

STRUČNI SKUP „CIVILNA ZAŠTITA I KLIMATSKE PROMJENE”

Područni ured civilne zaštite Zagreb,

Ravnateljstvo civilne zaštite Ministarstva unutarnjih poslova i Grad Zagreb

Djelovanje klimatskih promjena s aspekta meteorologije i hidrologije

dr. sc. Tatjana Vujnović

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ)

Sektor za hidrologiju, Služba za hidrološke studije, analize i prognoze

Zagreb, 03. ožujak 2023.



Sadržaj

1. *Pravna osnova*
2. *Hidrološko prognoziranje*
3. *Opažene i očekivane klimatske promjene*
4. *Urbana poplava Zagreba 24./25. srpnja 2020.*
5. *Hidrološki uvjeti u budućnosti – sliv rijeke Save u RH*



1. Pravna osnova

Zakon o meteorološkoj i hidrološkoj djelatnosti (NN 66/2019)

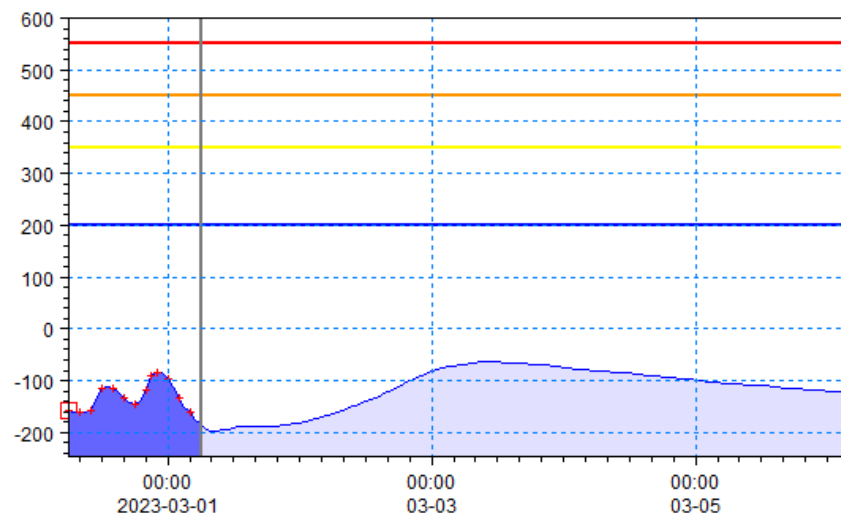
Sustav rane najave i upozorenja na opasne meteorološke i hidrološke pojave

- izrada i objavljivanje meteoroloških i hidroloških informacija
- prikupljanje informacija o izvanrednim događajima (i u susjednim državama ako su od značaja za područje Republike Hrvatske))
- izdavanje upozorenja

Hidrološka prognoza = prognoza o očekivanim hidrološkim elementima za određeni vodotok, za određeno vremensko razdoblje i određeno mjesto.

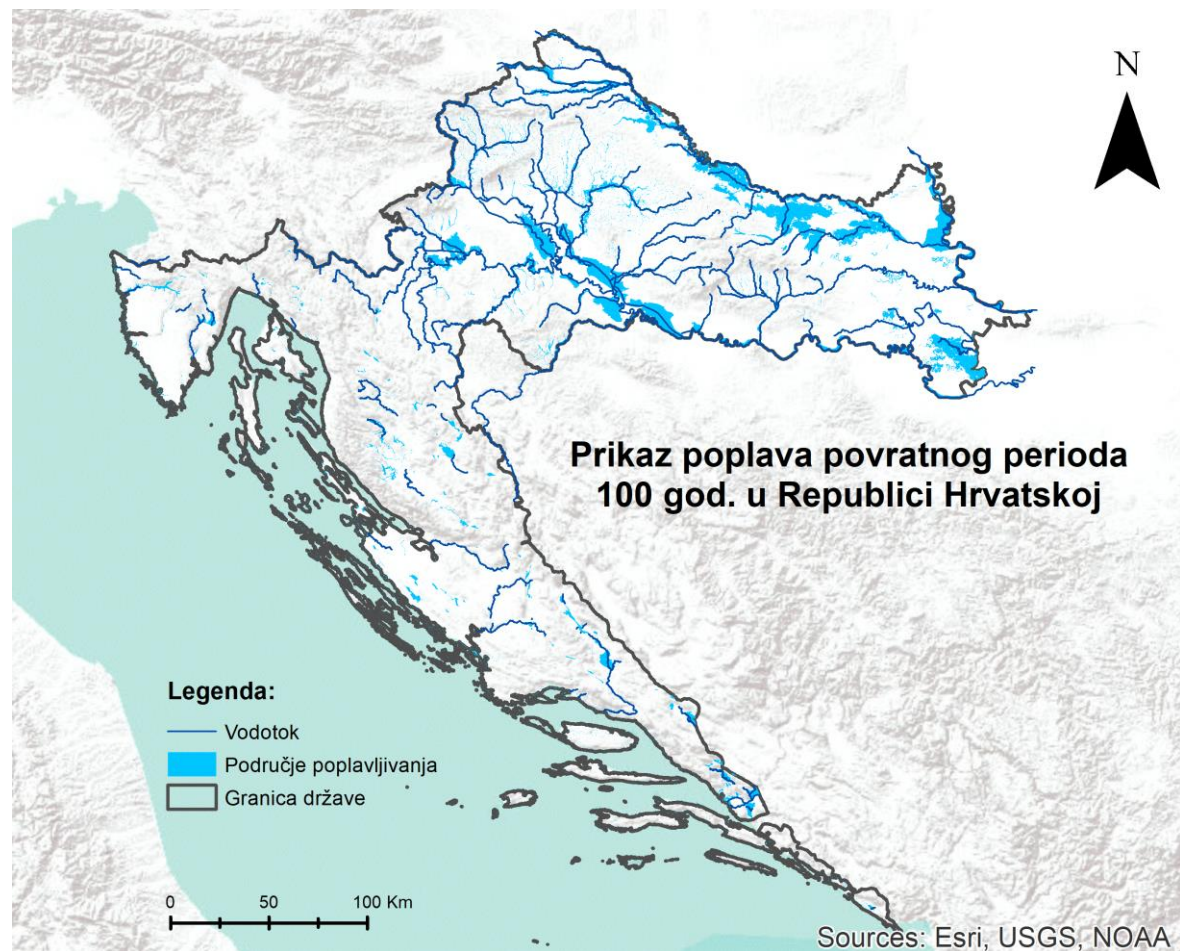
Odjel za hidrološke prognoze DHMZ-a

[cm] 3121 SAVA (ZAGREB)



Vrijeme	Vodostaj	Vrijeme	Protok
Mar 01 06:00	-187	Mar 01 06:00	193
Mar 01 07:00	-193	Mar 01 07:00	183
Mar 01 08:00	-196	Mar 01 08:00	180
Mar 01 09:00	-197	Mar 01 09:00	180
Mar 01 10:00	-195	Mar 01 10:00	182
Mar 01 11:00	-194	Mar 01 11:00	185
Mar 01 12:00	-192	Mar 01 12:00	188
Mar 01 15:00	-188	Mar 01 15:00	194
Mar 01 18:00	-187	Mar 01 18:00	193
Mar 01 21:00	-187	Mar 01 21:00	195
Mar 02 00:00	-182	Mar 02 00:00	203
Mar 02 03:00	-173	Mar 02 03:00	218
Mar 02 06:00	-164	Mar 02 06:00	233
Mar 03 06:00	-68	Mar 03 06:00	429
Mar 04 06:00	-81	Mar 04 06:00	398
Mar 05 06:00	-106	Mar 05 06:00	344
Mar 06 06:00	-127	Mar 06 06:00	302

2. Hidrološko prognoziranje - poplave



3.4% stanovništva Republike Hrvatske je ugroženo poplavama 100 godišnjeg povratnog perioda

https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/upravljanje-vodama/karte_opasnosti_od_poplava_i_karte_rizika_od_poplava_-_2019.pdf



2. Hidrološko prognoziranje - poplave

Dnevno i po potrebi više puta dnevno web objava **javno** dostupnog dokumenta „Hidrološki izvještaj - stanje, tendencija i prognoza vodostaja u RH”

- Sliv rijeke Save u RH - hidrološki prognostički operativni model sliva rijeke Save u RH razvijen u suradnji s Hrvatskim Vodama u svrhu prognoziranja riječnih poplava.
- Europski sustav upozorenja na poplave (EFAS) - DHMZ partner za RH od 2013.
 - Sezonski i unutarsezonski izgledi otjecanja za sljedećih 8 tjedana
 - Riječne poplave
 - Bujične poplave
- Sustav upozorenja na bujične poplave jugoistočne Europe (SEEFFGS)

