

Scenariji spremembe pretokov rek v Sloveniji do konca 21. stoletja

Mira Kobold^{*}, Nejc Gačnik^{**}, Jaka Plečko^{**}, Aleksandar Vujinović^{**}, Katja Klančar^{**}

Povzetek

Scenariji bodočih sprememb hidroloških razmer so pripravljene v okviru projekta Ocena podnebnih sprememb za Slovenijo do konca 21. stoletja (OPS21), ki ga finančno podpira Ministrstvo za okolje in prostor iz Sklada za podnebne spremembe. Spremembe hidroloških razmer za srednje, male in velike pretoke so prikazane za letni nivo za tri 30-letna obdobja v prihodnosti (2011–2040, 2041–2070 in 2071–2100) v primerjavi z referenčnim obdobjem 1981–2010. Projekcije sprememb kažejo smer sprememb in velikostno stopnjo teh sprememb za tri scenarije izpustov toplogrednih plinov: optimistični scenarij, zmerno optimistični in pesimistični scenarij. Večjih sprememb srednjih letnih pretokov v Sloveniji v primerjavi z obdobjem 1981–2010 po vseh omenjenih scenarijih ni pričakovati, z izjemo severovzhoda, kjer bi se pretoki pri zmerno optimističnem scenariju izpustov do konca stoletja lahko povečali do 30 %. Srednje letne konice se bodo po vseh treh scenarijih v primerjavi z obdobjem 1981–2010 povečale povsod po državi, v povprečju od 20 do 30 %. Spremembe srednjih malih pretokov so prostorsko neenotne in signali sprememb nezanesljivi, le ponekod v severni polovici Sloveniji kažejo na značilno povečanje malih pretokov.

Ključne besede: podnebne spremembe, hidrološki model, spremembe pretokov rek, negotovost

Key words: climate change, hydrological model, changes in river flows, uncertainty

Uvod

Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) od leta 2016 izvaja projekt Ocena podnebnih sprememb za Slovenijo do konca 21. stoletja (OPS21). V letu 2018 so bili v sinteznem poročilu (Bertalanič in sod., 2018) zbrani prvi rezultati projekta OPS21. Ti se nanašajo na oceno povprečne spremembe najpomembnejših podnebnih spremenljivk in vpliv teh sprememb na rastne razmere in hidrološke spremenljivke. Sredstva za izvajanje projekta in vključevanje zunanjih sodelavcev zagotavlja Ministrstvo za okolje in prostor iz Sklada za podnebne spremembe. V okviru projekta so že bile poleg ocen sprememb najpomembnejših podnebnih spremenljivk izdelane tudi ocene sprememb za hidrološke spremenljivke, saj imajo podnebne spremembe vpliv na celoten vodni krog in s tem tudi na odtok površinskih voda.

Ocene predvidenih sprememb za posamezne spremenljivke so bile narejene za tri različne scenarije izpustov toplogrednih plinov oziroma značilne poteke vsebnosti toplogrednih plinov (RCP – Representative Concentration Pathways, Van Vuuren in sod., 2011): optimistični scenarij RCP2.6, zmerno optimistični RCP4.5 in pesimistični scenarij RCP8.5. Scenarij RCP2.6 predvideva, da bo politika omejevanja izpustov zelo hitra in uspešna, RCP4.5 predvideva, da se bodo izpusti toplogrednih plinov sprva še počasi povečevali, nato pa sredi in proti koncu 21. stoletja zmanjševali. Scenarij RCP8.5 večjih uspehov pri omejevanju izpustov ne predvideva, zato se po tem scenariju izpusti skozi celotno 21. stoletje povečujejo.

^{*} Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija

^{**} zunanji sodelavci

Scenariji podnebnih sprememb (Bertalanič in sod., 2018) za temperaturo zraka z visoko gotovostjo kažejo, da bo ta v Sloveniji do konca 21. stoletja v primerjavi z obdobjem 1981–2010 še naprej naraščala, v primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov RCP4.5 za približno 2 °C, v primeru pesimističnega scenarija izpustov RCP8.5 pa za približno 4,1 °C. Za padavine podnebni scenariji kažejo večjo negotovost, se pa signali z odmikom v prihodnost stopnjujejo. V primeru obeh scenarijev izpustov RCP4.5 in RCP8.5 bo povprečno povečanje letnih padavin konec stoletja v primerjavi z obdobjem 1981–2010 do 20 %. Še bolj se bodo padavine povečale pozimi, nekoliko bolj na vzhodu države. Pri izjemnih padavinah se bosta povečali tako jakost kot pogostost padavin.

Vplive podnebnih sprememb na pretok površinskih voda smo izvedli s simulacijo pretokov s hidrološkim modelom. Vhodni podatki v model so bili modelski parametri (padavine, temperatura zraka in evapotranspiracija) šestih regionalnih podnebnih modelov projekta EURO-CORDEX, ki so bili izbrani za območje Slovenije (preglednica 1) in zaradi sistematičnih napak pred uporabo ustrezno popravljeni (Bertalanič in sod., 2018). Za optimistični scenarij RCP2.6 so bile na voljo simulacije samo dveh modelov, za ostala dva scenarija, RCP4.5 in RCP8.5, pa simulacije podnebnih spremenljivk vseh šestih modelov (preglednica 1).

Preglednica 1: Seznam podnebnih modelov, katerih podatke smo uporabili v hidrološkem modelu (Bertalanič in sod., 2018).

Globalni podnebni model (GCM)	Regionalni podnebni model (RCM)	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
CNRM-CM5-LR	CCLM4-8-17		x	x
MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17		x	x
EC-EARTH	HIRHAM5	x	x	x
IPSL-CM5A-MR	WRF331F		x	x
HadGEM2-ES	RACMO22E	x	x	x
MPI-ESM-LR	RCA4		x	x

x - simulacija za določeni scenarij RCP

V projekcijah podnebnih sprememb so simulacije prihodnjega podnebja obremenjene z negotovostmi, ki izvirajo iz lastnosti podnebja in njegove naravne spremenljivosti. Druga negotovost je posledica orodij in modelov, ki jih uporabljamo za raziskovanje prihodnjega podnebja (Bertalanič in sod., 2018).

