

OCENA EKSTREMNIH PADAVINSKIH IN SNEŽNIH RAZMER V DANAŠNJEM IN PRIHODNJEM PODNEBJU NA ČEZMEJNEM OBMOČJU SLOVENIJE IN AVSTRIJE

Neža Lokošek¹, Katja Kozjek Mihelec²

Povzetek

V okviru projekta CROSSRISK smo pripravili zemljevide ekstremnih nalivov in snežnih obtežb za del območja Slovenije (gorenjska, koroška, savinjska, podravska, pomurska, osrednjeslovenska, goriška in zasavska regija) in Avstrije (zvezni deželi Koroška in Štajerska). Na avstrijski strani izstopa s kratkotrajnimi nalivi ravninsko in gričevnato območje južne in vzhodne Štajerske. Na slovenski strani so povratni nivoji za kratkotrajne nalive višji, najvišje vrednosti so dosežene na območju Zgornjega Posočja. Za dolgotrajne nalive so najvišje vrednosti povratnih nivojev omejene na gorato območje. Analiza prihodnjih ekstremnih nalivov ne more biti tako natančna, modelske simulacije pa kažejo, da se lahko najvišja dnevna količina padavin do konca stoletja poveča do 40 odstotkov. Poleg tega lahko v naslednjih desetletjih pričakujemo precejšnje povečanje zimskih padavin. Največje snežne obtežbe so na hribovitih in gorskih območjih. V Sloveniji izstopa jugozahodna Slovenija. Tam so snežne obtežbe zelo majhne, saj so snežne padavine na tem območju redke. Po nizkih snežnih obtežbah izstopa tudi ravninsko območje na vzhodu obeh držav, predvsem zaradi majhne količine zimskih padavin. Projekcije o snežni odeji smo pripravili z najsodobnejšimi snežnimi modeli in ansamblom regionalnih podnebnih modelov. Ansambelski izračun je večkratni izračun napovedi z numeričnim meteorološkim modelom, pri čemer ima vsak izračun nekoliko spremenjeno začetno stanje. Tako lahko deloma ocenimo vpliv napak in nepopolnega poznavanja začetnih pogojev na razvoj napovedi. Ne glede na scenarij emisij toplogrednih plinov lahko pričakujemo, da se bo število dni s snežno odejo v prihodnosti na celotnem območju precej zmanjšalo, po različnih ocenah od 20 do 90 odstotkov.

ASSESSMENT OF EXTREME PRECIPITATION AND SNOW CONDITIONS IN THE PRESENT AND FUTURE CLIMATE IN THE CROSSBORDER REGION OF SLOVENIA AND AUSTRIA

Abstract

The spatial distribution of extreme precipitation and snow load for parts of Slovenia (the Gorenjska, Koroška, Savinjska, Podravska, Pomurska, Osrednjeslovenska, Goriška and Zasavska regions) and Austria (the states of Styria and Carinthia) was assessed within the framework of the CROSSRISK project. On the Austrian side, the most exposed region for short duration extremes are the lowlands and hilly areas of southern and eastern Styria. On the Slovenian side, even higher return levels are observed, the highest are in the Upper Soča Valley. For longer-term extreme precipitation (on a daily scale), the highest return levels are limited to mountainous areas. The future evolution of extreme precipitation cannot be analyzed in similar detail as the past, since climate models so far lack the ability to adequately represent small-scale convective extremes. However, model simulations show that the maximum daily precipitation could increase by up to 40% by the end of the 21st century. In addition, the total winter-season precipitation is expected to increase considerably in the following decades. The largest snow loads are limited to the hilly and mountainous regions. The plains in the east of both countries stand out as areas of low snow load, mainly due to the small amount of winter precipitation. The future evolution of snow cover has been investigated based on state-of-the-art snow models and an ensemble of regional climate models. An ensemble calculation is a repeated calculation of the forecast with a numerical meteorological model, with each calculation having a slightly modified initial state. This allows us to assess to a certain extent the impact of errors and incomplete knowledge of the initial conditions on the development of the forecast. Regardless of the scenario of greenhouse gas emissions, we can expect a significant decrease in the number of days with snow cover throughout the area in the future, of 20-90% according to different assessments.

¹ Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana, neza.lokosek@gov.si

² Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana, katja.kozjek@gov.si

UVOD

Spreminjanje je splošna značilnost podnebja, vendar je hitrost tega v zadnjih desetletjih izjemno velika (ARSO, 2019). Še zlasti skrb vzbujajoč je podatek, da že zdaj opažamo, da je ekstremnih vremenskih dogodkov več in da so ti pogostejši, kot so bili v referenčnem obdobju 1981–2010 (Bertalanič in sod., 2018). Podnebje na območju južne Avstrije in severne polovice Slovenije, ki je naše območje preučevanja, se glede na svetovne in evropske študije spreminja nekoliko hitreje kot drugod (ARSO, 2018). Območje je reliefno razgibano, zato natančnih ocen podnebnih sprememb iz drugih študij nismo mogli pridobiti, saj je bila prostorska ločljivost teh premajhna. Zavedati se moramo, da so zaradi podnebne in prostorske razgibanosti območja preučevanja ocene podnebnih projekcij bolj negotove kot na velikih, bolj uravnanih območjih. Negotovost ocen izvira iz treh virov, ti so negotovost scenarijev izpustov toplogrednih plinov, negotovost simulacij podnebnih modelov in naravna podnebna spremenljivost, kar je zelo pomemben podatek pri ocenjevanju podnebnih sprememb v prihodnosti (Bertalanič in sod., 2018). Negotovost za vse modelske spremenljivke se z odmikanjem v prihodnost povečuje. Podnebnih sprememb ne moremo ustaviti naenkrat. Poznavanje mogočih scenarijev za prihodnost je zato pomembno, da se lahko na spremenjeno podnebje pripravimo in se mu prilagodimo. Pripravljene podnebne projekcije so narejene za padavinske in snežne značilnosti in so podlaga za pravo dolgoročnih ukrepov za zmanjšanje tveganja pred naravnimi nesrečami, ki so posledica obilnih padavin in visoke snežne odeje (poplave, zemeljski plazovi, snežni plazovi, snegolomi itn.).

METODE

Ekstremni nalivi v dobi meritev

Povratni nivo ekstremnih nalivov je višina padavin, ki naj bi se v povprečju zgodila enkrat na X let, pri čemer je X povratna doba. Povratne nivoje ekstremnih nalivov v poljubni točki prostora smo izračunali s prostorsko interpolacijo, z metodo kriging. To je metoda optimalne prostorske interpolacije, ki upošteva povezanost obravnavane spremenljivke tudi z geografskimi spremenljivkami (geografska dolžina in širina ter nadmorska višina) in na podlagi izbrane okolice upošteva tudi vpliv mikrolokacije. Interpolirali smo parametre posplošene porazdelitve ekstremnih vrednosti (angl. *Generalized extreme value*

distribution – GEV), s katerimi je mogoče v poljubni točki prostora nato izračunati povratni nivo za naliv (Kozjek in Vertačnik, 2020).

