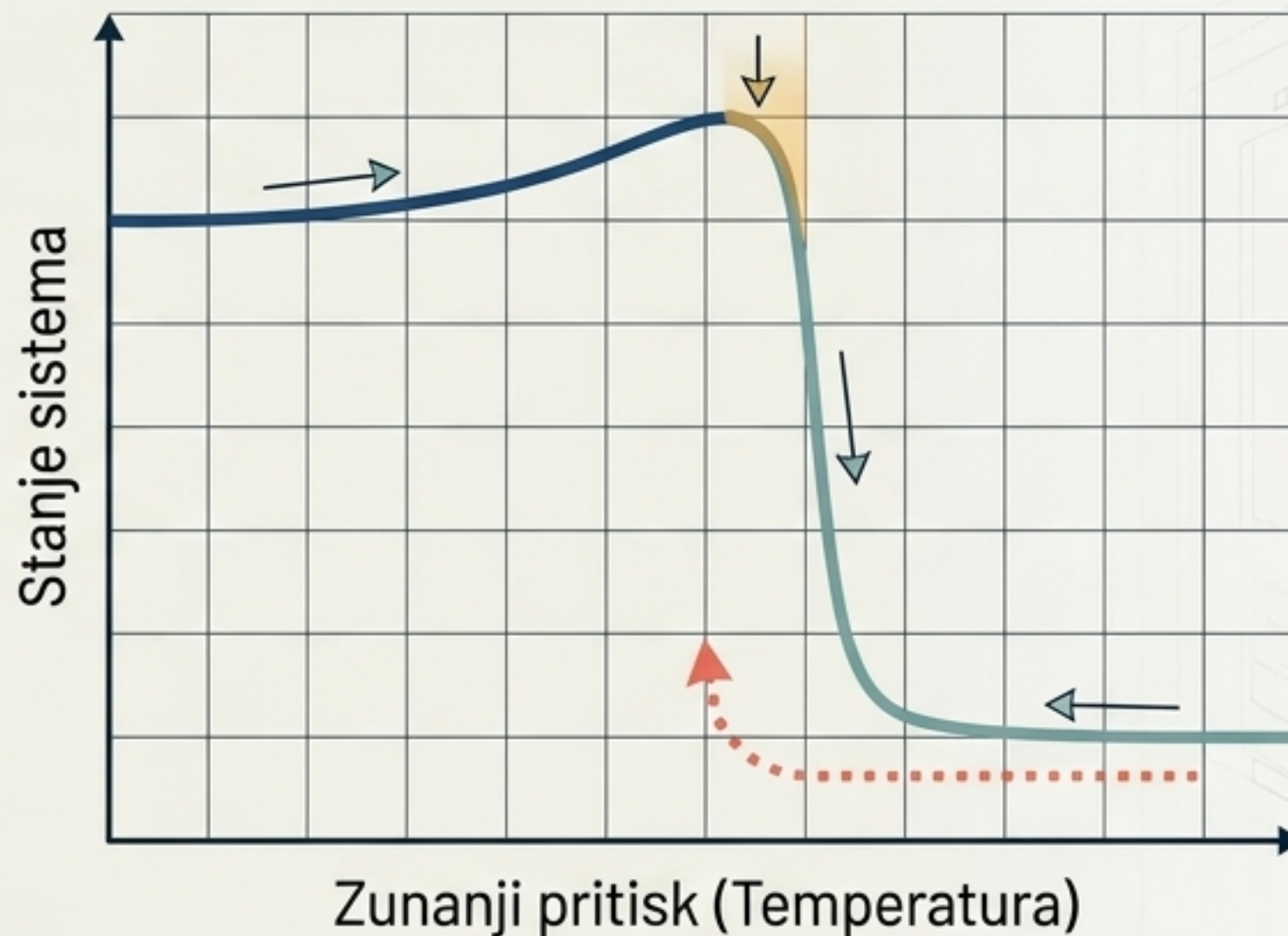


# Matematika preloma: Nelinearnost in histereza

**Postopna sprememba:** Sistem se vrne v začetno stanje, če pritisk pade.



**Točka preloma:** Sprememba se nadaljuje tudi, če se prvotni vzrok zmanjša.



