

Dan slovenskega superračunalniškega omrežja, MREŽA ZNANJA  
16. november 2023

arnes 



EURO



SLING

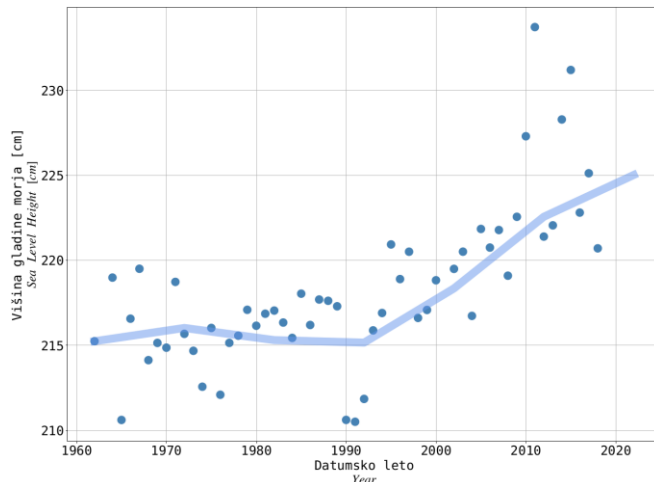
# HIDRA-T – transformerski model za napovedovanje višine morske gladine

Prezenter: Marko Rus, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko

# Napovedovanje višine morske gladine



- Gladina morja po vsem svetu narašča.
  - Od leta 1990 se gladina severnega Jadrana dviguje za  $> 4$  mm/leto.
- Natančna napoved morske gladine za nekaj dni vnaprej je ključnega pomena za zaščito obalne skupnosti.
  - Napovedovanje je pomembno za tako visoke kot nizke višine.



Povprečna višina morske gladine v Kopru  
od 1960 do 2020

Vir: Agencija Republike Slovenije za okolje



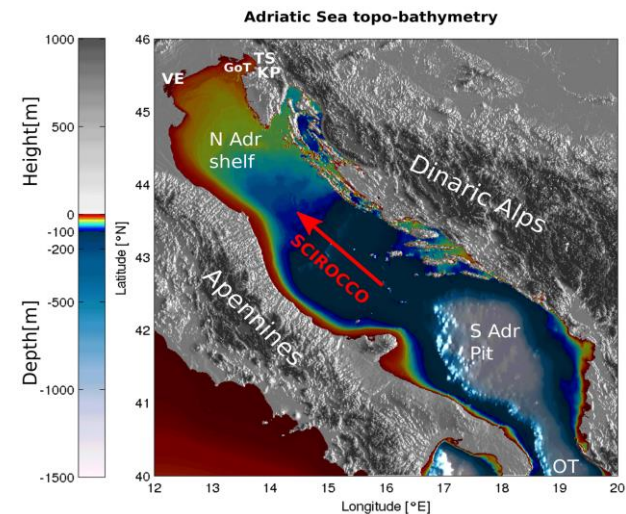
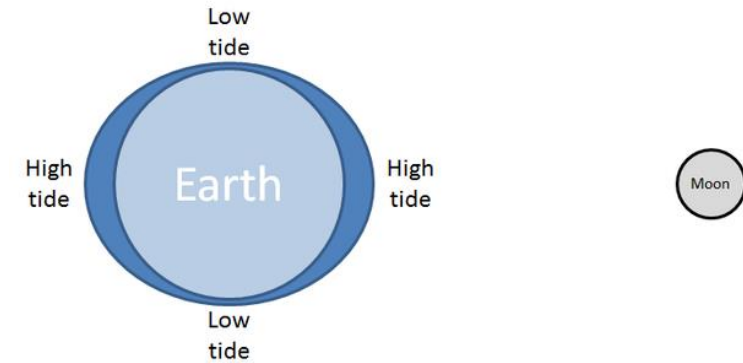
Piran, december 2008

slika: Janez Polajnar, ARSO

# Napovedovanje višine morske gladine



- Višina morske gladine je odvisna od:
  - gravitacijske sile (plimovanje),
  - atmosferske sile (tlak, veter).
- Astronomska plima je napovedana z modeli plimovanja (e.g. [1]).
- Izzivi napovedovanja višine morske gladine:
  - Nelinearna povezava med atmosferskim vplivom in višino morske gladine.
    - Nihanje celotnega Jadrana v lastni frekvenci.
  - Občutljivost na ocene faze vplivov.



