

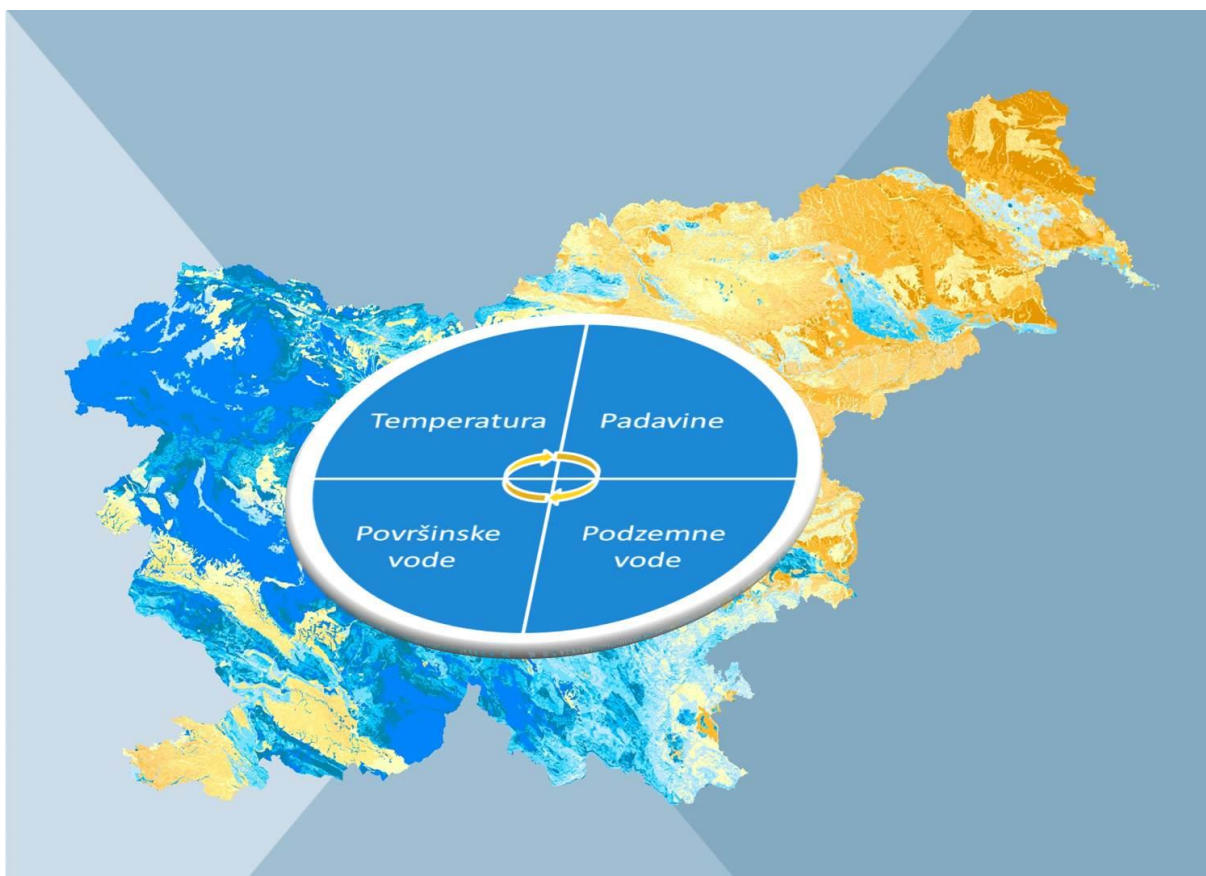


REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

Vpliv podnebnih sprememb na vodni krog v Sloveniji

Osnove za NUV II



Tekst in podatki so zaščiteni po določilih avtorskega prava, tisk in uporaba podatkov sta dovoljena le v obliki izvlečkov z navedbo vira.

Deskriptorji: padavine, temperatura zraka, površinske vode, podzemne vode, podnebne spremembe, Slovenija

Vpliv podnebnih sprememb na vodni krog v Sloveniji

Osnove za NUV II

Avtorji

dr. Mišo Andjelov
mag. Mojca Dolinar
dr. Peter Frantar
dr. Mira Kobold

Kartografija

dr. Mišo Andjelov
mag. Mojca Dolinar
dr. Peter Frantar
dr. Mira Kobold

Direktor urada za meteorologijo

dr. Klemen Bergant



Direktor urada za hidrologijo in stanje okolja

mag. Drago Groselj



Generalni direktor Agencije RS za okolje

mag. Joško Knez



Ljubljana, junij 2015



Kazalo vsebine

1	Uvod	8
2	Ugotovljene podnebne spremembe v Sloveniji	8
	2.1 Spremenljivost in spremembe temperature zraka	8
	2.2 Razporeditev in spremenljivost padavin v Sloveniji	10
	2.3 Spremenljivost izhlapevanja v Sloveniji	12
3	Spremembe hidroloških spremenljivk in trendi	12
	3.1 Časovna spremenljivost pretokov	12
	3.2 Trend srednjih letnih pretokov	13
	3.3 Trend malih letnih pretokov	15
	3.4 Trend velikih pretokov	16
	3.5 Spremenljivost temperature vode	17
	3.6 Opažene spremembe višine in temperature morja	18
	3.7 Pojavnost hidroloških ekstremov v Sloveniji	20
	3.8 Spremembe pretočnih režimov	22
	3.9 Trendi	25
4	Podnebne spremembe in sprememba odtoka v Sloveniji	26
	4.1 Predvidene spremembe podnebja do sredine 21. stoletja	26
	4.2 Vpliv podnebnih sprememb na odtok	29
5	Analiza vpliva podnebnih sprememb z bilančnim modelom GROWA	30
	5.1 Analiza vpliva podnebnih sprememb na skupni odtok z bilančnim modelom GROWA	30
	5.2 Analiza vpliva podnebnih sprememb na podzemni odtok z bilančnim modelom GROWA	31
6	Informativni izračun vpliva podnebnih sprememb na sezonske spremembe odtoka vodotokov	35
	6.1 Rezultati informativnega izračuna sezonske spremembe odtoka	36
	6.2 Vrzeli in pomanjkljivosti analize scenarijev odtoka	39
7	Ključne ugotovitve	40
8	Viri	41

Seznam slik

Slika 1: Časovni potek odklona letne povprečne temperature zraka v Sloveniji v obdobju 1961–2011 glede na povprečje celotnega obdobja. S sivo polno črto je vrisano glajeno dolgoletno povprečje.	9
Slika 2: Trend letne povprečne temperature zraka za obdobje 1961–2011 na homogeniziranih podatkih. Trend je pri stopnji 5 % statistično značilen.	9
Slika 3: Trend povprečne temperature zraka po meteoroloških letnih časih za obdobje 1961–2011 na homogeniziranih podatkih. Razen jeseni je trend pri stopnji 5 % statistično značilen.	10
Slika 4: Trend letne količine padavin za obdobje 1961–2011. Šrafirano je območje, kjer trend ni statistično značilen pri 5 % stopnji značilnosti.	11
Slika 5: Trend v višini snežne odeje (levo) in skupna višina novega snega v sezoni (desno) za obdobje 1961–2011. Večji krožci označujejo postaje s statistično značilnim trendom, manjši krožci pa postaje kjer pri stopnji 5 % trend ni statistično značilen.	11
Slika 6: Trend potencialne evapotranspiracije za obdobje 1971–2011. Večji krožci označujejo postaje s statistično značilnim trendom, manjši krožci pa postaje kjer pri stopnji 5 % trend ni statistično značilen.	12
Slika 7: Odstopanje srednjih letnih pretokov in letnih visokovodnih konic od povprečnih obdobjnih vrednosti za vodomerno postajo Litija na Savi ter 10-letno drseče povprečje (1895 – 2013).	13
Slika 8: Trend srednjih letnih pretokov na vodomernih postajah državnega hidrološkega monitoringa.	14
Slika 9: Neto odtok Slovenije (razlika med skupnim odtokom in dotokom).	14
Slika 10: Trend srednjih pretokov po letnih časih za dve vodomerni postaji.	15
Slika 11: Trend najmanjših letnih 30-dnevnih pretokov (Qmin30).	16
Slika 12: Trend največjih letnih pretokov (levo) in trend pogostosti visokih ekstremov v povprečju trikrat letno (desno).	16
Slika 13: Najvišje (Tmaks), srednje letne (Ts) in najmanjše (Tmin) temperature vode v obdobju opazovanj (vrednosti ob sedmi uri zjutraj) na dveh vodomernih postajah.	17
Slika 14: Upadanje števila dni z ledom na Bohinjskem jezeru pozimi.	18
Slika 15: Srednja letna višina morja z drsečim povprečjem na mareografski postaji Koper.	19
Slika 16: Pojavljanje ekstremnih višin morja na mareografski postaji Koper.	19
Slika 17: Srednji letni temperaturi zraka in morja z drsečim povprečjem.	20
Slika 18: Leta z obsežnejšimi poplavami v Sloveniji (upoštevane so poplave s povratno dobo nad 50 let na vsaj treh porečjih).	21
Slika 19: Število pojavov visokih voda (ko pretoki presežejo opozorilne poplavne vrednosti) na slovenskih rekah.	21
Slika 20: Izrazite, regionalne in lokalne suše v devetih regijah v Sloveniji v obdobju 1963–2013 določene na osnovi povprečnega primanjkljaja vode (padavine – izhlapevanje) v poletnem obdobju (vir: Sušnik in sod., 2013).	22
Slika 21: Tipi pretočnih režimov v Sloveniji med letoma 1971 in 2000 (vir: Frantar et al., 2005).	23

Slika 22: Predvidene spremembe temperature zraka obdobja 2021–2050 v primerjavi z referenčnim obdobjem 1961–1990 po letnih časih. Podana je spodnja meja (25. percentil), mediana in zgornja meja (75. percentil) modelskih rezultatov.	27
Slika 23: Predvidene spremembe padavin obdobja 2021–2050 v primerjavi z referenčnim obdobjem 1961–1990 po letnih časih. Podana je spodnja meja (25. percentil), mediana in zgornja meja (75. percentil) modelskih rezultatov.	28
Slika 24: Predvidena povprečna potencialna evapotranspiracija obdobja 2021–2050 po letnih časih. Podana je spodnja meja (25. percentil), mediana in zgornja meja (75. percentil) modelskih ocen.	29
Slika 25: Predvidena sprememba v količinskem obnavljanju podzemne vode v obdobju 2021-50 glede na obdobje 1981-2010 ocenjena iz kombinacije dveh meteoroloških spremenljivk podnebne scenarija za obdobje 2021-2050 z vodno bilančnim modelom GROWA-SI (Andjelov in sod., 2014).	31
Slika 26: Predvidena sprememba v napajanju plitvih vodonosnikov v Sloveniji po devetih kombinacijah dveh meteoroloških spremenljivk podnebne scenarija za obdobje 2021-2050.	32
Slika 27: Predvidena sprememba v napajanju plitvih vodonosnikov za obdobje 2021-2050 po posameznih vodnih teles podzemne vode po devetih kombinacijah dveh meteoroloških spremenljivk podnebne scenarija.	33
Slika 28: Razvoj prebivalstva, skupne rabe podzemne vode in rabe podzemne vode na prebivalca od 2013 do 2025.	34
Slika 29: Odstopanje količine odtoka po srednjem scenariju pomladi v mm od obdobja 1971-2000.	37
Slika 30: Odstopanje količine odtoka po srednjem scenariju poleti v mm od obdobja 1971-2000.	38
Slika 31: Odstopanje količine odtoka po srednjem scenariju jeseni v mm od obdobja 1971-2000.	38
Slika 32: Odstopanje količine odtoka po srednjem scenariju pozimi v mm od obdobja 1971-2000.	39

Seznam preglednic

Preglednica 1: Primerjava tipov pretočnih režimov v obdobjih 1961–1990 in 1971–2000.	23
Preglednica 2: Pretočni režimi 1981-2010.	24
Preglednica 3: Skupni odtok Slovenija za obdobje 2021-2050 v mm/leto.	30
Preglednica 4: Statistična analiza sprememb v napajanju plitvih vodonosnikov po posameznih vodnih teles podzemne vode za obdobje 2021-2050 (v %).	32
Preglednica 5: Scenariji odtoka.	35

Povzetek

Analize kažejo porast temperature zraka na vseh območjih v Sloveniji. Dvig temperature je večinoma odraz globalnih podnebnih sprememb.

Sezonski informativni pregled kaže na občutno zmanjšanje odтока poleti v obeh povodjih in na precejšnje zmanjšanje odтока jeseni. Spremembe podnebja bodo imele po scenariju najmanjši vpliv na odток pozimi in pomladi.

Vpliv podnebnih sprememb na odток v obdobju 2021-50 bo najverjetneje v zmanjševanju količin. Vodnobilančni model GROWA-SI kaže na zmanjšanje povprečnega letnega odтока v Sloveniji glede na dolgoletno povprečje 1971-2000 za 4 %. Zmanjšanje letnega odтока potrjujejo tudi sezonski informativni izračuni, povprečno letno zmanjšanje pa naj bi bilo večje v Podonavju kot v povodju Jadrana.

1 Uvod

Spremenljivost podnebja v Sloveniji opisujejo analize trendov, izvedene na 50-letnem časovnem nizu (1960-2009) najpomembnejših meteoroloških spremenljivk na glavnih meteoroloških postajah, ki so reprezentativne za posamezna podnebna območja (Dolinar, 2010). Analize kažejo porast temperature zraka na vseh območjih v Sloveniji. Dvig temperature je večinoma odraz globalnih podnebnih sprememb. Ugotovljeno je povečanje števila toplih dni in zmanjšanje števila ledenih dni, dvig jesenske višine padavin in večinoma upad v ostalih letnih časih, zmanjšanje višine novega snega in trajanja snežne odeje. Navedene spremembe so posebej izrazite v zadnjih 30 letih.

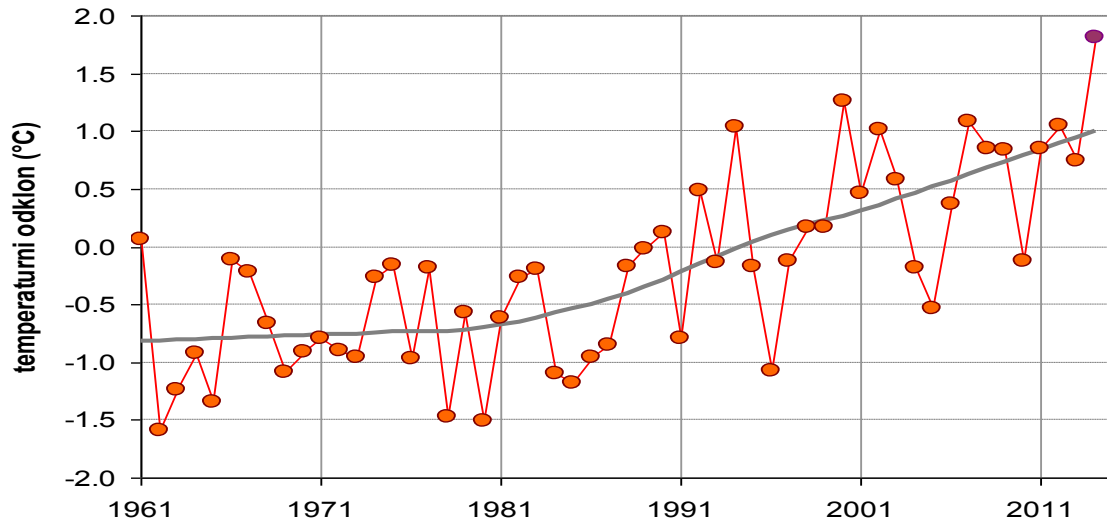
Vpliv podnebnih sprememb na vodni režim v alpskem prostoru smo preučevali (2008-2011) v okviru projekta AdaptAlp (<http://www.adaptalp.org/>). Problematika podnebnih sprememb na območju Alp je zelo aktualna saj ima to območje pomembno vlogo pri akumulaciji vode in oskrbi Evrope z vodo, hkrati je zaznano povišanje povprečne temperature zraka v prejšnjem stoletju na tem območju za okrog 2 °C, kar je več kot povprečno povišanje temperature na severni polobli (Auer in sod., 2007).

2 Ugotovljene podnebne spremembe v Sloveniji

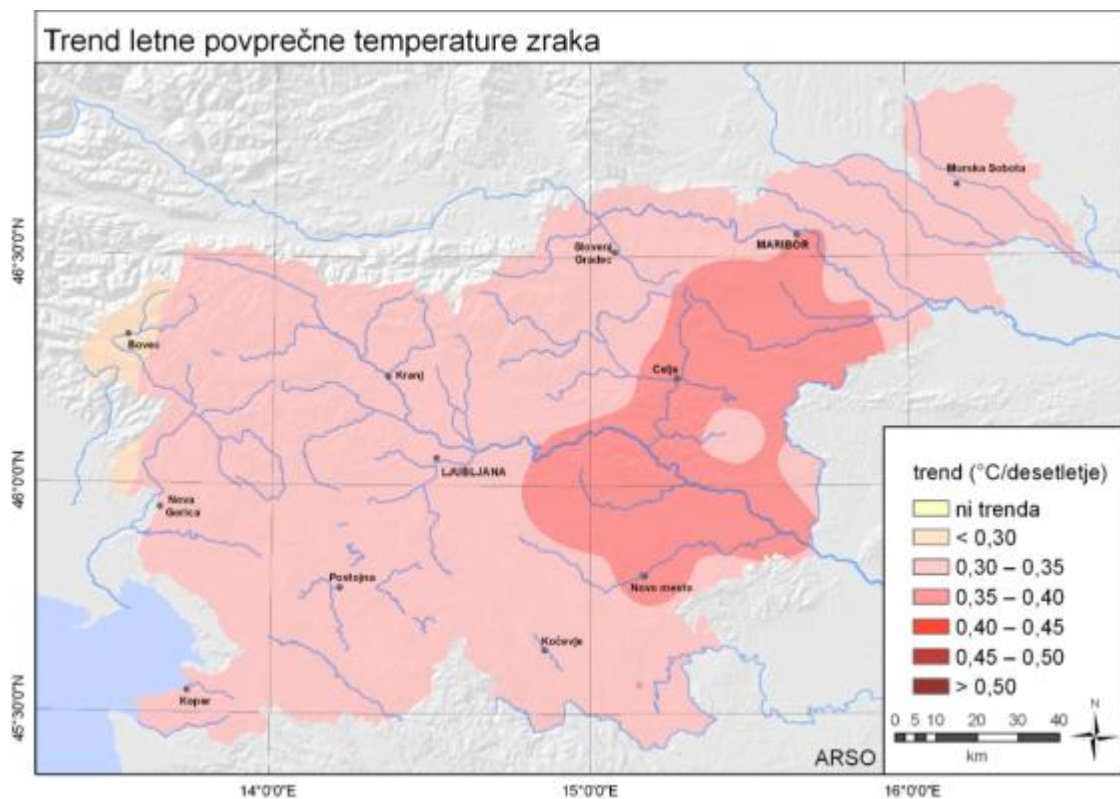
Zaradi razgibanega reliefa in vpliva morja imamo v Sloveniji izjemno pestro podnebje s prepletanjem zmerno celinskoega, subalpskega in submediteranskega podnebja. Podnebna raznolikost Slovenije se kaže v dnevni, sezonski in večletni spremenljivosti vremena. Na podlagi meritev spremljamo, kako se podnebje v Sloveniji spreminja in kakšen je vpliv globalnih podnebnih sprememb na podnebje v Sloveniji. Podobno kot v večjem delu sveta meritve v Sloveniji jasno kažejo, da se podnebje ogreva. V zadnjih petdesetih letih se je v povprečju temperatura dvignila za 1,7 °C. Hkrati s tem pa se spreminjajo druge podnebne spremenljivke (padavine, snežna odeja), ki pomembno vplivajo na vodni režim in na številne človekove dejavnosti.

