

Podnebje v zaledju Cerkniškega polja – splošne značilnosti, trendi in pričakovana dinamika v prihodnosti

Matej Blatnik, Nataša Ravbar, Franci Gabrovšek, Peter Frantar, Mišo Andjelov, Florjana Ulaga

Uvod

Na hidrološke značilnosti Cerkniškega polja in z njim povezano biotsko raznovrstnost poleg lege, reliefnih in geoloških razmer poglavitno vplivajo tudi podnebne razmere. Te so v preteklosti obravnavali številni raziskovalci (npr. Bernot, 1976; Kranjc, 1986; Smrekar, 2000; Zupančič, 2002), nedavno pa tudi Miklič in Trobec (2023).

Meteorološki podatki in simulacije skladno nakazujejo spremenjene vzorce padavinskih in temperaturnih režimov (IPCC 2022). V tem prispevku zato obravnavamo dolgoletni niz podatkov o glavnih podnebnih spremenljivkah, kot so temperatura zraka, padavine, snežna odeja, evapotranspiracija in efektivne padavine, ki jih Agencija Republike Slovenija za okolje na območju hidrološkega zaledja Cerkniškega polja neprekinjeno spremlja od leta 1948.

Splošne značilnosti podnebja

Cerkniško polje in njegovo zaledje se nahaja na prehodu med jugozahodno in južno Slovenijo na širokem razponu nadmorskih višin od 550 do 1800 m. S podnebnega vidika gre tu za prepletanje dveh od treh glavnih tipov podnebja, ki so prisotni v Sloveniji: podgorsko in gorsko podnebje. Mestoma se v nekaterih obdobjih kažejo tudi vplivi zmernege sredozemskega podnebja (Ogrin in sod., 2023).

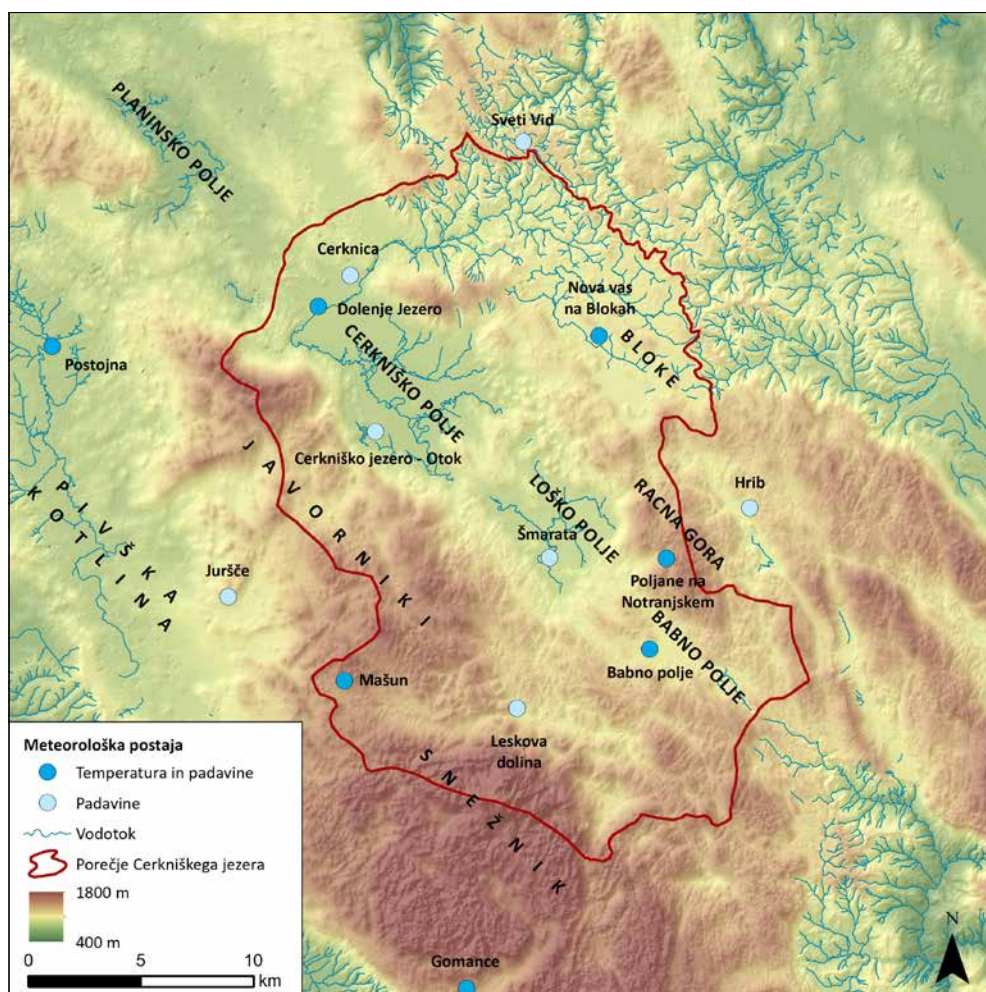
Večina hidrološkega zaledja Cerkniškega polja (celotno območje z izjemo najvišjih vrhov Javornikov in Snežnika) ima podgorsko podnebje. Zanj je značilno, da je povprečna temperatura najhladnejšega meseca med -3 in 0 °C, povprečna temperatura najtoplejšega meseca med 16 in 20 °C, povprečna letna temperaturna amplituda je med 18 in 20 °C, oktober pa je v povprečju toplejši od aprila. Letna višina padavin je preko 1400 mm, padavinski režim pa je zmerno sredozemski z viškom jeseni (Ogrin in sod., 2023). Zaledje Cerkniškega polja najbolj ustreza podtipu »zelo vlažnega podgorskega podnebja« z Langovim padavinskim faktorjem (razmerje med povprečno višino padavin in povprečno letno temperaturo zraka) preko 160 (Ogrin in sod., 2023).

Za gorsko podnebje je značilno, da je povprečna temperatura najhladnejšega meseca pod -3 °C, povprečna letna temperatura pod 6 °C, povprečna letna temperaturna amplituda pod 18 °C in letna višina padavin nad 1600 mm (Ogrin, 1996; Ogrin in sod., 2023). Najvišji predeli Javornikov in Snežnika najbolj ustrezajo podtipu »podnebja nižjega gorskega sveta« (Ogrin in sod., 2023). Zanj je značilno, da je povprečna temperatura najtoplejšega meseca nad 10 °C, povprečna letna temperatura 3 – 6 °C, povprečna letna višina padavin 1400 – 2000 mm in zmerno sredozemski padavinski z viškom padavin v jesenskih mesecih (Ogrin in sod., 2023). S splošnim višanjem temperatur in spreminjanjem padavinskega režima nekatera območja s podgorskim podnebjem postopoma kažejo značilnosti zmernege sredozemskega podnebja, kar je v posameznih letih po letu 2000 mogoče zaznati tudi na nižjih območjih zaledja Cerkniškega polja (Kovačič in sod., 2020). Za zmerno sredozemsko podnebje je sicer značilno, da je temperatura najhladnejšega

meseca nad 0 °C, povprečna temperatura najtoplejšega meseca nad 20 °C, povprečne oktoberске temperature so višje od aprilskih, povprečna letna temperaturna amplituda pa je pod 20 °C. Povprečna letna višina padavin je med 900 in 1400 mm, padavinski režim pa je zmerno sredozemski z viškom padavin v jesenskih mesecih (Ogrin in sod., 2023).

