TRASA d.o.o.
projektiranje | inženiring | storitve
Kettejeva 16, 2000 Maribor | biro@trasa.si | Tel.: 02| 320 26 10 Fax: 02| 320 26 10

1	NASLOVNA STRAN S KLJUČNIMI PODATKI O ELABORATU

POROČILO
O ANALIZI UPOŠTEVANJA VPLIVOV PODNEBNIH SPREMEMB

INVESTITOR:

Občina Žetale, Žetale 4, 2287 Žetale

OBJEKT:

Sanacija javne poti JP 741332, odcep Papež

VRSTA PROJEKTNE DOKUMENTACIJE IN NJENA ŠTEVILKA

PZI, št. 1158/25

ZA GRADNJO:

Vzdrževalna dela v javno korist

PROJEKTANT

TRASA d.o.o., Kettejeva 16, 2000 Maribor, Bojan Žlender

TRASA d.o.o.

IZDELOVALEC ELABORATA

dr. Bojan Žlender, univ. dipl. inž. grad.; IZS G-2200

dr. BOJAN ŽLENDER
univ. dipl. inž. grad.
IZS G-2200

ŠTEVILKA ELABORATA IN IZVODA, KRAJ IN DATUM IZDELAVE ELABORATA

1158/25PS, Maribor, Junij 2025

VODJA PROJEKTA

dr. Bojan Žlender, univ. dipl. inž. grad.; IZS G-2200

dr. BOJAN ŽLENDER
univ. dipl. inž. grad.
IZS G-2200

POROČILO

O ANALIZI UPOŠTEVANJA VPLIVOV PODNEBNIH SPREMEMB PRI NAČRTOVANJU IN IZVEDBI SANACIJE JAVNE POTI JP 741332 ODCEP PAPEŽ

1. SPLOŠNO

Po naročilu Občine Žetale je izdelana projektna dokumentacija št. 1158/25, izdelal Trasa d.o.o., junij 2025, PZI, za sanacijo javne poti JP 741332 odcep Papež. Sestavni del elaborata je pričujoča analiza upoštevanja vplivov podnebnih sprememb.

Izvedejo se naslednja dela:

1. Izvede se obnova ceste z obnovo brežin in obnovo vozišče konstrukcije.
2. Izvede se drenaže preko drenažno odtočne cevi.
3. Izvede se cestni prepust premera do 60 cm
4. Ostale konstrukcije kot je podporni zid itd., z dreniranjem zaledja zidu, se ne izvede.

2. OCENA POVEČANJA PADAVIN

Za obravnavano območje je bila izdelana Ocena sprememb kratkotrajnih nalivov za območje Žetal. Ocene so podane za današnje podnebje (danes) in za podnebje okoli leta 2075 za vse tri scenarije izpustov toplogrednih plinov. Za prihodnje podnebje je podan interval verjetnih vrednosti, dobljen iz 95-odstotnega intervala zaupanja ansambla modelov.

Podatki so pripravljeni za sredino 21. stoletja in so ekstremne vrednosti ocenjene za obdobje okrog leta 2050. Podatki so podani za zmerno optimističen scenarij RCP4.5, ki predpostavlja znatne blažilne ukrepe glede izpustov toplogrednih plinov. Na ta način upoštevamo tudi riziko, da države sveta ne bodo zmogle v celoti izpolniti zavez, ki so jih dale glede izpustov toplogrednih plinov (Pariški dogovor). V primeru vseh izpolnjenih zavez bi namreč potek izpustov toplogrednih plinov sledil optimističnemu scenariju RCP2.6.

2.1 Največja dnevna količina padavin za območje Žetal

Ocena spremembe nalivov dolžine 1440 minut in več je izračunana iz trenda pri največjih dnevni višini padavin. V tabeli 1 so podane ocene za ekstremne 24-urne padavine s 100-letno povratno dobo za območje naselja Žetale v današnjem in prihodnjem podnebju za scenarije RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5. Ocene so podane za današnje podnebje (Pdanes) in za podnebje v drugi polovici 21. stoletja (P2075) po scenarijih RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5. Za prihodnje podnebje je podan 95-odstotni interval zaupanja za oceno, ki temelji na izračunu šestih različnih podnebnih modelov in srednja vrednost ocene. Vrednost s povratno dobo 100 let označuje tisto intenziteto padavin, ki je v povprečju dosežena ali presežena enkrat na 100 let.

Kettejeva 16, 2000 Maribor | biro@trasa.si | Tel.: 02| 320 26 10 Fax: 02| 320 26 11

Tabela 1: Ocene za ekstremne 24-urne padavine s povratno dobo 100 let, na območju naselja Žetale.