2.1 Spremenljivost in spremembe temperature zraka

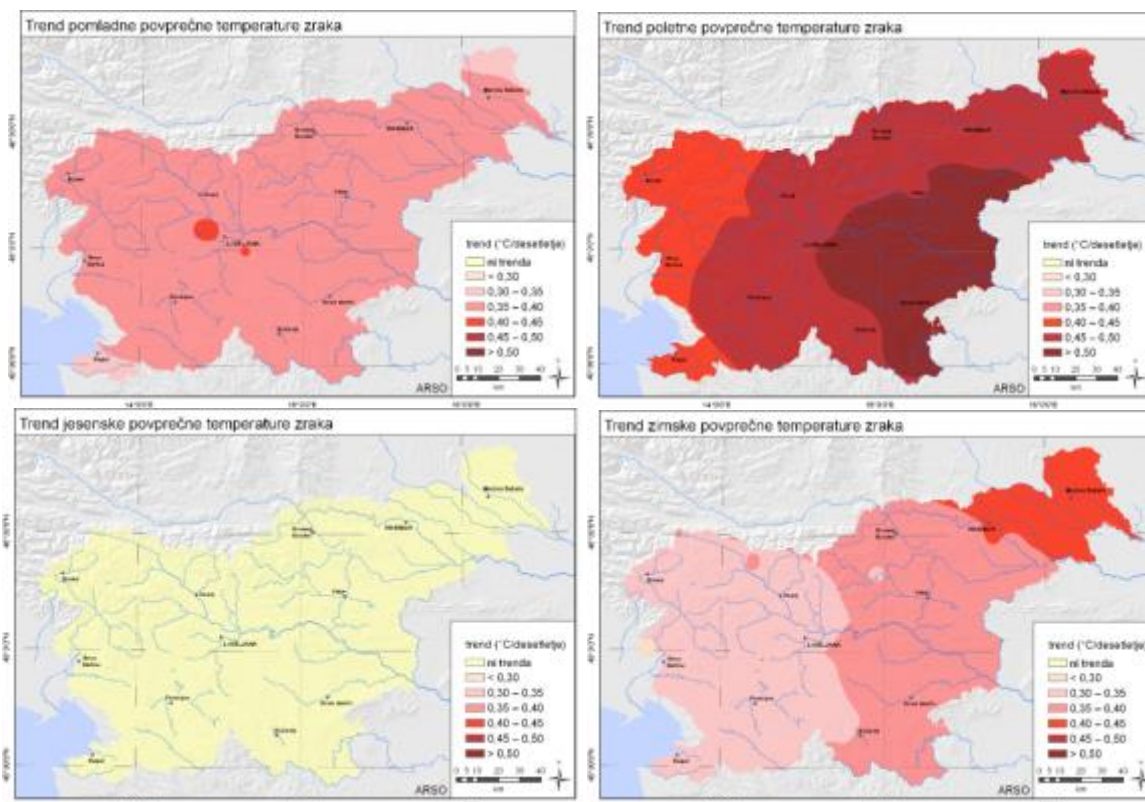
Za temperaturo zraka v obdobju 1961–2011 je značilno, da je v povprečju skozi celotno obdobje naraščala po vsej državi (Slika 1). Najhladnejša so bila prva in najtoplejša zadnja leta obravnavanega obdobja. V zadnjih petdesetih letih se je Slovenija v povprečju segrela za 1,7 °C. Na letni ravni je temperatura naraščala dokaj enakomerno po vsej državi s stopnjo okoli 0,35 °C na desetletje (Slika 2). Zaznati je le rahle razlike med vzhodnim delom države, ki se je segrevalo nekoliko hitreje kot zahodni del države. Večje razlike v spremembi temperature je zaznati na sezonski ravni (Slika 3). Najbolj so se pogrele poletja, le nekoliko manj pomladi, medtem ko jeseni nismo zaznali statistično značilnih sprememb. Razlike med vzhodnim in zahodnim delom države so predvsem poleti in pozimi bolj izrazite kot na letni ravni.



Slika 1: Časovni potek odklona letne povprečne temperature zraka v Sloveniji v obdobju 1961–2011 glede na povprečje celotnega obdobja. S sivo polno črto je vrisano glajeno dolgoletno povprečje.



Slika 2: Trend letne povprečne temperature zraka za obdobje 1961–2011 na homogeniziranih podatkih. Trend je pri stopnji 5 % statistično značilen.



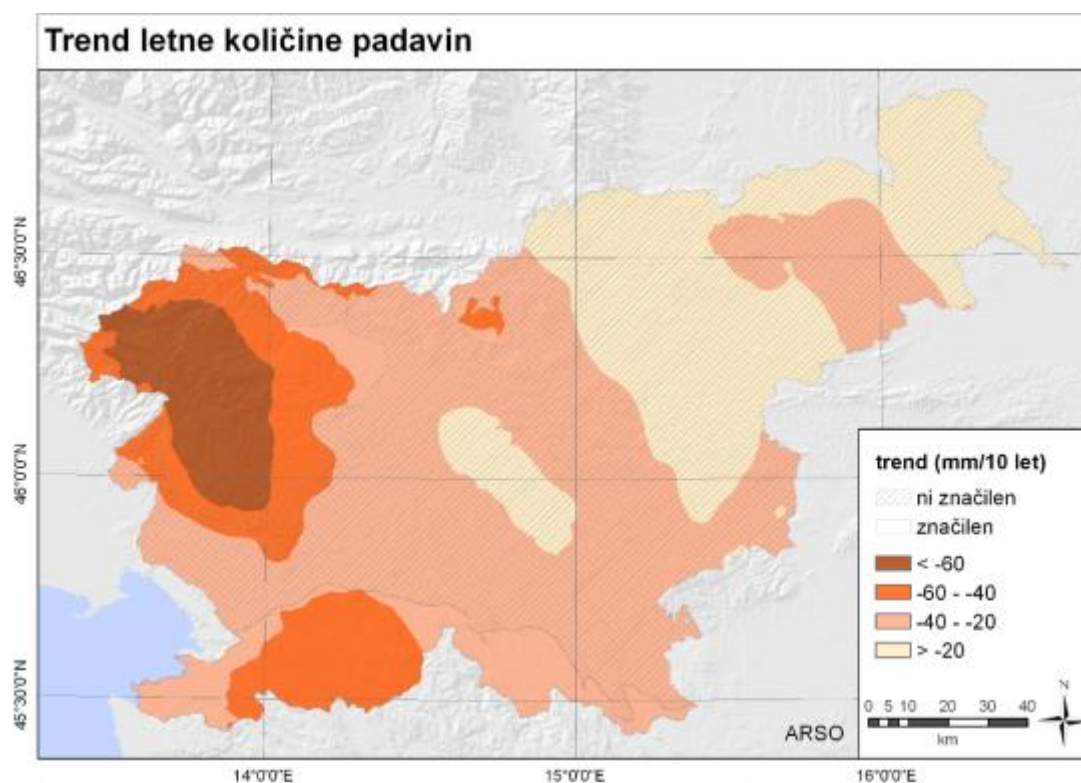
Slika 3: Trend povprečne temperature zraka po meteoroloških letnih časih za obdobje 1961–2011 na homogeniziranih podatkih. Razen jeseni je trend pri stopnji 5 % statistično značilen

2.2 Razporeditev in spremenljivost padavin v Sloveniji

Porazdelitev padavin v Sloveniji kaže veliko prostorsko in časovno raznolikost, ki je posledica vpliva geografske lege Slovenije, razgibanosti njenega površja in značilnosti posameznih vremenskih tipov. Prostorsko količina padavin od zahoda proti severovzhodu pada. V najbolj namočenih severozahodnih predelih Slovenije povprečna letna višina padavin presega 3500 mm, na skrajnem severovzhodu pa doseže le okrog 800 mm.

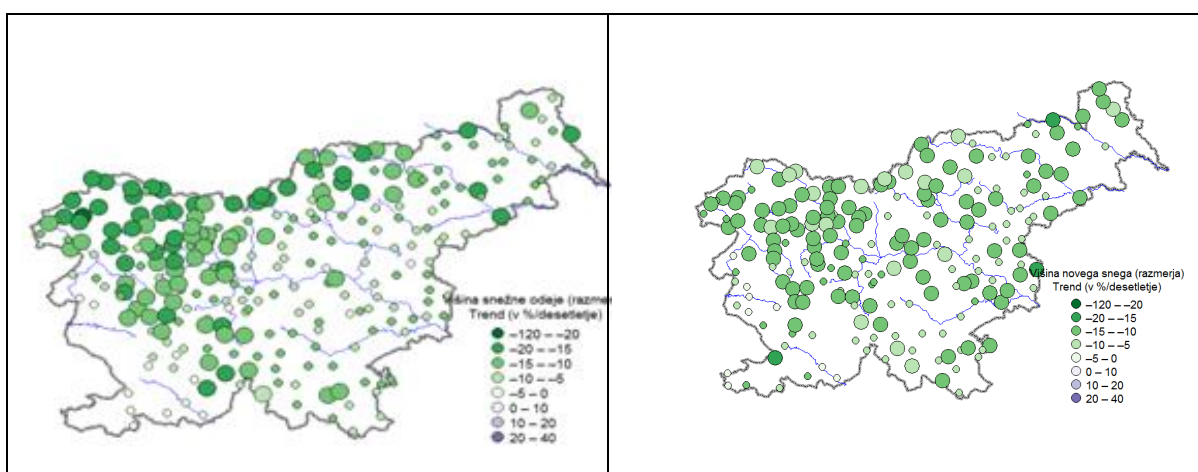
Medletna spremenljivost padavin je zelo velika, zato mora biti sprememba povprečja velika, da je statistično značilna. Čeprav je na letnem nivoju zaznati upad povprečne količine padavin, je ta statistično značilna le za del severozahodne in južni rob Slovenije (Slika 4). Na sezonski ravni so spremembe v količini padavin značilne le pomladi in poleti, medtem ko jeseni in pozimi za enkrat spremembe še niso tako velike, da bi bile statistično značilne. Padavinski režim se torej spreminja, jesenski višek ostaja enak kot v preteklosti, medtem ko se pomladi in poleti količina padavin zmanjšuje, kar odločujoče vpliva tudi na količine pretokov v rekah.

Na pretočne režime v Sloveniji ima velik vpliv tudi snežna odeja. Vso državo, z izjemo Primorske, del leta pokriva snežna odeja. V visokogorju snežna odeja lahko leži preko celega leta, neprekinjeno pa od decembra do maja. V nižinah osrednje Slovenije imamo snežno odejo povprečno 20 do 60 dni na sezono. Tu je najbolj pogosta januarja, nekoliko manj februarja in decembra, še manj novembra, marca in aprila.



Slika 4: Trend letne količine padavin za obdobje 1961–2011. Šrafirano je območje, kjer trend ni statistično značilen pri 5 % stopnji značilnosti.

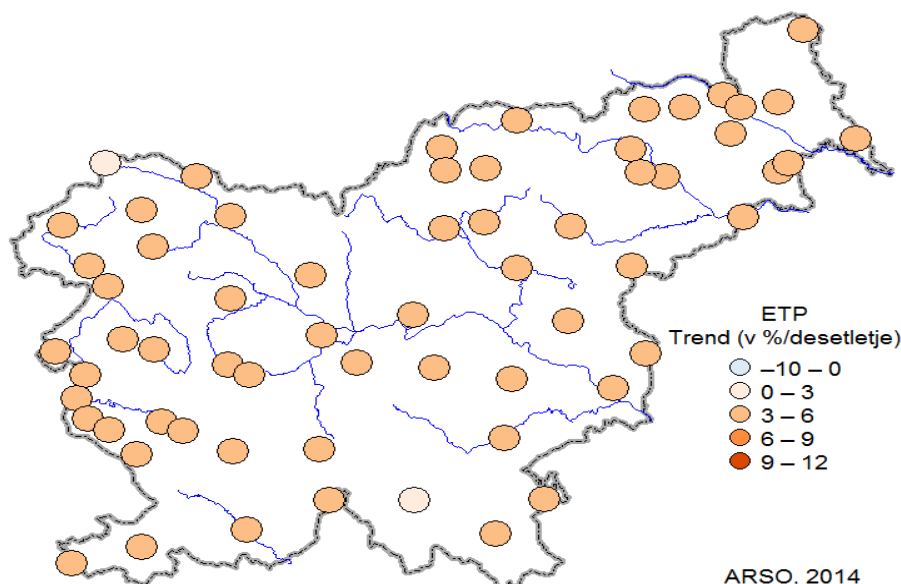
Globalne podnebne spremembe imajo opazen vpliv na snežno odejo. Višina snežne odeje se statistično značilno spreminja povsod na višjih nadmorskih višinah in sicer upada za več kot 10 % na desetletje (Slika 5 levo). Spreminja se tudi količina novozapadlega snega. Te spremembe niso značilne le za višji svet, ampak so opazne tudi v hribovitem delu Dolenjske in Štajerske in v Goričkem (Slika 5 desno). Tudi v skupni količini novega snega so spremembe že kar znatne, ta upada hitreje kot 10 % na desetletje.



Slika 5: Trend v višini snežne odeje (levo) in skupna višina novega snega v sezoni (desno) za obdobje 1961–2011. Večji krožci označujejo postaje s statistično značilnim trendom, manjši krožci pa postaje kjer pri stopnji 5 % trend ni statistično značilen.

2.3 Spremenljivost izhlapevanja v Sloveniji

Pomemben element v vodni bilanci je izhlapevanje. Izhlapevanja ne merimo, ampak potencialno evapotranspiracijo ocenimo računsko. Potencialna evapotranspiracija je višja ali enaka dejanskemu izhlapevanju, saj pri njeni oceni predpostavljamo, da je zaloge vode v tleh in rastlinah vedno dovolj za izhlapevanje. Ocene so narejene za referenčno travnato podlago.



Slika 6: Trend potencialne evapotranspiracije za obdobje 1971–2011. Večji krožci označujejo postaje s statistično značilnim trendom, manjši krožci pa postaje kjer pri stopnji 5 % trend ni statistično značilen.

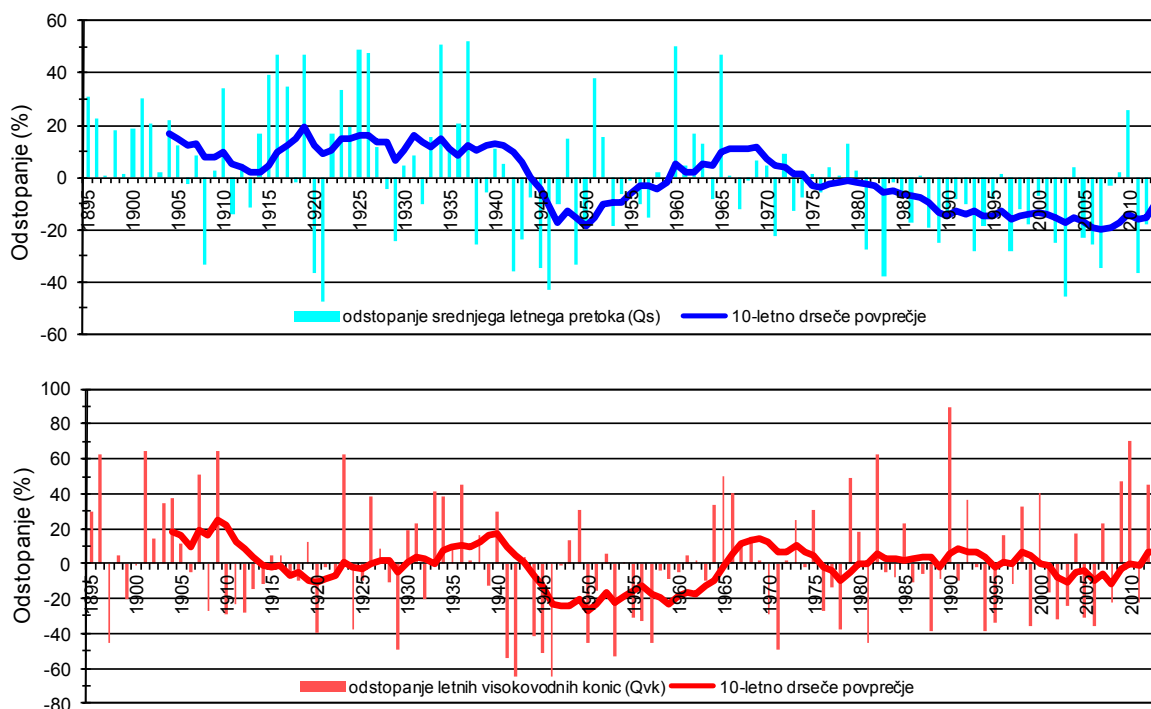
Potencialna evapotranspiracija je odvisna od temperature zraka, energije sončnega obsevanja, zračne vlage in vetra. Ker se je spremenila temperatura zraka, se je spremenila tudi potencialna evapotranspiracija. V nekaterih predelih jugozahodne in severovzhodne Slovenije se je od leta 1971 povečala tudi za 24% (Slika 6). Ker so to sušni predeli, je dejanska evapotranspiracija narasla manj, saj so v toplem delu leta zaloge vode v tleh velikokrat premajhne in jih potencialna evapotranspiracija močno preseže.