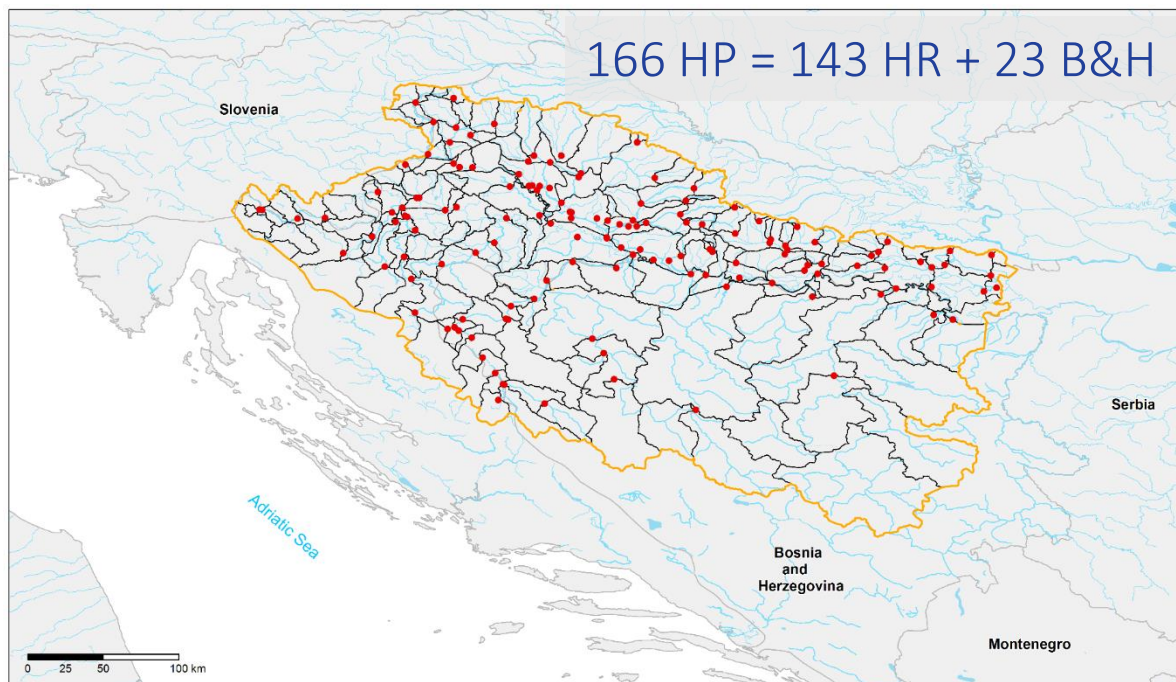


2. Hidrološko prognoziranje – sliv rijeke Save u RH

1. dio 11.9.2014.-11.9.2015. -10533 km² ~ 19 %

2. dio 7.12.2015.-7.12.2016. - 13709 km² ~ 24 %

~ 43 % površine RH = sliv Sava



Financiranje

50% Hrvatske vode : 50% DHMZ

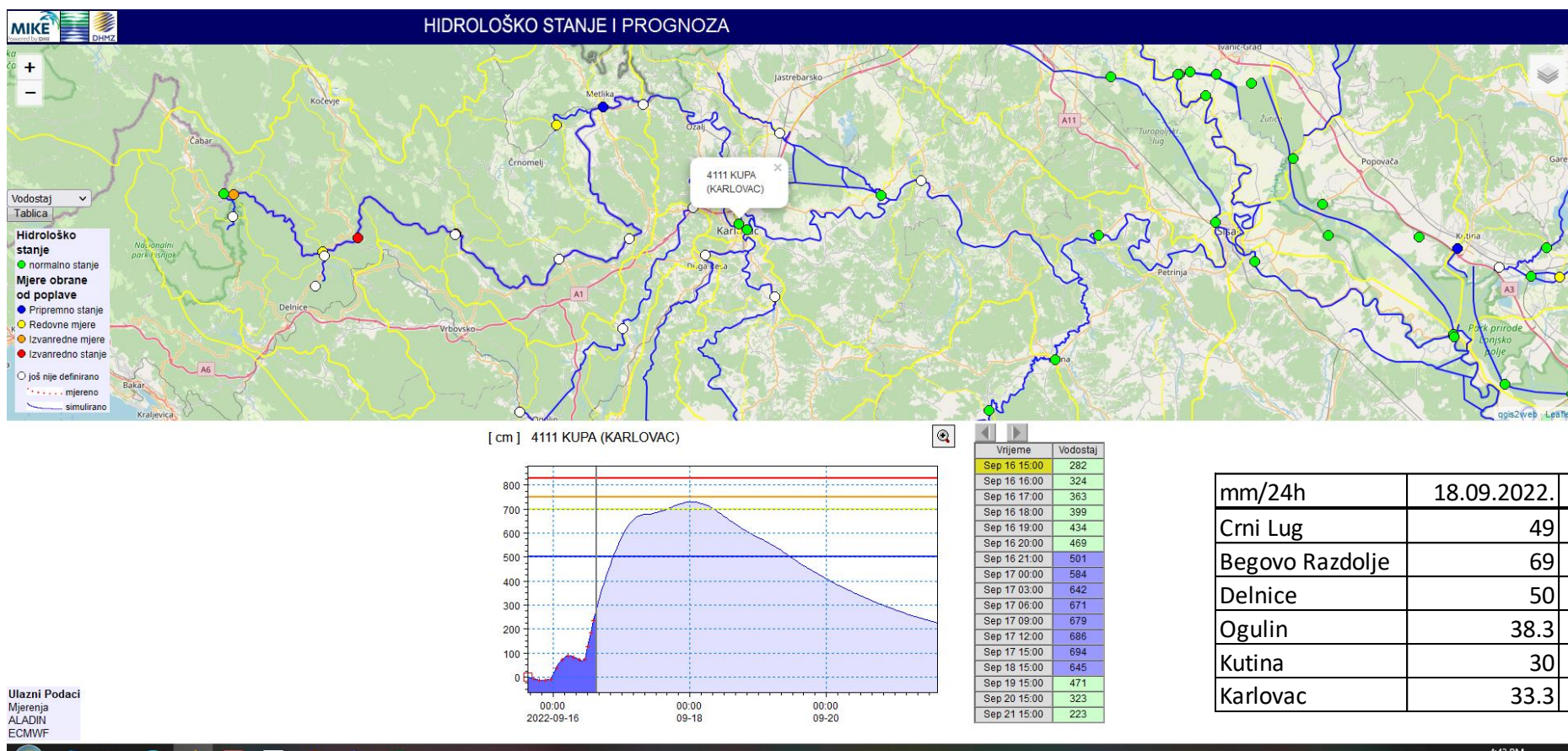
MIKE FF (DHI) software + skripte

Operativno u DHMZ-u, svaki sat!



2. Hidrološko prognoziranje – Sava

Rezultati svaki sat na zaštićenim web stranicama DHMZ-a: protok, vodostaj, poprečni presjek, oborina, temperatura, količina vode u snijegu



2. Hidrološko prognoziranje – USKORO!

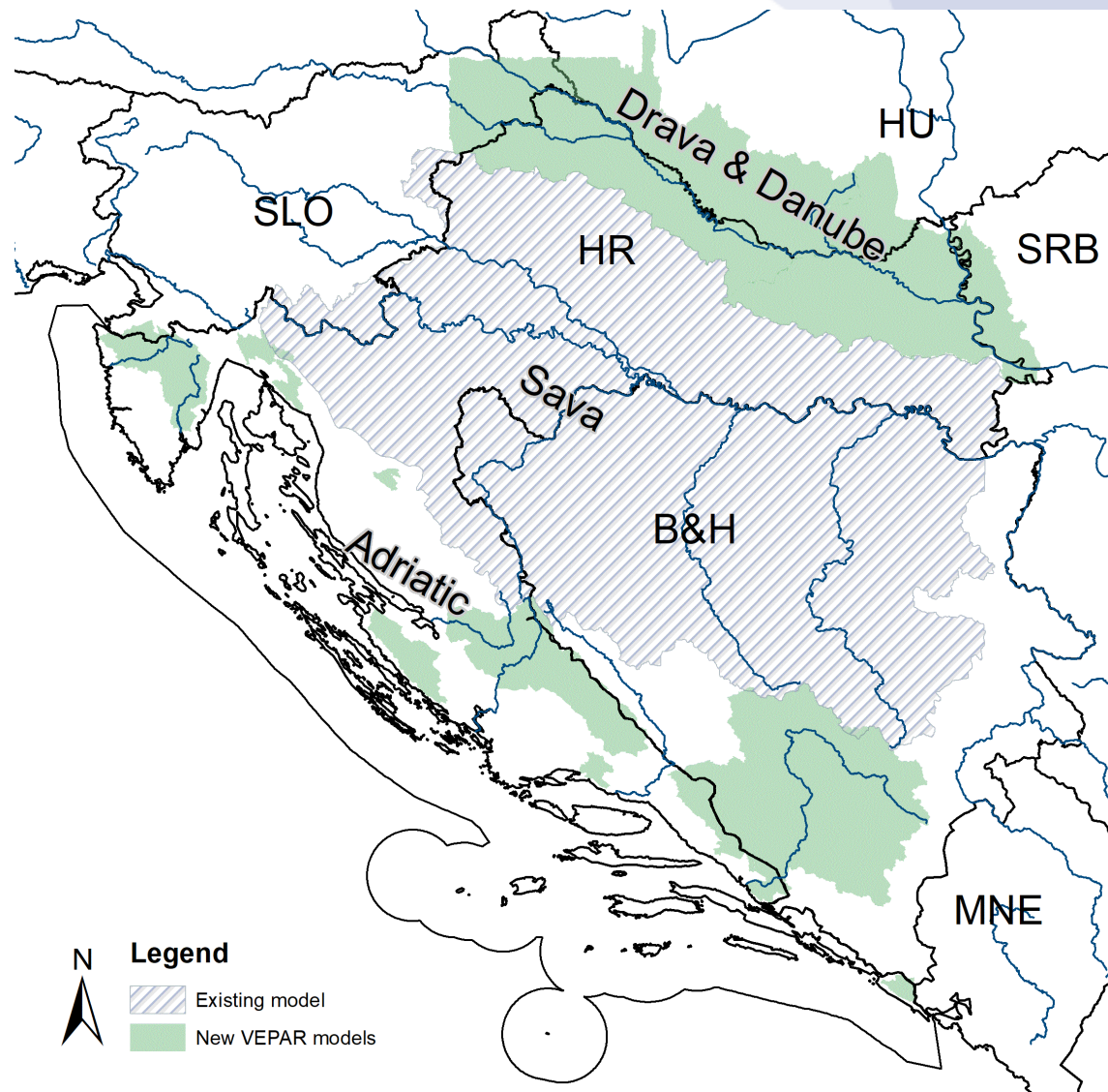
VEPAR – Projekt unaprjeđenja
negrađevinskih mjera upravljanja rizicima
od poplava u Republici Hrvatskoj