[1] Codiga, Daniel L. "Unified tidal analysis and prediction using the UTide Matlab functions." (2011).

# Standardni pristop k modeliranju višine morske gladine



- Numerični oceanski modeli (NEMO [1], SCHISM [2])
  - Sestavljeni atmosferski in oceanski model.
  - Trenutno delujejo v številnih operativah.
- Modeliranje, ki temelji na fiziki, je računsko intenzivno.
  - Napoved posamezne lokacije zahteva modeliranje celotnega Sredozemlja.
  - Za oceno negotovosti je potrebnih več izračunov.
- Kompenzacija napak v vhodu je pri numeričnih modelih zahtevna.
  - Prisotne pa so tudi napake v začetnih stanjih modelov, česar pri strojnem učenju nimamo.

---

[1] Madec, Gurvan, et al. "NEMO ocean engine." (2017).

[2] Zhang, Yinglong J., et al. "Seamless cross-scale modeling with SCHISM." Ocean Modelling 102 (2016): 64-81.

# Pristopi strojnega učenja



- Pred letom 2020: Plitve popolnoma povezane mreže [1, 2], avtoregresivne nevronske mreže [3], LSTM [4]
  - Omejeno napovedno obdobje, ne izkoriščajo atmosferskih napovedi ...
- HIDRA1 [5]
  - Prvi globoki model, ki je primerljiv z numeričnimi modeli.
  - V splošnem nižji MAE kot pri numeričnih modelih, vendar višji pri poplavah.
- **HIDRA2 [6], HIDRA-T [7]**
  - Nižja napaka kot pri numeričnih modelih in HIDRA1 na vseh višinskih območjih.

[1] Pashova, Lyubka, and Silviya Popova. "Daily sea level forecast at tide gauge Burgas, Bulgaria using artificial neural networks." *Journal of sea research* 66.2 (2011): 154-161.

[2] Karimi, Sepideh, et al. "Neuro-fuzzy and neural network techniques for forecasting sea level in Darwin Harbor, Australia." *Computers & Geosciences* 52 (2013): 50-59.

[3] Hieronymus, Magnus, Jenny Hieronymus, and Fredrik Hieronymus. "On the application of machine learning techniques to regression problems in sea level studies." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 36.9 (2019): 1889-1902.

[4] Ishida, Kei, et al. "Hourly-scale coastal sea level modeling in a changing climate using long short-term memory neural network." *Science of the Total Environment* 720 (2020): 137613.

[5] Žust, Lojze, et al. "HIDRA 1.0: deep-learning-based ensemble sea level forecasting in the northern Adriatic." *Geoscientific Model Development* 14.4 (2021): 2057-2074.

[6] Rus, Marko, et al. "HIDRA2: deep-learning ensemble sea level and storm tide forecasting in the presence of seiches—the case of the northern Adriatic." *Geoscientific Model Development* 16.1 (2023): 271-288.

[7] Rus, Marko, et al. "HIDRA-T – A Transformer-Based Sea Level Forecasting Method." *International Electrotechnical and Computer Science Conference (ERK)*, 2023.