Padavinske projekcije

Zaradi številnih negotovosti in predpostavk v simulacijah prihodnjega podnebja tega v prihodnosti ne moremo napovedovati kot vremena za nekaj prihodnjih dni. Za prihodnje podnebje pripravljamo projekcije, ki temeljijo na predpostavkah in scenarijih. Podnebne projekcije tako poleg informacije, v kakšnem intervalu lahko pričakujemo spremembe podnebnih spremenljivk, dajejo tudi informacijo o tem, kako zanesljiva je ta predvidena sprememba ter ob kakšnih predpostavkah in scenarijih prihodnjih družbenih sprememb velja. Ocene padavinskih projekcij smo naredili za dva različna scenarija poteka vsebnosti toplogrednih plinov (angl. *Representative Concentration Pathways* – RCP, van Vuuren in sod., 2011), ki temeljita na predpostavkah o razvoju družbe in gospodarstva do konca 21. stoletja (Bertalanič in sod., 2018). Zmerno optimistični scenarij (RCP4.5) predvideva, da se bodo izpusti do sredine stoletja počasi povečevali, potem pa počasi stagnirali oziroma rahlo padli. Pesimistični scenarij (RCP8.5) pa predvideva, da se do konca stoletja izpusti ne bodo bistveno zmanjšali in da se bo njihova rast do tedaj nadaljevala s tako hitrostjo, kot se je do zdaj. S tema scenarijema lahko prikažemo večino mogočih stanj podnebja v prihodnosti. Za vsakega izmed scenarijev smo imeli na voljo simulacije petih regionalnih podnebnih modelov, ki so pokrivalo celotno območje preučevanja. Podrobnejši opis umerjanja modelov na lokalno raven je dosegljiv za Slovenijo (Bertalanič in sod., 2018) in tudi za Avstrijo (Chimani in sod., 2016). Končna ločljivost projekcij je en kilometer. Podnebne projekcije so po navadi prikazane kot velikost spremembe opazovane spremenljivke od neke referenčne vrednosti. Tudi v našem primeru so rezultati vedno prikazani kot sprememba v odstotkih glede na primerjalno obdobje 1981–2010. Spremembe so prikazane za tri projekcijska obdobja, in sicer 2011–2040, 2041–2070 in 2071–2100. Prikazane so kot srednja vrednost oziroma mediana ansambla petih modelov za izbrani scenarij izpustov. Uporaba 30-letnih obdobj je pri prikazovanju podnebnih sprememb pogosta, saj tako preprečimo zamenjavo kratkoročne naravne spremenljivosti podnebja in dolgoročnega podnebne-ga signala sprememb (Bertalanič in sod., 2018).

Za prikazovanje padavinskih značilnosti v prihodnosti smo uporabili pogosto uporabljene in mednarodno uveljavljene padavinske kazalnike, ki smo jih ločeno

izračunali na obeh straneh meje, jih nato združili in prikazali njihovo spremembo na celotnem območju preučevanja. **Vsota padavin (oznaka RR)** predstavlja vsoto padavin vseh tistih dni v letu oziroma sezoni, ko smo v enem dnevu zabeležili vsaj en milimeter padavin. **Največja dnevna višina padavin (oznaka Rx1day)** predstavlja najvišjo enodnevno višino padavin v letu oziroma sezoni. **Največja petdnevna višina padavin (oznaka Rx5day)** predstavlja najvišjo petdnevno višino padavin v letu oziroma sezoni. **Intenzivnost padavin (oznaka SDII)** predstavlja povprečno intenzivnost padavin v izbranem časovnem intervalu in jo izračunamo po formuli

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W},$$

pri čemer j predstavlja izbrani časovni interval, W število mokrih dni in RR_{wj} dnevno količino padavin v obdobju j . **Število mokrih dni (R1mm)** predstavlja število dni na leto oziroma v sezoni, ko smo zabeležili vsaj en milimeter padavin.

Ocena snežnih obtežb v dobi meritev

Oceno snežnih obtežb smo opravili v štirih korakih. Ti so:

- izbor postaj na celotnem območju, ki imajo vsaj 40-letni niz meritev višine snežne odeje,
- priprava najboljšega modela za oceno snežne obtežbe iz meritev višine snežne odeje (Lokošek in Vertačnik, 2020),
- ocena parametrov posplošene porazdelitve ekstremnih vrednosti na vseh postajah, pripravljena na podlagi letne maksimalne snežne obtežbe,
- prostorska interpolacija posplošene porazdelitve ekstremnih vrednosti parametrov lokacije in širine.

Podrobnejši opis naštetih korakov si lahko preberete v Lokošek in Vertačnik (2020) v rubriki Razprave.

Projekcije snežne odeje

Vpliv podnebnih sprememb na prisotnost snežne odeje smo ocenili s hidrološkim modelom, ki je bil med državama različen. Snežni model mGROWA – Slovenija je za ocene uporabljal nemški vodnobilančni model mGROWA, ki so ga razvili v Raziskovalnem središču Jülich (mGROWA Slovenija, 2018). Podrobnosti avstrijskega modela ne poznamo.

Za prikaz snežnih značilnosti v prihodnosti smo se dogovorili za le en snežni kazalnik, ki smo ga ločeno ocenjevali na obeh straneh meje. Razlikovala sta se snežna modela, s katerima smo ocenjevali snežno

odejo, in njuna ločljivost (Slovenija: 100 x 100 m, Avstrija: 1 x 1 km). Edini skupni kazalnik na obeh straneh meje je bilo **število dni s snežno odejo (ndsp)**. Ta predstavlja število dni v izbranem obdobju, ko smo na opazovanem območju beležili snežno odejo. Pri snežnih kazalnikih se navadno odločamo za letni prikaz, ki je nekoliko drugačen kot običajno/povprečno leto, saj se snežno leto začne 1. avgusta in konča naslednje leto 31. julija.