3 Spremembe hidroloških spremenljivk in trendi

3.1 Časovna spremenljivost pretokov

Z analizo časovne spremenljivosti pretokov prikažemo spremembe v hidrološkem obnašanju rek. Zelo nazorni prikaz hidrološkega dogajanja je odstopanje značilnih pretokov (srednjega letnega in najmanjšega letnega pretoka ter letnih visokovodnih konic) od srednjih obdobjnih vrednosti. Analiza podatkov za vodomerno postajo Litija na reki Savi kaže, da so bila pretežno mokra leta konec 19. in v prvi polovici 20. stoletja, do leta 1937 (Slika 7). Srednji in najmanjši letni pretoki so bili v tem obdobju močno nad obdobjnim povprečjem, izjema so bila le posamezna leta (1908, 1920, 1921,

1929, 1932). Med 1938 in 1959 je bilo izredno suho obdobje, temu pa je sledilo skoraj 20-letno obdobje z nadpovprečno oz. povprečno vodnatostjo. Po letu 1980 je srednja letna vodnatost večinoma neprekinjeno podpovprečna.

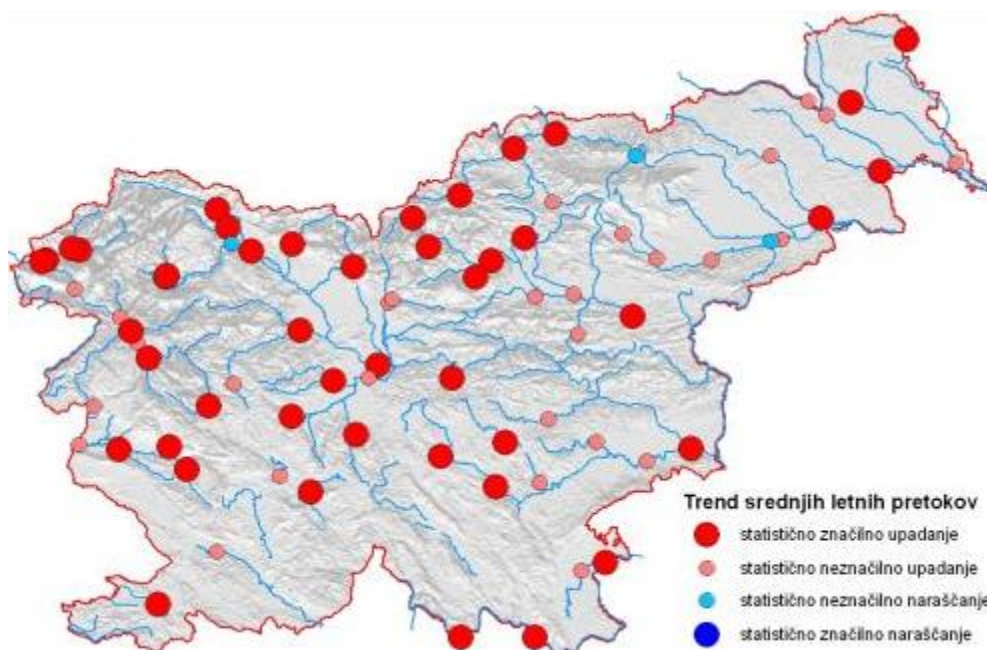


Slika 7: Odstopanje srednjih letnih pretokov in letnih visokovodnih konic od povprečnih obdobjnih vrednosti za vodomerno postajo Litija na Savi ter 10-letno drseče povprečje (1895 – 2013)

Razporeditev visokovodnih konic je v primerjavi s srednjimi pretoki precej bolj enakomerna (Slika 7). Izrazito podpovprečne so bile visokovodne konice v obdobju 1940–1960. Za to obdobja so bili značilni tudi pogosti mali pretoki, kar kaže na obdobje z izrazito hidrološko sušo. Po letu 1980 pa v posameznih letih beležimo podpovprečne srednje letne pretoke, dolga nizkovodna stanja in hidrološko sušo, po drugi strani pa visoke vode in poplave. Razporeditev visokovodnih konic v zadnjih treh desetletjih ustreza obdobjnemu povprečju. To je odraz neenakomerne porazdelitve padavin med letom, saj jih večina pade v obliki kratkotrajnih in močnih nalivov.

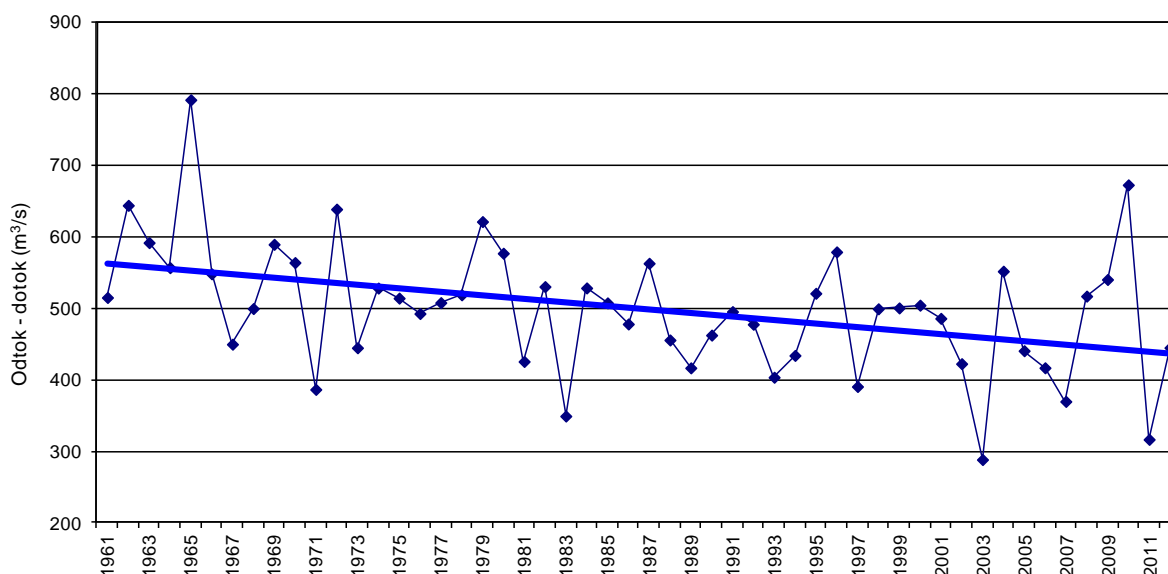
3.2 Trend srednjih letnih pretokov

Srednji letni pretoki predstavljajo povprečno letno količino vode na izbranih vodomernih profilih. Z analizo trendov srednjih letnih pretokov za vodomerne postaje z nizom podatkov nad 30 let do vključno leta 2005 (Jurko, 2009) ugotavljamo upadajoč trend srednjih letnih pretokov povsod po Sloveniji (Slika 8). Statistično značilno upadanje pretokov izkazujejo vse reke Alpskega in Predalpskega sveta, reke Dinarske Slovenije in reke v Pomurju. Statistično neznačilno upadanje srednjih pretokov imajo v spodnjem toku Soča, Vipava, Krka in Savinja, pa tudi Dravinja in Drava. Naraščanje srednjih letnih pretokov izkazujejo le Radoljna, Polskava in Bohinjska Bistrica, vendar z nizko stopnjo značilnosti.



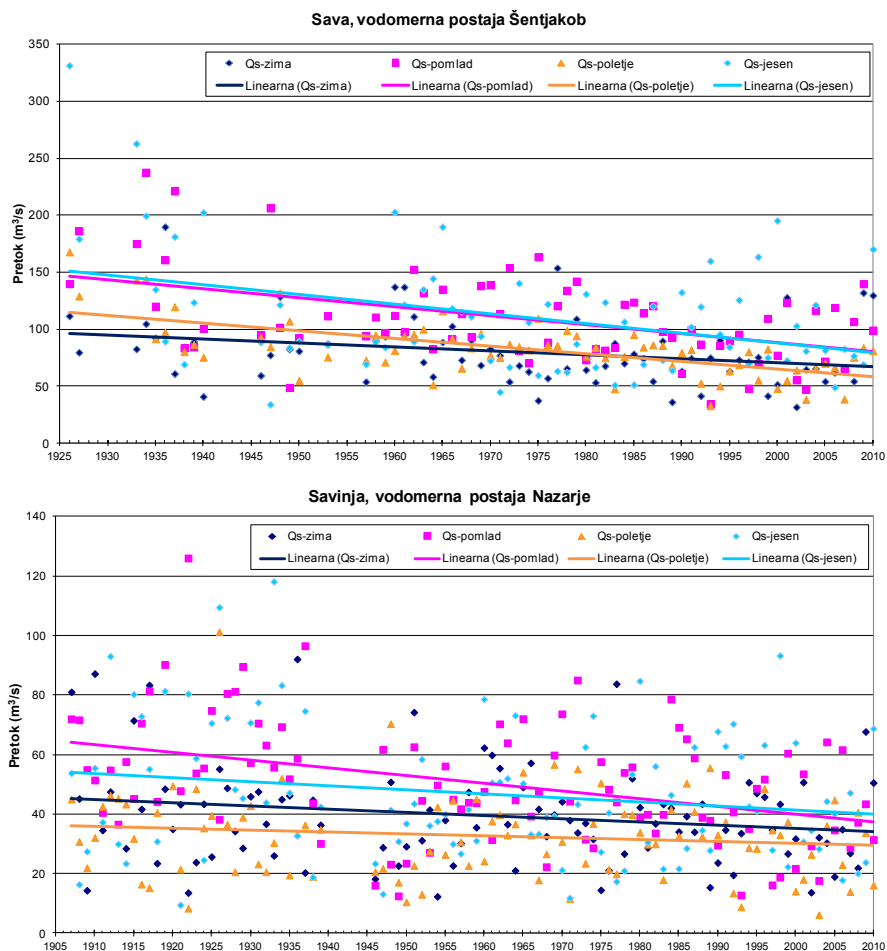
Slika 8: Trend srednjih letnih pretokov na vodomernih postajah državnega hidrološkega monitoringa

Trend srednjih letnih pretokov (Slika 8) kaže, da se letna količina razpoložljive vode v strugah vodotokov zmanjšuje. Upadanje pretokov je posledica manjše letne količine padavin in porasta povprečne letne temperature zraka, ki vpliva na povečanje evapotranspiracije in posledično na zmanjševanje odtoka s porečij. V zadnjih 50 letih se je neto odtok Slovenije z upoštevanjem linearnega trenda zmanjšal kar za 22 % (Slika 9), kar predstavlja 4,2 % upad na desetletje.



Slika 9: Neto odtok Slovenije (razlika med skupnim odtokom in dotokom)

Spremembe pretoka preko leta niso enotne. Trend srednjih pretokov je v vseh letnih časih upadajoč, je pa največji upad zaznan spomladi, sledi jesen, nekoliko manjši je upad poleti in pozimi (Slika 10).

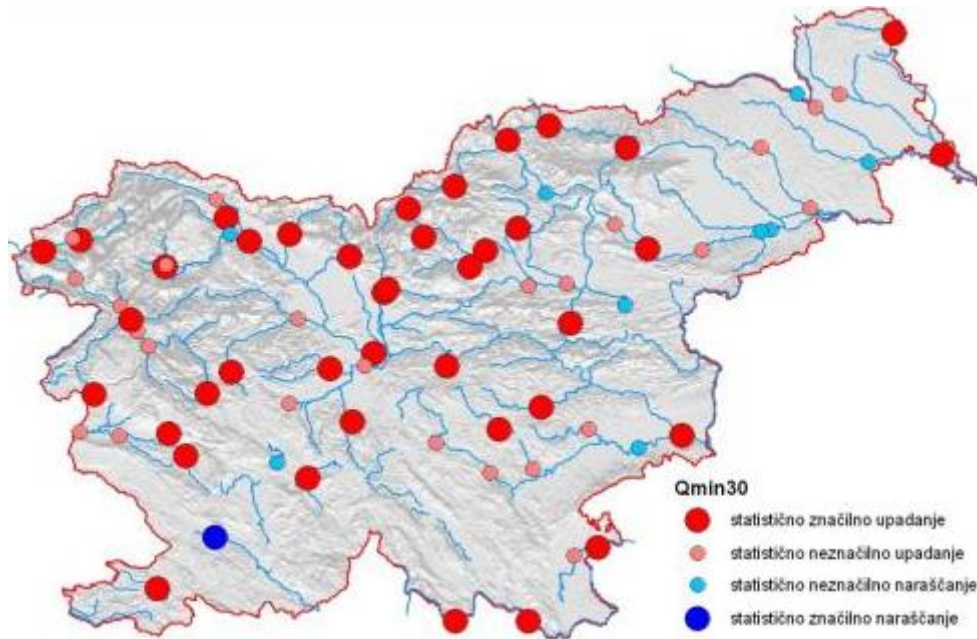


Slika 10: Trend srednjih pretokov po letnih časih za dve vodomerni postaji

3.3 Trend malih letnih pretokov

Podobno kot trend srednjih letnih pretokov je tudi trend najmanjših pretokov daljših trajanj (nad 30 dni) z izjemo vzhodne Slovenije skoraj povsod po državi upadajoč (Slika 11). Za obdobje po letu 1980 so za slovenske vodotoke značilna hidrološko suha leta (Kobold in Ulaga, 2010). Mali pretoki kažejo statistično značilno upadanje na vodomernih postajah z gorskim zaledjem. Eden od razlogov je ta, da so zime manj bogate s snegom, kar prispeva k manjšim spomladanskim pretokom in posledično daljšim sušnim obdobjem. Statistično značilen naraščajoč trend malih pretokov ima le reka Reka dolvodno od Ilirske Bistrice, kjer gre za umetni vpliv bogatenja v sušnih mesecih iz vodnih zadrževalnikov Molja in Klivnik v zaledju Reke.

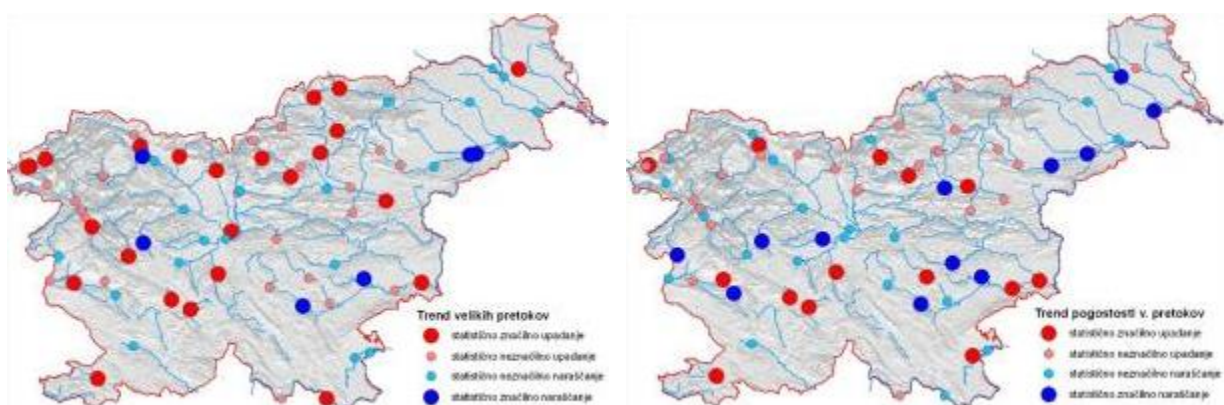
Značilnosti večjih hidroloških suš so dolgotrajna obdobja z malimi pretoki, ki lahko trajajo neprekinjeno več kot tretjino leta.



Slika 11: Trend najmanjših letnih 30-dnevnih pretokov (Qmin30)

3.4 Trend velikih pretokov

Trendi največjih letnih srednjih dnevni pretokov izkazujejo manjšo statistično značilnost kot trendi srednjih letnih pretokov (Slika 12). Statistično značilen padajoč trend imajo Ledava in Meža, pritoki Savinje, pritoki v zgornjem toku Save, Kolpa, Soča v zgornjem delu, Idrija ter kraške reke. Manj izrazit negativen trend izkazujejo Sava Bohinjka, Sava v Litiji, Vipava, pritoki Krke, Soča v srednjem delu. Ljubljana, Dravinja, Ščavnica, Pesnica pa tudi Soča v Solkanu izkazujejo rahlo naraščajoč trend največjih letnih srednjih dnevni pretokov. Statistično značilno naraščanje velikih pretokov je prisotno na Krki, v spodnjem toku Dravinje, spodnjem toku Save Bohinjke in Sore v povirnem delu.

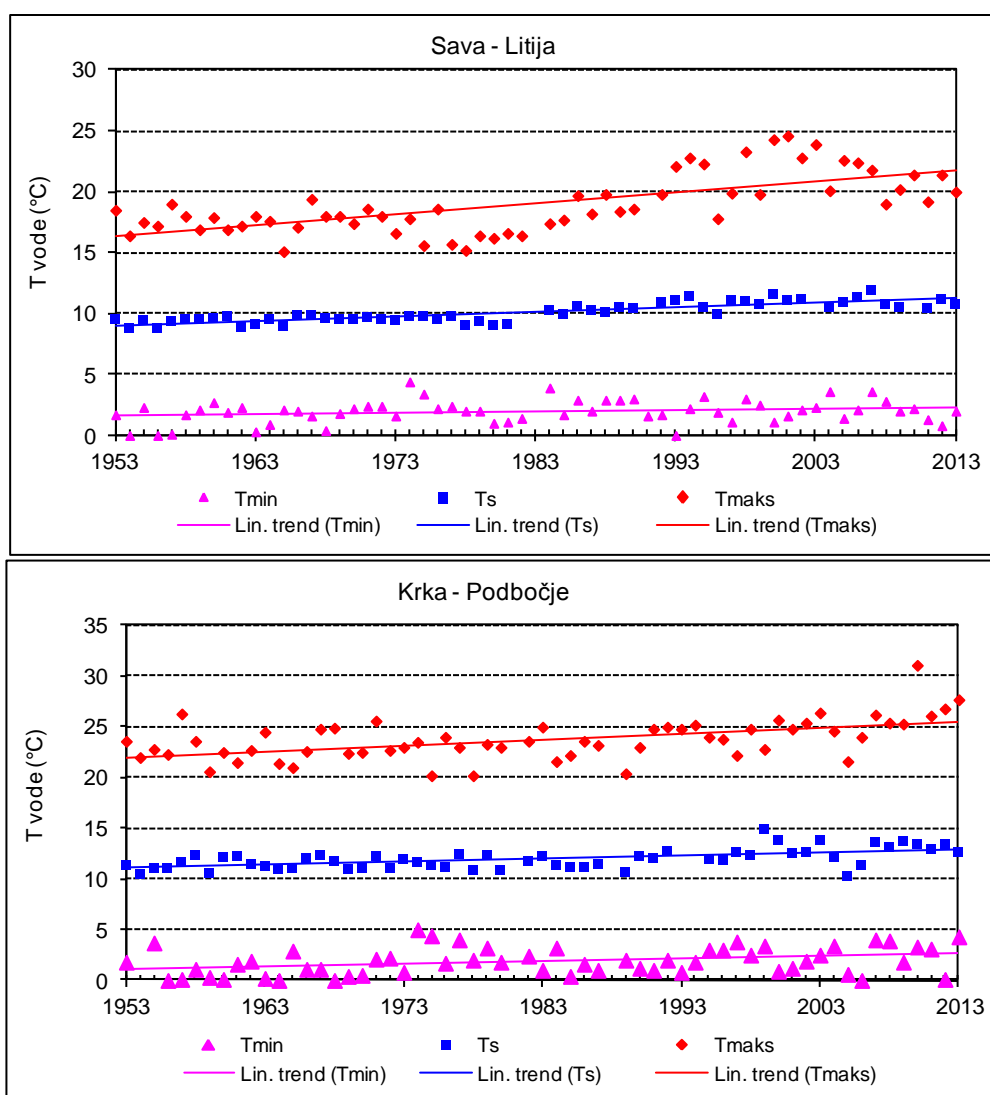


Slika 12: Trend največjih letnih pretokov (levo) in trend pogostosti visokih ekstremov v povprečju trikrat letno (desno)

Trend pogostosti visokovodnih ekstremov (v povprečju trikrat na leto) pa kaže na večanje števila visokovodnih dogodkov v osrednjem in vzhodnem delu države, kjer je marsikje trend statistično značilen (Slika 6). Upadajoči trend pojavljanja visokovodnih dogodkov je zaznan v porečju Savinje, Notranjskega krasa, na Primorskem ter deloma v severozahodni Sloveniji.