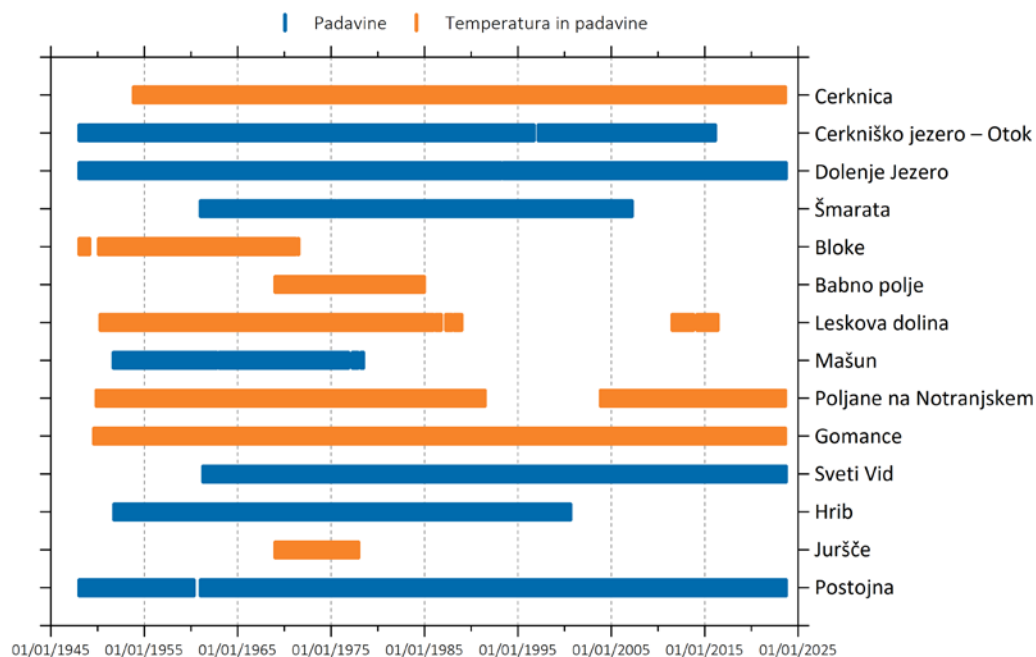
Metodologija

Za razumevanje podnebnih razmer smo analizirali meteorološke podatke celotnega hidrološkega zaledja Cerkniškega polja, ki meri okoli 475 km² (Žibrik in sod., 1976; Kranjc, 1986). V sklopu meteoroloških meritev, ki jih izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), je na tem območju 9 meteoroloških postaj z vsaj 10 leti zveznih meritev padavin in/ali temperature zraka, in sicer so to: Cerknica, Dolenje Jezero, Cerkniško jezero - Otok, Nova vas na Blokah, Šmarata, Babno polje, Poljane na Notranjskem, Leskova Dolina in Mašun (ARSO, 2017a; b; c). Meteorološke postaje so geografsko enakomerno razporejene po celotnem zaledju, prav tako pokrivajo velik razpon nadmorskih višin (od 563 m na Dolenjem Jezeru do 1030 m na Poljanah na Notranjskem), s čimer je zajeta večina regionalnih podnebnih posebnosti območja (slika 1).



Slika 1: Opredelitev hidrološkega zaledja Cerkniškega polja z okoliškimi meteorološkimi postajami (vir podatkov ARSO, 2017a; b; c).

Glavne podnebne značilnosti smo analizirali na podlagi meritev padavin in temperature zraka. Te na različnih meteoroloških postajah potekajo od leta 1948 naprej (slika 2), uporabljeni podatki pa so v dnevni ali mesečni časovni ločljivosti (ARSO, 2023a; b). Pri izboru podatkov smo se osredotočili na podatke postaj znotraj zaledja Cerknškega polja, na območju z redkejšo mrežo meritev pa smo uporabili tudi podatke okoliških postaj: Postojna (temperatura, padavine, potencialna evapotranspiracija), Gomance (temperatura, padavine), ter Juršče, Sveti Vid in Hrib - Loški Potok (padavine).



Slika 2: Obdobje meritev posameznih spremenljivk na izbranih meteoroloških postajah (vir podatkov ARSO, 2017a; b; c).

Dejansko evapotranspiracijo in odtok (površinski ter podzemni) za zaledje Cerknškega polja smo izračunali z vodno bilančnim modelom mGROWA, ki je sicer izdelan za ugotavljanje napajanja podzemne vode v izbranem hidrološkem zaledju. Model mGROWA pri analizi upošteva klimatske razmere (padavine, izhlapevanje in temperaturo zraka), geološko zgradbo, vrsto tal, rabo prostora, naklon površja in globino do podzemne vode (Frantar in sod., 2018). Napajanje podzemne vode se izračunava na podlagi skupnega odtoka preko modeliranja transporta vode v tleh (Engel in sod., 2012), modeliranja snega ter s pomočjo sheme indeksa baznega odtoka za določitev deleža podzemnega odtoka (Demuth, 1993). Zanesljivost izračuna je bila potrjena s podatki o pretokih z državne mreže hidroloških merilnih postaj.

Sezonska dinamika glavnih podnebnih spremenljivk in modelska vodna bilanca

Temperatura

Na območju Cerknškega polja je bila v preteklosti samo ena meteorološka postaja, ki je beležila temperaturo zraka in višino padavin, in sicer Dolenje Jezero (1969–1977). Na širšem območju – to je na območju celotnega hidrološkega zaledja Cerknškega polja so bile v preteklosti vzpostavljene meritve na petih mestih.

Dve med njimi (Nova vas na Blokah in Babno polje) sta še vedno aktivni, meritve na postajah Mašun in Poljane na Notranjskem pa so bile že pred časom opuščene (slika 2, preglednica 1), zato je neposredna primerjava med postajami otežena. Ker se meteorološki postaji Nova vas na Blokah (720 m) in Babno polje (753 m) nahajata na nekoliko večji nadmorski višini kot dno Cerkniškega polja (okoli 550 m), za primerjavo ponujamo še meteorološko postajo Postojna s primerljivo nadmorsko višino (533 m) in reprezentativno dolгим obdobjem meritev. Zaradi redkejšje merilne mreže na kraških planotah dodajamo tudi zgodovinske meritve iz meteorološke postaje Gomance, ki se je nahajala nekaj kilometrov južneje od meje hidrološkega zaledja Cerkniškega polja (preglednica 1, slika 1).

Povprečna temperatura zraka v okoli 70-letnem obdobju meritev je v Postojni (533 m) znašala 9,1 °C, kar je nekoliko več kot je bilo v obdobju 1969–1977 na Dolenjem Jezeru (8,3 °C) na podobni nadmorski višini. Na skoraj 200 m večji nadmorski višini v Novi vasi na Blokah (720 m) je bila temperatura še nekoliko nižja (7,6 °C), na Babnem polju (753 m) pa 6,5 °C. Letna dinamika temperature kaže podobno porazdelitev z najtoplejšim mesecem julijem in najhladnejšem mesecem januarjem, ko je povprečna temperatura na skoraj vseh lokacijah negativna (preglednica 1). Podrobnejša primerjava med meteorološkimi postajami kaže, da so razlike v povprečni temperaturi najmanjše v topli polovici leta, največje pa v hladni, ko se sicer na dnu vseh kraških polj pojavlja temperaturni obrat (slika 3), a je ta izrazitejši na Blokah in Babnem polju.

Preglednica 1: Povprečna mesečna in letna temperatura zraka (°C) na meteoroloških postajah v okolici Cerkniškega polja. Pod imenom postaje je navedena njena nadmorska višina in obdobje zajetih podatkov. Modri odtenki prikazujejo nižje, rdeči pa višje temperature zraka (vir podatkov ARSO, 2023a).