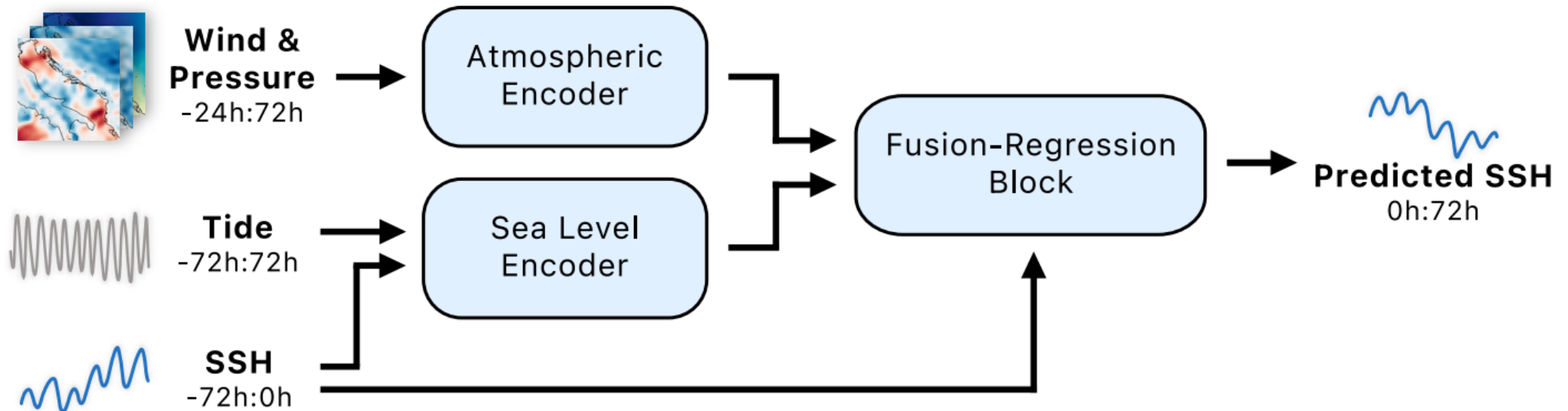


- Enkratno učenje: približno **2 uri** na enem sodobnem GPU-ju.
- Naučenih je bilo približno **1500** različic arhitektur.
  - Večje spremembe: način vložitve podatkov, način regresije.
  - Manjše: hitrost učenja, nivoji nelinearnosti na različnih mestih, stopnja izpusta.
  - Postopek učenja, učinkovita podatkovna struktura ...
- Prednost: dostop do gruče VEGA, vzporedno učenje več različic.

# Pregled arhitekture HIDRA-T



- Podatke o atmosferi in morski gladini kodira transformatorski kodirnik.



# Ocena uspešnosti modelov



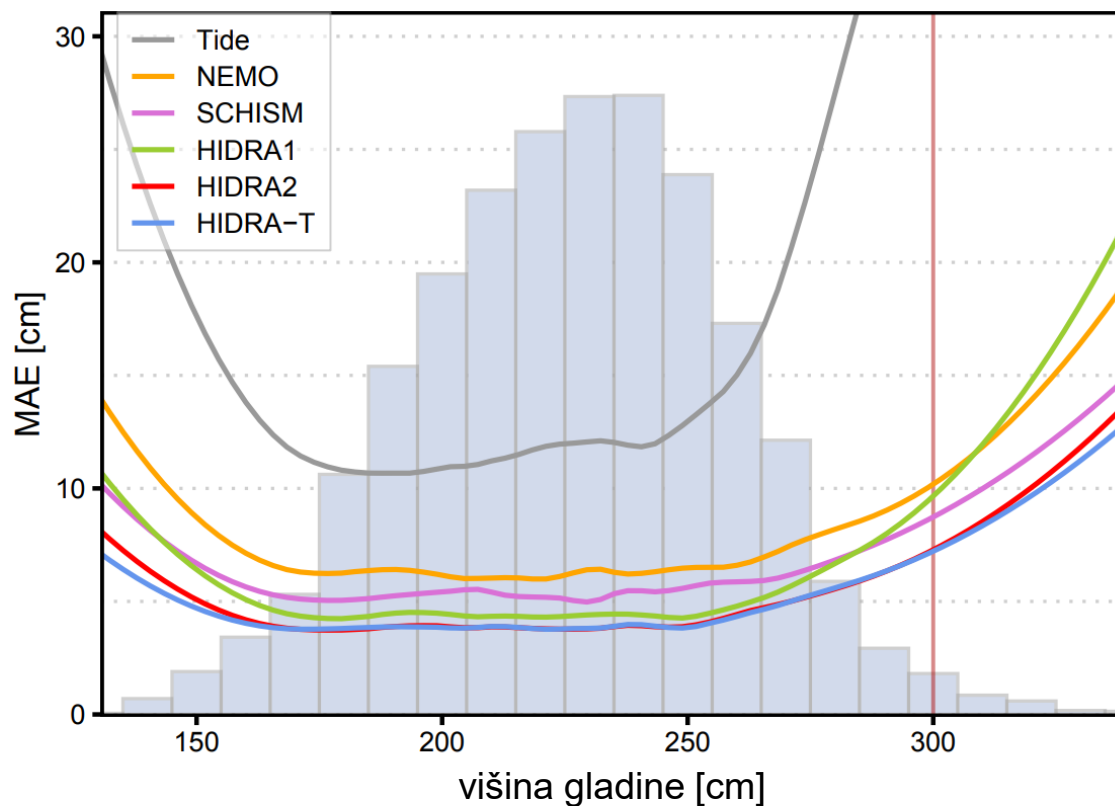
	<b>MAE</b> (splošna napoved, cm)	<b>MAE</b> (poplave, cm)	čas napovedovanja
NEMO	6.54	12.94	<b>~300 CPU ur</b>
SCHISM	5.57	10.95	-
HIDRA1	4.72	12.91	20 ms
<b>HIDRA2</b>	<b>4.13</b>	<b>9.73</b>	4 ms
<b>HIDRA-T</b>	<b>4.11</b>	<b>9.48</b>	7 ms