3.5 Spremenljivost temperature vode

V okviru državnega hidrološkega monitoringa spremljamo poleg osnovnih hidroloških parametrov kot sta vodostaj in pretok še temperaturo vode. Tako kot pri pretokih so tudi tu zaznane spremembe. Temperatura vode je eden od osnovnih hidroloških parametrov, saj vpliva na življenje v vodi neposredno in posredno. Neposredno vpliva na vrstno sestavo živih organizmov, znotraj katerega lahko preživijo in se razmnožujejo. Posredno temperatura vpliva na fizikalno-kemične procese v vodi, s tem pa tudi na kakovost življenjskih razmer. Sposobnost prevzemanja toplotnih obremenitev je ob višjih temperaturah vode manjša.

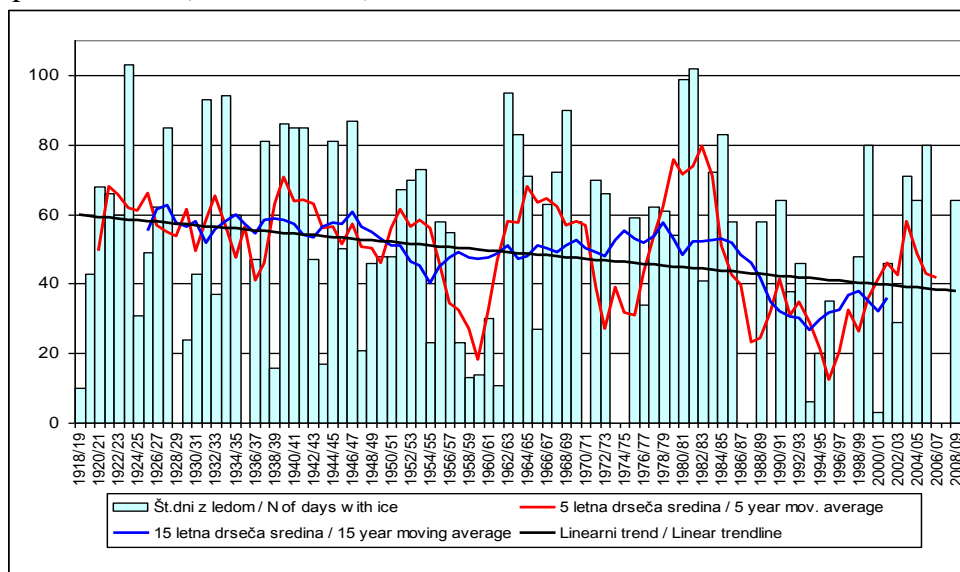


Slika 13: Najvišje (Tmaks), srednje letne (Ts) in najmanjše (Tmin) temperature vode v obdobju opazovanj (vrednosti ob sedmi uri zjutraj) na dveh vodomernih postajah

Na temperaturo vode močno vplivajo vremenski pogoji, najbolj temperatura zraka. Temperatura vode se opazno zvišuje predvsem v poletnih mesecih, podobno kot temperatura zraka. Statistična analiza trendov za vodomerni postaji Podbočje na Krki in Solkan na Soči, ki imata razmeroma dolg nepretrgan niz podatkov o temperaturi vode, kaže naraščajoči trend vseh značilnih letnih vrednosti

(srednje, najvišje in najnižje letne temperature vode). Največji dvig je zaznan pri največjih letnih vrednostih (Slika 13). V obdobju 1953–2013 znaša dvig srednje letne temperature vode 2 °C glede na obdobje 1961–1990, kar pomeni povečanje za 0,33 °C na dekada.

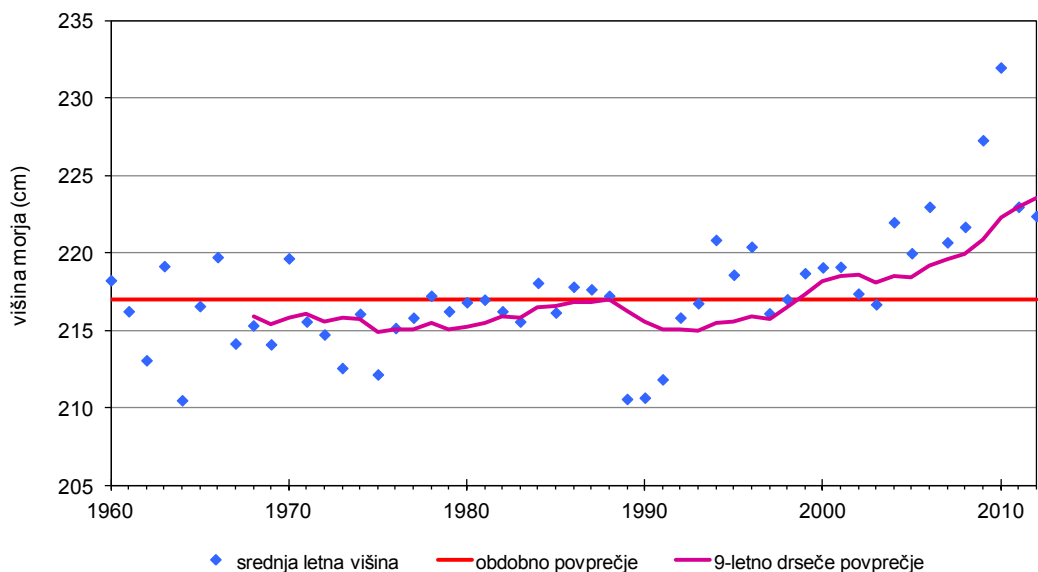
Glede na prevladujoč vpliv temperature zraka na temperaturo površinskih voda lahko v skladu z globalnimi trendi segrevanja zemeljskega ozračja pričakujemo trende segrevanja vodotokov, jezer in morja. Izrazito se kaže zmanjševanje pojava ledu na rekah in jezerih. Število dni z ledom v zimskem času je vedno manj (Slika 14). Leta brez ledu so se začela pojavljati po letu 1970, izraziteje pa po letu 1980 (Frantar, 2010).



Slika 14: Upadanje števila dni z ledom na Bohinjskem jezeru pozimi

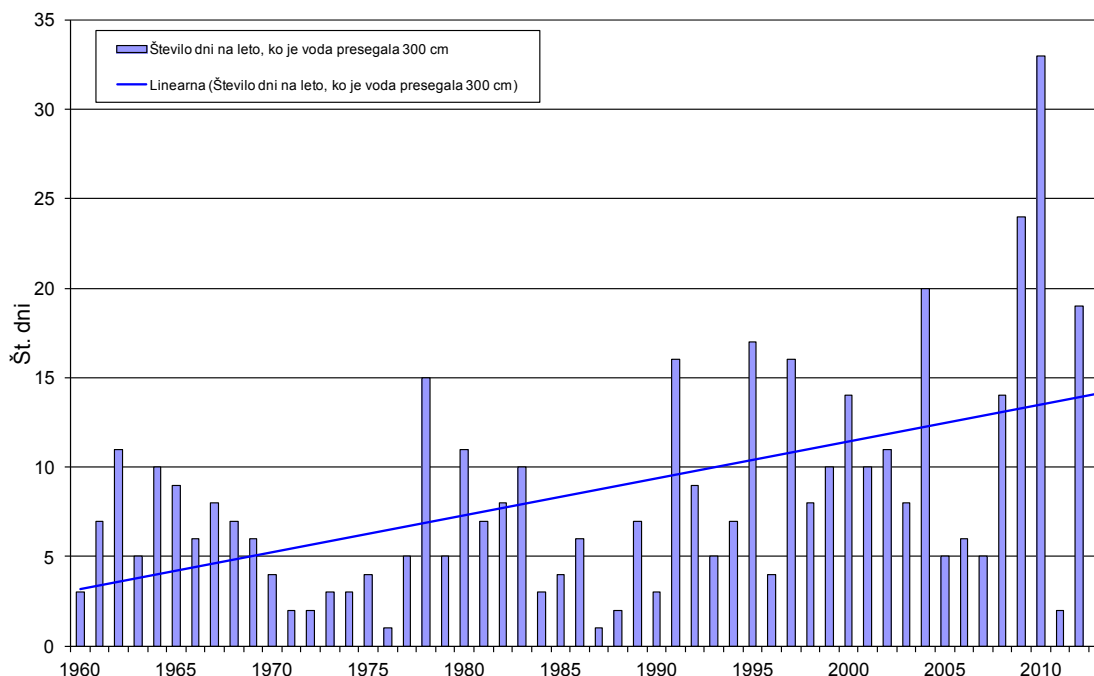
3.6 Opažene spremembe višine in temperature morja

Podnebne spremembe se odražajo tudi pri višini in temperaturi morja. Kazalec spremenljivosti povprečnih letnih višin v Koprskem zalivu, ki ga računamo za obdobje od leta 1960 naprej kaže, da se je srednja letna višina morja na slovenski obali začela občutno zviševati po letu 1990 (Slika 15). Dvig je podoben kot v Sredozemlju, 1 mm/leto.



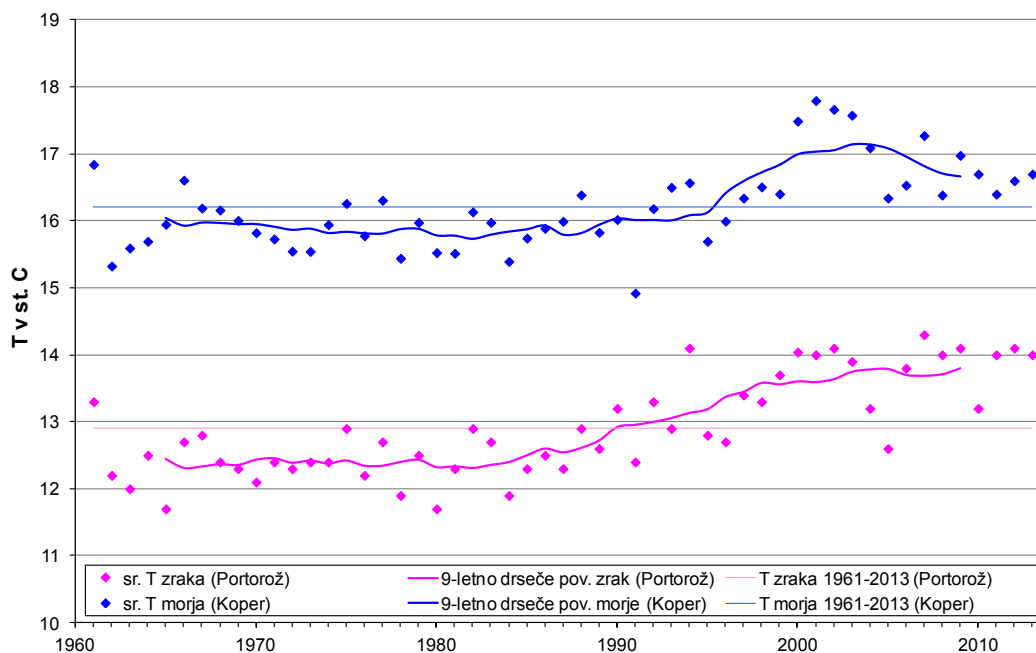
Slika 15: Srednja letna višina morja z drsečim povprečjem na mareografski postaji Koper

Vse večkrat morje tudi poplavlja. Pri tem preseže opozorilno vrednost 300 cm na mareografski postaji v Kopru. Do poplav morja prihaja večinoma v jesensko-zimskem času, občasno tudi v spomladanskih mesecih. Povprečno je opozorilna vrednost presežena osemkrat na leto, leta 2010 pa je bila presežena kar 33-krat (Slika 16). Poplave so posledica nadpovprečno visokih plim, ki jih povzročita zlasti padanje zračnega pritiska, močni južni vetrovi in pojav resonance dolgo periodičnega 23-urnega valovanja, kar je značilnost relativno zaprtega jadranskega morja.



Slika 16: Pojavljanje ekstremnih višin morja na mareografski postaji Koper

Kot pri rekah se tudi temperatura morja zvišuje. Dvig temperature morja sovpada s segrevanjem zraka (Slika 17). V obdobju 2001–2010 se je srednja letna temperatura morja dvignila za 1°C glede na obdobje 1960–2000.



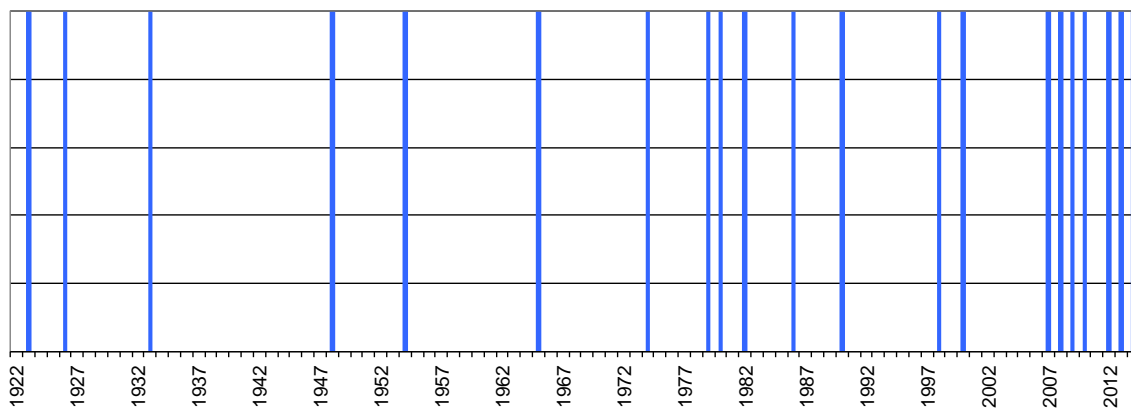
Slika 17: Srednji letni temperaturi zraka in morja z drsečim povprečjem

Predvideno zvišanje gladine morja zaradi podnebnih sprememb bo zahtevalo raznovrstno prilagajanje. Zgodnje zaznavanje trenutnih in dolgoročnih odstopanj višin morja lahko pripomore k izboljšanju napovedovanja in opozarjanja pred izjemnimi hidrološkimi pojavi na morju.

3.7 Pojavnost hidroloških ekstremov v Sloveniji

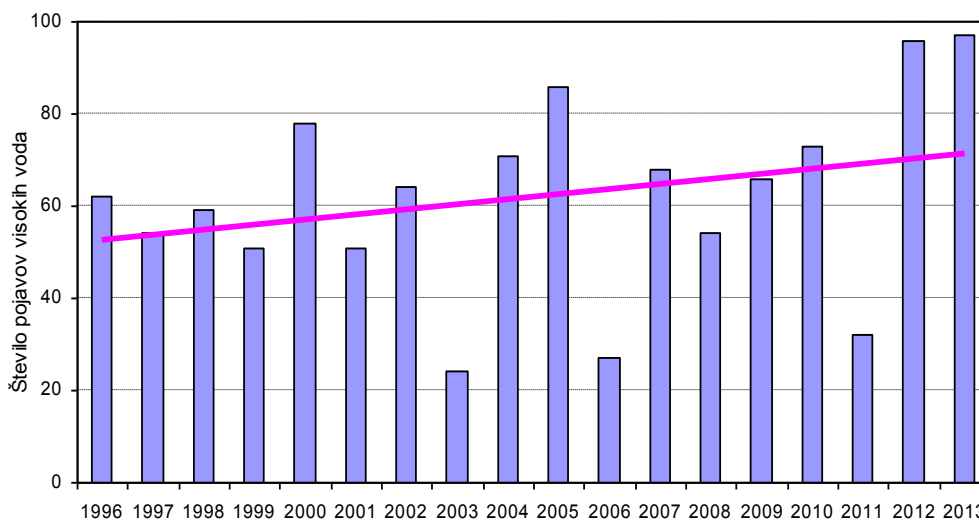
V obdobju zadnjih 35 let se je število obsežnejših poplav v Sloveniji povečalo, od leta 2007 poplave večjih razsežnosti z ogromno materialno škodo in tudi človeškimi življenji beležimo skoraj vsako leto (Slika 18). Poplave in izredne razmere v Sloveniji najpogosteje nastanejo zaradi obilnih padavin po dolgotrajnem, večdnevem zmernem deževju. Posledice dnevnih in večdnevih izjemnih padavin so poplave večjega obsega. Tudi padavine, ki padejo na snežno odejo, povzročijo njeno taljenje in velik, lahko katastrofalen površinski odtok. Velikokrat poplave povzročijo lokalno omejeni kratkotrajni in močni nalivi v sušnem obdobju. To potrjujejo izkušnje zadnjih let v Sloveniji, ki so bila v letnem povprečju skromnejša s padavinami, toda bogata z raznimi ujmami, kakor so neurja z vetrom, zemeljski plazovi in poplave.

Poplave v Sloveniji se lahko zgodijo v katerem koli mesecu leta, so pa najpogostejše v jesenskem obdobju, saj takrat ni zadrževalnega učinka vegetacije. Poplave največjih razsežnosti v Sloveniji se običajno zgodijo jeseni ob prehodu hladne fronte preko srednje Evrope ali ob prehodu sredozemskega ciklona iznad Genovskega zaliva. Najizdatnejše padavine nastanejo ob kombinaciji ciklonskih in orografskih padavin, ko lahko pade več kakor 70 mm/uro in 240 mm/dan. Poplave so najpogosteje hudourniškega tipa, saj leži Slovenija v glavnem v povirju rek. Trajajo le do nekaj ur, razen ob Dravi in Muri, kjer lahko tudi več dni. Posebnost so tudi poplave kraških rek, ki nastanejo počasi in trajajo več dni.