	Postojna 533 m 1954–2022	Dolenje Jezero 553 m 1969–1977	Nova vas na Blokah 720 m 1957–2022	Babno polje 753 m 1950–2022	Gomance 937 m 1953–1970	Mašun 1027 m 1972–1985	Poljane na Notranjskem 1030 m 1969–1984
Januar	-0,1	0,1	-2,0	-3,0	-2,1	-3,0	-1,3
Februar	1,0	0,9	-0,7	-1,9	-1,4	-2,3	-1,4
Marec	4,2	3,1	2,6	1,2	1,0	1,0	1,6
April	8,1	7,4	6,8	5,8	5,5	4,3	4,8
Maj	12,8	12,7	11,7	10,6	9,8	9,0	10,0
Junij	16,6	15,5	15,5	14,6	13,5	12,6	13,3
Julij	18,6	17,5	17,3	16,3	15,4	14,6	15,6
Avgust	17,9	16,7	16,4	15,3	14,9	13,8	15,1
September	13,9	13,1	12,4	11,4	12,2	10,7	12,0
Oktober	9,8	8,0	8,1	7,2	7,9	6,6	7,4
November	5,0	5,0	3,5	2,7	3,6	1,4	3,1
December	1,0	-0,7	-0,8	-1,5	-0,1	-1,1	-0,1
POVPREČJE	9,1	8,3	7,6	6,5	6,7	5,6	6,7

Pretekli podatki o temperaturi zraka na višje ležečih postajah Gomance, Mašun in Poljane na Notranjskem kažejo podobno razporeditev temperature preko leta z najvišjimi temperaturami v juliju in najnižjimi v januarju. Povprečna temperatura zraka v celotnem obdobju je bila na Mašunu (1027 m) najnižja (5,6 °C), na Gomancah (937 m) in Poljanah na Notranjskem (1030 m) pa rahlo višja (6,7 °C) kot na precej nižje ležečem Babnem polju (preglednica 1).

Ti dve postaji nista bili postavljeni na dnu kraške globeli, tako da v času meritev nista bili izpostavljeni izrazitemu temperaturnemu obratu. Na to nakazujejo mesečne temperature zraka, ki so v zimskem obdobju (november, december, januar, februar) višje kot na Babnem polju, v preostanku leta pa so zaradi večje nadmorske višine temperature nižje.



Slika 3: V jasnih zimskih nočeh se zrak učinkovito ohlaja, tako da lahko zaledeni obsežna površina jezera (foto: Matej Blatnik).

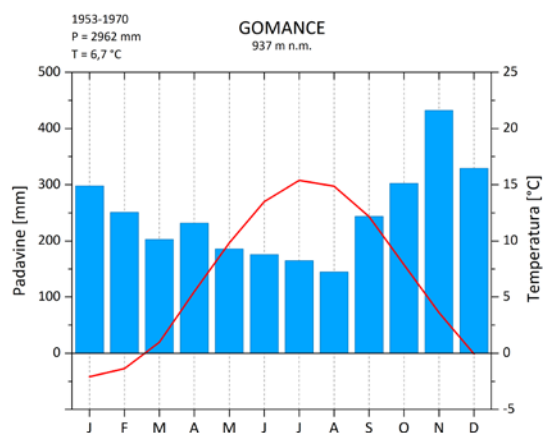
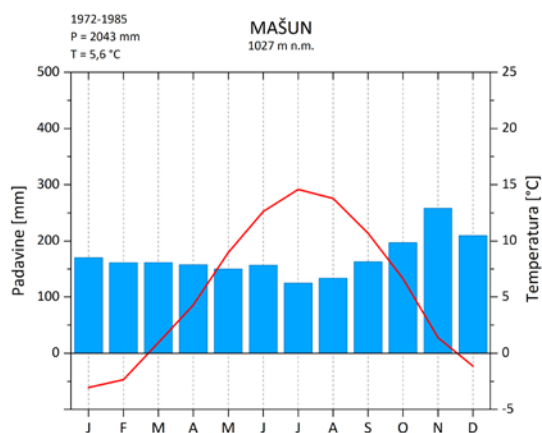
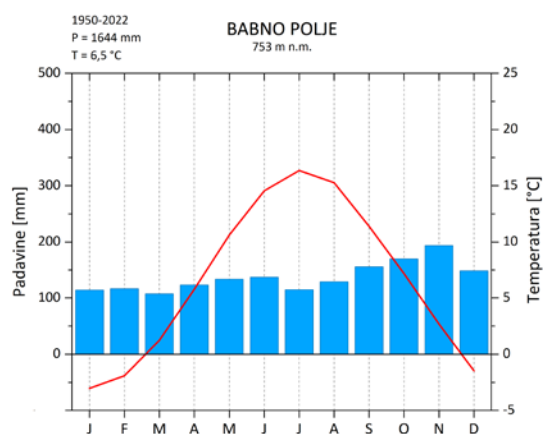
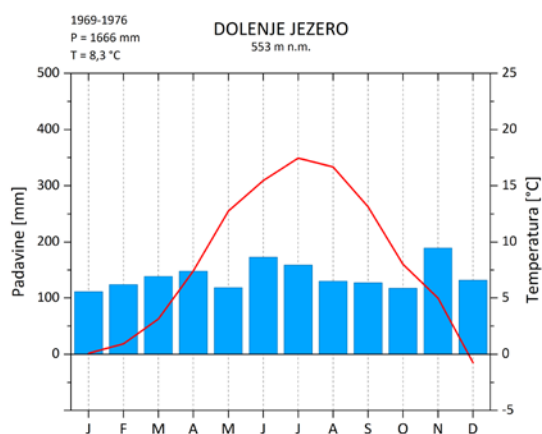
Padavine

Višina padavin v zaledju Cerkniškega polja ima podobno prostorsko razporeditev, kot je značilna za celotno Slovenijo. Vrednost namreč upada od zahoda proti vzhodu, hkrati pa tudi od višjih proti nižjim predelom. Največja je na kraških planotah Javorniki in Snežnik na jugozahodnem obrobju zaledja. Na meteorološki postaji Gomance, ki se sicer nahaja okoli 10 km južneje od južne meje hidrološkega zaledja, je bila povprečna letna višina padavin v obdobju 1951–1970 skoraj 3000 mm (preglednica 2), pri čemer so imela najbolj namočena leta (na primer leto 1962) tudi prek 4000 mm padavin.

Na območju Mašuna in Leskove doline je v obdobju med letoma 1951 in 1985 letna višina padavin rahlo presegala 2000 mm, medtem ko ostale postaje v nižjih predelih hidrološkega zaledja beležijo precej podobne vrednosti, in sicer med 1450 in 1650 mm padavin letno (preglednica 2). Porazdelitev padavin preko leta se med padavinskimi postajami nekoliko bolj razlikuje. Celotno zaledje Cerkniškega polja ima submediteranski padavinski režim, za katerega sta značilna dva padavinska viška. Primarni je jeseni (september–november, ponekod tudi december) z najbolj namočenim mesecem novembrom, sekundarni višek pa je spomladi (april–junij) z najbolj namočenim mesecem junijem (preglednica 2, sliki 4 in 5). Najbolj sušni meseci so pozimi (januar–marec) z glavnim nižkom januarja, sekundarni nižek pa je julija (preglednica 2, slika 4). Razmerje med najbolj sušnim in najbolj namočenim mesecem v večinskem (manj hribovitem) delu hidrološkega zaledja je 100 : 170 mm.

Preglednica 2: Povprečna mesečna in letna višina padavin (v mm) v okolici Cerkniškega polja. Pod imenom postaje je navedena njena nadmorska višina in obdobje zajetih podatkov. Temnejši odtenki zelene barve odražajo večjo višino padavin, svetlejši manjšo (vir podatkov ARSO, 2023a).

	Postojna 533 m 1954– 2022	Cerknica 569 m 1948– 2022	Šmarata 579 m 1962– 2022	Sveti Vid 851 m 1961– 2006	Hrib 827 m 1948– 2022	Nova vas na Blokah 720 m 1950– 2022	Babno polje 753 m 1950– 2022	Gomance 937 m 1951– 1970	Leskova dolina 794 m 1952– 1975	Mašun 1027 m 1951– 1985	Poljane na Notr. 1030 m 1969– 1984
Januar	102	112	93	83	97	91	114	298	161	170	97
Februar	97	109	94	85	96	96	117	251	164	161	97
Marec	105	109	95	103	95	97	108	203	150	161	114
April	123	128	108	135	124	124	123	232	175	158	121
Maj	129	131	115	127	132	127	133	186	168	150	116
Junij	133	149	130	160	139	138	137	176	147	157	140
Julij	107	130	108	136	123	120	115	165	140	125	120
Avgust	116	132	128	145	131	135	129	145	126	134	130
September	153	154	139	153	146	149	156	244	158	163	126
Oktober	154	151	146	149	154	147	170	303	207	197	143
November	165	176	172	158	167	154	194	432	243	258	143
December	143	148	125	115	123	122	149	329	212	210	119
SKUPAJ	1528	1631	1452	1550	1526	1498	1644	2962	2049	2043	1467



Slika 4: Sezonska dinamika v temperaturi in višini padavin za izbrane meteorološke postaje v različnih časovnih obdobjih (vir podatkov ARSO, 2023a).

