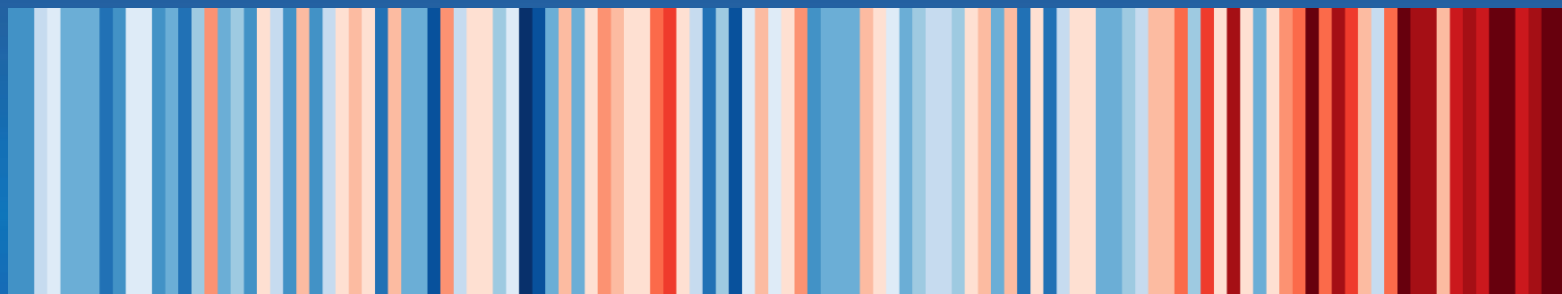




# Suvremena prognoza vremena i HPC - u klimi koja se mijenja -



DR.SC. KRISTIAN HORVATH

DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD

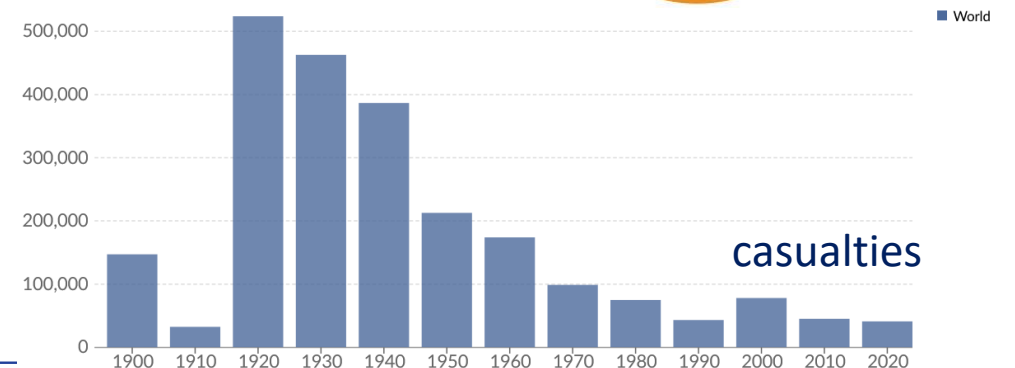
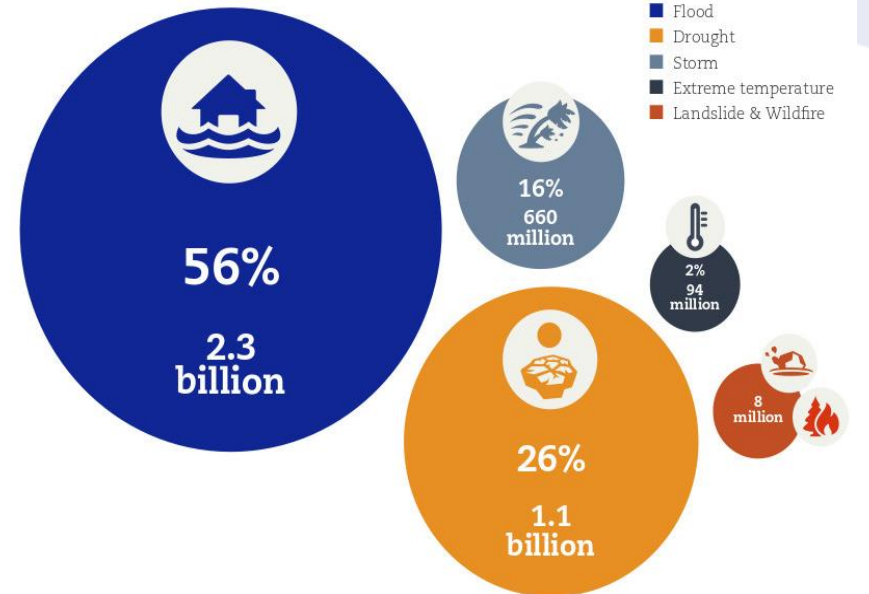


# Vremenski i klimatski ekstremi i njihove posljedice: utjecaj na ljudsku populaciju



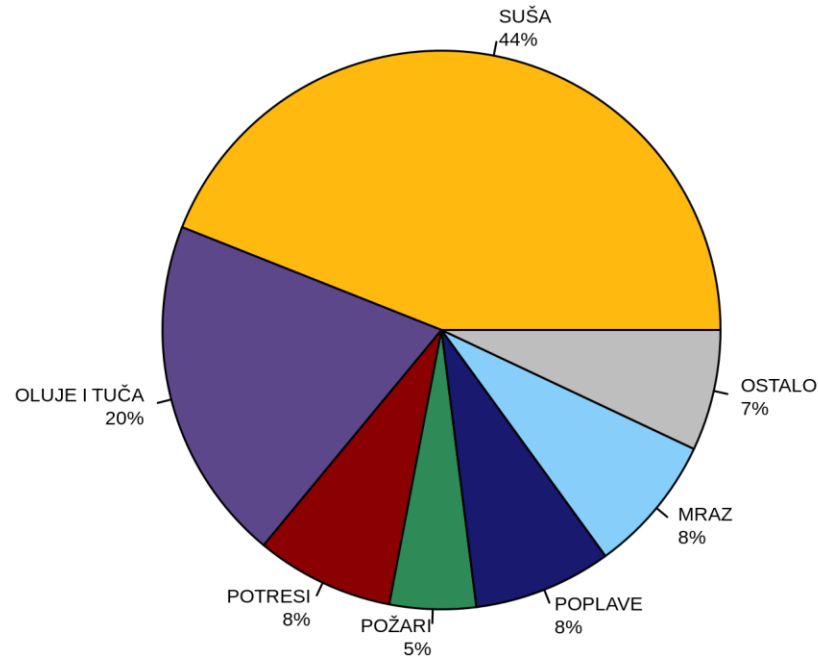
Broj ljudi na koje utječu vremenski i klimatski ekstremi 1995-2015 (gore), broj žrtava (dolje).

Izvori: Wallemacq, P., Guha-Sapir, D., McClean, D., CRED, and UNISDR, 2015, p. 13  
Our World in Data based on EM-DAT, CRED.

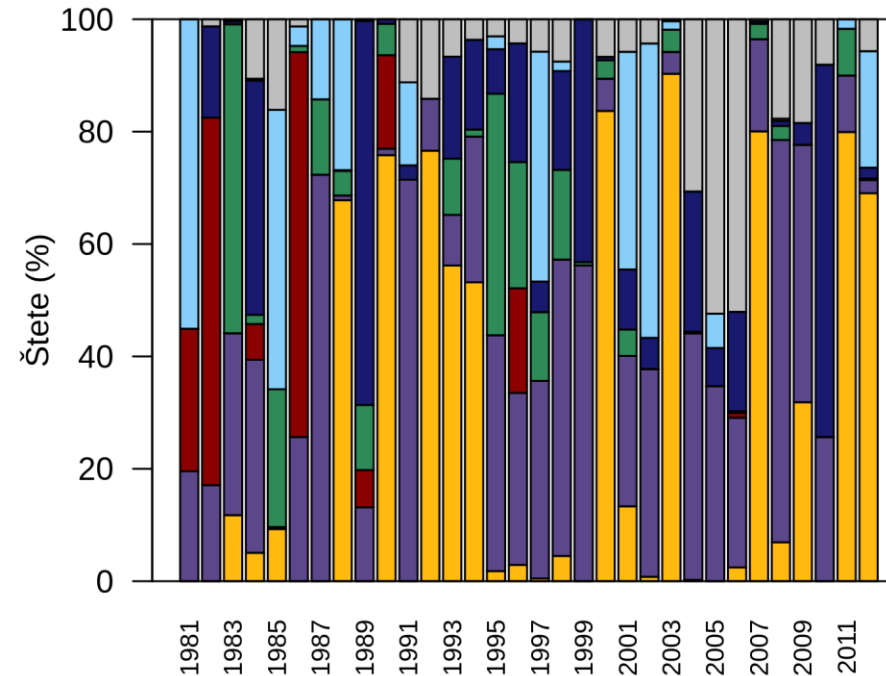


# Ekonomске štete uzrokovane prirodnim katastrofama u Hrvatskoj

Štete prouzročene prirodnim nepogodama (1981. - 2012.)



