

AMOC Status: **WARNING** Gulf Stream Velocity: **DECREASING** Temperature Anomaly: **+2.5°C** Time: 23:59:59 Z

Utrip oceana: Zalivski tok kot zgodnji opozorilni sistem

Kako nenadni premiki Zalivskega toka napovedujejo zlom atlantske meridionalne prevračajoče cirkulacije (AMOC).

3000
0 75000 150000 225000 Distance

50m
40m

Temperature Anomaly: **+2.5°C**

Time: 23:59:59 Z

-23.99

ATLANTIC BASIN

NORTH ATLANTIC OCEAN

AMOC: Točka preloma v klimatskem sistemu

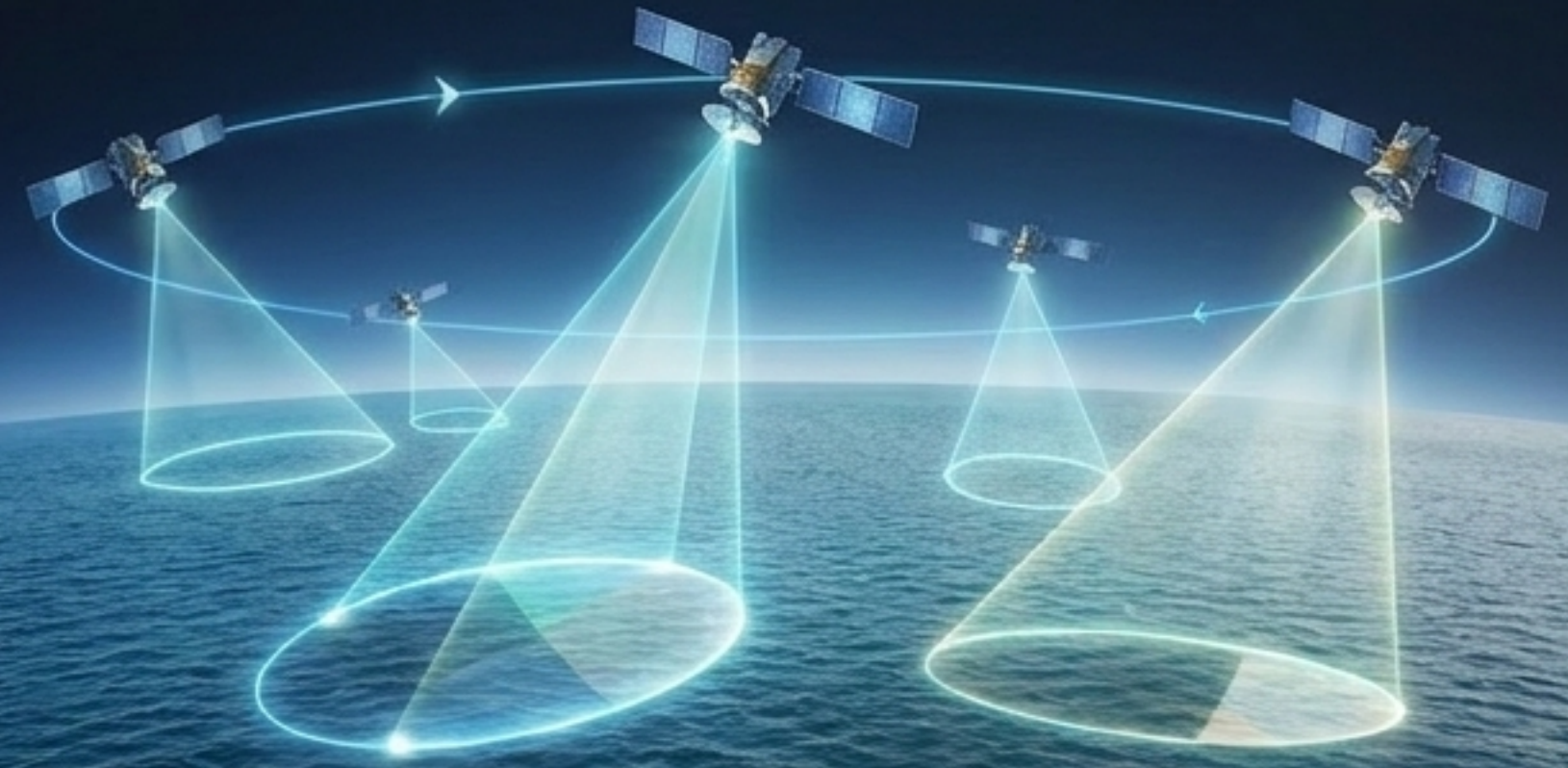


AMOC deluje kot **globalna toplotna črpalka**. Njegov zlom bi sprožil drastične podnebne premike, zlasti ekstremno ohladitev in vremenske šoke v Evropi.

