



ARSO VREME

Podnebne spremembe in podpora vremensko pogojenemu odločanju

Renato Bertalanič, Janko Merše
Agencija RS za okolje

Dnevi prometnega inženirstva 2024, Portorož, 18.–19. junij 2024

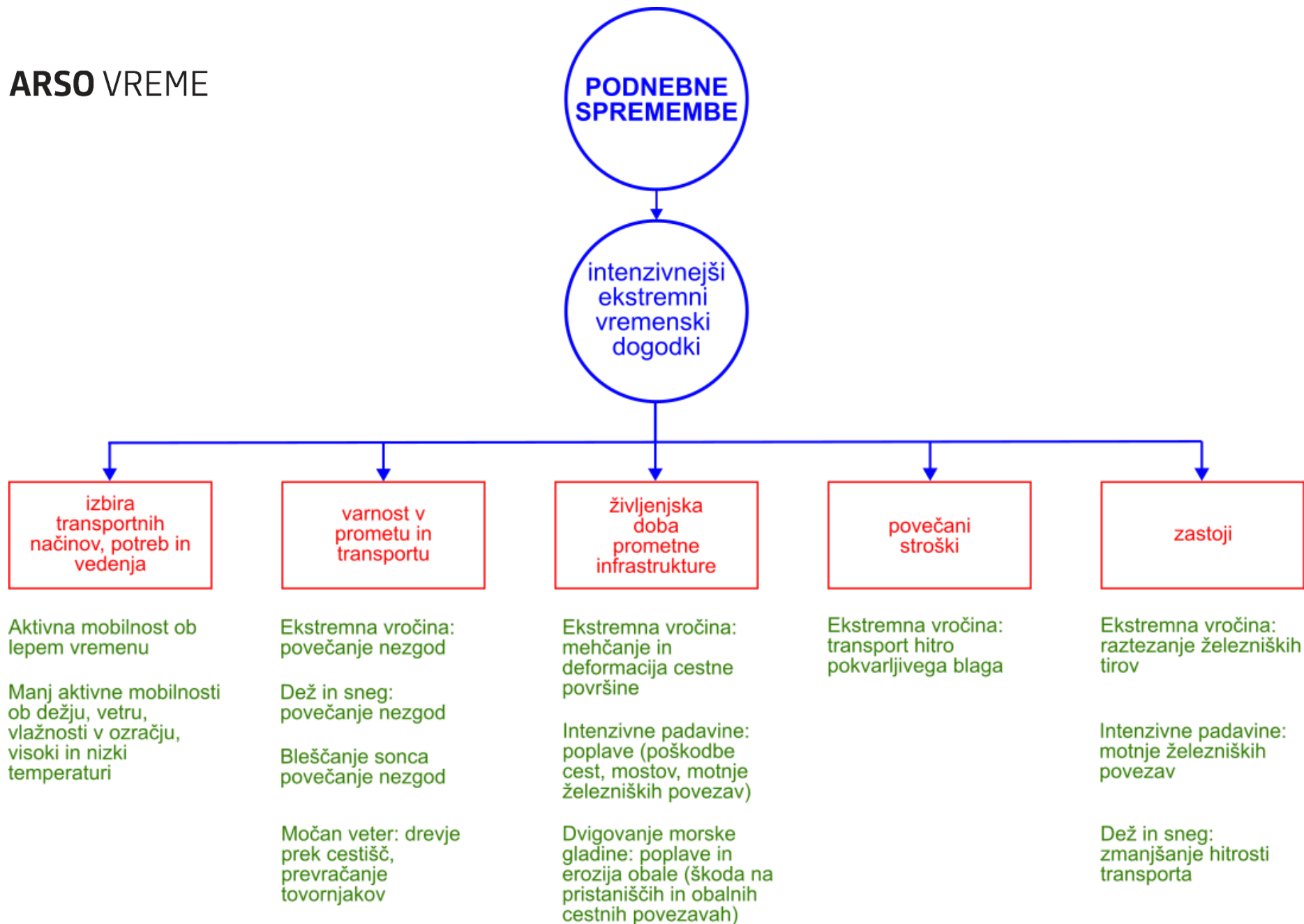
Vsebina

- Vpliv vremena in podnebja na promet
- Kako se podnebje spreminja v svetu in predvsem v Sloveniji?
- Kaj nas v Sloveniji čaka v prihodnosti?
- Katere podnebne produkte ima na voljo ARSO?
- Vsakodnevna podpora vremensko pogojenemu odločanju

Vpliv vremena in podnebja na promet



ARSO VREME





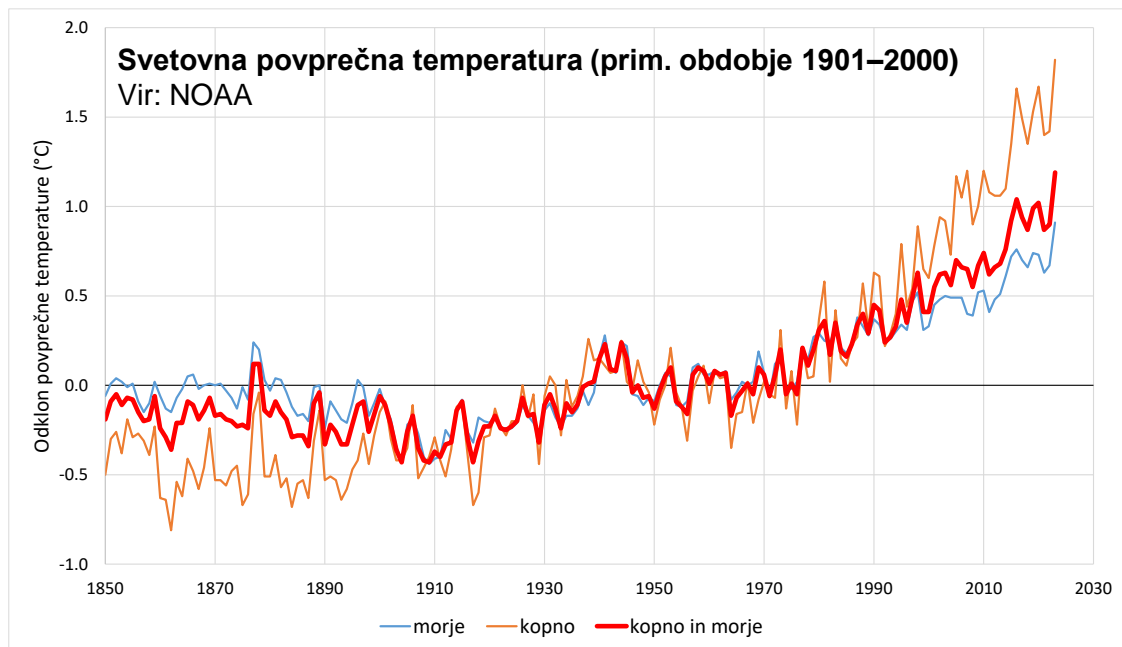
ARSO VREME

Kako se podnebje spreminja v svetu in Sloveniji?

IPCC 2021

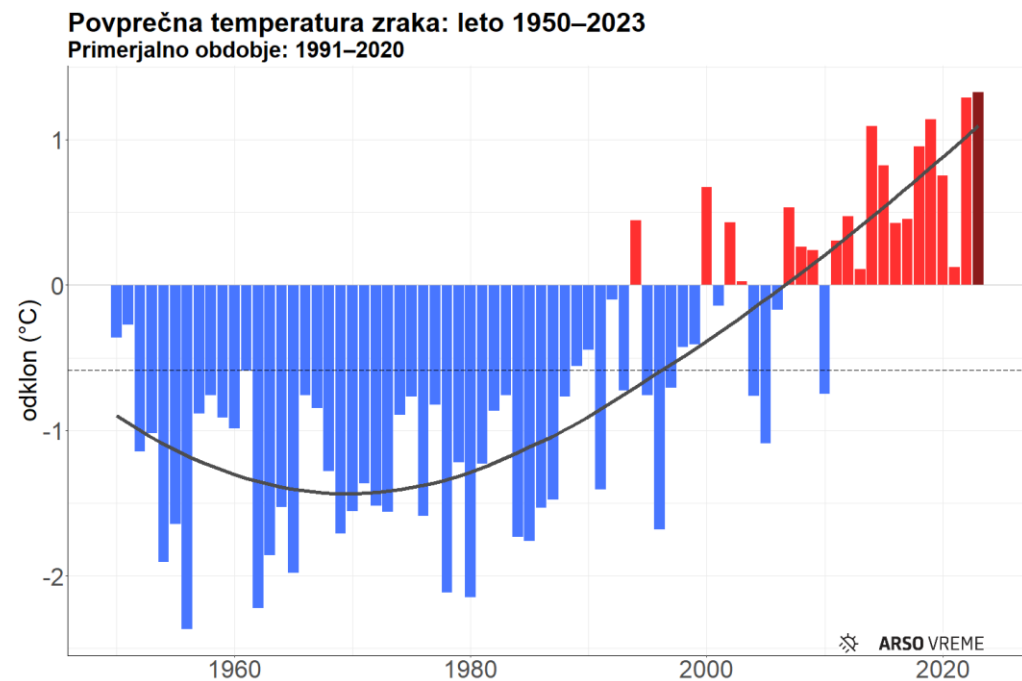
- Povečanje temperature ozračja, oceanov in tal nedvomno posledica človeka
- Obseg nedavnih sprememb brez primere v stoletjih in tisočletjih
- Antropogene podnebne spremembe že vplivajo na izjemne vremenske dogodke

Temperatura v svetu in Sloveniji



Temperatura v svetu:

- trend $0,2\text{ °C/desetletje}$ v zadnjih 40 letih
- na kopnem porast za $\sim 2\text{ °C}$ v zadnjih 60 letih
- 10 najtoplejših let v preteklem desetletju 2014–2023



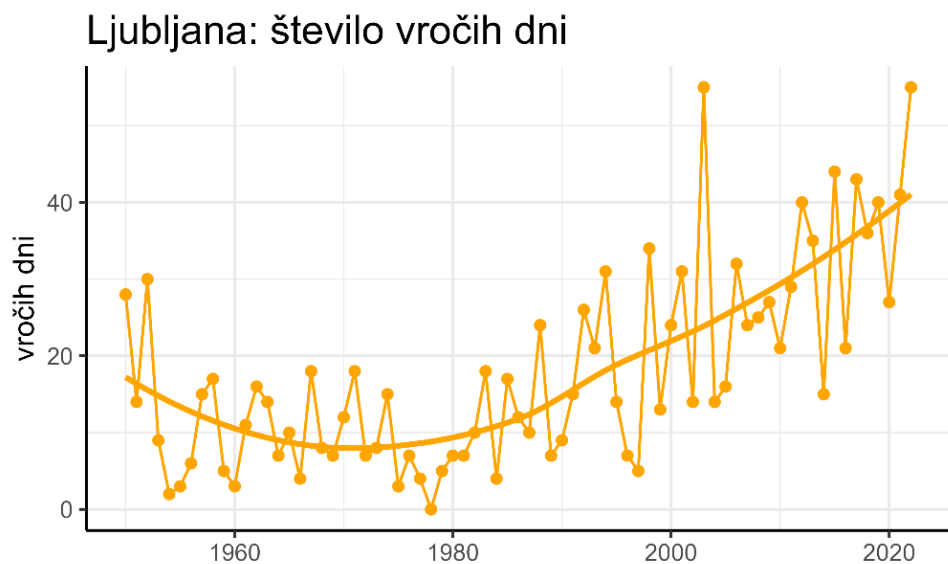
Temperatura v Sloveniji:

- Trend $0,4\text{ °C/desetletje}$ v zadnjih 74 letih
- porast za $\sim 2\text{ °C}$ v zadnjih 74 letih
- porast $\sim 2,4\text{ °C}$ od 70. let 20 stoletja
- po letu 2000 kar 19 nadpovprečnih let, prej le eno

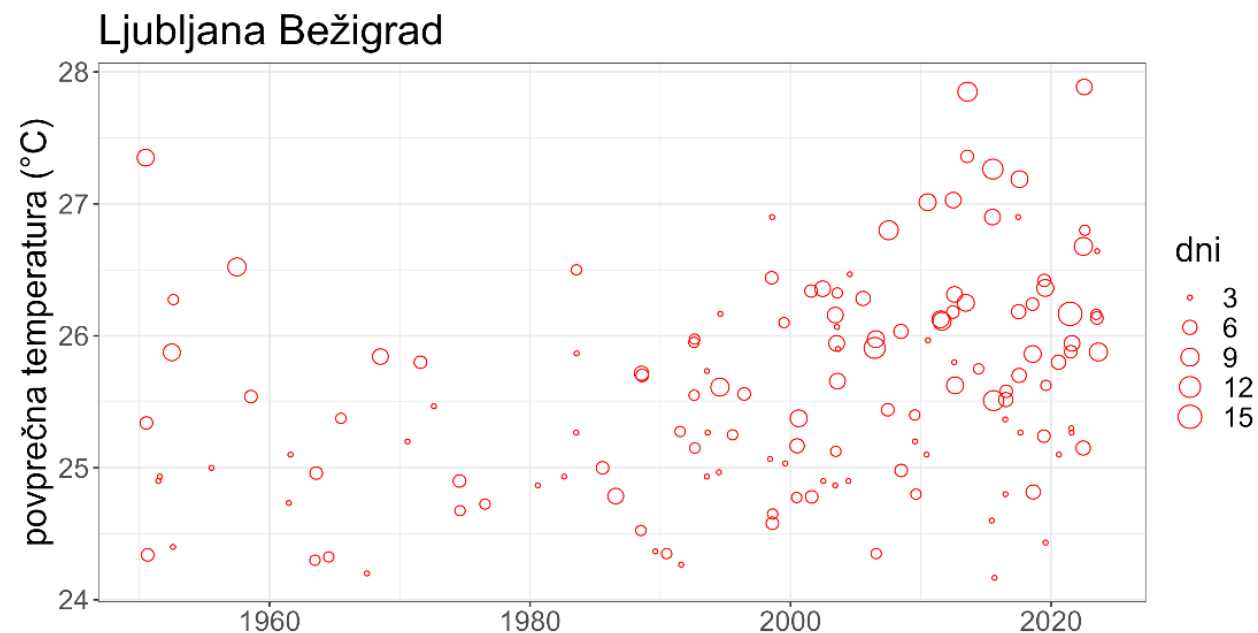
Leto 2023 najtoplejše v obeh nizih!