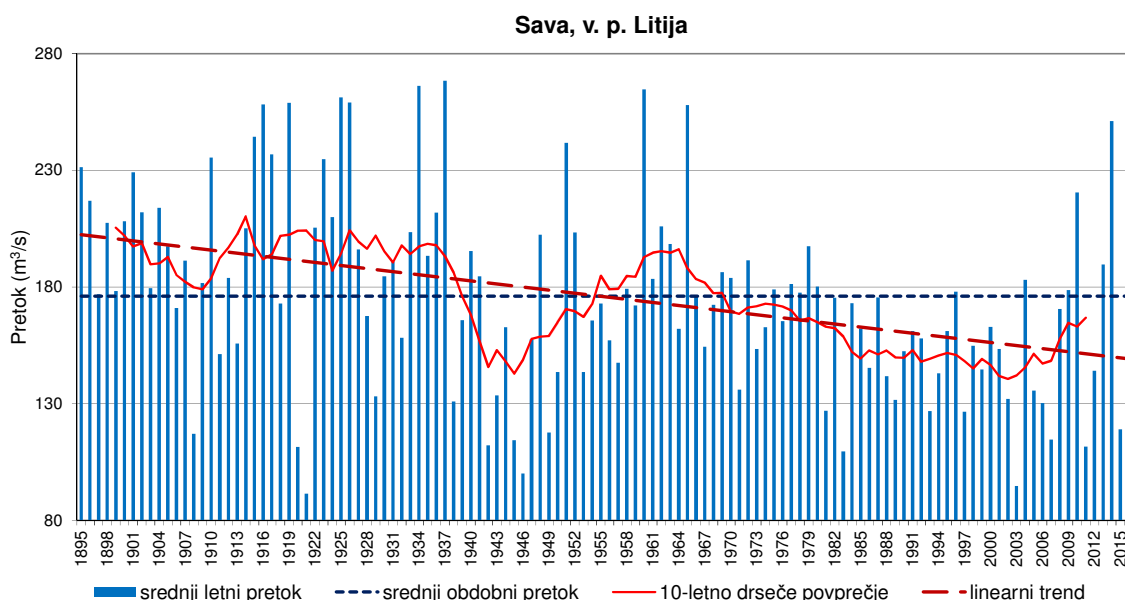
Rezultati projekta OPS21 so podani v obliki sprememb za tri 30-letna obdobja v prihodnosti (2011–2040, 2041–2070 ter 2071–2100) glede na primerjalno obdobje 1981–2010. To je obdobje, ki ga za referenčno obdobje priporoča Svetovna meteorološka organizacija. Za projekcije sprememb hidroloških razmer smo iz modelskih podatkov srednjih dnevnih pretokov izbrali letne statistike srednjih, malih in velikih pretokov, ki se najpogosteje uporabljajo v hidroloških analizah. Srednji letni pretok (Q_s) predstavlja povprečno letno količino vode, ki teče skozi določen profil vodotoka. Srednji pretok v določenem obdobju (sQ_s) je povprečje srednjih letnih vrednosti pretoka v obdobju na določenem profilu vodotoka. Izraža se v m^3/s . Male pretoke zaznavamo v strugi vodotoka, ko dalj časa ni padavin ali taljenja snežne odeje in so odtoki posledica izcejanja podzemnih voda. S kazalniki malih pretokov opisujemo sušno obnašanje posameznih vodotokov. Srednji mali pretok v obdobju (sQ_{np}) je večletno povprečje najnižje vrednosti srednjega dnevnega pretoka v letu (Q_{np}) na določenem profilu vodotoka. Ob večji količini padavin začne pretok vode v vodotokih naraščati, precej hitro doseže maksimum in nato postopoma

upada. Za kazalnik največjih letnih vrednosti, ki služi za analize poplavnih pretokov in poplav, se običajno vzame največji pretok v letu (visokovodna konica).

Pretoki rek in trendi v obdobju meritev

Pretoki rek se s časom neprestano spreminjajo. Časovna spremenljivost pretokov rek v Sloveniji je velika. Dejavniki, ki vplivajo na hidrološko dogajanje in pretočni režim so številni, od podnebja, reliefa, tal, geološke sestave, vegetacije in rabe vode. V Sloveniji je najpomembnejši dejavnik podnebje, saj so pretoki rek v glavnem odvisni od časovne in prostorske razporeditve padavin, temperature zraka in trajanja snežne odeje. Zmanjševanje višine padavin, najbolj spomladi in poleti, spremembe trajanja in višine snežne odeje, rast povprečne temperature zraka in posledično povečana evapotranspiracija so glavni dejavniki, ki vplivajo na spreminjanje pretočnih režimov slovenskih rek (Kobold in sod., 2011). Podatki merilnih mest, ki jih hranimo v podatkovni zbirki Agencije RS za okolje, izkazujejo veliko sezonsko in medletno spremenljivost pretokov.

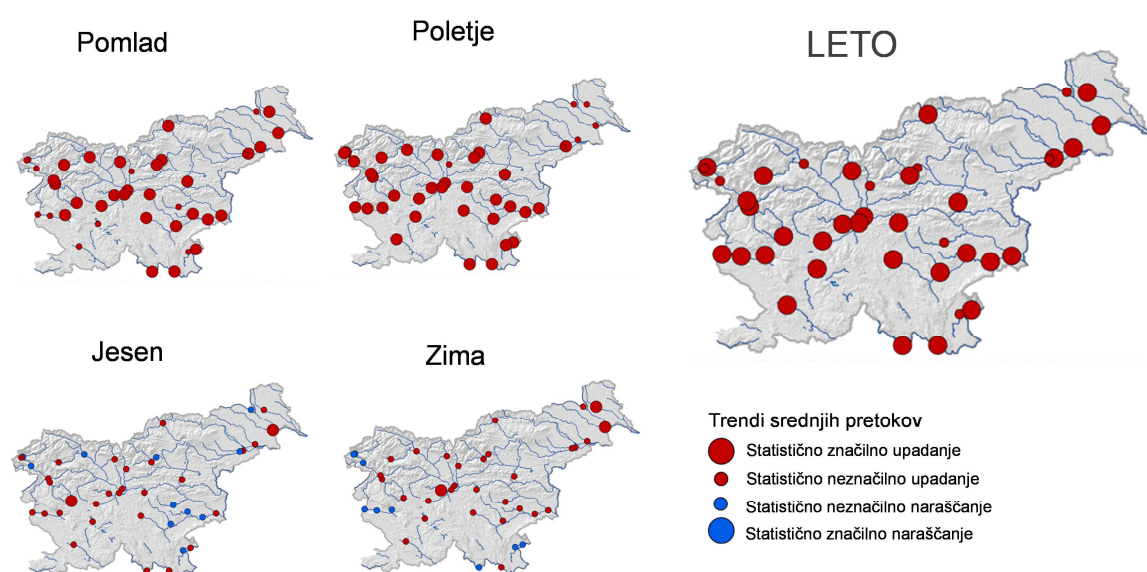
Z analizo časovnega zaporedja pretokov proučujemo dogajanje v preteklosti, ocenjujemo izrazitost in značilnost časovnega spreminjanja ter ugotavljamo spremembe v hidrološkem režimu. Nihanje srednjih letnih pretokov v zadnjih 122 letih je dobro vidno na reki Savi v Litiji (slika 1), kjer imamo neprekinjen niz podatkov od leta 1895. Primerjava letnih podatkov z obdobjim povprečjem na sliki 1 pokaže, da so bila konec 19. in v prvi polovici 20. stoletja pretežno mokra leta, z izjemo posameznih sušnih let. V drugi polovici 20. stoletja pa se je vodnatost proti koncu stoletja postopno zmanjševala, srednji letni pretoki so bili večinoma pod obdobjim povprečjem. Iz kazalca letne rečne bilance za obdobje 1961–2016 (ARSO, 2018) znaša po linearnem trendu upad neto odtoka Slovenije 2,5 % na desetletje.