Izvor podataka: Ministarstvo financija  
Obrada: Državni hidrometeorološki zavod



Hrvatska je jedna od vodećih zemelja EU po udjelu šteta u BND-u

Najveće štete: poljoprivreda (gubitak usjeva) i građevinarstvo (štete na objektima)

# Upravljanje vremenskim i klimatskim ekstremima

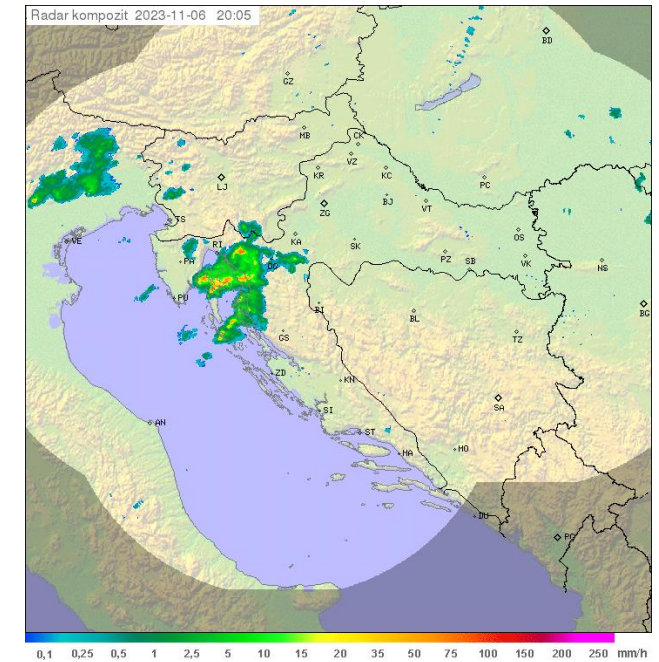
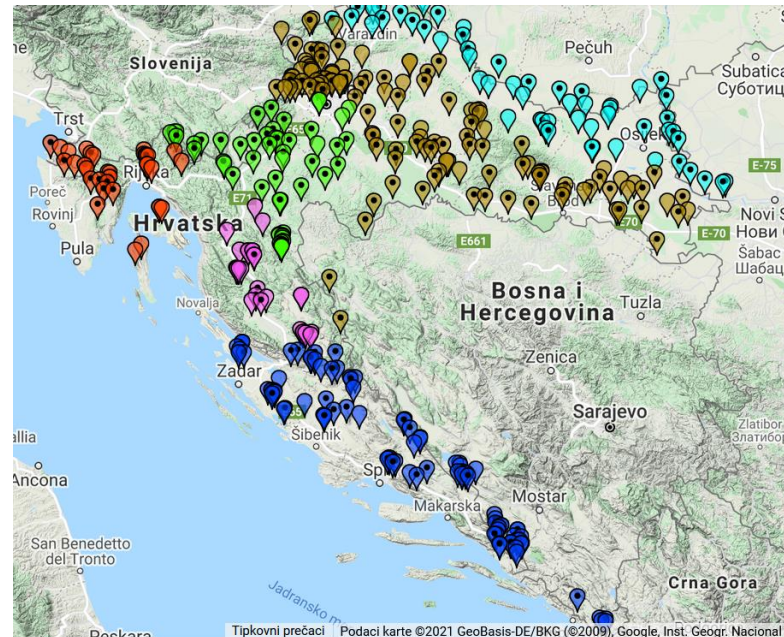
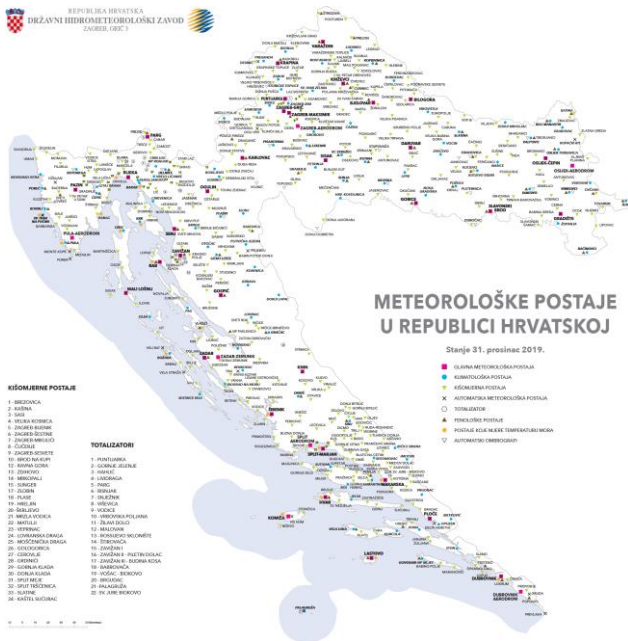




# Motriteljske mreže DHMZ-a

Meteorološka mreža (prizemna, daljinska, visinska,...)  
Hidrološka mreža (površinske, podvodne)  
Mreža za praćenje kvalitete zraka

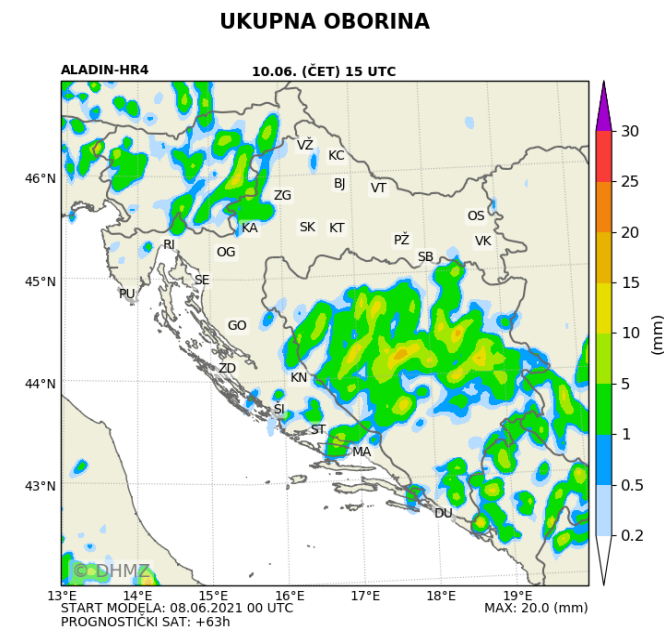
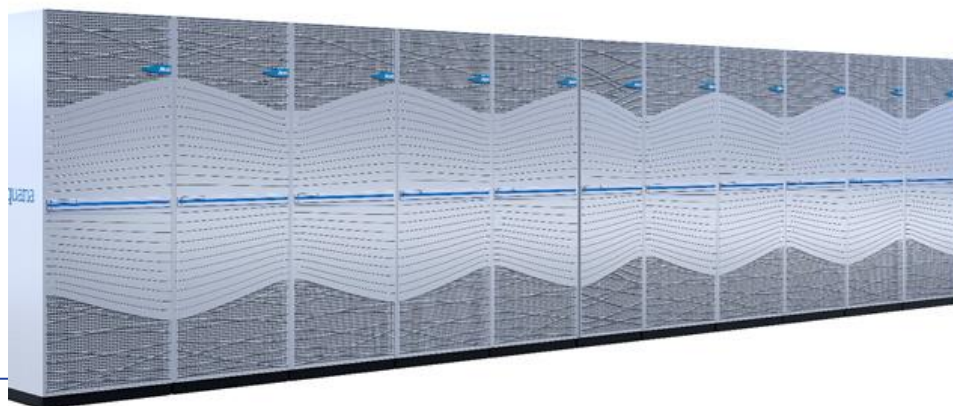
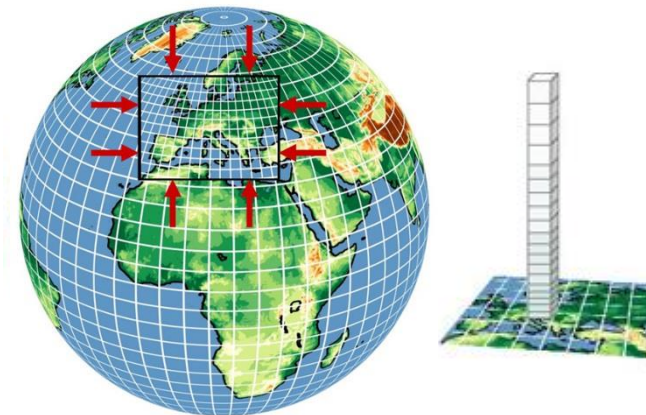
Pri kraju  
Najveća modernizacija u povijesti  
DHMZ-a