REZULTATI

Rezultati ekstremnih padavin

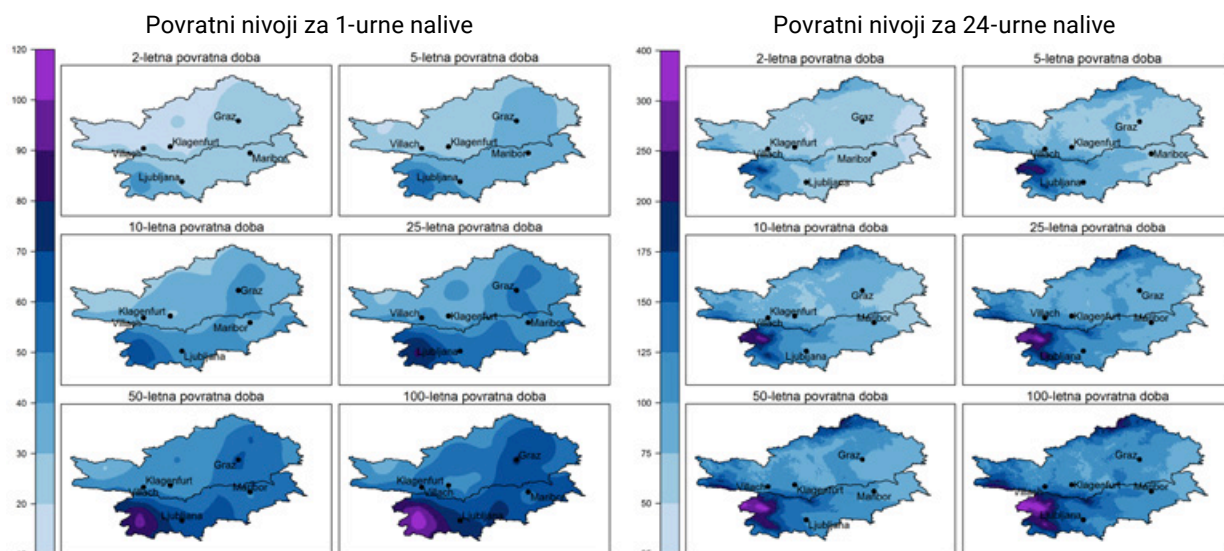
Rezultat celotnega postopka so prostorsko skladne vrednosti parametrov posplošene porazdelitve ekstremnih vrednosti v prostorski ločljivosti en kilometer. Vrednosti parametrov posplošene porazdelitve ekstremnih vrednosti so podlaga za izračun povratnih nivojev za različne povratne dobe (2, 5, 10, 25, 100 in 250 let) v pravilni mreži za celotno območje (slika 1).

Rezultati ocene snežnih obtežb

Iz dobljenih rezultatov prostorske interpolacije v ločljivosti 100 metrov smo s funkcijo rlevd() v programskem jeziku R v vsaki modelski točki izračunali povratne vrednosti za 10-, 25-, 50- in 100-letno povratno dobo. Rezultati ekstremnih padavin in snežnih obtežb so kot interaktivni zemljevidi dosegljivi na spletni strani projekta CROSSRISK (<https://crossrisk.eu/sl/climate>). Na tej strani lahko posameznik s klikom na izbrano točko v prostoru preveri povratne nivoje za izbrane povratne dobe in ocene snežnih obtežb za izbrano povratno dobo.

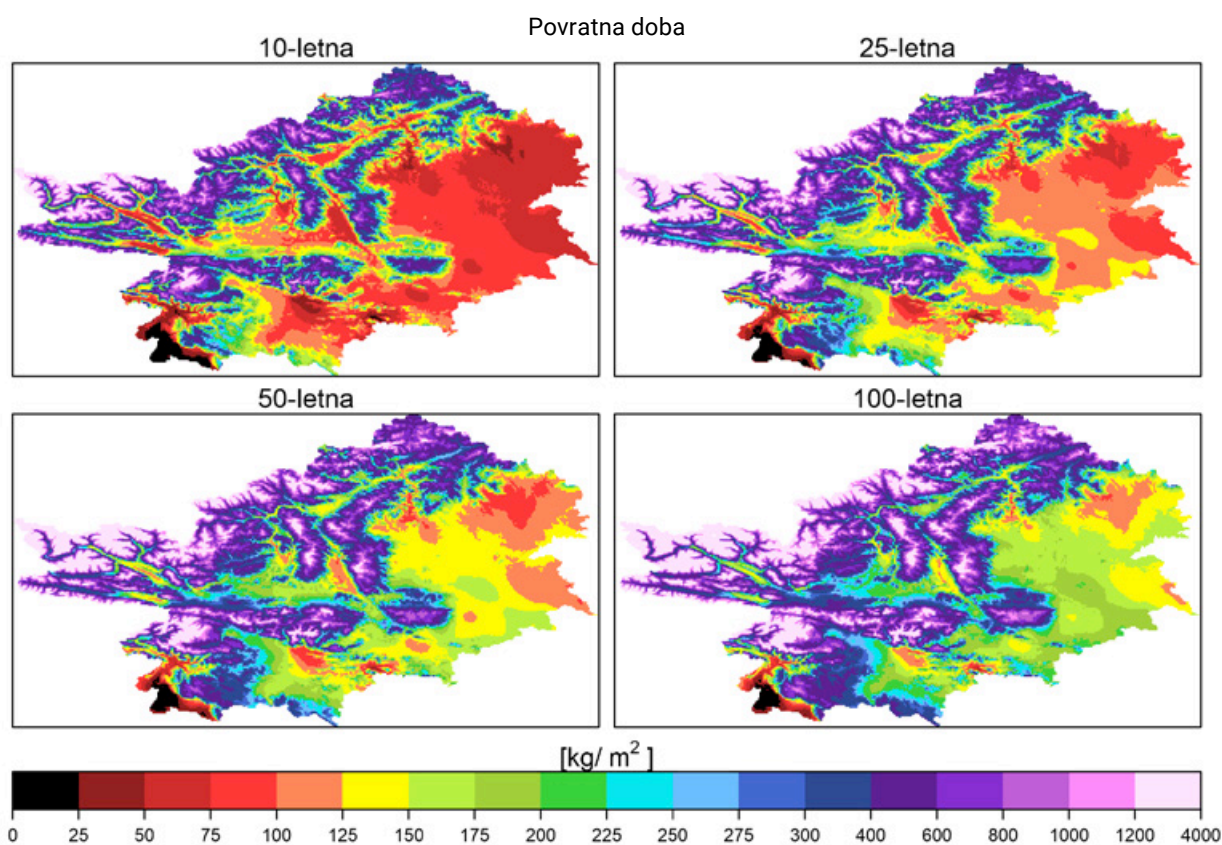
Projekcije padavin

Padavinski modelski izračuni se v primerjavi z izračuni za temperaturo prostorsko in časovno precej bolj razlikujejo. Območje preučevanja je na izrazitem prehodu, na katerem se signal padavin na večji, evropski, skali obrne. Južneje lahko v prihodnosti pričakujemo zmanjšanje padavin, severneje pa bo količina teh večja (European Environment Agency, 2021). Poleg tega Slovenija leži, za večino padavinskih dogodkov na tem območju, na privetni strani Alp, Avstrija pa na zavetrni. Prav zaradi tega se že prostorska porazdelitev količine padavin razlikuje na obeh straneh orografske pregrade, po kateri poteka tudi državna meja. Po scenariju izpustov toplogrednih plinov RCP4.5 (van Vuuren in sod., 2011) je na tem območju predvideno



Slika 1: Primer zemljevidov s prikazom povratnih nivojev (v milimetrih) za enourne (levo) in 24-urne nalive (desno) za različne povratne dobe (2, 5, 10, 25, 50 in 100 let)

Figure 1: Example maps showing return levels (in millimetres) for 1-hour (left) and 24-hour rainfall events (right) for different return periods (2, 5, 10, 25, 50 and 100 years)