Opisani vzorec padavin je še posebej izrazit na postaji Gomance, nekoliko manj izrazit pa na postajah Mašun in Leskova dolina. Poljane na Notranjskem tako z vidika količine kot tudi razporeditve padavin kažejo značilnosti, kakršne imajo nižje ležeče postaje. Opisana prostorska in količinska razporeditev padavin je v največji meri posledica delovanja orografske pregrade, ki ovira prehod prevladujočih tokov zračnih mas z zahoda in jugozahoda in povzroča izrazitejšo padavine na zahodni strani Javornikov. Za vse štiri višje ležeče postaje se opisi nanašajo na arhivske podatke, saj so bile meritve povsod opuščene do leta 1985 (preglednica 2).

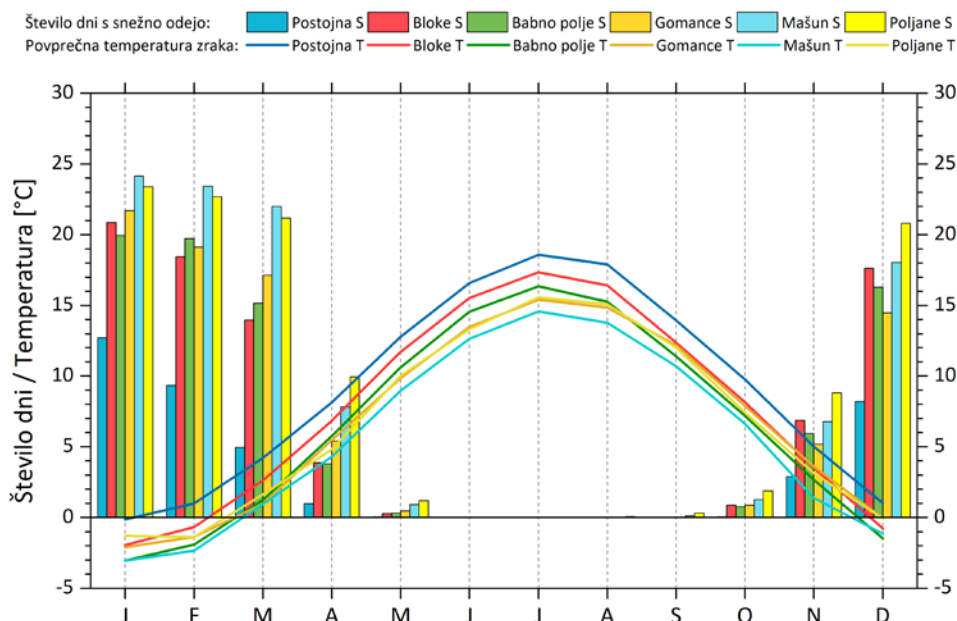
Nekoliko drugačne značilnosti pri sezonski dinamiki padavin kažejo padavinske postaje na kraških planotah (Javorniki in Snežnik). Za njih je značilen le en izrazit padavinski višek, ki je prav tako jeseni z najbolj namočenim mesecem novembrom. Dokaj namočeni so tudi zimski meseci, tako da je primarni jesenski višek spojen s sekundarnim spomladi. Izrazit padavinski nižek je torej le poleti (julij in avgust) (preglednica 2, slika 4).



Slika 5: Ob obilnih padavinah se lahko na nekraških vodotokih, kot je Cerkniščica v kratkem času izrazito povečajo pretoki. Fotografija je bila posneta 17. maja 2021, ko je pretok Cerkniščice narasel na $51 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednji pretok je sicer okoli $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (foto: Matej Blatnik).

Snežna odeja

Trajanje snežne odeje je v največji meri odvisno od nadmorske višine in z njo povezano temperaturo (slika 6). Pomembno vlogo lahko predstavljajo tudi geomorfološke značilnosti območja, kot na primer lega v kotanji in z njo povezani temperaturni obrati v hladni polovici leta. Glede na trajanje in največjo višino snežne odeje v sezoni je meteorološke postaje v zaledju Cerkniškega polja mogoče razdeliti v tri skupine. Visoke dinarske planote Javornikov, Snežnika in Racne gore (slika 7) imajo glede na meritve na Mašunu, v Leskovi dolini in na Poljanah na Notranjskem v povprečju po 100–110 dni letno prisotno snežno odejo, največja debelina pa je v povprečju 75–90 cm (preglednica 3).



Slika 6: Sezonska dinamika v trajanju snežne odeje na izbranih meteoroloških postajah, kjer se beleži tudi temperatura zraka (vir podatkov ARSO, 2023a).

Meteorološka postaja Postojna se nahaja izven zaledja Cerkniškega polja in glede na trajanje (v povprečju 40 dni letno) in največjo višino snežne odeje (povprečno 30 cm) zaradi svoje lege odstopa od drugih lokacij meritev znotraj zaledja Cerkniškega polja (preglednica 3).

Preglednica 3: Povprečno mesečno in letno trajanje snežne odeje (dnevi) v zaledju Cerkniškega polja in njegovi okolici. Pod imenom postaje je navedena njena nadmorska višina in obdobje zajetih podatkov. Temnejši odtenki zelene barve odražajo daljše trajanje snežne odeje, svetlejši odtenki kažejo krajše trajanje ali odsotnost. Spodnja vrstica prikazuje povprečno največjo višino snega (cm) (vir podatkov ARSO, 2023a).

	Postojna 533 m 1954– 2022	Cerknica 569 m 1948– 2022	Šmarata 579 m 1962– 2022	Sveti Vid 851 m 1961– 2006	Hrib 827 m 1948– 2022	Nova vas na Blokah 720 m 1950– 2022	Babno polje 753 m 1950– 2022	Gomance 937 m 1951– 1970	Leskova dolina 794 m 1952– 1975	Mašun 1027 m 1951– 1985	Poljane na Notr. 1030 m 1969– 1984
Januar	13	16	16	20	20	21	20	22	24	24	23
Februar	9	14	14	17	18	18	20	19	24	23	23
Marec	5	8	8	14	14	14	15	17	22	22	21
April	1	2	2	4	4	4	4	5	8	8	10
Maj	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Junij	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Julij	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avgust	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oktober	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2
November	3	4	4	7	6	7	6	5	6	7	9
December	8	13	12	18	18	18	16	15	17	18	21
SKUPAJ	39	57	57	81	81	83	82	84	102	105	110
POVPREČNA NAJVEČJA VIŠINA SNEGA	30	45	42	60	64	59	59	62	76	82	91

Sneg je večinoma prisoten od decembra do marca, relativno pogosto tudi v novembru in aprilu, redko pa oktobra ali maja. Nizke planote (Sveti Vid) in višje ležeča kraška polja (Babno polje, Bloke in sosednji Loški Potok) imajo v povprečju okoli 80 dni s snežno odejo letno, največja debelina v sezoni pa je običajno okoli 60 cm. Snežna odeja je večinoma prisotna med decembrom in marcem, redkeje novembra in aprila (preglednica 3). Podobno dinamiko ima tudi debelina snežne odeje na postaji Gomance na nekoliko večji nadmorski višini, a ta lokacija zaradi položaja izven kraške globeli ni tako izpostavljena temperaturnemu obratu. Najnižji predeli zaledja, in sicer dna Cerkniškega in Loškega polja, imajo sneg v povprečju do 60 dni letno, največja debelina snežne odeje v sezoni pa je običajno okoli 40–45 cm. Sneg je večinoma prisoten med decembrom in februarjem, pogosto marca, redkeje pa novembra in aprila.