Dolžina naliva (minute)	Povratna doba (let)	Povratni nivo (mm)			
		danes	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1440		137	140–149	144–156	154–171

2.2 Nalivi za območje naselja Virštanj

Ocene za ekstremne 5-, 10-, …do 180-minutne nalive (v mm) s povratno dobo 100 let za območje naselja Stari grad so podane v Tabeli 6. Ocene so podane za današnje podnebje (danes) in za podnebje v sredini 21. stoletja (2050) po scenarijih RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5. V izračunu je upoštevan 15 min. naliv.

Tabela 2: Ocene za ekstremne 5-, 10-, … 180-minutne nalive (v mm), s povratno dobo 100 let za območje naselja Žetale.

Dolžina naliva (minute)	Povratna doba (let)	Povratni nivo (mm)			
		danes	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
5	100	19	20–22	21–23	23–26
10		32	33–36	35–39	38–44
15		40	42–45	43–48	48–55

Iz literature in podatkov merilnih postaj torej pričakujemo rast 15-minutnih do nekajurnih ekstremnih padavin s stopnjo do 7 %, obstaja pa velika verjetnost, da je ta stopnja dvakrat večja, torej 14% na vsako stopinjo ogrevanja ozračja. Trenda naraščanja ekstremnih padavin sta določena iz spodnjega in zgornjega intervala zaupanja trenda povprečne temperature. Ocene sedanjih in prihodnjih vrednosti največje višine 5-, 10-, … 180- minutnih nalivov s povratno dobo 100 let so predstavljene v tabeli 3. Vrednost s povratno dobo 100 let označuje tisto intenziteto padavin, ki je v povprečju dosežena ali presežena enkrat na 100 let.

2.3 Sklep ocene povečanja padavin

Stopnja naraščanja povprečne temperature zraka iz modelskih rezultatov izbranih regionalnih podnebnih modelov na območju naselja Žetale za scenarij **RCP2.6** znaša okrog **0,13 °C/desetletje,** 95- odstotni interval zaupanj zanjo pa je med **0,06** in **0,21 °C/desetletje**. Do leta 2075 pričakujemo dvig temperature za **0,36–1,27 °C**. Stopnja naraščanja povprečne temperature zraka po scenariju **RCP4.5** znaša okrog **0,20 °C/desetletje,** 95-odstotni interval zaupanj zanjo pa je med **0,13** in **0,33 °C/desetletje**. Do leta 2075 pričakujemo dvig temperature za **0,78–1,96 °C**. Stopnja naraščanja povprečne temperature zraka po scenariju **RCP8.5** znaša

okrog **0,36 °C/desetletje,** 95-odstotni interval zaupanj zanjo pa je med **0,30** in **0,59 °C/desetletje**. Do leta 2075 pričakujemo dvig temperature za **1,79–3,52 °C**. Ocene sedanjih in prihodnjih vrednosti največje višine ekstremnih nalivov prikazuje preglednica 2. Vrednost s povratno dobo 100 let označuje tisto intenziteto padavin, ki je v povprečju dosežena ali presežena enkrat na 100 let oz. je verjetnost, da bo dosežena ali presežena v enem letu 1 %.

3. VPLIVI POVEČANJA PADAVIN IN GEOLOŠKE RAZMERE

Geološko geotehnične razmere so povzete po pregledu Geološke karte obravnavanega območja in iz znanih podatkov za širše območje obravnavane lokacije. Obravnavano območje se nahaja na Osnovni geološki karti Rogatec L33-68. Tla sestavljajo peščeni melji in peščeno meljne gline. Površinsko tla tvori peščena glina. Hribino tvorijo peščeni laporji in glinasti laporji.

Tla v območju načrtovane ceste so pretežno suha in nosilna, lokalno pa razmočena. Precejne vode so bile ugotovljene v malem obsegu. Na sami mikrolokaciji so bile izvedene geološko geotehnične preiskave, s katerimi je ugotovljeno, da zemljinski pokrov tvorijo tvorijo kvartarni sedimenti **Q** (peščena glina). Nižje so sedimentne kamnine $\mathbf{M_2^1}$ (peščeni lapor). Plasti gline so površinsko v srednje gnetnem in nižje v srednje do težko gnetnem konsistentnem stanju, globje pa v poltrdnem in trdnem konsistentnem stanju. Osnova je peščeni lapor, ki se smatra kot nepodajna podlaga.

Iz geološke karte so povzete tektonske razmere območja lokacije javne poti. Tektonske razmere ne vplivajo na geomehanske analize in projektne rešitve.