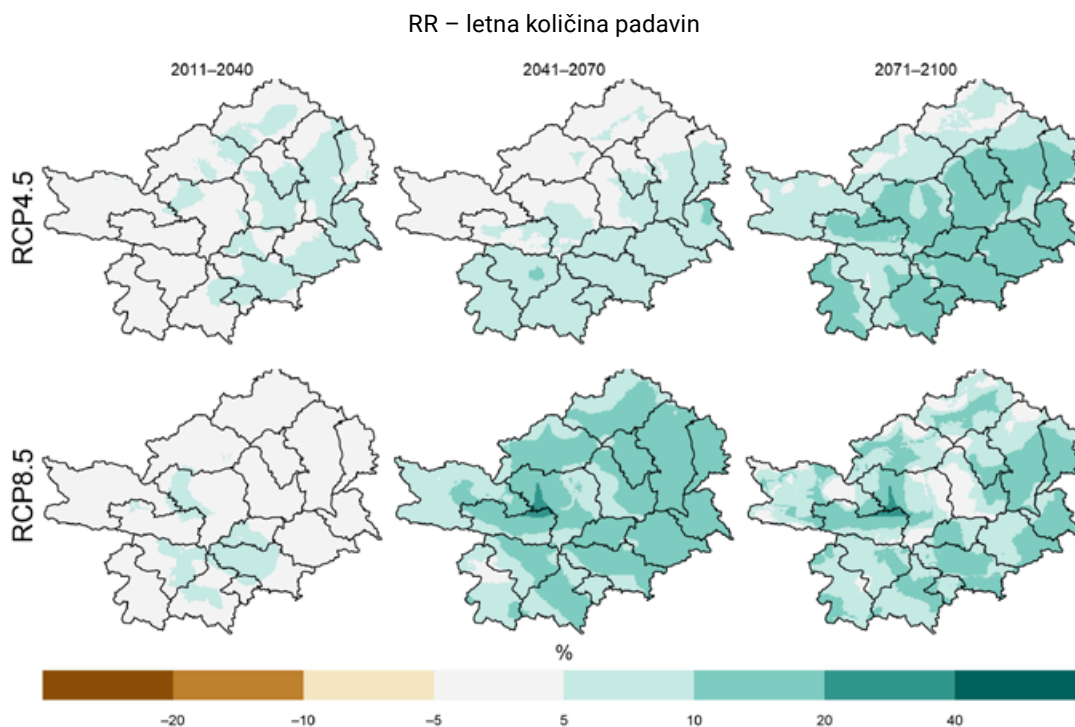


Slika 2: Ocena maksimalne snežne obtežbe v kg/m² za 10-, 25-, 50- in 100-letno povratno dobo na opazovanem območju

Figure 2: Estimated maximum snow load in kg/m² with 10, 25, 50 and 100 year return periods in the monitored area

postopno povečevanje letne višine padavin do konca stoletja, medtem ko scenarij RCP8.5 največje vrednosti padavin ocenjuje za sredino stoletja, potem pa se signal naraščanja nekoliko umiri. Vseeno velja poudariti, da je odstopanje med modeli precejšnje. Ne

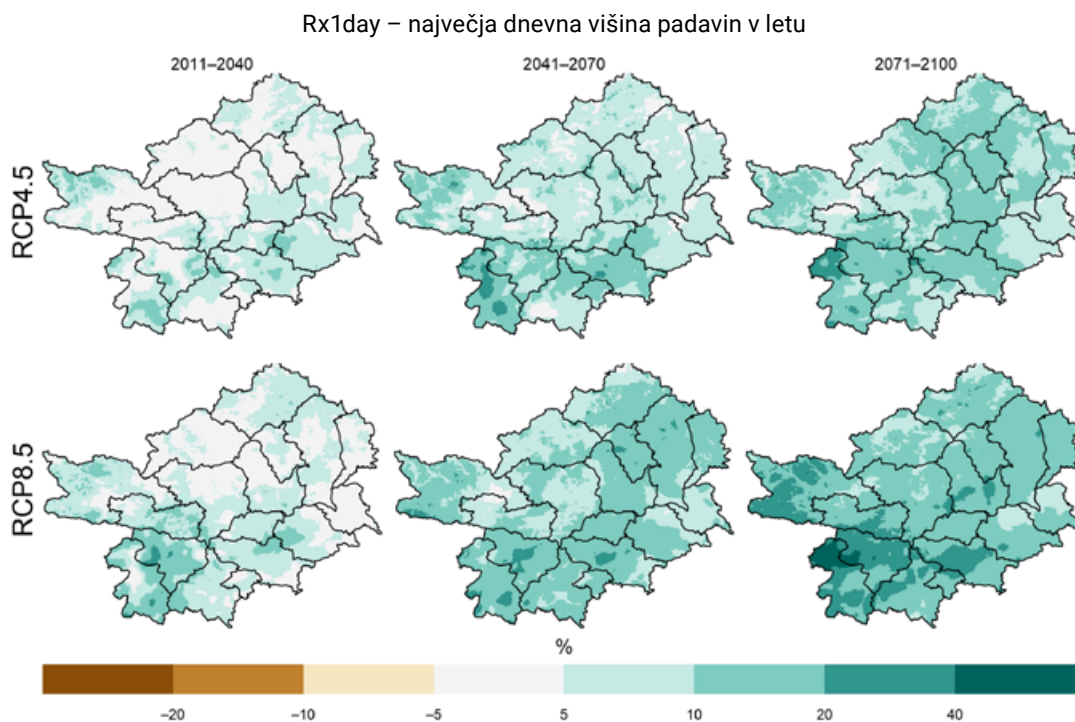
glede na izbiro scenarija lahko pričakujemo dvig letne višine padavin v sredini in ob koncu stoletja na večjem delu območja od pet do 20 odstotkov, v prvem obdobju pa se bo ta dvig zgodil še v okviru naravne spremenljivosti podnebja (slika 3).



