



SEZONSKE SPREMEMBE GLADINE CERKNIŠKEGA JEZERA V OBDOBJU 1961–2020

*Izvirni znanstveni članek
COBISS 1.01
DOI: 10.4312/dela.59.91-150*

Izvleček

V prispevku analiziramo letne spremembe najnižjih (Hnp), srednjih (Hs) in najvišjih (Hvp) letnih vodostajev Cerkniškega jezera v obdobju 1961–2020 ter jih skušamo povezati s spremembami lokalnega podnebja. Manjša količina padavin, višja temperatura in posledično večje izhlapevanje ter manjši vpliv snežnega zadržka se odražajo v spremenjenem odtoku s pojezerja, kar se zrcali v upadu letnih, pomladnih in poletnih Hs in Hvp, medtem ko so zimski in jesenski Hs in Hvp ostali na podobni ravni. Po drugi strani so Hnp razen pomladi v porastu, kar na letni ravni, poleti in jeseni (kolikor to dopušča nezanesljivost podatkov ob najnižjih vodostajih) verjetno lahko pripišemo umetnemu zadrževanju vode v jezeru, pozimi in pomladi pa podnebnim spremembam.

Ključne besede: hidrogeografija, podnebne spremembe, spreminjanje vodostaja, vodni režim jezera, Cerkniško jezero, Notranjsko podolje, Dinarski kras

... *Notranjska cesta 37, 1380 Cerknica, SI-Slovenija

... **Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Oddelek za geografijo, Aškerčeva 2,
... SI-1000 Ljubljana, Slovenija

... e-pošta: stanka.miklic11@gmail.com, tajan.trobec@ff.uni-lj.si

... ORCID: 0000-0002-8784-4366 (T. Trobec)

1 UVOD

Podnebje vpliva na različne procese v okolju in mnoga področja človekovega delovanja. Njegovo spreminjanje je sicer povsem običajno, vendar je zaradi izpustov toplogrednih plinov hitrost spreminjanja podnebja v zadnjih desetletjih nesorazmerno velika (IPCC, 2022). Podnebne spremembe se kažejo v spremenjenih vrednostih pri številnih meteoroloških spremenljivkah, v Sloveniji med drugim v povišanju temperature zraka, spremembi količine, oblike in razporeditve padavin ter v zmanjšanju višine snežne odeje. Njihov vpliv se odraža na gospodarskih dejavnostih, kot so kmetijstvo, gozdarstvo, energetika, turizem, promet itd. (Vertačnik, Bertalanič, 2017), poleg gospodarstva pa so podnebnim spremembam močno podvržene tudi vode ter ekosistemi (Bertalanič in sod., 2018; Trobec, 2022). Jezerski ekosistemi so ključnega pomena za vodne in obvodne organizme ter najrazličnejše človekove potrebe, zaradi česar ima vsakršna sprememba v količini ali poslabšanje kakovosti jezerske vode potencialno široke ekološke in družbene posledice (George, 2010; Vincent, 2009).

V pričajučem prispevku smo za preučevanje vplivov podnebnih sprememb na hidrološke značilnosti voda izbrali Cerkniško jezero, ki se nahaja na kraškem Cerkniškem polju. Zaradi presihajočega režima je Cerkniško jezero v hidrološkem smislu že samo po sebi izjemno spremenljivo (Zhelezov in sod., 2011). Presihajoča kraška jezera imajo zaradi lege na stiku podzemnih in površinskih voda zelo kompleksno hidrologijo, saj na njihovo pojavljanje in višino vode vplivajo številni dejavniki, kot so količina padavin, taljenje snega, izhlapevanje, dotok površinske in podzemne vode, zaloge podzemne vode v kraškem vodonosniku in podzemni odtok (Kovačič, 2010; Mayaud in sod., 2019). Poleg naravnih dejavnikov pa na odtok in s tem gladino vode presihajočih kraških jezer lahko vplivajo tudi različni hidrotehnični posegi na vodotokih, še posebej v ponornem delu polj (zajezitve in namenske ojezeritve, širjenje ponorov ipd.) (Bonacci, 1987).

Pri pregledu literature smo naleteli na številne raziskave, ki preučujejo vpliv podnebnih sprememb na vodno bilanco jezer in količino vode v njih (na primer: Kayastha in sod., 2022; Lenters, Kratz, Bowser, 2005; Torabi Haghigi, Kløve, 2015; Van der Kamp, Keir, Evans, 2008; Wrzesiński, Ptak, 2016), malo pa je raziskav, ki naslavljajo neposredni vpliv podnebnih sprememb na spremembe vodostajev kraških presihajočih jezer (na primer: Morrissey in sod., 2021). Na Cerkniškem jezeru sta se s spreminjanjem vodostaja v povezavi s podnebnimi spremembami in antropogenimi posegi v režim odtoka ukvarjala Mikličeva (2021) in Blatnik s sodelavci (2024). Skupna ugotovitev je pozitiven in statistično značilen trend najnižjih letnih vodostajev (Hnp), medtem ko se zaradi nekoliko različnega obdobja preučevanja zaključki glede trenda srednjih (Hs) in najvišjih vodostajev (Hvp) razlikujejo. Preučeni so bili tudi vodna bilanca Cerkniškega jezera (Kovačič, 2010), vodni režim (Zhelezov in sod., 2011) in poplave (Kranjc, 1986).

V Sloveniji so bile na temo vpliva podnebnih sprememb na hidrološke značilnosti površinskih voda večinoma izdelane študije, ki se nanašajo na vodno bilanco (Andjelov in sod., 2021; Frantar, 2008), trende različnih karakterističnih pretokov na izbranih območjih (na primer: Hrvatin, Zorn, 2020; Kovačič, 2016) in spremembe rečnih pretočnih režimov (Frantar, Hrvatin, 2005). Primerjava vodne bilance Slovenije na ravni celotne države za obdobji 1961–1990 in 1991–2020 kaže na zmanjšanje višine odтока (za 120 mm) in odtočnega količnika (za 3,5 %) kot posledice višjih temperatur in izhlapevanja ter manjše količine padavin (Andjelov in sod., 2021; Kolbezen, Pristov, 1998). Trendi pretokov večine slovenskih vodotokov kažejo na zmanjševanje srednjih in malih pretokov ter daljšanje obdobji z malimi pretoki, ki vodijo v hidrološko sušo, po drugi strani pa na pogostejše in izrazitejše velike pretoke (Kobold, Dolinar, Frantar, 2012). Pri rečnih pretočnih režimih je v Sloveniji kot posledica podnebnih sprememb pri primerjavi obdobji 1961–1990 in 1971–2000 opazno zmanjšanje pomladanskega in povečanje jesenskega pretočnega viška. Zmanjšalo se je število rečnih pretočnih režimov, kot tudi razlike med njimi (Frantar, Hrvatin, 2005).

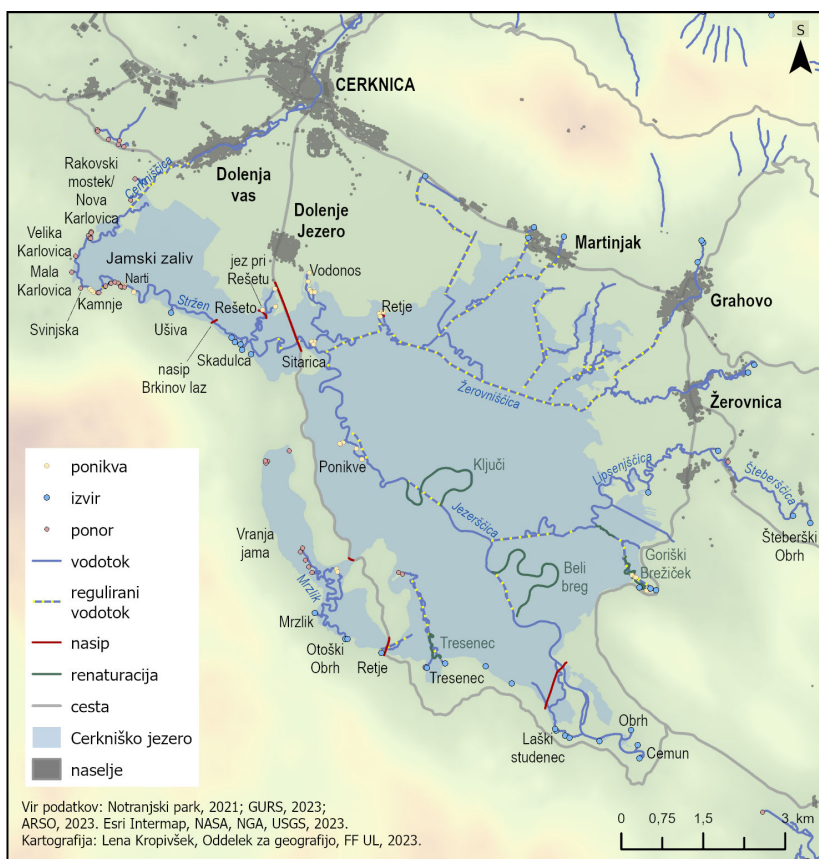
Glede na izsledke navedenih raziskav je moč sklepati, da se posledice podnebnih sprememb odražajo tudi na vodostaju Cerkniškega jezera. Namen pričujočega prispevka je preučiti spreminjanje povprečnega letnega in sezonskega vodostaja Cerkniškega jezera v 60-letnem obdobju 1961–2020 ter povleči morebitne vzporednice s podnebnimi spremembami. Za navedeno obdobje smo preučili in prikazali trende letnega in sezonskega spreminjanja temperature zraka, višine padavin in snežne odeje na območju Cerkniškega jezera in njegovega ožjega vodozbirnega zaledja ter trende spreminjanja letnih in sezonskih srednjih (H_s), najnižjih (H_{np}) in najvišjih (H_{vp}) vodostajev jezera kot tudi najmanjših (Q_{np}), srednjih (Q_s) in največjih (Q_{vk}) pretokov največjega površinskega dotoka – Cerkniščice. Preučili smo tudi povezanost med izbranimi meteorološkimi in hidrološkimi spremenljivkami.

Poznavanje spreminjanja vodostaja Cerkniškega jezera je pomembno z vidika prihodnje dinamike njegovega presihanja in s tem ohranjanja že tako občutljivih, edinstvenih (ob)vodnih in podzemnih ekosistemov, značilnih za kraška polja (Bonacci, 2014; Gaberščik in sod., 2003; 2020). Pri Cerkniškem jezeru je to še toliko pomembnejše, saj gre za svetovno znano presihajoče kraško jezero v osrčju Notranjskega regijskega parka, pomembno območje Nature 2000 in Ramsarske konvencije, pa tudi izjemno pestro območje z vidika geodiverzitete (Stepišnik, Ilc Klun, Repe, 2017). Hkrati je vprašanje spreminjanja vodostajev kot posledice podnebnih sprememb pomembno tudi zaradi uspešnega prilagajanja hidrološkim ekstremom, kot so poplave in suše, ter nadaljnega gospodarskega razvoja širšega območja (kmetijstvo, turizem in druge dejavnosti v pojezerju).