višina gladine v Kopru, učenje: 2006 – 2017 (0.34 % poplav), testiranje: 2018 – 2019 (1.1 % poplav).

**HIDRA2** in **HIDRA-T** imata MAE na poplavah manjši za **24 %**.

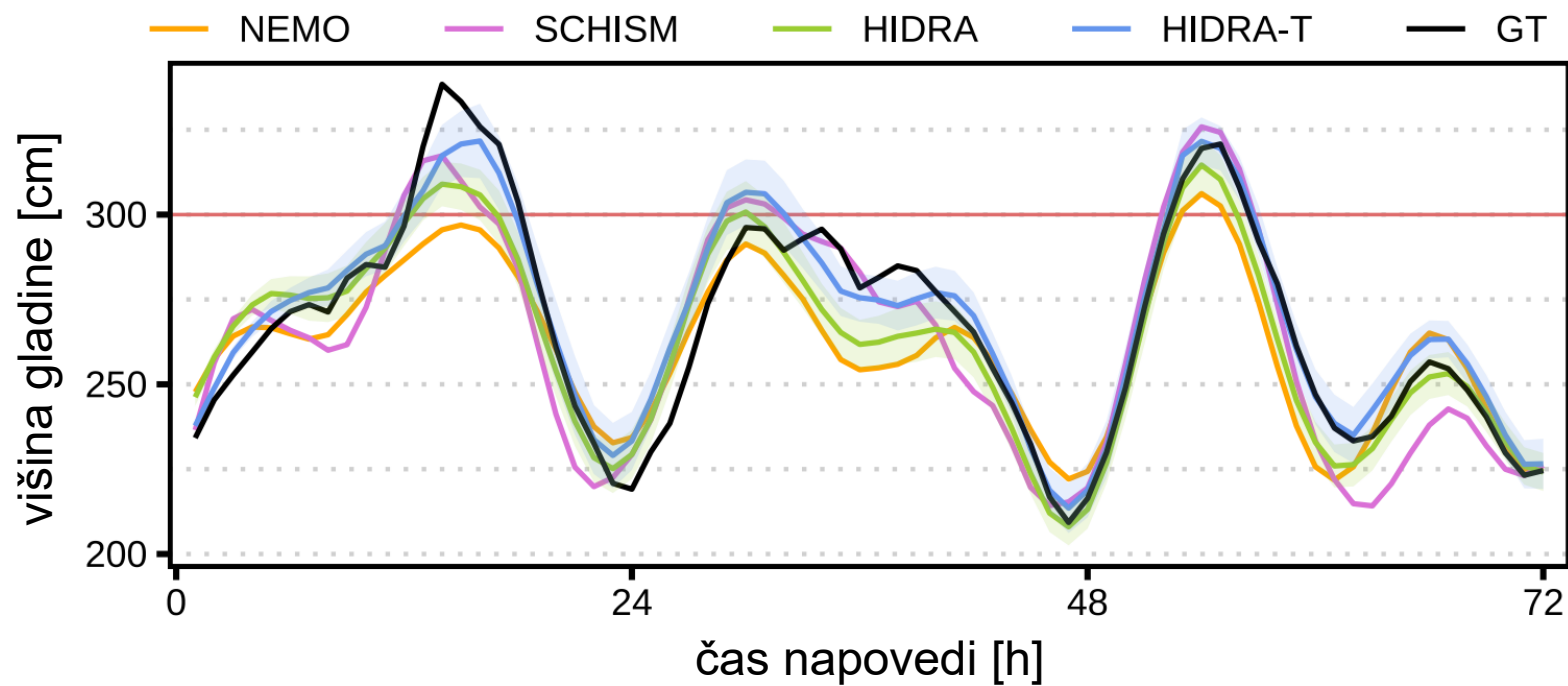


# MAE glede na vrednosti višine gladine



HIDRA-T in HIDRA2 prekašata ostale na vseh vodnih stolpcih.