Po slovenskem standardu SIST ENV 1998-1-1, ki upošteva povratno dobo potresov 475 let, spada območje, ki je v obdelavi v 7. stopnjo po EMS. Po karti projektnega pospeška tal, ki je primerljiva s karto potresne intenzitete, saj se območja majhne in velike potresne nevarnosti v povprečju kar dobro ujemajo, za obravnavano območje znaša projektni pospešek tal $Q_g = 0.1 \cdot g$, kar je ekvivalent 7. stopnji po MCS.

Po podatkih iz atlasa okolja Agencije RS za okolje je iz karte verjetnosti pojavljanja plazov razvidno, da se obravnavana trasa ceste nahaja na območju velike verjetnosti pojavljanja plazov.

Iz opozorilne karte erozije pa, da se obravnavana parcela nahaja na območju zahtevnih zaščitnih ukrepov.

Sklep:

V primeru ugotovitve nestabilnosti terena je potreben ukrep s katerim znižamo omočenost kontakta zemljinskega pokrova in hribinske podlage. V tem primeru spremenjene količine padavin ne vplivajo na spremembo geoloških razmer. Pri omočenosti kontakta zemljinskega pokrova s kamninsko osnovo ni problem v količini vode, ampak v sami omočenosti in s tem znižani strižni trdnosti kontakta zemljine in hribinske osnove.

Kettejeva 16, 2000 Maribor | biro@trasa.si | Tel.: 02| 320 26 10 Fax: 02| 320 26 11

4. OCENA VPLIVOV PADAVIN NA SANACIJO

4.1 PRISPEVNE POVRŠINE IN ODVODNJAVANJE

Povečane količine padavin vplivajo na količine vode, ki se zlivajo po pobočju. Vrednosti za 100 letno povratno dobo so podane v tabeli 3.

Tabela 3: Vrednosti za 100-letno povratno dobo

Dolžina naliva (minute)	Povratna doba (let)	Povratni nivo (mm)			
		danes	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
5	100	19	20–22	21–23	23–26
10		32	33–36	35–39	38–44
15		40	42–45	43–48	48–55
1440		137	140–149	144–156	154–171

V analizi je za primer prevodnosti prepusta pod cesto upoštevan kot ekstrem 15 minutni naliv, za primer prevodnosti drenaž pa deževje v daljšem obdobju.

Tabela 4: Vrednosti za 100-letno povratno dobo

T	Pdanes		P2050 (RCP4.5) (min-max)			
min	mm	l/s (ha)	mm	l/s (ha)	mm	l/s (ha)
15	40	444,44	43	477,78	48	533,33
30						
1440	137	761,11	144	15,97	156	16,78

Povečanje količin se izračuna iz enačbe

$$Q = q_{rač} . \varphi . F$$

Kjer so:

Q…. velikost odtoka

$q_{rač}$ jakost računskega naliva (l/s/ha)

P prispevna površina (ha)

φ …… odtočni koeficient (%)

Tabela 5. Vrednosti Q_{100} za 15 min naliv

Prispevne površine	F (ha)	φ (%)	$q_{rač,15\ min}$ (l/s ha)	Q (l/s)
travnik	2	0,35	477,78	334,45
gozd	0,15	0,3	477,78	21,50
cesta	0,1	0,9	477,78	43,00
SKUPAJ				398,95

Kettejeva 16, 2000 Maribor | biro@trasa.si | Tel.: 02| 320 26 10 Fax: 02| 320 26 11

Povečanje padavin

Tabela 6: Vrednosti Q_{100} za 15 min naliv

Prispevne površine	F (ha)	φ (%)	$q_{rač,15\ min}$ (l/s ha)	Q (l/s)
travnik	2	0,35	533,33	373,33
gozd	0,15	0,3	533,33	24,00
cesta	0,1	0,9	533,33	48,00
SKUPAJ				445,33

Izračun prevodnosti prepusta se izvede po enačbi:

$$Q = (\sqrt{I}/ n_g) \cdot D^{8/3} \cdot a$$

pri normalnem toku in 70% polni cevi ter padcu.
Kjer se upoštevajo podatki:
I = 0,03 … vzdolžni padec
n_g = 0,016 … koeficient hrapavosti
D = 0,5 m … premer cevi
A = 0,261 … koeficient za 70% polno cev

$Q = (\sqrt{0.03}/0,016) \cdot 0,5^{8/3} \cdot 0,261 = 445$ l/s ~ 445,33 l/s

Na osnovi izračuna je vidno, da izbrani presek cevi prepusta zadostuje kriterijem za današnje zahteve in za predvideno rast padavin. Ker je predvidena obnova ceste, je priporočljivo, da se vsi prepusti izvedejo v premeru DN = 50 cm ali več.