Izziv opazovanja: Kako izmeriti nevidno?



Počasno, omejeno, tehnično zahtevno.

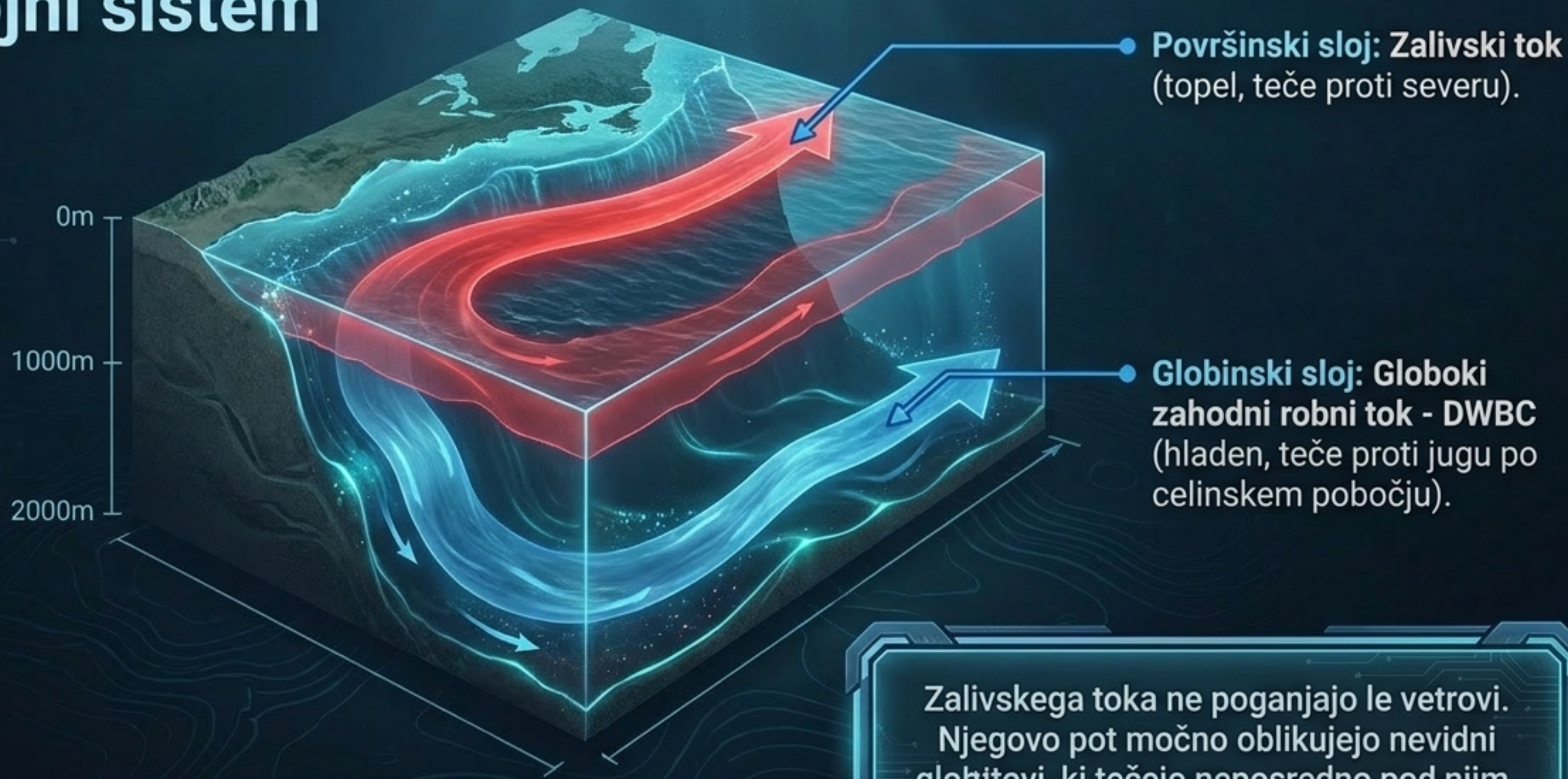


Hitro, globalno, v realnem času.