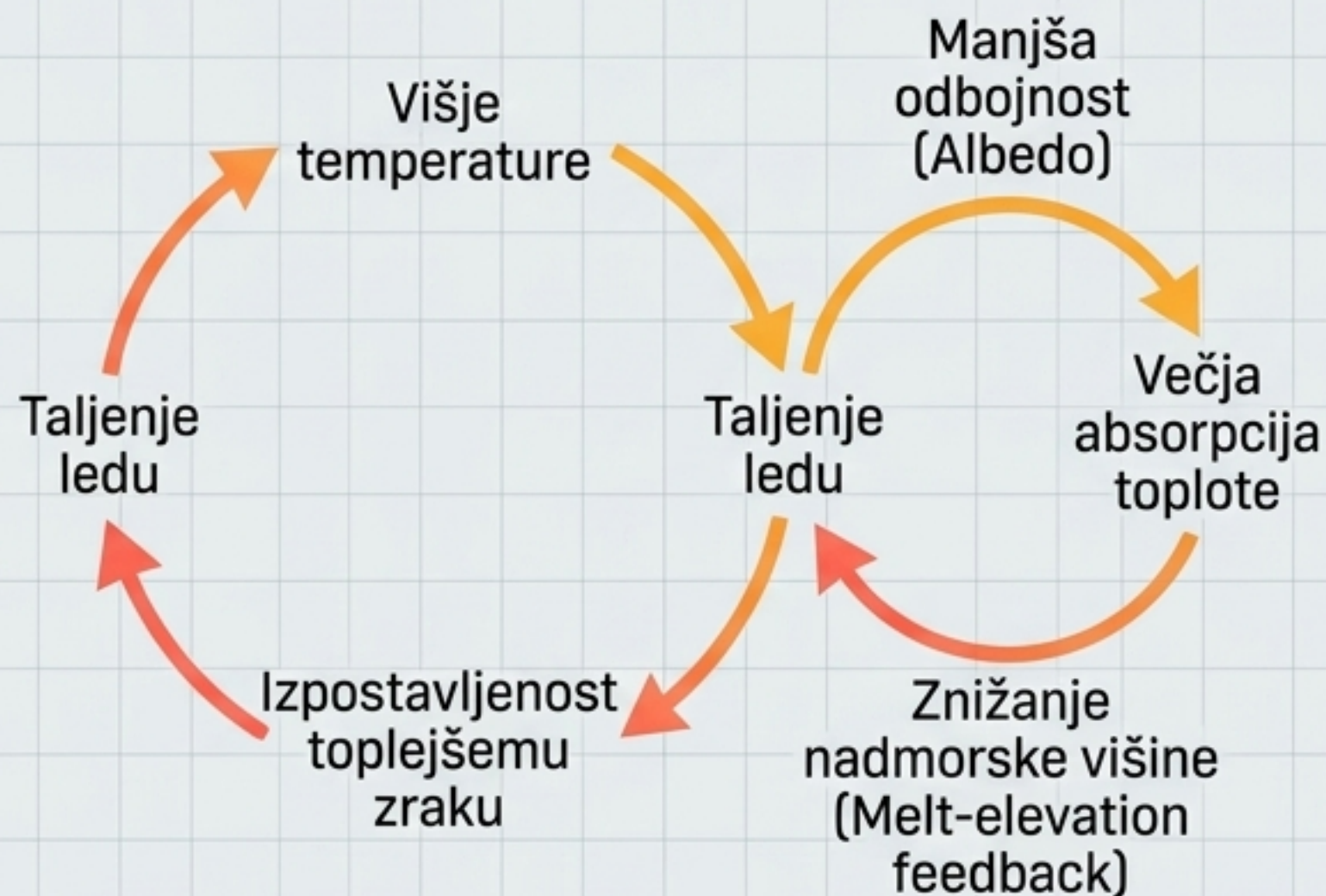
**Zaklenjena sprememba (Committed Change):** Vrnitev v prvotno stanje bi zahtevala ohladitev precej pod temperaturo, pri kateri je prišlo do preloma.