Vodeći partner: Croatian Waters

Partner: DHMZ

Vremenski okvir: 2019.-2023.

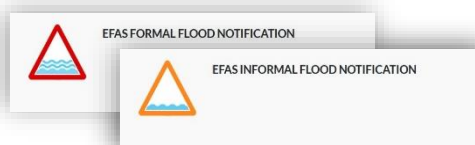
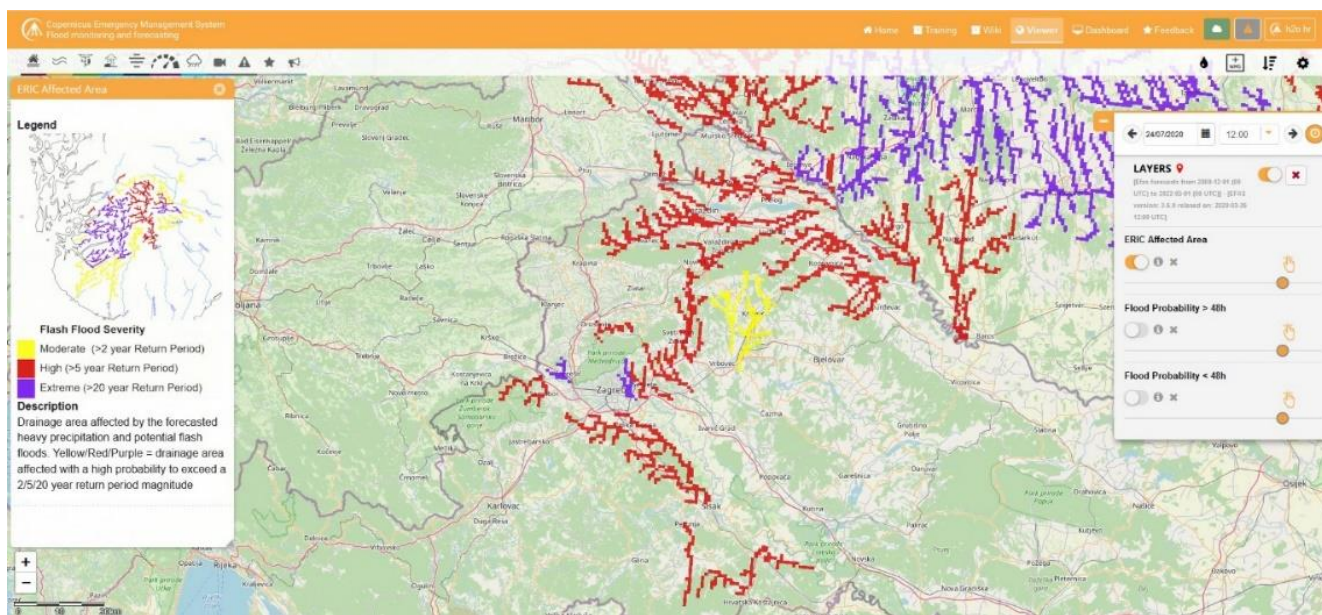
Potprojekt C - Unapređenje sustava za
prognoziranje poplava = Novi operativni
hidroprognostički modeli!



2. Hidrološko prognoziranje - EFAS, SEEFFGS

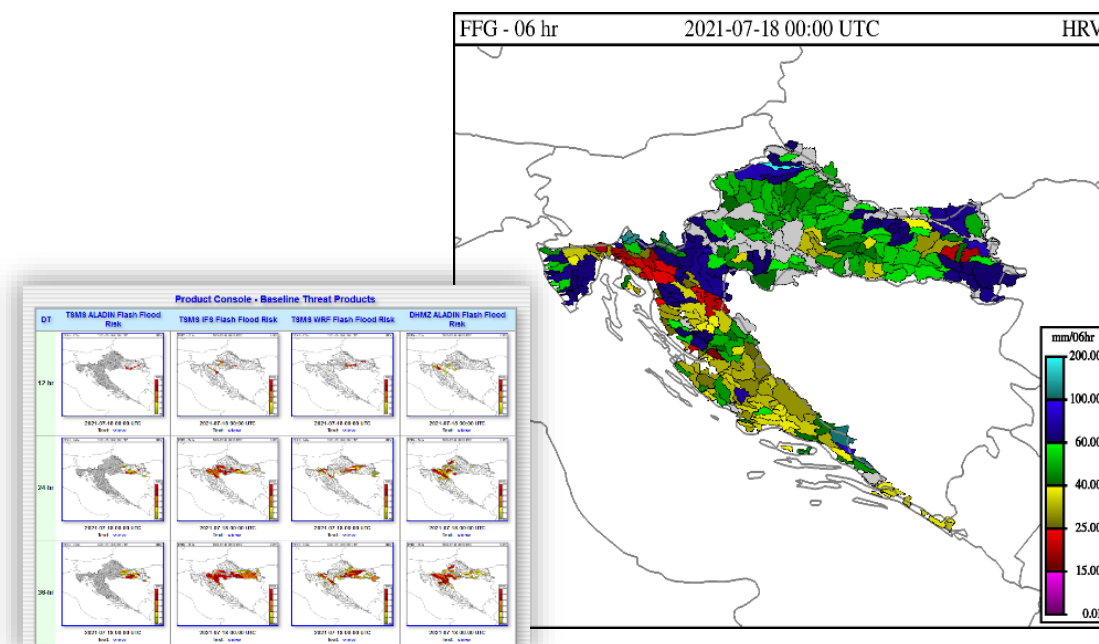
European Flood Awareness System (EFAS)

- DHMZ je partner za RH od 2013.*



South East Europe Flash Flood Guidance System (SEEFFGS)

- DHMZ potpisao 2013., operativno od 2015.*



FFG - količina oborine potrebna za bankfull flow (1, 3, 6 h)

FFFR - relativna frekvencija pozitivnog flash flood threat (12, 24, 36 h)

2. Hidrološko prognoziranje - *DISEMINACIJA*

Javnost

- Meteoalarm sa Službom za vremenske prognoze i upozorenja na opasne vremenske pojave - **od 2015. upozorenja na bujične i urbane poplave**
- Hidrološki bilten - jednom / više puta dnevno
- Posebna priopćenja
- Suradnja s medijima