Direktno merjenje globokih tokov AMOC je zapleteno in prostorsko omejeno. Potrebujemo zanesljiv površinski indikator (proxy), ki ga lahko sateliti spremljajo neprekinjeno.

Naš najboljši kandidat? Pot Zalivskega toka.

Anatomija tokov: Dvoslojni sistem



Fizični mehanizem: Vrtinčno raztezanje pri dnu



Močan globinski tok: Ustvarja hidrodinamično oviro. Zalivski tok se odcepi južneje.



Šibek globinski tok: Ovira izgine. Zalivski tok se obrne ostro proti severu ('objame' obalo).

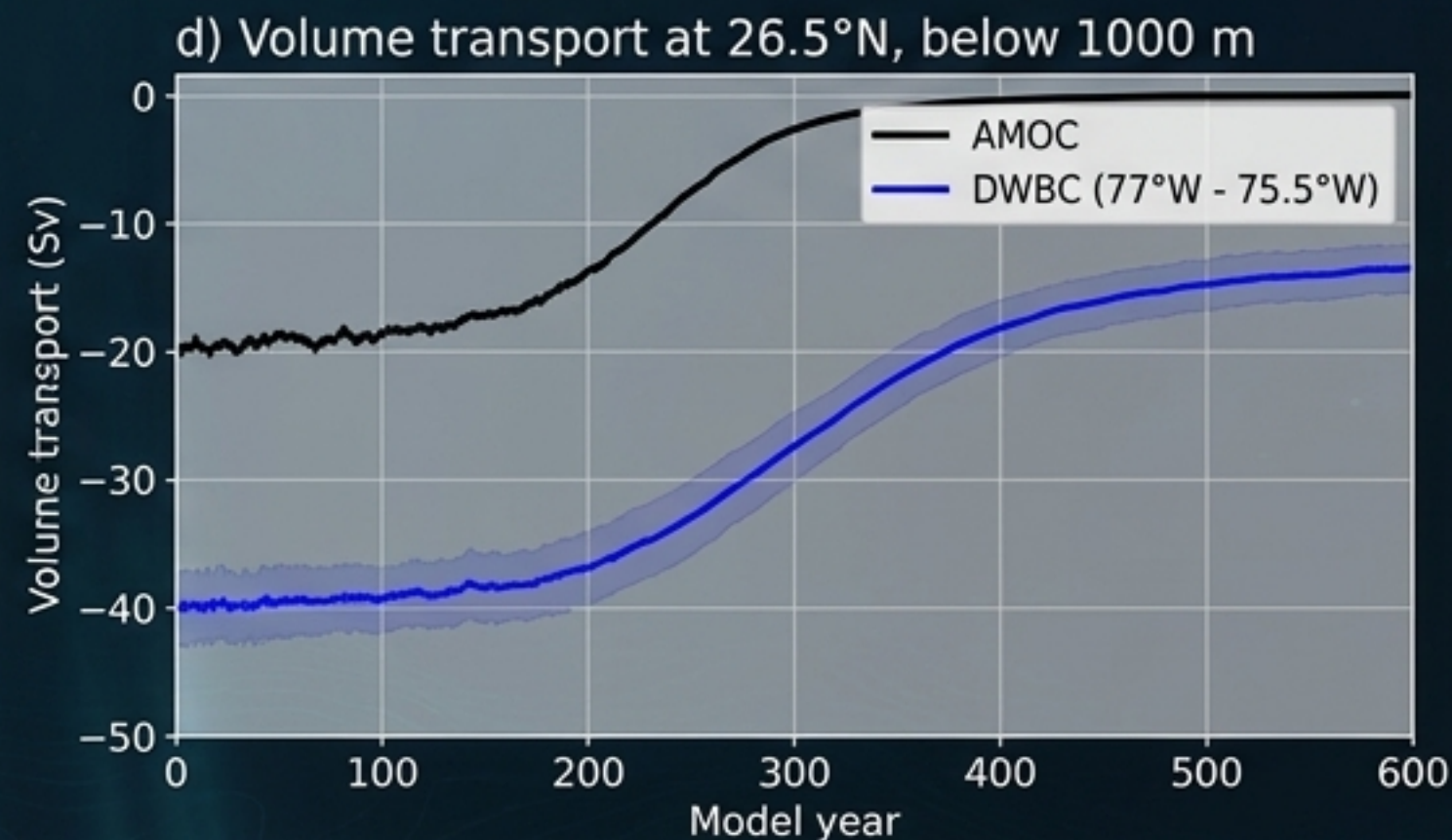
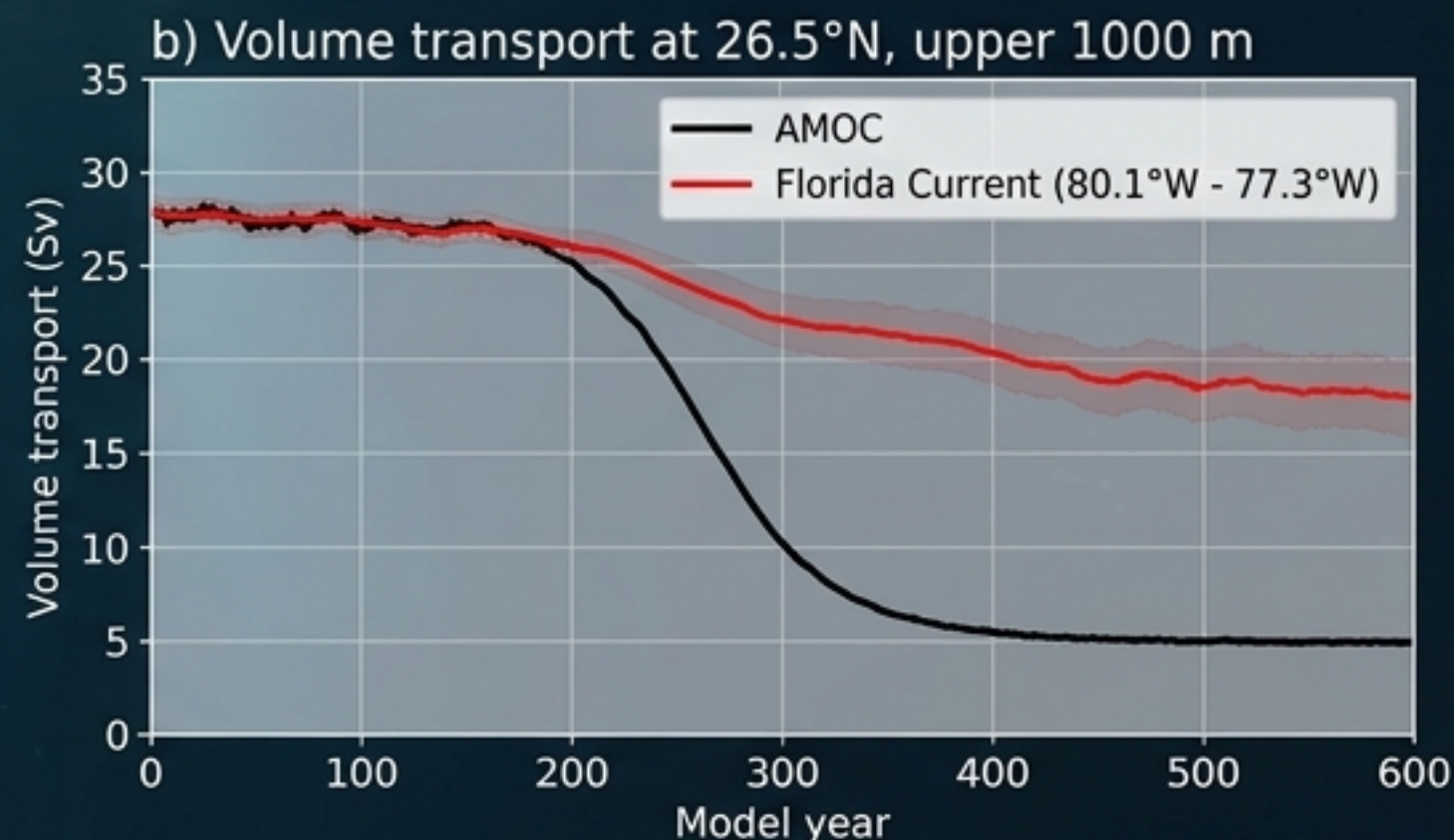
Premik Zalivskega toka na sever je **neposreden fizični odziv na slabljenje globokega toka (DWBC)**.