# Primer poplave iz novembra 2019



# Tekoča napoved modela HIDRA2



← → ↻ lojzest.github.io/hidra-visualization/sl

Članek | [GitHub](#)

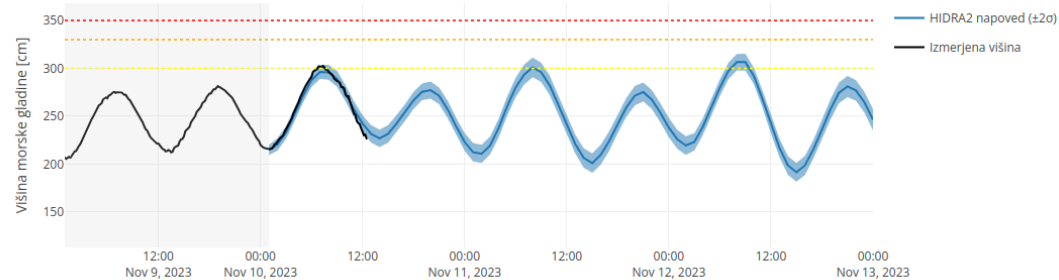
sl | en

## HIDRA | Napoved v Kopru



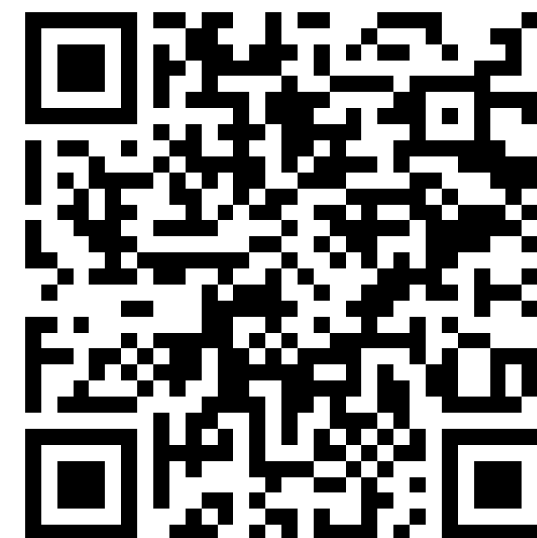
Stran prikazuje tekočo 72-urno napoved višine morske gladine modela HIDRA za lokacijo mareografske postaje v Kopru. Z drsnikom lahko izberete in pregledujete tudi starejše napovedi. 72-urna napoved je prikazana z modro, s črno so prikazane izmerjene višine morske gladine. Napoved je prikazana kot povprečje vseh 50 ansambelskih napovedi skupaj z napovedanim standardnim odklonom. Opozorilne vrednosti so označene z rumeno, oranžno in rdečo. Vsi časi so v časovnem pasu CET (UTC+1).