# Mehanizem odpovedi: Prehod povratnih zank

## Negativna povratna zanka (Stabilizacija)



## Pozitivna povratna zanka (Pospeševanje)



Ključna ugotovitev: Sistem začne spremembo krepiti sam, namesto da bi se ji upiral.

# Diagnostična matrika kritičnih podsistemov

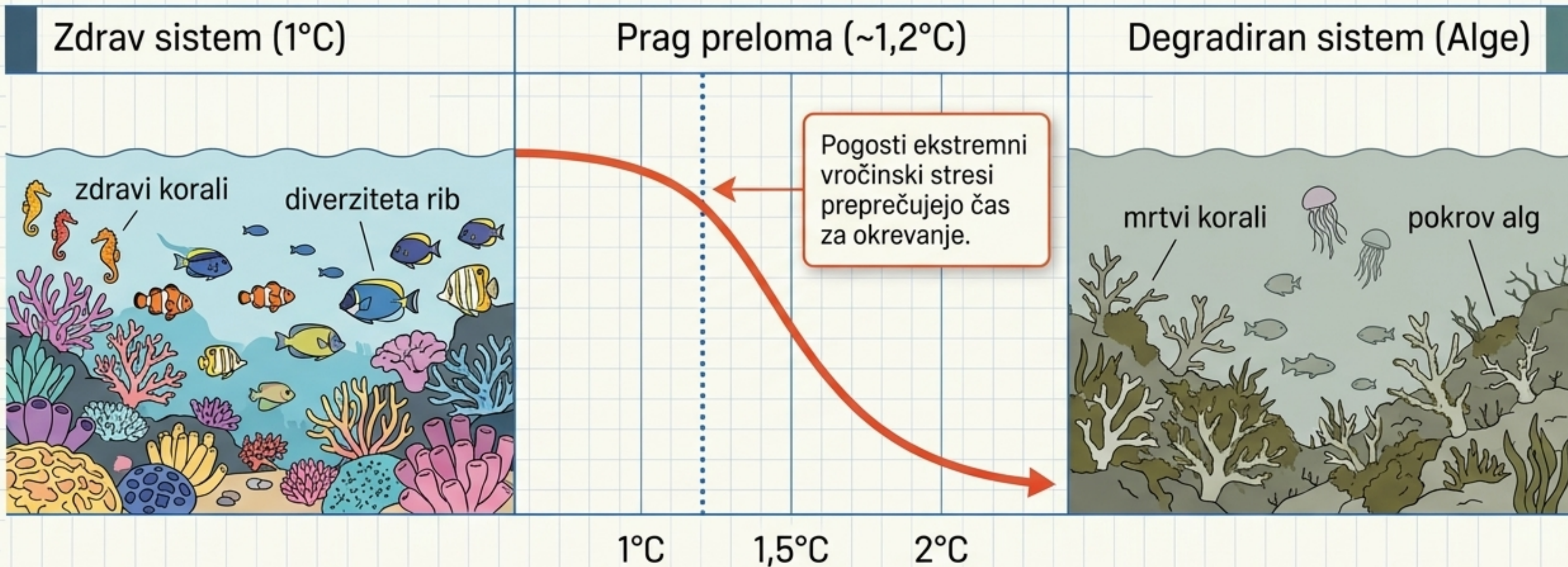
Podsistem	Primarni stresor	Ključni mehanizem odpovedi	Časovni okvir kolapsa	Trenutni status	
Kriosfera	Naraščanje temperature zraka/morja	Taljenje-nadmorska višina & izguba albeda	Desetletja do stoletja (10m+ dvig morske gladine)	Približevanje pragu	●
Oceanski tokovi (AMOC)	Vnos sladke vode	Zmanjšanje gostote vode preprečuje tonjenje	Kmalu (modeli kažejo oslabitev)	Oslabljeno kroženje	●
Koralni grebeni	Ekstremni vročinski stres (morski vročinski valovi)	Izguba sposobnosti okrevanja; prevlada alg	Takojšnje	Kritično (že prečkajo točke preloma pri trenutnih 1,3°C)	●
Amazonski pragozd	Suša, krčenje gozdov, požari	Izguba recikliranja vlage (vlažnostni cikel)	Kmalu	Približevanje pragu (prehod v savano)	●