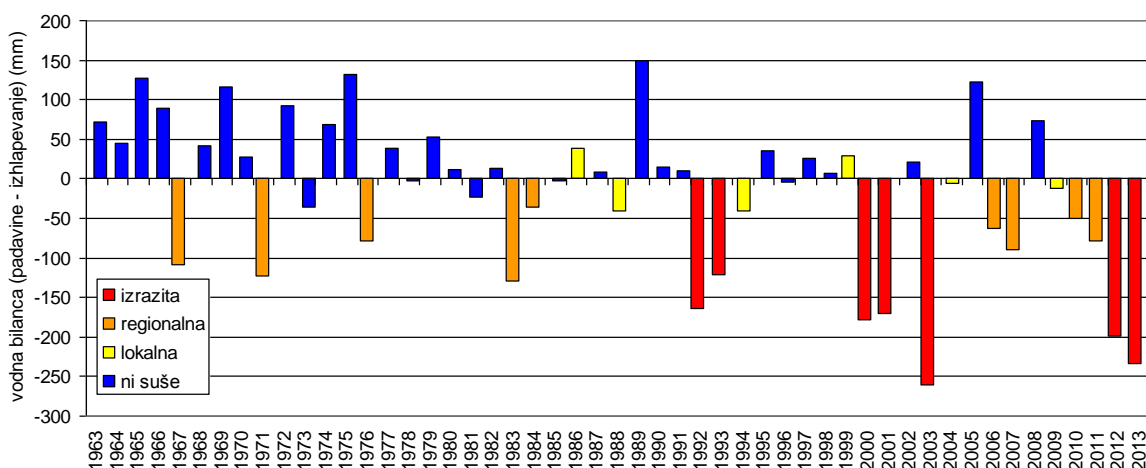
Slika 18: Leta z obsežnejšimi poplavami v Sloveniji (upoštevane so poplave s povratno dobo nad 50 let na vsaj treh porečjih)

Število pojavov visokih voda, ko pretoki slovenskih rek in gladina morja presežejo opozorilne poplavne vrednosti, narašča (Slika 19). V povprečju beležimo od leta 1996, odkar ta indeks spremljamo, preko 60 visokovodnih primerov na leto. Izrazitost pojavov visokih voda pa je vse večja in pretoki slovenskih rek se vse pogosteje približujejo ali celo presegajo rekordne vrednosti dolgoletnih opazovanj. Pri tem izstopajo predvsem manjši vodotoki hudourniškega značaja, večinoma v visokogorju in povirjih večjih rek.



Slika 19: Število pojavov visokih voda (ko pretoki presežejo opozorilne poplavne vrednosti) na slovenskih rekah

V zadnjih letih se pogosto dogaja, da se v istem letu zgodita oba ekstrema, poplave in suša, zlasti kmetijska. Primanjkljaj vode za kmetijske rastline v poletnem obdobju, od junija do konca avgusta, je v zadnjih petdesetih letih (1963–2013) povzročil kar 18-krat težave s kmetijsko sušo lokalnih (vsaj v dveh regijah), regionalnih (v 3–5 regijah) ali izrazitih nacionalnih (v 6–9 regijah) razsežnosti (Slika 20). Primanjkljaj vode se je največkrat pojavil na Primorskem in v Prekmurju ter v Podravju in na Goriškem. Velika škoda se je pojavila 12-krat po letu 1990, od tega kar 9-krat po letu 2000. Suše so v letih 2000, 2001, 2003, 2006, 2007, 2012 in 2013 dosegle razsežnosti naravne nesreče. Ocenjena neposredna škoda je presegla 0,3 promile načrtovanih prihodkov državnega proračuna, kar je potreben pogoj za pomoč v skladu z Zakonom o odpravi posledic naravnih nesreč. Značilnost kmetijskih suš je, da so pogostejše in intenzivnejše v zadnjih desetih letih. Pojavnost pa je tako časovno kot regijsko od leta do leta raznolika. Poleg najbolj ranljivih regij severovzhodne in jugozahodne Slovenije čedalje pogosteje prizadene tudi druge dele Slovenije.



Slika 20: Izrazite, regionalne in lokalne suše v devetih regijah v Sloveniji v obdobju 1963–2013 določene na osnovi povprečnega primanjkljaja vode (padavine – izhlapevanje) v poletnem obdobju (vir: Sušnik in sod., 2013)

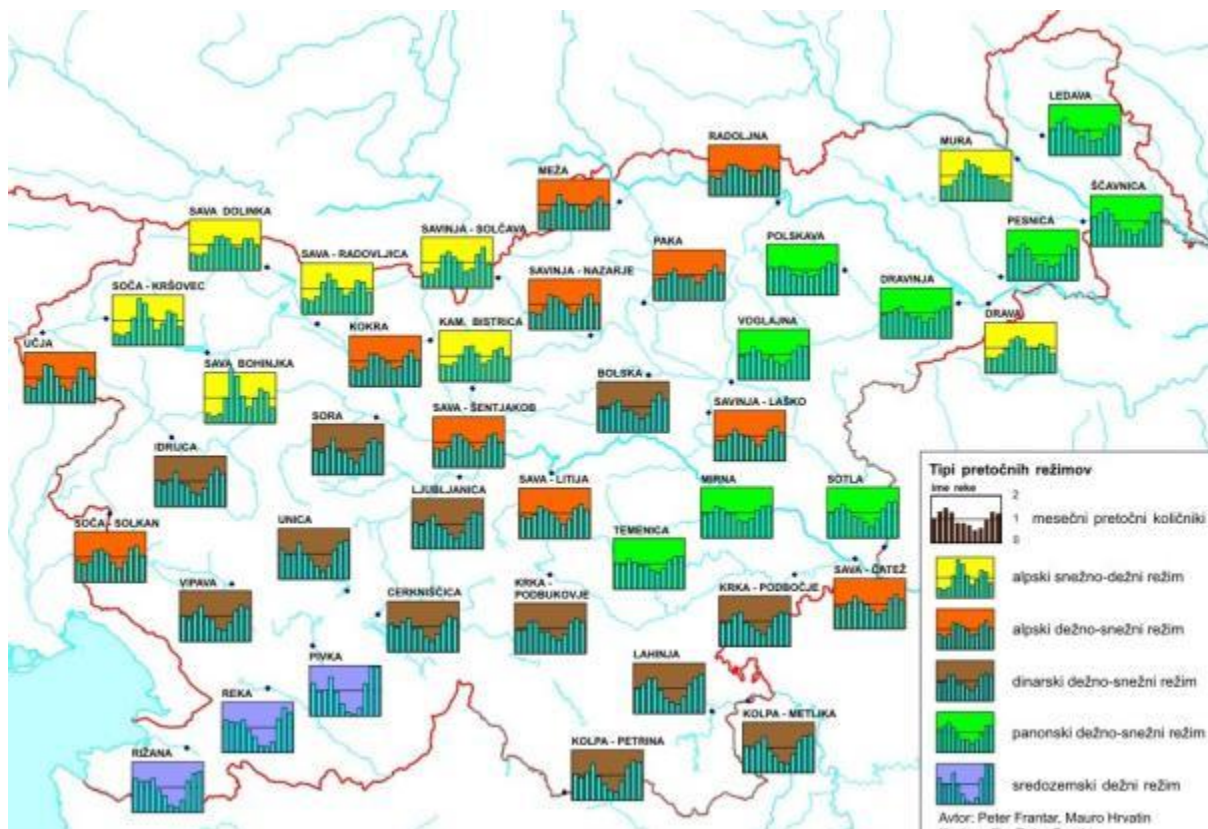
3.8 Spremembe pretočnih režimov

Pretočni režimi kažejo povprečno letno kolebanje pretoka rek in so odvisni predvsem od letne razporeditve padavin in temperatur ter od trajanja snežne odeje (Frantar et al., 2005). Spremembe v podnebnju se torej posledično odražajo na spremenjenem pretočnem režimu naših rek. Slednje pa vpliva tudi na biotop, torej na živalsko in rastlinsko življenje.

Pretočni režimi 1971-2000

V preteklih raziskavah (Frantar et al., 2005) je bilo v obdobju 1971-2000 ugotovljenih pet tipov pretočnih režimov:

- alpski snežno-dežni režim,
- alpski dežno-snežni režim,
- dinarski dežno-snežni režim,
- panonski dežno-snežni režim in
- sredozemski dežni režim.



Slika 21: Tipi pretočnih režimov v Sloveniji med letoma 1971 in 2000 (vir: Frantar et al., 2005)

Spremembe v pretočnih režimih 1961-1990 in 1971-2000

V raziskavah so bile analizirane spremembe med pretočnimi režimi med obdobjem 1961–1990 (Hrvatín, 1998) in 1971–2000. Glavne spremembe gre pripisati zviševanju temperatur zraka, spremembi v sezonski razporeditvi padavin, zmanjšanju vloge zimskega snežnega zadržka in povečani vlogi poletnega izhlapevanja. Ugotovljeno je bilo, da se razlike med posameznimi pretočnimi režimi postopoma zmanjšujejo. Pretočna kolebanja slovenskih rek so si vse bolj podobna. Posledica tega je tudi manjše število tipov pretočnih režimov pri novejši členitvi. Spremembe med obdobjema 1961–1990 (Hrvatín, 1998) in 1971–2000 (Frantar et al. 2005) so povzete v preglednici (Preglednica 1).

Preglednica 1: Primerjava tipov pretočnih režimov v obdobjih 1961–1990 in 1971–2000.

Pretočni režimi 1961–1990	Pretočni režimi 1971–2000
alpski snežni režim	alpski snežno-dežni režim
alpski visokogorski snežno-dežni režim	
alpski sredogorski snežno-dežni režim	
alpski dežno-snežni režim	alpski dežno-snežni režim
dinarsko-alpski dežno-snežni režim	dinarski dežno-snežni režim
dinarski dežno-snežni režim	
panonski dežno-snežni režim	panonski dežno-snežni režim
sredozemski dežni režim	sredozemski dežni režim

Pretočni režimi 1981-2010

V analizi pretočnih režimov 1981-2010 se potrjujejo spremembe, ki jih je nakazalo obdobje 1971-2000. Primerjava kaže, da je vpliv snežnega zadržka v primerjavi z obema prejšnjima obdobjema še manjši, odraža se tudi sprememba v sezonski padavin. Še vedno imamo 5 jasno ločenih pretočnih režimov, med katerimi so štirje medsebojno podobnejši, peti pa je jasneje drugačen od ostalih. Prav ločenost alpskega pretočnega režima od ostalih in hkrati njegova notranja razdelitev kaže na zmanjšanje vpliva snežne retinence in večji vpliv dežja. Pretočni režimi 1981-2010 kažejo, da se je povečal vpliv ti. »sredozemskosti« na eni strani in »panonskosti« na drugi strani.

Prvi rezultati kažejo, da lahko govorimo o naslednjih petih pretočnih režimih, ki so se tudi sprememb v padavinskem vzorcu in temperaturah spet nekoliko spremenili:

Preglednica 2: Pretočni režimi 1981-2010

Pretočni režimi 1981–2010
alpski pretočni režimi
dinarsko predalpski pretočni režim
vzhodno predalpski pretočni režim
panonski pretočni režim
sredozemsko dinarski pretočni režim

Pretočni režimi kot kazalec podnebnih sprememb

Raziskave pretočnih režimov na Savi, Savinji ter po posameznih vodomernih postajah (Frantar, 2003; Frantar, 2004; Frantar, 2005) so pokazale, da se je največja sprememba pri pretočnih režimih v Sloveniji začela po letu 1991.

Primerjava pretočnih režimov med letoma 1961 in 1990 ter 1971 in 2000 ter analiza pretočnih režimov 1981-2010 je pokazala, da se vplivi podnebnih sprememb vse bolj izrazito kažejo tudi pri vodovju. Posebej izstopajo naslednje podnebne razlike, ki vplivajo na pretočni režim:

- višje povprečne temperature zraka: višja temperatura zraka pomeni večje izhlapevanje, ki se poveča zlasti v rasti dobi rastlin. Količina vode v rekah se zato še dodatno zmanjšuje, saj večji delež padavinske vode porabijo (zadržijo) rastline, posledično pa se zmanjša delež odtoka vode. Izrazitejšo povečevanje poletnih temperatur še izdatneje vpliva na že tako nizke količine voda v strugah.
- spremenljiva količina padavin: sezonske spremembe v padavinskem režimu vplivajo zlasti na povečanje jesenskega odtoka, hkrati pa negativni trendi količine padavin zmanjšujejo pretoke v ostalih treh letnih časih. Povečujejo se razlike med najnižjimi in najvišjimi pretočnimi količniki.
- krajše trajanje snežne odeje v sredogorju in v nižinah pomenijo skromnejši snežni zadržek, kar pomeni manjši vpliv snega in pomladanskega taljenja na količine vode v rekah. Taljenje snega sicer še vedno pomembno prispeva k količini vode v strugi, vseeno pa se njegov delež zmanjšuje. Povečuje se vpliv dežnih padavin in s tem direktnejšega in hitrejšega odtoka padavin.

Analize kažejo, da so razlike med posameznimi pretočnimi režimi manj izrazite kot v preteklosti, zato je število tipov pretočnih režimov manjše. Pestrost sezonskih pretočnih nihanj v Sloveniji se zmanjšuje. Zmanjševanje pestrosti pretočnih režimov v Sloveniji vpliva neposredno na rečni in obrečni prostor. Zmanjševanje pomeni tudi zmanjševanje pestrosti vodnega in obvodnega ekosistema. Tudi zaradi zmanjševanja »pretočne pestrosti« se širijo manj specializirane živalske in rastlinske vrste na račun endemičnih, posebnih, lokalnih vrst.

3.9 Trendi

Trendi hidroloških spremenljivk kažejo, da se spremembe podnebja, ki vplivajo na vodno okolje, dogajajo. Rezultati analize trendov pretokov kažejo na splošno zmanjševanje vodnih količin srednjih in malih pretokov, vendar pa trendi povsod po Sloveniji niso statistično značilni. Večje razlike v trendih so za visoke vode, ki izkazujejo manjšo statistično značilnost kot trendi srednjih in malih pretokov. Statistična značilnost trendov je v veliki meri odraz pokrajinske raznolikosti Slovenije. Spremembe v pokrajini potekajo različno hitro, na kar vplivajo razni dejavniki. Pri presoji spreminjanja količin vode v izbranem porečju moramo upoštevati podnebne spremembe, vpliv evapotranspiracije, poraščenost z gozdom, količine zalog podtalne vode, spreminjanje naravnih površin v kmetijska in urbana območja. Da se je povprečna letna temperatura zraka v Sloveniji povečala in da je proces zaraščanja močno opazen, predvsem v zahodni Sloveniji, sta dejstva, ki nas opozorita na upoštevanje evapotranspiracije pri interpretaciji spreminjanja količine razpoložljive vode v naravi. Skrb za prihodnost se tako, kljub upadanju srednjih letnih pretokov rek, ne nanaša le na pomanjkanje vode, pač pa tudi na njeno kakovost in prevzemanje toplotnih obremenitev zlasti v sušnih mesecih leta. Vendar kljub pomislekom ob splošnem zmanjševanju vodnih zalog stanje ni zaskrbljujoče, saj je Slovenija bogata z vodnimi viri, ukrepi prilagoditev na spremembe pa morajo biti ustrezno prilagojeni hidrološkim lastnostim porečij.

Glede na rezultate analiz lahko tudi v prihodnje pričakujemo daljša sušna obdobja ter krajša in krajevno razporejena obdobja intenzivnih padavin. Vpliv predvidenih podnebnih sprememb (to je nadaljnja rast temperature zraka in večja intenziteta padavin) se bo odražal v večji poplavni ogroženosti in delovanju erozijskih sil, nižanju srednjih in malih pretokov ter ravni podtalnice, težavah pri preskrbi z vodo, predvsem v Primorju in severovzhodnem delu Slovenije. Podnebne spremembe bodo vplivale na gospodarstvo, še posebej na kmetijstvo, energetiko, promet, turizem in zdravstvo. Vplivi se bodo razlikovali po regijah, najbolj občutljiva bodo priobalna in gorska območja ter poplavne ravnice.

4 Podnebne spremembe in sprememba odtoka v Sloveniji

4.1 Predvidene spremembe podnebja do sredine 21. stoletja

Podnebni scenariji

Zaradi številnih nepredvidljivih dejavnikov, ki določajo razvoj podnebja v prihodnosti, ne moremo narediti natančnih napovedi, kakšno podnebje nas čaka. Pripravljamo scenarije, ki ob danih predpostavkah razvoja (antropogenih) dejavnikov, kažejo kakšni bodo trendi podnebnih spremenljivk v prihodnosti.

Scenarije za temperaturo in padavine smo povzeli po izračunih regionalnih podnebnih modelov, ki so jih poganjali za območje Evrope v okviru projekta ENSEMBLES. Za pripravo scenarijev za Slovenijo smo vzeli vse modelske izračune, ki so pokrili Slovenijo. Za vsako spremenljivko smo analizirali razpon vrednosti, ki jih dobimo z vsemi modelskimi izračuni. Tako dobimo verjetnost za spremembo posamezne spremenljivke in ocenimo interval, znotraj katerega lahko pričakujemo spremembe podnebne spremenljivke. Tako za padavine kot za temperaturo (in posredno tudi za potencialno evapotranspiracijo) smo interval pričakovanih sprememb ocenili s 25. in 75. percentilom vseh modelskih izračunov. Z mediano vseh modelskih izračunov pa smo podali najbolj verjetne spremembe.