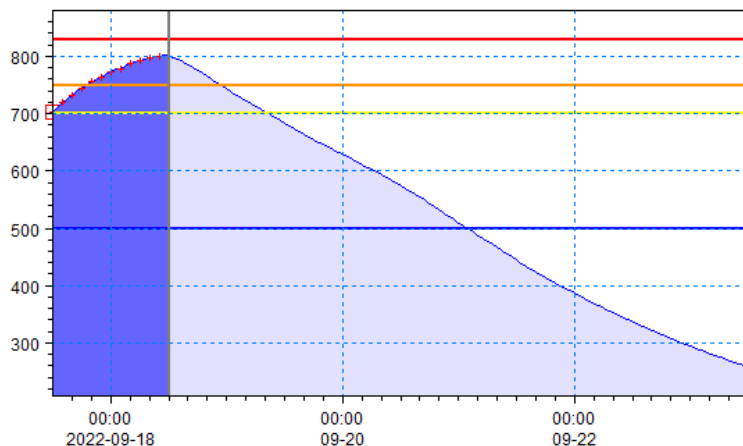
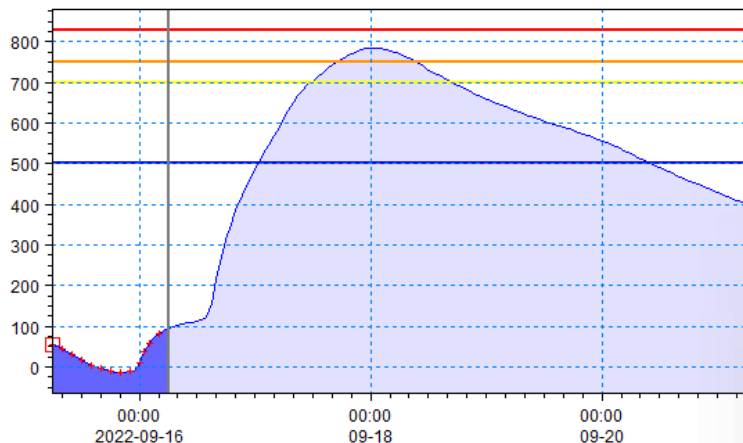
Standardna operativna procedura

Hrvatske vode, Civilna zaštita, zemlje u okruženju, Međunarodna Komisija za sliv rijeke Save...



2. Hidrološko prognoziranje - upozorenja - Kupa 09/2022.

Kupa, Karlovac



Upozorenje:

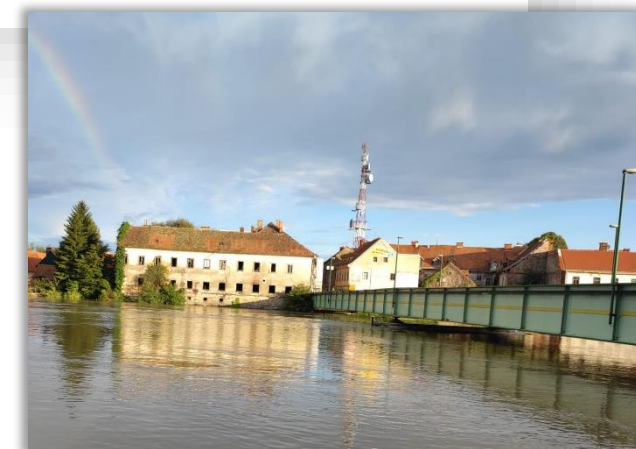
Obilne i intenzivne oborine moguće su i danas u cijeloj zemlji, te je moguć razvoj lokalnih jačih nevremena i pojava bujičnih i urbanih poplava. Slična situacija nastavit će se i tijekom sutrašnjeg dana (subota 17. 09. 2022.)

Radi oborine koja je pala i još uvijek pada na gornjem toku rijeke Kupe, došlo je do naglog porasta vodostaja te ulaska u mjere obrana od poplava s tendencijom daljnjeg porasta vodostaja.

Sutra tijekom dana i u Karlovcu se očekuje ulazak u mjere obrana od poplava, a vrh vodnog vala moguć je u noći sa petka na subotu (17. / 18. 09. 2022.).

Kupa, Karlovac

- relativni vodostaj $H = 804$ cm, 18.9.2022. u 01:00 h
- 10. najviši zabilježeni vodostaj



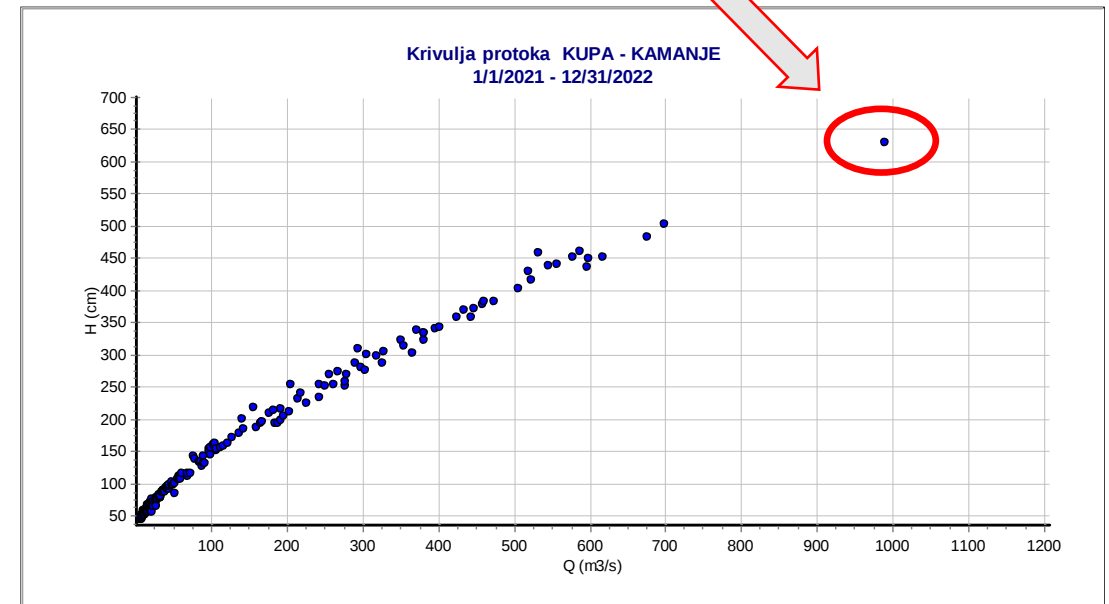
2. Hidrološko prognoziranje - vodomjerenja- sliv Kupe 09/2022.

Kupa, Hrvatsko - 17.09.2022.



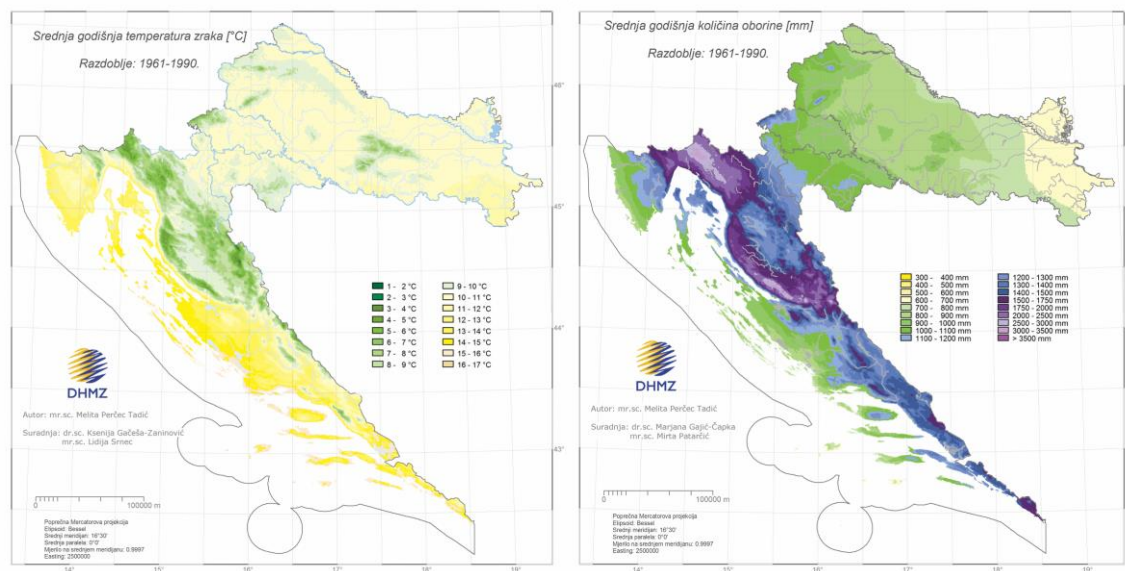
Kupa, Kamanje - 18.09.2022.

$H=629 \text{ cm} / Q=991 \text{ m}^3/\text{s}$



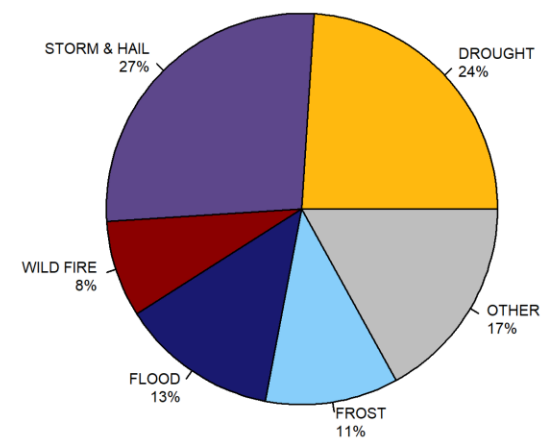
3. Opažene i očekivane klimatske promjene

- Ekstremni meteorološki događaji uzrokuju značajne ekonomske gubitke u RH (suše, oluje, poplave, mraz, požari)
- Hrvatska - prijelazno područje između kontinentalne klime (Panonski dio) i mediteranske klime (Jadran) s planinskom klimom duž Dinarida



Velika varijacija u prostornoj i vremenskoj raspodjeli indikatora ekstrema, naročito oborine

1981. - 2020.