Slika 1: Srednji letni pretoki, obdobjno povprečje in pripadajoče 10-letno drseče povprečje in linearni trend Save na vodomerni postaji Litija

Pri analizah trendov na rezultate močno vplivata obravnavano obdobje in dolžina časovnega niza podatkov. V zadnji analizi trendov za območje Slovenije, ki jo je izdelal Oblak (2017), je bil obravnavan 52-letni niz podatkov obdobja 1961–2013 za male, srednje in velike pretoke.

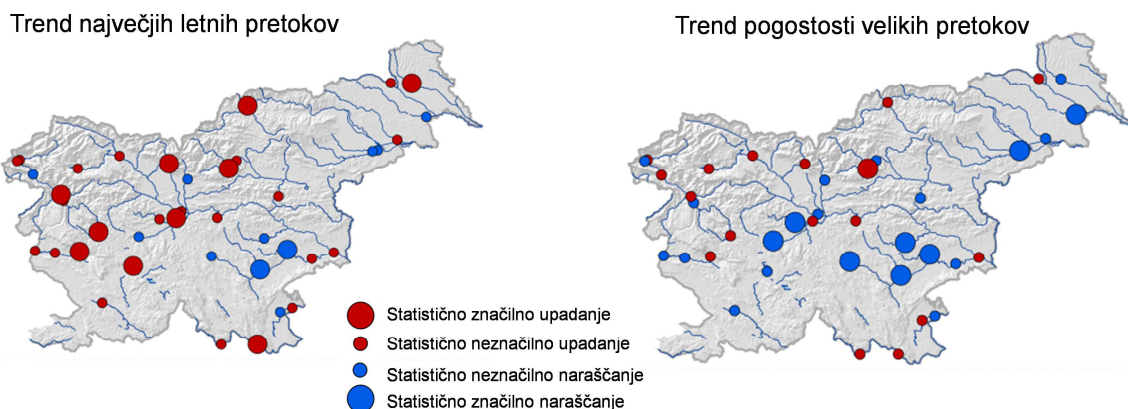
Srednji letni pretoki upadajo na vseh obravnavanih vodomernih postajah in na večini je trend za obdobje 1961–2013 statistično značilen pri stopnji značilnosti 0,1 (slika 2). So pa razlike med letnimi časi. Srednji pomladni in poletni pretoki upadajo povsod po državi in pri večini postaj je zaznan statistično značilen upadajoči trend. Srednji jesenski pretoki v glavnem nimajo statistično značilnih trendov, so pa v zahodni polovici države trendi večinoma negativni, v vzhodni pa pozitivni. Srednji zimski pretoki upadajo večinoma povsod po državi, razen na porečjih Soče, Vipave in Kolpe, kjer je trend pozitiven. Vendar pa trendi z izjemo treh vodomernih postaj niso statistično značilni.



Slika 2: Trend srednjih sezonskih in letnih pretokov na vodomernih postajah po Sloveniji (povzeto po Oblak, 2017).

Pri malih pretokih je trend povsod po državi negativen podobno kot pri srednjih letnih pretokih (Oblak, 2017).

Trend največjih letnih srednjih dnevni pretokov (slika 3) izkazuje manjšo statistično značilnost kot trend srednjih letnih pretokov. Na več kot polovici postaj je trend negativen, na nekaterih tudi statistično značilen. Postaje v vzhodni Sloveniji imajo večinoma pozitiven trend, ki pa v glavnem ni statistično značilen. Trend pogostosti velikih pretokov (v povprečju trikrat na leto) kaže na večanje števila visokovodnih dogodkov zlasti v osrednjem in vzhodnem delu države, kjer je trend marsikje statistično značilen (slika 3). Upadajoči trend pojavljanja visokovodnih dogodkov je zaznan na postajah z gorskim zaledjem v severnem delu države in na porečju Kolpe, vendar ni statistično značilen.

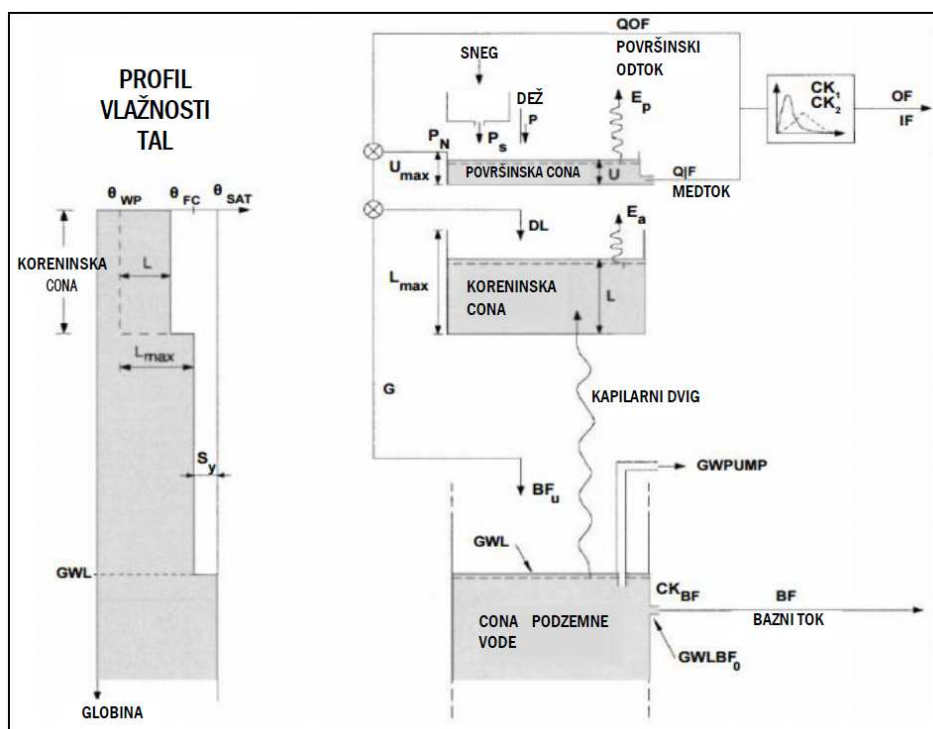


Slika 3: Trend največjih letnih pretokov (levo) in trend pogostosti velikih pretokov v povprečju trikrat letno (desno) na vodomernih postajah po Sloveniji (povzeto po Oblak, 2017).