**Aktivni model:** [HIDRA2<sup>\[1\]</sup>](#)



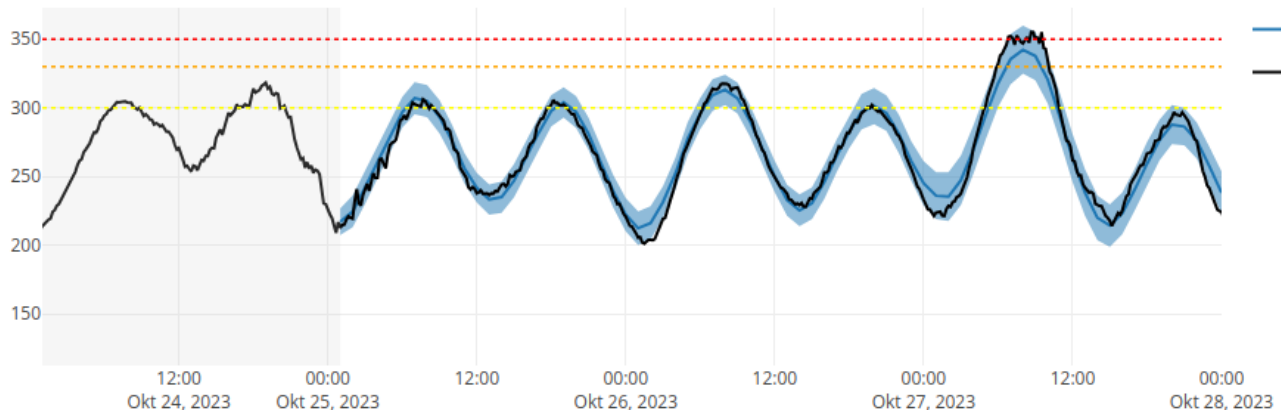
Datum napovedi: 10.11.2023 00:00

12.10.2023 00:00 16.10.2023 00:00 20.10.2023 00:00 24.10.2023 00:00 28.10.2023 00:00 01.11.2023 00:00 05.11.2023 00:00 09.11.2023 00:00

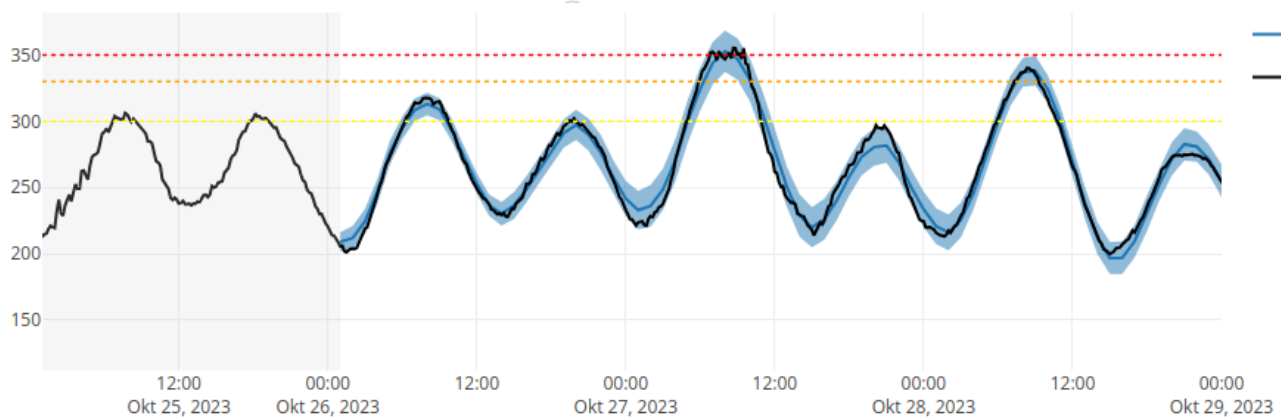


[lojzest.github.io/hidra-visualization](https://lojzest.github.io/hidra-visualization)