Slika 7: Rahlo zasneženo obrobje Cerkniškega polja (naselje Goričice) in bolj zasneženo hribovito zaledje (Racna Gora) (foto: Matej Blatnik).

Evapotranspiracija in efektivne padavine

Pomembna spremenljivka pri podnebnih značilnostih določenega območja je tudi evapotranspiracija. Ta kaže, kakšna je izguba vode zaradi izhlapevanja ali porabe rastlin. V hidrološkemu zaledju Cerkniškega polja sta samo dve meteorološki postaji, na katerih se spremlja potencialno evapotranspiracijo, in sicer Nova vas na Blokah in Babno polje (ARSO, 2023b). Obe postaji se nahajata na podobni nadmorski višini – 720 oz. 753 m. Za primerjavo z dnem Cerkniškega polja prilagamo tudi podatke z meteorološke postaje Postojna (533 m). Pri računanju potencialne evapotranspiracije se sicer uporablja Penman-Monteithova metoda, ki upošteva temperaturo zraka, relativno zračno vlago, hitrost vetra in sončno sevanje (ARSO, 2023c).

Meritve kažejo, da potencialna evapotranspiracija najbolj sledi dinamiki temperature zraka – višja kot je temperatura, večja je poraba vode. V obdobju 1961–2016 je bila največja potenci-

alna evapotranspiracija v juliju, in sicer med 114 mm na Babnem polju in 131 v Postojni. V tem mesecu je ta približno tako velika kot višina padavin, v primeru Postojne pa je celo večja in s tem predstavlja negativno bilanco (preglednica 4). Najmanjša potencialna evapotranspiracija je v decembru in januarju, ko znaša med 8 in 15 mm. Ker sta ta meseca v zaledju Cerkniškega polja relativno sušna, vrednost efektivnih padavin (razlika med padavinami in potencialno evapotranspiracijo) v tem obdobju ni največja. Količina efektivnih padavin je največja v novembru, ko je največ padavin, evapotranspiracija pa je skoraj najmanjša v celotnem letu (preglednica 4).

Na celoletni ravni je bila v obdobju 1961–2016 največja potencialna evapotranspiracija na najnižje ležeči meteorološki postaji Postojna, in sicer okoli 770 mm. To je približno polovica letne vsote padavin, tako da efektivnih padavin ostaja okoli 800 mm. Zaradi nižjih temperatur je na Blokah in na Babnem polju potencialna evapotranspiracija na letni ravni manjša – okoli 660 mm. Posledično je efektivnih padavin več, in sicer okoli 870 mm na Blokah in 1050 mm na Babnem polju. Povprečje vrednosti na vseh postajah je okoli 1600 mm padavin, okoli 700 mm potencialne evapotranspiracije in kot končna razlika okoli 900 mm efektivnih padavin (preglednica 4).

Preglednica 4: Povprečna mesečna in letna višina padavin, evapotranspiracija (ET) in vrednost efektivnih padavin (mm) v hidrološkem zaledju Cerkniškega polja in njegovi okolici v obdobju 1961–2016. Pod imenom postaje je navedena njena nadmorska višina. Temnejši odtenki zelene barve kažejo večjo vrednost, svetlejši odtenki pa manjšo (vir podatkov ARSO, 2023b).

	Postojna 533 m			Nova vas na Blokah 720 m			Babno polje 753 m			SKUPAJ		
	Padavine	ET	Efektivne padavine	Padavine	ET	Efektivne padavine	Padavine	ET	Efektivne padavine	Padavine	ET	Efektivne padavine
Januar	103	15	88	87	10	77	117	10	107	102	12	91
Februar	106	25	80	102	17	85	131	17	114	113	20	93
Marec	108	47	61	105	36	69	119	35	84	111	39	71
April	129	72	57	130	62	68	132	62	70	130	65	65
Maj	131	98	33	124	91	33	137	90	47	131	93	38
Junij	136	118	18	151	109	42	156	106	50	148	111	37
Julij	105	131	-25	122	118	4	115	117	-2	114	122	-8
Avgust	115	113	2	138	99	38	134	97	38	129	103	26
September	161	73	87	151	63	88	157	63	94	156	66	90
Oktober	154	42	112	148	33	115	170	35	134	157	37	120
November	178	22	156	164	16	148	209	17	191	184	18	165
December	140	13	127	115	8	107	138	8	130	131	10	121
SKUPAJ	1566	769	797	1537	663	873	1714	658	1056	1605	697	909

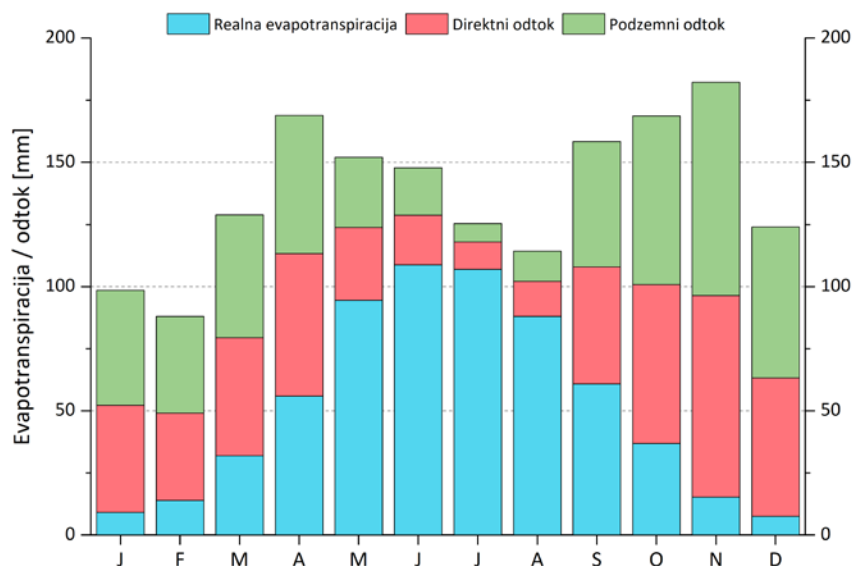
Modelska vodna bilanca

Glavne komponente vodne bilance zaledja Cerkniškega polja smo izračunali iz rezultatov modela mGROWA (ARSO, 2023d). Analiza je bila opravljena za obdobje 1991–2020 na mesečnem nivoju (slika 8) za del hidrološkega zaledja polja, ki se nahaja znotraj meja Slovenije. Za območje, ki je na ozemlju Hrvaške, potrebnih podatkov ni na voljo. Skupna višina stolpcev (slika 8) prikazuje agregirane vrednosti mesečnih padavin – z dvema viškoma jeseni in spomladi. Modri stolpci predstavljajo izračun realne evapotranspiracije, ki se zaradi upoštevanja meteoroloških spremenljivk in rabe tal na celotnem območju nekoliko razlikuje od predhodno opisane evapotranspiracije, v splošnem pa kaže zelo podobno dinamiko. Največja evapotranspiracija je v poletnih mesecih (julij in avgust) z dobrih 100 mm mesečno, najmanjša pa v zimskih (december in januar) z okoli 10 mm mesečno. Razliko med višino padavin in evapotranspiracijo predstavlja odtok, ki ima zelo velike razlike v sezonskosti. Tako kot pri padavinah, sta dva viška, primarni jeseni in sekundarni spomladi. Poletni nižek odtoka je zaradi velikega izhlapevanja zelo izrazit, sekundarni zimski v februarju pa je manj