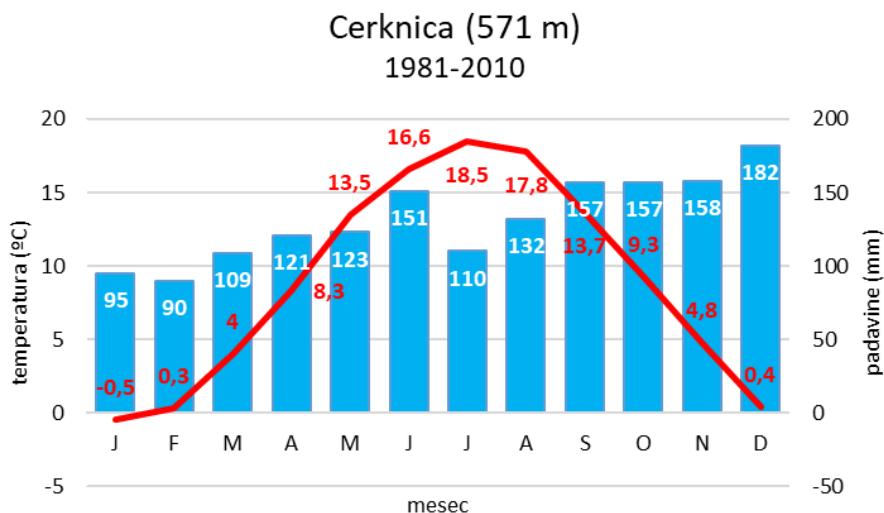
2 PREDSTAVITEV PREUČEVANEGA OBMOČJA

Cerkniško polje je s površino 38 km² največje kraško polje v Sloveniji (Ravbar in sod., 2021) ter osrednje polje v nizu hidrološko povezanih kraških polj Notranjskega podolja, ki je sestavni del porečja Ljubljane (slika 1). Leži med višjim Loškim poljem na jugovzhodu in nižjim Planinskim poljem na severozahodu. Na jugozahodni strani ga obdajajo Javorniki, na severovzhodni pa Slivnica in Bloška planota. Dno polja leži na nadmorski višini okoli 550 m. Za Cerkniško polje je značilno zmernocelinsko podnebje zahodne in južne Slovenije (Ogrin, 1996). Na klimatološki postaji Dolenje Jezero je letna povprečna temperatura zraka v obdobju 1981–2010 znašala 8,9 °C (vrednost je interpolirana na podlagi vrednosti za klimatološko postajo v Postojni). V enakem obdobju je bilo na padavinski postaji v Cerknici v povprečju letno 1552 mm padavin (ARSO, 2022; slika 2).

Slika 1: Karta Cerkniškega polja.



Slika 2: Klimogram za meteorološko postajo Cerknica za obdobje 1981–2010.

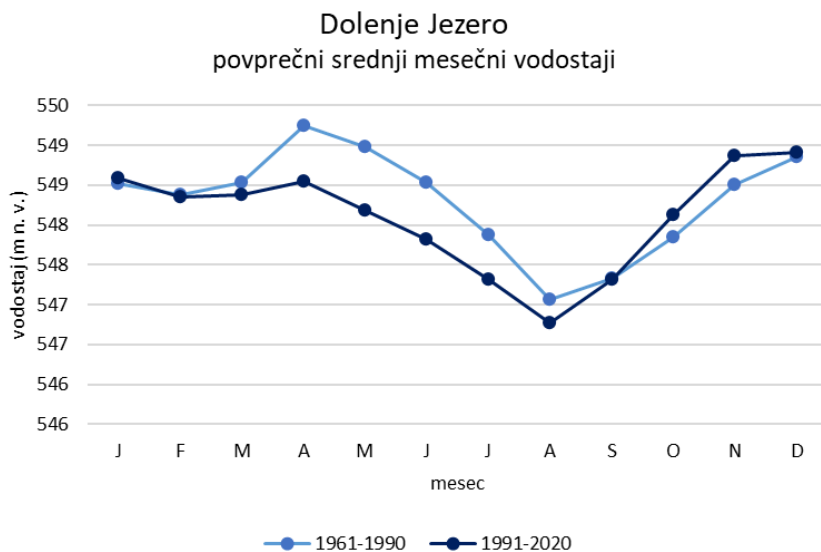


Vir podatkov: ARSO, 2022.

Cerkniško polje predstavlja kombiniran tip robnega in izvirno-ponorniškega polja (Gams, 1974), oziroma kombinacijo občasno ojezerjenega, prelivnega in pritočnega polja (Stepišnik, 2020). Hidrološko zaledje Cerkniškega polja je zelo raznoliko in obsežno, saj se na polje podzemno stekajo vode z Loškega polja in Blok (Kranjc, 1986), površinsko pa nanj doteka vodotok Cerkniščica. Površina zaledja znaša 475 km². Na polje doteka približno 80 % kraške in 15 % površinske vode, preostanek dotoka pa predstavlja padavinska voda s samega polja. Glavnina kraških vodotokov priteka z vzhodnega in jugovzhodnega obrobja polja. Največji vodotok na polju je Stržen, ki se na izviru imenuje Obrh. Na vzhodnem delu polja sta največja dotoka Žerovniščica in Štebersčica, na južni strani pa so večji izviri Laški studenec, Tresenec, Retje, Otoški obrh, Mrzlek, Vranja jama v Zadnjem kraju ter Skadulca in izvir v Ušivi Loki. Cerkniščica je edini daljši površinski nekraški dotok jezera, v katero se zlivajo vode z roba Otavske, Vidovske in Bloške planote (Kranjc, 1986). Odtok Cerkniškega jezera je sestavljen iz več požiralnih enot in je v celoti kraški. Najpomembnejši ponori so povezani s ponornim jamskim sistemom Velike in Male Karlovice ter Svinjske jame v severozahodnem delu polja, imenovanem Jamski zaliv, ki vodo večinoma odvajajo v smeri proti Rakovemu Škocjanu in Planinskemu polju (Gams, 1965; Petrič in sod., 2020). V osrednjem delu polja so številne ponikve (na primer Rešeto in Vodonos južno od vasi Dolenje Jezero), iz katerih se voda podzemno steka neposredno v izvire Ljublanice (Gams, 1965). Najdlje se jezerska voda zadržuje v najnižjem delu polja, imenovanem Zadnji kraj, od koder ravno tako odteka v izvire Ljublanice (Gams, 1965; Kranjc, 1986).

Do ojezeritve Cerkniškega polja pride, kadar dotok preseže vrednost odtoka in gladina vode zraste nad koto 547,4 m (vrednost 184 cm na vodomerni postaji Dolenje Jezero) (Kolbezen, 1998). Redna ojezeritev, definirana kot višina vode, ki je presežena vsaj 10 dni v letu znotraj referenčnega 30-letnega obdobja, pa je po novjših raziskavah opredeljena pri koti 550,3 m (vrednost 474 cm na vodomerni postaji Dolenje Jezero). Pri tej vrednosti voda prelije 21,84 km² veliko območje (Ravbar in sod., 2021). Jezero ima vodo v povprečju devet mesecev na leto. Polno je najpogosteje aprila, maja in decembra, prazno pa med avgustom in oktobrom (Kranjc, 2005). Za vodni režim jezera sta bila v referenčnem obdobju 1961–1990 značilna dva viška (aprila in decembra) in dva nižja (avgusta in februarja) (Kovačič, 2010). Po interpretaciji avtorja je bil aprilski višek deloma pogojen s taljenjem v višjih delih pojezerja med zimo akumuliranega snega, deloma z aktualnimi padavinami v obdobju še pred intenzivno rastno dobo. Decembrski višek je bil posledica kombinacije novembrskega viška padavin in hkratnega kraškega zadržka, ki je glavnino novembrskega odtoka s polja zamaknila v december. Avgustovski nižek je bil pogojen z intenzivnim izhlapevanjem, februarški pa s snežnim zadržkom. Iz priloženega grafikona (slika 3) je razvidno, da se je v naslednjem tridesetletnem obdobju (1991–2020) vodni režim jezera spremenil na račun občutno nižjih pomladanskih in poletnih vodostajev ter nekoliko višjih jesenskih vodostajev. V obdobju med 1961 in 2007 je vodni režim jezera za pet dekad analiziral Zhelezov s sodelavci (2011) ter pokazal na precejšnje razlike med posameznimi dekadami.

Slika 3: Hidrogram srednjih mesečnih vodostajev za vodomerno postajo Dolenje Jezero v obdobjih 1961–1990 in 1991–2020.



Vir podatkov: ARSO, 2022.

Cerkniško polje se nahaja v občini Cerknica. Naselja na Cerkniškem polju imajo, razen osrednjega naselja Cerknica, večinoma podeželski značaj. Z izjemo Dolenjega Jezera so se umaknila dosegu poplav (Smrekar, 2000). Leta 2020 je v njih prebivalo 6120 prebivalcev, od tega približno 2/3 v Cerknici (SURs, 2022). Za manjša naselja v občini je v zadnjih 50 letih značilen upad prebivalstva, v večjih naseljih z boljšimi možnostmi za razvoj različnih dejavnosti (Cerknica, Unec, Rakek, Martinjak in Grahovo) pa se število prebivalcev povečuje. Večina delovno aktivnega prebivalstva se še vedno zaposluje zunaj občine (Pustovrh Benda, 2015). Cerkniško jezero predstavlja turistični potencial širšega območja, ki pa je le deloma izkoriščen. Turistični obisk se sicer povečuje, a je večinoma vezan na enodnevne izletnike, ki kraje ob jezeru obiščejo predvsem v toplejšem delu leta (Lukan, 2017).

3 ANTROPOGENI POSEGI V ODOČNI REŽIM NA CERKNIŠKEM JEZERU

Periodično pojavljanje Cerkniškega jezera so v preteklosti skušali uravnavati na različne načine, odvisno od zgodovinskih razmer in interesov, v katerih so pobude nastale. V agrarni dobi je bila prisotna ideja o njegovi izsušitvi oziroma zmanjšanju obsega in trajanja poplav zavoljo pridobivanja obdelovalnih površin, kasneje pa so prevladovala težnje po stalni ojezeritvi z namenom razvoja turizma in ribištva ter pridobivanja električne energije (Bidovec, 2007).

V imenu izsuševanja so do druge svetovne vojne znižali in očistili nekatere požiralnike, razširili in poglobili ponore Velika Karlovica (slika 4) in Mala Karlovica, Rakovski mostek, Svinjska jama, Kamnje in Narte, odstrelili nekaj sifonov, razširili in znižali podzemelske struge ter postavili grablje na vhodu v obe Karlovici, uredili dotok v Svinjsko jamo, regulirali Stržen z nekaterimi pritoki ter z odvodnimi jarki uredili njegov odtok v bližnje ponikve in ponore. S temi ukrepi so omejili večje povodnji ter povzročili hitrejše odtekanje srednje visokih voda (Kranjc, 1986).

V želji po preprečitvi katastrofalnih poginov rib ob presihanju jezera so domačini leta 1946 zgradili manjši jez pred Rešetom (slika 5), ki je zadrževal nizke vode, da niso odtekle proti Rešetu. Uredili so tudi nasip Brkinov laz na Strženu v višini 200 cm na vodomerni postaji Dolenje Jezero, ki zajezuje odtok vode proti Jamskemu zalivu. Za ohranitev najnižjega vodostaja so leta 1956 poleg obnove jezu pred Rešetom (ponovno je bil obnovljen in povišan leta 1969) preuredili del Stržena in Žerovniščice ter zgradili več manjših zadrževalnikov pri Ponikvi, Retju in Sitarici (Kebe, 2011).