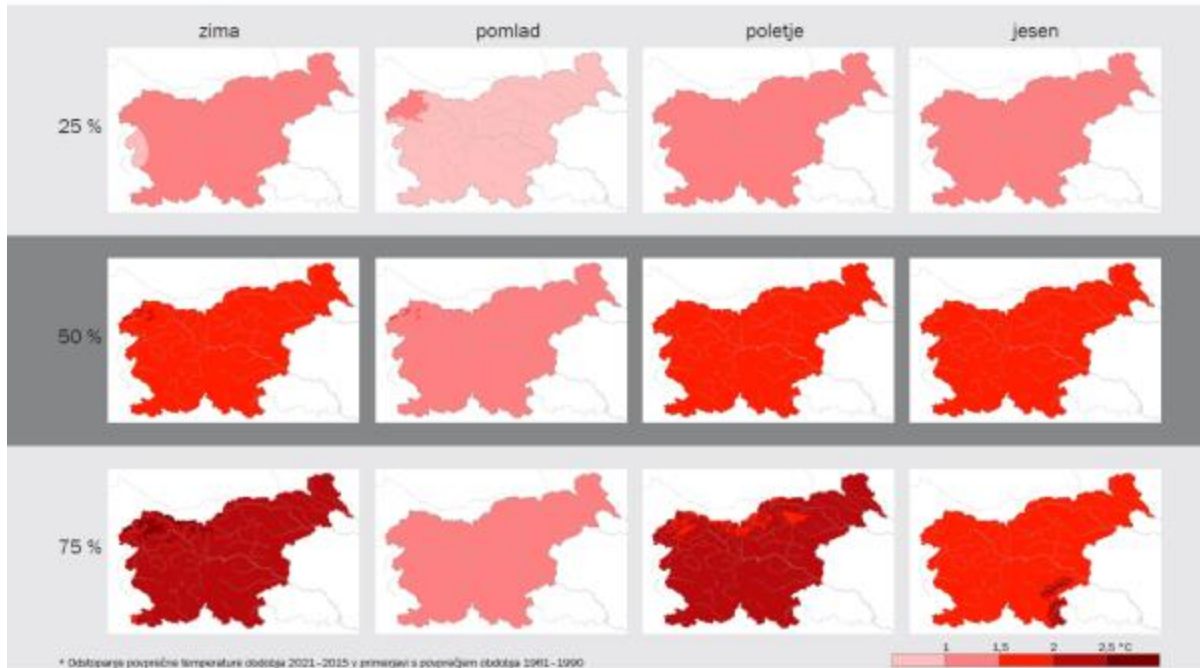
V projektu ENSEMBLES je bil uporabljen IPCC 2007 scenarij izpustov toplogrednih plinov (IPCC SRES) in sicer **A1B scenarij**. Ta scenarij predstavlja srednjo pot med najbolj črnogledimi in najbolj optimističnimi scenariji gospodarsko-ekonomskih in družbenih sprememb v prihodnosti. Predvideva hitro gospodarsko rast v prihodnosti, porast prebivalstva do sredine 21. stoletja in nato postopno upadanje prebivalstva ter izkoriščanje tako fosilnih goriv kot tudi obnovljivih virov energije. Spremembe do sredine 21. stoletja smo obravnavali kot odstopanja tridesetletnega povprečja spremenljivk v obdobju 2021–2050 od referenčnega obdobja 1961–1990.

Predvidene spremembe temperature v obdobju 2021–2050

Kot je razvidno iz preteklih meritev ni nobenega dvoma, da se temperatura zraka v Sloveniji dviga. Podobno velja tudi za prihodnost. Vsi modeli predvidevajo znaten porast temperature zraka v Sloveniji v vseh letnih časih. Od modela do modela se razlikuje le stopnja ogrevanja. Po srednje pesimističnem scenariju A1B so bo do sredine stoletja temperatura v Sloveniji dvignila:

- Pozimi od 1–2,5 °C
- Pomladi od 0,5–1,5 °C
- Poleti od 1–2,5 °C
- Jeseni od 1–2 °C

Sprememba temperature 2021–2050*



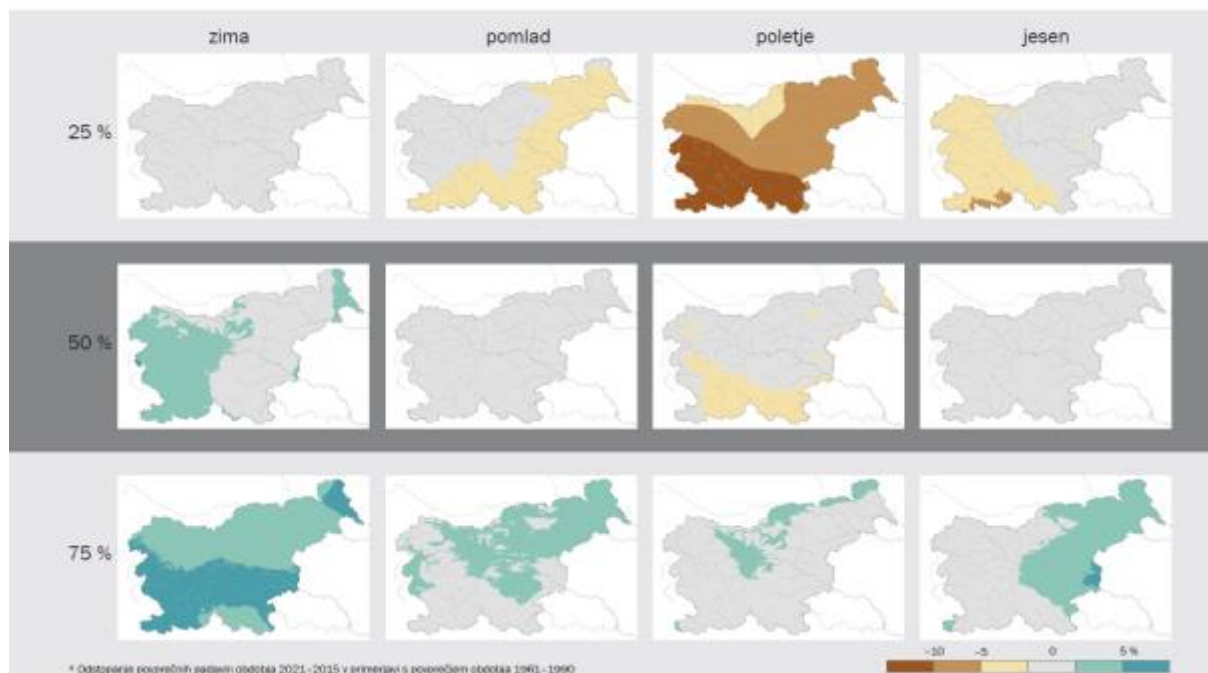
Slika 22: Predvidene spremembe temperature zraka obdobja 2021–2050 v primerjavi z referenčnim obdobjem 1961–1990 po letnih časih. Podana je spodnja meja (25. percentil), mediana in zgornja meja (75. percentil) modelskih rezultatov.

Predvidene spremembe padavin v obdobju 2021–2050

Zaradi velike naravne spremenljivosti padavin so predvidene bodoče spremembe padavin manj zanesljive kot spremembe temperature. Po srednje pesimističnem scenariju A1B za padavine do sredine stoletja lahko pričakujemo:

- Pozimi je velika verjetnost, da se bo količina padavin vsaj v zahodnem delu države povečala
- Pomladi večjih sprememb padavin ne pričakujemo
- Poleti je velika verjetnost, da se bo količina padavin vsaj v južnem delu države zmanjšala
- Jeseni večjih sprememb padavin ne pričakujemo

Sprememba padavin 2021–2050*



Slika 23: Predvidene spremembe padavin obdobja 2021–2050 v primerjavi z referenčnim obdobjem 1961–1990 po letnih časih. Podana je spodnja meja (25. percentil), mediana in zgornja meja (75. percentil) modelskih rezultatov.

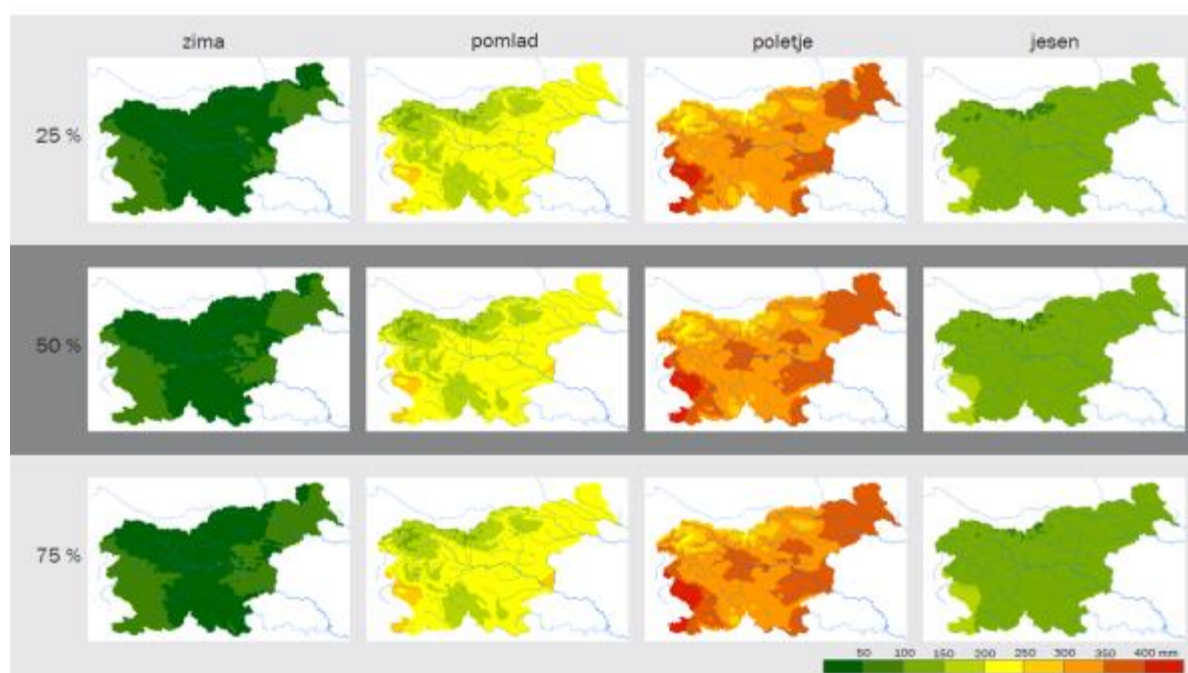
Predvidene spremembe evapotranspiracije v obdobju 2021–2050

Sprememba evapotranspiracije je bila ocenjena le z nekaterimi modeli, večina pa te spremenljivke ne računa. Zato smo spremembe potencialne evapotranspiracije ocenili na podlagi analize občutljivosti izračunane evapotranspiracije na spremembe temperature.

Po srednje pesimističnem scenariju A1B lahko torej pričakujemo povečanje potencialne evapotranspiracije:

- Pozimi od 4–10%
- Pomladi od 1–5%
- Poleti od 3–6%
- Jeseni od 3–7%

Potencialna evapotranspiracija 2021–2050



Slika 24: Predvidena povprečna potencialna evapotranspiracija obdobja 2021–2050 po letnih časih. Podana je spodnja meja (25. percentil), mediana in zgornja meja (75. percentil) modelskih ocen.

4.2 Vpliv podnebnih sprememb na odtok

Vpliv podnebnih sprememb na odtok smo poskusili oceniti na osnovi dveh analiz:

1. S pomočjo bilančnega modela GROWA smo ocenili povprečni letni odklon v obdobju 2021-50. Rezultati modela so umerjeni, žal pa le na povprečnem letnem nivoju.
2. Z informativnim bilančnim izračunom. Zaradi velikih sezonskih razlik smo s to analizo poskušali oceniti spremembo odtoka po letnih časih preko korigiranih padavin in potencialne evapotranspiracije. Informativni izračun je lahko zgolj groba ocena bodočih trendov odtoka.

5 Analiza vpliva podnebnih sprememb z bilančnim modelom GROWA

5.1 Analiza vpliva podnebnih sprememb na skupni odtok z bilančnim modelom GROWA

Regionalni vodnobilančni model GROWA (Mikulič & Andjelov, 2000; Andjelov in sod., 2013; Tetzlaff in sod., 2015; Andjelov in sod., 2016) omogoča izračunavanje elementov vodne bilance na letnem ali obdobjnem nivoju tudi z uporabo podnebnih scenarijev.

Glavna ugotovitev analize podnebnega scenarija spremembe skupnega odtoka v obdobju 2021-50 in primerjava rezultatov z odtokom po modelu v obdobju 1971-2000 je:

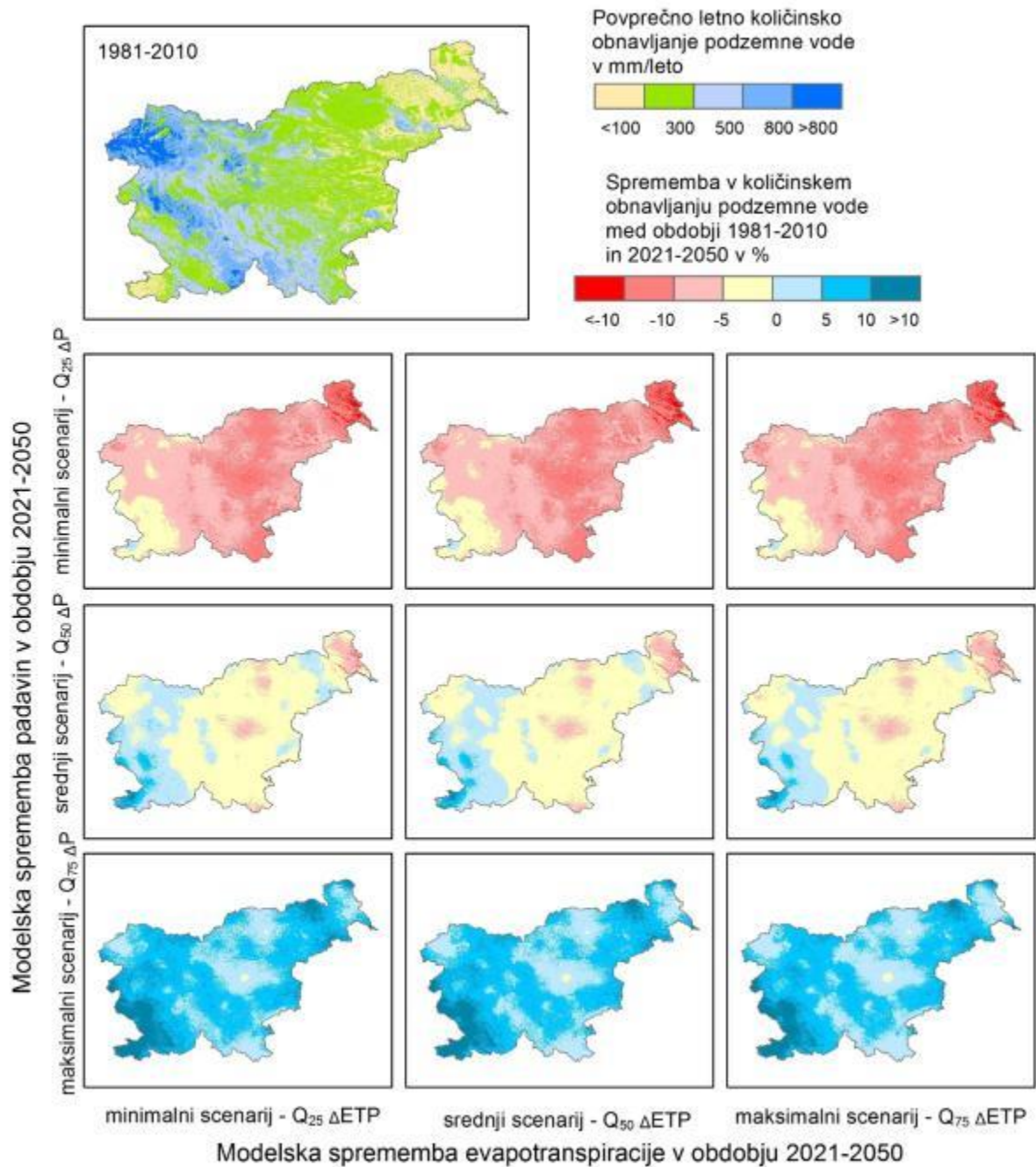
- pričakovan povprečni skupni odtok v obdobju 2021-50 bo glede na obdobje 1971-2000 manjši v povprečju za -4 %, razpon scenarijev pa dopušča zmanjšanje za -12 % ali rahlo povečanje za + 3 %;
- pričakovan povprečni skupni odtok v obdobju 2021-50 bo glede na obdobje 1981-2010 manjši v povprečju za -1 %, razpon scenarijev pa dopušča zmanjšanje za -8 % ali rahlo povečanje za +7 %.

Preglednica 3: Skupni odtok Slovenija za obdobje 2021-2050 v mm/leto

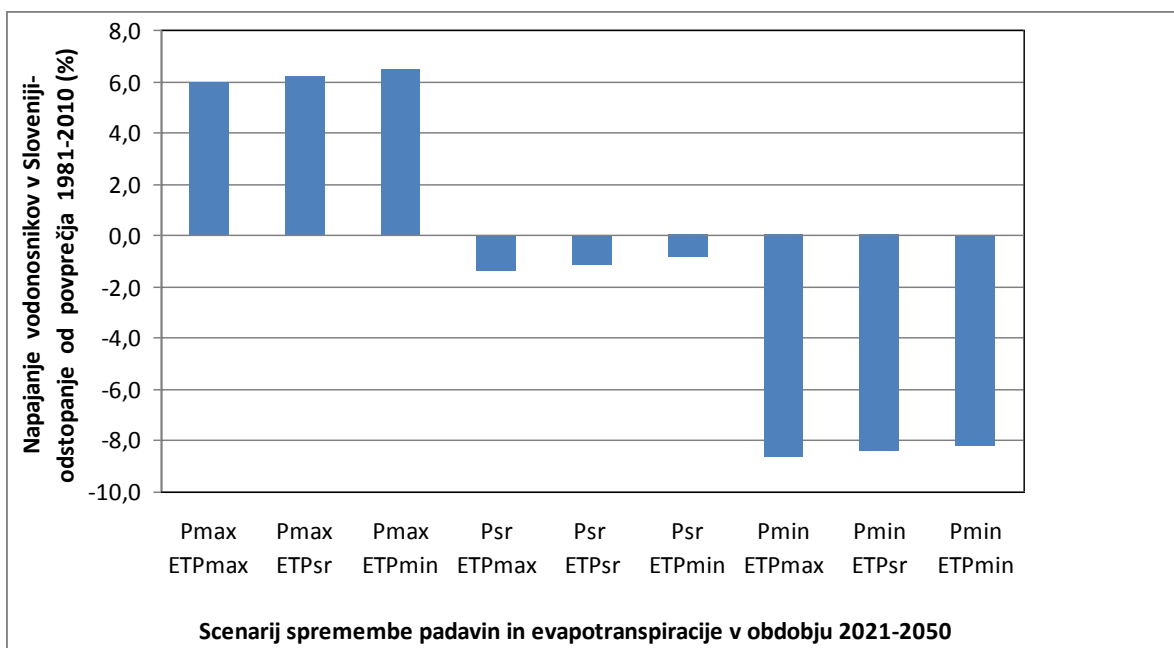
	Etp-min scenarij	Etp-sr. scenarij	Etp-max scenarij
P-min scenarij	797,8	795,8	793,8
P-sr. scenarij	860,8	858,7	856,6
P-max scenarij	924,3	921,9	919,8

- Skupni odtok dolgoletno povprečje 1971-2000 – 897,7 mm/leto
- Skupni odtok dolgoletno povprečje 1981-2010 - 867,3 mm/leto