Eksperiment: Simulacija POP (Parallel Ocean Program)

Ločljivost: $0,1^\circ$ (Izjemno visoka ločljivost za natančno simulacijo mezo-merilnih vrtincev).

Vsiljevanje (Forcing): Počasi naraščajoč dotok sladke vode (simulacija taljenja ledu).

Model potisne sistem v kolaps. AMOC se zruši z začetnih $19,9 \text{ Sv}$ na zgolj $5,1 \text{ Sv}$. Globinski tok (DWBC) skoraj popolnoma usahne.

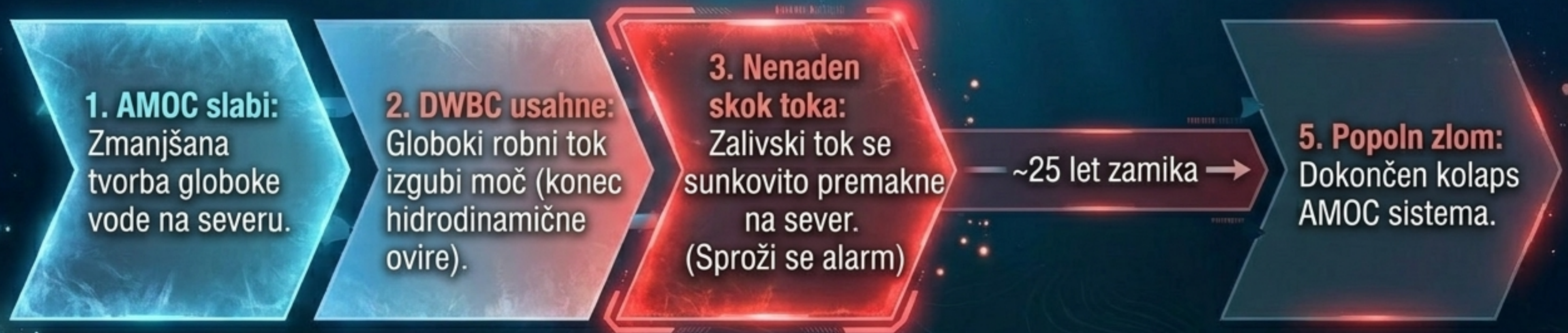


Odkritje: Nenaden premik pri 71,5° W



Dolžina 71,5° W (blizu rta Cape Hatteras) je naša kritična točka opazovanja. Tu se zgodi destabilizacija.