Konec šestdesetih let 20. stoletja so z namenom poskusne zajezitve ponorov zabezonirali vhod v Malo Karlovico, zazidali pet jamskih vhodov v Nartih, Veliko Karlovico pa pregradili z betonskim jezem s prelivom na višini 551 m (544 cm na vodomerni postaji Dolenje Jezero) ter jo z umetnim rovom povezali z Rakovskim mostkom (Novo Karlovico), kjer so na vhodu namestili železno zapornico. Na ta način so zmanjšali odtok pri srednjih in visokih vodah ter podaljšali poplave, ob sušah pa je jezero še vedno presihalo (Bidovec, 2007; Habič, 1974; Kranjc, 1986).

Slika 4: Velika Karlovica (foto: S. Miklič).



Slika 5: Jez pred Rešetom (foto: T. Trobec).



V letih, ki so sledila, so znižali pregrado pred Veliko Karlovico, odmašili nekaj ponorov ter obudili čiščenje in poglabljanje nekaterih strug. Konec osemdesetih in v začetku devetdesetih let 20. stoletja so preuredili objekt na Novi Karlovinci, s čimer je postala glavni ponor za odtok vode iz Cerkniškega jezera s kapaciteto okoli 40 m³/s (Pravilnik za obratovanje ..., 2014). Leta 1992 so odstranili betonsko pregrado na vходу v Malo Karlovico, po poplavih v letu 2000 pa za 60 cm znižali preliv pregrade na Veliki Karlovinci, tako da se čeznjo prelivajo vode le, ko vodostaj na vodomerni postaji Dolenje Jezero doseže 500 cm (Kebe, 2011).

Leta 2015 so pričeli z izvajanjem pravilnika, ki predpisuje režim delovanja zapornice na Novi Karlovinci z namenom ohranjanja ribjega življa, ki je v času drsti vezan na visoko zimsko in pomladansko vodo. Zapornica se zapre s 1. decembrom ter ostane zaprta vse do sredine ali konca maja (odvisno od vodostaja). Odpre se le v primeru, če višina vode na vodomerni postaji Dolenje Jezero preseže 470 cm in to le toliko, da vodostaj preneha naraščati (Pravilnik za obratovanje ..., 2014). Pred letom 2015 z zapornico na Novi Karlovinci niso upravljali, domneva pa se, da je bila večino časa odprta in redno čiščena (Tratnik, 2023).

Leta 2016 in 2018 so ponovno obnovili in nadvišali ribiški jez v Rešetu s prelivno višino, ki odgovarja 150 cm na vodomerni postaji Dolenje Jezero (Tratnik, 2023), s katerim v jezeru ob nizkem vodostaju ohranjajo vodo pri okvirni višini okoli 70 cm na vodomerni postaji Dolenje Jezero (Schein, 2020).

Med leti 2019 in 2021 je pod vodstvom Notranjskega regijskega parka potekala vzpostavitev prvotne struge Stržena v Ključih in Belem bregu ter v letu 2009 renaturacija zgornjih delov Goriškega Brežička in Tresenca, kar naj bi po pričakovanjih nekoliko upočasnilo odtok nizkih voda ter podaljšalo zastajanje vode v depresijah in vzpostavljenih rokavih vodotokov (Tratnik, 2023).

4 METODE DELA

Za preučevano območje smo za obdobje 1961–2020 analizirali povprečno letno in sezonsko višino padavin, višino snežne odeje ter skupno višino novega snega, povprečno letno in sezonsko temperaturo zraka, povprečne letne in sezonske najnižje (Hnp), srednje (Hs) in najvišje (Hvp) vodostaje Cerkniškega jezera ter najmanjše (Qnp), srednje (Qs) in največje (Qvk) letne pretoke Cerkniščice. Sezonske vrednosti se nanašajo na meteorološke letne čase, pri katerih trimesečje med decembrom in februarjem predstavlja zimo, trimesečje med marcem in majem pomlad, trimesečje med junijem in avgustom poletje ter trimesečje med septembrom in novembrom jesen.

Za izračun trendov spreminjanja padavin in snežne odeje na proučevanem območju smo uporabili mesečne višine padavin padavinske postaje Cerknica (ARSO, 2022), ki ima popoln niz. Glede na ta kriterij bi lahko v analizo vključili tudi postaji Šmarata in Nova vas na Blokah, a je preliminarna analiza pokazala veliko ujemanje

v trendih in letni razporeditvi padavin med postajami, zaradi česar se za to na koncu nismo odločili. Pri izračunu in prikazu trenda povprečne dnevne temperature smo temperaturne podatke za klimatološko postajo Dolenje Jezero, ki je delovala le slabih deset let, interpolirali s temperaturnimi podatki klimatološke postaje Postojna, ki je najprimernejša bližnja postaja s homogeniziranim nizom podatkov. Pri interpolaciji smo naprej izračunali razliko v mesečni povprečni temperaturi zraka za skupno obdobje delovanja postaj (1969–1977) ter nato razliko prišteli nizu podatkov meteorološke postaje Postojna za obdobje 1961–2020. V raziskavi nismo posebej upoštevali evapotranspiracije, ki je sicer izračunana za Bloke in Babno Polje, ker gre za izvedeno (preračunano) in ne osnovno (merjeno) meteorološko spremenljivko. Pri analizi vodostajev Cerkniškega jezera smo uporabili mesečne podatke najnižjih, srednjih in najvišjih vodostajev na vodomerni postaji Dolenje Jezero, za analizo pretokov Cerkniščice pa mesečne pretoke vodomerne postaje Cerknica (ARSO, 2022).

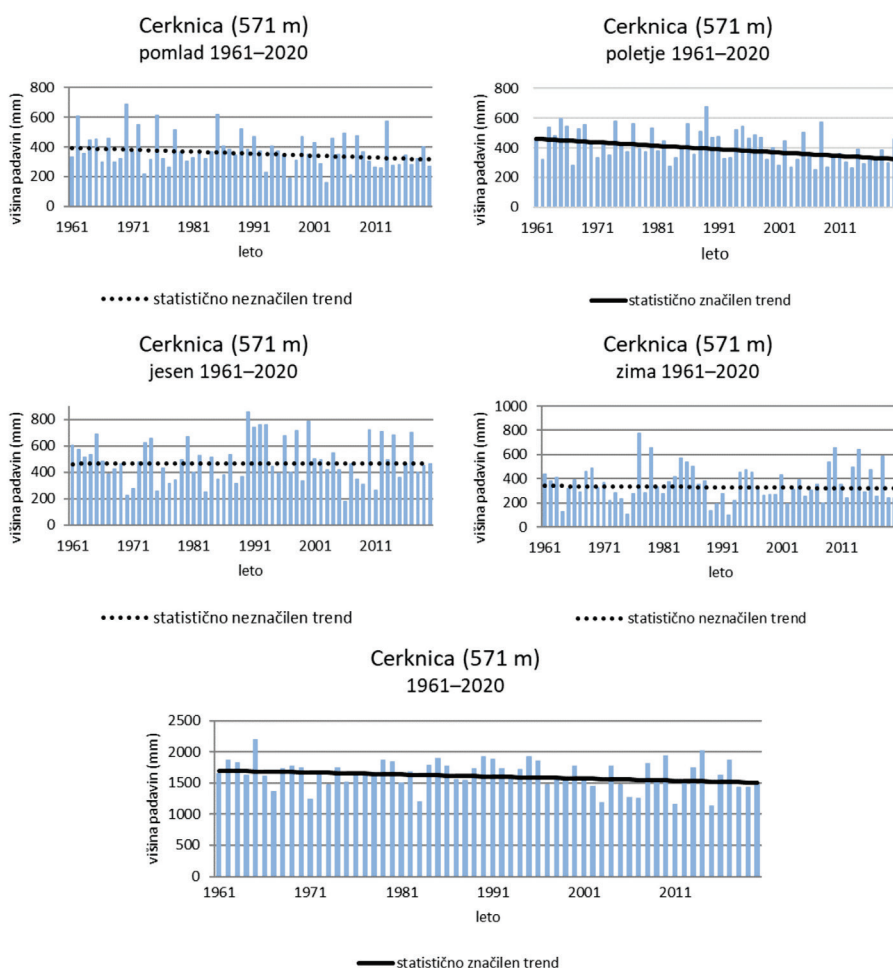
Trend spreminjanja temperature, višine padavin in snežne odeje, vodostajev in pretokov smo računali z Mann-Kendallovim statističnim testom in Senovim naklonom. Mann-Kendallov test nam v primeru prisotnosti trenda pokaže njegovo značilnost, Senov naklon pa vrednost. Mann-Kendallov test in Senov naklon smo izračunali v programu MS Excel, po predlogi MAKESENS (Makesens-application ..., 2021). Povezanost med izbranimi meteorološkimi in hidrološkimi spremenljivkami smo ugotavljali s Spearmanovim koeficientom korelacije (ρ), kjer so podatki pred izračunom preoblikovani v range in zato manj občutljivi za izstopajoče vrednosti. Spearmanov koeficient korelacije za razliko od Pearsonovega tudi ne zahteva linearne povezanosti spremenljivk in normalne frekvenčne porazdelitve (Helsel in sod., 2020) ter je tako primernejši za analizo povezanosti med meteorološkimi in hidrološkimi spremenljivkami, ki predstavljajo vnose in iznose iz kraških sistemov (Kovačič, 2009).

5 REZULTATI

V obdobju 1961–2020 je bila na padavinski postaji Cerknica povprečna letna višina padavin 1629 mm. Zaznan je negativen trend, ki je statistično neznačilen ($\alpha \leq 5\%$) in znaša -33 mm/desetletje, kar pomeni, da se je količina padavin v preučevanem obdobju zmanjšala za 197 mm oziroma 11 %. Najbolj namočeno je bilo leto 1965, ko je padlo 2189 mm padavin, najmanj pa leto 2015 s 1125 mm padavin. Tudi sezonski trendi višine padavin so razen jeseni negativni. Pomladni linearni trend je statistično neznačilen in znaša -13 mm/desetletje, kar pomeni, da se je pomladanska količina padavin zmanjšala za 79 mm oziroma 20 %, povprečna pomladanska količina padavin v preučevanem obdobju pa je znašala 373 mm. Povprečna poletna količina padavin v preučevanem obdobju je znašala 413 mm. Poleti je upad padavin v primerjavi z ostalimi letnimi časi najbolj očitna, saj so se te zmanjšale za 30 % oziroma 139 mm. Linearni trend je v poletnem času statistično značilen ($\alpha \leq 5\%$) in znaša -23 mm/

desetletje. Povprečna višina padavin na padavinski postaji Cerknica je bila s 488 mm v preučevanem obdobju najvišja jeseni. Linearni trend jesenske višine padavin pa je z 0,4 mm/desetletje neznamen in statistično neznačilen. V jesenskem času se je količina padavin v primerjavi z ostalimi letnim časi povečala, a le za 0,5 % oziroma 2 mm. Povprečna zimska višina padavin je v preučevanem obdobju znašala 356 mm, kar kaže na primarni nižek padavin v zimskem času. Trend je statistično neznačilen in znaša –3 mm/desetletje. Pozimi so se tako padavine zmanjšale za 21 mm oziroma 6 % (slika 6).