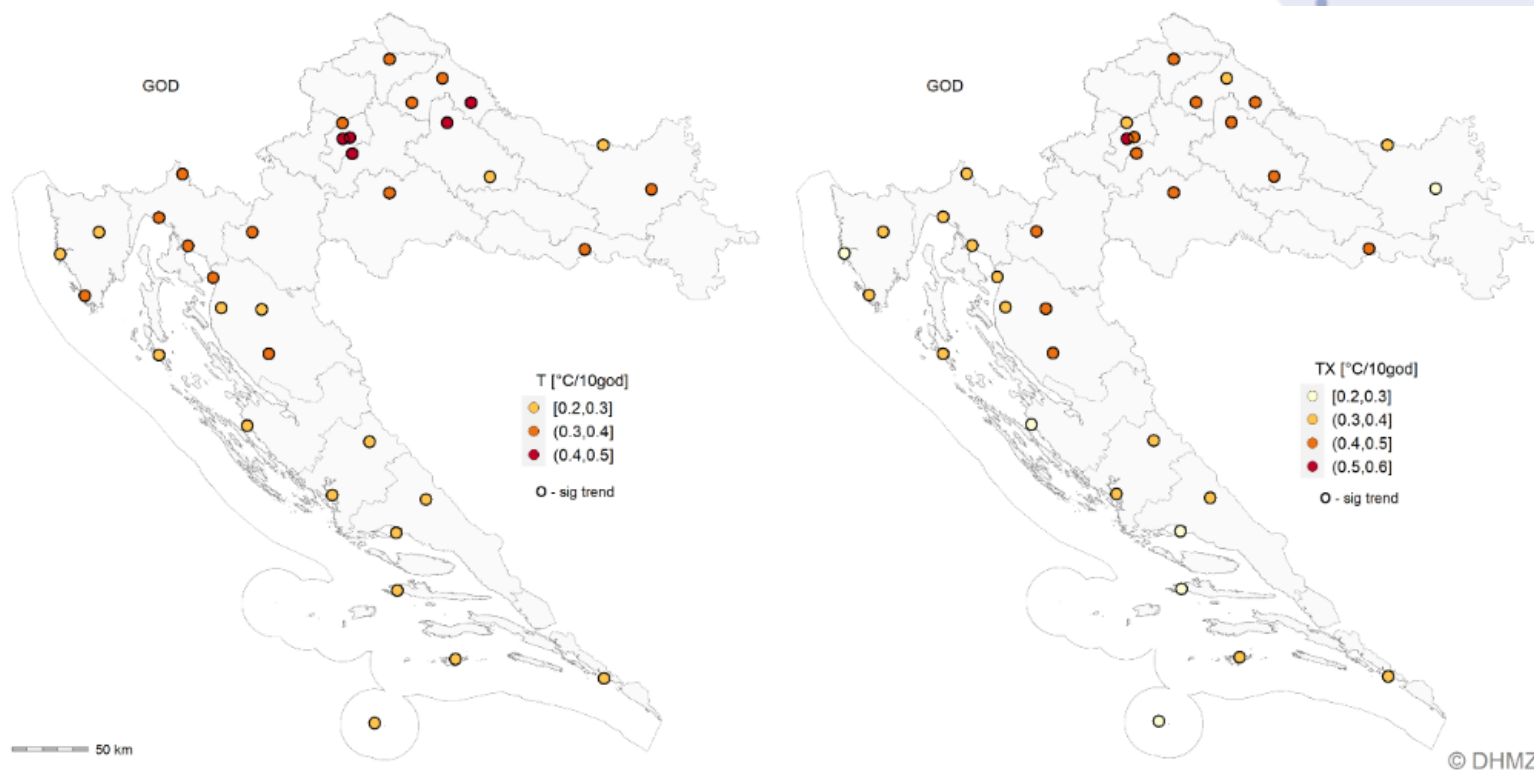
Data source: Ministry of Finance
Processing: Croatian Meteorological and Hydrological Service

3. Opažene i očekivane klimatske promjene

Trendovi temperature i oborine u Hrvatskoj, 1961.-2020.

Značajan **porast** u svim sezonama

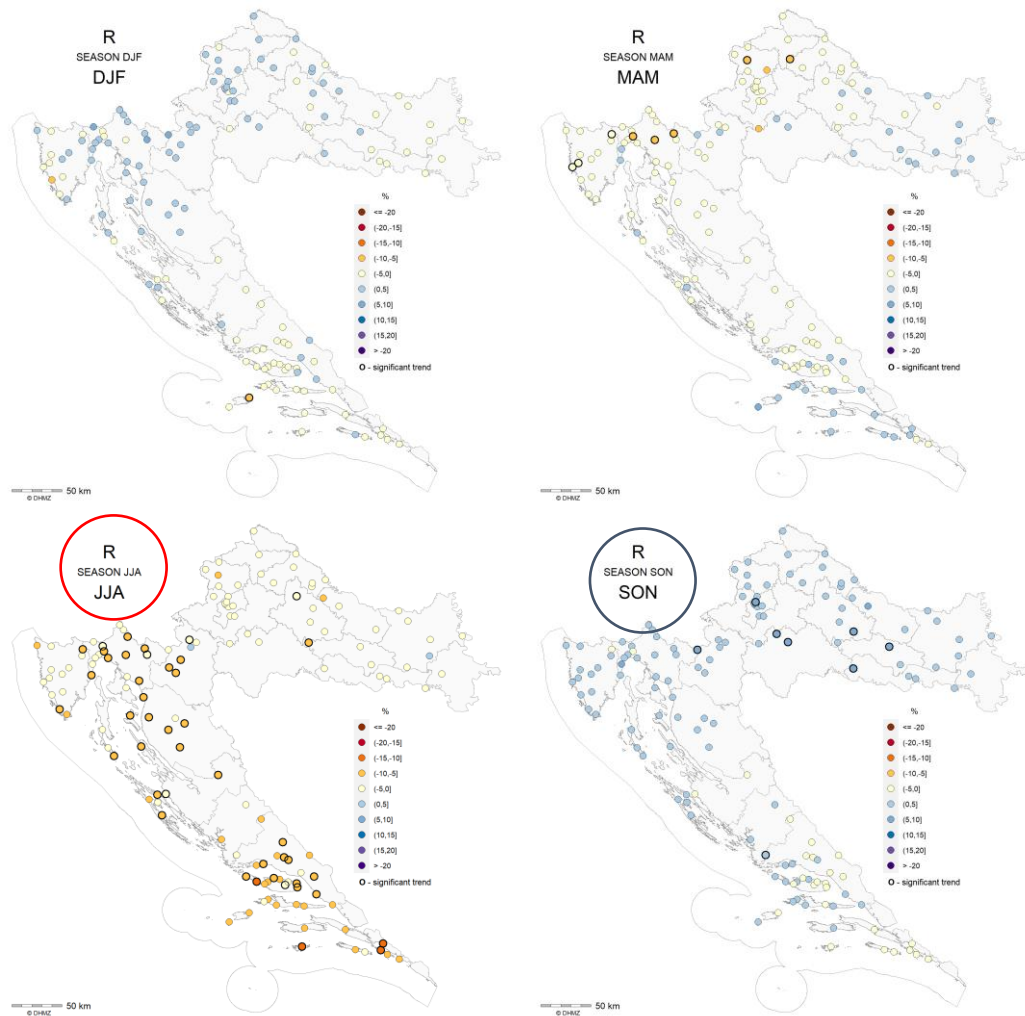
- **najviši ljeti & središnji dio RH**
- dekadni trendovi srednje (T, lijevo) i srednje maksimalne (Tx, desno) godišnje temperature zraka ($^{\circ}\text{C} / 10 \text{ god}$) u Hrvatskoj prema razdoblju mjerenja 1961. – 2020.
- **Zagreb - najviši godišnji trend ($0.67^{\circ}\text{C}/10 \text{ god}$) zbog klim. promjena, ali i urbanizacije** (Perčec Tadić et al., 2022)
- Nimac et al. (2021) – Zagreb - značajan porast ljetnih dana (9 dana/dekada) i tropskih noći (8 dana/dekada) u razdoblju 1990–2019.
- **Ljetni mjeseci će biti sve neugodniji za građane!**



Horvath, K. et al. (2023): Odabrana poglavlja osmog nacionalnog izvješća Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji Ujedinjenih Naroda o promjeni klime (UNFCCC), https://klima.hr/razno/publikacije/8NIKP_DHMZ.pdf
Perčec Tadić M, Pasarić Z, Guijarro JA (2022) Croatian high-resolution monthly gridded dataset of homogenised surface air temperature. Theor Appl Climatol, doi:10.1007/s00704-022-04241-y
Nimac I, Herceg-Bulić I, Cindrić Kalin K, Perčec Tadić M (2021): Changes in extreme air temperatures in the mid-sized European city situated on southern base of a mountain (Zagreb, Croatia). Theor Appl Climatol 13. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03689-8>

3. Opažene i očekivane klimatske promjene

Trendovi temperature i oborine u Hrvatskoj, 1961.-2020.