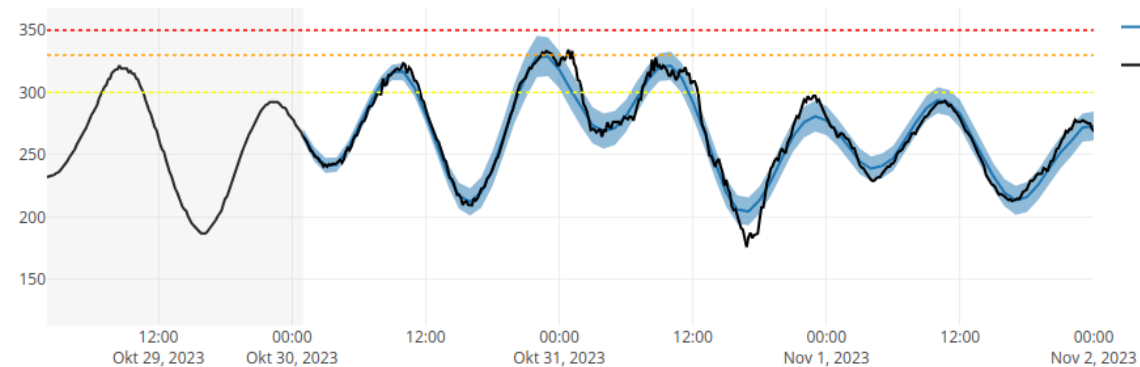
# Poplave v preteklih mesecih



Datum napovedi: 25.10.2023 00:00

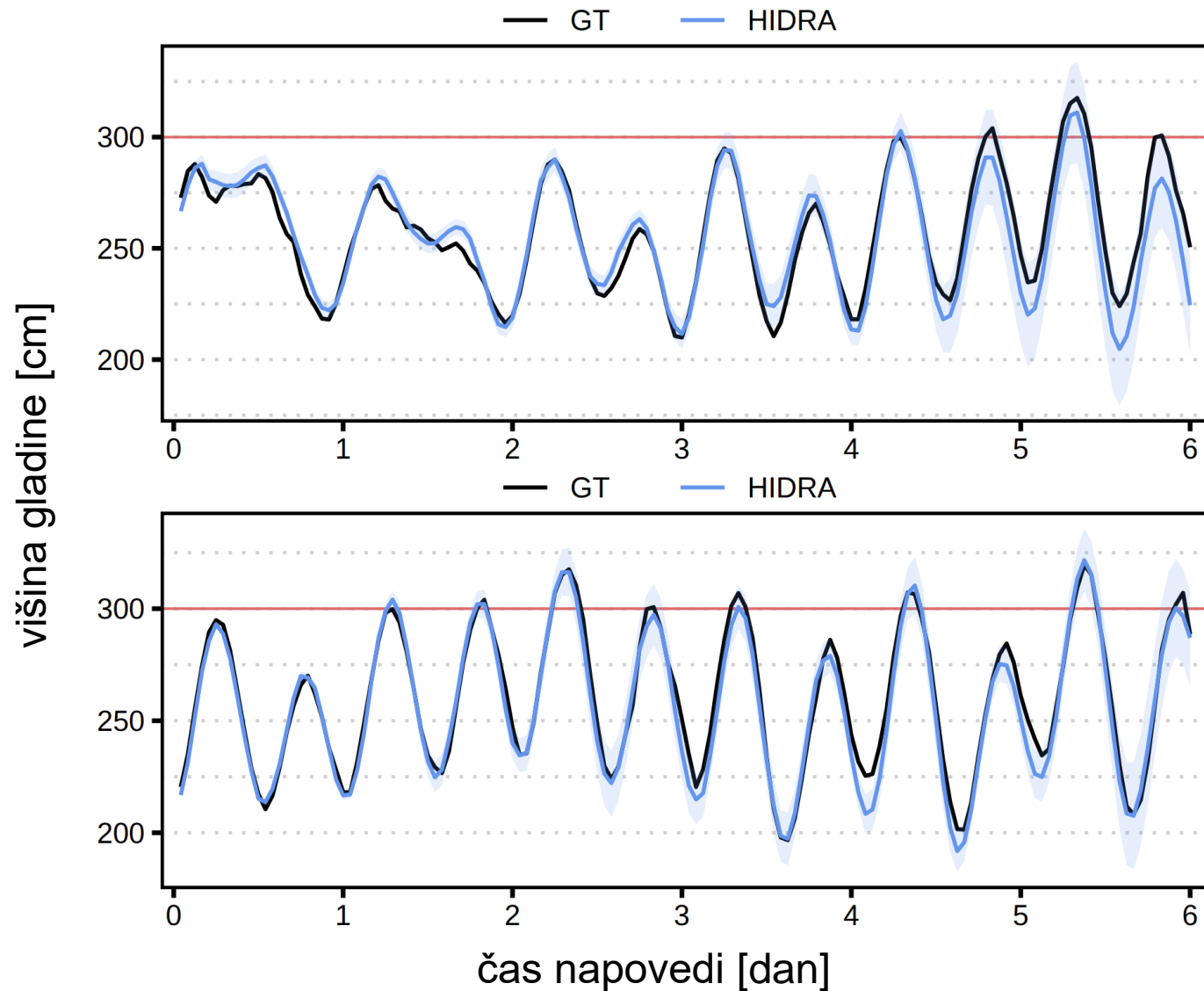


Datum napovedi: 26.10.2023 00:00



Datum napovedi: 30.10.2023 00:00

# Primer napovedi 6-dnevne različice modela



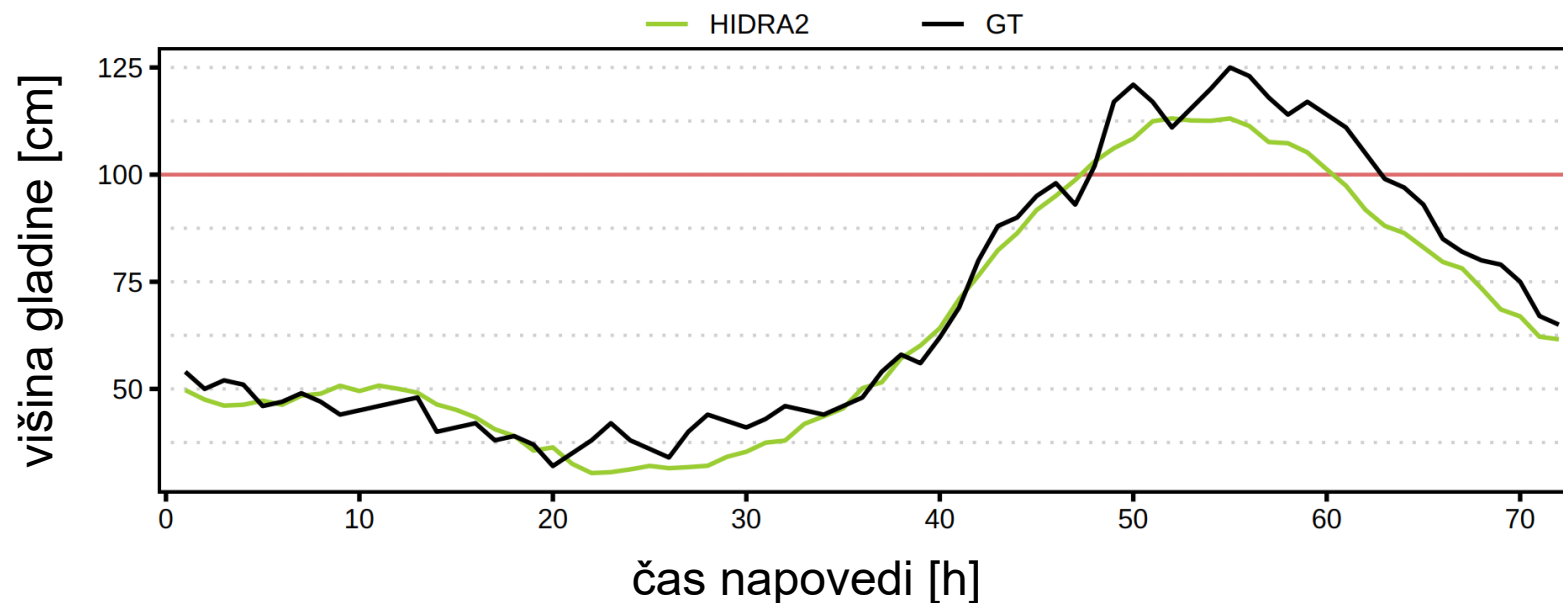
**Napoved:**  
**19. 11. 2019**

**Napoved:**  
**22. 11. 2019**

# Aplikacija v Baltskem morju



HIDRA2 v **Baltskem morju** (Pärnu, Estonija) doseže primerljive rezultate, kar nakazuje na dobro sposobnost posploševanja modela na druge domene.





- Razvoj zanesljivih sistemov za napovedovanje višine morske gladine je ključnega pomena v dobi povečane variabilnosti vremena.
- Numerični modeli oceanov
  - so računsko zahtevni,
  - zanašajo se na prostorsko zgoščene podatke o atmosferski in morski površini, ki vsebujejo napake, ki jih je težko kompenzirati v numeričnih modelih.
- Predlagamo dve novi globoki arhitekturi HIDRA2 in HIDRA-T.
  - Milijonkrat hitrejši od numeričnih modelov (vendar le za eno točko).
  - Izboljšata MAE za vse višine morske gladine.
  - Evalvacija kaže na dobro posplošitev na redke dogodke.





# Hvala!

Projekt EuroCC 2 financira Evropska unija. Financiran je s sredstvi Skupnega evropskega podjetja za visokozmogljivo računalništvo (EuroHPC JU) ter Nemčije, Bolgarije, Avstrije, Hrvaške, Cipra, Češke republike, Danske, Estonije, Finske, Grčije, Madžarske, Irske, Italije, Litve, Latvije, Poljske, Portugalske, Romunije, Slovenije, Španije, Švedske, Francije, Nizozemske, Belgije, Luksemburga, Slovaške, Norveške, Turčije, Republike Severne Makedonije, Islandije, Črne gore in Srbije v okviru sporazuma o dodelitvi sredstev št. 101101903.



**Funded by  
the European Union**