

Diagnostika odpovedi sistema AMOC

Analiza termodinamične nestabilnosti
in napovedi kolapsa atlantske
meridionalne prevračajoče cirkulacije

Poročilo o sistemskem tveganju (Temelji na raziskavi *Science Advances*
in analizah Potsdamskega inštituta za raziskave podnebnih vplivov).



STATUS SISTEMA KAŽE NA KRITIČNO NESTABILNOST

01 SISTEM



AMOC (Atlantska meridionalna prevračajoča cirkulacija)

Najšibkejše delovanje v zadnjih 1.600 letih. Opozorilni znaki prelomne točke zaznani v letu 2021.

↗ Pritisk: **PREVISOK**

03 NOVI MODELI



Grebenasta regresija (Ridge Regression)

Umerjanje z realnimi podatki zoži napoved ustavljanja na 42 % do 58 % do leta 2100.

Napoved ustavljanja: 42%-58% (leto 2100)
Zanesljivost: **Visoka**

02 KRITIČNA SPREMENLJIVKA



Sprememba gostote vode

Padec slanosti in dvig temperature v severnem Atlantiku prekinjata potapljanje vodnih mas.

↓ Slanost, ↑ Temperatura
↓ Potapljanje (Zastoj)

04 PROGNOZA



Sistemski kolaps

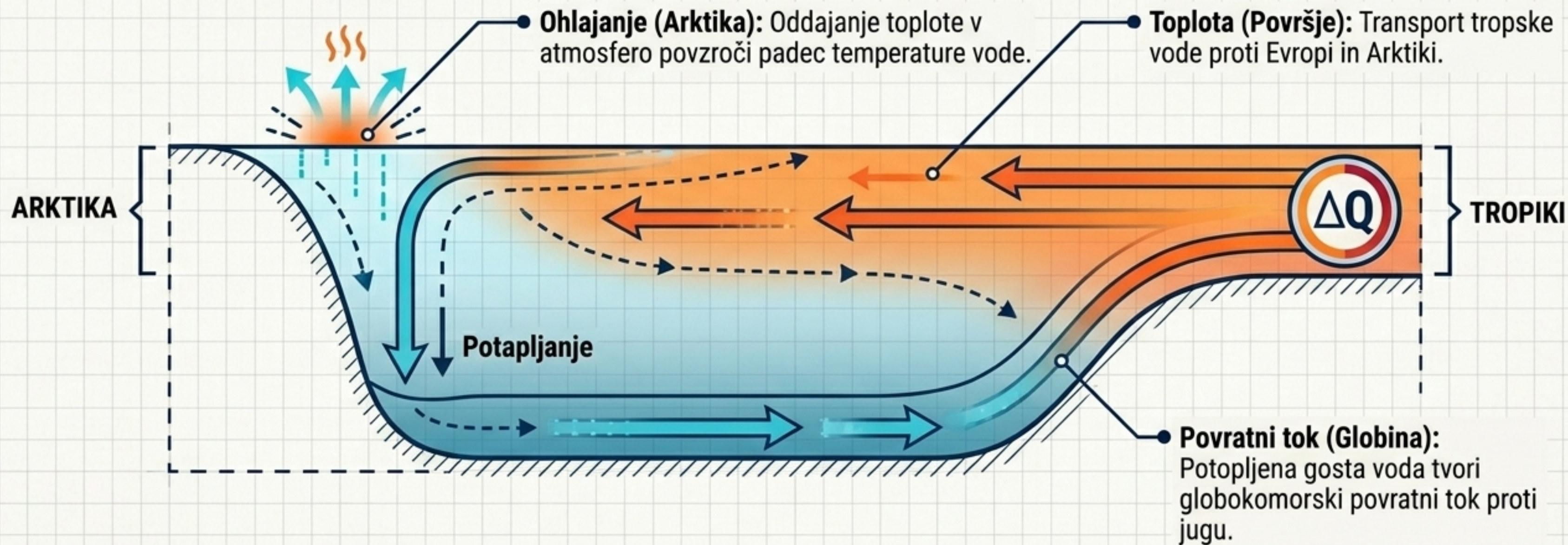
Prehod v odpoved sistema je sedaj ocenjen z >50 % verjetnostjo, z neizogibnim preobratom do sredine tega stoletja.