Slabo izražen oborinski trend na godišnjoj razini, ali **značajan po sezonama:**

JJA (ljetno) - osušenje duž Jadrana, zaleđa i Dinarida

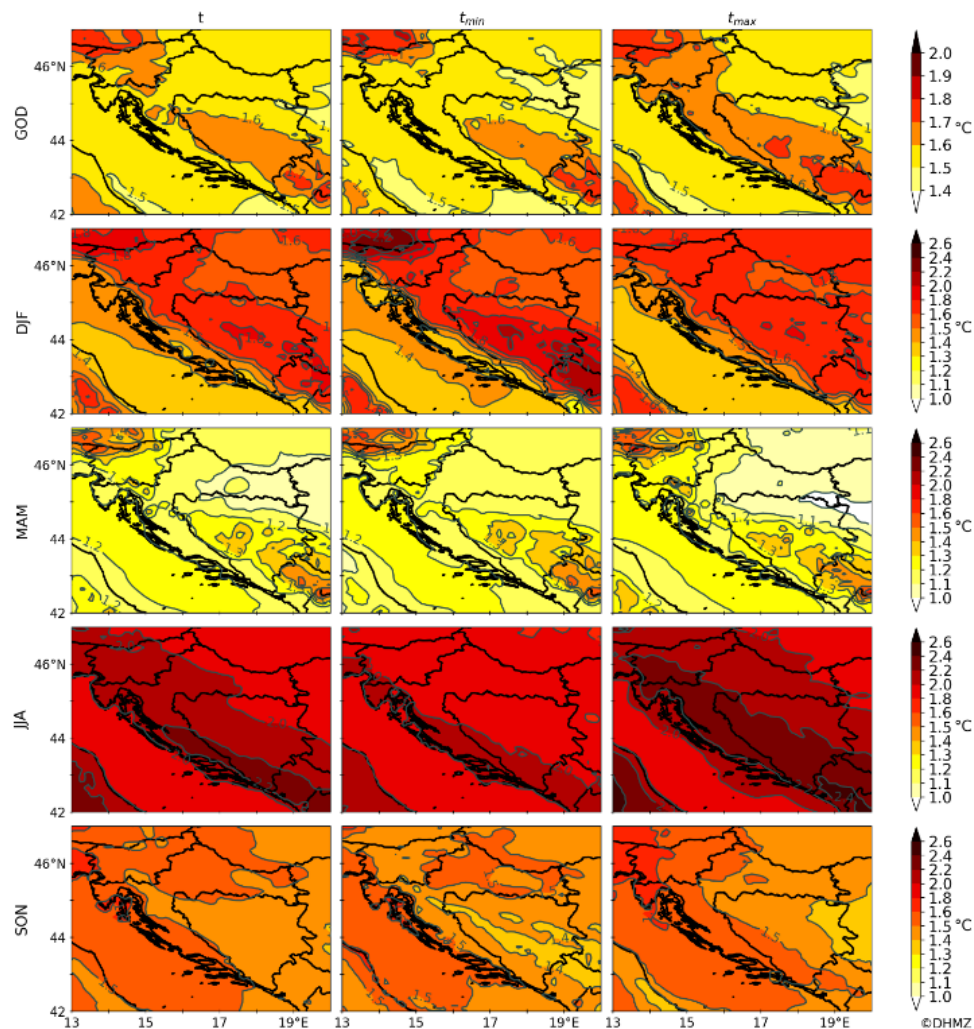
SON (jesen) - porast u gotovo cijeloj RH, najznačajniji u središnjoj unutrašnjosti

DJF (zima) - negativan trend količine oborine na srednjem i južnom Jadranu te u istočnim predjelima, a pozitivan u ostatku Hrvatske

Horvath, K. et al. (2023): ODABRANA POGLAVLJA OSMOG NACIONALNOG IZVJEŠĆA REPUBLIKE HRVATSKE PREMA OKVIRNOJ KONVENCIJI UJEDINJENIH NARODA O PROMJENI KLIME (UNFCCC), https://klima.hr/razno/publikacije/8NIKP_DHMZ.pdf

3. Opažene i očekivane klimatske promjene

3 RCM: RCA4 (SMHI), CCLM 4 (CLMCOM), RegCM4 (DHMZ) & **4 GCM:** MPI-ESM-LR/MPI-ESM-MR, EC-Earth, CNRM-CM5, HadGEM2-ES



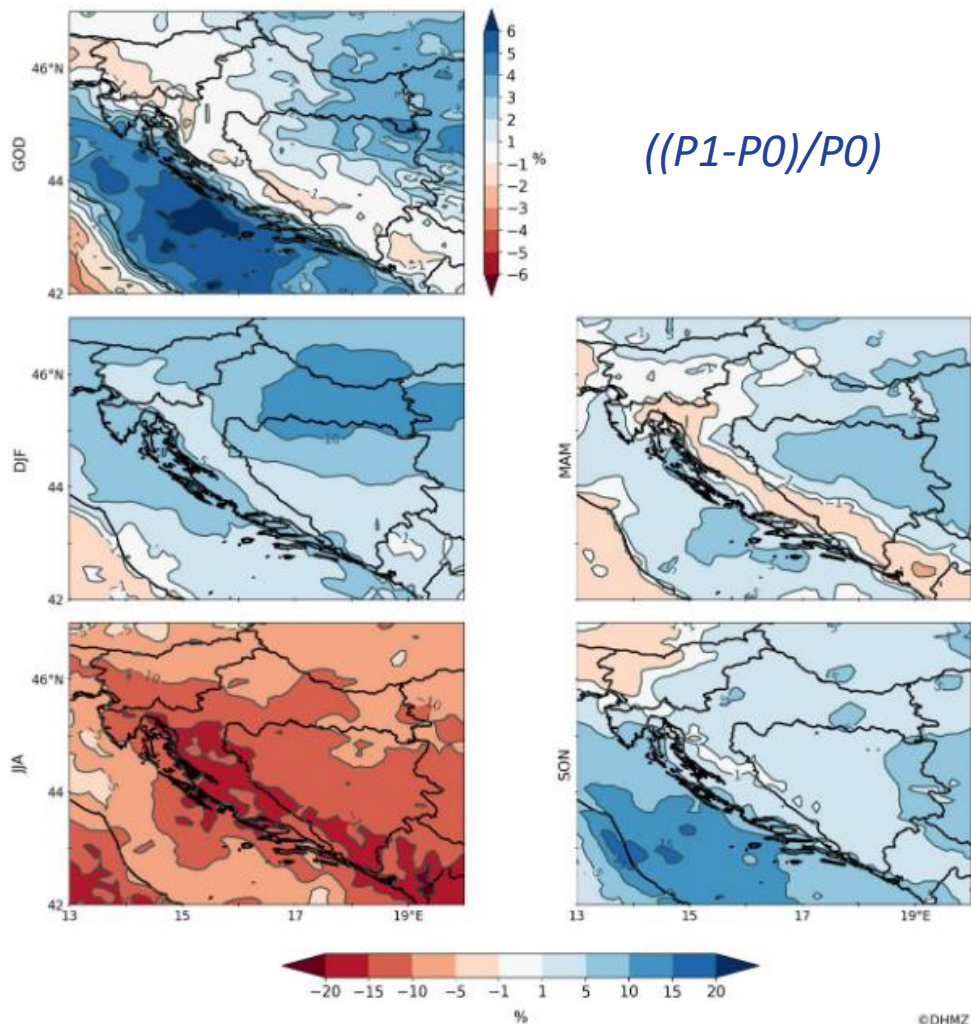
Temperatura na 2 m za P1 razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje P0 1981. – 2010. za umjereni scenarij RCP4.5 ((P1-P0)/P0).

Promjena prosječne temperature zraka (t ; prvi stupac), minimalne temperature ($t_{\min}$; drugi stupac) i maksimalne temperature zraka ($t_{\max}$; treći stupac) u srednjaku ansambla korištenih modela, Godišnja promjena (GOD; prvi redak), promjena zimi (DJF; drugi redak), u proljeće (MAM; treći redak), ljeti (JJA; četvrti redak) i u jesen (SON; peti redak).