Časovnica kolapsa: Zgodnje opozorilo



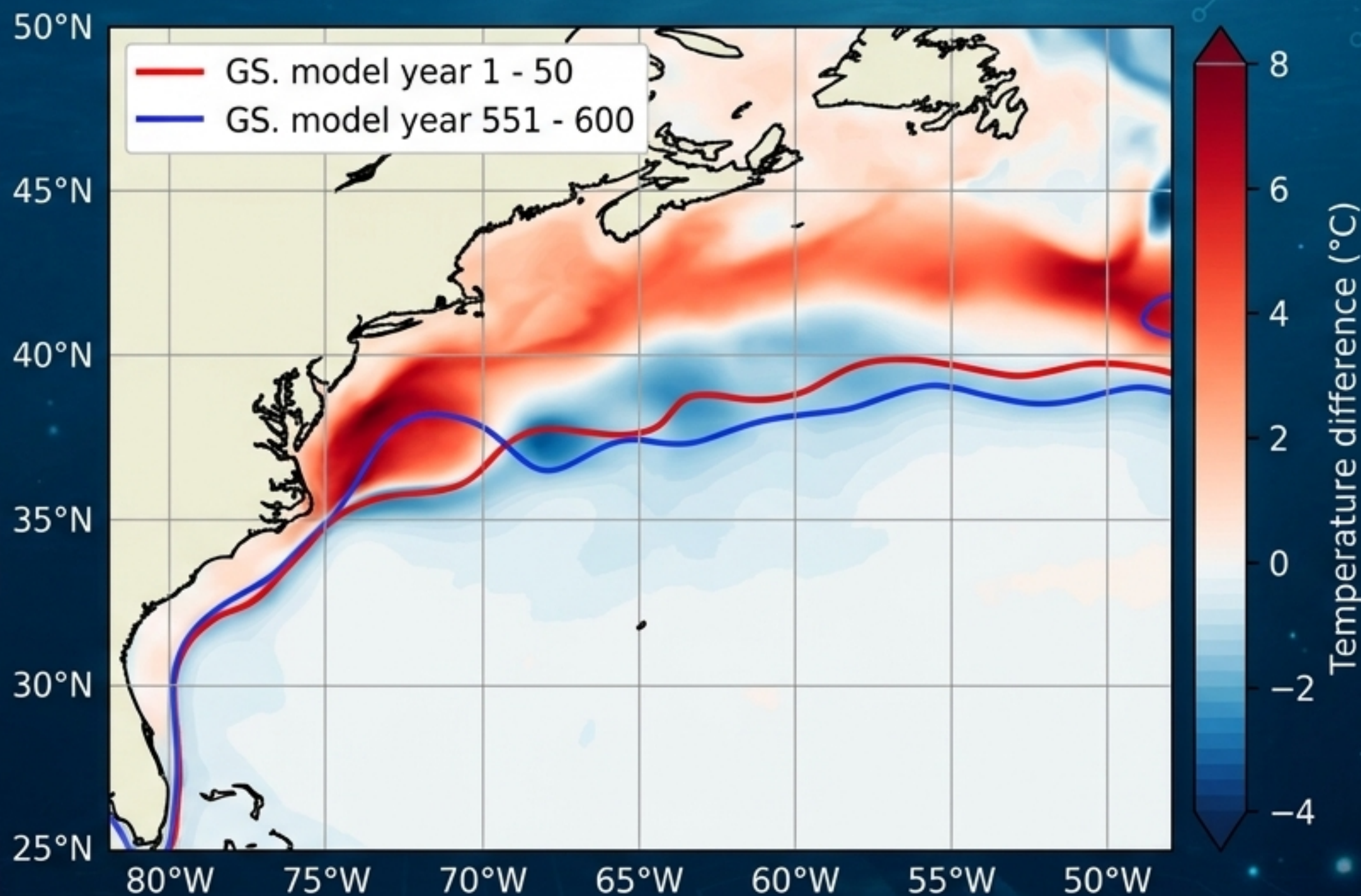
Toplotni udar: Potrditveni signal

Zlom hladnega Labradorskega toka in premik toplega Zalivskega toka povzročita dramatičen dvig temperature morja ob celinskem pobočju.