Verjetnost odpovedi: **>50%**
Čas do preobrata: **Do sredine stoletja**



AMOC deluje kot globalni termodinamični motor

Atlantska meridionalna prevračajoča cirkulacija (AMOC) je masivna črpalka, ki poganja globalni podnebni sistem.

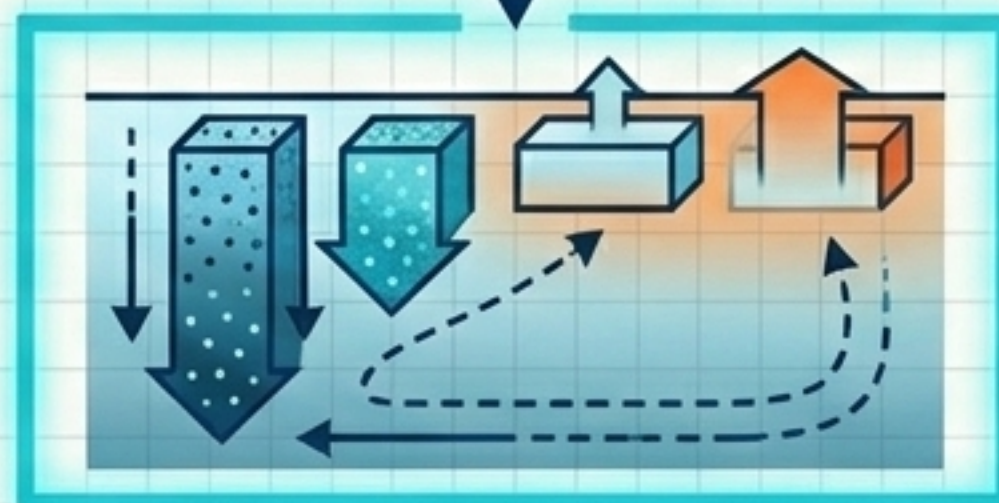
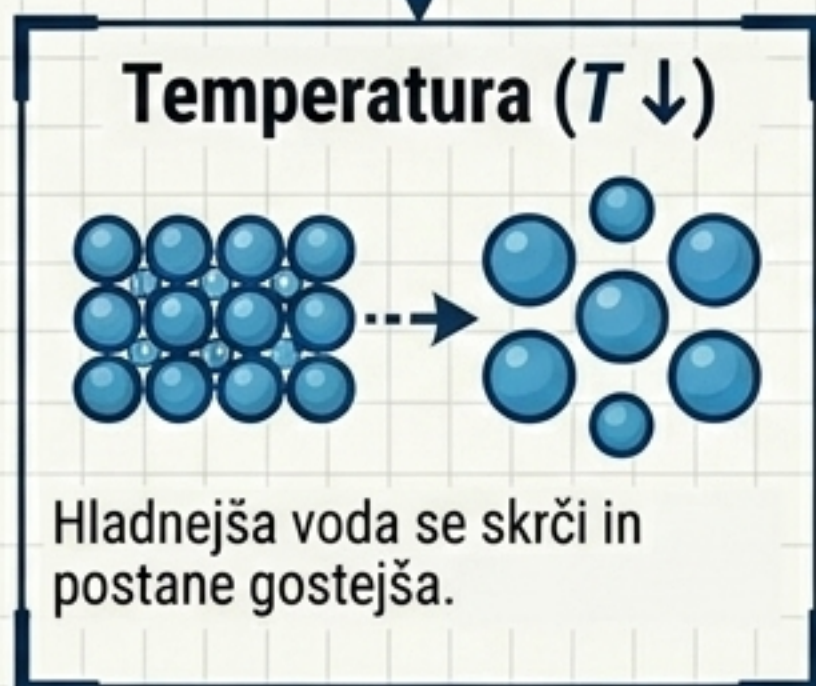


Pogon črpalke določajo gradienti gostote vode

Sistem uravnava minimalne razlike v gostoti morske vode (gradienti).

$$\rho = f(T, S)$$

(Gostota je funkcija temperature in slanosti)



Rezultat ($\rho \uparrow$)

Visoka gostota sproži vertikalni pomik (potapljanje), kar ustvarja podtlak, ki vleče nov tople tok s severa.