# Analiza komponente: Atlantska meridionalna prevračajoča cirkulacija (AMOC)

AMOC deluje kot globalni termodinamični motor, ki toplo vodo potiska na sever, kjer se ohladi, postane težja in potone.



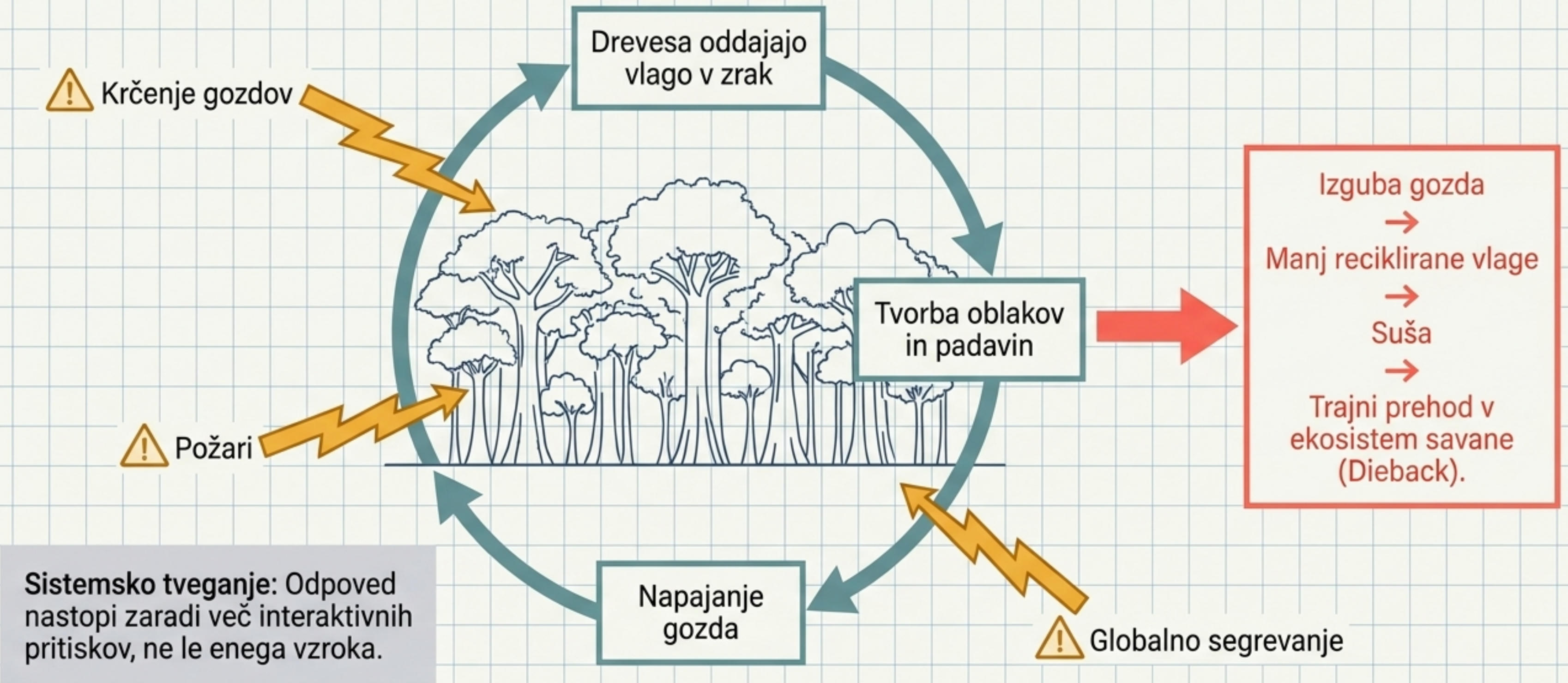
# Faza prehoda ekosistema: Koralni grebeni