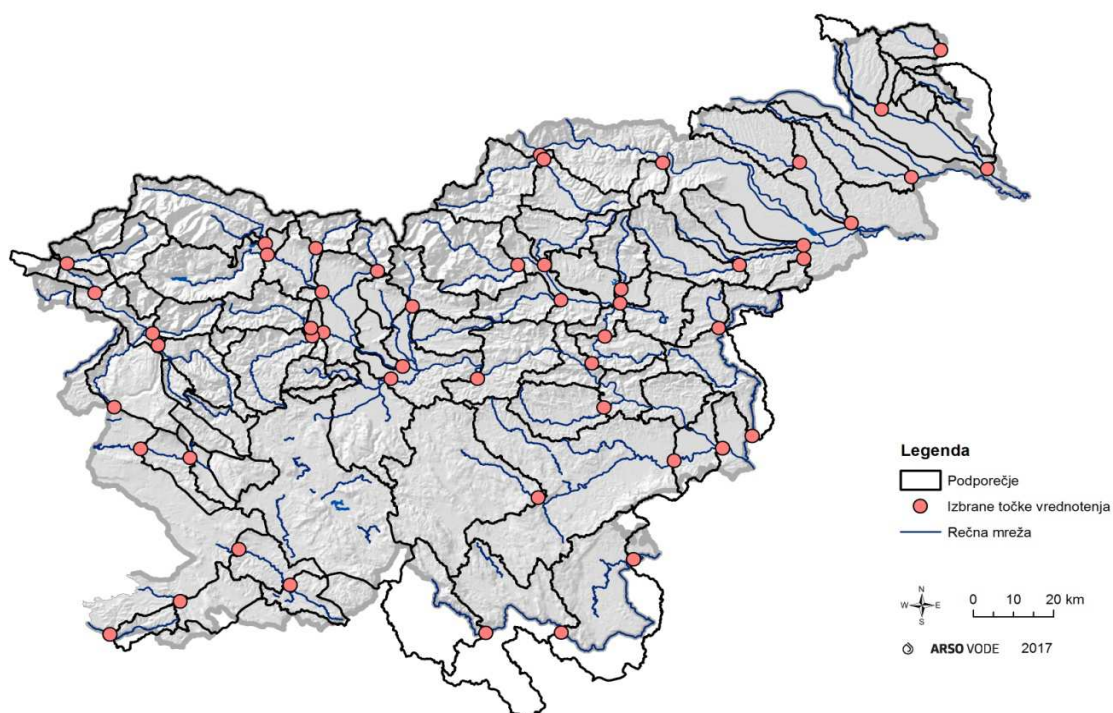
Hidrološki model

Za oceno sprememb hidroloških razmer do konca 21. stoletja smo uporabili programsko orodje MIKE 11, ki ga ARSO uporablja v sklopu hidrološkega prognostičnega sistema (Petan in sod., 2016). MIKE 11 je orodje za enodimenzijsko modeliranje toka vode, ki ga tvorita dve osnovni komponenti: hidrološki model NAM, ki vključuje snežni modul, in enodimenzijski hidrodinamični model (DHI, 2014). Hidrološki model NAM je deterministični, konceptualni in združeni (ang. lumped) model odtoka padavin (Nielsen in Hansen, 1973), ki simulira kroženje vode na zemeljskem površju. Model računa površinski in podpovršinski odtok s prispevnih površin. Osnovna računaska enota modela je podporečje, ki predstavlja prispevno območje posameznega vodotoka do izbrane točke, kar je praviloma lokacija vodomerne postaje, ali pa prispevno območje za posamezen odsek vodotoka med dvema vodomernima postajama. Podporečje je v modelu opredeljeno z velikostjo in topografijo, ki je v snežnem modulu opisana s površinami stometrskih višinskih pasov. Snežni modul za vsak višinski pas simulira skladiščenje vode v snežni odeji in sproščanje snežnice v površinski odtok. Model izračuna hidrograme površinskega odtoka iz vsakega višinskega pasu in jih nato združi po podporečjih. Struktura hidrološkega modela NAM je prikazana na sliki 4. Vhodni podatki v model so časovni nizi padavin, temperature zraka, referenčna evapotranspiracija in pretok rek. V postopku umerjanja modela je treba za vsako podporečje določili parametre fizikalnih in semi-empiričnih enačb, ki so v modelu uporabljene za računanje hidrograma odtoka, spremljanje uskladiščene vode v snežni odeji, na površini tal, v koreninski coni in vodonosniku.

Osnova za izgradnjo hidrološkega modela za oceno hidroloških razmer v prihodnosti so bili v sklopu hidrološkega prognostičnega sistema že izdelani hidrološki modeli za porečja Slovenije (Petan in sod., 2016). Na osnovi teh smo izdelali hidrološki model za območje Slovenije z 81 podporečji s srednjo velikostjo okoli 226 km², ki smo jih določili na osnovi 52 vodomernih postaj (slika 5) (Gačnik in Plečko, 2018). Vodomerne postaje so bile izbrane na podlagi reprezentativnosti, pokritosti porečij in vodotokov, čim manjšega človekovega vpliva na hidrološki režim in popolnosti niza podatkov za primerjalno obdobje 1981–2010. Za te postaje smo v nadaljevanju vrednotili rezultate.



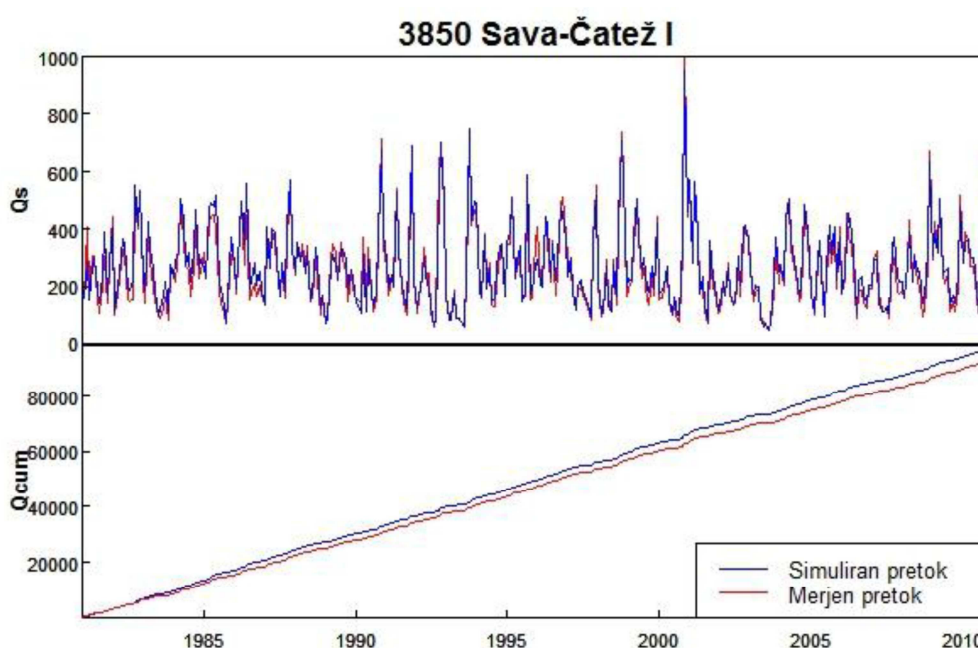
Slika 4: Struktura hidrološkega modela NAM (povzeto po DHI, 2014).