Ekstremne temperature

- narašča toplotna obremenitev
 - povečevanje števila:
 - vročih dni (najvišja temperatura nad 30 °C)
 - toplih dni (najvišja temperatura nad 25 °C)
 - tropskih noči (najnižja temperatura nad 20 °C)



Število, trajanje in intenzivnost vročinskih valov se povečujejo

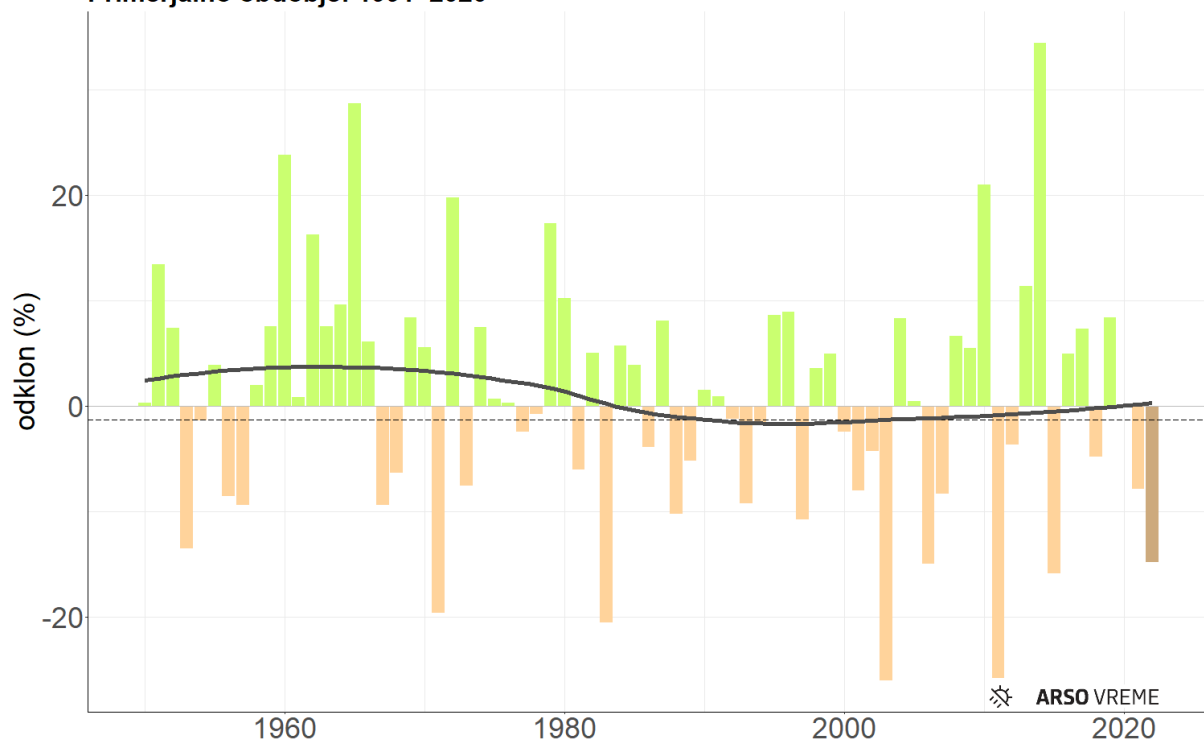


Padavine

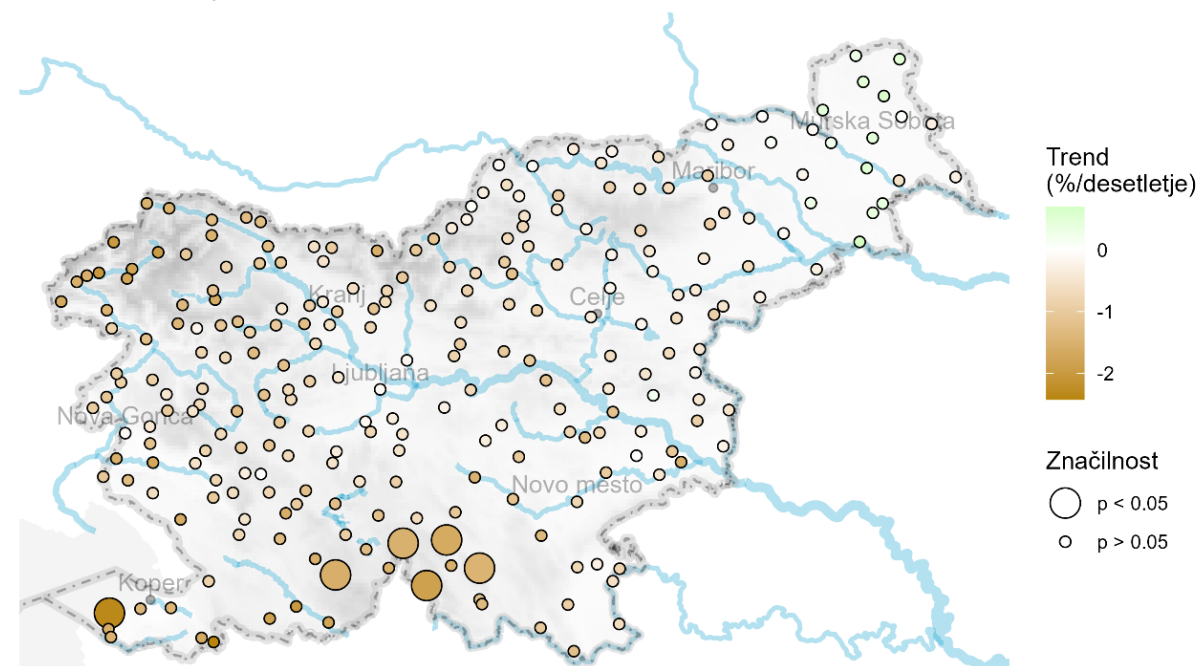
Na ravni Slovenije zmanjšanje količine padavin na letni ravni ni statistično značilno (okrog 1 %/desetletje v obdobju 1950–2022)

- Na letni ravni je tendenca zmanjševanja višine padavin do 2 %/desetletje, razen na SV, kjer je tendenca višanja
- Spremembe niso statistično značilne (razen redkih izjem)

Višina padavin: leto 1950–2022
Primerjalno obdobje: 1991–2020



Trend višine padavin 1950-2022

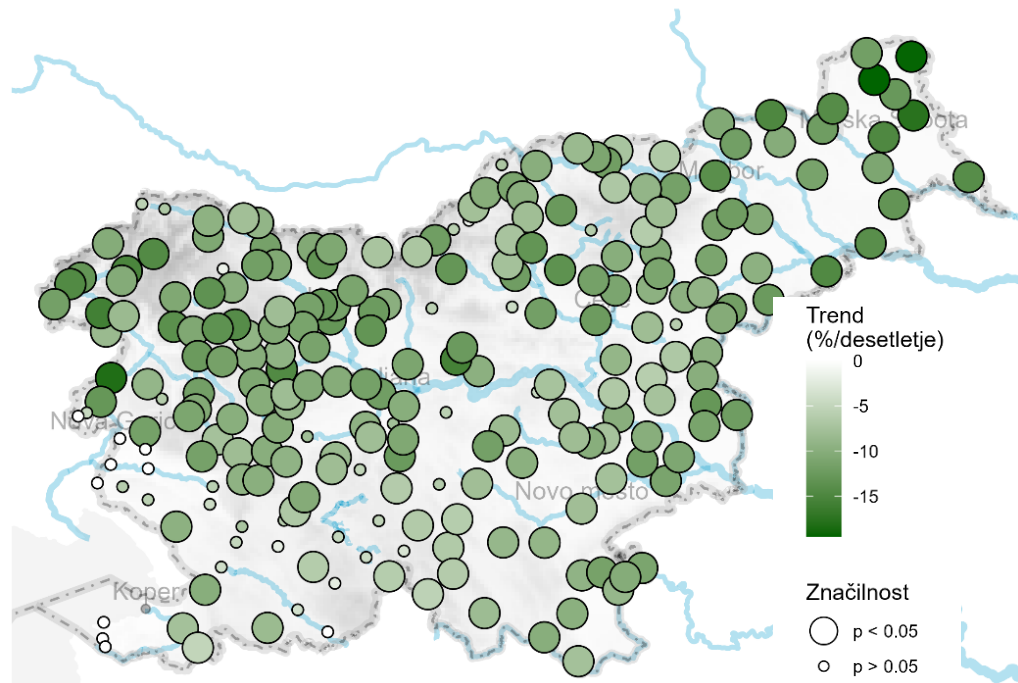


Manj je snega

Zmanjšuje se višina novozapadlega snega (10–20 % na desetletje)

Še nekoliko bolj se zmanjšuje višina snežne odeje (15–25 % na desetletje)

Trend višine novozapadlega snega 1950-2022

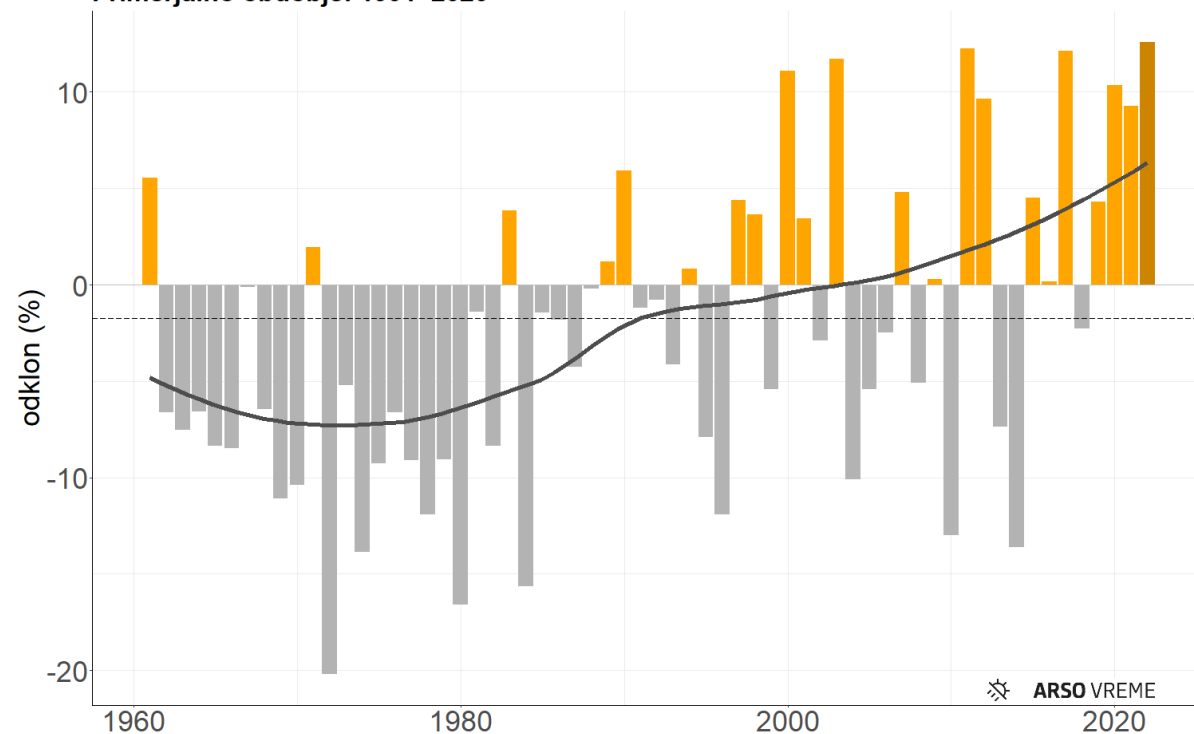


Osončenost je večja

Na letni ravni imamo več sončnih ur (okrog 2,5 %/desetletje).

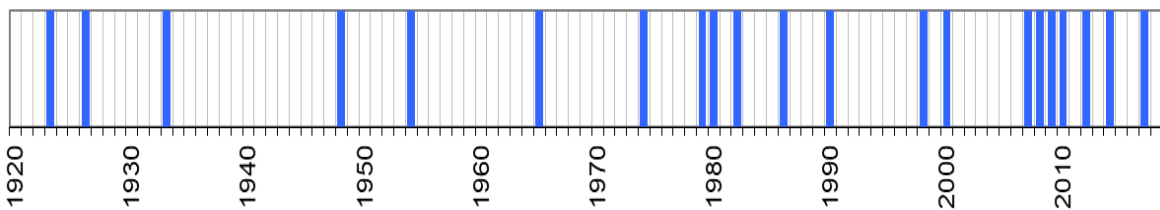
Več jih imamo tudi spomladi, poleti in pozimi (okrog 2,6 do 4,1 %/desetletje).