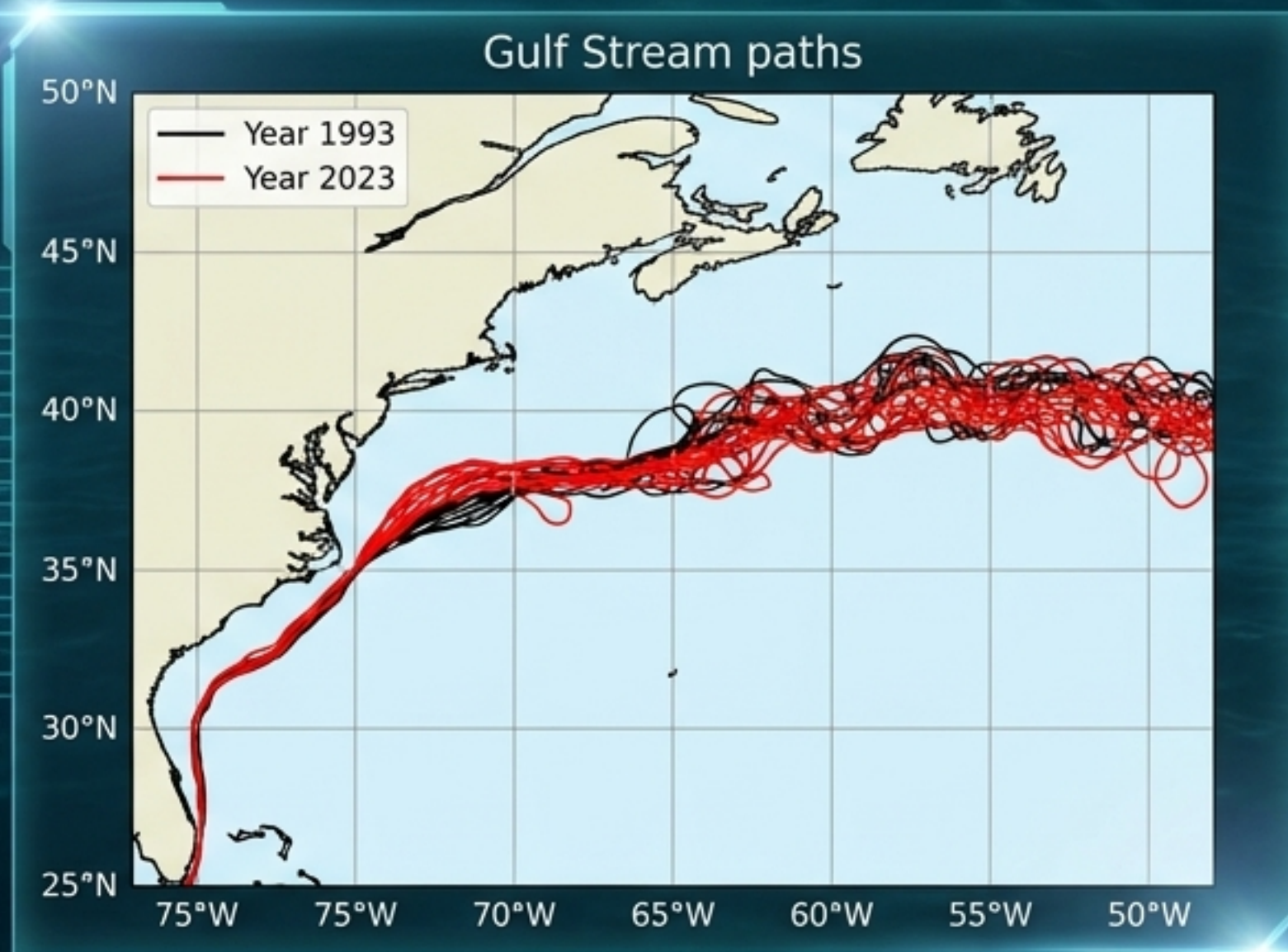
+6,5 °C

lokaliziran temperaturni skok (na globini do 250m) v istem dvoletnem obdobju.

Ta temperaturna anomalija deluje kot neodvisen dokazni 'prstni odtis' zrušitve sistema.



Preverjanje realnosti: Kaj nam kažejo sateliti?



Podatki satelitske altimetrije (AVISO)

od leta **1993** do **2024** kažejo, da model ni le teorija. Premik se že dogaja.