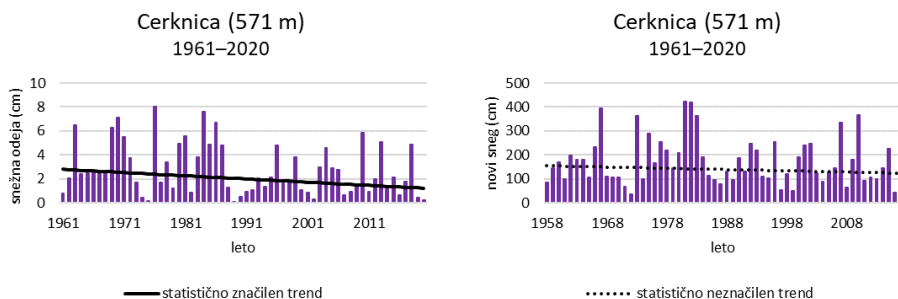
Slika 6: Časovni potek povprečne višine padavin v obdobju 1961–2020 na padavinski postaji Cerknica.



Vir podatkov: ARSO, 2022.

Pri analizi višine snega v obdobju 1961–2020 smo na padavinski postaji Cerknica analizirali dve spremenljivki: povprečno višino snežne odeje in skupno višino novega snega (slika 7). Povprečna višina snežne odeje v poljubnem obdobju ustreza aritmetični sredini vseh dnevnih vrednosti, tudi kadar snega ni (višina snežne odeje je tedaj 0 cm), skupna višina novega snega pa pomeni vsoto dnevnih vrednosti novega snega v izbranem časovnem obdobju (Vertačnik, Bertalanič, 2017). V preučevanem obdobju je bila najvišja povprečna višina snežne odeje leta 1976 (8 cm), najnižja pa leta 1989, ko je znašala 0,1 cm. Do leta 1986 se je vrednost nad 6 cm pojavila še petkrat (leta 1963, 1969, 1970, 1984 in 1986), kasneje pa ne več. Največja skupna višina novega snega je bila leta 1984, ko je znašala 421 cm, najmanjša pa leta 1975 (35 cm). Nad 350 cm je bila vrednost še v letih 1970, 1976, 1985, 1986 in 2013.

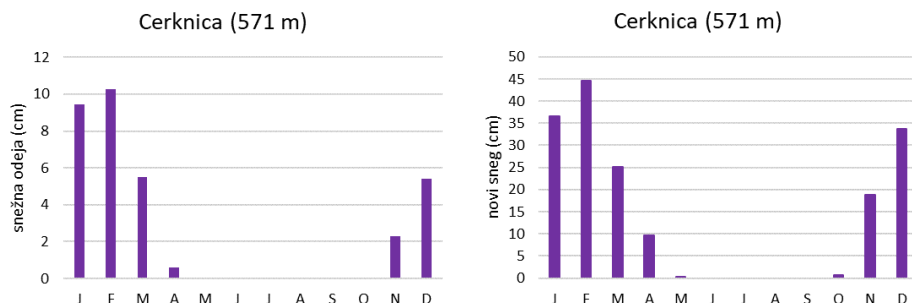
Slika 7: Časovni potek povprečne višine snežne odeje in višine novega snega v obdobju 1961–2020 na padavinski postaji Cerknica.



Vir podatkov: ARSO, 2022.

V preučevanem obdobju je bil na območju Cerkniškega polja najbolj snežen mesec februar (slika 8). Povprečna višina februarske snežne odeje je znašala 10,3 cm, povprečna skupna višina novega snega pa 45 cm. Glavnina novega snega (nad 25 cm na mesečni ravni) je v povprečju zapadla med decembrom in marcem. Povprečna višina snežne odeje na letni ravni je znašala 2,8 cm, skupna višina novega snega pa 170 cm. V preučevanem obdobju smo statistično značilen trend ($\alpha \leq 5\%$) zaznali za povprečno višino snežne odeje, ki znaša $-0,26$ cm/desetletje, kar pomeni zmanjšanje za 1,6 cm oziroma 57 %. Pri skupni višini novega snega je trend ravno tako negativen (-5 cm/desetletje), a ni statistično značilen. Na letni ravni se je v preučevanem obdobju količina novozapadlega snega zmanjšala za 31 cm oziroma 20 %.

Slika 8: Mesečna povprečna višina novega snega in snežne odeje na padavinski postaji Cerknica v obdobju 1961–2020.



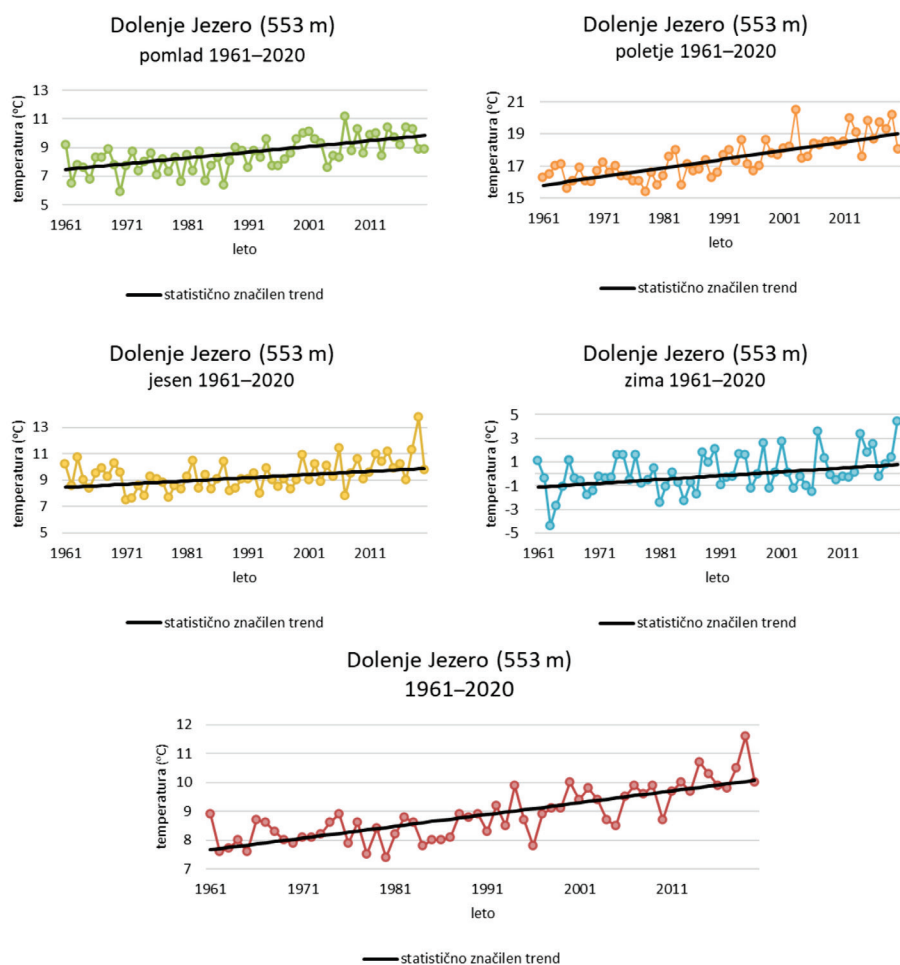
Vir podatkov: ARSO, 2022.

Povprečna letna temperatura zraka na klimatološki postaji Dolenje Jezero je bila v obdobju 1961–2020 8,9 °C. Najnižja letna povprečna temperatura zraka je bila izmerjena leta 1980, ko je znašala 7,4 °C, najtoplejše pa je bilo leto 2019 s povprečno temperaturo 11,6 °C. V preučevanem obdobju je zaznan pozitiven in statistično značilen trend ($\alpha \leq 5\%$), ki znaša 0,4 °C/desetletje, kar pomeni, da se je v preučevanem obdobju ozračje ogrelo za 2,5 °C. Za razliko od trendov povprečne višine padavin so trendi povprečne temperature zraka v vseh letnih časih pozitivni in statistično značilni ($\alpha \leq 5\%$). Največja stopnja ogrevanja je poleti, ko znaša linearni trend 0,5 °C/desetletje. V spomladanskem času znaša linearni trend povprečne temperature zraka 0,4 °C/desetletje, jeseni 0,2 °C/desetletje, pozimi pa 0,3 °C/desetletje. Poleti se je tako v povprečju ogrelo za 3,2 °C, jeseni za 1,5 °C, pozimi za 1,9 °C, pomladi pa za 2,3 °C (slika 9).

Različni vodostaji (Hnp, Hs in Hvp) so v preučevanem obdobju tako na letni ravni kot ob različnih letnih časih podvrženi različnim trendom in posledičnim spremembam v višini njihove gladine (slika 10, slika 11). Trenda najvišjih (Hvp) in srednjih (Hs) letnih vodostajev Cerkniškega jezera na vodomerni postaji Dolenje Jezero sta bila med letoma 1961 in 2020 negativna in statistično neznačilna, medtem ko je bil trend najnižjih letnih vodostajev (Hnp) pozitiven in statistično značilen ($\alpha \leq 5\%$). Glede na enačbo linearne trenda se je v preučevanem obdobju najbolj zmanjšala višina Hvp (30 cm). Zmanjšanje Hs je znašalo 16 cm, povečanje Hnp pa 48 cm. Pomladi so bili trendi vodostajev negativni, a je bil statistično značilen ($\alpha \leq 5\%$) le trend za Hs, čigar zmanjšanje je v preučevanem obdobju znašalo 62 cm, kar je tudi največje zmanjšanje med vsemi sezonskimi Hs. Višina Hnp se je pomladi znižala za 42 cm, višina Hvp pa za 32 cm. V poletnem času sta bila trenda Hvp in Hs negativna, kjer je prvi tudi statistično značilen ($\alpha \leq 5\%$), trend Hnp pa pozitiven in ravno tako statistično značilen ($\alpha \leq 5\%$). Poleti je najbolj opazno zmanjšanje Hvp za 74 cm (največje zmanjšanje med vsemi sezonskimi Hvp), Hnp se je povečal za 40 cm, Hs pa zmanjšal za 54

cm. Jeseni je bil linearni trend Hs negativen in statistično neznačilen z zmanjšanjem za 12 cm v preučevanem obdobju, pri Hvp pa je bil trend neznačen. Trend jesenskega Hnp je bil pozitiven in statistično značilen ($\alpha \leq 5\%$), s povečanjem poletnih najnižjih vodostajev za 47 cm. V zimskem času sta bila trenda Hvp in Hs negativna ter statistično neznačilna, trend Hnp pa je bil pozitiven in prav tako statistično neznačilen. Največja sprememba je pri Hnp (povečanje za 49 cm), Hs se je znižal za 8 cm, Hvp pa je ostal praktično enak.

Slika 9: Časovni potek povprečne temperature zraka v obdobju 1961–2020 na klimatološki postaji Dolenje Jezero.



Vir podatkov: ARSO, 2022.

Slika 10: Časovni potek najnižjih, srednjih in najvišjih vodostajev v obdobju 1961–2020 na vodomerni postaji Dolenje Jezero.



Vir podatkov: ARSO, 2022.

Slika 11: Sintezni prikaz trendov izbranih meteoroloških spremenljivk in vodostajev v obdobju 1961–2020 za padavinsko postajo Cerknica ter klimatološko in vodomerno postajo Dolenje Jezero.