Nedavni globalni dogodki beljenja koral (2023–2025) kažejo, da so nekateri veliki koralni sistemi verjetno že začeli prečkati točke preloma pri trenutni ravni segrevanja (1,3°C).

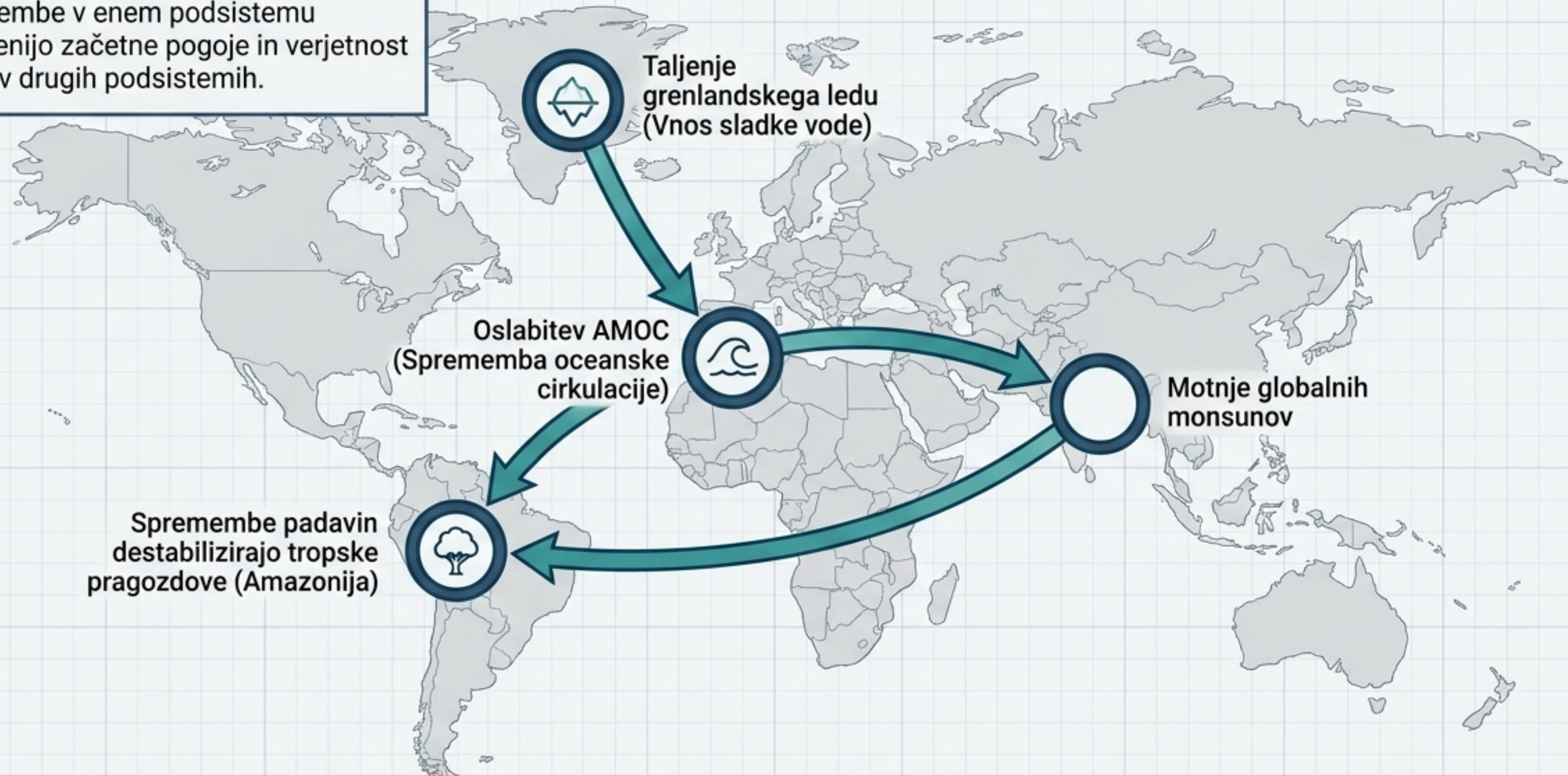
# Odpoved samovzdrževalne zanke: Amazonski pragozd