Trajanje sončnega obsevanja: leto 1961–2022
Primerjalno obdobje: 1991–2020



Povečala se je pogostost ekstremnih dogodkov

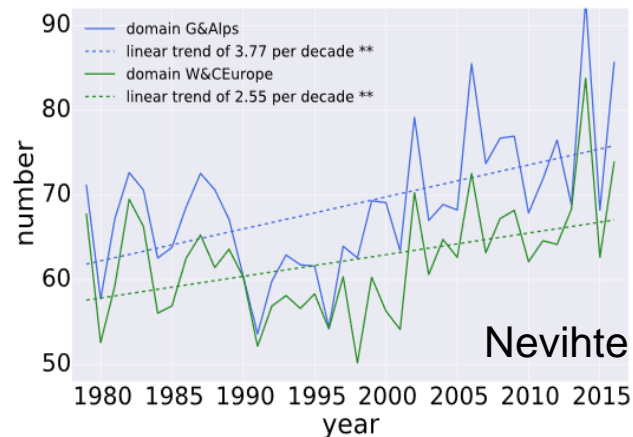
Poplave



13 velikih poplav v zadnjih 38 letih, leta 2014 trikrat



Neurja

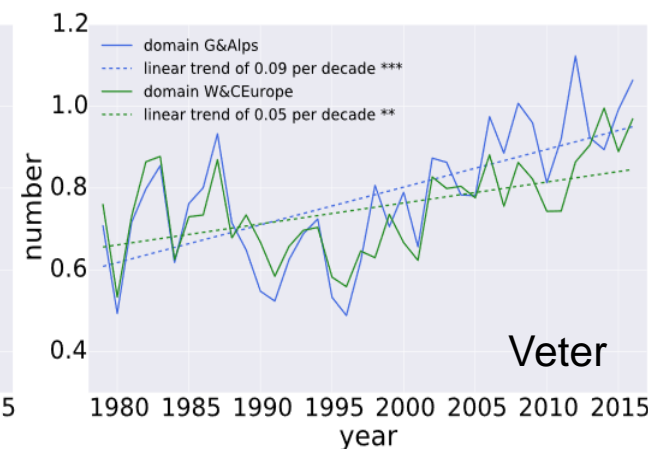
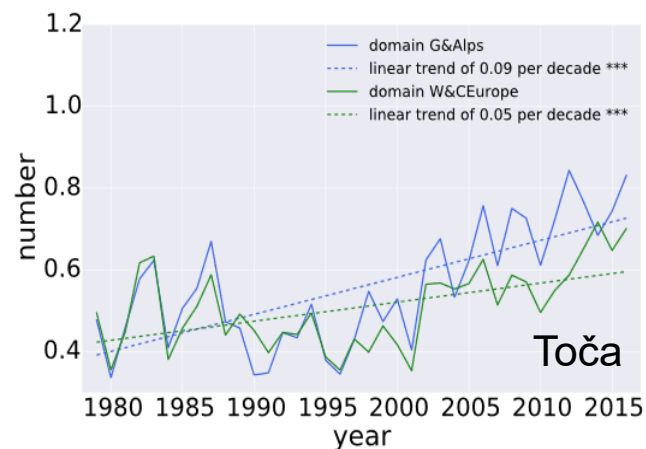


Nevihte: padanje do leta 1997, nato opazno intenzivno naraščanje (23 %)

Nevihte s točo (>2 cm): podobno naraščanje (86 %)

Nevihte z vetrnimi sunki (> 25 m/s): podobno naraščanje (56 %)

Modra: območje Nemčije in Alp, 1979-2016



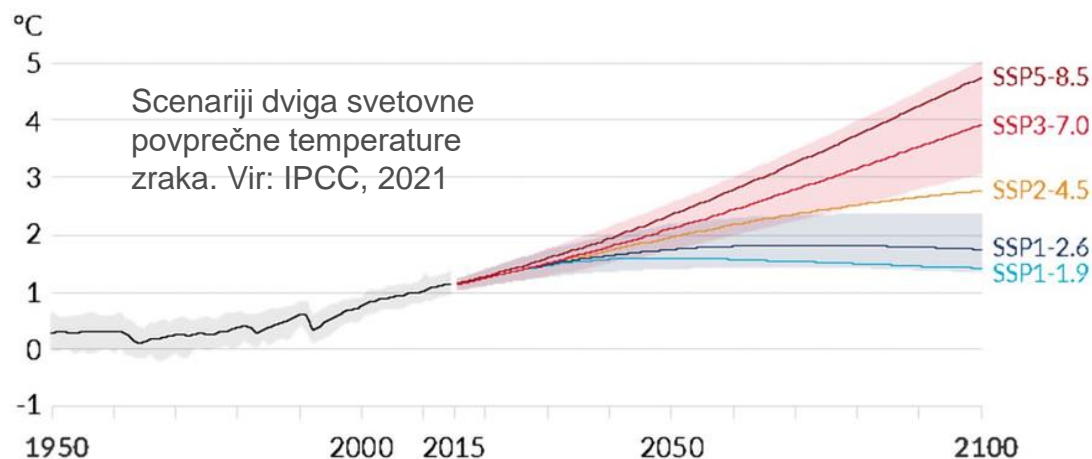
Kaj nas čaka v prihodnosti?

IPCC 2021

- Globalna temperature se bo višala še vsaj do sredine stoletja
- Globalno ogrevanje nad 1,5 oz. 2 °C bo preseženo, razen če zelo omejimo izpuste
- Povečala se *bosta pogostost in jakost vročinskih ekstremov, obilnih padavin, suš v nekaterih regijah*, obseg arktičnega ledu in *snežne odeje*, permafrosta se bo zmanjšal
- Vodni krog se bo okrepil, padavine bodo obilnejše, dogodki z močnimi nalivi in suše se bodo okrepili
- Veliko sprememb je nepovratnih v dobi stoletij ali tisočletij, posebej v oceanih, ledenih pokrovih in gladini morij

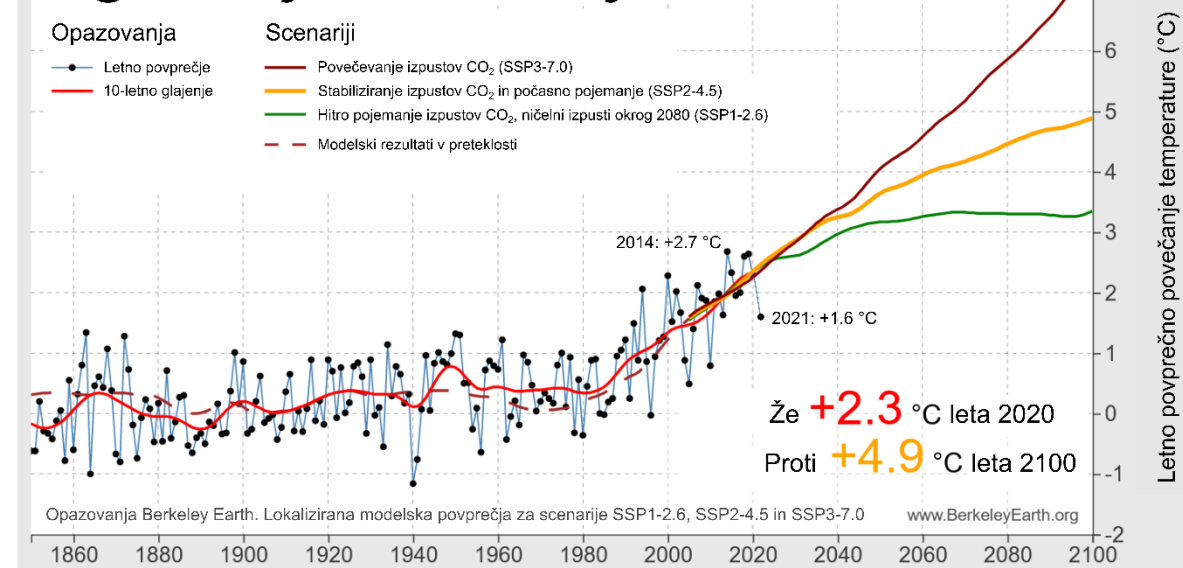
Ogrevanje v svetu in Sloveniji se bo nadaljevalo

a) Global surface temperature change relative to 1850-1900



- Dokler bodo izpusti TGP občutni, se bodo podnebne spremembe nadaljevale
- Ogrevanje bo tem večje, čim več toplogrednih plinov bomo še spravili v ozračje.
- Regionalno različne posledice

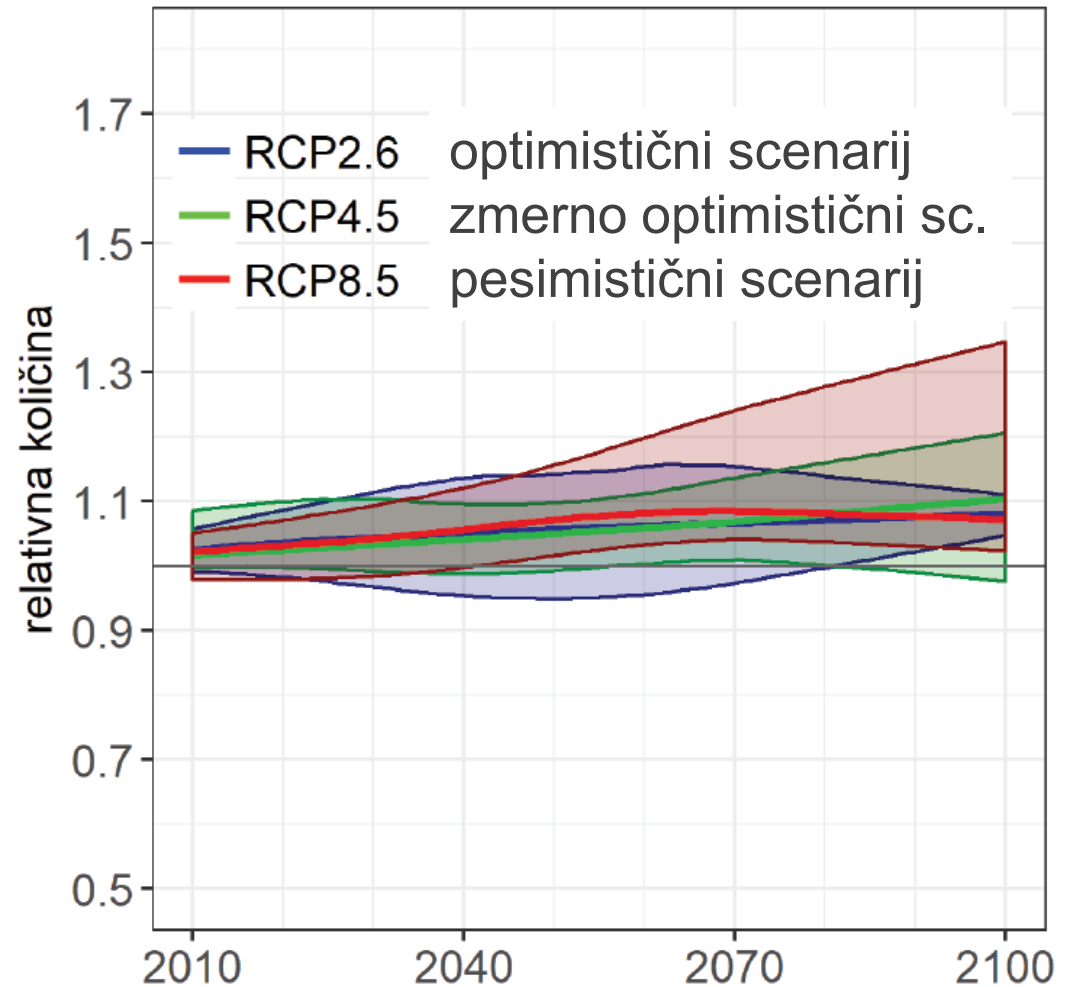
Ogrevanje v Sloveniji



- Konec stoletja 1–6 °C topleje kot v obdobju 1981–2010
- Vročinski stres se bo stopnjeval
- V mestih bodo vročinski valovi močnejši kot na podeželju
- Do 45 več vročih dni na leto

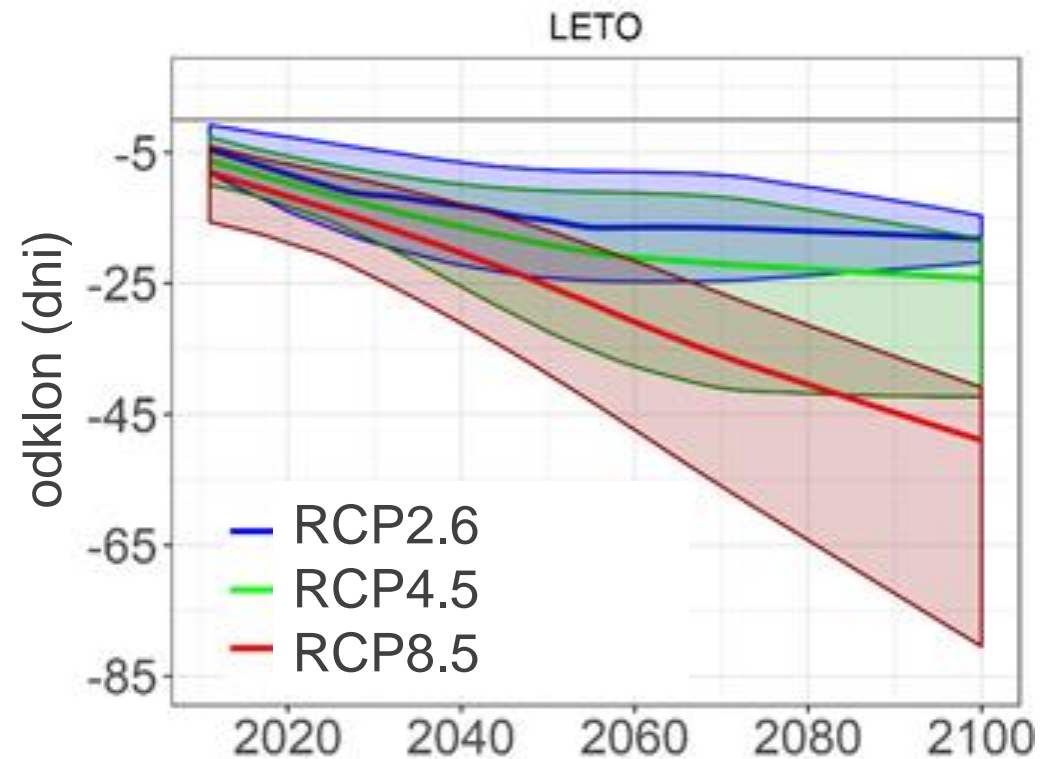
Višina padavin v 21. stoletju

- Scenariji manj zanesljivi od temperaturnih
- Več vlage v ozračju
- Zmerno optimističen scenarij: naraščanje ves čas, proti koncu stopnjevanje
- Pesimistični scenarij: naraščanje po vsej državi
- Več padavin pozimi, verjetno manj poleti
- Manj padavinskih dni
- Močnejši nalivi
 - Do 20 % intenzivnejše dnevne padavine
 - Do 10 %/°C ogrevanja močnejši kratkotrajni nalivi