[https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze\\_postaja&param=pmm](https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze_postaja&param=pmm)

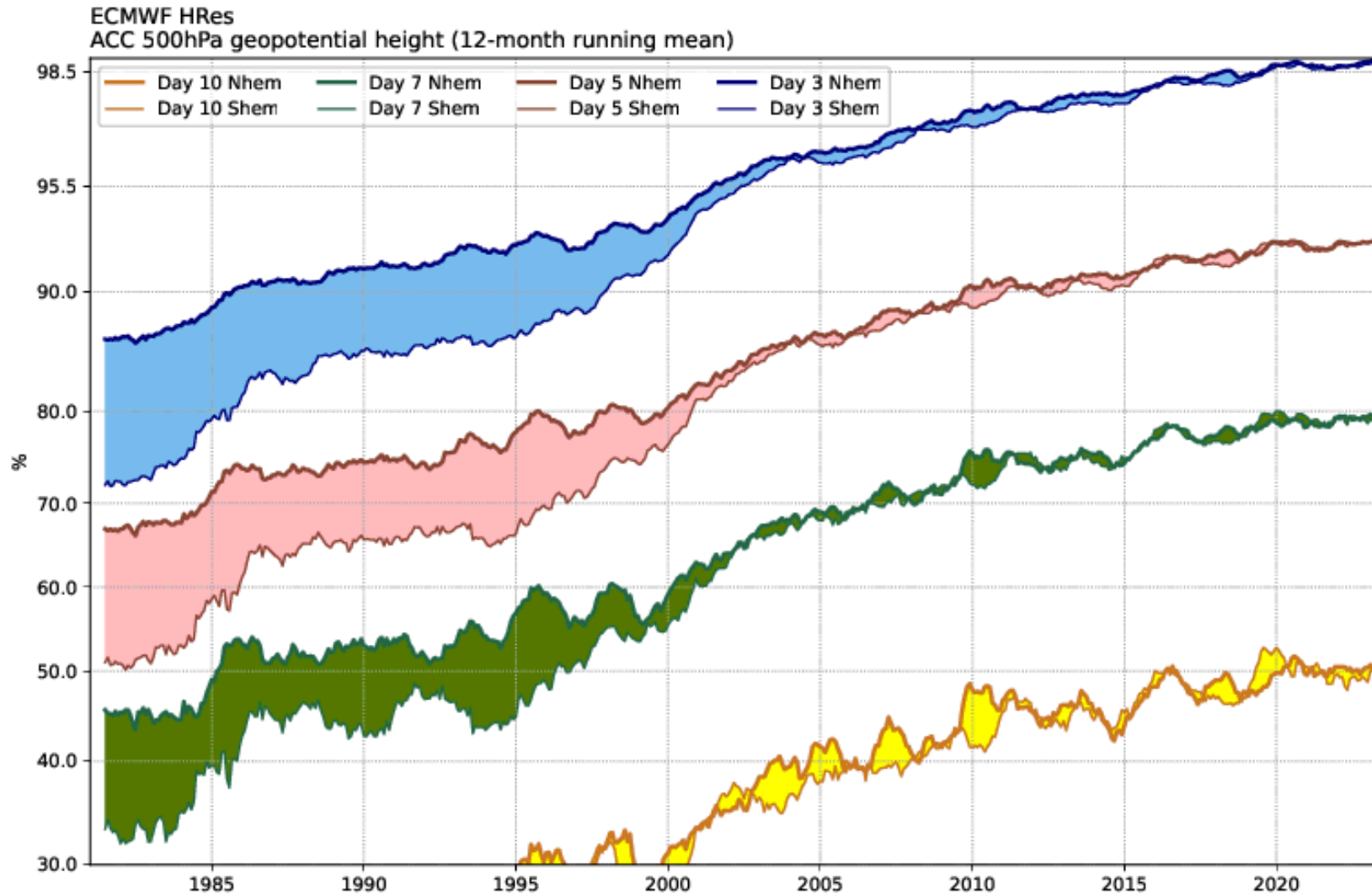
# Modeli za prognozu vremena i klime

- Motriteljske mreže: neizostavne za rad i s modelima
- Model za prognozu vremena (klimatski model) je alati/softver za izradu vremenskih prognoza (klimatskih projekcija) na mreži točaka → zbog prirode i dimenzije problema potreban HPC
- DHMZ je partner ECMWF-u za „globalno” modeliranje
- Glavni DHMZ „in-house” modeli su regionalni, započevši u 1999:
  - ALADIN-HR za prognoze vremena (RegCM za klimatske projekcije)
- Modeli se rješavaju na mreži točaka i zahtijevaju HPC





# Uspješnosti modela (primjer prognoze vremena)



# HPC na DHMZ-u (prvo superračunalo 1999.)

Od 2013-2021

Naziv	Vihor
Poslužitelj	SGI UV2000
Procesor	48 Intel E5, 6-jezgreni, 2.9 GHz
<b>Ukupno jezgri</b>	<b>288</b>
<b>Vršni kapacitet</b>	<b>~6 TFI</b>
<b>Sistemska memorija</b>	<b>605 GB</b>
<b>Raspoloživost diska</b>	<b>7.1 Tb</b>
Operativni sustav	SUSE Enterprise Server 11 SP2
Hlađenje	zračno
Napajanje	Dvostruko (mreža + autonomno)

Od 2021-

Naziv	Neverin
Poslužitelj	BullSequana XH2000
Procesor	32x6 AMD EPYC Rome, 64-jezgreni, 2.9 GHz
<b>Ukupno jezgri</b>	<b>12.288</b>
<b>Vršni kapacitet</b>	<b>~373 TFI</b>
<b>Sistemska memorija</b>	<b>24 TB</b>
<b>Raspoloživost diska</b>	<b>250 Tb</b>
Operativni sustav	Red Hat enterprise Linux
Hlađenje	Direct Liquid Cooling – DLC
Napajanje	Dvostruko (mreža + autonomno)

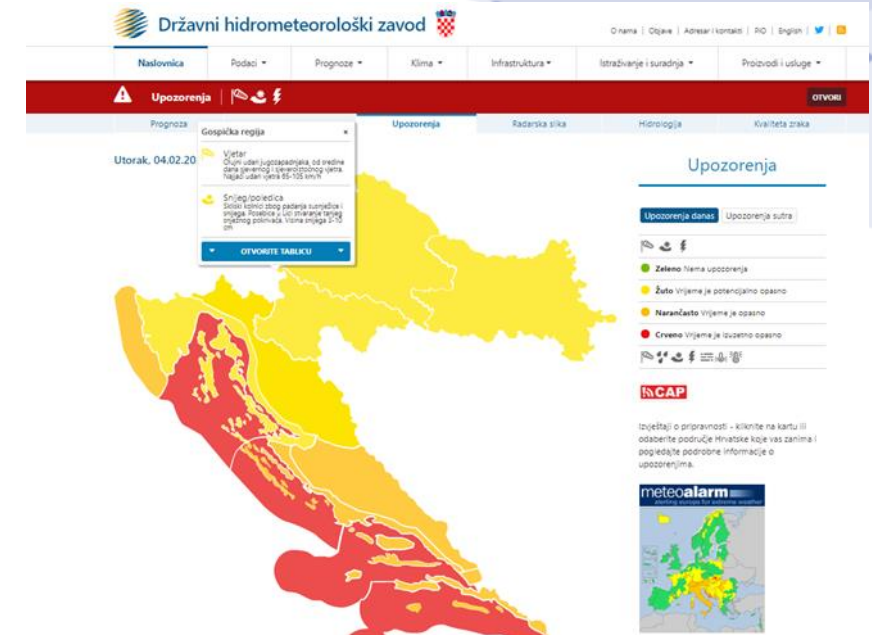
ECMWF 2022.