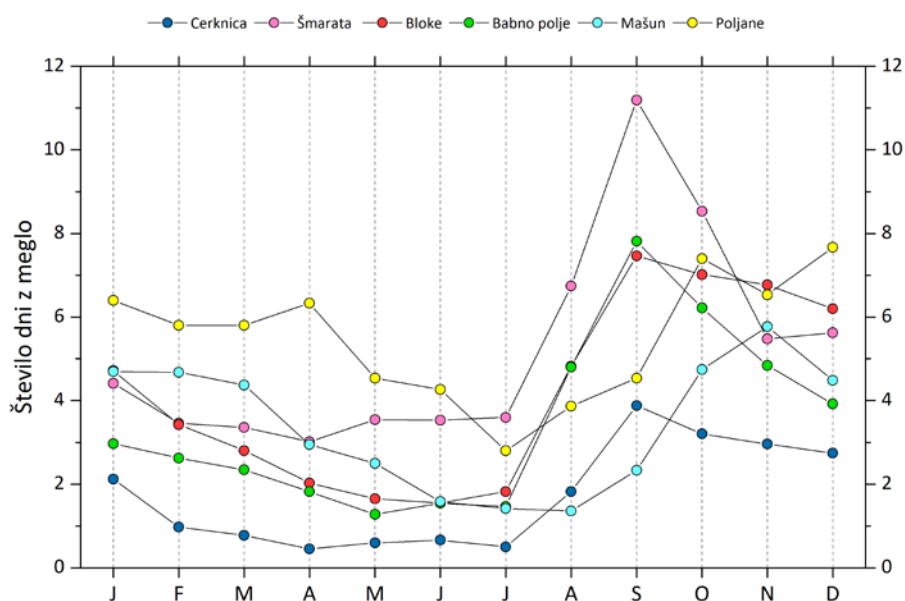
izrazit in je posledica zadrževanja padavin v obliki snega. Zaradi pretežno kraškega površja je na območju Cerkniškega polja okoli polovica odtoka podzemnega (Frantar in sod., 2019).

Megla in veter

Natančno spremljanje pojava megle in vetra je bolj težavno od spremljanja ostalih meteoroloških spremenljivk zaradi premajhnega števila merilnih postaj in časovno preredkega odčitavanja podatkov. Pri nekaterih spremenljivkah (na primer prepoznavanje megle ali nizke oblačnosti) dodatno težavo lahko povzroča tudi subjektivna presoja opazovalca (Zupančič, 2002). Slika 9 prikazuje število dni z meglo za izbrane meteorološke postaje.



Slika 8: Sezonska dinamika v direktnem in podzemnem odtoku ter realni evapotranspiraciji za obdobje 1991-2020 - rezultat modeliranja z modelom mGROWA (vir podatkov ARSO, 2023d).



Slika 9: Sezonska dinamika v številu dni z meglo na izbranih meteoroloških postajah (vir podatkov ARSO, 2023a).

Na večini postaj je največ meglenih dni v septembru, zelo pogosta megla pa je tudi v oktobru, novembru in decembru. Število dni z meglo nato postopoma upada iz meseca v mesec, najmanj pa jih je v juliju.

Med izbranimi postajami je najmanj meglenih dni v Cerknici (v povprečju do 4 dni v septembru), ki se nahaja na dvignjenem obrobju Cerkniškega polja. Zgodovinske meritve na Dolenjem Jezeru, ki se nahaja v nižjih predelih Cerkniškega polja, kažejo na približno dvakratno pogostost dni z meglo (v povprečju do 7 dni z meglo v septembru) (Zupančič, 2002). Na Blokah in Babnem polju so značilnosti podobne tistim na Dolenjem Jezeru (v povprečju do 8 dni v septembru), največje število dni z meglo pa je v Šmarati na Loškem polju (v povprečju do 11 dni v septembru). Višinske postaje na Mašunu in Poljanah na Notranjskem imajo podatke samo za obdobje do leta 1985, je pa razporeditev dni z meglo preko leta nekoliko drugačna. Na obeh postajah je največ dni z meglo v obdobju med oktobrom in decembrom (do 8 dni na mesec), nižek pa je prav tako julija. Do največjih odstopanj prihaja v septembru, ko je dni z meglo bistveno manj kot v nižinskih postajah. Po drugi strani je v obdobju med januarjem in aprilom takšnih dni več (slika 9). Najbolj mogoča razlaga za to pa je, da v veliko primerih niti ne gre za meglo ampak za nizko stratusno oblačnost (Zupančič, 2002).

Veter je na splošno na območju Cerkniškega polja in širše okolice šibek, smer vetra pa v največji meri odvisna od reliefnih značilnosti posamezne lokacije (slika 10). Ob močnejših vetrovih je najpogostejša smer iz jugozahoda, kar sicer velja tudi za celotno Slovenijo. Precej pogosta smer vetra je tudi iz severovzhoda (burja). Za ta veter je sicer značilno, da se pojavlja v sunkih, najpogosteje v zimskih mesecih in po nekaj dni zapored (Zupančič, 2002).

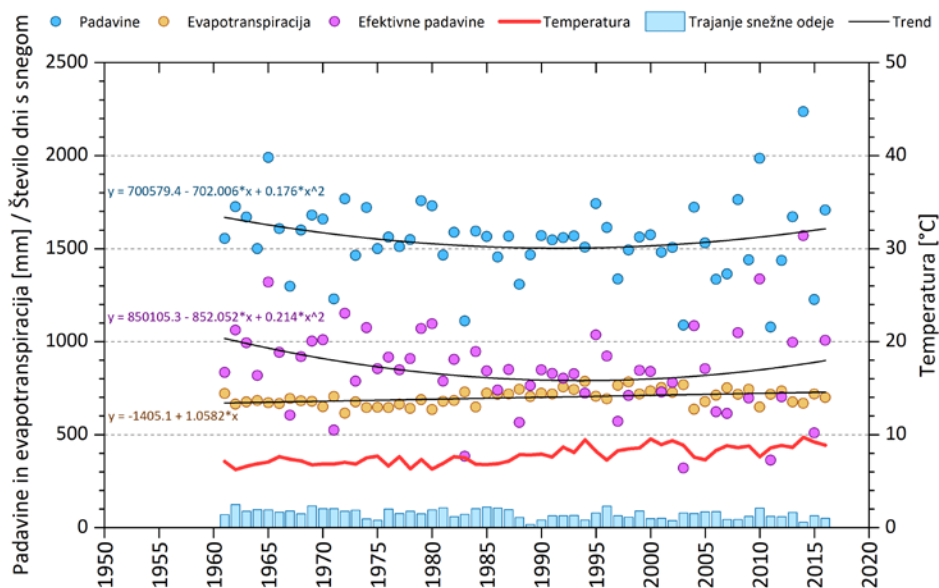


Slika 10: Ob šibkem jugozahodnem vetru nad pobočjem Slivnice občasno letajo »novodobne coprnice« oziroma jadralni padalci (foto: Ana Kafol).