5.2 Analiza vpliva podnebnih sprememb na podzemni odtok z bilančnim modelom GROWA



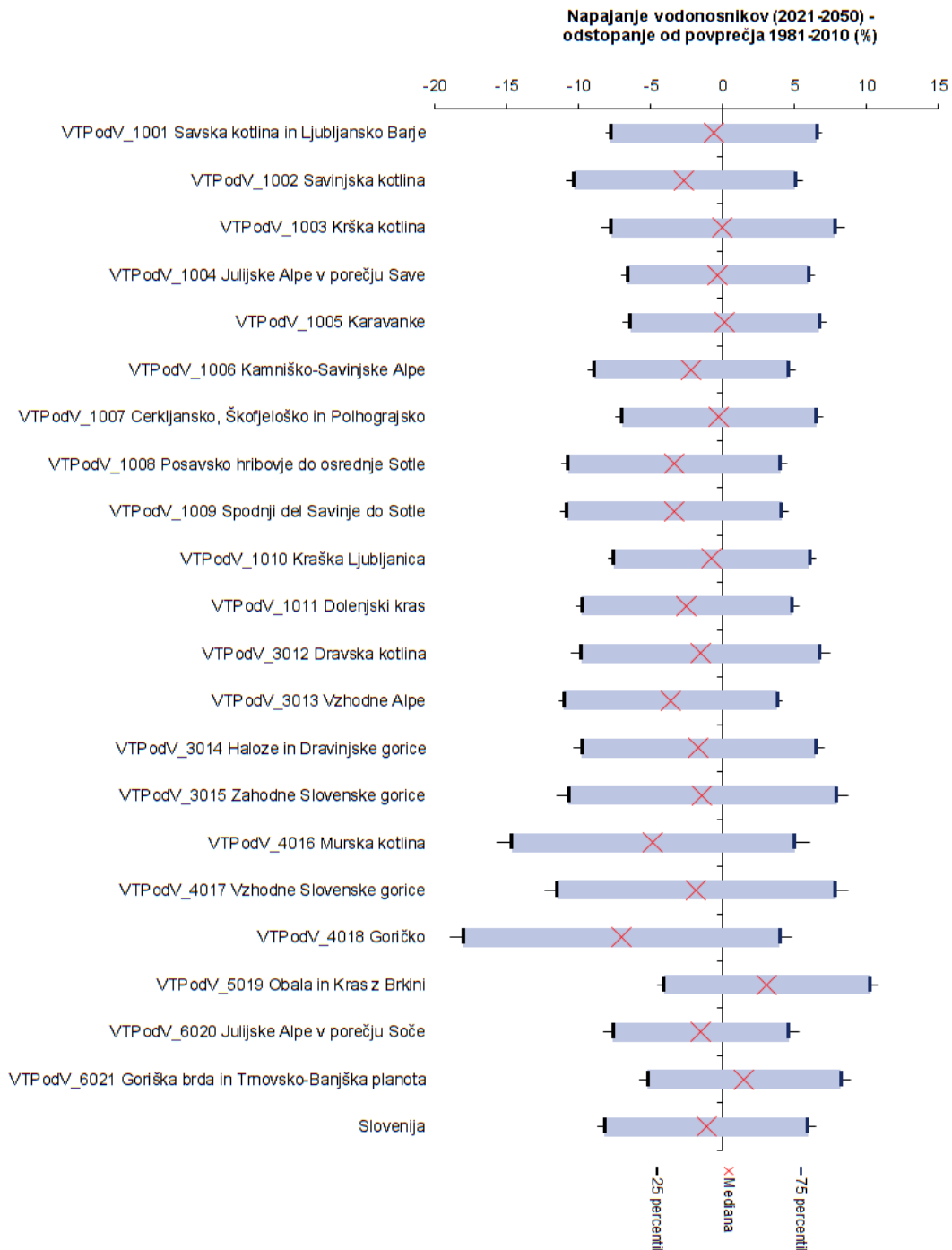
Slika 25: Predvidena sprememba v količinskem obnavljanju podzemne vode v obdobju 2021-50 glede na obdobje 1981-2010 ocenjena iz kombinacije dveh meteoroloških spremenljivk podnebnega scenarija za obdobje 2021-2050 z vodno bilančnim modelom GROWA-SI (Andjelov in sod., 2014).



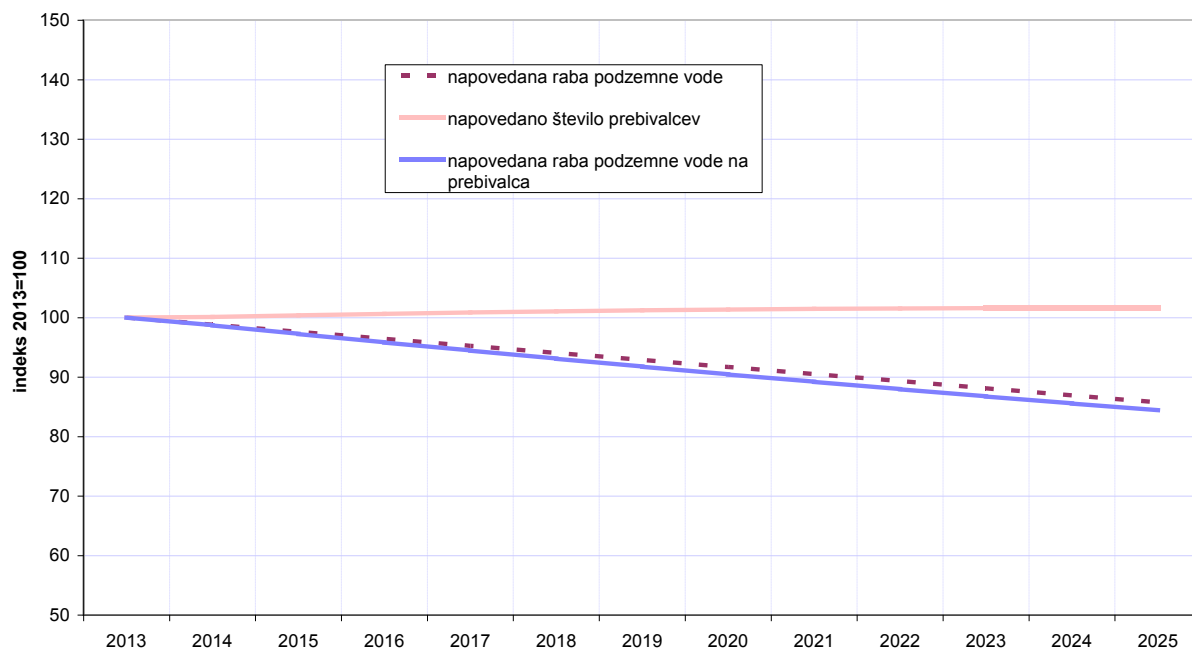
Slika 26: Predvidena sprememba v napajanju plitvih vodonosnikov v Sloveniji po devetih kombinacijah dveh meteoroloških spremenljivk podnebnega scenarija za obdobje 2021-2050.

Preglednica 4: Statistična analiza sprememb v napajanju plitvih vodonosnikov po posameznih vodnih telesih podzemne vode za obdobje 2021-2050 (v %).

Vodno telo podzemne vode	Min	25 percentil	Mediana	75 percentil	Max
VTPodV_1001 Savska kotlina in Ljubljansko Barje	-8.1	-7.8	-0.6	6.6	6.9
VTPodV_1002 Savinjska kotlina	-10.9	-10.4	-2.7	5.0	5.6
VTPodV_1003 Krška kotlina	-8.4	-7.7	0.0	7.8	8.5
VTPodV_1004 Julijske Alpe v porečju Save	-7.0	-6.6	-0.3	6.0	6.4
VTPodV_1005 Karavanke	-6.9	-6.4	0.1	6.7	7.2
VTPodV_1006 Kamniško-Savinjske Alpe	-9.4	-8.9	-2.2	4.6	5.1
VTPodV_1007 Cerkljansko, Škofjeloško in Polhograjsko	-7.4	-7.0	-0.3	6.5	7.0
VTPodV_1008 Posavsko hribovje do osrednje Sotle	-11.2	-10.7	-3.4	4.0	4.5
VTPodV_1009 Spodnji del Savinje do Sotle	-11.3	-10.9	-3.4	4.1	4.6
VTPodV_1010 Kraška Ljubljana	-7.9	-7.6	-0.8	6.1	6.5
VTPodV_1011 Dolenjski kras	-10.2	-9.8	-2.5	4.8	5.3
VTPodV_3012 Dravska kotlina	-10.5	-9.8	-1.5	6.8	7.5
VTPodV_3013 Vzhodne Alpe	-11.3	-11.0	-3.6	3.8	4.2
VTPodV_3014 Haloze in Dravinjske gorice	-10.4	-9.8	-1.7	6.5	7.0
VTPodV_3015 Zahodne Slovenske gorice	-11.5	-10.7	-1.4	7.9	8.7
VTPodV_4016 Murska kotlina	-15.7	-14.7	-4.8	5.0	6.1
VTPodV_4017 Vzhodne Slovenske gorice	-12.4	-11.5	-1.8	7.8	8.7
VTPodV_4018 Goričko	-18.9	-18.1	-7.0	4.0	4.9
VTPodV_5019 Obala in Kras z Brkini	-4.6	-4.1	3.1	10.3	10.8
VTPodV_6020 Julijske Alpe v porečju Soče	-8.2	-7.6	-1.5	4.6	5.3
VTPodV_6021 Goriška brda in Trnovsko-Banjška planota	-5.8	-5.2	1.5	8.2	8.9
Slovenija	-8.7	-8.2	-1.1	5.9	6.5



Slika 27: Predvidena sprememba v napajanju plitvih vodonosnikov za obdobje 2021-2050 po posameznih vodnih telesih podzemne vode po devetih kombinacijah dveh meteoroloških spremenljivk podnebnega scenarija.



Slika 28: Razvoj prebivalstva, skupne rabe podzemne vode in rabe podzemne vode na prebivalca od 2013 do 2025.

Na podlagi rezultatov vodnobilančnega modeliranja GROWA-SI po različnih kombinacijah podnebne scenarija predvidevamo, da se bodo povprečne letne obnovljive količine podzemne vode, glede na dolgoletno povprečje 1981-2010 v prihodnjem obdobju 2021-2050 na območju celotne Slovenije spremenile v razponu od -8,7 do +6,5 %, povprečno za okoli -1 % .

Glede na napovedano rast prebivalstva v Sloveniji (EUROSTAT 2015) in ekstrapolacijo trenda rabe podzemne vode (vodna povračila ARSO 2015), ki predvideva upad odvzema količin podzemne vode za preko 10% do leta 2025, zato v prihodnje ne pričakujemo večjih težav pri preskrbi s podzemno vodo zaradi podnebnih sprememb.

6 Informativni izračun vpliva podnebnih sprememb na sezonske spremembe odtoka vodotokov

Informativni izračun vodne bilance je razmerje med padavinami na eni strani ter izhlapevanjem in odtokom na drugi strani. Padavine so bile izračunane na osnovi podnebnih scenarijev, prav tako tudi izhlapevanje. V informativnem izračunu sta uporabljena naslednja dva podatka:

- padavine (P)
- potencialno izhlapevanje (ETP - potencialna evapotranspiracija)

Pri izračunu se je potrebno obvezno zavedati, da podatki o realnem izhlapevanju (ETR) niso na voljo, zato je uporabljen podatek potencialno izhlapevanje (ETP). Odtok (Q) je pridobljen na osnovi odštevanja padavine (P) minus izhlapevanje (ETP): $Q = P - ETP$. Nadaljnja pomanjkljivost informativnega izračuna je zadrževanje vode, ki v sezonskem izračunu ni upoštevana. Snežni zadržek pozimi namreč odteče večinoma pomladi, zato je odtok pozimi majhen in spomladi večji, na kar kažejo tudi pretočni režimi.

Izračun odtoka je izveden za srednji scenarij ter za oba robna scenarija, po izračunu uporabljenih podatkov kot je prikazano v spodnji tabeli (Preglednica 5):

Preglednica 5: Scenariji odtoka

	ETP25	ETP50	ETP75
P25			minimalni scenarij odtoka
P50		srednji scenarij odtoka	
P75	maksimalni scenarij odtoka		

Scenariji so bili izdelani za vse letne čase in za leto.

Minimalni scenarij odtoka predvideva spodnji del predvidene količine padavin (25. percentil scenarija) ter zgornji rob količine izhlapevanja (75. percentil scenarija). V tem scenariju se odtok zmanjša, poveča se »sušnost«.

Srednji scenarij odtoka predvideva srednji del predvidene količine padavin (50. percentil scenarija) ter srednji del količine izhlapevanja (50. percentil scenarija). To je povprečen scenarij, ki naj bi bil najverjetnejši.

Maksimalni scenarij odtoka predvideva zgornji del predvidene količine padavin (75. percentil scenarija) ter spodnji del količine izhlapevanja (25. percentil scenarija). V tem scenariju se odtok poveča, poveča se »vodnatost«.

6.1 Rezultati informativnega izračuna sezonske spremembe odtoka

Slovenija

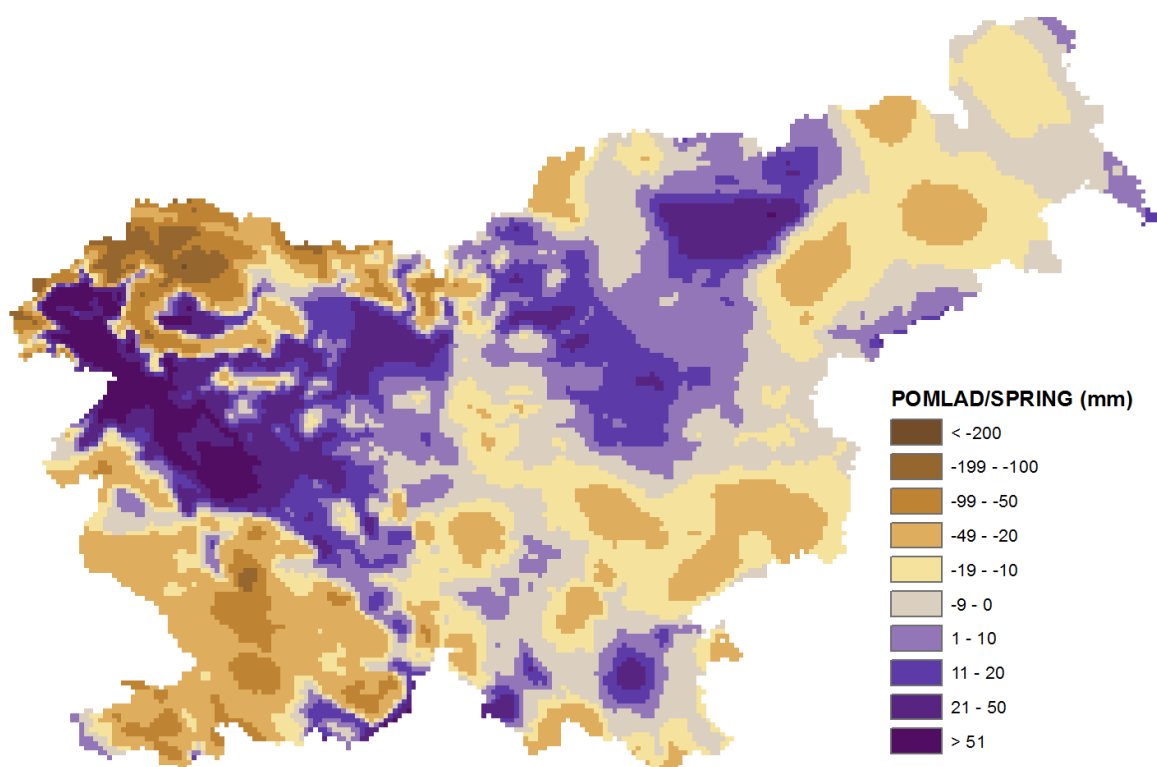
1. **Letni nivo.** Po informativnem izračunu se bo v Sloveniji količina odtoka na letnem nivoju zmanjšala za -12%, oba robna scenarija pa nakazujeta, da je možen razpon zmanjšanja med -5% in -26%. Informativna analiza kaže na veliko možnost, da se količina odtoka na letnem nivoju zmanjša.
2. **Pomlad.** Količina odtoka pomladi bo v Sloveniji najverjetneje ostala na podobnem nivoju ali pa se nekoliko zmanjšala. Scenarij sicer daje rezultat zmanjšanja do -21% oz. celo rahlo povečanje za +2 % s srednjo vrednostjo zmanjšanja količine odtoka za -5%. Glede na velik vpliv snežnega zadržka in pričakovano segrevanje po strokovni presoji pričakujemo torej zmanjšanje pomladanskega odtoka v primerjavi z referenčnim obdobjem.
3. **Poletje.** Pretoki poleti se bodo zmanjšali. Na nivoju države je zmanjšanje možno med -77% in -7% s povprečjem zmanjšanja za -41%. Pričakujemo lahko torej, da se bo poletni odtok močno zmanjšal, negotovost pa je glede na velik odklon zelo velika.
4. **Jesen.** Jesenski odtok ima po scenarijih podnebnih sprememb zmanjšanje med -11% in -23% s srednjim scenarijem za -15%. Glede na vse te scenarije se bo jesenski odtok zmanjšal.
5. **Zima.** Zimski odtoki naj bi bili po srednjem scenariju enaki referenčnemu obdobju z možnim rahlim povečanjem za +1% ali zmanjšanjem do 10%. Glede na to, da snežni zadržek ni upoštevan, predvidevamo zaradi segrevanja večjo verjetnost povečanja odtoka v primerjavi z obdobjem.