Naziv	ECMWF
Poslužitelj	BullSequana XH2000
Procesor	32x6 AMD EPYC Rome, 64-jezgreni, 2.25 GHz
<b>Ukupno jezgri</b>	<b>1,040,384</b>
<b>Vršni kapacitet</b>	<b>~30 PFI</b>
<b>Sistemska memorija</b>	<b>~2.1PB</b>
<b>Raspoloživost diska</b>	<b>450 Pb</b>
Operativni sustav	RedHat Linux RHEL 7
Hlađenje	Direct Liquid Cooling – DLC
Napajanje	Dvostruko (mreža + autonomno)

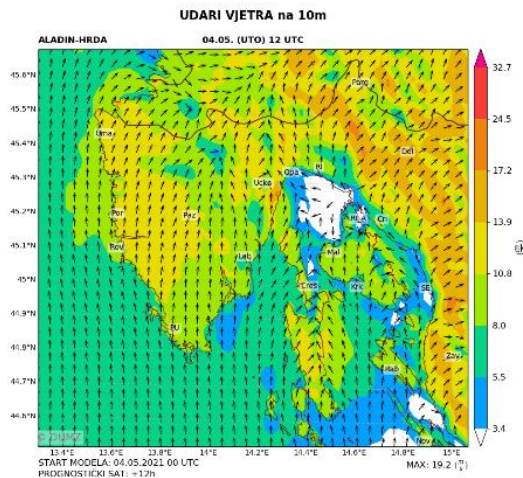
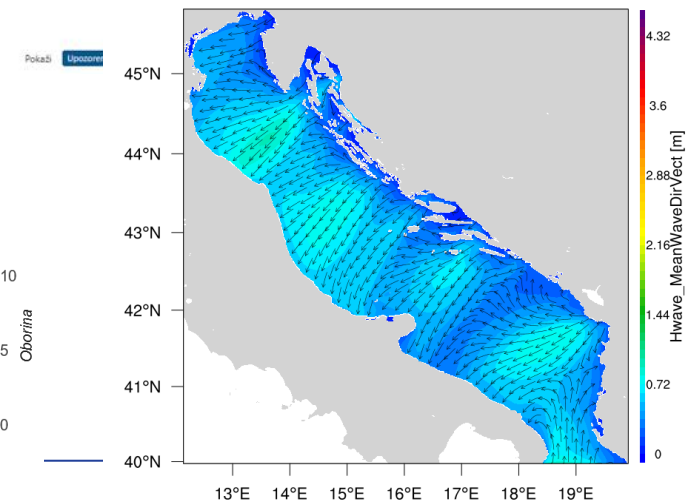


# ALADIN-HR prognoze 3 dana

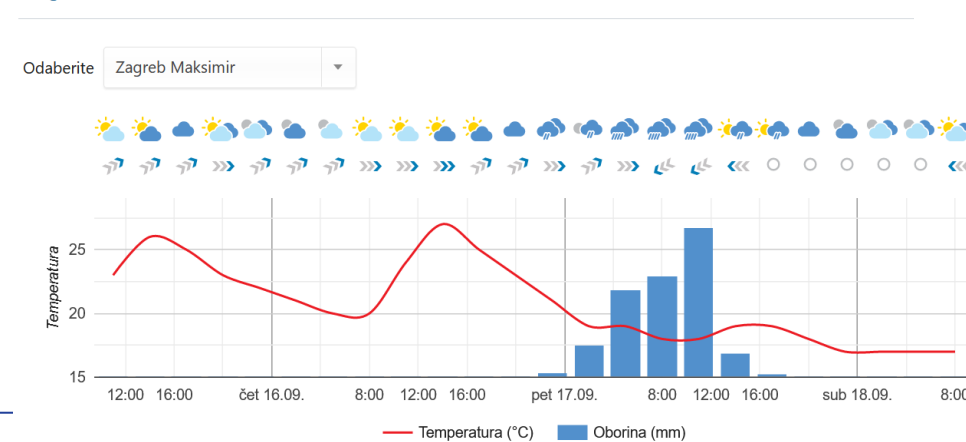
- ALADIN-HR – nacionalni meteorološki prognostički sustav (uključuje i prognozu valova), za:
  - Sustav upozoravanja DHMZ-a (prema RCZ)
  - Nacionalni plan civilne zaštite (nukl. sigurnost,..)
  - Gospodarstvo ovisno o vremenu (poljoprivreda, energetika, promet, vodno gospodarstvo,
  - Opću javnost
  - Formati: GRIB, NETCDF, json, xml, csv, uskoro i API