		POMLAD	POLETJE	JESEN	ZIMA	LETO
VODOSTAJ	Hnp	⊖ -42 cm	⊕ 40 cm	⊕ 47 cm	⊕ 49 cm	⊕ 48 cm
	Hs	⊖ -62 cm	⊖ -54 cm	⊕ 12 cm	⊖ -8 cm	⊖ -16 cm
	Hvp	⊖ -32 cm	⊖ -74 cm	⊖ -1 cm	⊖ -1 cm	⊖ -30 cm
PADAVINE		⊖ -79 mm	⊖ -139 mm	×	⊖ -21 mm	⊖ -197 mm
TEMPERATURA		⊕ 2,3 °C	⊕ 3,2 °C	⊕ 1,5 °C	⊕ 1,9 °C	⊕ 2,6 °C

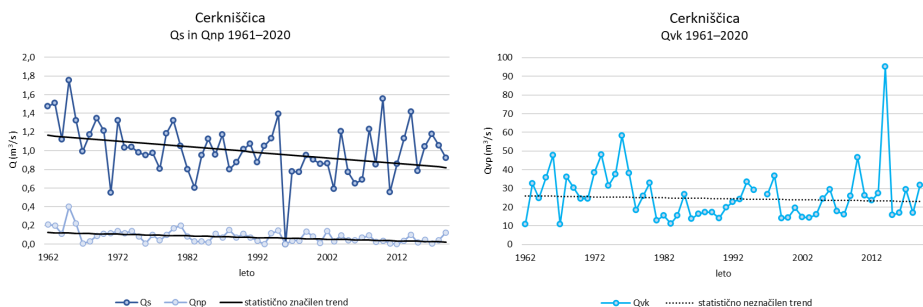
LEGENDA

- ⊖ statistično neznačilen trend
- ⊕ statistično značilen trend
- ⊕ pozitiven trend
- ⊖ negativen trend
- × trenda ni

Vir podatkov: ARSO, 2022.

Trendi letnih pretokov na Cerkniščici so bili v obdobju 1961–2020 negativni. Trenda Qnp in Qs sta statistično značilna ($\alpha \leq 5\%$), trend letnega Qvk pa ni statistično značilen. Zmanjšanje Qs je v preučevanem obdobju znašalo $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ (28 %), zmanjšanje Qvk $3,17 \text{ m}^3/\text{s}$ (12 %), vrednost Qnp pa se je zmanjšala za $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$ oziroma za 78 % (slika 12).

Slika 12: Časovni potek Q_{np} , Q_s in Q_{vp} v obdobju 1961–2020 na vodomerni postaji Cerknica.



Vir podatkov: ARSO, 2022.

Povezanost med vodostaji in izbranimi meteorološkimi spremenljivkami smo ugotavljali s Spearmanovim koeficientom korelacije (ρ) (preglednica 1). Povezanost med različnimi vodostaji (H_{np} , H_s , H_{vp}) in temperaturo zraka je v večini primerov nizka (ρ je med $\pm 0,20$ in $\pm 0,39$), v nekaterih primerih celo neznatna (ρ je med $\pm 0,01$ in $\pm 0,19$), in ima v različnih letnih časih različen predznak. Največja negativna povezanost (srednja) je med poletnima H_s in H_{vp} s temperaturo zraka ($\rho = -0,48$ oz. $-0,49$), srednja povezanost pa je še med letnim H_{np} in temperaturo zraka, le da je ta pozitivna ($\rho = 0,41$). Povezanosti letnih vodostajev s temperaturo zraka so glede na absolutne vrednosti precej različne in imajo tudi različen predznak ($-0,30 < \rho < 0,41$). Pomladi in poleti so povezanosti negativne in neznatne do srednje ($-0,03 < \rho < -0,49$), pozimi pozitivne in neznatne do nizke ($-0,19 < \rho < 0,24$), jeseni pa neznatne ter z različnim predznakom ($-0,07 < \rho < 0,08$).

Povezanost med različnimi vodostaji (H_{np} , H_s , H_{vp}) in višino padavin je povsod pozitivna ter v povprečju višja od povezanosti med vodostaji in temperaturo zraka. V dobri polovici primerov je vsaj srednja (ρ je med $0,40$ in $0,59$), od tega v dveh primerih visoka (ρ je med $0,60$ in $0,79$) ter v enem primeru zelo visoka ($\rho > 0,80$). Največja povezanost se kaže jeseni med H_{vp} in višino padavin ($\rho = 0,86$). Srednja povezanost je med letnim H_{vp} in višino padavin ($\rho = 0,52$), med letnima H_s in H_{np} ter višino padavin pa nizka ($\rho = 0,39$) oziroma neznatna ($\rho = 0,01$). Z izjemo letne ravni ter jeseni je med vsemi vodostaji najbolj izražena povezanost med H_s in višino padavin. Pomladi in poleti je ta srednja ($\rho = 0,55$ oz. $0,46$), jeseni in pozimi pa visoka ($\rho = 0,64$ oz. $0,63$). Neznatna povezanost je le med letnim ter jesenskim H_{np} in višino padavin ($\rho = 0,01$ oz. $0,08$).

Preglednica 1: Vrednosti Spearmanovega koeficienta korelacije (ρ) med vodostaji in temperaturo zraka ter višino padavin.

	Temperatura zraka	Višina padavin
Letni Hs	–0,30*	0,39*
Letni Hnp	0,41*	0,01
Letni Hvp	–0,17	0,52*
Pomladni Hs	–0,40*	0,55*
Pomladni Hnp	–0,33*	0,39*
Pomladni Hvp	–0,19	0,45*
Poletni Hs	–0,48*	0,46*
Poletni Hnp	–0,03	0,24*
Poletni Hvp	–0,49*	0,38*
Jesenski Hs	–0,07	0,64*
Jesenski Hnp	0,08	0,08
Jesenski Hvp	–0,05	0,86*
Zimski Hs	0,19	0,63*
Zimski Hnp	0,24*	0,40*
Zimski Hvp	0,21	0,46*

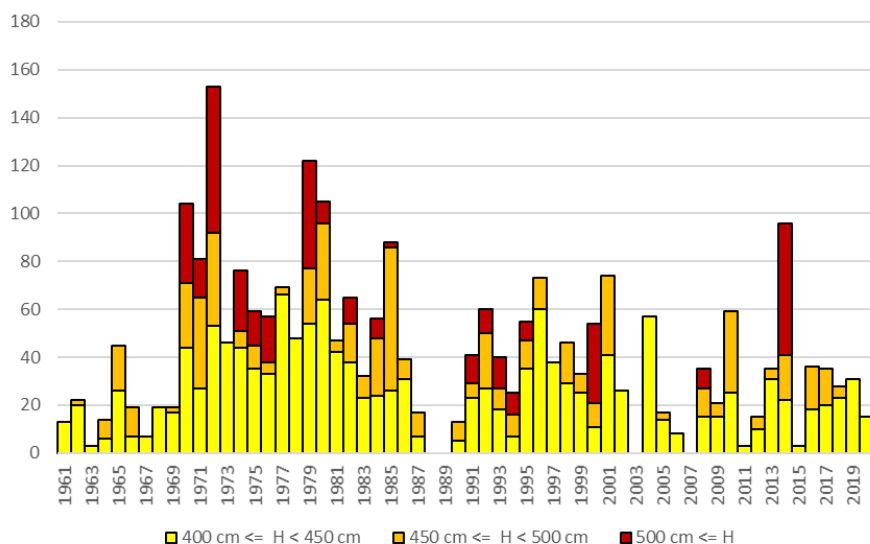
*Povezanost je statistično značilna ($\alpha \leq 5\%$).

6 RAZPRAVA

Negativen trend srednjih in najvišjih vodostajev ter s tem zmanjšanje letnih Hs (16 cm) in Hvp (0,30 cm) Cerkniškega jezera v obdobju 1961–2020 verjetno lahko pripišemo predvsem 11-odstotnemu zmanjšanju letne količine padavin in porastu povprečne temperature zraka za 2,5 °C ter posledičnemu povečanju izhlapevanja. Slednjo domnevo posredno potrjujejo povezave vodostajev s padavinami in temperaturo, in sicer nizka povezanost med Hs in višino padavin ($\rho = 0,39$), srednja povezanost med Hvp in višino padavin ($\rho = 0,52$) ter nizka in neznatna negativna povezanost Hs in Hvp s temperaturo zraka ($\rho = -0,30$ oz. $-0,17$). Del znižanja srednjih in najvišjih vodostajev je morda povezan tudi s postopnim odstranjevanjem nekaterih ukrepov, s katerimi so konec šestdesetih let 20. stoletja izvedli poskusne ojezeritve (Kranjc, 1986), na primer odmašitev nekaterih ponorov, odstranitev pregrade na vhodu v Malo Karlovico, znižanje preliva pregrade pri veliki Karlovi, pa tudi obuditev čiščenja in poglobljanja nekaterih strug (Kebe, 2011). Kljub negativnemu trendu Hvp pa velja izpostaviti, da sta bila absolutno najvišja vodostaja dosežena ravno v drugem delu preučevanega obdobja,

in sicer leta 2000 (654 cm) ter 2014 (628 cm), ko smo bili priča poplavam na širšem območju Slovenije (ARSO, 2014; Kovačič, Ravbar, 2010). Blatnik s sodelavci (2024), ob upoštevanju nekoliko daljšega niza podatkov (1956–2022), v nasprotju z nami ugotavlja rahel pozitiven trend Hvp. Razhajanje je posledica velike variabilnosti najvišjih letnih vodostajev, kjer lahko že majhne razlike v preučevanem nizu vplivajo na obrat trenda. Omenjena ekstremna vodostaja v letih 2000 in 2014 sovpadata z ugotovitvami o pogostejših in izrazitejših velikih pretokih pri nas kot posledici podnebnih sprememb (Kobold, Dolinar, Frantar, 2012) ter nakazujeta na realno možnost, da bomo v prihodnje na Cerkniškem jezeru, ne glede na trend Hvp, ob izjemni količini padavin lahko imeli pogostejše opravka tudi z izjemno visokimi vodami. Vseeno pa se gledano v splošnem število dni z najvišjimi vodostaji, na primer nad 400, 450 ali 500 cm, tudi če odmislimo obdobje poskusa stalne ojezeritve na prehodu iz šestdesetih v sedemdeseta leta 20. stoletja, na Cerkniškem jezeru zmanjšuje (Slika 13).

Slika 13: Število dni v letu z visokim vodostajem na vodomerni postaji Dolenje Jezero v obdobju 1961–2020.



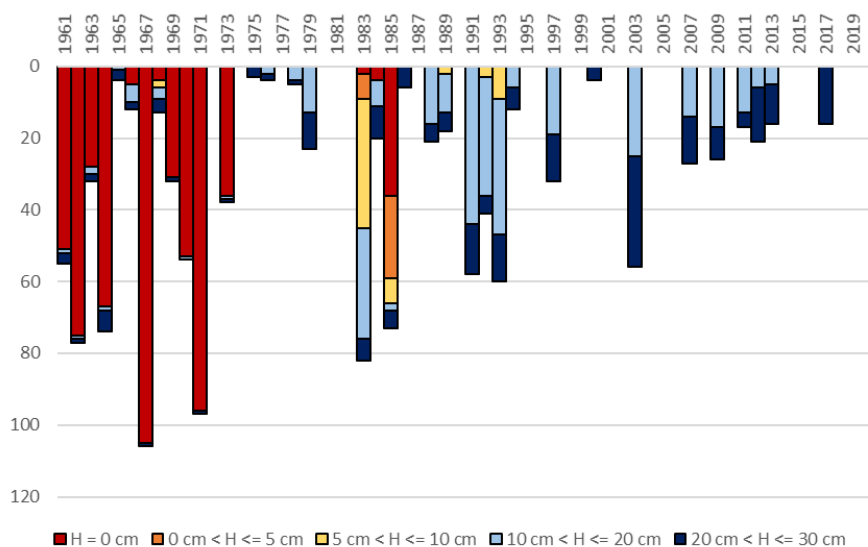
Vir podatkov: ARSO, 2022.