Snežna odeja v 21. stoletju

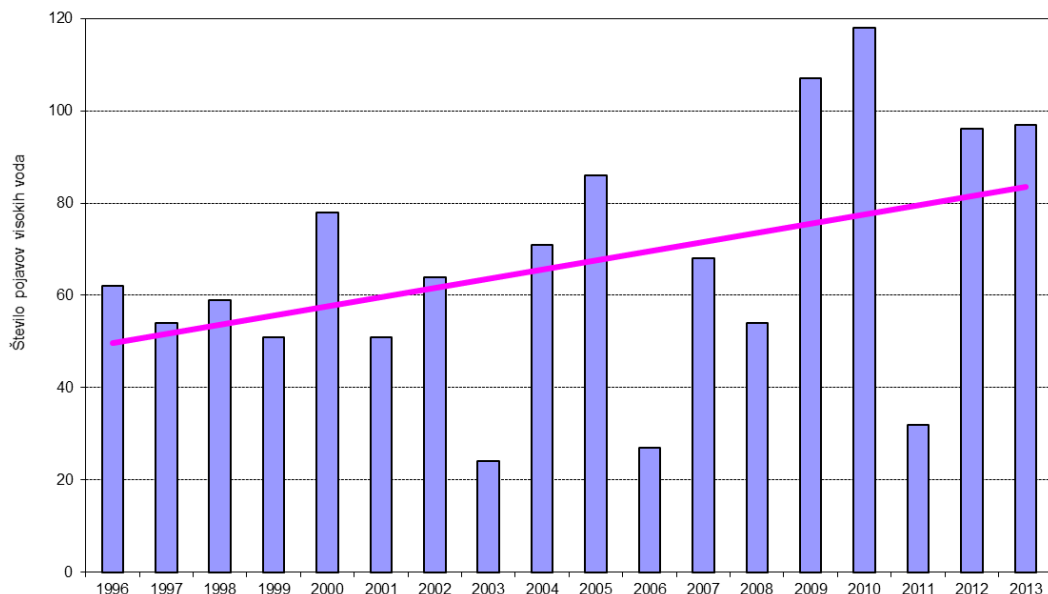
- Manj snežnih padavin in odeje
- Povprečje za Slovenijo sedaj okrog 60 dni (1981–2010)
- Konec stoletja 25–50 dni manj
 - Največji upad pozimi, konec stoletja 17–50 dni manj
- V višinah do 55 dni manj snega (300–600 m), 89 dni (1200–1500 m)
- Manjši prenos vode v rastno dobo
- Več poplav pozimi



Povečala se bo pogostost in jakost ekstremnih dogodkov

Večja verjetnost poplav

- Hladna polovica leta:
 - več padavin,
 - manj v obliki snega
- Večja jakost padavin tudi poleti



Nevihte, viharji in toča

- Analize kažejo (Radler in sod., 2018):
 - neviht: do 5 % (RCP4.5) oz. do 20 % (RCP8.5) več
 - neviht z vetrom 25 m/s in več: 10–80 % več
 - neviht s točo več kot 2 cm: do 40–80 % več za RCP8.5
 - neviht s točo več kot 5 cm: do 80–160 % več za RCP8.5
- Še velika negotovost projekcij za nevihte!



Povečana tveganja za promet in transport

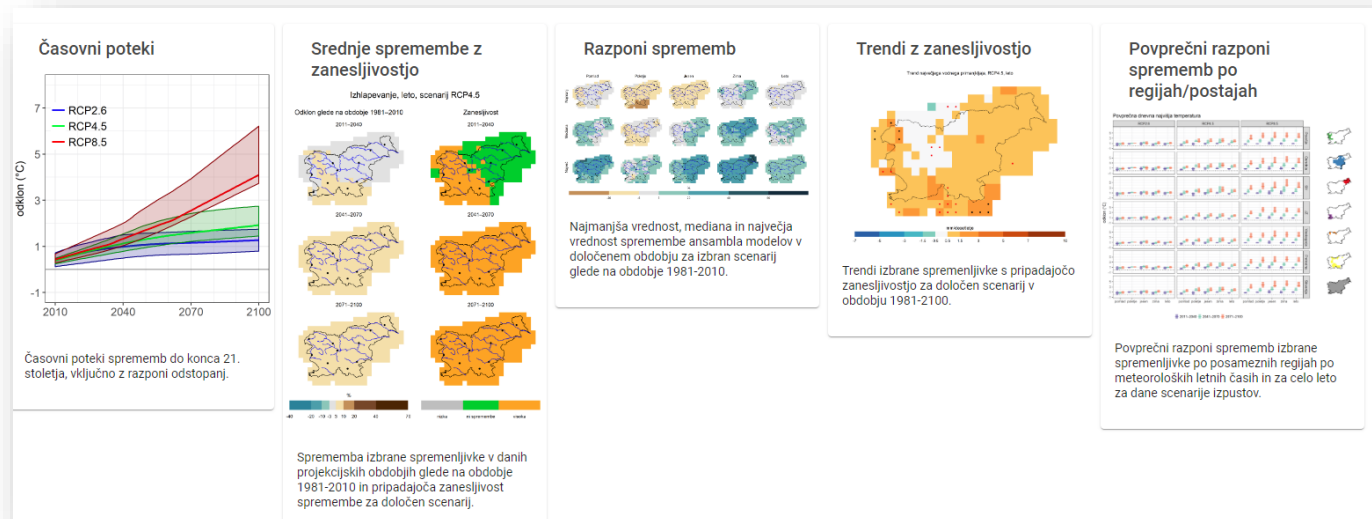
- Študije: začasne in lokalne motnje bodo pogostejše zaradi ekstremnih dogodkov, postopne podnebne spremembe verjetno s skromnim vplivom na transport
- **Višja temperatura:** mehčanje asfalta, večja pozornost materialom za sestava cest, fiziološke motnje v prometu, prevoz pokvarljivega blaga, več kolesarjenja izven poletja, manj poleti: večja možnost požarov v naravi, motnje tudi pri transportu
- **Pogostejši ekstremni vremenski dogodki,** kot so močni nalivi, neurja in zemeljski plazovi, lahko povzročijo težave na cestah -> kaskadni učinki (moten transport, vpliv na industrijo, spremenjene navade v prometu, preklicane ali odložene poti)
- **Močnejše padavine in nalivi:** cestna infrastruktura se mora prilagoditi spremenjenim razmeram (izboljšanje odvodnjavanja, gradnja protipoplavnih ukrepov, zdrs na mokrih cestiščih, poplave otežujejo promet in poškodujejo infrastrukturo, povečana verjetnost zemeljskih plazov, ki lahko poškodujejo cestno infrastrukturo
- **Močan veter:** neurja prinašajo močan veter, ki lahko povzroči škodo na objektih, podira drevesa na cestišča, motnje v prometu in letalskem prometu
- **Večja verjetnost toče:** škoda na vozilih v prometu, otežene razmere, večje število nezgod

Katere podnebne produkte ima na voljo ARSO?

Podnebni produkti ARSO

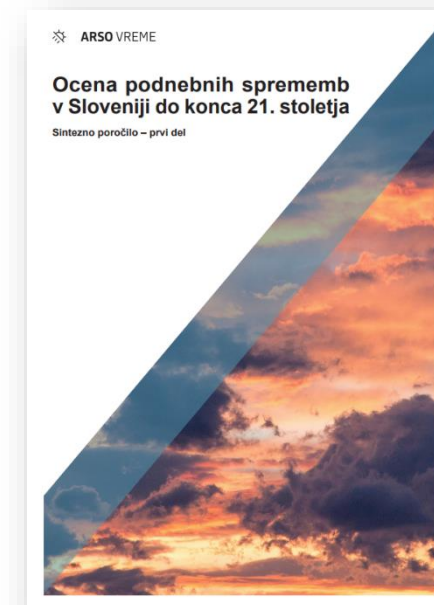
Podnebne projekcije

- Poročilo Ocena podnebnih sprememb do konca 21. stoletja (Bertalanič in sod., 2018)
- Atlas podnebnih projekcij



OPSI – Odprti podatki Slovenije

- Dnevni modelski podatki in podatki sprememb v prihodnosti na portalu OPSI



Podnebni produkti ARSO

Podrobnejše ocene po naročilu

- Za območja, trase cest, občine, itn.:
 - Temperaturne spremembe (spremembe v ekstremnih temperaturah, s povratno dobo 50 let)
 - Padavinske razmere, ekstremne padavine (12-urne, 24-urne, 15- do 120-minutni nalivi iz spremembe temperature)
 - Vetrne razmere (viharji, iz literature, prirejeno na območje)
 - Tudi negotovosti ocen

Preglednica 4. Ocene za najnižjo temperaturo zraka s povratno dobo 50 let po scenariju RCP4.5 leta 2050 glede na vrednosti najnižje temperature v današnjem podnebnju (T_{danes}). Poleg trenda in celotnega razpona sta podana še 95-odstotni interval zaupanja za oceno (ocena T_{2050}), ki temelji na izračunu šestih različnih podnebnih modelov (preglednica 1), in srednja vrednost ocene vseh modelov (srednja vrednost ocene T_{2050}).

Postaja	Srednja ocena vrednosti trenda (°C/desetletje)	Celoten razpon vrednosti trenda (°C/desetletje)	T_{danes} (°C)	Ocena T_{2050} (°C)	Srednja vrednost ocene T_{2050} (°C)
Ljubljana	0,36	0,12–0,62	–23,0	od –22,2 do –20,6	–21,5

Preglednica 5. Ocene za ekstremne 12- in 24-urne padavine s povratno dobo 100 let za tri meteorološke postaje. Ocene so podane za današnje podnebje (P_{danes}) in za podnebje v sredini 21. stoletja (P_{2050}) po scenariju RCP4.5. Za prihodnje podnebje je podan 95-odstotni interval zaupanja za oceno, ki temelji na izračunu šestih različnih podnebnih modelov (preglednica 1), in srednja vrednost ocene.

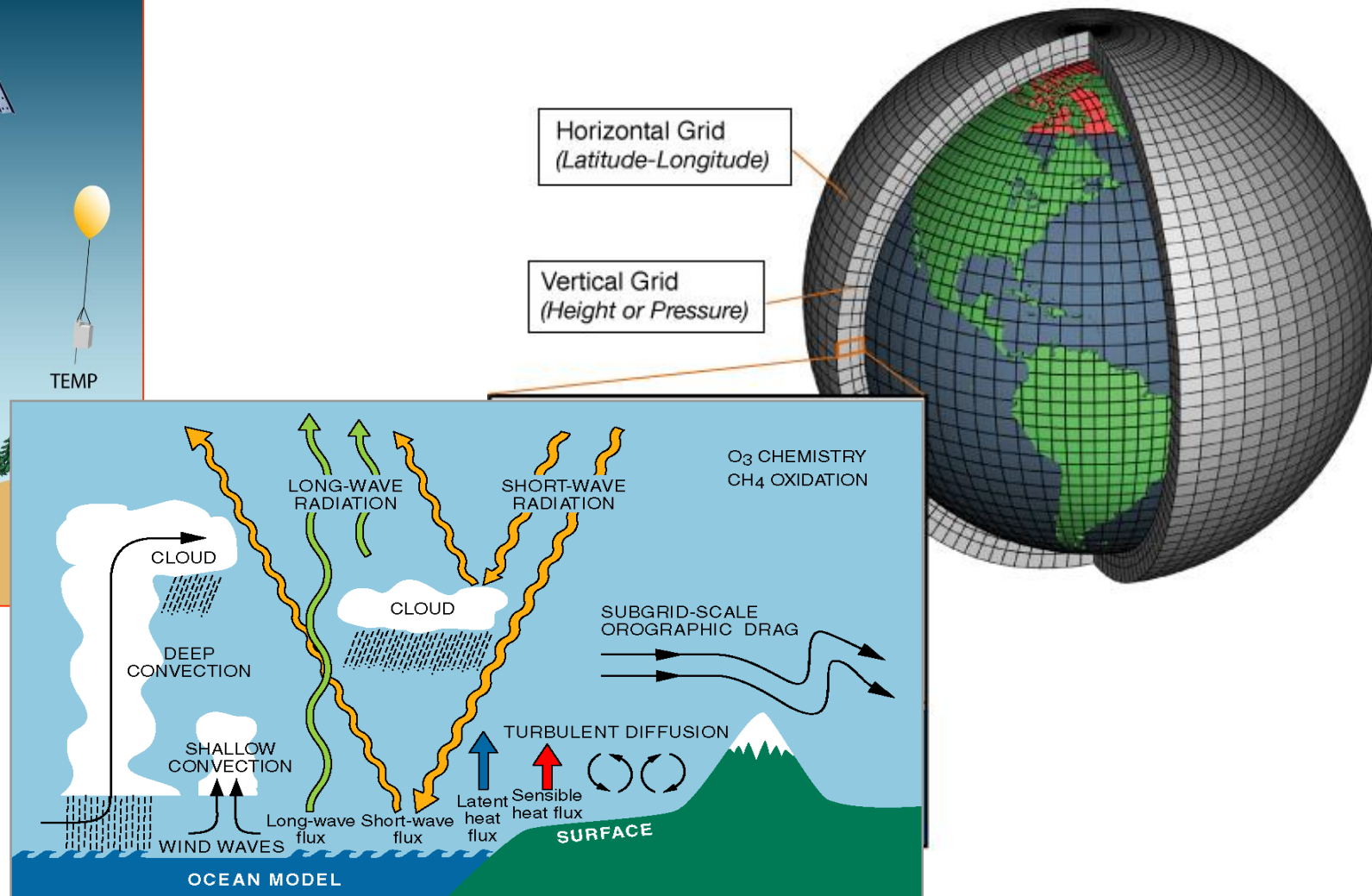
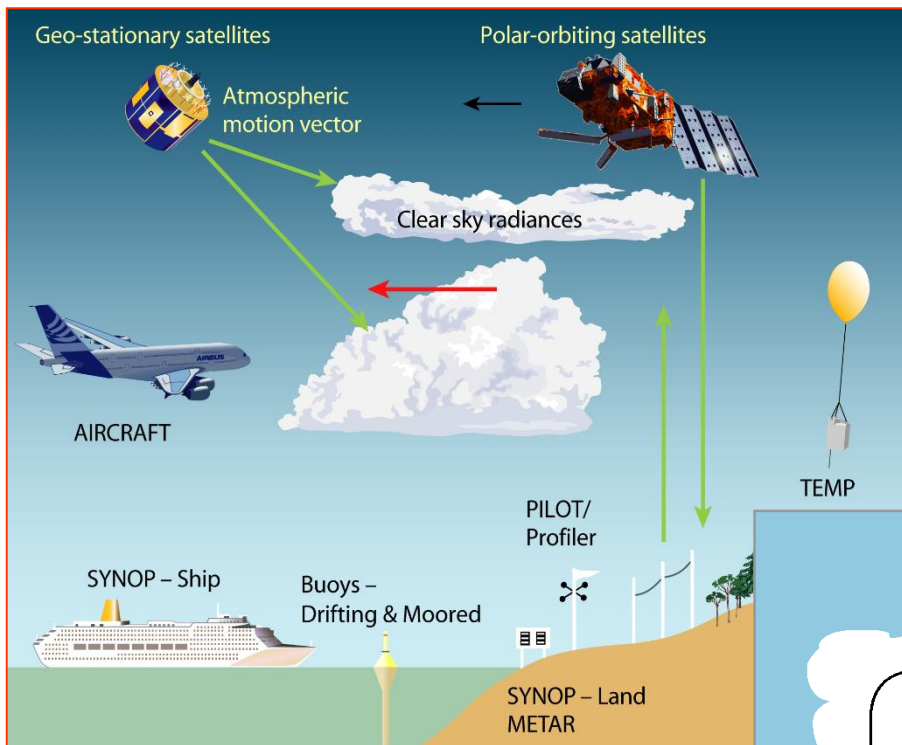
Postaja	Trajanje padavin (ure)	P_{danes} (mm)	Ocena P_{2050} (mm)	Srednja vrednost ocene P_{2050} (mm)
Ljubljana	12	144	142–151	147
	24	167	165–174	170

Preglednica 6. Ocene za ekstremne 15-, 20-, 30- in 120-minutne nalive (v mm) s povratno dobo 2, 5, 25 in 100 let na meteorološki postaji Ljubljana Bežigrad. Ocene so podane za današnje podnebje (danes) in za podnebje v sredini 21. stoletja (2050) po scenariju RCP4.5. Za prihodnje podnebje je podan interval verjetnih vrednosti, dobljen iz teoretičnih ocen po stopnjah 7%/°C in 14 %/°C.