Significant wave height + mean wave direction at 2016-10-27 19:00:00

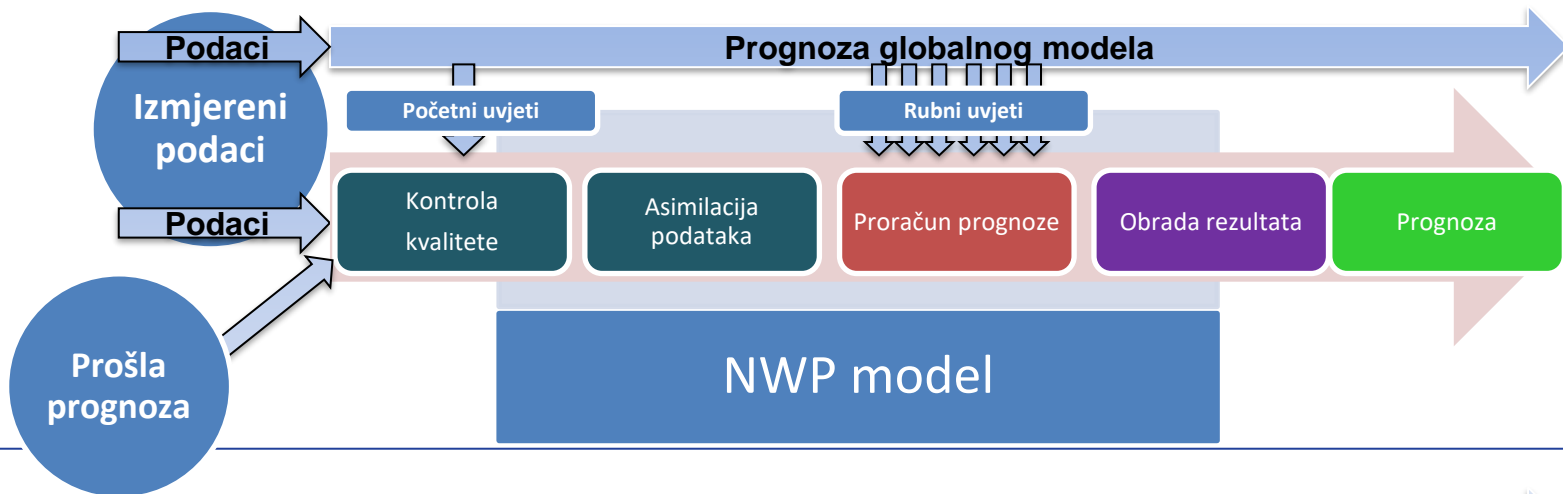
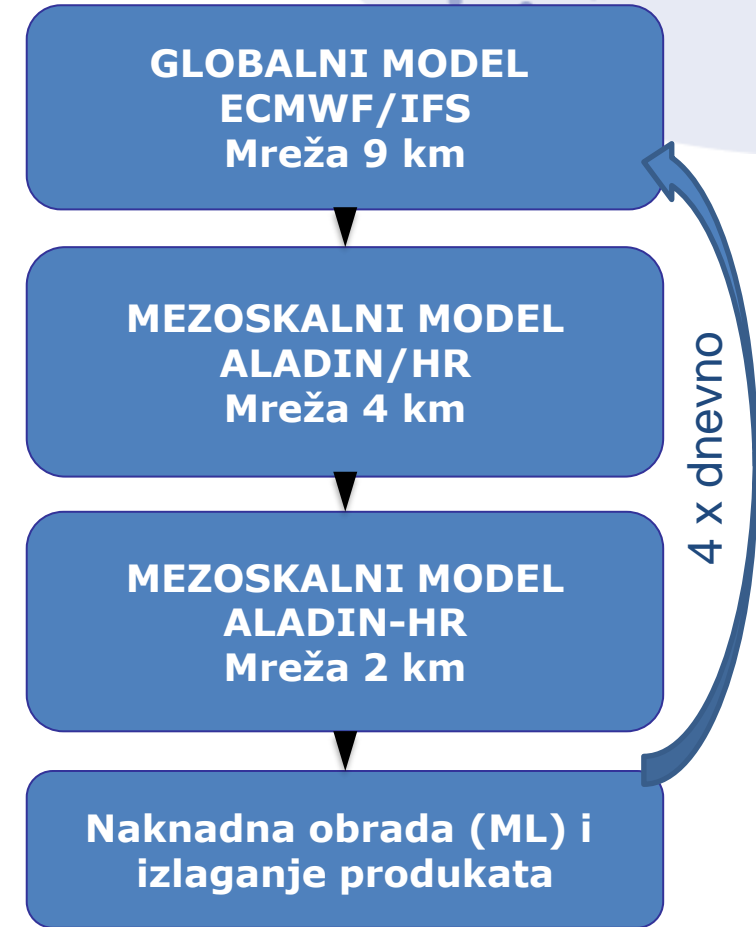


Prognoza 3 dana za Hrvatsku



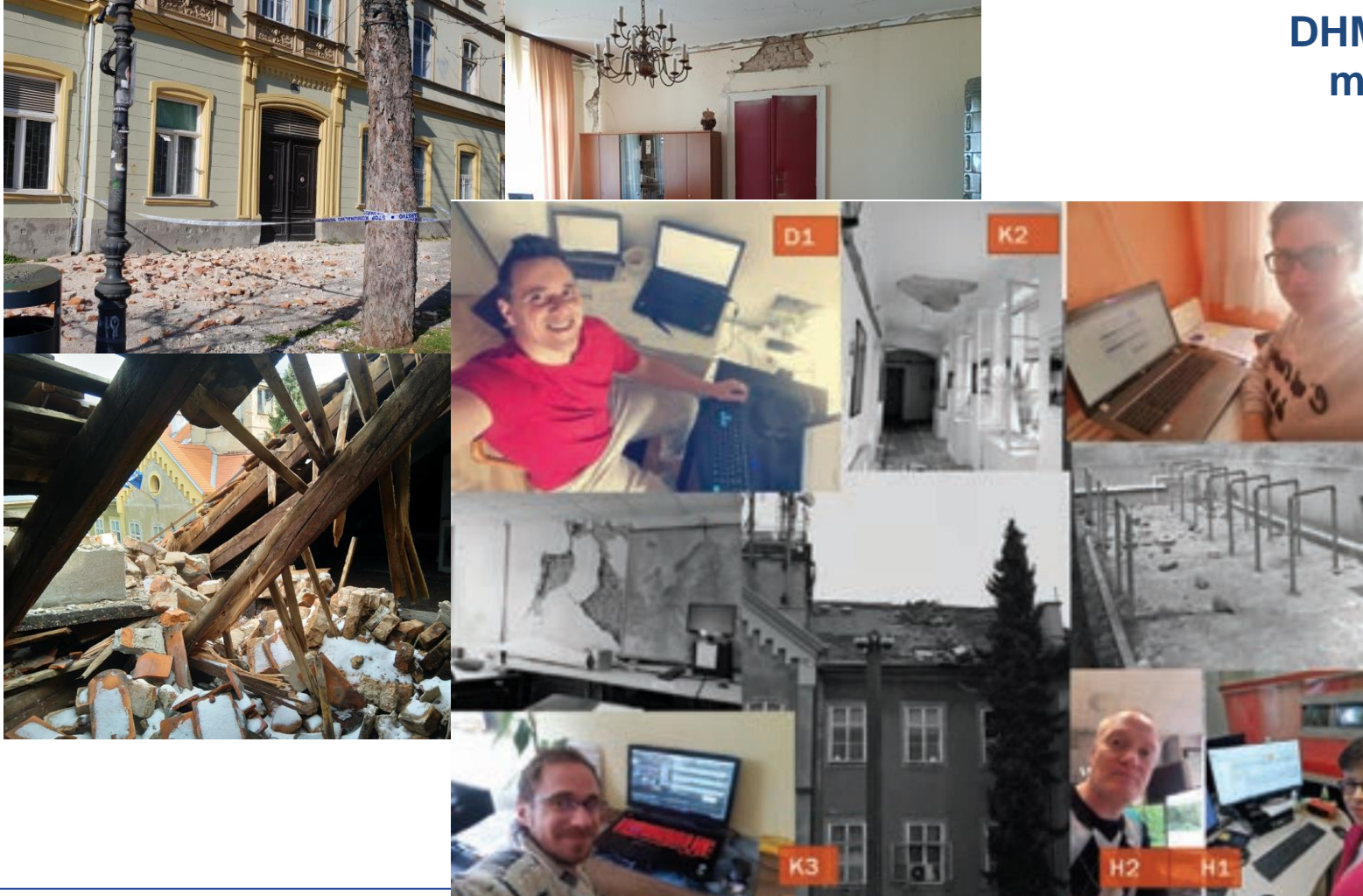
# Prognostički sustav ALADIN-HR – 3 dana unaprijed

- prikupljanje izmjerenih podataka i njihova kontrola
- priprema rubnih uvjeta iz globalnog modela (ECMWF, ARPEGE)
- asimilacija podataka
- proračun modela
- procesiranje izlaznih podataka – grafički i tabelarni prikazi prognoze
- verifikacija modela
- prognoza sinoptičara i mediji