Slika 3: Sprememba povprečne letne količine padavin za tri projekcijska obdobja glede na obdobje 1981–2010 za scenarija izpustov toplogrednih plinov RCP4.5 in RCP8.5

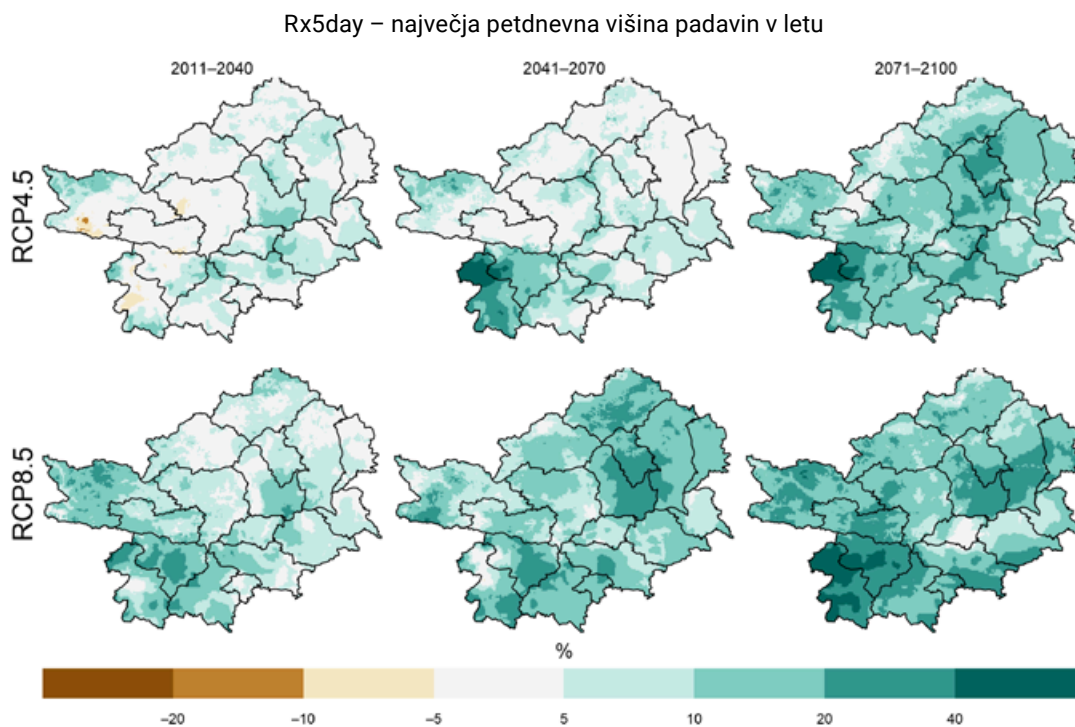
Figure 3: Change in average annual precipitation for the three projection periods compared to 1981–2010 for the RCP4.5 and RCP8.5 greenhouse gas emission scenarios

Na sezonski ravni največ modelov kaže v isto smer v zimskem obdobju. Tu je pričakovana sprememba tudi največja, še zlasti na vzhodu, pri čemer pesimistični scenarij RCP8.5 ocenjuje tudi več kot 40-odstotni dvig zimske višine padavin glede na primerjalno obdobje 1981–2010. Večja količina padavin



Slika 4: Sprememba največje dnevne višine padavin v letu za tri projekcijska obdobja glede na obdobje 1981–2010 za scenarija izpustov RCP4.5 in RCP8.5

Figure 4: Change in maximum annual daily precipitation for the three projection periods compared to 1981–2010 for the RCP4.5 and RCP8.5 emission scenarios



Slika 5: Sprememba največje petdnevne višine padavin v letu za tri projekcijska obdobja glede na obdobje 1981–2010 za scenarija izpustov RCP4.5 in RCP8.5

Figure 5: Change in maximum 5-day annual precipitation for the three projection periods compared to 1981–2010 for the RCP4.5 and RCP8.5 emission scenarios

pozimi ne pomeni nujno tudi debelejšše snežne odeje, vsaj ne za sredogorje in ravninska območja, saj se bo v prihodnosti znatno dvignila tudi povprečna temperatura, kar pomeni, da bodo padavine glede nadmorske višine še višje v obliki dežja, ne snega. Spomladi in jeseni lahko pričakujemo manjše povečanje sezonske količine padavin. V jesenskih mesecih je povečanje 5–20 odstotkov izrazitejše na vzhodnem delu opazovanega območja, medtem ko je spomladi z izjemo prvega obdobja ob pesimističnem scenariju (RCP8.5) 5–20-odstotno povečanje razpršeno na večji del območja. Poleti je razpršenost modelskih ocen pri obeh scenarijih izpustov največja, izjema je vzhodni del opazovanega območja. Ne samo, da kažejo različni modeli različno velike spremembe, tudi njihov predznak se med modeli pogosto razlikuje, zato so ocene za poletne mesece zelo negotove. Sklenemo lahko, da lahko v poletnih mesecih pričakujemo spremembe, tudi zelo velike, vendar pa ne moremo napovedati, kakšne bodo.

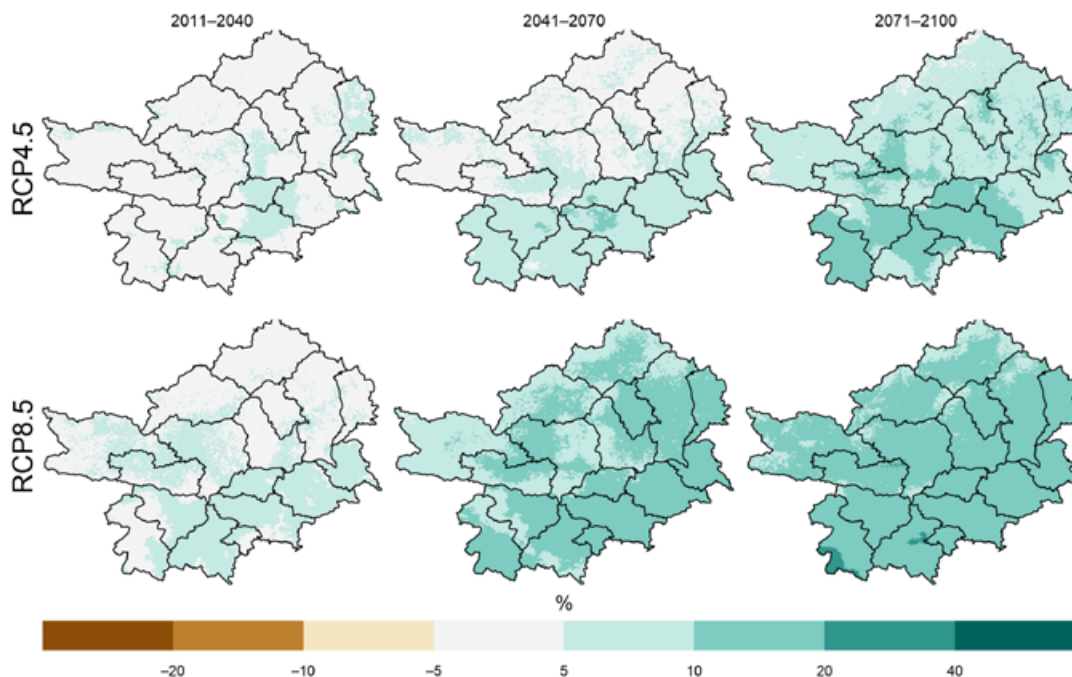
Za največjo dnevno višino padavin v letu ocenjujemo znatno povečanje že v obdobju 2011–2040. Pri obeh scenarijih se z oddaljevanjem v prihodnost pozitiven signal samo še krepi. Največji dvig ob koncu stoletja pričakujemo na območju zahodnih Julijskih Alp. Na tem območju bo po scenariju izpustov RCP4.5 povečanje do 40-odstotno, ob pesimističnem scenariju

pa lahko pričakujemo, da bo dnevna najvišja višina padavin za 40 odstotkov višja od dnevno najvišje višine padavin iz referenčnega obdobja 1981–2010 (slika 4).