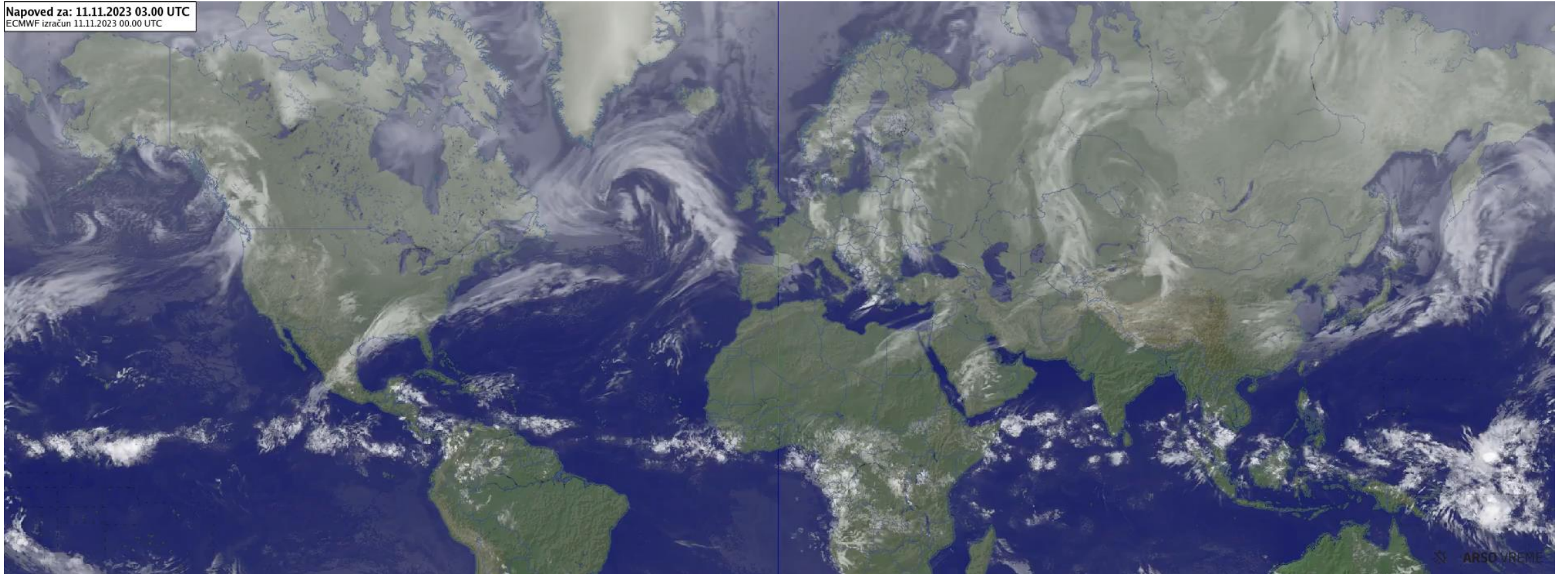
Območje	Dolžina naliva (minute)	Obdobje	Povratna doba (leta)			
			2	5	25	100
Ljubljana Bežigrad	15	danes	16	21	29	38
		2050	17–20	22–26	30–35	40–47
	20	danes	18	23	33	43
		2050	19–22	24–28	35–40	45–53
	30	danes	21	28	40	51
		2050	22–26	29–34	42–49	53–62
	120	danes	35	46	66	86
		2050	37–43	48–56	69–81	90–105

Vsakodnevna podpora vremensko
pogojenemu odločanju

Analiza in numerično napovedovanje vremena



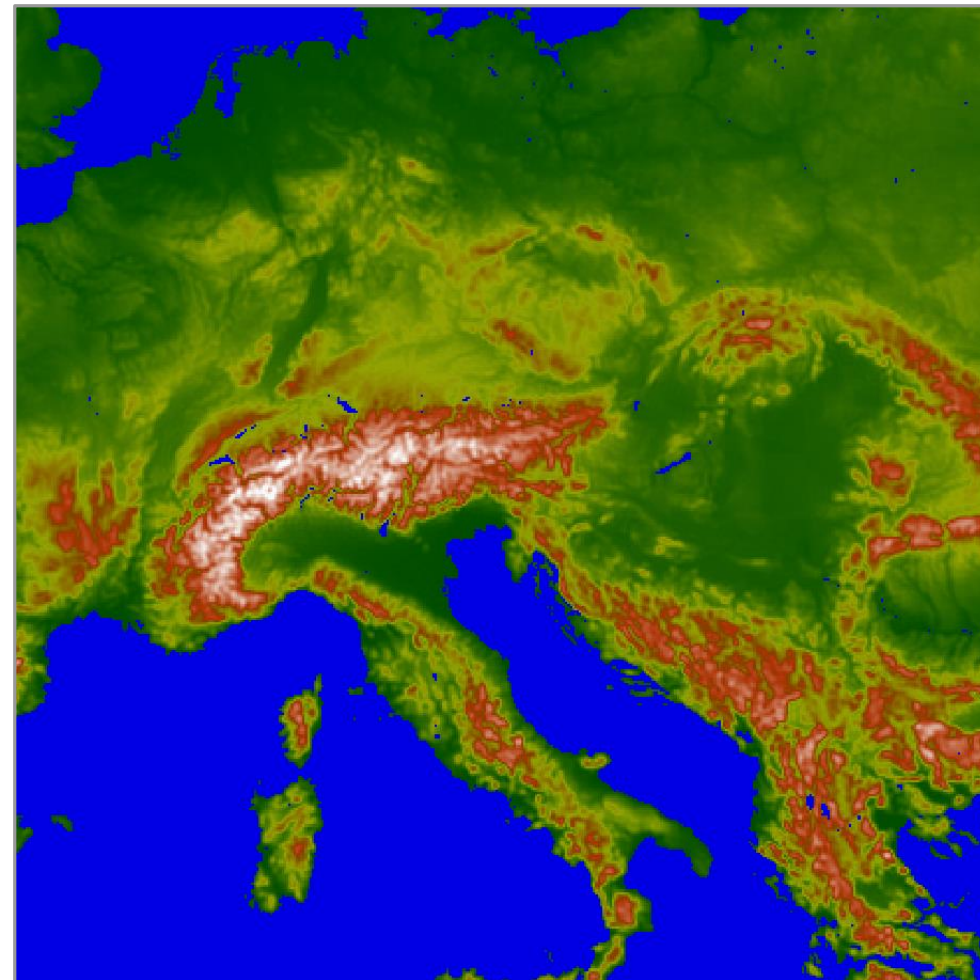
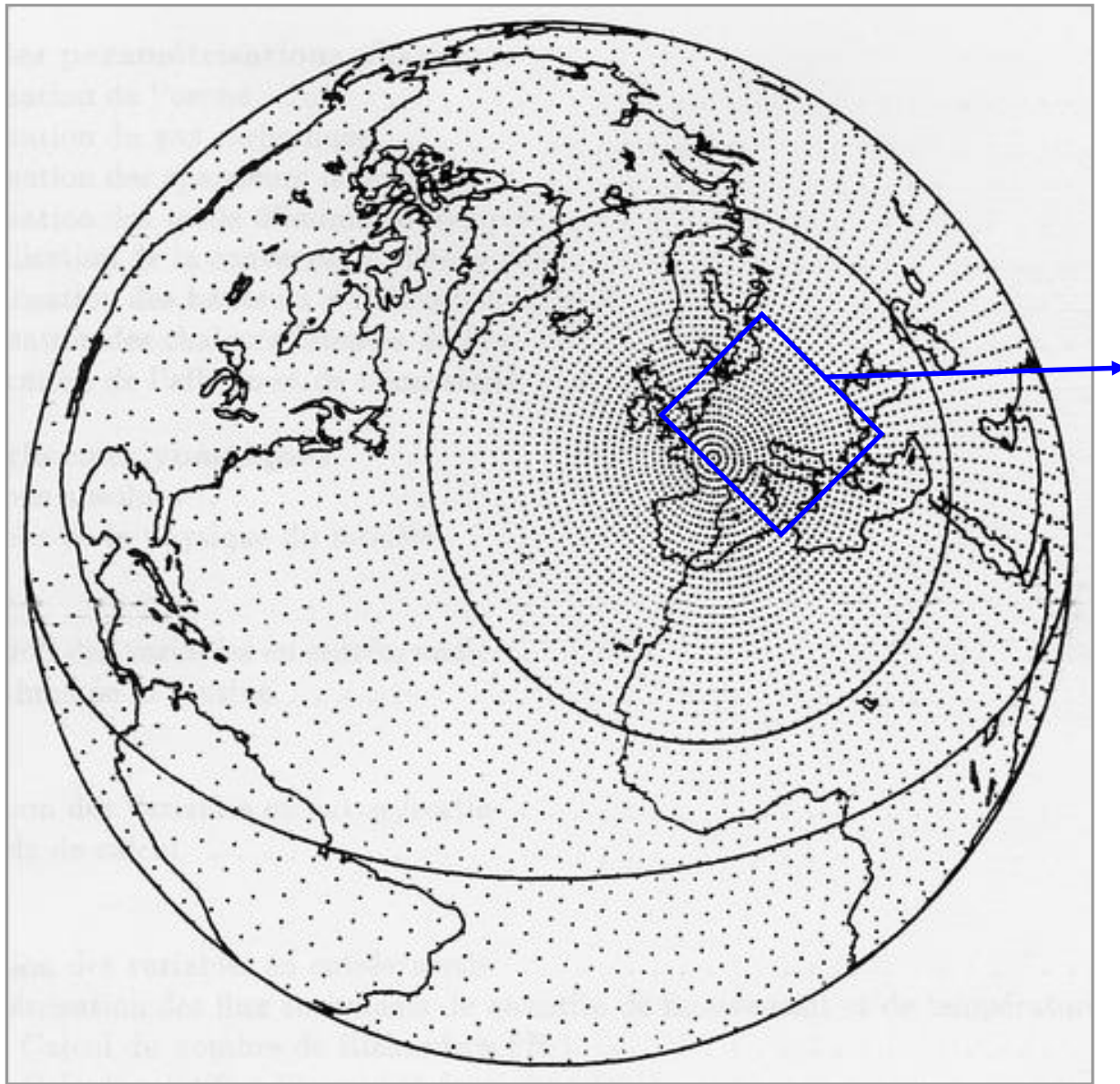
Napoved za: 11.11.2023 03.00 UTC
ECMWF izračun 11.11.2023 00.00 UTC