Trendi temperature, padavin, evapotranspiracije in trajanja snežne odeje

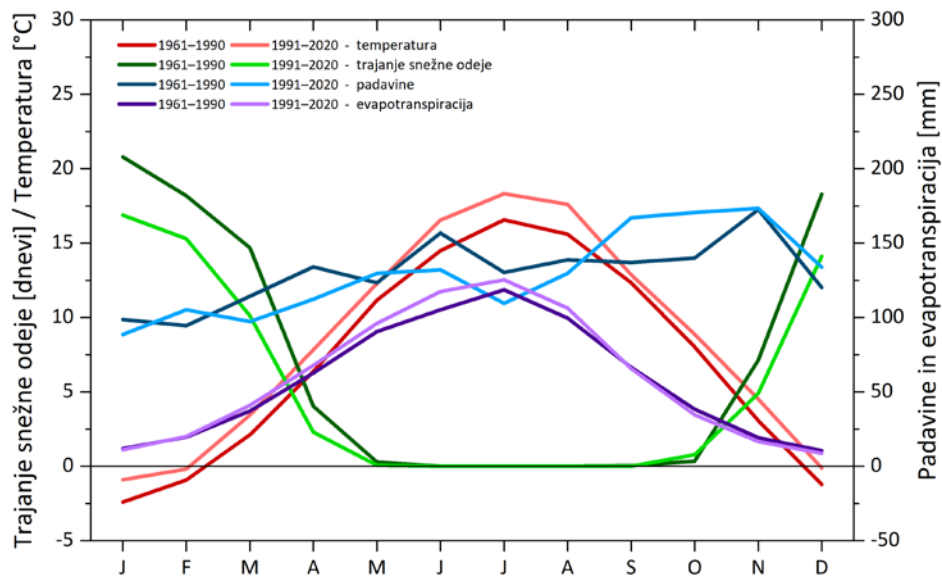
Vrednosti izbranih meteoroloških spremenljivk so izračunane na ravni celotnega povprečja, pri čemer smo temperaturo zraka in potencialno evapotranspiracijo izračunali kot povprečje med tremi meteorološkimi postajami (Nova vas na Blokah, Babno polje in Postojna), padavine in trajanje snežne odeje pa kot povprečje med šestimi meteorološkimi postajami (Cerknica, Šmarata, Sveti Vid, Hrib, Nova vas na Blokah in Babno polje). Za zgoraj navedene postaje je na voljo dolgoročni niz podatkov med letoma 1961 in 2016, pri drugih postajah (predvsem višje ležečih) dolgoročnih zveznih meritev žal ni.

Temperaturna dinamika kaže pozitiven trend s porastom okoli 4 °C/100 let. Posledično je pozitiven trend tudi pri potencialni evapotranspiraciji s porastom okoli 105 mm/100 let. Zaradi višjih temperatur je število dni s snežno odejo vse manjše – v analiziranih 55 letih je vsako leto približno 0,7 dneva krajše trajanje snežne odeje (Blatnik in sod., 2022; 2024). Ob nadaljevanju takšnega trenda bi bilo čez 100 let za 66 dni krajše trajanje snežne odeje v letu oziroma skorajšnja odsotnost snega (sliki 11 in 12). Višina padavin nima izrazitega linearnega trenda. Do leta 2000 je precej dobro viden upad v višini padavin, po tem letu pa so vrednosti zelo razpršene (pogosta sušna ali zelo namočena leta) z rahlo dvigajočim trendom. Podobno dinamiko kot padavine ima tudi količina efektivnih padavin. Do leta 2000 je trend negativen (Kovačič in sod., 2020), po tem letu pa rahlo pozitiven a z zelo veliko razpršenostjo vrednosti (slika 11).



Slika 11: Letna dinamika temperature, padavin, potencialne evapotranspiracije, efektivnih padavin in trajanja snežne odeje v hidrološkemu zaledju Cerkniškega polja v obdobju 1961–2016 (vir podatkov ARSO, 2023a; b).

Slika 12 prikazuje primerjavo v izbranih meteoroloških spremenljivkah na mesečni ravni za dve referenčni obdobji, in sicer 1961–1990 in 1991–2020. Dinamika temperature zraka kaže porast v vseh mesecih, pri čemer je največji porast (tudi do 2 °C v 30 letih) v poletnih mesecih (junij, julij in avgust). Trajanje snežne odeje je krajše v skoraj vseh mesecih, ko se ta sicer pojavi. Največji upad števila dni s snežno odejo je v mesecih, ko je ta najdlje prisotna (december, januar, februar in marec). V teh mesecih je v 30-letnem obdobju po štiri dni s snegom manj. Edini mesec z nekoliko daljšo prisotnostjo snežne odeje je oktober, ko je snežna odeja sicer zelo redko, razlika pa je lahko povezana s povečano pogostostjo meteoroloških ekstremov (slika 12).



Slika 12: Mesečna dinamika temperature, padavin, evapotranspiracije in trajanja snežne odeje v hidrološkemu zaledju Cerkniškega polja v obdobjih 1961–1990 in 1991–2020 (vir podatkov ARSO, 2023a; b).



Slika 13: Ob poletnih sušah, ko je padavin malo, evapotranspiracija pa je velika, lahko presahnejo tudi najdlje poplavljeni območja Cerkniškega polja, kakršen je Zadnji kraj (foto: Matej Blatnik)

Višina padavin ne kaže izrazitega trenda sprememb. Primerjava dveh obdobjev kaže, da je predvsem spomladi in poleti višina padavin nekoliko manjša, medtem ko je pozimi (december, januar, februar) podobna, jeseni (predvsem september in oktober) pa je večja (Blatnik in sod., 2022;

2024). Podobne značilnosti kaže tudi analiza padavin v posameznih letnih časih (Miklič in Trobec 2023). Potencialna evapotranspiracija je precej povezana s temperaturo in za večji del leta kaže porast. Največji porast je v poletnih mesecih (do 12 mm v juliju), nekoliko manjši spomladi in v začetku jeseni, kar se odraža v vse pogostejšem daljšem sušnem obdobju (slika 13). V zimskem in predvsem jesenskem obdobju 1991–2020 je evapotranspiracija manjša kot v obdobju 1961–1990 in sicer do okoli 2 mm mesečno (slika 12).

Zaključek

Zaradi velike dinamičnosti hidroloških procesov in z njimi povezano biotsko raznovrstnostjo so kraška presihajoča jezera še posebej dovzetna na vplive različnih okoljskih sprememb. V prispevku smo predstavili poglobljene podnebne značilnosti hidrološkega zaledja Cerkniškega polja, saj njihovo poznavanje omogoča boljše razumevanje hidrološke dinamike pojavljanja Cerkniškega presihajočega jezera ter lažje predvidevanje morebitne spremembe njegovega hidrološkega režima.

Na obravnavanem območju so večdesetletna zbiranja podatkov pokazala na vse bolj izrazite vplive podnebnih sprememb. Sezonska dinamika in dolgoročni trendi kažejo naslednje značilnosti:

- Temperatura z višino upada, na vseh postajah je najvišja julija in najnižja januarja. V hladni polovici leta je pogost temperaturni obrat, ki je še zlasti pogost na dnu kraških polj. Dolgoročni trendi kažejo porast temperature, še zlasti v spomladanskih in poletnih mesecih (do 4 °C/100 let).
- Višina padavin v splošnem upada z zahoda proti vzhodu zaradi smeri potovanja zračnih mas in zaradi učinkovanja orografske pregrade Javornikov in Snežnika. Značilna sta dva viška (primarni jeseni in sekundarni spomladi) in dva nižka (primarni zimski in sekundarni poletni). Dolgoročni trendi kažejo na rahel porast padavin jeseni in upad v preostalih letnih časih. Od leta 2000 je povečana pogostost let z zelo malo ali veliko padavinami. Zaradi povečanja temperature je vse manj padavin v obliki snega, kar pomeni vse manjše število dni s snegom.
- Potencialna evapotranspiracija sledi dinamiki temperature, kar pomeni, da je največja poleti in najmanjša pozimi, v splošnem pa upada z nadmorsko višino. Zaradi porasta temperature dolgoročni trendi kažejo tudi porast v potencialni evapotranspiraciji.
- Rezultati modeliranja vodne bilance kažejo, da je dejanska evapotranspiracija nekoliko manjša od potencialne, saj model upošteva vse glavne meteorološke spremenljivke in dejansko rabo tal za celotno območje Cerkniškega polja. Letna dinamika dejanske evapotranspiracije je sicer podobna potencialni in kaže, da je posledičen odtok (razlika med padavinami in dejansko evapotranspiracijo) najmanjši poleti, največji pa jeseni in spomladi.
- Megla je zelo značilen pojav za kraška polja in se najpogosteje pojavlja v jeseni (september–november), medtem ko je dinamika na postajah z večjo nadmorsko višino drugačna in pri merjenju lahko zaznava tudi nizko oblačnost.

Podrobnejša analiza kaže na opazne spremembe tako v sezonski kot tudi v dolgoročni dinamiki, kar vpliva na spremenjeno poplavno dinamiko Cerkniškega polja in nanjo vezane spremembe habitatov. Velika pestrost habitatov je nekakšen zaščitni znak Cerkniškega polja, to pestrost pa bi nadaljnje spremembe v podnebju lahko tudi ogrozile.