Za razliko od Hs in Hvp je trend Hnp pozitiven in statistično značilen ($\alpha \leq 5\%$), zaradi česar so najnižji letni vodostaji v porastu (povečanje za 48 cm). Kaže se odsotnost povezanosti letnega Hnp z višino padavin ($\rho = 0,01$) ter njegova srednja povezanost s temperaturo zraka ($\rho = 0,41$), pri čemer ima slednja obraten predznak od pričakovanega. Povečevanje najnižjih letnih vodostajev navkljub manjši količini padavin in višji temperaturi je verjetno pogojeno z antropogenimi posegi v odtok.

V tem primeru ima odločujoč vpliv jez pri Rešetu, za katerim zadržujejo vodo ob nizkih vodostajih z namenom ohranjanja ribjega življa. Vsi registrirani letni Hnp so bili namreč v preučevanem obdobju nižji od preliva jez (150 cm na vodomerni postaji Dolenje Jezero). Jez pa je bil v preučevanem obdobju ob visoki vodi večkrat poškodovan, obnovljen ter v želji po večji količini zadržane vode tudi nadvišan (Schein, 2020; Tratnik, 2023), kar bi lahko pojasnilo naraščajoč trend Hnp. Zadrževanje vode ob najnižjih vodostajih pa verjetno ni edini razlog za povečanje Hnp. Domnevamo, da je slednji fenomen deloma tudi odraz načina merjenja vodostaja, ki na vodomerni postaji Dolenje Jezero ni naklonjen preučevanju najnižjih vrednosti. Pogled na priložen grafikon (slika 14) razkrije, da so od začetka delovanja postaje do leta 1974 zelo pogosto zabeležene vrednosti $H = 0$ cm (absolutna nadmorska višina 545,56 m), kar za kasnejše obdobje (z nekaj izjemami v začetku osemdesetih let 20. stoletja) ni več značilno. Od leta 1974 naprej se vse bolj poredko pojavljajo tudi vodostaji nižji od na primer 5, 10, 20 ali 30 cm, čeprav iz prakse vemo, da Stržen v sušnih obdobjih lahko presahne. Kot primer navajamo izjemno suho leto 2022, ko je bil kljub odsotnosti vode najnižji vodostaj uradno registriran pri $H = 30$ cm (ARSO, 2022), saj je bila v času meritve vodomerna letev s koto 0 vkopana v sediment na dnu struge (slika 15). Glede na veliko število registriranih vrednosti $H = 0$ cm v začetnem delu preučevanega obdobja je možno, da je bilo dno struge tedaj nižje in zato vodomerna letev s koto 0 ni bila vkopana v sediment. Povsem možno pa je tudi, da je opazovalec pred letom 1974 (takrat so namreč uvedli zvezni način beleženja vodostaja z limnigrafom) ob odsotnosti vode v strugi, ne glede na morebitno vkopanost vodomerne letve s koto 0 v sediment, vodostaj registriral pri $H = 0$ cm, kar zaradi samodejne registracije v kasnejšem obdobju ni bilo več mogoče. Uradne evidence o načinu registracije najnižjih vodostajev do leta 1974 ter o vkopanosti kote 0 v sediment ne obstajajo, zaradi česar se trenda letnega Hnp verjetno niti ne da zanesljivo interpretirati.

Pretočni podatki za edini večji nekraški dotok na Cerkniško polje – Cerkniščico – na vodomerni postaji Cerknica v enakem obdobju (1961–2020) glede na enačbo linearne trenda kažejo na zmanjšanje srednjega letnega pretoka (Q_s) in največjih letnih pretokov (Q_{vk}) za 28 % oziroma 12 %, kar se sklada s spremembami H_s in H_{vp} Stržena na vodomerni postaji Dolenje Jezero. Za razliko od Hnp, ki se je v preučevanem obdobju povečal, pa so se na Cerkniščici najnižji letni pretoki (Q_{np}) zmanjšali, in to kar za 78 %. Slednje dejstvo je dodaten posredni dokaz, da povečanje najmanjših vodostajev Cerkniškega jezera ne more biti podnebno pogojeno, temveč je v ozadju drug dejavnik – najverjetneje antropogeni posegi v odtok.

Slika 14: Število dni z nizkim vodostajem na vodomerni postaji Dolenje Jezero v obdobju 1961–2020.



Vir podatkov: ARSO, 2022.

Pomladni Hs, Hnp in Hvp Cerkniškega jezera se zmanjšujejo (upad za 62 cm, 42 cm in 32 cm) skladno z vse manjšo spomladansko količino padavin (zmanjšanje za 20 %) in vse višjimi temperaturami (povečanje za 2,3 °C), ki vplivajo na večje izhlapevanje. Slednje se odraža tudi v srednji povezanosti med pomladnim Hs, Hnp in Hvp s padavinami ($0,39 < \rho < 0,55$) ter majhni negativni povezanosti s temperaturo ($-0,40 < \rho < -0,19$). Znatno upad pomladanskih vodostajev je razviden tudi ob primerjavi marčevskih, aprilskih in majskih povprečnih vodostajev obdobj 1961–1990 in 1991–2020 (slika 3). Zniževanje spomladanskih vodostajev verjetno lahko deloma pripišemo tudi manjšemu vplivu snežnega zadržka. Pri tem gre za kombinacijo manjšega deleža zimskih snežnih padavin, ki v določeni meri odtečejo šele spomladi, kot tudi vse manj izdatnih zimskih padavin (zmanjšanje za 6 %). Manjši delež snežnih padavin se kaže v 20-odstotnem zmanjšanju količine novozapadlega snega, 57-odstotno zmanjšanje povprečne višine snežne odeje pa nakazuje na hitrejšo taljenje snega, ki posledično tudi s krajšim časovnim zamikom preide v odtok. Slednje ugotovitve se ujemajo z ugotovitvami o višini snežne odeje pri nas, saj se je ta v obdobju 1961–2011 na ravni države znižala za okoli 16 % na desetletje (Vertačnik, Bertalančič, 2017), slabitev snežnega zadržka pa se na številnih vodotokih kaže kot zmanjšanje spomladanskih pretokov (Frantar, Hrvatinić, 2005). Pri vrednotenju vpliva snežnih padavin na vodostaj Cerkniškega jezera je treba izpostaviti, da smo zaradi odsotnosti višje ležečih padavinskih postaj analize izvedli

na nižinski padavinski postaji Cerknica, ki ni reprezentativna za celotno pojezerje Cerkniškega jezera, saj se sneg v večjih količinah pojavlja še le v višjih legah.

Slika 15: Suha struga Stržena poleti 2022 (foto: T. Trobec).



Poletni Hs je v preučevanem obdobju upadel za 54 cm, kar je drugo največje zmanjšanje Hs za pomladanskim, poletni Hvp pa je upadel za 74 cm, kar je največje zmanjšanje med sezonskimi Hvp. Znatno upad poletnih vodostajev je razviden tudi ob primerjavi junijskih, julijskih in avgustovskih povprečnih vodostajev obdobja 1961–1990 in 1991–2020 (slika 3). Tolikšno zmanjšanje poletnih Hvp in Hs verjetno lahko pripišemo povečanemu izhlapevanju, ki je posledica segrevanja ozračja (poletno povečanje temperature za 3,2 °C je največje med vsemi letnimi časi), ter izrazito manjši količini padavin, ki je najbolj upadla ravno poleti (30 %). Izraženo domnevo potrjuje tudi srednja povezanost poletnih Hs in Hvp z višino padavin ($\rho = 0,46$ oz. 0,38) in s temperaturo zraka ($\rho = -0,48$ oz. $-0,49$), ki ima v tem letnem času pričakovani, negativen predznak. Kljub velikemu upadu poletnih padavin in višjim temperaturam pa je trend poletnih Hnp pozitiven (povečanje za 40 cm), zelo podoben pa je tudi trend jesenskih Hnp (povečanje za 47 cm). Glede na to, da se v preučevanem obdobju letni Hnp v 87 % pojavlja poleti ali jeseni (občasno tudi v obeh letnih časih hkrati), je iz že omenjenih metodoloških negotovosti pri registraciji najnižjih vodostajev (tako kot pri letnih Hnp) nezanesljiva tudi interpretacija trenda poletnih in jesenskih Hnp. Vseeno pa je pozitiven trend poletnih in jesenskih Hnp verjetno možno vsaj v določeni meri povezati z že omenjenim umetnim zadrževanjem vode ob nizkih vodostajih za jezom pri Rešetu. Velika večina poletnih in jesenskih Hnp (90 % oz. 88 %) je bila namreč v posameznih letih nižja od 150 cm na vodomerni postaji Dolenje Jezero, ki ustreza višini preliva nasipa. Domnevo o vplivu umetnega zadrževanja vode na najnižje poletne in jesenske vodostaje posredno potrjujejo tudi neznatna oziroma nizka povezanost poletnih in jesenskih Hnp z višino padavin ($\rho = 0,24$ oz. 0,08) ter neznatna povezanost s temperaturo zraka ($\rho = -0,03$ oz. 0,08), ki ima jeseni poleg tega obraten predznak od pričakovanega. Glede na linearni trend so bile jesenske spremembe Hs v preučevanem obdobju razmeroma majhne (povečanje za 12 cm), Hvp pa je ostal praktično enak. Majhne spremembe vodostajev so verjetno posledica neznatnih sprememb v jesenski količini padavin (povečanje za 0,5 %) ter sorazmerno skromnega povečanja jesenskih temperatur (povečanje za 1,5 °C; najmanj med vsemi letnimi časi). Domnevo posredno potrjuje tudi visoka do zelo visoka povezanost jesenskih Hs in Hvp s padavinami ($\rho = 0,64$ oz. 0,86), medtem ko je povezanost s temperaturo neznatna.

Pozimi je stanje glede trendov pri vodostajih podobno jesenskemu, saj se je zimski Hnp povečal (49 cm), Hs in Hvp pa nista bila podvržena večjim spremembam. Hs se je nekoliko zmanjšal (8 cm), medtem ko je Hvp ostal praktično enak. Na majhno spremembo povprečnega zimskega vodostaja kažejo tudi skoraj identične vrednosti decembrskih, januarskih in februarških povprečnih vodostajev na vodomerni postaji Dolenje Jezero ob primerjavi obdobja 1961–1990 in 1991–2020 (slika 3). Majhnim spremembam v vodostajih verjetno botruje relativno majhna sprememba v zimski količini padavin (zmanjšanje za 6 %), kar se odraža tudi v srednji do visoki povezanosti zimskih Hs in Hvp s padavinami ($\rho = 0,63$ oz. 0,46). V preučevanem obdobju

je bilo znatno tudi povečanje zimske temperature ($1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), kar pa v tem letnem času zaradi siceršnjih nizkih temperatur nima pomembnega vpliva na povečano izhlapevanje in s tem na manjši odtok. Slednje se kaže tudi v povezanosti zimskih Hnp, Hs in Hvp s temperaturo ($0,19 < \rho < 0,23$), ki ima pozitiven predznak. Zimski Hs se na podobni ravni ohranja morda tudi zato, ker je upad zimskih padavin verjetno v določeni meri nadomeščen z njihovim hitrejšim odtokom, kot posledica že omenjenega slabenja vpliva snežnega zadržka (manjši delež zimskih snežnih padavin in hitrejše taljenje ter odtok novozapadlega snega zaradi višje temperature). Zmanjšan vpliv snežnega zadržka pa je verjetno tudi vzrok za povečanje zimskega Hnp.