Kettejeva 16, 2000 Maribor | biro@trasa.si | Tel.: 02| 320 26 10 Fax: 02| 320 26 11

4.2 PODPORNE IN OSTALE KONSTRUKCIJE

Podporne in ostale konstrukcije se predvidoma ne izvede.

4.3 CESTA

Na lokalni cesti je sicer predvideno razpršeno odvodnjavanje, kar je ugodno.

Vpliv podnebja na dreniranje je podan na podlagi vrednosti padavin za 24 urne padavine.

Tabela 7. Vrednosti Q_{100} za 24 h padavine

Prispevne površine	F (ha)	φ (%)	$q_{rač}$ (l/s ha)	Q (l/s)
travnik	2	0,35	15,97	11,18
gozd	0,15	0,3	15,97	0,77
cesta	0,1	0,9	15,97	1,53
SKUPAJ				13,33

Vpliv podnebja na dreniranje je podan na podlagi vrednosti padavin za 24 urne padavine.

Tabela 8. Povečane vrednosti Q_{100} za 24 h padavine

Prispevne površine	F (ha)	φ (%)	$q_{rač}$ (l/s ha)	Q (l/s)
travnik	2	0,35	16,78	11,75
gozd	0,15	0,3	16,78	0,50
cesta	0,1	0,9	16,78	1,51
SKUPAJ				14,01

Izračun prevodnosti drenaž se izvede po enačbi:

$$Q = (\sqrt{I}/ n_g) \cdot D^{8/3} \cdot a$$

pri normalnem toku in 70% polni cevi ter padcu,
kjer se upoštevajo podatki:

I = 0,03 … vzdolžni padec
n_g = 0,01 … koeficient hrapavosti
D = 0,2 m … premer cevi
A = 0,261 … koeficient za 70% polno cev

$$Q = \frac{\sqrt{0,03}}{0,01} \cdot 0,15^{8/3} \cdot 0,261 = 38 \text{ l/s}$$

Kettejeva 16, 2000 Maribor | biro@trasa.si | Tel.: 02| 320 26 10 Fax: 02| 320 26 11

Drenaža bistveno presega potrebne dimenzije glede pretoka vode. Dimenzije drenaž so izbrane konstrukcijsko.

V primeru obnove te ceste, ki je v prihodnje predvidena, je priporočljivo, da se vsi prepusti izvedejo v premeru DN=60 cm ali več.

4.4 HIŠE

Stanovanjske hiše v bližini ne vplivajo na analizo.

5. ZAKLJUČEK

Analiza upošteva pričakovane spremembe padavin v obdobju do leta 2075.

Premer drenaž bistveno presega potrebne dimenzije glede pretoka vode. Dimenzije so izbrane konstrukcijsko.

Na krajevni cesti je predvideno razpršeno odvodnjavanje, kar je za stabilnost ugodno. Priporočljivo je, da se vsi prepusti izvedejo v premeru DN=50 cm ali več.

Konstrukcij ni.

Izvedbo del naj nadzira geotehnik, ki naj sproti poda morebitne spremembe ukrepov oz. dopolnila.

Izdelal:
Maribor, junij 2025 Dr. Bojan Žlender, univ.dipl.ing.

Priloga:
1. Ocena sprememb nalivov v območju Žetal, ARSO, maj 2025

REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

Ocena sprememb nalivov na območju Žetal

Vsebina

Uvod 3
Padavinske razmere 5
Ekstremne padavine 5
Nalivi na območju Žetal 7
Viri 9

Uvod

Podnebni modeli kvantitativno simulirajo interakcijo pomembnih dejavnikov podnebja, kot so ozračje, oceani, zemeljska površina in led. Upoštevajo prejeto energijo s Sonca kot kratkovalovno (predvsem vidno in kratkovalovno infrardeče) sevanje in oddano dolgovalovno infrardeče sevanje. Vsako neravnovesje v prejeti in oddani energiji se pokaže kot sprememba v temperaturi. Upoštevati poskušajo čim več podatkov o podnebnem sistemu, kot so gibanje zračnih mas, nastajanje oblakov, tvorjenje padavin, večanje in manjšanje ledu na polih, spreminjanje vegetacije itn. Pogosto zato sklapljajo ozračje, oceane in led z reševanjem enačb za prenos energije, snovi in izmenjave sevanja.