Slika 5: Prikaz podporečij hidrološkega modela in točk vrednotenja modela.

Model smo predhodno umerili in nastavili vrednosti parametrov modela za vsako podporečje. Za umerjanje in vrednotenje modela smo vzeli primerjalno obdobje 1981–2010. Vhodni meteorološki podatki so bili pripravljene v pravilni prostorski mreži (Bertalanč in sod., 2018). V postopku umerjanja smo simulirane dnevne pretoke primerjali

z merjenimi na vodomernih postajah (Gačnik in Plečko, 2018). Ujemanje simuliranih z merjenimi pretoki smo ocenili vizualno (grafično) in numerično z različnimi kriteriji: razlika v vodni bilanci, Nash-Sutcliffov koeficient učinkovitosti modela (NSE), determinacijski koeficient (R^2) in delež pristranskosti (PBIAS). Osredotočili smo se na napako v vodni bilanci, ki je razmerje med povprečnim simuliranim in merjenim pretokom, ter na koeficient učinkovitosti modela (NSE) in determinacijski koeficient (R^2), ki kažeta na skladnost oblike hidrograma simulacije in meritev. Pristranskost v vodni bilanci smo zmanjšali s korekcijskim faktorjem za padavine, določenim za vsako posamezno podporečje (Gačnik in Plečko, 2018). Za večino podporečij izkazujejo vrednosti NSE in R^2 dobro ujemanje simuliranih pretokov z merjenimi. Primer ujemanja simuliranega in merjenega pretoka za vodomerno postajo Čatež na reki Savi v obdobju 1981–2010 je prikazan na sliki 6.



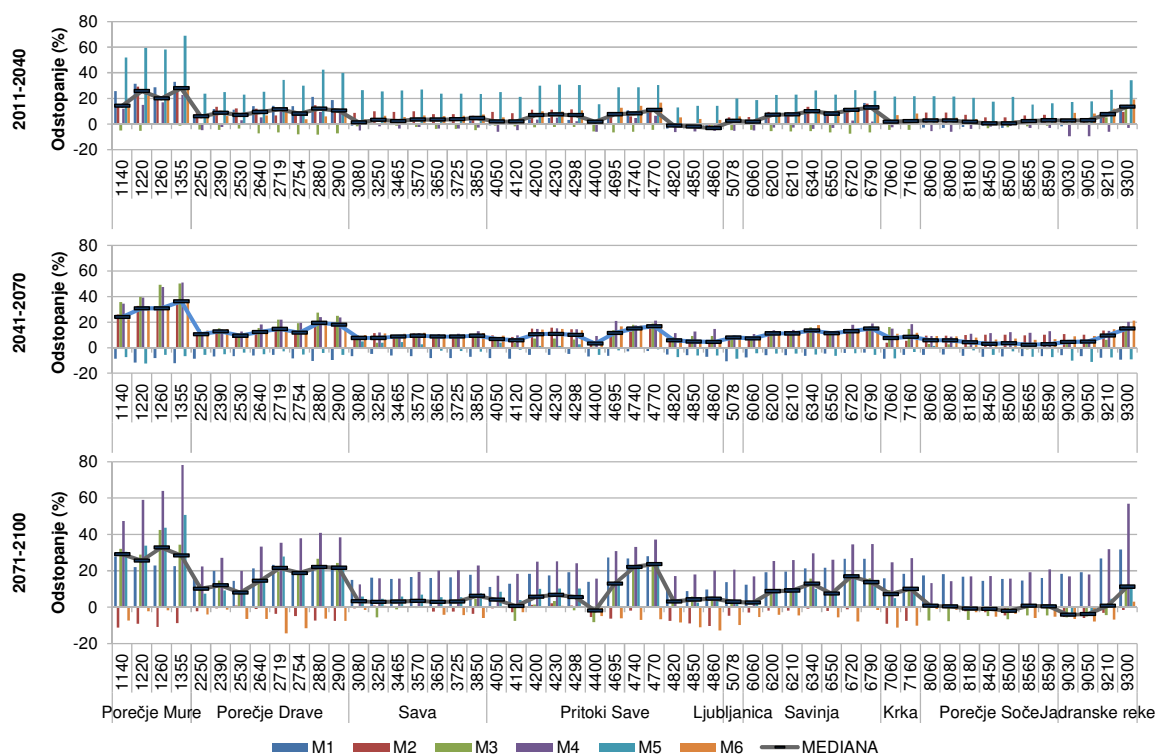
Slika 6: Primerjava simuliranih in merjenih mesečnih pretokov (v m^3/s , zgoraj) ter akumuliranega pretoka (v m^3/s , spodaj) za postajo Čatež na Savi za obdobje 1981–2010.

Za simulacijo pretokov do konca 21. stoletja so bili vhod v umerjen hidrološki model popravljene dnevni podatki šestih regionalnih podnebnih modelov (Bertalanč in sod., 2018) za tri scenarije izpustov toplogrednih plinov (RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5).

Rezultati

Rezultate podnebnih projekcij podajamo z velikostjo spremembe spremenljivke in ne z njeno absolutno vrednostjo v prihodnjem obdobju. Za vsak scenarij izpustov toplogrednih plinov smo za vsako točko vrednotenja (vodomerno postajo) izračunali modelsko odstopanje od primerjalnega obdobja 1981–2010 za vsak model, kot je prikazan primer za odstopanja srednjih pretokov na sliki 7. Razlike med modeli so lahko velike in po predznaku spremembe celo nasprotujoče. Zato smo spremembe značilnih pretokov podali kot odstopanje srednjih vrednosti (mediane) modelskih simulacij za prihodnja 30-letna

obdobja (2011–2040, 2041–2070 in 2071–2100) od primerjalnega obdobja 1981–2010. Razpon modelskih rezultatov podaja negotovost, ki izhaja iz podnebni modelov in razlik med njimi kot tudi iz hidrološkega modela. Hidrološki modeli so občutljivi na vhodne podatke padavin in je sprememba pri simuliranem odtoku zaradi nelinearnosti naravnih procesov večja kot pri padavinah (Kobold in Brilly, 2006).