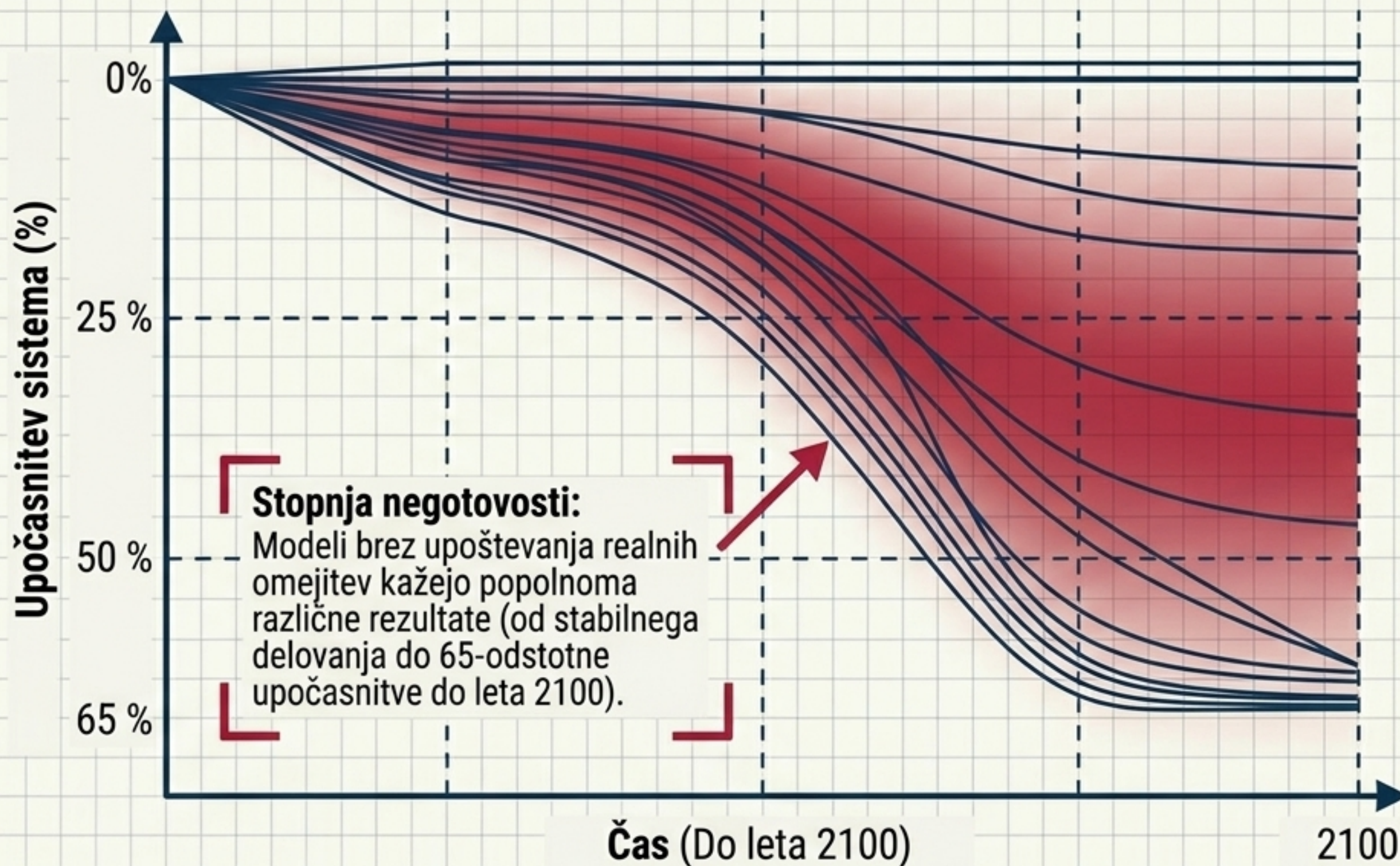
Pozitivna povratna zanka pospešuje zlom sistema