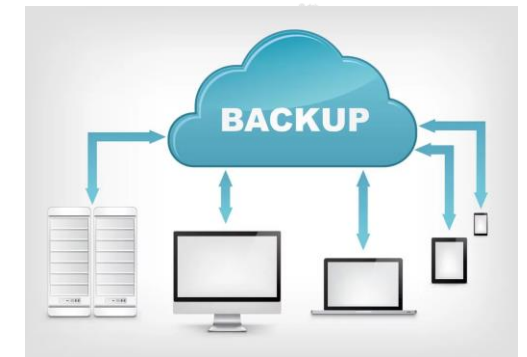


# 365/24/7 operativna služba

Potres 22. ožujka 2020 oštetio je središnjicu DHMZ-a's headquarters



DHMZ-ov prognostički sustav migriran u kratkom roku



 **ECMWF**



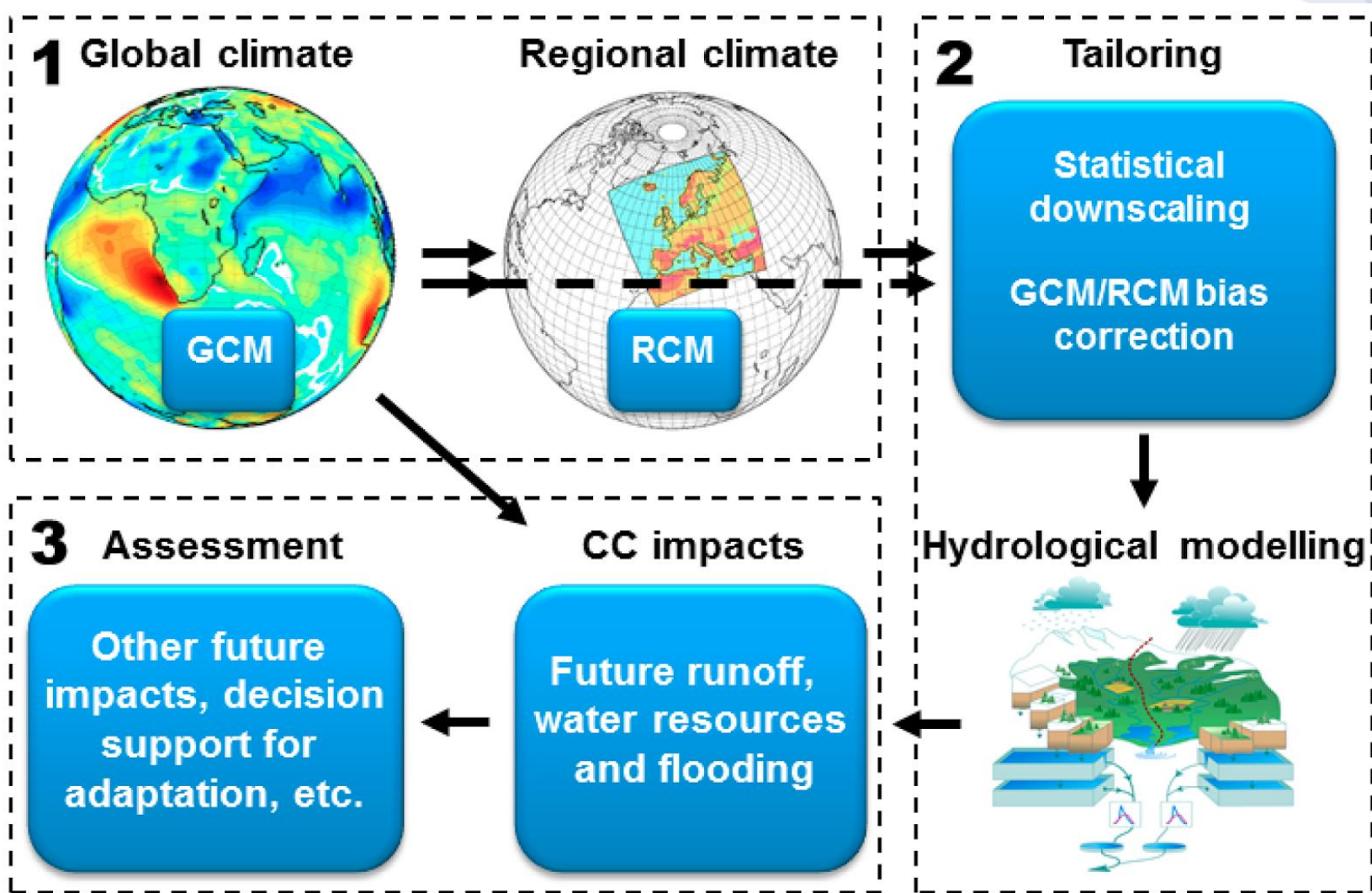
**EUROPEAN WEATHER CLOUD**

CLOUD COMPUTING-BASED INFRASTRUCTURE, FOCUSED ON THE NEEDS OF THE METEOROLOGICAL COMMUNITY

more info: [ECMWF newsletter 164 \(2020\)](#)



# Korištenje klimatskih modela



Izvor: Olsson et al. (2016) Hydrological Climate Change Impact Assessment at Small and Large Scales: Key Messages from Recent Progress in Sweden. *Climate*, 4(3), 39; doi:10.3390/cli4030039



# Repozitorij.meteo.hr & prilagodba-klimi.hr

The screenshot shows the website interface for the Digital Academic Repository (Dabar) and the Climate Change Adaptation Simulations (RegCM4) project. The top navigation bar includes links for Početna, O RegCM4 simulacijama, Protokol pristupa podacima, Pristup podacima, Kontakt, and Upute i priručnici. The main header features the title "Repozitorij Državnog hidrometeorološkog zavoda" and navigation options for PREGLEDAVANJE, NAPREDNO PRETRAŽIVANJE, and POHRANJIVANJE. A search bar is present with the text "Pretraži" and "ovaj repozitorij".

The main content area includes the Dabar logo (DIGITALNI AKADEMSKI ARHIV I REPOZITORIJI) and a welcome message: "Dobro došli u digitalni repozitorij DHMZ-a!". Below this, there is a section for "ZADNJE DODANO" (Recently Added) with two entries:

- RegCM4 Climate Change Adaptation Simulations: level 2**  
Gütler, Ivan; Smec, Lidija; Branković, Čedomir; Šolinović, Tomislav  
Državni hidrometeorološki zavod, 2019. urn:nbn:hr:232:513208  
Skup podataka
- RegCM4 Climate Change Adaptation Simulations: level 1**  
Gütler, Ivan; Smec, Lidija; Branković, Čedomir; Šolinović, Tomislav  
Državni hidrometeorološki zavod, 2018. urn:nbn:hr:232:359736  
Skup podataka

A "STATISTIKA" section features a pie chart showing 50.0% (orange) and 50.0% (blue). A "PRIJAVA" button and a logo for "AAI@EduHR" are also visible. A small "prilagodba-klimi.hr" link is at the bottom left of the screenshot.

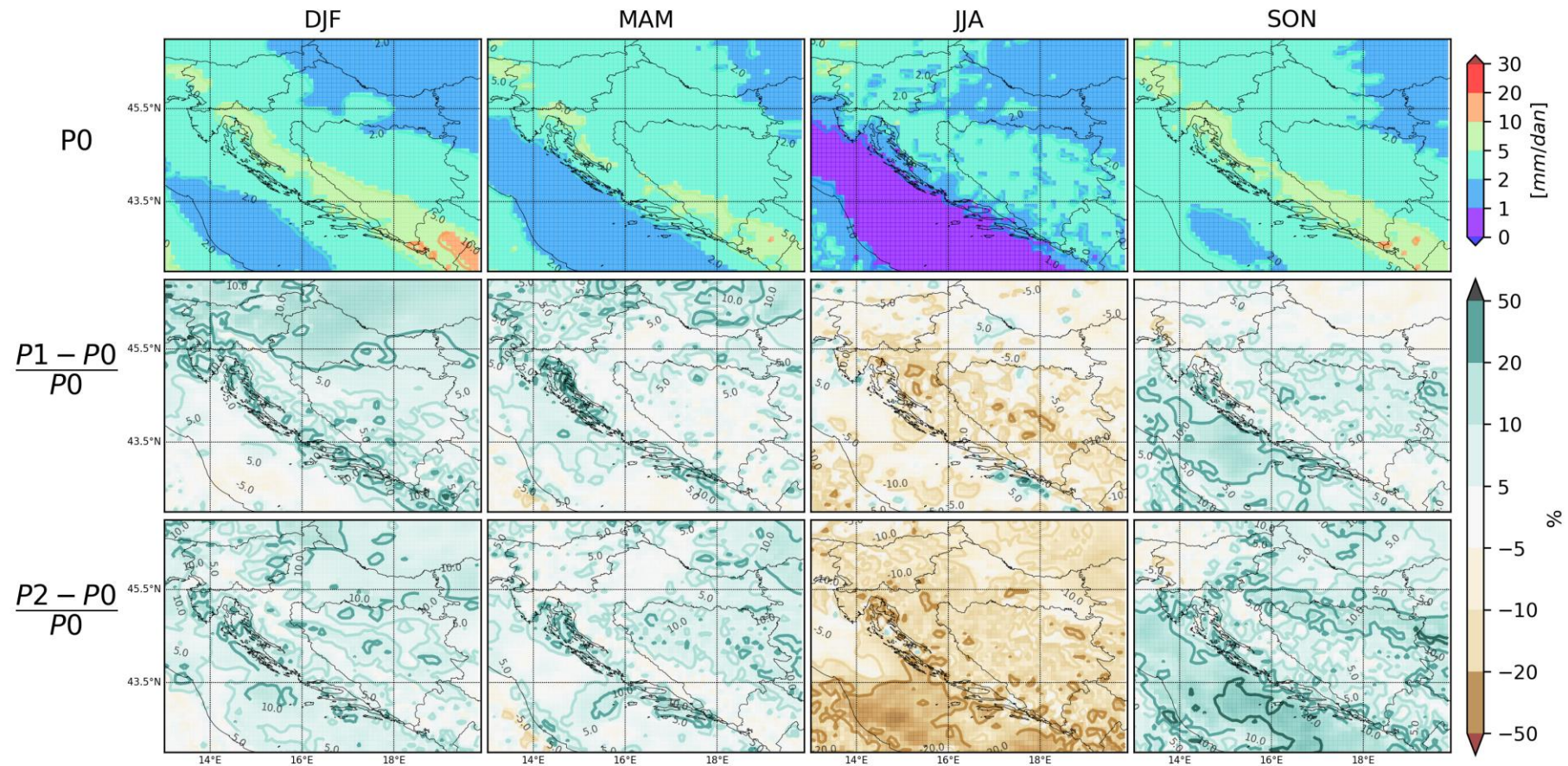
**MZOE (2017.),** RegCM4, Projekt programa Prijelazni instrument tehničke pomoći EU: Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama (Broj ugovora: TF/HR/P3-M1-O1-010), Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (MZOE), Zagreb.