Podobne ugotovitve na letni ravni veljajo za najvišjo petdnevno višino padavin (slika 5), vendar je ugotovitvenost modelov v tem primeru nekoliko slabša. Signal se s časom stopnjuje, v prvem in drugem obdobju pa je nekaj večjih razlik med scenarijema izpustov. Zmerno optimistični scenarij v prvem in drugem obdobju predvsem na območju Avstrije kaže le minimalno povečanje, medtem ko scenarij RCP8.5 tudi v prvem in drugem obdobju na območju avstrijskih Štajerske in Koroške nakazuje na 5–40-odstotni dvig najvišje petdnevne količine padavin.

Povprečna letna intenzivnost padavin (SDII) bo, tako kot vsi do zdaj omenjeni kazalniki, glede na primerjalno obdobje v povprečju naraščala. Oba scenarija izpustov za prvo obdobje napovedujeta še zelo primerljive razmere, kot smo jih imeli v primerjalnem obdobju. V drugem obdobju je povečanje ob zmerno optimističnem scenariju večje za Slovenijo kot za Avstrijo. To povečanje je za scenarij izpustov RCP4.5 5–10-odstotno, medtem ko je za scenarij RCP8.5 v večjem delu 10–20-odstotno (slika 6). V zadnjem obdobju lahko po scenariju izpustov RCP8.5 skoraj na

SDII – povprečna letna intenzivnost padavin



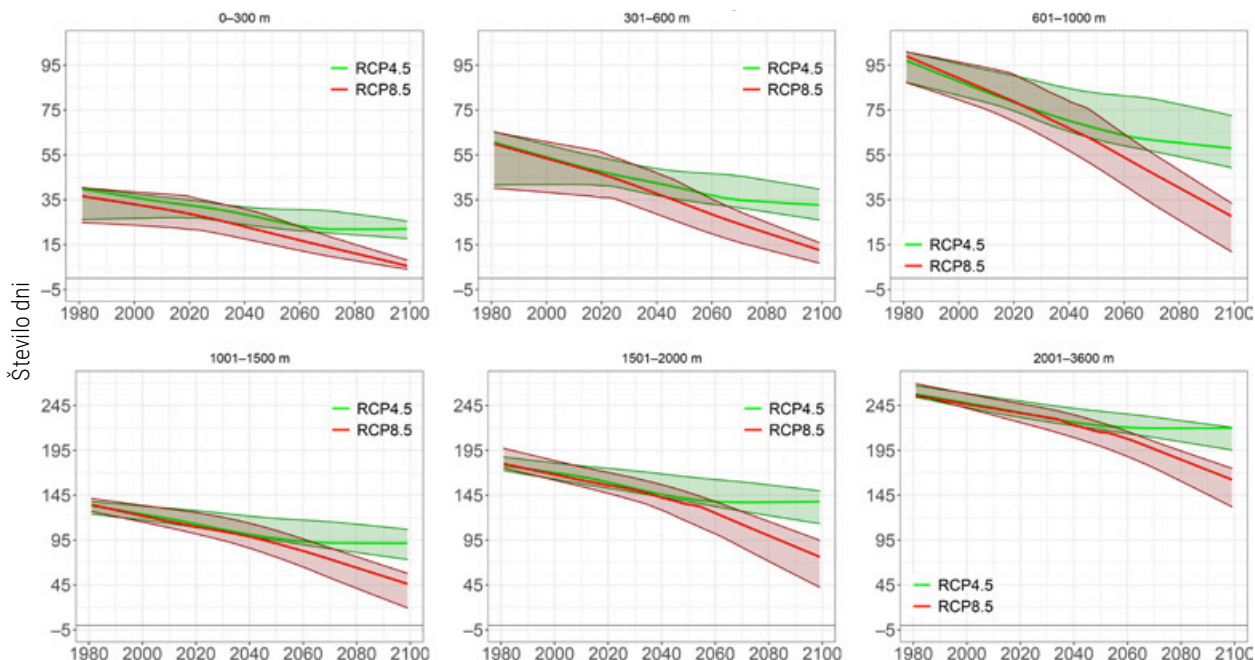
Slika 6: Prikaz spremembe povprečne letne intenzivnosti padavin na opazovanem območju

Figure 6: Change in mean annual rainfall intensity in the monitored area

celotnem obravnavanem območju pričakujemo do 20 odstotkov intenzivnejše letne padavine. Ob scenariju izpustov RCP4.5 ta ocena večinoma velja le za večji del slovenskega območja.

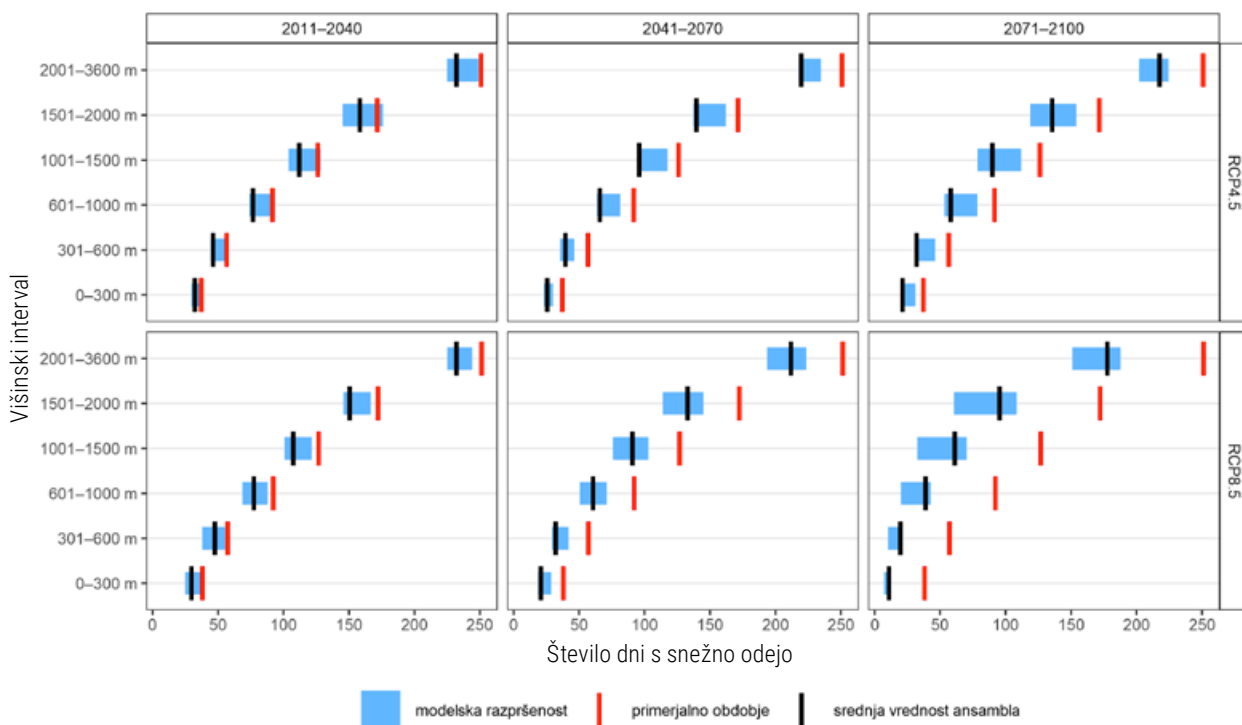
Število dni, ko je padlo vsaj en milimeter padavin, na letni ravni ne glede na izbiro scenarija ne kaže sprememb, tako da bo v prihodnosti primerljivo število padavinskih dni.