Amazonija reciklira velik del lastnih padavin. To je kritičen povratni mehanizem za njeno vzdrževanje.



# Kaskadni učinek: Zemlja kot mreža povezanih sistemov

Spremembe v enem podsistemu spremenijo začetne pogoje in verjetnost zloma v drugih podsistemih.



Destabilizacija se širi kot verižna reakcija preko oceanskih in atmosferskih tokov.

# Zgodnje odkrivanje: Vloga umetne inteligence (AI)

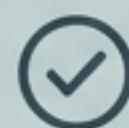
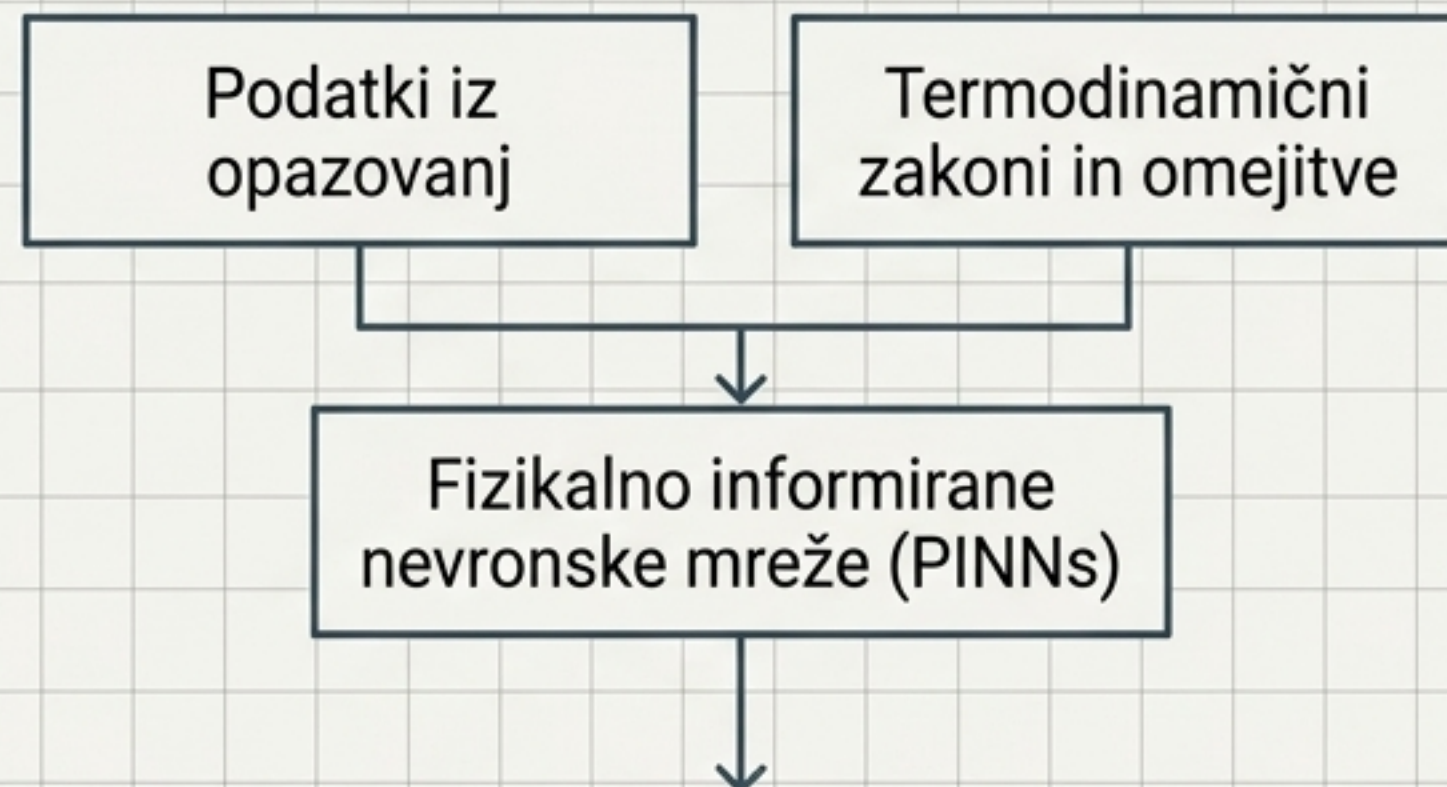
Standardno strojno učenje (ML), usposobljeno le na zgodovinskih podatkih, težko napove scenarije brez primere. Rešitev so modeli, podprti s fizikalnimi zakoni.