# Projekcije promjena srednje sezonske količine oborine

Ukupna količina oborine,  
rcp45; ENS-MEDIAN



©DHMZ SK

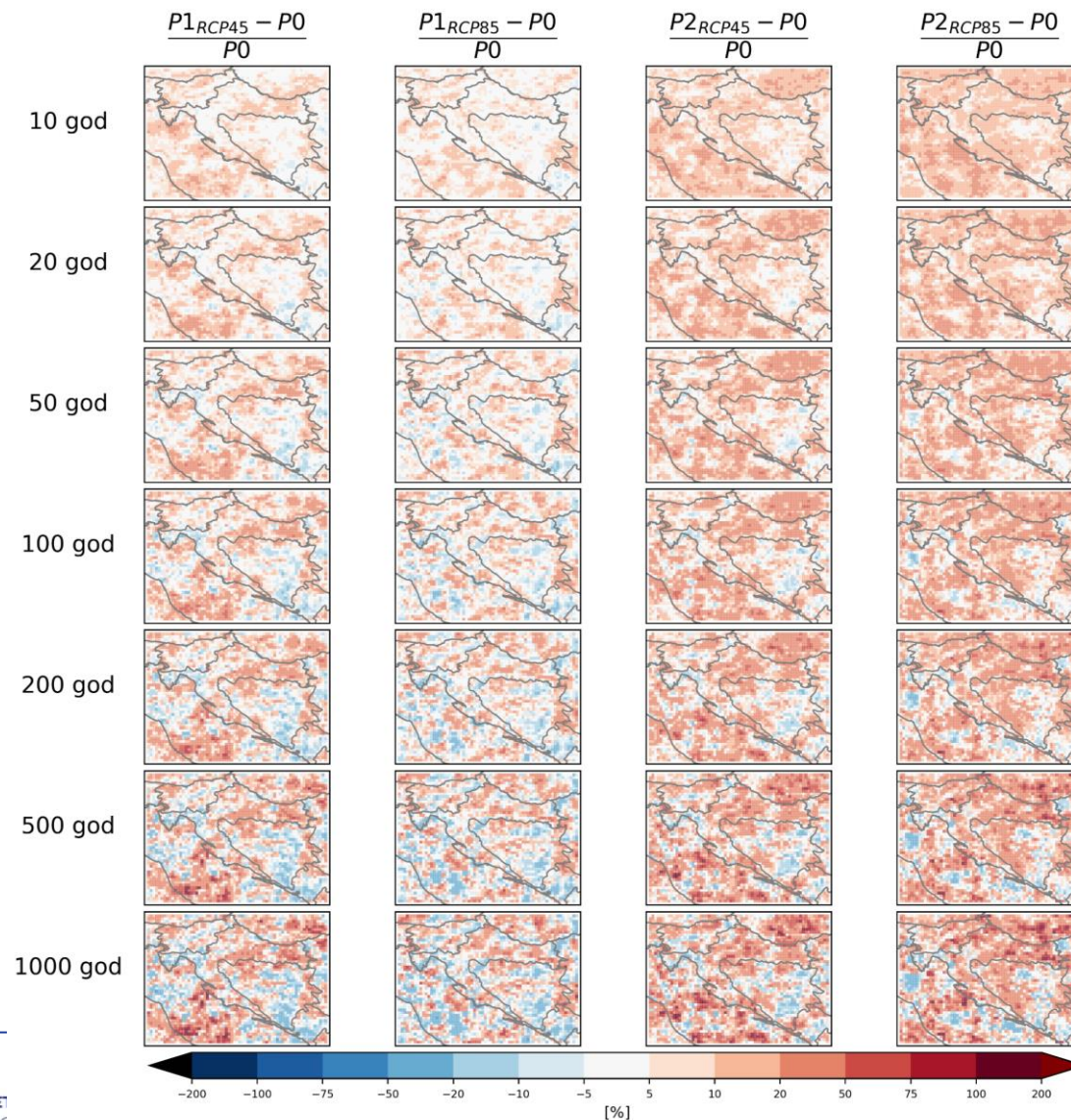
P0 = 1971.–2000.; P1 = 2011.–2040.; P2 = 2041.–2070.;

Izvor: [https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/interpretacija\\_analize\\_klimatskih\\_promjena\\_za\\_planske\\_potrebe\\_upravljanja\\_vodama.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/interpretacija_analize_klimatskih_promjena_za_planske_potrebe_upravljanja_vodama.pdf)



# Promjena povratnih razdoblja maksimalne količine oborine

Razlika povratnih razdoblja maksimalne dnevne oborine  
ENS MEDIAN

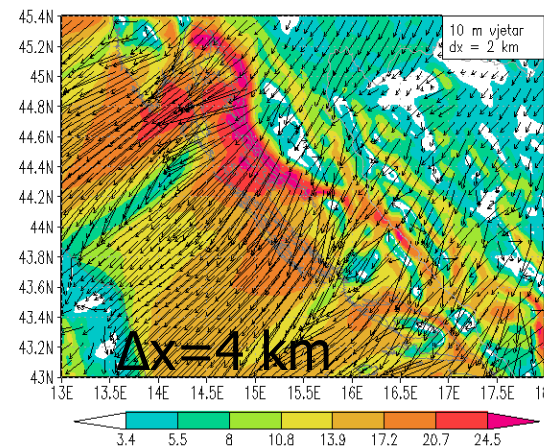
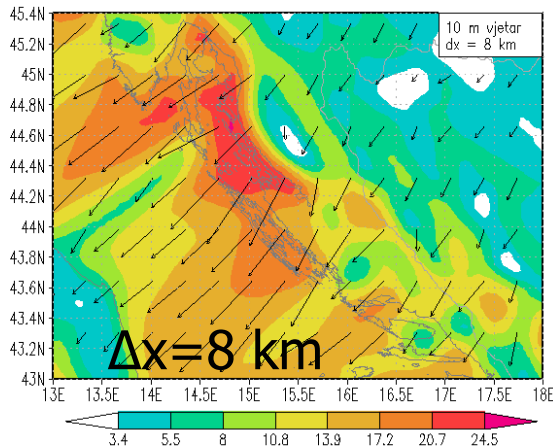
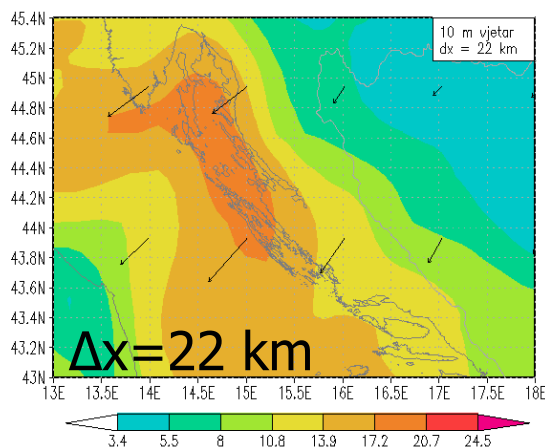


P0 = 1971.–2000.  
P1 = 2011.–2040.  
P2 = 2041.–2070.