Zgoraj je predstavljen vertikalni pregled sprememb analiziranih meteoroloških in hidroloških spremenljivk po letnih časih, v nadaljevanju pa podajamo še horizontalni pregled sprememb posameznih vodostajev (Hnp, Hs, Hvp) Cerkniškega jezera preko leta. Srednji vodostaj (Hs) se je v preučevanem obdobju 1961–2020 tako na letni ravni kot tudi na ravni letnih časov (razen jeseni, ko je prisotno majhno povečanje) zmanjšal, njegove spremembe pa sovpadajo z manjšo količino padavin in višjo temperaturo ter večjim izhlapevanjem. Zmanjšanje Hs je največje pomladi in poleti, ko so hkrati največje tudi spremembe v količini padavin in temperaturi. Upad je (razen pozimi in jeseni, ko praktično ni bilo sprememb) značilen tudi za največje vodostaje (Hvp). Tudi ti so se zaradi manjše količine padavin in višje temperature najbolj znižali pomladi in poleti. Znižanje pomladnih in poletnih Hs in Hvp pa je vsaj v manjši meri morda povezano tudi z že omenjeno postopno odstranitvijo nekaterih ukrepov, s katerimi so konec šestdesetih let 20. stoletja izvedli poskusno ojezeritev (Kebe, 2011; Kranjc, 1986). Za najnižje vodostaje (Hnp) je po drugi strani (razen pomladi) značilno povečanje, kar je v nasprotju z zaznanimi spremembami v količini padavin in temperaturi. Povečanje Hnp na letni ravni, kot tudi poleti in jeseni, ko so vodostaji praviloma najnižji, je (kolikor to dopušča že omenjena vprašljiva metodologija registracije najnižjih vodostajev) moč pojasniti z že omenjenim umetnim zadrževanjem vode ob nizkih vodostajih za jezom pri Rešetu (Schein, 2020; Tratnik, 2023). Zimski in pomladni Hnp pa so v splošnem višji od poletnih in jesenskih ter približno v polovici let preučevanega obdobja presegajo vrednost 150 cm na vodomerni postaji Dolenje Jezero, kar pomeni, da ima zadrževanje vode za jezom pri Rešetu nanje sorazmerno manjši vpliv kot poleti in jeseni. V dobri tretjini primerov presegajo tudi vrednost 200 cm, ko se vode Cerkniškega jezera prek nasipa Brkinov laz začno v večjih količinah prelivati proti Jamskemu zalivu (Habič, 1974; Tratnik, 2023) in tako znaten del vode prične ponirati v Karlovicah ter številnih drugih ponorih in ponikvah dolvodno od Rešeta. Glede na podobno razporeditev pojavljanja zimskih in pomladnih Hnp v odnosu do prelivnih višin jezu pri Rešetu in nasipa Brkinov laz sklepamo, da je vpliv antropogenih posegov na Hnp v obeh letnih časih podoben in je razlog za tolikšno razliko v trendu verjetno v večji meri posledica podnebnih sprememb. Zdi se, da je povečanje zimskih Hnp (49 cm) in hkratno zmanjšanje pomladnih Hnp (42 cm) morda posledica že omenjenega slabenja vpliva snežnega zadržka. Dodaten zimski dotok v jezero s

tega naslova sicer ne vpliva na povečanje zimskega Hs, možno pa je, da v zapletenem kraškem sistemu napajanja Cerkniškega jezera vseeno vpliva na povečanje najnižjih vodostajev. Manko pomladnega dotoka v jezero zaradi manjšega vpliva snežnega zadržka pa je verjetno le še dodaten dejavnik že tako izdatnega znižanja pomladnih vodostajev (kot posledice že omenjene manjše količine padavin in višjih temperatur), kar se odraža tudi na poletnem Hnp.

Povezanost med letnimi in sezonskimi vodostaji (Hnp, Hs in Hvp) ter višino padavin oziroma temperaturo zraka je, še posebej pri temperaturi, kjer je med letom in med različnimi vodostaji nekonsistenten tudi predznak povezanosti, v splošnem razmeroma nizka. Vsaj srednja povezanost ($0,40 < \rho < 0,59$) je namreč izražena v tretjini primerov (10), visoka ($0,60 < \rho < 0,79$) v dveh primerih, zelo visoka ($\rho > 0,80$) pa le v enem primeru. Na nižjo povezanost verjetno vpliva več dejavnikov, ki so naravno in antropogeno pogojeni. Eden izmed njih je zagotovo kraški zadržek, zaradi katerega se vodostaj Cerkniškega jezera na padavine odziva z določenim zamikom, voda pa v jezeru ostane visoko še dolgo po njih. Blatnik in sodelavci (2024) so za obdobje 1954–2022 denimo ugotovili največjo povezanost med dnevnim vodostajem Cerkniškega jezera in vsoto predhodnih 45-dnevnih efektivnih padavin (padavine zmanjšane za evapotranspiracijo). Drugi razlog je metodološke narave, saj smo v pričujoči raziskavi izhajali iz realnih in ne efektivnih padavin. Tretji razlog pa so številni antropogeni posegi v odtok, ki so imeli v posameznih obdobjih pri različni višini vode različen vpliv (Blatnik in sod., 2024; Habič, 1974). Višja povezanost med vodostaji (Hnp, Hs in Hvp) in višino padavin v primerjavi s povezanostjo med vodostaji in temperaturo zraka tako na letni kot na sezonski ravni kaže na v splošnem večji vpliv padavin na vodostaj jezera. Nekoliko večja negativna povezanost med vodostaji in temperaturo zraka (ki pa je še vedno manjša od povezanosti med vodostaji in višino padavin) se kaže le pomladi in poleti, kar nakazuje na močnejše izražen vpliv temperature na vodostaje predvsem v toplejšem delu leta, ko je v rastni dobi tudi izhlapevanje intenzivnejše.

7 SKLEP

Spreminjanje podnebja vpliva na spremenjen pretočni režim vodotokov in vodostaj nekaterih jezer. Za preučevanje vplivov spreminjanja podnebja smo si izbrali presihajoče Cerkniško jezero, ki je zaradi svojega kraškega značaja še toliko bolj občutljivo za vsakršne (tudi podnebne) spremembe. V prispevku smo preučili letne in sezonske spremembe vodostaja Cerkniškega jezera med letoma 1961 in 2020 ter poskušali najti povezave z lokalnim spreminjanjem podnebja. V ta namen smo na območju Cerkniškega polja in njegovega ožjega vodozbirnega zaledja analizirali letne in sezonske spremembe količine padavin, snežne odeje in temperature zraka, spremembe najnižjega (Hnp), srednjega (Hs) in najvišjega (Hvp) vodostaja Cerkniškega jezera ter trende najmanjših (Qnp), srednjih (Qs) in največjih (Qvk) pretokov Cerkniščice.

Analize meteoroloških in hidroloških spremenljivk nakazujejo na znatno spremembo vodno bilanco Cerknškega jezera v preučevanem obdobju. Količina padavin se je na območju Cerknškega polja zmanjšala za 11 % oziroma slabih 200 mm. Zmanjšanje je bilo najbolj izrazito poleti (30 %) in pomladi (20 %). Količina novozapadlega snega se je zmanjšala za 20 %, povprečna višina snežne odeje pa za 57 %. Temperatura zraka je narasla za 2,5 °C. Najbolj se je ogrelo poleti (3,2 °C) in pomladi (2,3 °C). V Cerknškem jezeru je skozi leta prisotne vse manj vode, kar se kaže v zmanjšanju srednjega letnega vodostaja (Hs) za 16 cm. Glede na enačbo linearne trenda se je najvišji vodostaj (Hvp) zmanjšal za 30 cm, najnižji (Hnp) pa povečal za 48 cm. Upad Hs in Hvp je povezan predvsem z nižjo količino padavin in višjo temperaturo zraka ter posledičnim povečanjem izhlapevanja, v manjši meri pa morda tudi s postopno odstranitvijo nekaterih antropogenih ukrepov za zadrževanje vode s konca šestdesetih let, s katerimi so tedaj zmanjšali odtok pri srednjih in visokih vodah ter podaljšali poplave. Povečanje Hnp pa je (kolikor to dopušča nezanesljivost podatkov ob najnižjih vodostajih) verjetno možno povezati z umetnim zadrževanjem vode v jezeru za večkrat obnovljenim in nadvišanim jezom v Rešetu v času najnižjih vodostajev, ki je namenjeno ohranjanju ribjih populacij.

Pomladni Hs, Hnp in Hvp Cerknškega jezera so se izrazito zmanjšali (upad za 62 cm, 42 cm in 32 cm). Poleti je značilno zmanjšanje Hvp (74 cm) in Hs (54 cm), Hnp pa se je povečal za 40 cm. Jesenske spremembe so bolj kot ne omejene na povečanje Hnp za 47 cm, medtem ko so spremembe pri Hs razmeroma majhne (povečanje za 12 cm), Hvp pa je ostal praktično enak. Podobno je tudi pozimi, ko se je Hnp povečal za 49 cm, Hs in Hvp pa se skorajda nista spremenila. Sezonske spremembe vodostaja Cerknškega jezera lahko v primeru Hs in Hvp, ki se znižujeta predvsem pomladi in poleti, v znatni meri povežemo z višjimi sezonskimi temperaturami in povečanim izhlapevanjem ter manjšo sezonsko količino padavin, deloma pa morda tudi z omejeno postopno odstranitvijo nekaterih antropogenih ukrepov za zadrževanje visokih in srednjih voda s konca šestdesetih let. Za najnižje vodostaje (Hnp) je podobno kot na letni tudi na sezonski ravni (razen pomladi) značilno povečanje, kar je v nasprotju z zaznanimi spremembami v količini padavin in temperaturi. Povečanje poletnih in jesenskih Hnp (ki so navadno tudi najnižji vodostaji v letu) je tako kot v primeru letnih Hnp (kolikor to dopušča nezanesljivost podatkov ob najnižjih vodostajih) moč povezati z umetnim zadrževanjem vode za jezom v Rešetu v času najnižjih vodostajev. Spremembe pri zimskih in pomladnih Hnp (ki so znatno višji od poletnih in jesenskih Hnp in zato zadrževanju vode ob nizkih vodostajih podvrženi v manjši meri) pa verjetno lahko povežemo s podnebnimi spremembami in posledično vse manj izraženim snežnim zadržkom.

Kljub razmeroma nizki povezanosti letnih in sezonskih Hnp, Hs in Hvp z višino padavin in temperaturo zraka, kjer kvečjemu pri tretjini povezav lahko govorimo o vsaj srednji povezanosti ($0,40 < \rho < 0,59$), lahko zaključimo, da imajo ne glede na to podnebne spremembe odločujoč vpliv na spreminjanje vodostaja jezera – zlasti

v primeru srednjega vodostaja (Hs) in največjih vodostajev (Hvp). Nizki vodostaji (Hnp) pa so bolj kot s podnebnimi spremembami pogojeni z antropogenimi posegi v odtok. Slednjih je bilo v preteklosti veliko in so bili včasih usmerjeni v pospeševanje odtoka, drugič v zadrževanje vode v jezeru. Njihov vpliv na vodostaj je zaradi pogosto nasprotujočih si učinkov, izmenjevanja vodnatih in sušnejših let pa tudi zaradi same presihajoče narave jezera praktično nemogoče povsem objektivno ovrednotiti.