Horvath, K. et al. (2023): ODABRANA POGLAVLJA OSMOG NACIONALNOG IZVJEŠĆA REPUBLIKE HRVATSKE PREMA OKVIRNOJ KONVENCIJI UJEDINJENIH NARODA O PROMJENI KLIME (UNFCCC), https://klima.hr/razno/publikacije/8NIKP_DHMZ.pdf



3. Opažene i očekivane klimatske promjene



Relativna promjena ukupne količine oborine u srednjaku ansambla korištenih modela za P1 razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje P0 1981. – 2010. za umjereni scenarij RCP4.5 $((P1-P0)/P0)$.

Godišnja promjena (GOD; gore lijevo), promjena zimi (DJF; sredina lijevo), u proljeće (MAM; sredina desno), ljeti (JJA; dolje lijevo) i u jesen (SON; dolje desno).

Horvath, K. et al. (2023): ODABRANA POGLAVLJA OSMOG NACIONALNOG IZVJEŠĆA REPUBLIKE HRVATSKE PREMA OKVIRNOJ KONVENCIJI UJEDINJENIH NARODA O PROMJENI KLIME (UNFCCC), https://klima.hr/razno/publikacije/8NIKP_DHMZ.pdf

4. Urbana poplava Zagreba 24./25. srpnja 2020.

- Smanjenje propusnih površina zbog urbanizacije
- Mješoviti tip kanalizacije
- Medvednica u zaleđu
- Češće i intenzivnije oborinske epizode u budućoj toplijoj klimi
- Oborinske procese je teško dobro opisati u klimatskim modelima
- Analize posebnih događaja pomažu boljem razumijevanju procesa koji su doveli do takvih situacija
- Prilagodba i priprema Grada Zagreba na ekstremne i opasne događaje



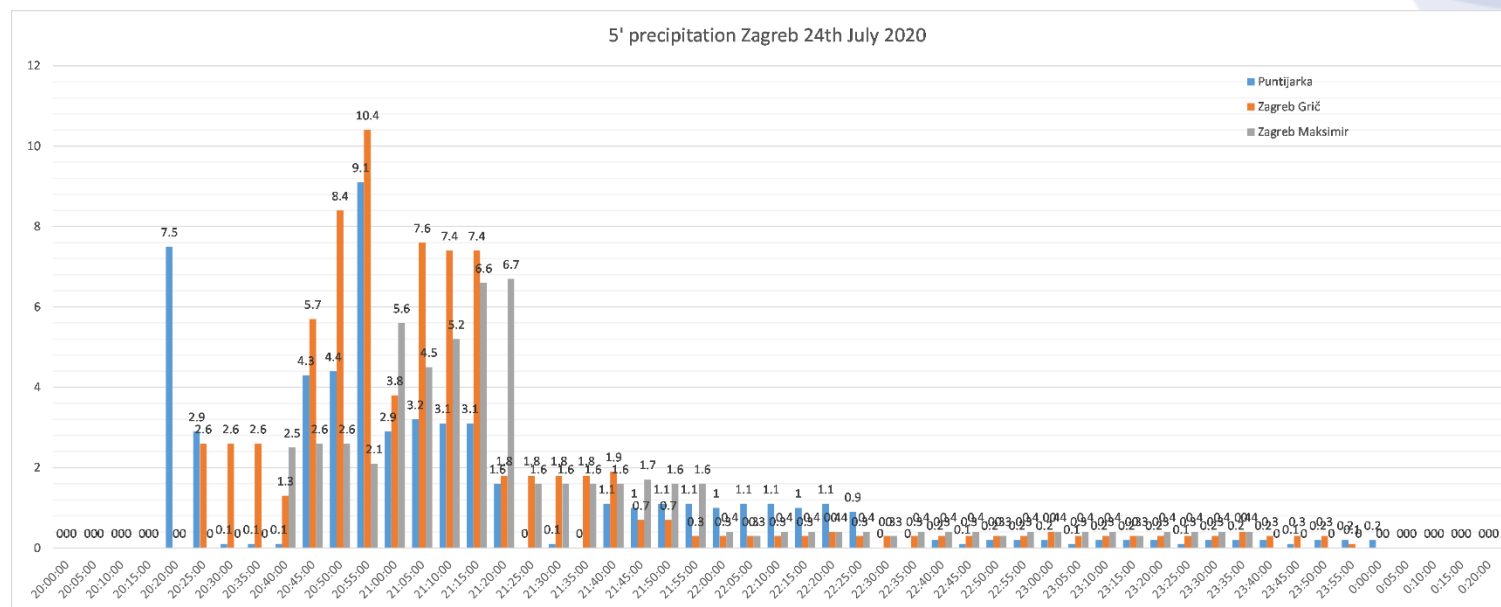
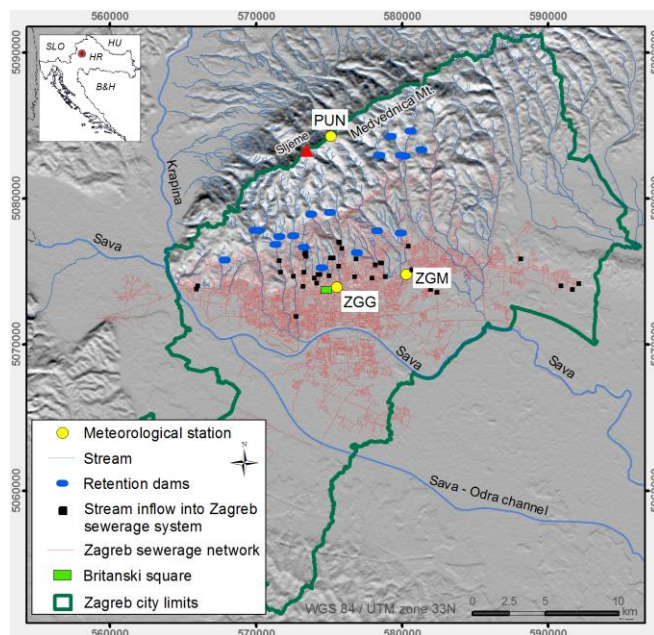
Izvor: Jutarnji list



Izvor: Novi list

Nimac, I., Cindrić Kalin, K., Renko, T., Vujnović, T., & Horvath, K. (2022). The analysis of summer 2020 urban flood in Zagreb (Croatia) from hydro-meteorological point of view. *Natural Hazards*, 1-25.

4. Urbana poplava Zagreba 24./25. srpnja 2020.



5-minutna oborina tijekom večeri 24. srpnja 2020. zabilježena na meteorološkim postajama DHMZ-a (20:15-00:00 h)

Puntijarka = 56 mm

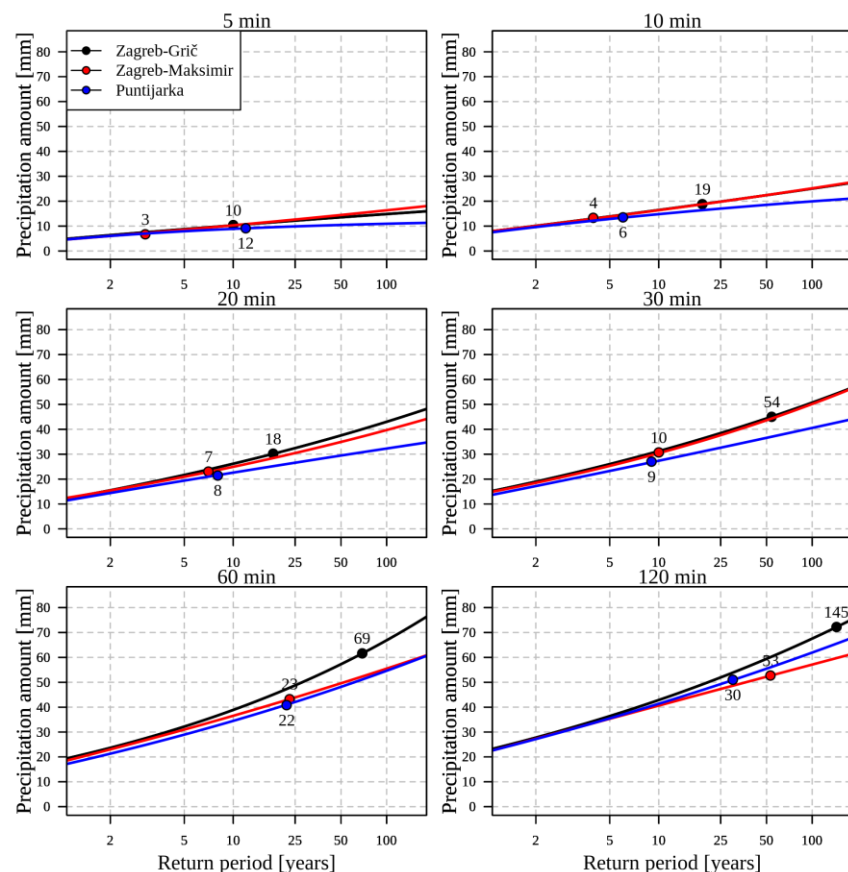
Zagreb Grič = 77.9 mm

Zagreb Maksimir = 57.3 mm

Nimac, I., Cindrić Kalin, K., Renko, T., Vujnović, T., & Horvath, K. (2022). The analysis of summer 2020 urban flood in Zagreb (Croatia) from hydro-meteorological point of view. *Natural Hazards*, 1-25.