Ena od omejitev globalnih podnebnih modelov je sorazmerno groba prostorska ločljivost. Za izračun lokalnih značilnosti podnebja potrebujemo podatke v večji ločljivosti, kot jo lahko ponudijo globalni modeli. Regionalni podnebni modeli so ena od treh možnosti, ki so na voljo za to (drugi dve sta zagon globalnih modelov v večji ločljivosti, kar je računalniško zelo zahtevno, ali uporaba statističnih tehnik za preračun v večjo ločljivost). Regionalni modeli računajo na manjšem območju in kot vhodni robni podatek uporabijo podatke iz globalnih modelov. Globalni modeli definirajo pojave na večji skali, kot so sprememba podnebja zaradi toplogrednih plinov ali izbruhov vulkanov ipd., regionalni modeli pa poskrbijo za vpliv lokalnih dejavnikov kot so relief, raba zemljišč ipd. na podnebje oz. vreme. Dajejo nam vremenske in podnebne informacije v prostorski ločljivosti od 50 km pa vse do 10 km. Regionalni modeli dajejo med seboj različne realizacije vremena, zanašamo pa se na to, da so osnovne značilnosti podnebja (npr. letni hodi in sezone, trendi itn.) pravilno realizirane.

Za oceno podnebnih sprememb na ARSO (Bertalanič, 2018) uporabljamo rezultate regionalnih podnebnih modelov projekta EURO-CORDEX (Jacob, 2014). Prostorska ločljivost regionalnih modelov, ki smo jih uporabili, je okrog 12 km, obdobje modeliranja je za vse modele 1961–2100, za nekatere pa 1971–2100. Uporabili smo modelske rezultate s časovnim korakom en dan. Od približno 15 kombinacij globalnih in regionalnih podnebnih modelov, ki so imeli na voljo vse želene spremenljivke, smo izbrali šest takih, ki so si med seboj čimbolj različni in se obenem čim bolje skladajo z izmerjenimi vrednostmi podnebnih spremenljivk v preteklosti. Te smo obravnavali kot ansambel in iz šestih rezultatov za vsako spremenljivko izračunali mediano sprememb in razpon negotovosti zanje.

Podnebni modeli vsebujejo sistematične napake. Te nastanejo med drugim zaradi omejene prostorske ločljivosti, poenostavljenih enačb za nekatere fizikalne procese, numeričnih shem, nepopolnega razumevanja vseh podnebnih procesov itn. V splošnem je potrebno sistematične napake modelov pred uporabo njihovih rezultatov popraviti. Rezultati modelov naj bi čim bolje predstavili preteklost. Za to primerjamo modelske rezultate z meritvami in jih ustrezno popravimo. To se da storiti na več načinov, na ARSO smo uporabili metodo preslikav kvantilov (ang. *quantile mapping*). Popravke smo naredili za obdobje 1981–2100 (Bertalanič, 2018).

Seznam modelov prikazuje preglednica 1. Globalni podnebni model je dal robne pogoje (gcm), regionalni podnebni model (rcm) pa preračun na 12-kilometrsko ločljivost.

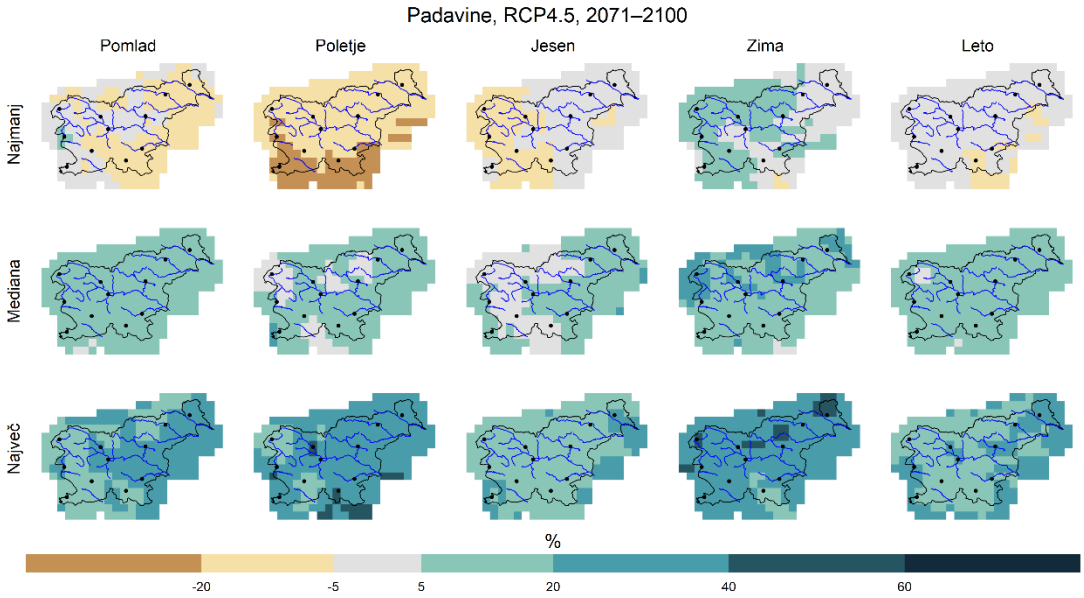
Preglednica 1. Seznam modelov, katerih podatke smo uporabili v analizi. Podani so: globalni model (gcm) in regionalni model (rcm).