Podonavje

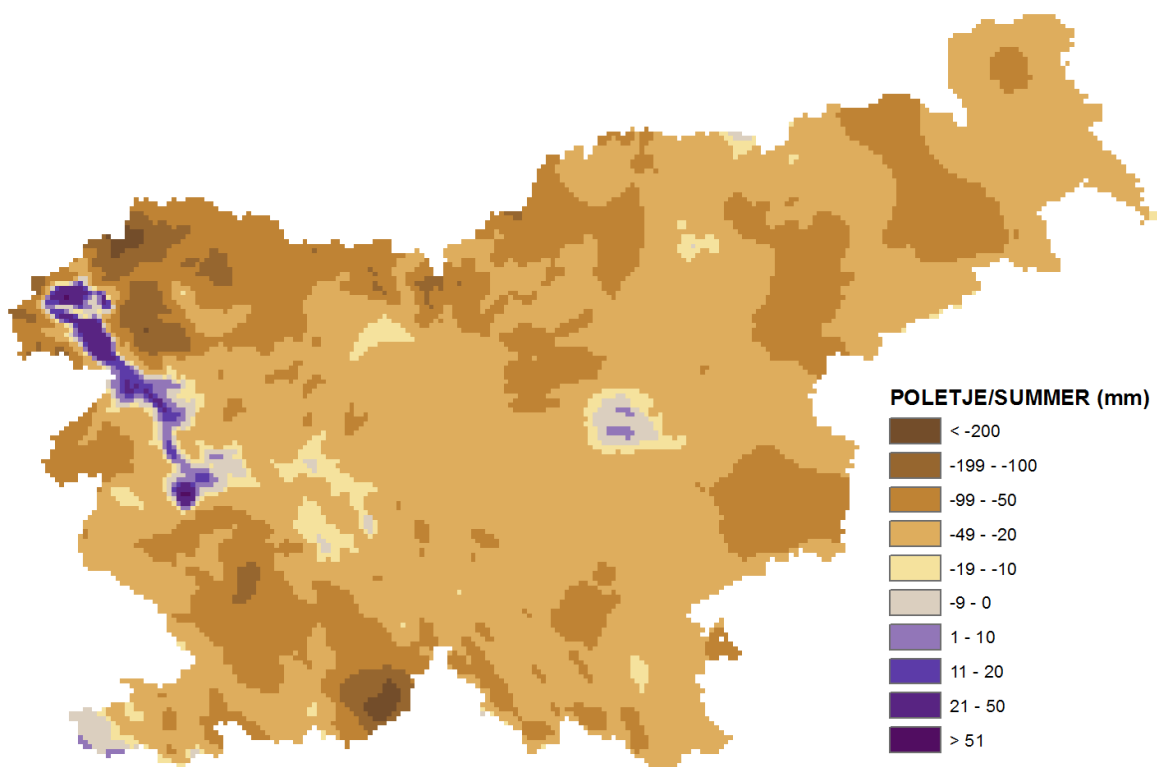
1. **Letni nivo.** Po informativnem izračunu bo v slovenskem delu Podonavja (Povodje Črnega morja) količina odtoka na letnem nivoju zmanjšala za -14%, oba robna scenarija pa nakazujeta, da je možen razpon zmanjšanja med -5% in -28%. Izračun kaže, da naj bi se količine odtoka se na letnem nivoju zmanjšale.
2. **Pomlad.** Količina odtoka pomladi se bo v Podonavju najverjetneje zmanjšala. Scenarij daje rezultat zmanjšanja do -6% z variacijo med +3% ter -25%. Glede na vpliv snežnega zadržka in pričakovano segrevanje po strokovni presoji pričakujemo manj odtoka snežnega zadržka kot v referenčnem obdobju in tudi večje realno izhlapevanje. Torej je verjetnejše zmanjšanje pomladanskega odtoka v primerjavi z referenčnim obdobjem.
3. **Poletje.** Pretoki poleti se bodo zmanjšali. V porečju Donave je zmanjšanje možno med -7% in -79% s povprečjem zmanjšanja za -43%. Pričakujemo lahko torej, da se bo poletni odtok močno zmanjšal, negotovost pa je glede na velik odklon zelo velika. Verjetnost suš bo večja.
4. **Jesen.** Jesenski odtok ima po scenarijih podnebnih sprememb zmanjšanje med -11% in -24% s srednjim scenarijem za -16%. Glede na vse te scenarije se bo jesenski odtok zmanjšal.
5. **Zima.** Zimski odtoki naj bi bili po srednjem scenariju rahlo nižji kot v referenčnem obdobju: med -1% in -11% s povprečjem na -2%. Glede na to, da snežni zadržek ni upoštevan, zaradi segrevanja predvidevamo večjo verjetnost povečanja odtoka v primerjavi z obdobjem.

Geografski pregled srednjega scenarija odtoka

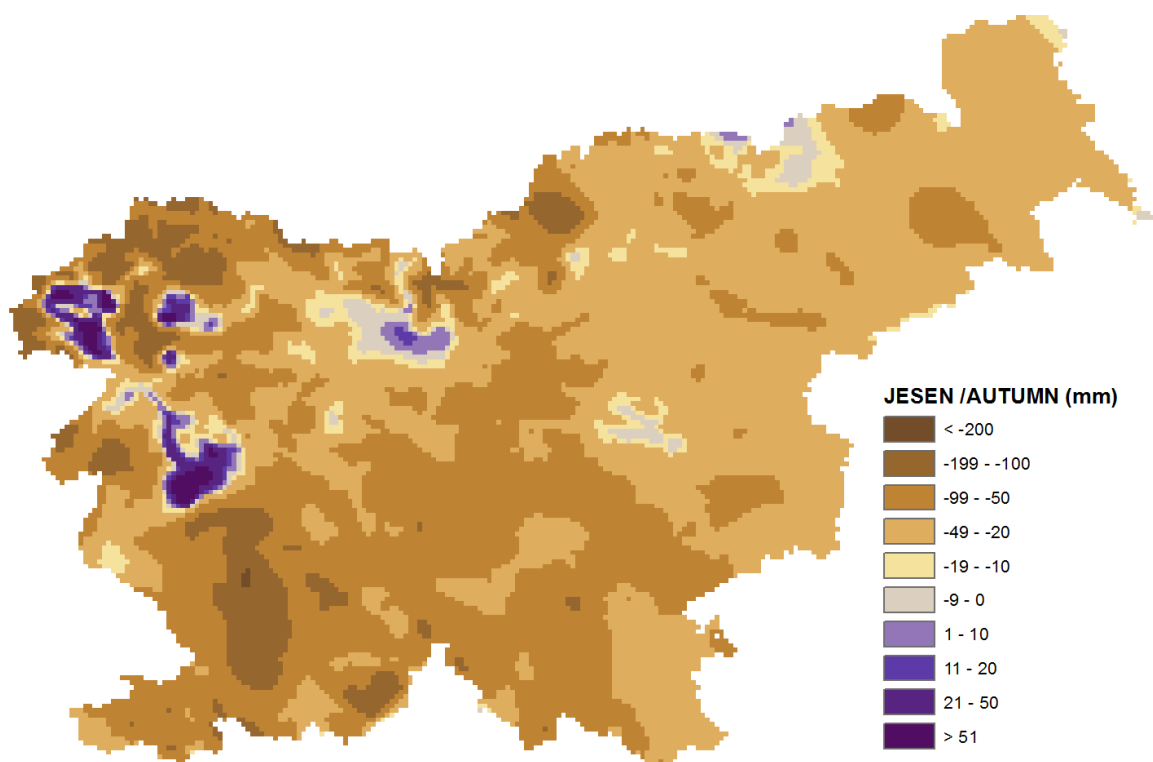
1. **Pomlad.** Spomladi se v večini Slovenije predvideva zmanjšanje odtoka. Največje zmanjšanje je na območju južne Slovenije (obala in Kras, Krim, večina Dolenjske, Pokolpje) in na območju Dravskega polja ter Slovenskih Goric. Največje zmanjšanje odtoka se sicer predvideva v Alpah, kjer pa bo verjetno zaradi odtoka zimskega snežnega zadržka zmanjšanje manjše. Scenarij obenem predvideva povečanje odtoka predvsem na območjih spodnjega Posočja, severnega dela Ljubljanske kotline, v Posavinju in na Pohorju z okolico. Količine povečanja so bistveno manjše od količin zmanjšanja.
2. **Poletje.** Poleti je po analizi povsod po državi z izjemo doline srednje Soče in Idrijce odtok manjši. Zaradi večjega realnega izhlapevanja od uporabljenega potencialnega pa bo najverjetneje odtok manjši povsod po državi. Največje zmanjšanje pa se predvideva v Julijcih, Kamniških alpah, Karavankah in na območju Snežnika.
3. **Jesen.** Količine odtoka jeseni v prihodnje bodo prav tako manjše. Edina območja s povečanjem so okolica Bovca, Bohinj, del Trnovskega gozda in del Kranjskega polja. Povsod drugje se predvideva zmanjšanje odtoka, največ iz območja Alp ter območja visokih Dinarskih pregrad.
4. **Zima.** Zima ima največje območje, kjer naj bi se odtoki povečali. Zaradi velikega vpliva globalnega segrevanja na snežni zadržek so predvsem v sredogorju odtoki lahko še dodatno povečani. Zvečanje odtoka se tako predvideva na območju Predalpskega hribovja, v Posavinju, v Brdih, na območju zahodnega Krasa in zahodne Vipavske doline ter na širšem območju Snežnika. Zmanjšanje pa se obeta predvsem visokim Alpam ter Dinarskemu Krasu. Ocena odtoka pa je lahko zelo vprašljiva zaradi problema snežnega zadržka.



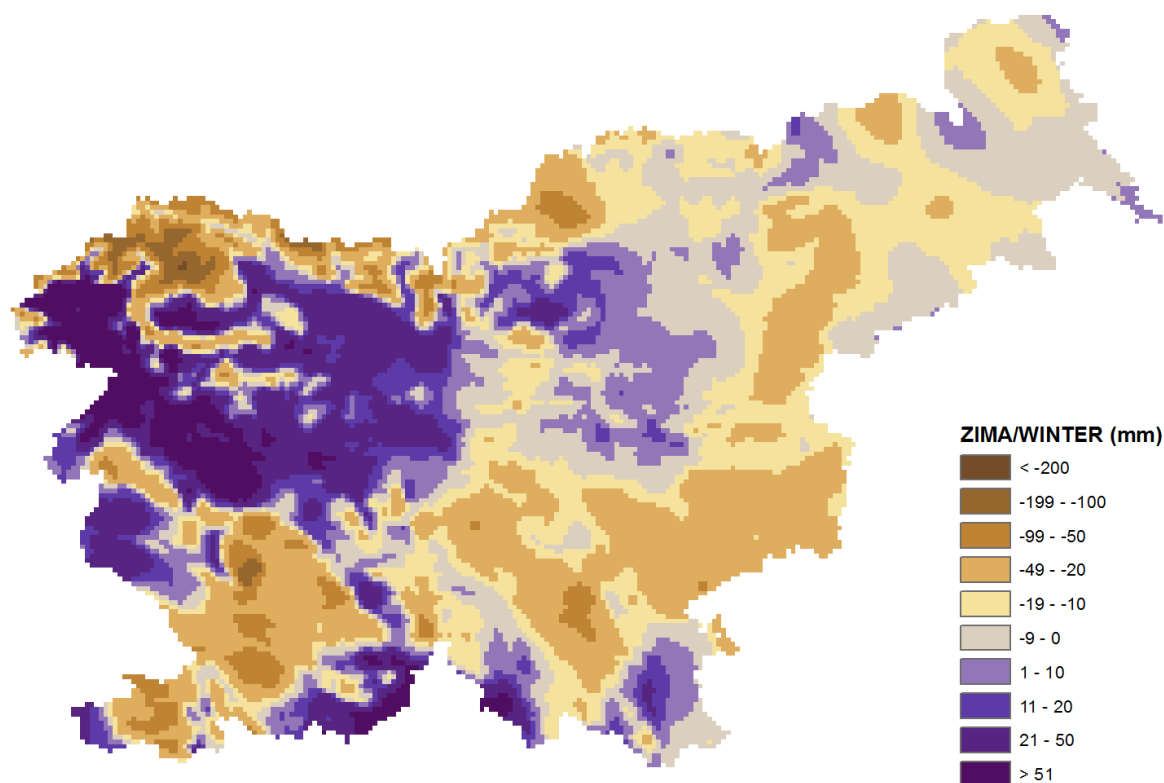
Slika 29: Odstopanje količine odtoka po srednjem scenariju pomladi v mm od obdobja 1971-2000.



Slika 30: Odstopanje količine odtoka po srednjem scenariju poleti v mm od obdobja 1971-2000.



Slika 31: Odstopanje količine odtoka po srednjem scenariju jeseni v mm od obdobja 1971-2000.



Slika 32: Odstopanje količine odtoka po srednjem scenariju pozimi v mm od obdobja 1971-2000.

6.2 Vrzeli in pomanjkljivosti analize scenarijev odtoka

- Neupoštevanje realnega izhlapevanja pomeni, da bo izhlapevanje praviloma večje kot je upoštevano, kar kaže na dodatno zmanjšanje odtoka.
- Zaradi vpliva snežnega zadržka je možnost napake ocene odtoka pomladi in pozimi lahko zelo velika.
- Vodnobilančni model GROWA daje dobre letne primerjave, žal pa ne omogoča boljše časovne natančnosti (mesec, dan).

7 Ključne ugotovitve

Vpliv podnebnih sprememb na odtok v obdobju 2021-50 bo najverjetneje v zmanjševanju količin. Vodnobilančni model GROWA-SI kaže na zmanjšanje povprečnega letnega odтока v Sloveniji glede na dolgoletno povprečje 1971-2000 za 4 %. Zmanjšanje letnega odтока potrjujejo tudi sezonski informativni izračuni, povprečno letno zmanjšanje pa naj bi bilo večje v Podonavju kot v povodju Jadrana.

Sezonski informativni pregled kaže na občutno zmanjšanje odтока poleti v obeh povodjih in na precejšnje zmanjšanje odтока jeseni. Spremembe podnebja bodo imele po scenariju najmanjši vpliv na odtok pozimi in pomladi.

Na podlagi rezultatov vodnobilančnega modeliranja GROWA-SI po različnih kombinacijah podnebnega scenarija predvidevamo, da se bodo povprečne letne obnovljive količine podzemne vode, glede na dolgoletno povprečje 1981-2010 v prihodnjem obdobju 2021-2050 na območju celotne Slovenije spremenile v razponu od -8,7 do +6,5 %, povprečno za okoli -1 %. Za izboljšanje analiz odтока po sezonah bo potrebno nadgraditi časovno merilo vodnobilančnega modela GROWA iz letnega na mesečni interval.

8 Viri

Andjelov, M. in sod. 2016: Groundwater recharge in Slovenia. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt / Environment, Forschungszentrum Julich GmbH, Julich, Germany, 145 p.

Andjelov, M., Mikulič, Z., Uhan, J., Dolinar, M. (2013): Vodna bilanca z modelom GROWA-SI za količinsko ocenjevanje vodnih virov Slovenije. Mišičev vodarski dan, Maribor, pp. 127-133

Auer I, Böhm R, Jurkovic A, Lipa W, Orlik A, Potzmann R, Schöner W, Ungersböck M, Matulla C, Briffa K, Jones PD, Efthymiadis D, Brunetti M, Nanni T, Maugeri M, Mercalli L, Mestre O, Moisselin J-M, Begert M, Müller-Westermeier G, Kveton V, Bochnicek O, Stastny P, Lapin M, Szalai S, Szentimrey T, Cegnar T, Dolinar M, Gajic-Capka M, Zaninovic K, Majstorovic Z, Nieplova E, 2007. HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. International Journal of Climatology 27: 17-46, <http://www.zamg.ac.at/histalp/download/abstract/Auer-etal-2007-A.pdf>

Cook, J., 2010: Strokovni vodnik po dvomih o globalnem segrevanju, Skepticalscience.com, slovenski prevod SMD

Dolinar M. ur. 2010: Spremenljivost podnebja v Sloveniji. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje, 11 str.,

EEA Report No 12/2012, 2012: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012

ENSEMBLES: <http://www.ensembles-eu.org/>

Frantar, P., 2003: Pretočni režimi na reki Savi in njihove spremembe med obdobjem 1961 1990 in 1991–2000. 14. Mišičev vodarski dan. Maribor.

Frantar, P., 2004: Hidrogeografija Šaleške in Zgornjesavinjske doline. Elaborat, Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana.

Frantar, P., Hrvatin, M., 2005: Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971 in 2000. Geografski vestnik 77-2. Ljubljana.

Frantar, P., 2010: Pojav ledu na Bohinjskem jezeru. V: Okolje se spreminja: podnebna spremenljivost in njen vpliv na vodno okolje (ur. Cegnar, T.), Agencija RS za okolje, Ljubljana.

Hrvatin, M., 1998: Pretočni režimi v Sloveniji. Geografski zbornik 38. Ljubljana.

IPCC, 2007: A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis, slovenski prevod: Prispevek prve delovne skupine k Petemu poročilu Medvladnega odbora za podnebne spremembe 2013: Fizikalna podlaga, Vetrnica št. 06/13, SMD, Ljubljana

Jurko, M. 2009. Statistična analiza trendov značilnih pretokov slovenskih rek. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, UL.

Mikulič, Z. (ed.), Andjelov, M. (ed.) (2009): Groundwater modelling. Proceedings of invited lectures of Symposium on Groundwater Flow and Transport Modelling, Ljubljana, Slovenia, 28-31 January 2008. MOP - Agencija RS za okolje, Ljubljana, 95 p., http://www.arso.gov.si/en/water/reports%20and%20publications/Groundwater_Modelling.pdf

NASA GIS, <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/>

Kobold, M. in Ulaga, F., 2010: Hidrološko stanje voda in podnebna spremenljivost. V: Okolje se spreminja: podnebna spremenljivost in njen vpliv na vodno okolje (ur. Cegnar, T.), Agencija RS za okolje, Ljubljana.

Sušnik, A., Gregorič, G., Uhan, J., Kobold, M., Andjelov, M., Petan, S., Pavlič, U., Valher, A., 2013: Spremenljivost suš v slovenskem prostoru in analiza suše 2013. Mišičev vodarski dan 2013, Maribor.

Tetzlaff, B., Andjelov, M., Kuhr, P., Uhan, J., Wendland, F. (2015): Model-based assessment of groundwater recharge in Slovenia. Environ Earth Sci, DOI 10.1007/s12665-015-4639-5

Vertacnik, G., M. Dolinar, R. Bertalanic, M. Klancar, D. Dvoršek, M. Nadbath, 2013: Podnebna spremenljivost Slovenije : glavne značilnosti gibanja temperature zraka v obdobju 1961-2011. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje, 23 str.,

Viri podatkov

Podatkovne zbirke Agencije RS za okolje Urada za meteorologijo:

- sektorja za prizemno meteorološko mrežo,
- sektorja za aplikativno meteorologijo.

Podatkovne zbirke Agencije RS za okolje Urada za hidrologijo in stanje okolja:

- sektorja za hidrometrijo,
- sektorja za analize in prognoze površinskih voda,
- sektorja za hidrogeološke analize.

Podatkovne zbirke Agencije RS za okolje Urada za upravljanje z vodami

Podatkovne zbirke Agencije RS za okolje Urada za informatiko

Podatkovne zbirke Agencije RS za okolje Urada za splošne zadeve

Prostorski podatkovni sloji Agencije RS za okolje

Prostorski podatkovni sloji Ministrstva za kmetijstvo in okolje

Prostorski podatkovni sloji Inštituta za vode RS

Prostorski podatkovni sloji Geološkega zavoda Slovenije

Prostorski podatkovni sloji Geodetske uprave RS

Prostorski podatkovni sloji Gozdarskega inštituta Slovenije

Prostorski podatkovni sloji Zavoda RS za varstvo narave

Prostorski podatkovni sloji Ministrstva za notranje zadeve (Centralni register prebivalstva)