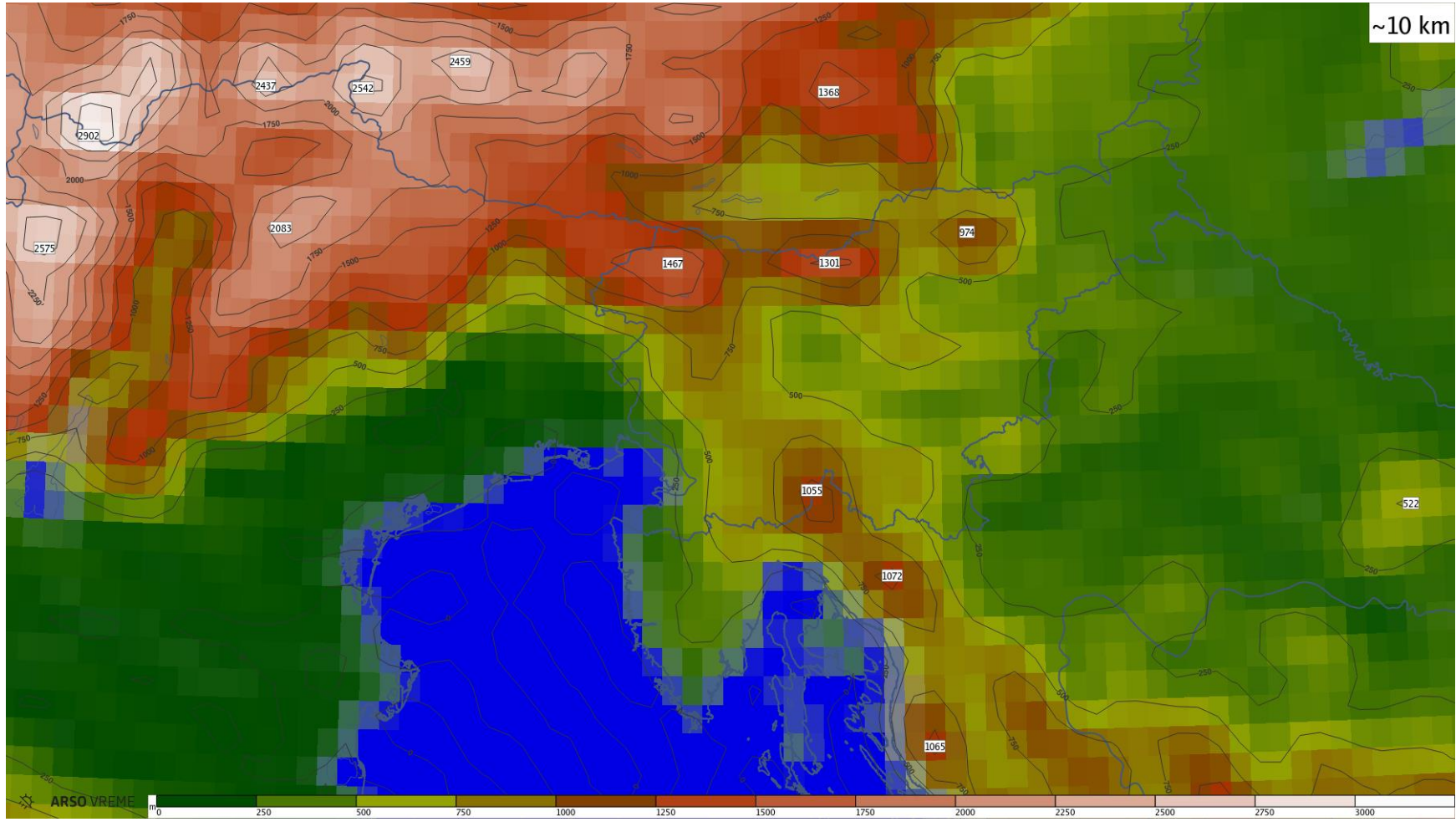
ARSO VREME



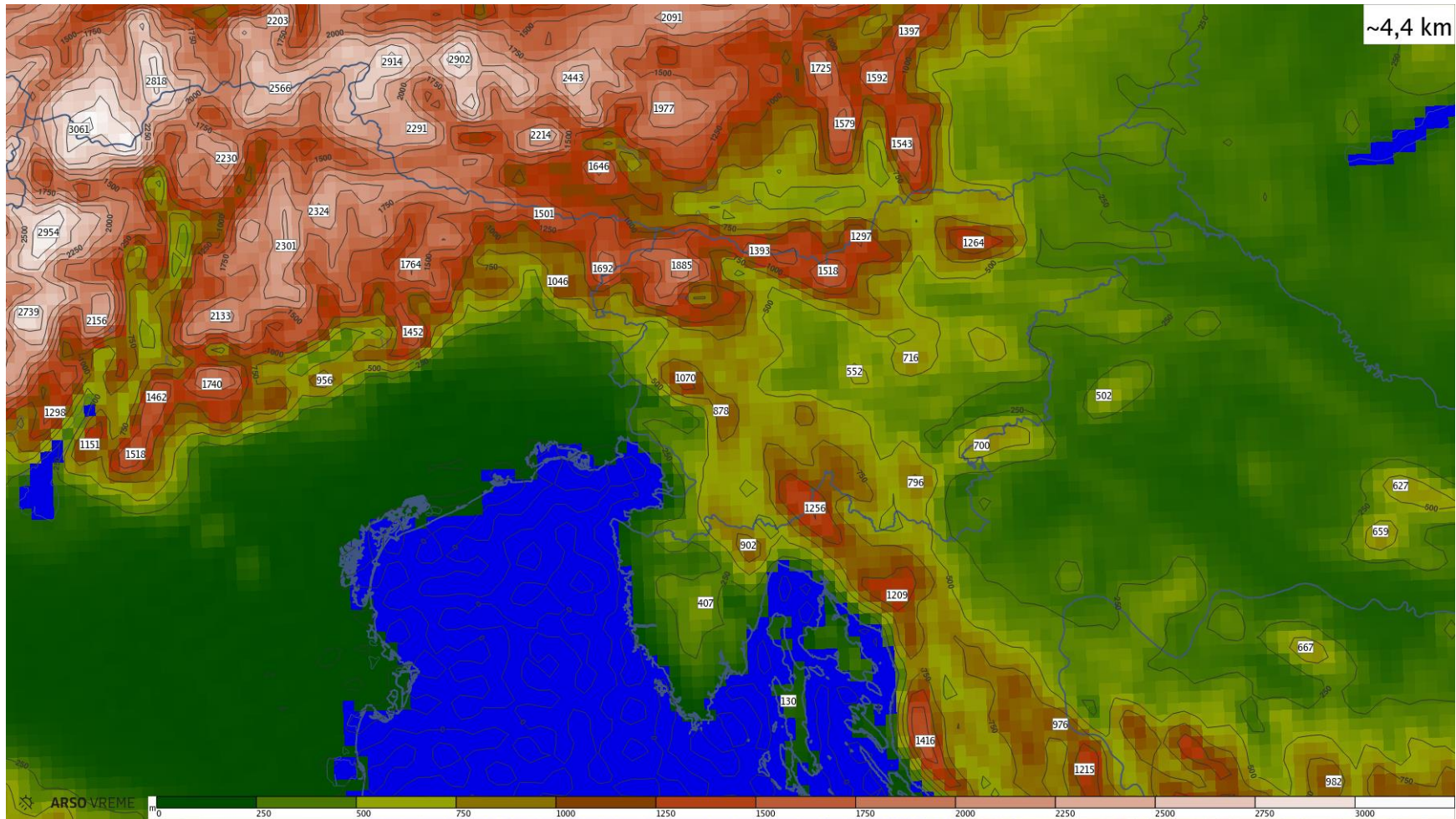
ARSO VREME



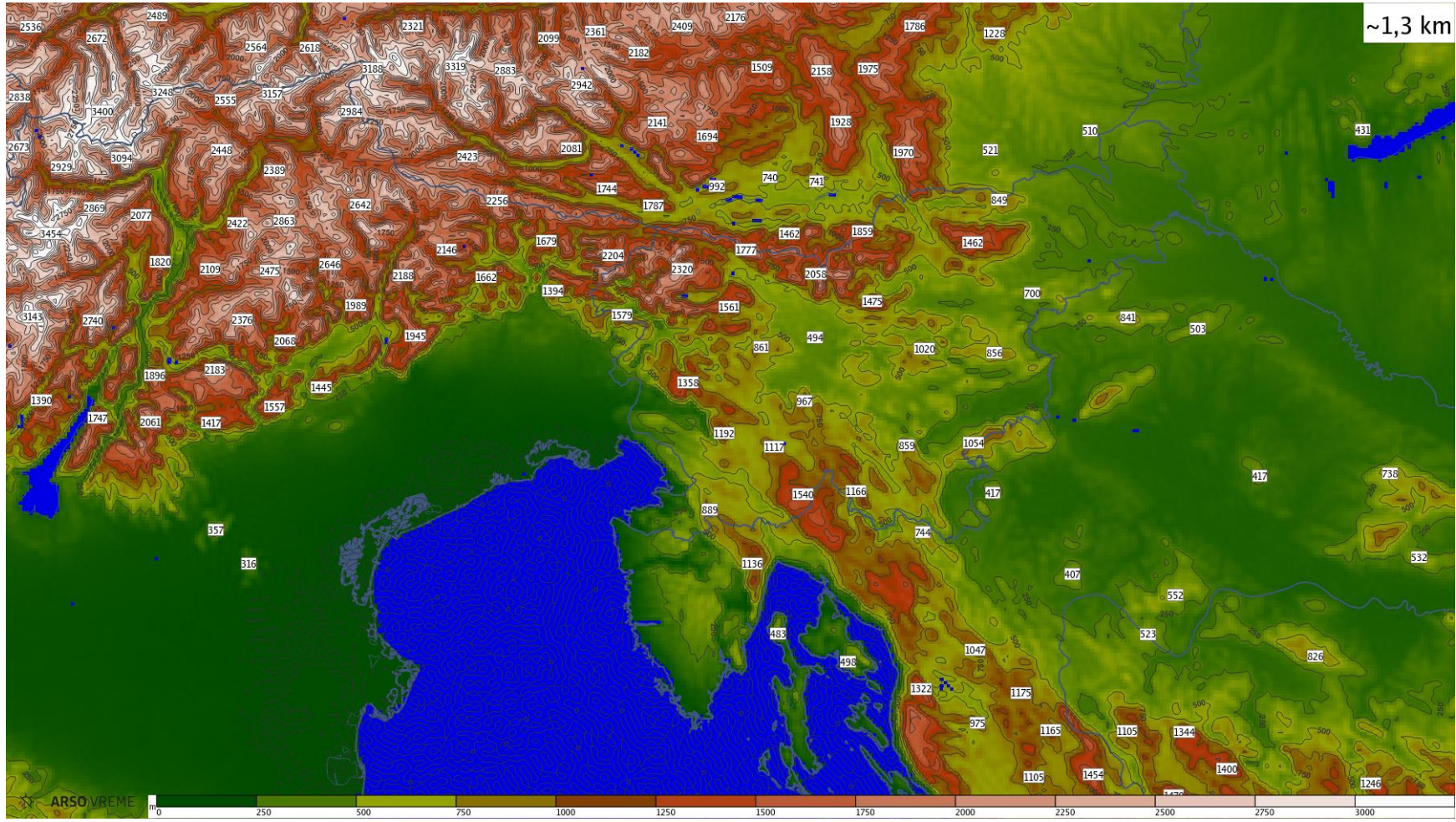
ARSO VREME



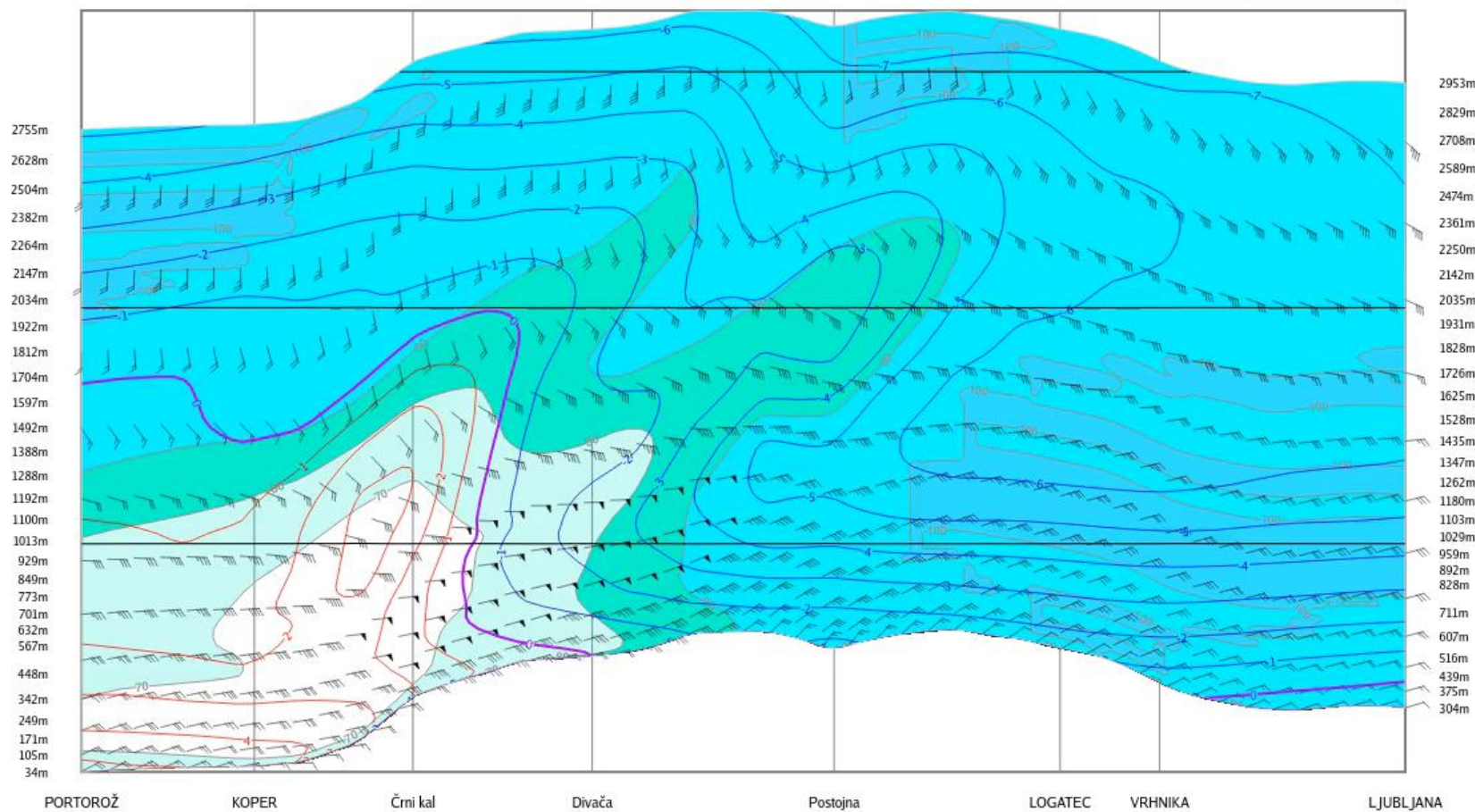
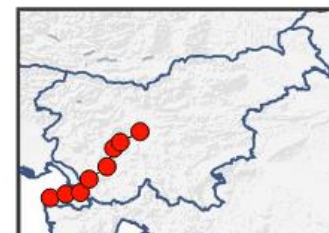
ARSO VREME