Summary

Climatological conditions of the Cerknica Polje recharge area - general characteristics, trends and expected future dynamics

The Cerknica Polje and its recharge area lie in southwestern Slovenia, which is characterized by the temperate continental type of the climate. There are also some influences of the mountainous type of the climate, which is characteristic for the highest areas in high Dinaric plateaus Javorniki and Snežnik. In the lowest areas there is the influence of the Submediterranean climate.

The Slovenian Environment Agency has been conducting continuous meteorological observations for over 70 years at different parts of the recharge area. High resolution and diversity of measurements show different patterns on both seasonal and long-term scale. They can be summarized as follows:

- The temperature decreases with altitude. At all meteorological stations the highest temperature is in July and the lowest in January. In the cold half of the year, thermal inversion occurs, which is especially common at the bottom of the karst poljes. Long-term measurements show an increase in temperature, especially in the spring and summer months (up to 4°C/100 years).
- The amount of precipitation generally decreases from west to east due to the typical movements of the air masses and because of the orographic barrier of Javorniki and Snežnik mountains. Two high peaks (primary in autumn and secondary in spring) and two low peaks (primary in winter and secondary in summer) are typical. Long-term trends show a slight increase in precipitation in autumn and a decrease in the rest of the year. Since 2000, there has been an increase in the frequency of years with very low or high precipitation. Due to the increase in temperature, there is a lower percentage of the precipitation that falls as snow and as a result there is a decreasing number of days with snow.
- Potential evapotranspiration follows the temperature dynamics, which means that it is the highest in summer and the lowest in winter. Due to lower temperature and different land use (more forests) it generally decreases with altitude. Due to the rise in temperature, long-term trends also show an increase in potential evapotranspiration.
- The results of the water balance modelling show that the actual evapotranspiration is slightly lower than the potential, since the model considers all the main meteorological variables and actual land use for the entire area of the Cerknica Polje recharge area. The annual dynamics of actual evapotranspiration is similar to the potential evapotranspiration and shows that the resulting runoff (the difference between the amount of precipitation and actual evapotranspiration) is the highest in autumn and spring and the lowest in the summer.
- Fog is a very characteristic phenomenon for karst poljes and occurs most often in autumn (September–November), while the dynamics at higher stations is different and low clouds can also be detected during observations.

A more detailed analysis shows noticeable changes in both seasonal and long-term dynamics, which is reflected in the changes of the flooding dynamics of the Cerknica Polje. This further impacts on the habitat distribution, where high biodiversity is one of the most characteristic elements of the Cerknica Polje.

Zahvala

Predstavljena vsebina je del raziskave opravljene v sklopu projekta Opredelitev ekohidrološke dinamike Cerkniškega jezera z interdisciplinarnim pristopom raziskave (Z6-2667) in programa Raziskovanje krasi (P6-0119), ki ju finančno podpira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije, ter projektov LIFE-TRŠČA (LIFE22-NAT-SI-LIFE TRSCA - 101114184) in eLTER – European Long-Term Ecosystem and socio-ecological Research Infrastructure, ki ju delno financira Evropska Komisija. Uporabljena oprema je bila podprta s projekti Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS in RI-SI-LifeWatch.

Viri

ARSO 2017a. Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011, Meteorološka opazovanja I. <https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/Meteoroloska%20opazovanja%20I%20splet.pdf> (citirano 8. 12. 2023)

ARSO 2017b. Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011, Meteorološka opazovanja II, A-O. <https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/Meteoroloska%20opazovanja%20II%20A-O%20splet.pdf> (citirano 8. 12. 2023)

ARSO 2017c. Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011, Meteorološka opazovanja II, P-Z. <https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/Meteoroloska%20opazovanja%20II%20P-Z%20splet.pdf> (citirano 8. 12. 2023)

ARSO 2023a. Meteorološki arhiv. URL: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (citirano 8. 12. 2023)

ARSO 2023b. Referenčna evapotranspiracija in padavine samodejnih postaj (dnevni podatki v mm od leta 2017). https://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/data/arhiv_etp/ (citirano 8. 12. 2023)

ARSO 2023c. Razlaga spremenljivk. https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/agromet/bulletin/sl/bilten.html?ind_podreg=7#razlaga-spremenljivk (citirano 8. 12. 2023)

ARSO 2023d. Rezultati vodnobilančnega modela mGROWA-SI. ARSO.

Bernot, F. 1976. Meteorological investigations. V R. Gospodarič, P. Habič (ur.), Underground water tracing: Investigations in Slovenia 1972–1975 (str. 38–42). Postojna, Inštitut za raziskovanje krasi ZRC SAZU.

Blatnik, M., Gabrovšek, F., Ravbar, N., Frantar, P., Gill, L. 2022. Ocena vpliva podnebnih sprememb in človekovih dejavnosti na poplavno dinamiko Cerkniškega polja. V M. Kuhar in sod. (ur.), Raziskave s področja geodezije in geofizike 2022 : zbornik del. (str. 35–46). Ljubljana, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko.

Blatnik, M., Gabrovšek, F., Ravbar, N., Frantar, P., Gill, L. 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, 101609. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101609>

Demuth, S. 1989. The application of the west German IHP recommendations for the analysis of data from small research basins. V L. Roald, K. Nordseth, K.A. Hassel (ur.), *FRIENDS in Hydrology. Proceedings*, (str. 47–60), Wallingford, Oxfordshire, International Association of Hydrological Sciences.

Engel, N., Müller, U., Schäfer, W. 2012. BOWAB – Ein Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell. *GeoBe-richte - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie*, 20, 85–98.

Frantar, P., Herrmann, F., Andjelov, M., Draksler, A., Wendland, F. 2018. Vodnobilančni model mGROWA-SI. 29. Mišičev vodarski dan – zbornik referatov, 199–205.

- Frantar, P., Draksler, A., Herrmann, F., Wendland, F. 2019. Climate change impact on groundwater recharge in Slovenia in the period 2011–2100. Groundwater management and governance: coping with uncertainty. Proceedings of IAH2019, the 46th Annual Congress of the International Association of Hydrogeologists, Málaga (Spain), 172.
- 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. Cambridge University Press. Cambridge, 3056 pp.
- Kovačič, G., Petrič, M., Ravbar, N. 2020. Evaluation and quantification of the effects of climate and vegetation cover change on karst water sources: Case studies of two springs in south-western Slovenia. *Water*, 12 (11), 3087. <https://doi.org/10.3390/w12113087>
- Kranjc, A. 1986. Cerkniško jezero in njegove poplave, *Geografski zbornik*, 25, 71–123.
- Miklič, S., Trobec, T. 2023. Sezonske spremembe gladine Cerkniškega jezera v obdobju 1961–2020. *Dela*, 59, 91–120. <https://doi.org/10.4312/dela.59.91-150>
- Ogrin, D. 1996. Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 68, 39–56.
- Ogrin, D. Repe, B., Štut, L., Svetlin, D., Ogrin, M. 2023. Podnebna tipizacija Slovenije po podatkih za obdobje 1991–2020, *Dela*, 59, 5–45. <https://doi.org/10.4312/dela.59.5-89>
- Smrekar, A. 2000. Cerkniško polje kot primer poseljenega kraškega ranljivega območja. *Geographica Slovenica*, 33(1), 117–156.
- Zupančič, B. 2002. Klima. V A. Gaberščik (ur.), *Jezero, ki izginja – Monografija o Cerkniškem jezeru* (str. 4–17). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije.
- Žibrik, K., Lewicki, F., Pičinin, A. 1976. Hydrologic investigations. Investigations in Ljubljana river basin, Investigations before the tracing test 1972–1975. V R. Gospodarič, P. Habič (ur.), *Underground water tracing: Investigations in Slovenia 1972–1975* (str. 43–56). Postojna, Inštitut za raziskovanje krasi ZRC SAZU.