Standardni klimatski modeli so računsko razpršeni

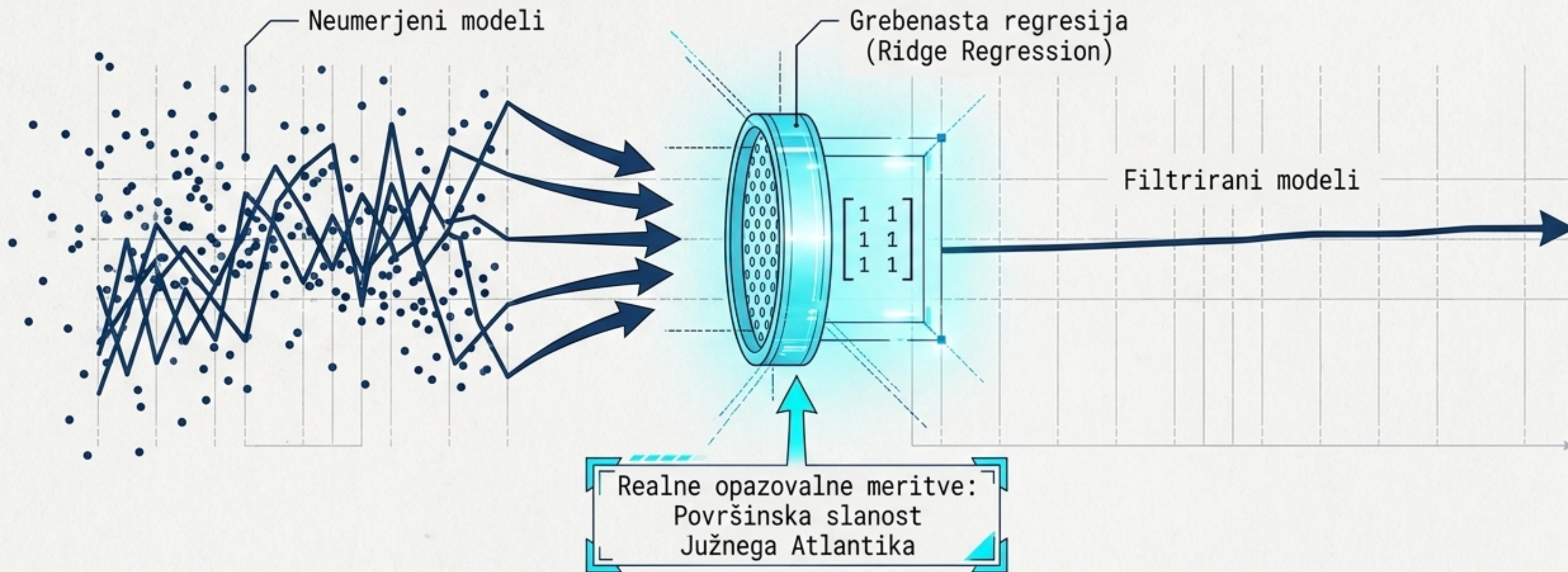
Predvidevanje odpovedi je računsko izjemno zahtevno.

Sistem vodijo subtilne spremembe v slanosti preko celotnega Atlantika, ki so podvržene naključnim naravnim variacijam.



Umerjanje modelov z grebenasto regresijo in opazovanji

Nova raziskava (objavljena v Science Advances) je zmanjšala negotovost z uporabo napredne matematične metode.