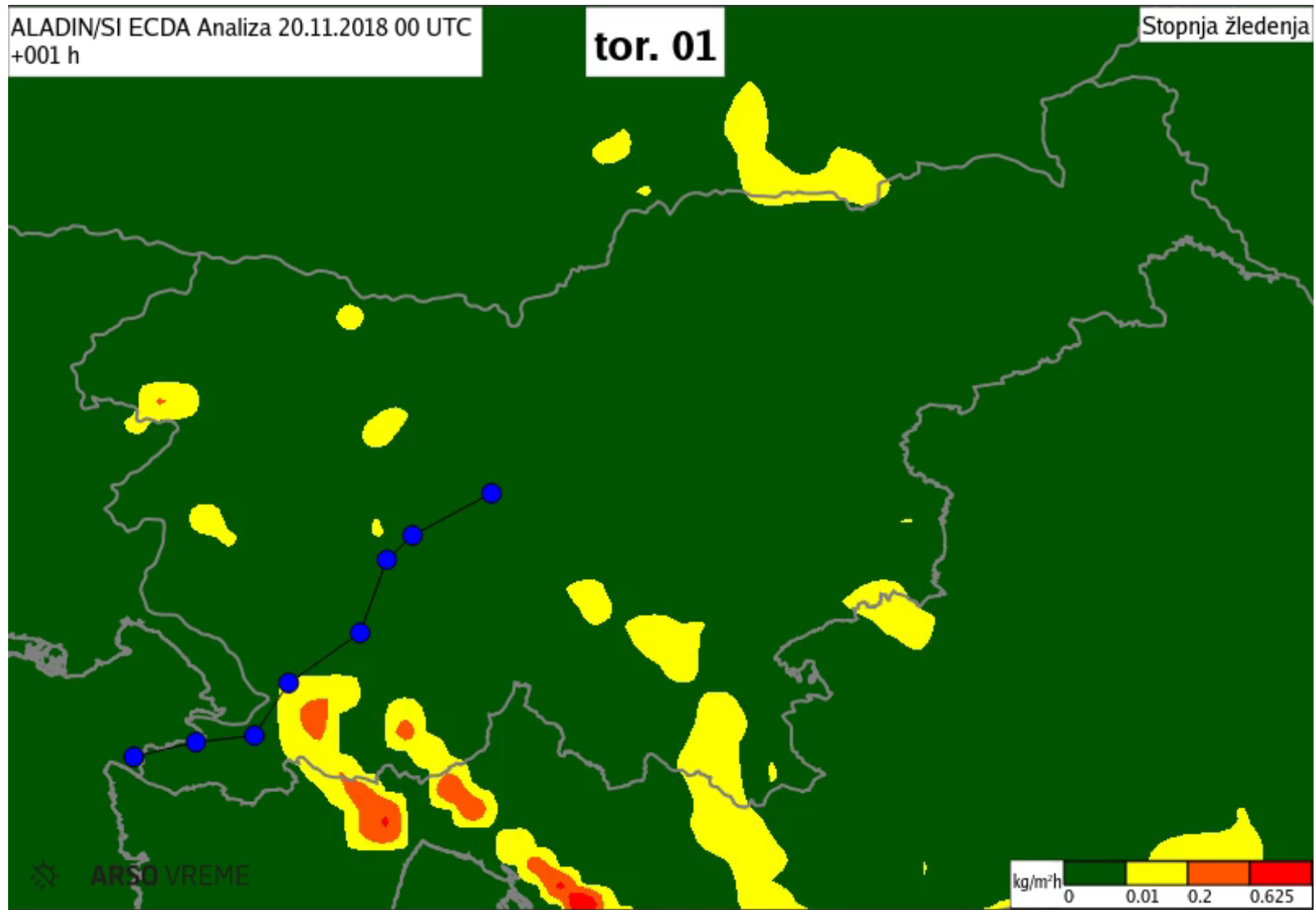


ARSO VREME

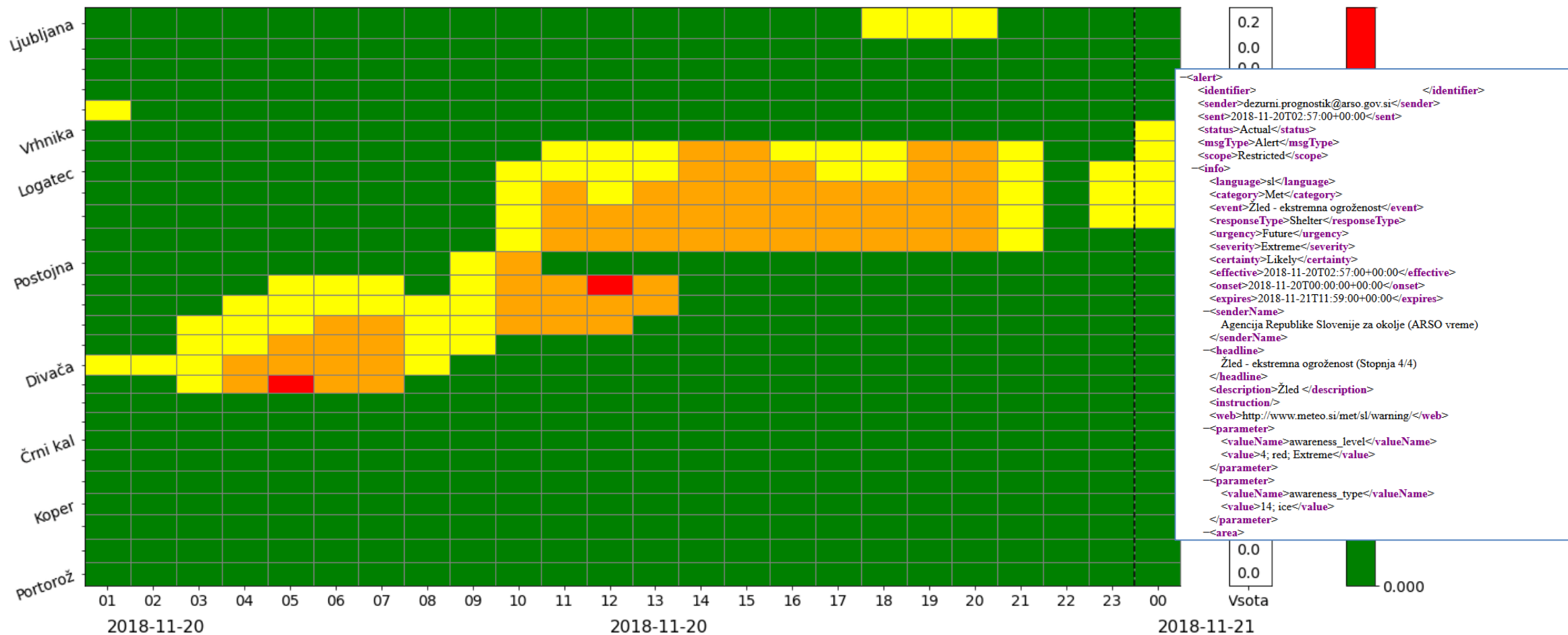


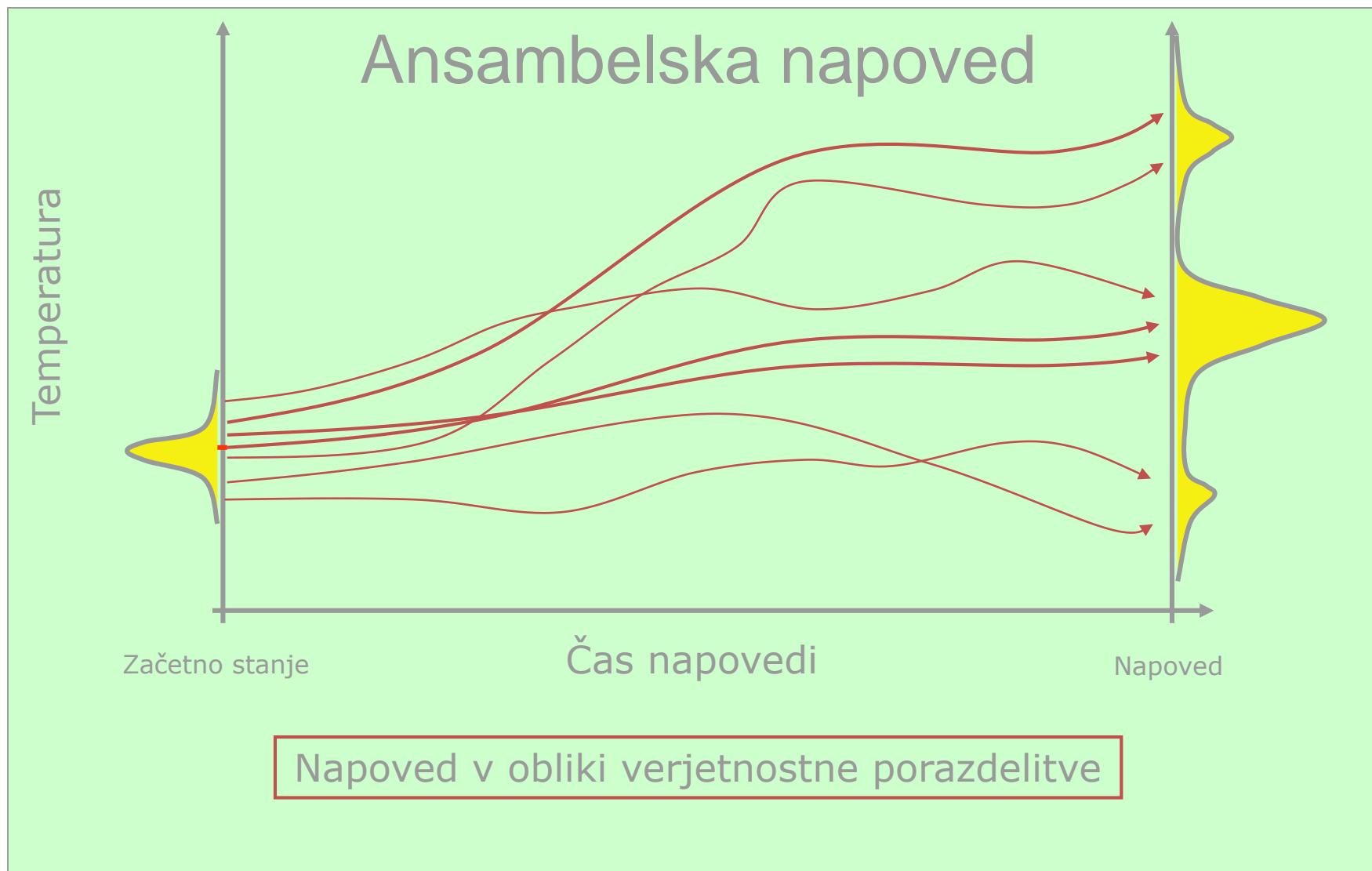
ARSO VREME



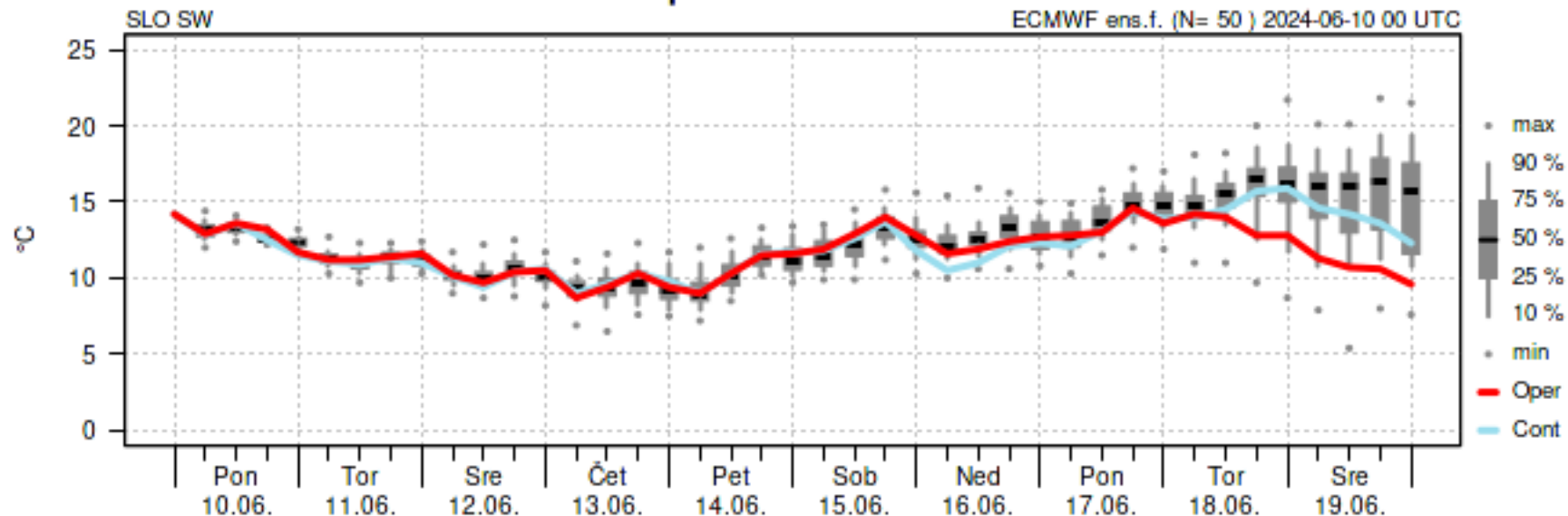


Poledica/žled 20.11.2018 01:00 - 21.11.2018 00:00

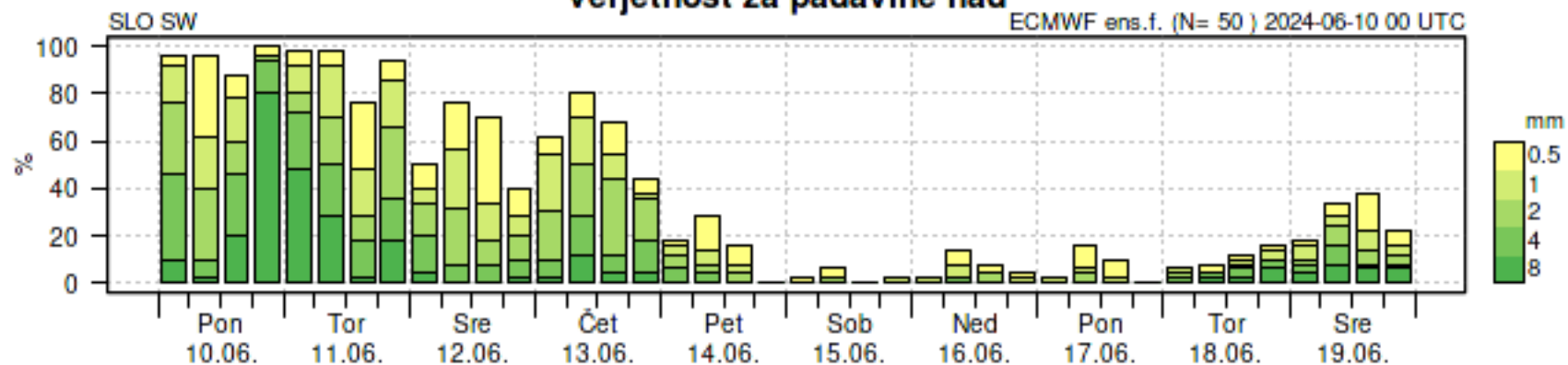


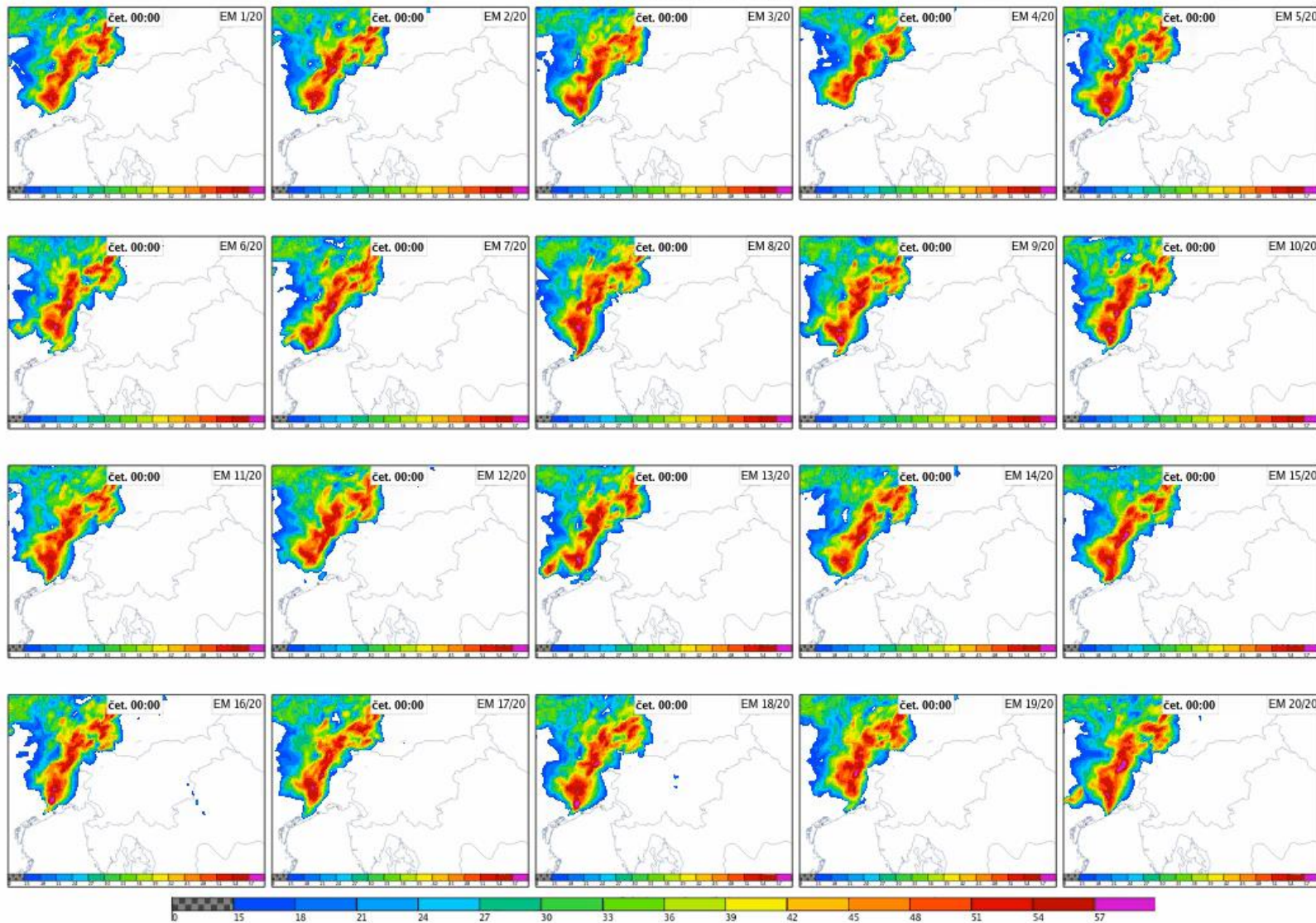


Temperatura na 850 hPa



Verjetnost za padavine nad



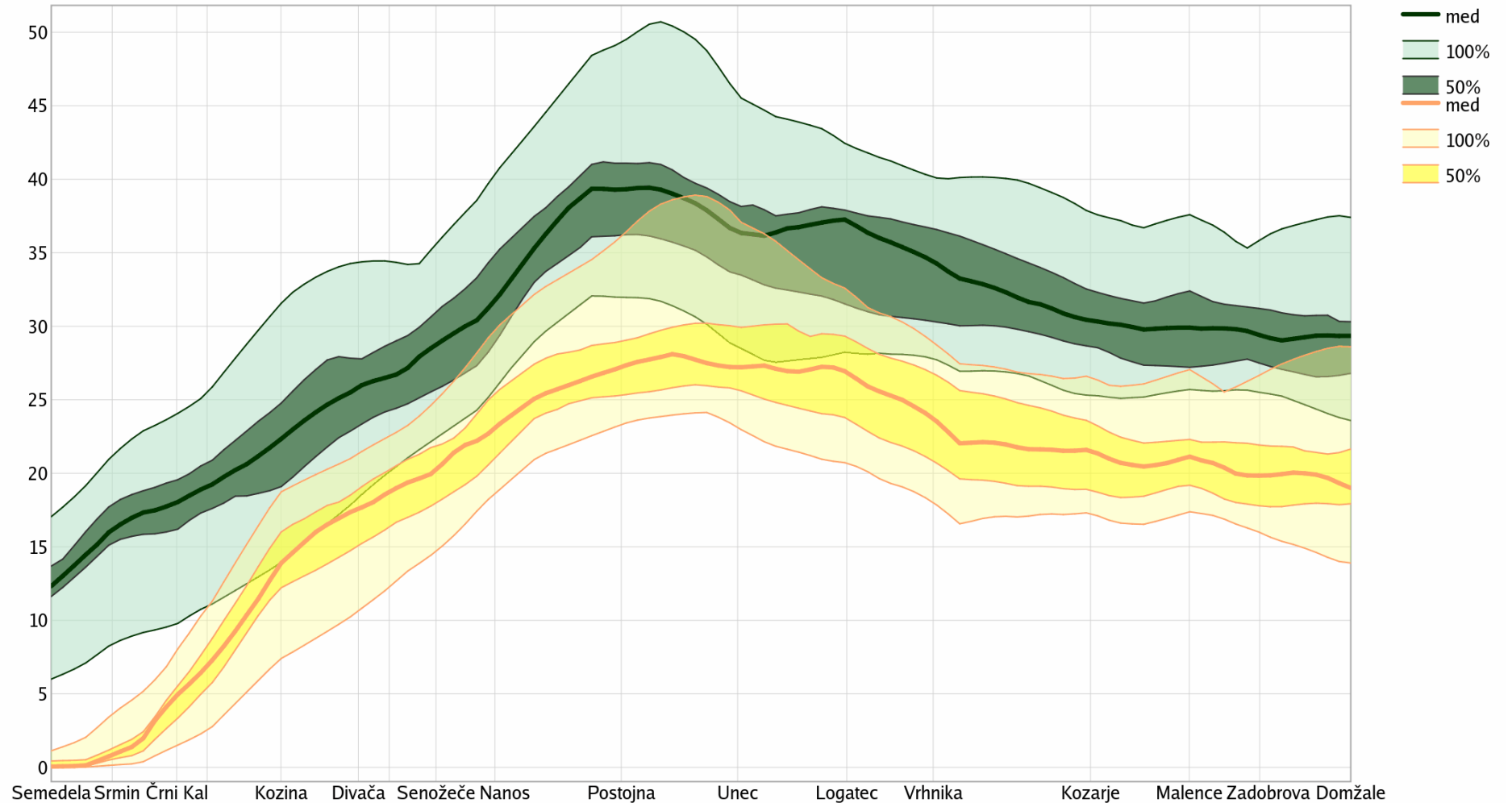


Verjetnostna napoved vzdolž trase Smedela - Domžale

20.01.2024 00:00

izračun: 19.01.2024 00:00 UTC +24 h

24-urna akumulacija skupnih in snežnih padavin (mm)

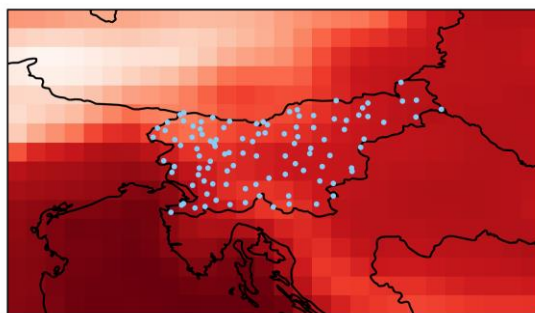


Globoka nevronska mreža ANet

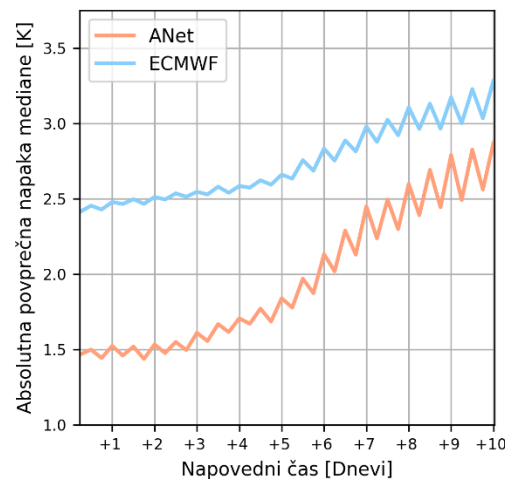
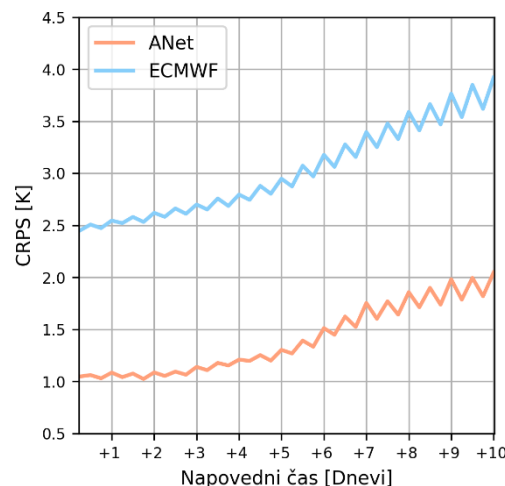
za poprocesiranje srednjeročnih vremenskih napovedi

Peter Mlakar (ARSO, UL FRI), Janko Merše (ARSO), doc. dr. Jana Faganeli Pucer (UL FRI)

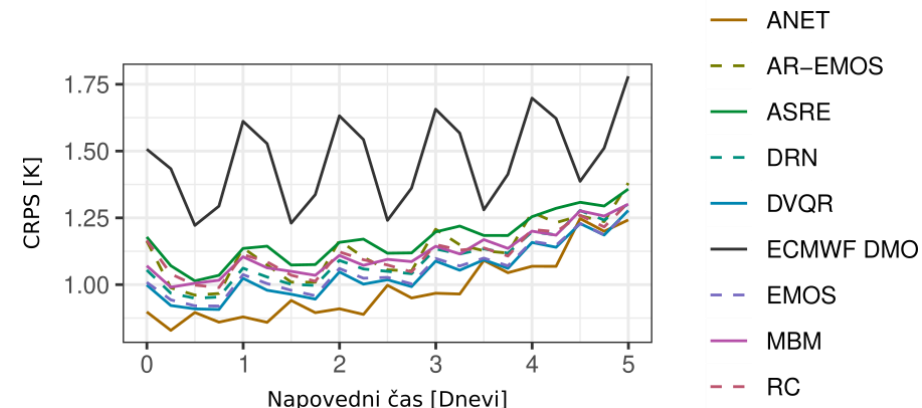
Lokalno



Poprocesiranje s pomočjo nevronske mreže:
Na podlagi vremenskih napovedi ECMWF ter postajskih opazovanj, nevronska mreža ANet tvori verjetnostno vremensko napoved za podane lokacije.



Mednarodno



Mednarodni projekt EUPPBench:

Uspešno sodelovanje na mednarodnem projektu EUPPBench, kjer je metoda ANet dosegla najboljše rezultate pri napovedovanju temperature za izbrani del zahodne in srednje Evrope [1].