Slika 7: Odstopanja modelskih srednjih pretokov (sQs) od vrednosti obdobja 1981–2010 za vodomerne postaje po scenariju izpustov RCP4.5

Končni rezultati analiz so velikost in smer pričakovane spremembe srednjih, malih in velikih pretokov za obdobja v prihodnosti 2011–2040, 2041–2070 in 2071–2100 glede na primerjalno obdobje 1981–2010 za vse tri upoštevane scenarije izpustov toplogrednih plinov. Zelo pomemben del informacije je tudi, kako zanesljiva je ta sprememba. Zanesljivost sprememb v primerjavi z negotovostjo smo ocenjevali s statističnimi testi (Bertalanč in sod., 2018).

Spremembe srednjih pretokov

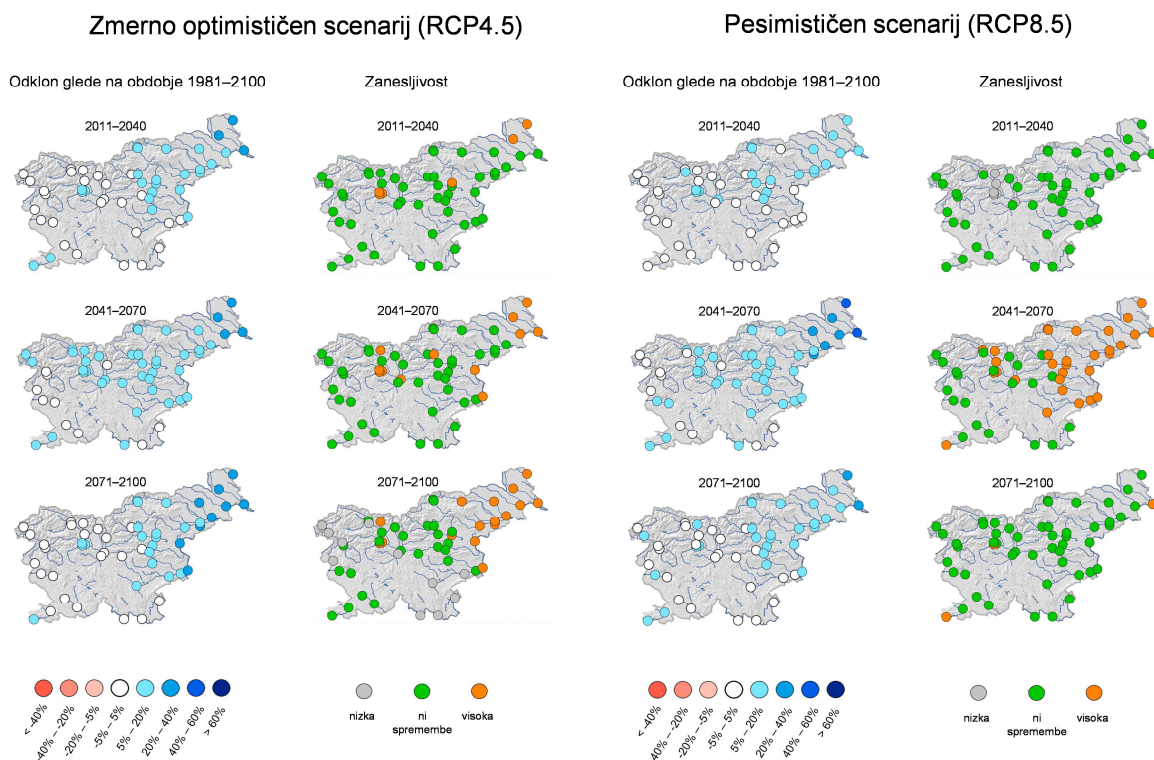
Večjih sprememb srednjih letnih pretokov v Sloveniji za različne scenarije izpustov do konca 21. stoletja glede na primerjalno obdobje 1981–2010 ni pričakovati, le za severovzhod države se kaže deloma znatno povečanje pretokov (slika 8). Zanesljivost predvidenih sprememb pretokov je v največji meri odvisna od zanesljivosti spremembe padavin, ki imajo največji vpliv na odtok površinskih voda.

Po zmerno optimističnem scenariju izpustov RCP4.5 kažejo srednji pretoki v primerjavi s primerjalnim obdobjem 1981–2010 za bližnjo prihodnost na manjše povečanje predvsem za severovzhodni del države in na obalnem območju, drugje sprememb ni pričakovati (slika 8). Za sredino 21. stoletja so povečanja predvidena za večji del države z izjemo rek

Notranjske, Vipave, spodnjega dela Soče in Kolpe. Za konec stoletja pa ocenjujemo, da bo bilančno stanje srednjih pretokov rek podobno kot v bližnji prihodnosti. Pri vseh obdobjih z večjo vodnatostjo izstopa predvsem Pomurje, kjer je predvideno povečanje pretokov do 30 %. V vseh treh obdobjih so spremembe deloma zanesljive za severovzhod države in na posameznih postajah v severni Sloveniji (slika 8).

Pesimistični scenarij izpustov RCP8.5 kaže podobno kot RCP4.5. Za sredino stoletja so povečanja predvidena za večji del države, kjer se izrazito in zanesljivo povečanje kaže za večino vzhodnega dela Slovenije, celo do okrog 40 %, medtem ko za Posočje in v delih južne Slovenije sprememb ni pričakovati. Konec stoletja bo bilančno stanje srednjih pretokov podobno kot pri scenariju RCP4.5, le da je zanesljivost spremembe manjša.

Tudi optimistični scenarij RCP2.6 kaže v bližnji prihodnosti na manjše povečanje na skrajnem severovzhodu države, za sredino in konec stoletja pa kaže na bilančno bolj bogate srednje pretoke skoraj povsod po državi, z izrazitejšim povečanjem srednjih pretokov v Pomurju (Bertalanič in sod., 2018).



Slika 8: Relativna sprememba srednjega pretoka v treh projekcijskih obdobjih glede na obdobje 1981–2010 in pripadajoča zanesljivost spremembe za scenarija RCP4.5 (levo) in RCP8.5 (desno).