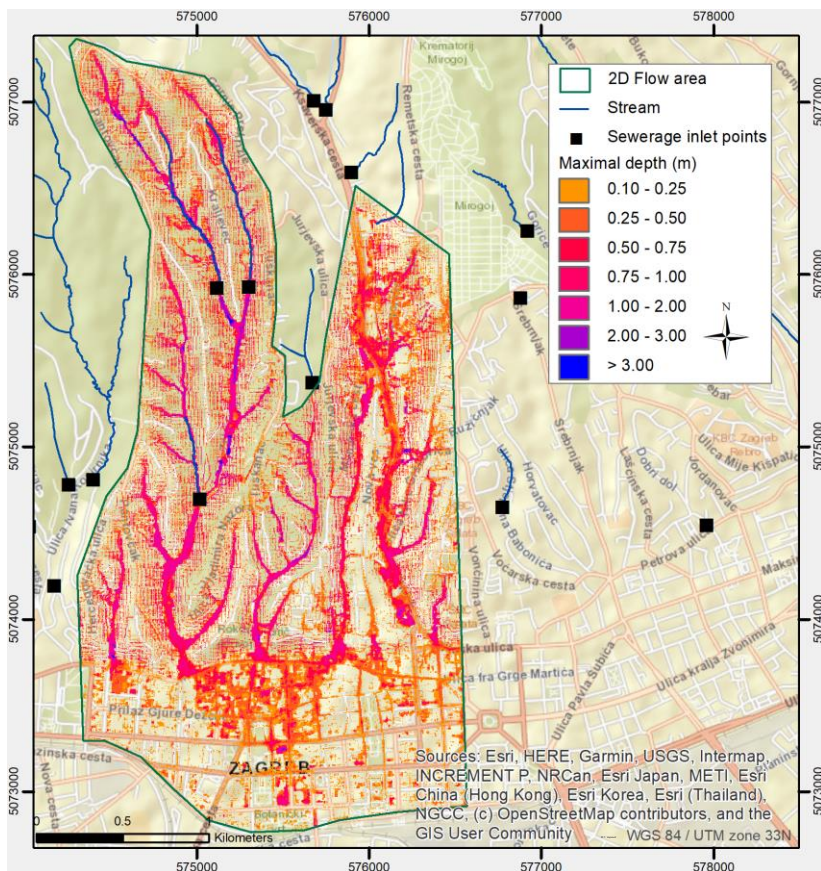
4. Urbana poplava Zagreba 24./25. srpnja 2020.



- Iznimnost oborinskog događaja u odnosu na klimatologiju
- Najveći povratni periodi generalno na meteorološkoj postaji Zagreb-Grič
- Analizirani događaj je bio posebno ekstreman za trajanje od 120-min na meteorološkoj posatji Zagreb-Grič (povratno razdoblje > 140 years!)

Nimac, I., Cindrić Kalin, K., Renko, T., Vujnović, T., & Horvath, K. (2022). The analysis of summer 2020 urban flood in Zagreb (Croatia) from hydro-meteorological point of view. *Natural Hazards*, 1-25.

4. Urbana poplava Zagreba 24./25. srpnja 2020.

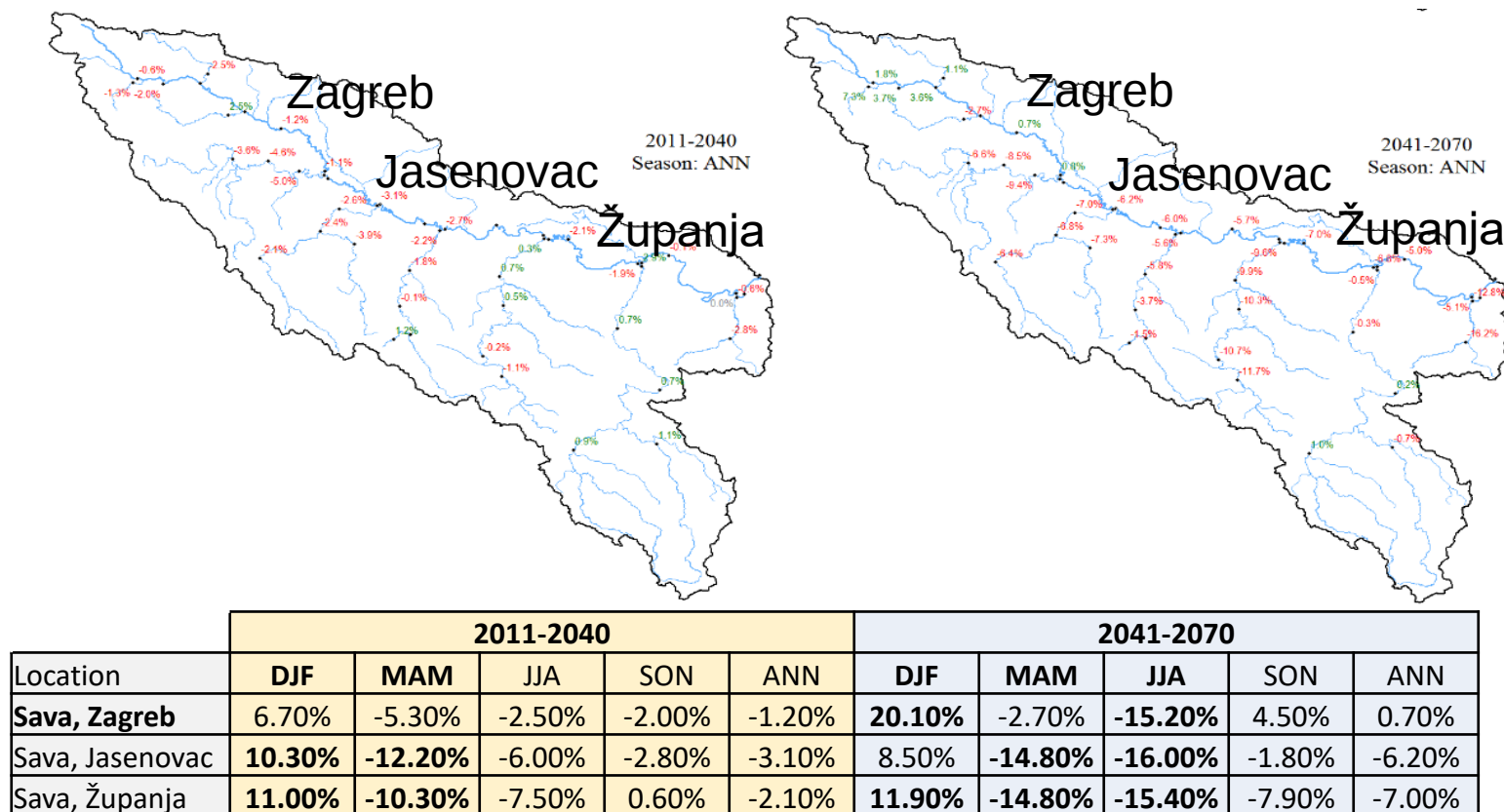


- 2D hidraulički model sa redukcijom oborine kako bi se izračunale dubine i rasprostiranje poplave na gradskom terenu
- Karta maksimalne dubine i dosega poplave jasno ukazuje na najproblematičnija područja
- Velika zastupljenost nepropusnih površina u kombinaciji s brdskim zaleđem doprinijela je urbanoj poplavi Zagreba - potreba prilagodbe odvodnje
- „Vodoprivredna osnova Grada Zagreba” (1981.–1983.) preporučala je korištenje znatno manjih vrijednosti za projektiranje kanalizacije i odvodnje (npr. povratni period od 3 godine trajanja 25 min, koji daju intenzitet 140 l/s/ha (0.84 mm/min))
- Bilo koja oborinska epizoda koja bi imala vrijednosti veće od projektnih bi uzrokovala kratkotrajnu urbanu poplavu = odvodnja/kanalizacije Grada Zagreba nije imala kapaciteta za odvodnju oborinskog tečenja koje se dogodilo.

Nimac, I., Cindrić Kalin, K., Renko, T., Vujnović, T., & Horvath, K. (2022). The analysis of summer 2020 urban flood in Zagreb (Croatia) from hydro-meteorological point of view. *Natural Hazards*, 1-25.



5. Hidrološki uvjeti u budućnosti – sliv rijeke Save u RH



The World Bank (2015): Water & Climate Adaptation Plan (WATCAP) for the Sava River Basin, ANNEX 1 - Development of the Hydrologic Model for the Sava River Basin. <http://documents.worldbank.org/curated/en/111101468188370674/pdf/100525-v2-WP-P113303-PUBLIC-Box393236B-Sava-Hydrologic-Modelling-Report.pdf>





Hvala na pažnji!

Kontakt: tvujnovic@cirus.dhz.hr