gcm	**rcm**
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM4
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4
ICHEC-EC-EARTH	DMI-HIRHAM5
IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL-INERIS
MOHC-HadGEM2-ES	KNMI-RACMO22E
MPI-M-MPI-ESM-LR	SMHI-RCA4

Kaj se bo v prihodnosti dogajalo s podnebjem, je zelo odvisno od socialno-ekonomskega razvoja sveta. Od tega je namreč odvisen potek izpustov toplogrednih plinov v prihodnosti. Za Peto poročilo (ang. *Fifth Assesment Report*, AR5) IPCC (Medvladni odbor za podnebne spremembe) (Kirtman, 2013) je znanstvena skupnost določila nabor štirih novih scenarijev, ki se imenujejo značilni poteki vsebnosti (ang. Representative Concentration Pathways – RCP) (van Vuuren, 2011). Razlikujejo se po skupnem sevalnem prispevku leta 2100 glede na leto 1750.

Padavinske razmere

Za padavine podnebni scenariji kažejo veliko negotovost, se pa signali z odmikom v prihodnost stopnjujejo. Na letni ravni (skupna letna višina padavin) se premembe kažejo šele v drugem tridesetletnem obdobju (2041–2070), ko se bo količina padavin predvidoma povečala v vzhodni polovici Slovenije. Večje spremembe je zaznati na sezonski ravni. V zimskem času kaže, da se bo količina padavin povečala, poleti pa zmanjšala, čeprav je ta sprememba zelo negotova zaradi neskladnosti med modeli. Še nekoliko večje razlike se nato nakazujejo v zadnjem obdobju (2071–2100) (slika 1).



Slika 1. Ocenjene spremembe povprečne višine padavin (v %) v obdobju 2071–2100 v primerjavi z obdobjem 1981–2010. Podani so mediana vseh modelskih ocen ter najnižja in najvišja modelska ocena.

Ekstremne padavine

Modelski rezultati regionalnih podnebnih modelov projekta EURO–CORDEX, ki smo jih uporabili v projektu OPS21, nam zaradi časovnega koraka, dolžine enega dneva, dajejo samo dnevne vrednosti vremenskih spremenljivk. Zato lahko analiziramo samo vrednosti za dnevno ali večdnevno višino padavin. Poleg tega veljajo modelske ocene za točke, ki pokrivajo okrog 150 m^2 površine (v 12-kilometrski ločljivosti), kar je še posebej neugodno za močne nalive, ki so lahko prostorsko zelo heterogeni in lahko znašajo v izbrani točki tudi nekajkratnik povprečne vrednosti površine modelske celice. Za lokalno najmočnejše nalive si s podatki modelov o višini padavin zato ne moremo pomagati. Spremembo nalivov ocenjujemo iz študij, ki jih najdemo v literaturi in je večinoma povezana z ogrevanjem ozračja.

Iz fizikalnega zakona (*Clausius-Clapeyronova* enačba) (Wikipedija: Clausius-Clapeyronova enačba) sledi, da kapaciteta ozračja za zadrževanje zračne vlage narašča približno s stopnjo 7 % za vsako stopinjo v temperaturi ozračja (stopnja C-C). Trendi opazovane relativne vlažnosti kažejo, da bo relativna vlažnost v prihodnje ostala približno enaka v celotni troposferi, zato bo ozračje ob povečani temperaturi vsebovalo več absolutne vlage. Za 20. stoletje je na osnovi spremenjene temperature zraka pri tleh ocenjeno, da se je absolutna vlažnost nad oceani povečala za 5 %. Ker padavine prihajajo večinoma iz vremenskih sistemov, ki jih poganja vsebnost vlage v ozračju, je v splošnem intenzivnost padavin narasla. S tem se je povečala verjetnost močnejših padavinskih in s tem tudi snežnih dogodkov. Teorija, simulacije s podnebnimi modeli in empirični dokazi potrjujejo, da toplejše podnebje zaradi povečane vsebnosti vlage v ozračju vodi k intenzivnejšim padavinskim dogodkom, tudi če se letna količina padavin nekoliko zmanjša. Pri povečani letni količini padavin pa je verjetnost za močnejše padavinske dogodke še večja. Toplejše ozračje povečuje verjetnost za sušo, ko ne dežuje, in poplave, ko dežuje. Seveda ne ob istem času in kraju (Trenberth, 2007).