Število dni s snežno odejo



Slika 7: Prikaz glajene absolutne srednje vrednosti modelskega ansambla števila dni s snežno odejo s pripadajočim razponom med letoma 1981 in 2100. Zelena črta prikazuje srednje optimistični scenarij izpustov, rdeča pesimističnega.

Figure 7: The smoothed absolute mean value of the model ensemble of snow cover days with the associated range between 1981 and 2100. The green line shows the medium-optimistic emissions scenario, the red line the pessimistic scenario.



Slika 8: Prikaz povprečne srednje vrednosti trajanja snežne odeje za vsa tri projekcijska obdobja v primerjavi s povprečjem v primerjalnem obdobju po višinskih pasovih. Rdeče črte predstavljajo povprečne razmere v primerjalnem obdobju, črne srednjo vrednost ansambla modelskih izračunov, modri pravokotniki pa razpršenost modelskih izračunov.

Figure 8: Average mean snow cover duration values for all three projection periods compared to the average over the comparison period by altitude range. The red lines represent the average conditions over the comparison period, the black lines the mean value of the ensemble of model calculations, and the blue rectangles the dispersion of the model calculations.

Projekcije trajanja snežne odeje

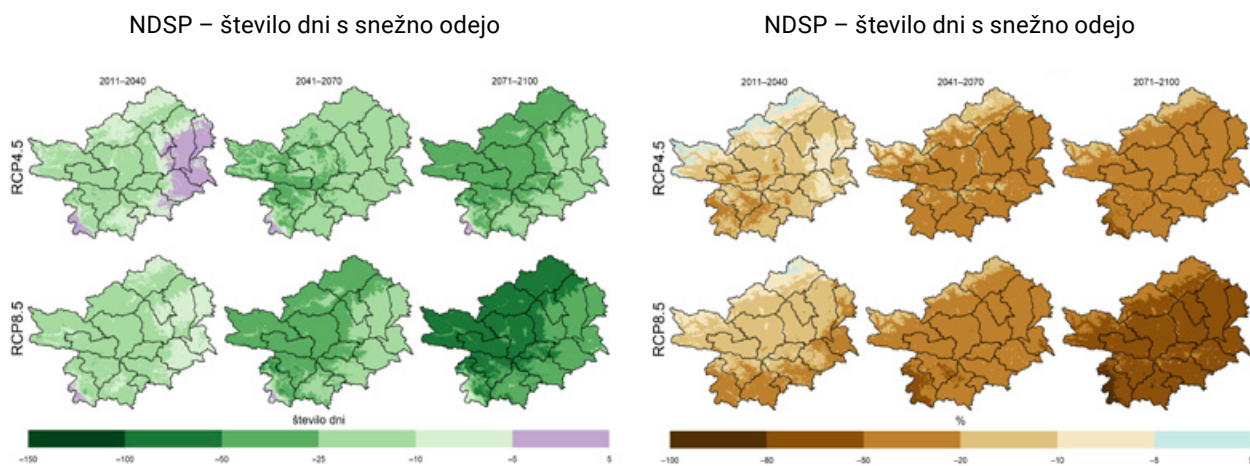
Snežna odeja se močno spreminja z nadmorsko višino. Večino prikazov sprememb števila dni s snežno odejo smo prikazali ločeno po višinskih intervalih. Projektno območje se razteza od 30 do 3600 metrov nadmorske višine, zato smo višinsko razliko razdelili v naslednje intervale: 0–300 metrov nadmorske višine, 300–600 metrov nadmorske višine, 600–1000 metrov nadmorske višine, 1000–1500 metrov nadmorske višine, 1500–2000 metrov nadmorske višine, 2000–3600 metrov nadmorske višine.

Število dni s snežno odejo v povprečju ves čas počasi upada. Slika 7 prikazuje glajeno modelsko srednjo vrednost in razpon ansambla modelov dejanskega števila dni s snežno odejo v snežni sezoni, ločeno po nadmorski višini za oba scenarija izpustov. Po najbolj pesimističnem scenariju ob koncu stoletja pričakujemo leta, ko na najnižjih in najbolj uravnanih predelih projektne območja ne bo snega. Scenarij izpustov RCP4.5 za ta območja ob koncu stoletja napoveduje približno 50-odstotni upad števila dni s snegom, torej z okoli enega meseca na okoli dva tedna. Upad se z nadmorsko višino povečuje, vendar ni največji v zadnjem višinskem intervalu, temveč na

območju sredogorij. Pri najvišjih nadmorskih višinah je ta nekoliko manjši, kar pomeni, da bo ob povečani zimski količini padavin in višjih povprečnih temperaturah v prihodnosti na višjih nadmorskih višinah vseeno snežilo.

Povprečno srednjo vrednost trajanja snežne odeje smo prikazali za tri projekcijska obdobja in dodali povprečno trajanje v primerjalnem obdobju. Na sliki 8 so v prvi vrstici prikazane razmere po scenariju izpustov RCP4.5, spodaj pa izračuni za scenarij izpustov RCP8.5. V večini primerov niti najbolj skrajni modeli ne napovedujejo primerljivega trajanja snežne odeje, kot je bilo v primerjalnem obdobju. Izjema so vsi višinski intervali za primer srednje optimističnega scenarija (graf levo zgoraj).

Prostorski prikaz spremembe števila dni s snežno odejo prikazuje slika 9. Poleg absolutne razlike v številu dni v primerjalnem in projekcijskih obdobjih prikazuje tudi relativni upad za vsa tri projekcijska obdobja. Po scenariju izpustov RCP4.5 lahko v prvem projekcijskem obdobju na vzhodu in skrajnem jugozahodu območja preučevanja še pričakujemo primerljivo število dni s snežno odejo kot v primerjalnem obdobju. V večjem delu območja je že v prvem obdobju pričakovati



Slika 9: Prostorski prikaz absolutne (levo) in relativne razlike (desno) števila dni s snežno odejo za tri projekcijska obdobja in dva scenarija izpustov

Figure 9: Spatial representation of the absolute (left) and relative (right) difference in the number of days with snow cover for the three projection periods and the two emission scenarios

do 25 manj dni s snežno odejo. Za najvišje predele projektnega območja to pomeni, da se bo sprememba zgodila v okviru naravne spremenljivosti podnebja, za sredogorja in nižine pa se ta sprememba že ocenjuje kot 10–20-odstotni upad. Še največji, od 20 do 50 odstotkov, je na območju slovenskega zahodnega predalpskega hribovja. V drugem projekcijskem obdobju je upad v večjem delu omejen na 10–25 dni, v zadnjem pa je območje razdeljeno na dva dela, večji del Avstrije in sever Slovenije in večji del Slovenije z najnižimi deli vzhodne Avstrije. V prvem delu pričakujemo upad števila dni s snežno odejo do 50 dni, v drugem delu pa do 25 dni. Ta upad na skoraj celotnem območju sovпада z 20–50-odstotnim skrajšanjem trajanja snežne odeje.