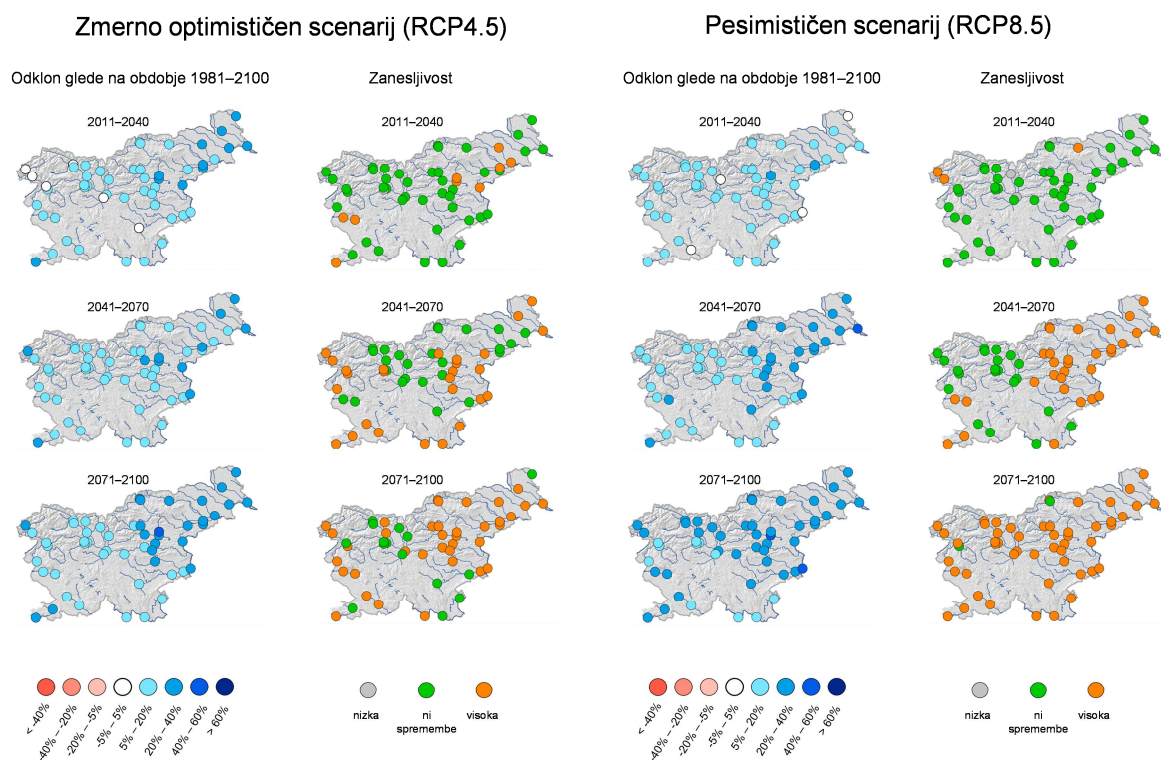
Spremembe velikih pretokov

Pri spremembi velikih pretokov (srednjih obdobjnih konic) kažejo vsi trije uporabljeni scenariji izpustov za vsa tri obravnavana obdobja v prihodnosti na povečanje srednjih konic po večini države, pri čemer so, podobno kot pri srednjih pretokih, največja povečanja predvidena za severovzhod in deloma vzhod države (slika 9).

V primeru scenarijev izpustov RCP4.5 in RCP8.5 se sprememba od bližnje prihodnosti proti koncu stoletja stopnjuje. Za bližnjo prihodnost je v scenariju izpustov RCP4.5 za

severovzhodni del predvideno večje povečanje kot v primeru scenarija izpustov RCP8.5, do okrog 30 %. V sredini stoletja je največji porast pričakovan v severovzhodni Sloveniji in na Obali. Proti koncu stoletja se pri scenariju izpustov RCP4.5 kaže podobna slika kot v sredini stoletja, pri scenariju izpustov RCP8.5 pa se kaže povečanje med 20 in 40 % glede na primerjalno obdobje na skoraj vseh postajah. Zanesljivost sprememb oziroma število postaj z visoko zanesljivostjo spremembe se z vsakim naslednjim obdobjem stopnjuje (slika 9). Za oba scenarija izpustov so spremembe najbolj zanesljive v zadnjem obdobju, v primeru scenarija izpustov RCP8.5 so takrat zanesljive na skoraj vseh postajah.

Čeprav se tudi v primeru scenarija izpustov RCP2.6 kažejo povečanja velikih pretokov v vseh treh obravnavanih obdobjih, na vzhodu tudi do 30 %, pa so te spremembe nezanesljive, oziroma manjše od naravne spremenljivosti (Bertalanič in sod., 2018).



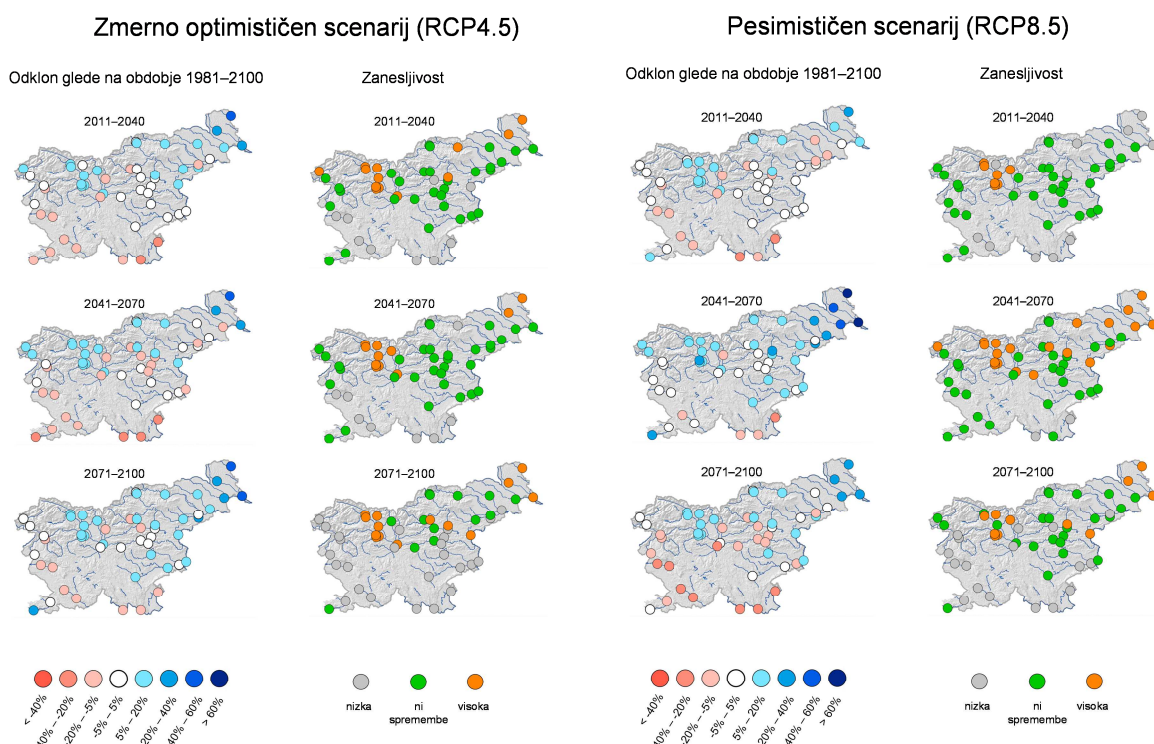
Slika 9: Relativna sprememba velikih pretokov (srednjih obdobjih konic) v treh projekcijskih obdobjih glede na obdobje 1981–2010 in pripadajoča zanesljivost spremembe za scenarija RCP4.5 (levo) in RCP8.5 (desno)