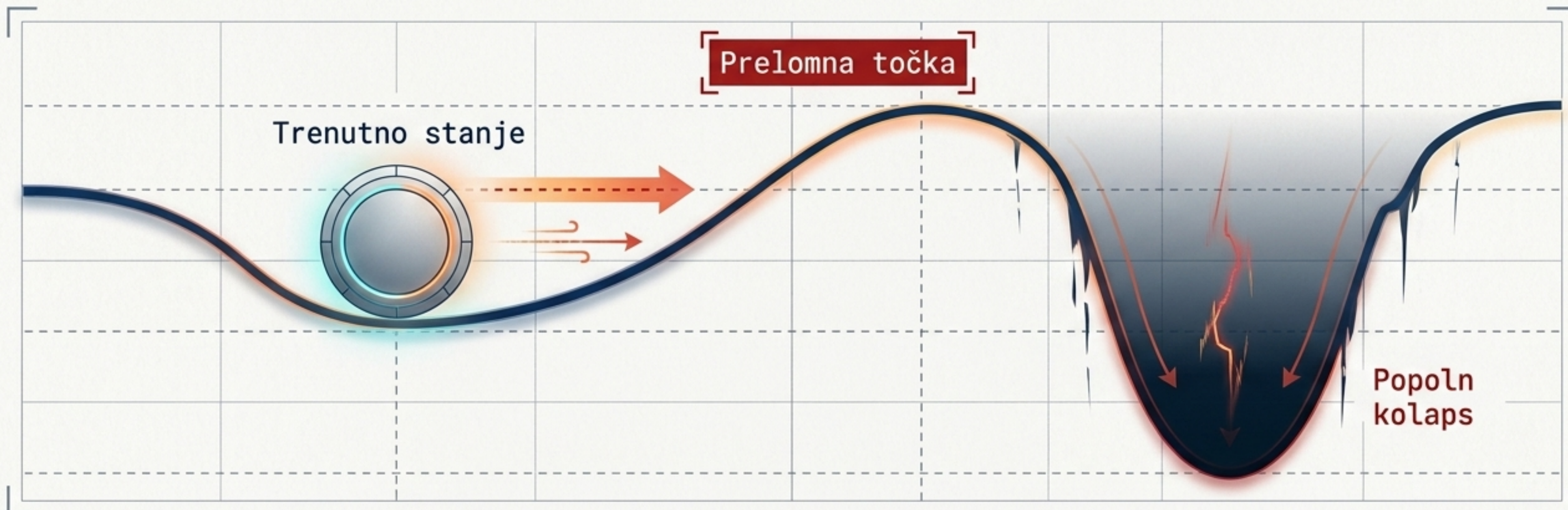


Raziskovalci so ovrednotili desetine modelov in jih filtrirali glede na to, kako natančno odražajo dejansko stanje površinske slanosti v južnem Atlantiku – ključnega indikatorja, ki ga neumerjeni modeli pogosto zgrešijo.

Podatkovno umerjeni modeli napovedujejo skorajšnjo odpoved

	Standardno modeliranje (Stari konsenz)	Opazovalno umerjeni modeli (Nova realnost)
Predvidena upočasnitev (do 2100)	Od 0 % do 65 % (Ekstremna varianca)	42 % do 58 % (Visoka zanesljivost)
Verjetnost kolapsa	Pod 5 % (Nizko tveganje)	Več kot 50 % (Visoko tveganje)
Ocena zanesljivosti (Prof. Stefan Rahmstorf)	Slaba usklajenost z opazovanji	“Pesimistični modeli so na žalost tisti najbolj realistični.”

Prehod prelomne točke je nepovraten nelinearen dogodek



“

"Ugotovili smo, da bo AMOC upadel bolj od povprečja vseh klimatskih modelov. Smo veliko bližje prelomni točki."

- Dr. Valentin Portmann

Kolaps ni linearno upadanje, temveč binarni preklop sistema. Prof. Rahmstorf opozarja, da bo prelomna točka, kjer ustavitev postane neizogibna, verjetno dosežena že do sredine tega stoletja.

Taljenje Grenlandije: Neupoštevan zunanji stresor



Trenutna napoved (42–58 % upočasnitev) je konzervativna, saj trenutni računalniški modeli ne vključujejo pospešenega dotoka sladke vode iz taljenja grenlandskega ledenega pokrova.

$\Delta\rho$ ↓
! Sladka voda drastično pospeši zniževanje gostote oceanov ($\Delta\rho$) v ključnih conah potapljanja, kar eksponentno povečuje tveganje.



“To je dodaten faktor, ki pomeni, da je realnost verjetno še slabša.” – Prof. Rahmstorf



Kaskadni učinki sistemske odpovedi na geografske regije



Kolaps sistema AMOC preide iz teorije v visoko verjetnost

Diagnoza: Neizogibnost zloma brez takojšnjega ukrepanja

Mehanika

(Fizika odpoveduje)

Termodinamični cikel je prekinjen zaradi padca gostote vode (toplota in padavine na Arktiki).

Modeli

(Matematika potrjuje)

Grebenasta regresija in opazovalni podatki dvigujejo verjetnost odpovedi iz <5 % na >50 %.

Posledice

(Infrastruktura bo uničena)

Najbolj drastične klimatske spremembe v zadnjih 100.000 letih, ki ogrožajo globalno preskrbo s hrano in obalno infrastrukturo.

Odpoved AMOC ni scenarij oddaljene prihodnosti, temveč neposredna in kritična inženirska grožnja, ki jo moramo preprečiti za vsako ceno.