## Tradicionalno strojno učenje (ML)



Nezanesljiva napoved neznanih stanj  
(Slepa pega)

## Fizikalno informirana umetna inteligenca



Natančno odkrivanje opozorilnih signalov  
(Zmanjšanje odpornosti in počasnejše okrevanje sistema)

AI služi kot visoko zmogljiv senzorski sistem za identifikacijo sprememb v variabilnosti tik pred prelomom.

# Paradigma tveganja: Postopni vplivi v primerjavi s sistemskimi prelomi

<b>Dimenzija</b>	<b>Postopni podnebni vplivi</b>	<b>Točke preloma zemeljskega sistema</b>
<b>Matematično vedenje</b>	Linearno in sorazmerno	Nelinearno in eksponentno
<b>Reverzibilnost</b>	Visoka (Zmanjšanje pritiskov povrne stanje)	Nepovratno na človeški časovni skali
<b>Obseg vpliva</b>	Lokaliziran ali sektorski	Sistemski in kaskadni po vsem svetu
<b>Zahteva za upravljanje</b>	Prilagajanje na znane trende	Odločanje v pogojih visoke negotovosti in upravljanje sistemskega rizika

# Novi parametri globalne varnosti

## 01 | Kompleksnost tveganja

Točke preloma predstavljajo razred tveganja, ki presega postopne podnebne vplive zaradi nepredvidljivosti in hitrosti propagacije.

## 02 | Nujnost ukrepanja

Ker se pragi približujejo pri trenutnih ravneh segrevanja, se fokus premika na sočasno zmanjševanje emisij in gradnjo robustne sistemske odpornosti.

## 03 | Integracija znanosti

Zahteva se kontinuirano opazovanje, souporaba podatkov in integracija vpogledov AI modelov v globalne okvire upravljanja.

“Razumevanje znanosti o točkah preloma je ključnega pomena za boljše upravljanje medsebojno povezanih planetarnih tveganj.” (Izveček iz poročila Znanstvenega svetovalnega odbora ZN)