**Izvor:** [https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/interpretacija\\_analize\\_klimatskih\\_promjena\\_za\\_planske\\_potrebe\\_upravljanja\\_vodama.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/interpretacija_analize_klimatskih_promjena_za_planske_potrebe_upravljanja_vodama.pdf)



# Profinjenje mreže u vremenskim i klimatskim modelima



16 km

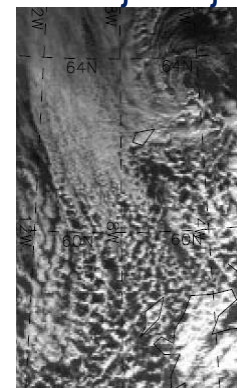
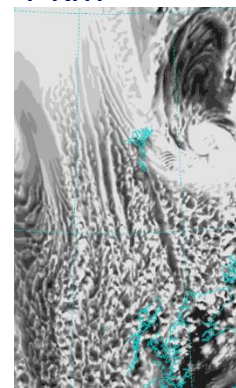
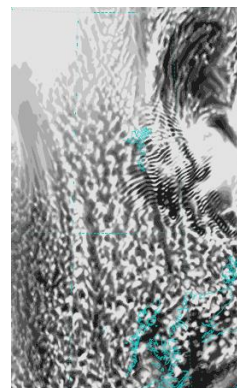
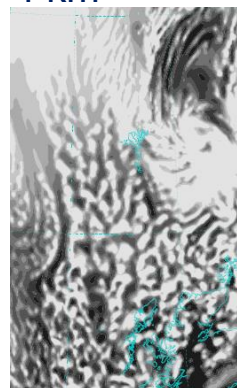
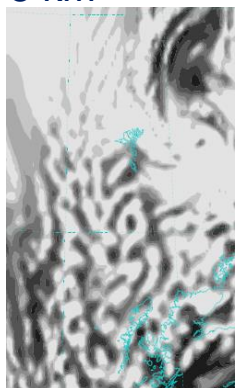
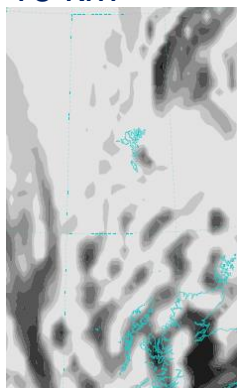
8 km

4 km

2 km

1 km

MODIS mjerenja



Globalna prognoza – dimenzija problema

$10^7\text{m} \times 10^7\text{m} \times 10^4\text{m}$

Potreban broj točaka mreže za  $\Delta x = 1\text{m}$

$10^{18}$

Stvaran broj točaka mreže (modeli  $\Delta x \sim 10\text{ km}$ )

$10^8$

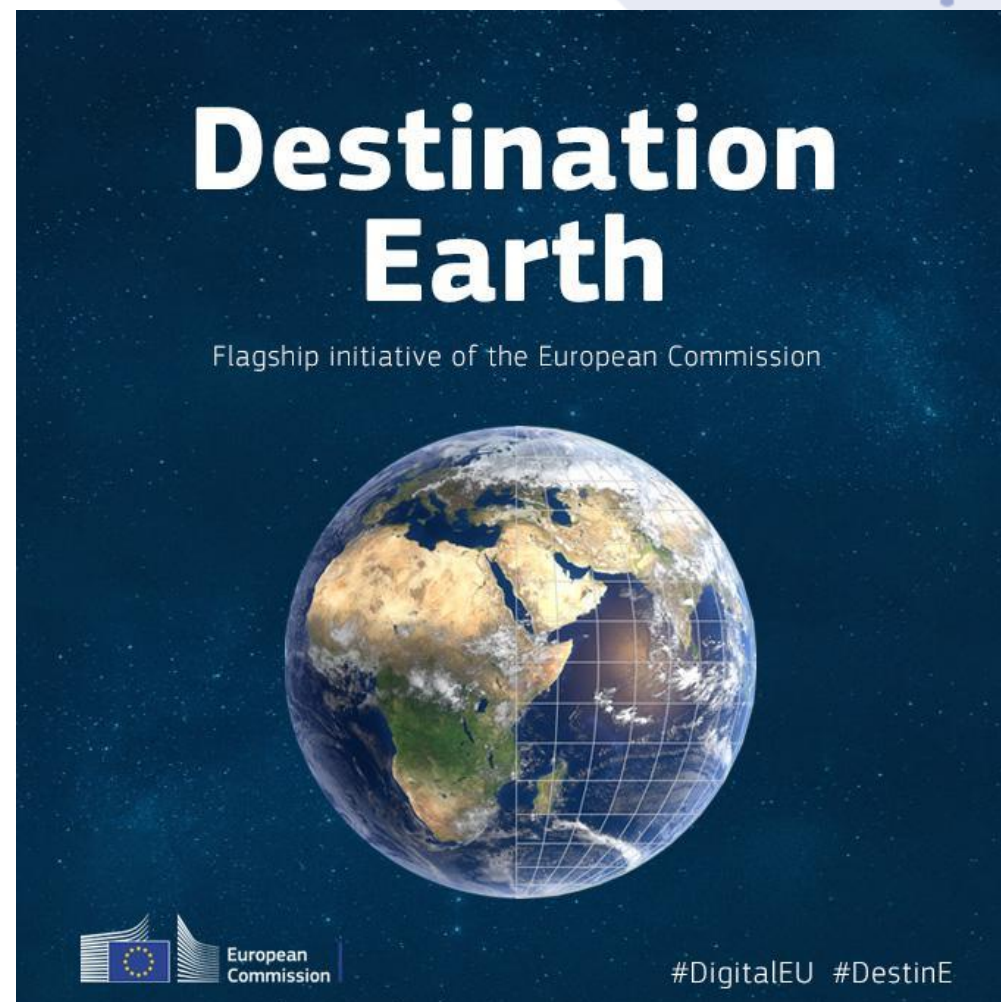
Povećanje računalne moći

$10^{10} (x3) \times 10^4(t)$

Rezolucija (razlučivost) modela

# Promjene: prognoza vremena, HPC, i AI

- Diverzifikacija koja zamjenjuje „monolitni“ HPC ubrzano dotiče i meteorologiju
- DHMZ aktivan na programu Destination Earth, za izradu digitalnog blizanca zemlje za „on-demand“ prognozu ekstrema
  - Rad na EuroHPC (LUMI)
  - Priprema modela za heterogene CPU/GPU arhitekture
  - Kontejnerizacija kodova
  - Integracija meteoroloških i srodnih modela (geofizički procesi, valovi, poplave, kvaliteta zraka, energetika, transport, stanje i kvaliteta tla)
  - Upotreba AI-a



# Umjesto zaključka

- HPC je ključna tehnologija za razvoj suvremene meteorologije, koju stručnjaci DHMZ-a koriste duži niz godina
- HPC je na DHMZ-u korišten za modeliranje vremena i klime za:
  - Prognoze i upozorenja u cilju zaštite ljudi, dobara i imovine od vremenskih i klimatskih ekstrema
  - Klimatske projekcije, u cilju izrada mjera prilagodbe na klimatske promjene
- HPC je u prognozi vremena i projekcijama klime zadnjih desetljeća omogućio tihu (r)evoluciju... a tako će izvjesno biti i u budućnosti



# HVALA NA PAŽNJI

## Prošlost



## Sadašnjost



## Budućnost