Spremembe malih pretokov

Pri srednjih malih pretokih lahko pričakujemo tako povečanje kot zmanjšanje v primeru vseh treh uporabljenih scenarijev izpustov. Scenarij izpustov RCP4.5 kaže v bližnji prihodnosti ter v sredini 21. stoletja na povečanje za severno polovico države (slika 10). Večja in zanesljiva povečanja se kažejo za Pomurje. V Pokolpju in jugozahodni Sloveniji je predvideno zmanjšanje srednjih malih pretokov, vendar je to zmanjšanje nezanesljivo, ker si modeli nasprotujejo v predznaku sprememb. Za zadnje obdobje se kažejo podobne spremembe kot v sredini stoletja, z razliko, da je za Krko in spodnjo Savo predviden porast srednjih malih pretokov. Je pa za vse postaje v južnem in jugozahodnem delu zanesljivost sprememb nizka (slika 10).

V primeru scenarija izpustov RCP8.5 v bližnji prihodnosti pričakujemo podobno spremembo malih pretokov kot v scenariju izpustov RCP4.5, vendar je v tem primeru sprememba zanesljiva le v delu Gorenjske. Za sredino stoletja se kaže zanesljivo povečanje malih pretokov v severni in vzhodni Sloveniji. Za južni del države je signal spremembe podoben kot za bližnjo prihodnost in nezanesljiv. Za konec 21. stoletja se kaže podobna sprememba kot v bližnji prihodnosti, le da je signal zmanjšanja malih pretokov v južni Sloveniji nezanesljiv.

V primeru scenarija izpustov RCP2.6 so predvidene spremembe podobne kot v scenariju izpustov RCP4.5. Te spremembe so manjše od naravne spremenljivosti. Izjema je le občutno povečanje malih pretokov v Prekmurju ob koncu stoletja (Bertalanič in sod., 2018).



Slika 10: Relativna sprememba srednjih malih pretokov v treh projekcijskih obdobjih glede na obdobje 1981–2010 in pripadajoča zanesljivost spremembe za scenarija izpustov RCP4.5 (levo) in RCP8.5 (desno).

Zaključki

Za pripravo strokovnih podlag za prilagajanje na podnebne spremembe v Sloveniji je ključno poznavanje pretekle podnebne spremenljivosti in ocenjevanje prihodnjih podnebnih razmer. Ocene sprememb pretokov do konca 21. stoletja kažejo, da večjih sprememb srednjih letnih pretokov v Sloveniji v primerjavi z obdobjem 1981–2010 po treh scenarijih izpustov toplogrednih plinov ni pričakovati, z izjemo severovzhoda, kjer bi se pretoki v zmerno optimističnem scenariju izpustov do konca 21. stoletja lahko povečali do 30 %. V primeru pesimističnega scenarija izpustov bo lahko v sredini 21. stoletja na severovzhodu povečanje do 40 %.

Srednje letne konice se bodo po vseh obravnavanih scenarijih izpustov v primerjavi z obdobjem 1981–2010 povečale povsod po državi, v povprečju od 20 do 30 %. Povečanje se od bližnje prihodnosti proti koncu stoletja stopnjuje. Največje povečanje konic bo na

severovzhodu države, kjer bo v primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov povečanje znašalo do približno 30 %. V primeru pesimističnega scenarija izpustov bo povečanje proti koncu 21. stoletja med 20 in 40 % na skoraj vseh vodomernih postajah v Sloveniji.

Spremembe srednjih malih pretokov so po vseh scenarijih prostorsko neenotne in le ponekod v severni polovici Sloveniji kažejo na značilno povečanje za približno 20 %.

Negotovost modelskega ansambla je velika, zlasti pri rekah, kjer so razmerja med malimi, srednjimi in velikimi pretoki velika. Pri velikih pretokih je negotovost večja od negotovosti srednjih in malih pretokov. Pri vseh pa se negotovosti proti koncu stoletja povečujejo (Bertalanč in sod., 2018).

Literatura

- ARSO. (2018). Pregled hidroloških razmer površinskih voda v Sloveniji: Poročilo o monitoringu za leto 2016. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. http://www.arso.gov.si/vode/publikacije_in_poročila/Poročilo_o_hidrološkem_monitoringu_površinskih_voda_za_leto_2016.pdf (30.01.2018)
- Bertalanč, R., Dolinar, M., Draksler, A., Honzak, L., Kobold, M., Kozjek, K., Lokpošek, N., Medevd, A., Vertačnik, G., Vlahovič, Ž., Žust, A. (2018). Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. Sintezno poročilo - prvi del. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/OPS21_Porocilo.pdf (28.11.2018)
- DHI. (2014). MIKE 11: A Modelling System for Rivers and Channels. Reference Manual. Hørsholm, Danska: Danish Hydraulic Institute.
- Gačnik, N., Plečko, J. (2018). Nadgradnja ocene izrednih meteoroloških in hidroloških razmer v Sloveniji do konca 21. stoletja - poročilo projekta za sklopa 4 in 5. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Kobold, M., Brilly, M. (2006). The use of HBV model for flash flood forecasting. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6, 407–417. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/407/2006/. (17.01.2007)
- Kobold, M., Frantar, P., Dolinar, M., (2011). Vpliv padavin na pretočni režim Slovenije. V: *Upravljanje voda v Sloveniji*, Fit media, Celje, 181-193.
- Nielsen, S.A., Hansen, E. (1973). Numerical simulation of the rainfall-runoff process on a daily basis. *Nordic Hydrology* 4: 171–190.
- Oblak, J. (2017). Analiza sezonske spremenljivosti pretokov rek v Sloveniji. Magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 91 str.
- Petan, S., Golob, A., Moderc, M. (2016). Hidrološki prognostični sistem Agencije Republike Slovenije za okolje. *Ljubljana. Acta hydrotechnica* 28/49 (2015): 119–131.
- van Vuuren, D., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., . . . Rose, S. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109, 5-31.