V literaturi navajajo po svetu različno stopnjo sprememb pri izjemnih nalivih, od 7 % do 14 % na °C ogrevanja ozračja. Pregleden opis današnjih sprememb in vpliva podnebnih sprememb na obilne padavine je v 6. poročilu Medvladnega odbora za podnebne spremembe (IPCC, 2021). Tam je glavni poudarek na enodnevnih izjemnih padavinah, ker so sorazmerno najbolj raziskane, omenjene pa so tudi izjemne padavine v obdobju več dni in tudi obdobjih, krajših od dneva. Glavni poudarki tega poročila so:

1. Spremembe v vremenskih in podnebnih ekstremih so določene s termodinamičnimi spremembami (torej z lokalno izmenjavo toplote, vlage in ostalih povezanih količin) in dinamičnimi spremembami (povezanimi z gibanjem zraka in oceanov).
2. V splošnem ogrevanje ozračja povečuje vsebnost vlage v njem zaradi večjega izhlapevanja in večje kapacitete zraka pri višjih temperaturah. V svetovnem merilu se ta vsebnost povečuje v grobem po stopnji C-C glede na °C svetovnega ogrevanja. Na regionalni skali se ta stopnja razlikuje zaradi več vzrokov, med drugim zaradi spremembe vremenskih vzorcev in omejitve prenosa vlage od oceanov, ki se ogrevajo počasneje od kopnega.
3. Opazovanja kažejo, da se na svetovni skali jakost izjemnih padavin povečuje s podobno stopnjo C-C.
4. Projekcije podnebnih modelov kažejo, da se jakost izjemnih padavin povečuje med 4 in 8 % na °C ogrevanja (termodinamični prispevek). Na regionalni skali pa modeli kažejo, da se zaradi dinamičnega prispevka lahko ta močno spremeni. Dinamični prispevek je veliko bolj negotov in kaže veliko večje razlike med modeli, kot termodinamični.
5. Na svetovni skali obstaja pomanjkanje analiz dolgoročnih trendov za izjemne padavine, krajše od enega dneva. Podatki so nepopolni, prostorsko razpršeni in časovno prekratki. Kljub temu analize kažejo na njihovo povečanje v skoraj vseh regijah, čeprav z nizkim zaupanjem v svetovnem merilu. Obstajajo pa analize odvisnosti kratkotrajnih padavin glede na spremembo v meddnevni temperaturi rosišča, ki kažejo stopnjo spremembe med stopnjo C-C in dvakratnikom te stopnje (Lenderink in van Meijgaard, 2008, Lenderink, 2011). Ta sprememba pa ni odvisna samo od odziva na podnebne spremembe, ker ne ločuje med termodinamičnimi in dinamičnimi faktorji.

6. Podatki podnebnih modelov predstavljajo povprečne vrednosti na površini modelske celice. Faktor razlike med točkovnimi meritvami in temi vrednostmi znaša po analizah tudi do 130 %. Analize kažejo, da je srednja vrednost spremembe izjemnih enodnevnih padavin s 50-letno povratno dobo po vseh regijah sveta, vseh scenarijih družbeno-ekonomskega razvoja (SSP) in podnebnih modelih okrog 7 % na °C svetovnega ogrevanja. Za padavine z 10-letno povratno dobo in petdnevne izjemne padavine pa je ta stopnja nekoliko manjša.
7. Za urne izjemne padavine je nabor modelskih analiz še bolj omejen in tudi zmožnost globalnih podnebnih modelov pri njihovem opisu je omejena. Vendar večina obstoječih analiz predvideva njihovo naraščanje, podobno stopnji C-C ali večji.

Nalivi na območju Žetal

Analize odvisnosti 15-minutnih nalivov s povratno dobo 50 let od povprečne dnevne temperature zraka so za naše postaje z dolgimi nizi (Ljubljana, Maribor in Kočevje) konsistentne z literaturo (Lenderink, 2008). V temperaturnem območju od 0 do 18 °C narašča višina ekstremnih padavin s stopnjo od 12 do 15 % za vsako stopinjo toplejšega ozračja.