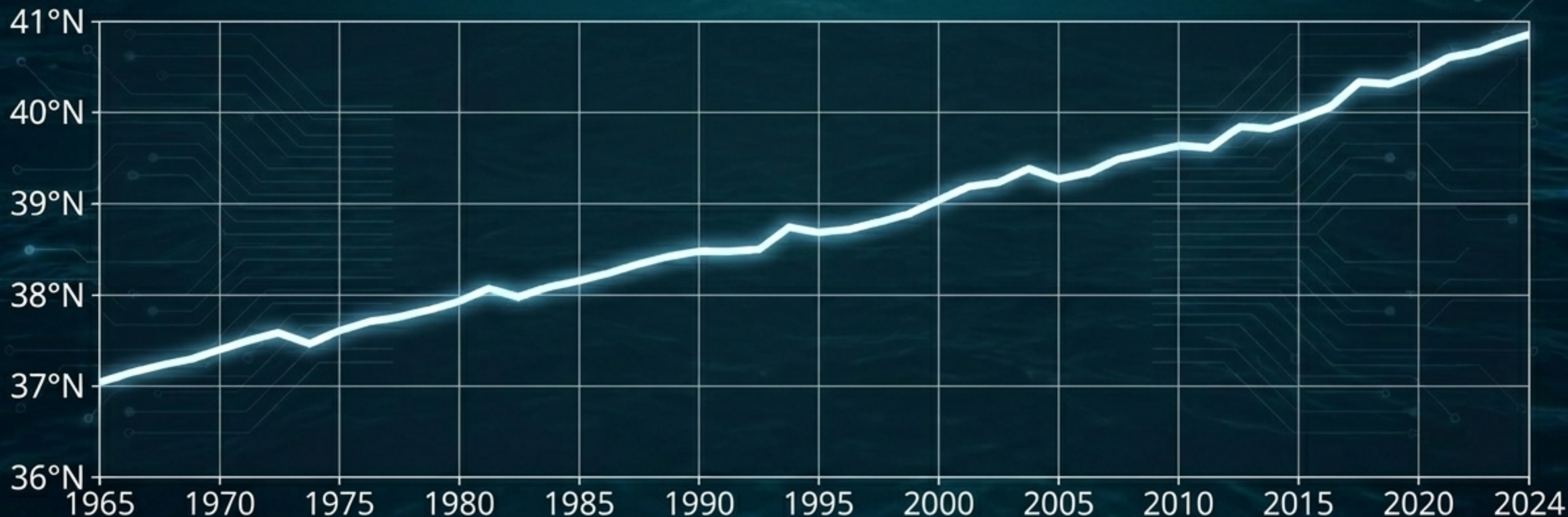
Trend pomika pri 71,5° W

Pri kritični dolžini **71,5° W** beležimo signifikanten trend pomika za **0,16° severno na desetletje**.

Kritična širina v 2022/2023

Leta 2022 in 2023 je povprečna širina toka že presegla **37,8° S** - stopnja, ki v modelu neposredno predhaja nenadnemu zlomu.

Potrditve iz globin: Zgodovinski podatki (1965–2024)



Ker lahko površinske temperature zavajajo, znanstveniki spremljajo t.i. 'severno steno' toka — globinsko izotermo 15 °C (podatkovna baza EN4.2.2).

Oboji podatki (sateliti na površini in senzorji v globini) se popolnoma ujemajo. Zalivski tok se nezadržno premika proti severu. To potrjuje slabljenje AMOC pod njim.

Sinteza podatkov: Model proti realnosti

	Napoved modela	Zapažanja na Zemlji
Premik toka pri $71,5^{\circ} W$	Pomika se proti severu.	Potrjeno ($0,16^{\circ} S /$ desetletje).
Obnašanje toka v smeri toka	Pomika se proti jugu (med $69^{\circ}W$ in $50^{\circ}W$).	Potrjeno s satelitsko altimetrijo.
Moč globokega toka (DWBC)	Upada.	Potrjeno (meritve kažejo kontinuirano slabljenje).

Trenutno stanje oceana se popolnoma ujema z začetnimi fazami simuliranega kolapsa.

Odgovor na dvome: Veter ali globoki tokovi?



Ali so za premik Zalivskega toka krive zgolj spremembe vetrov zaradi globalnega segrevanja?

V POP modelu so bili atmosferski pogoji (vetrovi) fiksirani. Vse simulirane spremembe Zalivskega toka so izključno posledica zrušitve AMOC.

Premik pri $71,5^\circ$ W je 100-odstotno indikator slabjenja AMOC, ne zgolj vremenska anomalija.

Končna diagnoza (Sistemsko opozorilo)



SISTEM DEGRADIRA

1.



AMOC že slabi. Današnje meritve potrjujejo 15-odstotni upad moči od leta 1950.

2.



Indikator je aktiven. Pomik Zalivskega toka na sever pri $71,5^\circ$ W je naš najčistejši diagnostični signal v realnem času.

3.



Naslednja faza je kritična. Če se trenutni postopni premik toka spremeni v nenaden, sunkovit skok, smo oddaljeni le nekaj desetletij od popolnega zloma AMOC.

Spremljanje utripa: Naslednji koraki



"Kanarček v rudniku" prepeva.
Naša naloga je, da ga poslušamo.

- **Vzdrževanje mreže:** Nujno nadaljevanje financiranja in spremljanja altimetrijskih satelitov in sistemov (GLORYS12V1).
- **Fokusna točka:** Pozornost svetovne znanosti mora ostati usmerjena na kordinate $71,5^\circ$ zahodno.
- **Pripravljenost:** Sistemski šoki se ne bodo zgodili v prihodnjih stoletjih, ampak morda že v našem življenju. Priprave na klimatsko adaptacijo Evrope se morajo pospešiti.