Literatura in viri

- Andjelov, M., Frantar, P., Pavlič, U., Rman, N., Souvent, P., 2021. Količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji. Ljubljana: ARSO.
- ARSO [Agencija Republike Slovenije za okolje], 2014. Hidrološko poročilo o poplavah v dneh od 8. do 27. februarja 2014. URL: <https://www.arso.gov.si/vode/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Porocilo%20poplave%208-27%20feb%202014%20splet.pdf> (citirano 4. 8. 2022).
- ARSO [Agencija Republike Slovenije za okolje], 2022. Meteorološki in hidrološki podatki. URL: <https://www.arso.gov.si/> (citirano 16. 8. 2022)
- Bertalanich, R. in sod., 2018: Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. Sintezno poročilo – prvi del. Ljubljana: ARSO.
- Bidovec, M., 2007. Pretekli posegi na Cerkniškem jezeru. Novice Notranjskega regijskega parka, 1, 2, str. 2–7.
- Blatnik, M., Gabrovšek, F., Ravbar, N., Frantar, P., Gill, L. W., 2024. Assessment of climatic and anthropogenic effects on flood dynamics in the Cerkniško Polje (SW Slovenia) based on a 70-year observation dataset. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 51 (v tisku).
- Bonacci, O., 1987. Man's influence on the water regime in the karst terrains. V: Bonacci, O. (ur.). *Karst hydrology: with special reference to the Dinaric karst*. Berlin: Springer, str. 150–173.
- Bonacci, O., 2014. Ecohydrology of karst poljes and their vulnerability. V: Sackl P., Durst, R., Kotrošan, D., Stumberger, B. (ur.). *Dinaric karst poljes – floods for life*. Radolfzell: EuroNatur, str. 25–37.
- Frantar, P. (ur.), 2008. *Vodna bilanca Slovenije 1971–2000*. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Frantar, P., Hrvatinić, M., 2005. Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971 in 2000. *Geografski vestnik*, 77, 2, str. 115–127.
- Gaberščik, A., Grašič, M., Abram, D., Zelnik, I., 2020. Water level fluctuations and air temperatures affect common reed habitus and productivity in an intermittent wetland ecosystem. *Water* 2020, 12, 10, str. 2806.
- Gaberščik, A., Urbanc-Berčič, O., Kržič, N., Kosi, G., Brancelj, A., 2003. The intermittent Lake Cerknica: Various faces of the same ecosystem. *Lakes & Reservoirs Research & Management*, 8, 3–4, str. 159–168.

- Gams, I. 1965. Aperçu sur l'hydrologie du karst Slovine et sus communications souterraines. Naše jame 7, 1–2, str. 51–60.
- Gams, I. 1974. Kras v Sloveniji v prostoru in času. Ljubljana: Založba ZRC, ZRC SAZU.
- George, G. (ur.), 2010. The impact of climate change on European lakes. Dordrecht, New York: Springer.
- Habič, P., 1974. Tesnenje požiralnikov in presihanje Cerkniškega jezera. Acta carso-logica, 6, str. 35–56.
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M., Ryberg, K. R., Archfield, S. A., Gilroy, E. J., 2020. Statistical methods in water resources. Reston: U.S. Geological Survey. DOI: 10.3133/tm4a3.
- Hrvatín, M., Zorn, M., 2020. Climate and hydrological changes in Slovenia's mountain regions between 1961 and 2018. Economic- and Ecohistory, 16, 1, str. 201–218.
- IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (ur.). Cambridge University Press (*v tisku*).
- Kayastha, M. B., Ye, X., Huang, C., Xue, P., 2022. Future rise of the Great Lakes water levels under climate change. Journal of Hydrology, 612, B, str. 128–205.
- Kebe, J., 2011. Cerkniško jezero in ljudje ob njem. Koper: Ognjišče.
- Kobold, M., Dolinar, M., Frantar, P., 2012. Spremembe vodnega režima zaradi podnebnih sprememb in drugih antropogenih vplivov. I. kongres o vodah Slovenije, str. 7–22.
- Kolbezen, M., 1998. Hidrografija. V: Gams, I., Vrišer, I. (ur.). Geografija Slovenije. Ljubljana: Slovenska matica, str. 139–172.
- Kolbezen, M., Pristov, J., 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije.
- Kovačič, G., 2009. Hidrologija kraškega izvira Malenščica in njegovega hidrografskega zaledja. Doktorska disertacija. Koper: Univerza na Primorskem, Fakulteta za humanistične študije, 329 str.
- Kovačič, G., 2010. An attempt towards an assessment of the Cerknica polje water balance. Acta carsologica, 39, 1, str. 39–50.
- Kovačič, G., 2016. Trendi pretokov rek jadranskega povodja v Sloveniji brez Posočja. Geografski vestnik, 88, 2, str. 9–29.
- Kovačič, G., Ravbar, N., 2010. Extreme hydrological events in karst areas of Slovenia, the case of the Unica River basin. Geodinamica Acta, 23, 1–3, str. 89–100.
- Kranjc, A., 1986. Cerkniško jezero in njegove poplave. Acta geographica, 25, str. 75–123.
- Kranjc, A., 2005. Kako nastaja in izginja Cerkniško jezero? »Jezero, ki izginja« – monografija o Cerkniškem jezeru. Kras: revija o Krasu in krasu, o ljudeh in njihovem ustvarjanju 70, str. 12–17.

- Lenters, J. D., Kratz, T. K., Bowser, C. J., 2005. Effects of climate variability on lake evaporation: Results from a long-term energy budget study of Sparkling Lake, northern Wisconsin (USA), 308, 1–4, str. 168–195.
- Life Stržen. 2019. URL: <http://life.notranjski-park.si/sl/> (citirano 14. 10. 2019).
- Lukan, A., 2017. Razvoj turizma v okolici Cerkniškega jezera. Ljubljana: Ekonomska fakulteta. URL: http://www.cek.ef.uni-lj.si/vps_diplome/lukan744.pdf (citirano 15. 9. 2022).
- Makesens-application for trend calculation. 2021. URL: <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/makesens> (citirano 13. 5. 2021).
- Mayaud, C., Gabrovšek, F., Blatnik, M., Kogovšek, B., Petrič, M., Ravbar, N., 2019. Understanding flooding in poljes: A modelling perspective. *Journal of Hydrology*, 575, str. 874–889.
- Miklič, S., 2021. Spreminjanje vodostaja Cerkniškega jezera v obdobju 1958–2019. Magistrsko delo. Ljubljana: Oddelek za Geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani.
- Morrissey, P., Nolan, P., McCormack, T., Johnston, P., Naughton, O., Bhatnagar, S., Gill, L., 2021. Impacts of climate change on groundwater flooding and ecohydrology in lowland karst. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, str. 1923–1941. DOI: 10.5194/hess-25-1923-2021.
- Občina Cerknica. URL: <https://www.stat.si/obcine/sl/Municip/Index/18> (citirano 15. 9. 2022).
- Ogrin, D., 1996. Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 68, str. 39–56.
- Perko, D., Orožen Adamič, M., (ur.), 1998. Slovenija. Pokrajine in ljudje. Ljubljana: Mladinska knjiga.
- Petrič, M., Ravbar, N., Gostinčar, P., Krsnik, P., Gacin, M., 2020. Vzpostavitev prosto dostopne GIS zbirke rezultatov sledenj toka podzemne vode in možnosti njene uporabe. *Geologija*, 63, 2, str. 203–220.
- Pravilnik za obratovanje in vzdrževanje zapornice Nova Karlovica na Cerkniškem polju. 2014. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiRqeGSpNqCAxVXhP0HHSUPBswQFnoE-CBMQAQ&url=https%3A%2F%2Frdcerknica.si%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F12%2FPRAVILNIK-ZA-OBRATOVANJE-IN-VZDRZEVANJE-NOVA-KARLOVICA.pdf&usg=AOvVaw0Ru4c8SYzdPLsmEZSo9LwD&opi=89978449> (citirano, 22. 11. 2022).
- Pustovrh Benda, M., 2015. Prikaz stanja prostora za območje občine Cerknica. URL: <https://cerknica.eobcina.si/files/other/acts/31/9528Prikaz%20stanja%20prostora%202.pdf> (citirano 19. 9. 2022).
- Ravbar, N., Mayaud, C., Blatnik, M., Petrič, M. 2021: Determination of inundation areas within karst poljes and intermittent lakes for the purposes of ephemeral flood mapping. *Hydrogeology Journal*, 29, str. 213–228. DOI: 0.1007/s10040-020-02268-x.

- Schein, T., 2020. Posegi na Cerkniškem jezeru (osebni vir, 8. 10. 2020). Cerknica.
- Smrekar, A. 2000: Cerkniško polje kot primer poseljenega kraškega ranljivega območja. *Geographica Slovenica*, 33, 1, str. 117–156.
- Spearmanov koeficient korelacije. URL: <https://www.statistik.si/spearmanov-koeficient/> (citirano 12. 10. 2022).
- Stepišnik, U., 2020. Kraška polja v Sloveniji. *Dela*, 53, str. 23–43. DOI: 10.4312/dela.53.23-43.
- Stepišnik, U., Ilc Klun, M., Repe, B., 2017. Vrednotenje izobraževalnega potenciala geodiverzitete na primeru Cerkniškega polja. *Dela*, 47, str. 5–21.
- SURS [Statistični urad Republike Slovenije], 2022. Prebivalstvo. URL: <https://pxweb.stat.si/SiStat/sl/Podrocja/Index/100/prebivalstvo> (citirano 15. 9. 2022).
- Torabi Haghighi, A., Kløve, B., 2015. A sensitivity analysis of lake water level response to changes in climate and river regimes. *Limnologica*, 51, str. 118–130.
- Tratnik, D., 2023. Posegi na Cerkniškem jezeru (osebni vir, 22. 11. 2023). Cerknica.
- Trobec, T., 2022. Vpliv podnebnih sprememb na vode v Sloveniji. *Geomix*, 29, 2, str. 37–40.
- Turk, J., Pipan, T., 2009. Cerkniško polje. URL: <http://www.dedi.si/dediscina/9-cerkni-sko-polje> (citirano 18. 2. 2022).
- Van der Kamp, G., Keir, D., Evans, M. S., 2008. Long-term water level changes in closed-basin lakes of the Canadian prairies. *Canadian Water Resources Journal*, 33, str. 23–38.
- Vertačnik, G., Bertalanič, R., 2017. Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011. Značilnosti podnebja v Sloveniji. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Vincent, W. F., 2009. Effects of climate change on lakes. V: Likens, G. E. (ur.). *Encyclopedia of Inland Waters*. Elsevier, str. 55–60.
- Wrzesiński, D., Ptak, M., 2016. Water level changes in Polish lake during 1976–2010. *Journal of Geographical Sciences*, 26, str. 83–101. DOI: 10.1007/s11442-016-1256-5.
- Zhelezov, G., Varbanov, M., Germ, M., Gaberscik, A. 2011. Hydrological characteristics and related ecosystem services of Srebarna and Cerknica lakes. *Problems of geography*, 1–2, str. 107–118.