Uvrščeno med najodličnejše raziskovalne dosežke Univerze v Ljubljani v letu 2023



ARSO VREME



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo
in informatiko

[1] Demaeyer, J., Bhend, J., Lerch, S., Primo, C., Van Schaybroeck, B., Atencia, A., Ben Bouallègue, Z., Chen, J., Dabernig, M., Evans, G., Faganeli Pucer, J., Hooper, B., Horat, N., Jobst, D., Merše, J., Mlakar, P., Möller, A., Mestre, O., Taillardat, M., and Vannitsem, S.: The EUPPBench postprocessing benchmark dataset v1.0, Earth Syst. Sci. Data, 15, 2635–2653, <https://doi.org/10.5194/essd-15-2635-2023>, 2023.

Kaj je vredno odnesti domov?

Moč meteoroloških podatkov

- ≠ **podatki** sami zase
- ≈ **produkt**, izdelek, agregat, ki čimbolj konkretno podpre naše potrebe, odločanje
- ⇒ za dosego tega je potrebno poznavanje **prednosti** in **pomanjkljivosti** posamezne vrste meteoroloških podatkov ter **zahteve** uporabnika
- ⇒ nujna je **komunikacija** med meteorološko stroko in uporabnikom
- **strojno učenje** je že pomemben sopotnik pri uresničevanju te moči in bo gotovo tudi v prihodnje



Hvala za pozornost.

Podnebne spremembe: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/change/>
Kontakt za storitve: mho-prod.arso@gov.si