Pri pesimističnem scenariju so ocene o upadu števila dni s snežno odejo zelo podobne kot v primeru zmerno optimističnega scenarija, vsaj v prvih dveh obdobjih. V prvem obdobju v večjem delu projektnega območja pričakujemo upad med 10 in 25 dnevi, v najvzhodnejšem delu našega območja pa bo ta nekoliko manjši, med 5 in 10 dnevi. To za večji del Avstrije in sever Slovenije pomeni 10–20-odstotni upad, drugod po Sloveniji pa je ta večji, do 50-odstotni. Drugo in tretje obdobje sta ponovno razdeljeni na polovici: večji del Avstrije in sever Slovenije ter večji del Slovenije in najnižji vzhodni del Avstrije. V drugem obdobju po scenariju izpustov RCP8.5 pričakujemo upad števila dni med 10 in 50 dnevi. To v večjem delu projektnega območja pomeni 20–50-odstotni upad. Zadnje obdobje se v primeru absolutne razlike števila dni s snežno odejo ponovno loči na dva dela. V večjem delu Avstrije je tako ob koncu stoletja pričakovati v povprečju do

več kot tri mesece krajše trajanje snežne odeje, medtem ko v večjem delu Slovenije pričakujemo upad med 25 in 50 dnevi. Te ocene v večjem delu območja preučevanja za konec stoletja pomenijo 50–80-odstotno zmanjšanje števila dni s snežno odejo. Manjše zmanjšanje je le na skrajnem severu območja, kjer so najvišji vrhovi, večje pa na skrajnem jugozahodnem delu, kjer je vpliv Jadranskega morja še zelo močan in je že v današnjem podnebjju sneg zelo redek pojav. Vse ocene v povezavi z zmanjševanjem števila dni s snežno odejo so zelo zanesljive, saj tudi najskrajnejši modeli ocenjujejo negativen trend.

SKLEPNE MISLI

Glede na opisane spremembe lahko pričakujemo, da bodo v prihodnosti padavine intenzivnejše, še zlasti kratkotrajne. Največje spremembe pričakujemo v zimskih mesecih, ko lahko, glede na projekcije dviga temperatur, po nižinah pričakujemo padavine v obliki dežja. Snežna odeja kot zadrževalnik vode bo tako še redkejši pojav, kot je zdaj, zato lahko pričakujemo še več težav, povezanih z veliko količino dežja, ki pade v relativno kratkem času (npr. hudourniške poplave). S pripravljenimi zemljevidi in grafi si lahko načrtovalci najrazličnejše infrastrukture pomagajo pri načrtovanju odvodnjavanja in ocenah maksimalnih obremenitev, povezanih s snegom. Turistična dejavnost, povezana z naravnim snegom, bo v prihodnosti omejena na še krajši čas. Snežna odeja sicer bo, postavlja pa se vprašanje, ali bo pod 1500 metri dovolj debela za različne smučarske dejavnosti.

Viri in literatura

1. ARSO, Urad za meteorologijo in hidrologijo, 2019. Začasna izjava Svetovne meteorološke organizacije o stanju podnebja leta 2019. <http://meteo.arslo.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/SMO%20stanje%20podnebja%202019.pdf>.
2. ARSO, Urad za meteorologijo in hidrologijo, 2018. Kaj pomeni 1,5 °C namesto 2 °C toplejše Zemljino površje za Slovenijo? <http://meteo.arslo.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/Kaj%20pomeni%201.5%20stopinje%20za%20Slovenijo.pdf>.
3. Bertalaní, R., in sod., 2018. Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: sintezno poročilo. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
4. Chimani, B., Heinrich, G., Hofstätter, M., Kerschbaumer, M., Kienberger, S., Leuprecht, A., Truhetz, H., 2016. ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich. Daten, Methoden und Klimaanalyse (Project Report). Wien: ZAMG.
5. Coles, S., 2004. An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values. Springer, Bristol, 3rd printing, 47–52.
6. European Environment Agency, 2021. Mean precipitation. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/european-precipitation-2/assessment>.
7. Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., in sod., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Reg Environ Change, 14, 563–578.
8. Koutsoyiannis, D., 2004a. Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I. Theoretical investigation. Hydrological Science Journal, 49, 575–590.
9. Koutsoyiannis, D., 2004b. Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: II. Empirical investigation of long rainfall records. Hydrological Science Journal, 49, 591–610.
10. Kozjek, K., Vertačnik, G., 2020. Časovno in prostorsko glajeni povratni nivoji ekstremnih nalivov. Vetrnica, 12-13(19), 2020, 77–85.
11. Lokošek, N., Vertačnik, G., 2020. Prostorska interpolacija maksimalne snežne obtežbe. Vetrnica, 12-13(19), 2020, 86–93.
12. mGROWA Slovenija, 2018. Rezultati modela vodne bilance za Slovenijo. <http://meteo.arslo.gov.si/met/sl/watercycle/mgrowa-si/>.
13. Papalexiou, S. M., in Koutsoyiannis D., 2013. Battle of extreme value distribution: A global survey on extreme daily rainfall. Water Resources Research, 49, 187–201.
14. Ragulina, G., in Reitan, T., 2017. Generalized extreme value shape parameter and its nature for extreme precipitation using long time series and the Bayesian approach. Hydrological Sciences Journal, 62, 863–879.
15. Sanpaolesi, L., 1998. Commission of the European Communities DGIII – D3, Scientific support activity in the field of structural stability of Civil Engineering works, SNOW LOADS, FINAL REPORT, University of Pisa.
16. Sanpaolesi, L., 1999. Commission of the European Communities, DGIII – D3, Scientific support activity in the field of structural stability of Civil Engineering works, SNOW LOADS, FINAL REPORT, University of Pisa.
17. Sanpaolesi, L., 1999. Commission of the European Communities, DGIII – D3, Scientific support activity in the field of structural stability of Civil Engineering works, SNOW LOADS, ANNEX B to the final report, EUROPEAN GROUND SNOW LOADS MAP, University of Pisa.
18. Serinaldi, F., in Kilsby, C. G., 2014. Rainfall extremes: Toward reconciliation after the battle of distributions. Water Resources Research, 50, 336–352.
19. van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., in sod., 2011. The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change, 109. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>.