Iz literature in podatkov naših merilnih postaj torej pričakujemo rast 15-minutnih do nekajurnih ekstremnih padavin s stopnjo **do 7 %**, obstaja pa **velika verjetnost**, da je ta stopnja dvakrat večja, torej **14 %** na vsako stopinjo ogrevanja ozračja. Ekstremni nalivi z dolžino do 1 ure so pri nas navadno posledica neviht. Najbolj izdatni padavinski dogodki z dolžino nekaj ur so posledica pojava atmosferskih rek, to je močnega in zelo vlažnega zračnega toka. Najmočnejši zabeleženi enodnevni padavinski dogodki večinoma sovpadajo z nekajurnimi ekstremi in imajo bolj ali manj isti izvor. Večdnevni dogodki pa so posledica ciklonalne dejavnosti in se pojavijo zaradi različnih vzrokov, običajno pa zaradi več prehodov vremenskih front ali mirujoče vremenske fronte. Kot oceno spremembe ekstremnih nalivov do vključno ene ure smo zato upoštevali stopnjo naraščanja enako polovični vrednosti med zgoraj omenjenima, torej **10,5 %/°C**, za nalive do vključno enega dne pa manjšo, **7 %/°C**.

Stopnja naraščanja povprečne temperature zraka iz modelskih rezultatov izbranih regionalnih podnebnih modelov na območju Žetal za scenarij **RCP2.6** znaša okrog **0,13 °C/desetletje,** 95-odstotni interval zaupanj zanjo pa je med **0,06** in **0,21 °C/desetletje**. Do leta 2075 pričakujemo dvig temperature za **0,36–1,27 °C**. Stopnja naraščanja povprečne temperature zraka po scenariju **RCP4.5** znaša okrog **0,20 °C/desetletje,** 95-odstotni interval zaupanj zanjo pa je med **0,13** in **0,33 °C/desetletje**. Do leta 2075 pričakujemo dvig temperature za **0,78–1,96 °C**. Stopnja naraščanja povprečne temperature zraka po scenariju **RCP8.5** znaša okrog **0,36 °C/desetletje,** 95-odstotni interval zaupanj zanjo pa je med **0,30** in **0,59 °C/desetletje**. Do leta 2075 pričakujemo dvig temperature za **1,79–3,52 °C**. Ocene sedanjih in prihodnjih vrednosti največje višine ekstremnih nalivov prikazuje preglednica 2. Vrednost s povratno dobo 100 let označuje tisto intenziteto padavin, ki je v povprečju dosežena ali presežena enkrat na 100 let oz. je verjetnost, da bo dosežena ali presežena v enem letu 1 %.

Preglednica 2. Ocene ekstremnih nalivov (v mm) za 100-letne povratne nivoje na območju Žetal. Ocene so podane za današnje podnebje (danes) in za podnebje okoli leta 2075 za vse tri scenarije izpustov toplogrednih plinov. Za prihodnje podnebje je podan interval verjetnih vrednosti, dobljen iz 95-odstotnega intervala zaupanja ansambla modelov.

Dolžina naliva (minute)	**Povratna doba (let)**	**Povratni nivo (mm)**			
		danes	**RCP2.6**	**RCP4.5**	**RCP8.5**
5	100	19	20–22	21–23	23–26
10		32	33–36	35–39	38–44
15		40	42–45	43–48	48–55
1440		137	140–149	144–156	154–171

Viri

- Bertalanič, R., et all, 2018, Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja, Sintezno poročilo – prvi del. ISBN 978-961-6024-80-8 (zv. 1).
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896, str. 1557–1567.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O., Bouwer, L., . . . Gobiet, A. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. RegionalEnvironmental Challenges, 14 (2), 563-578.
- Kirtman, B., Power, S. B., Adedoyin, J. A., Boer, G. J., Bojariu, R., Camilloni, I., . ..Wang, H. J. (2013). Nearterm Climate Change: Projections and Predictability. V T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, . . . (ur.), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge in New York: Cambridge University Press.
- Lenderink, G., van Meijgaard, E., 2008. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes, Nat. Geosci 1, 511-514, doi:10.1038/ngeo262.
- Lenderink, G. et. al, 2011. Scaling and trends of hourly precipitation extremes in two different climate zones – Hong Kong and the Netherlands, Hydrol. Earth Syst. Sci., doi:10.5194/hess-15-3033-2011.
- Trenberth, K.E. et al, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S. et al (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- van Vuuren, D., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., . . . Rose, S. (2011). The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change, 109, 5-31
- Wikipedija: Clausius–Clapeyronova enačba. Pridobljeno 15. septembra 2023 s spletne strani: https://sl.wikipedia.org/wiki/Clausius-Clapeyronova_ena%C4%8Dba

Pripravil: Urad za meteorologijo, hidrologijo in oceanografijo
Datum: 23. maj 2025

REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE, PODNEBJE IN ENERGIJO
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE