

Splošno podnebje Sotelskega gričevja in lokalno podnebje občine Bistrica ob Sotli

Darko Ogrin, Matej Ogrin, Miroslav Vysoudil, Lena Kropivšek, Iztok Miklavčič[†], Rok Šilc

I Uvod

Obravnavana pokrajina leži na vzhodu Slovenije, na obrobju Panonske nižine, zaradi česar se pri podnebj uveljavljajo celinski vplivi. Ti so bolj kot v gričevnatih in hribovitih delih prisotni v nižinskih območjih, kjer je celinski predvsem temperaturni režim s povprečno letno temperaturno amplitudo nad 20 °C. V primerjavi s preostalo Slovenijo prejme Sotelsko gričevje podpovprečno količino padavin, vendar je podnebje v primerjavi s Panonsko nižino bolj vlažno, z enakomernejšo razporeditvijo padavin čez leto in ne tako izrazitim viškom padavin v topli polovici leta.

Podnebnih prikazov Kozjanskega ali njegovih posameznih delov, kamor v tem kontekstu štejemo tudi Sotelsko gričevje, je malo. Enega prvih najdemo v monografiji več avtorjev (»domoljubov«) *Slovenski Štajer, dežela in ljudstvo* (1868). Doktor J. Srnec piše o podnebj Kozjanskega na osnovi osebnih izkušenj in poznavanja lokalnih razmer: »Po goratih predelih je podnebje ostro, najnavadniji veter veje od severovzhoda; proti hrvaški meji je vendar dosti milejšje. Ravno zaradi gorovja je megle in toče dosti, doline so ozke in bregovi lesoviti, kar je pre vzrok, da ni toliko čutiti neviht. Snega in zametov je po ozkih dolinah in hribih dosti in velikih. Po nižinah mnogo slane pada, in po dolinah in nizkih predelih teh krajev rada vse pokonča. Po višinah je bolje. Sploh pa nadvladuje mokro vreme« (*Slovenski Štajer* 1868, str. 136–137). Nekaj splošnih podnebnih značilnosti tega dela Slovenije lahko razberemo iz celostnih opisov pokrajin panonskega sveta v regionalnogeografski monografiji *Slovenija – pokrajina in ljudje* (1998) ter prispevka Gamsa (1984) v krajevni monografiji *Med Bočem in Bohorjem*. Polšak (1995) se je posvetil predvsem prikazu inverzije in nekaterih drugih mikroklimatskih značilnosti Kozjanskega. Žibret (2001) pa je pisal o vinogradništvu Šmarsko-Virštanjkega okoliša v povezavi s podnebjem. Podnebje Kozjanskega je bilo predmet tudi nekaterih študentskih pisnih del na Oddelku za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani (Grobelšek, 2014; Lupše, 2001; Marinčič, 2006; Šilc, 2024).

Namen avtorjev prispevka je izpopolniti sliko o podnebj Sotelskega gričevja, še posebej njegovih lokalnih potez na primeru občine Bistrica ob Sotli. V prvem delu

prispevka je prikazano podnebje obravnavane pokrajine z vidika podnebnih tipov Slovenije, kjer je poudarek na spremembah v zadnjih desetletjih. V nadaljevanju so analizirane triletno meritve dveh samodejnih meteoroloških postaj v občini Bistrica ob Sotli, kjer je bila ena postavljena v nižinski, druga pa v gričevnati del občine. Zadnji del prispevka prikazuje vpliv lokalnih reliefnih razmer in rabe tal na topoklimatske razmere bistriške občine, kjer topoklimatska karta predstavlja sintezo lokalnih in nekaterih mikroklimatskih značilnosti obravnavane pokrajine.

2 Sotelsko gričevje in podnebne tipizacije Slovenije

Podnebje vzhodne Slovenije, kamor uvrščamo tudi obravnavano pokrajino, prav tako kot druge slovenske pokrajine doživlja spremembe. Za drugo polovico 20. stoletja je Ogrin (1996) območje Sotelskega gričevja in Kozjanskega z vidika globalnih podnebnih tipizacij uvrstil v podnebni tip Cfb (zmerno toplo vlažno podnebje s toplim poletjem) po Köppnovi klasifikaciji, kar pomeni, da so bile povprečne temperature najhladnejšega meseca med -3 in 18 °C, da so imeli vsaj štirje meseci povprečne temperature nad 10 °C, da so bili vsi meseci približno enakomerno namočeni (ni sušne in deževne dobe) ter da so bile povprečne temperature najtoplejšega meseca pod 22 °C.

Nadalje je Ogrin v isti študiji določil podnebne tipe Slovenije in območje Kozjanskega uvrstil v podnebni tip zmerno celinskega podnebja, za katerega je tedaj veljalo, da so bile povprečne temperature najhladnejšega meseca med 0 in -3 °C ter najtoplejšega med 15 in 20 °C. Ker v tip zmerno celinskega podnebja spada velika večina nižin Slovenije, je opravil podrobnejšo členitev na podtipe ter obravnavano območje uvrstil v skrajni vzhodni del zmerno celinskega podnebja osrednje Slovenije in v zahodni del zmerno celinskega podnebja vzhodne Slovenije, ki ga je poimenoval tudi subpanonsko podnebje. Za prvi tip je, poleg že omenjenih skupnih značilnosti, veljalo tudi, da ima zmerno celinski padavinski režim, povprečno letno višino padavin med 1000 in 1300 mm ter povprečne oktobrske temperature višje od aprilskih (v tem se kaže vpliv toplega morja jeseni). Za subpanonsko podnebje pa je veljalo, da prejme le 800 – 1000 mm padavin in da so povprečne oktobrske temperature približno enake aprilskim. Enako kot zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije ima tudi ta tip zmerno celinski padavinski režim. Pomembno je torej poudariti, da je v tej tipizaciji obravnavano območje predstavljalo prehod med osrednjeslovensko in vzhodnoslovensko varianto zmerno celinskega podnebja.

Slabih 30 let pozneje je isti avtor s sodelavci (Ogrin in sod., 2023) pripravil novo tipizacijo podnebja, saj obstoječa ni več ustrezala dejanskim razmeram. Po podobni metodologiji, ki je temeljila na boljših prostorskih podatkih in bolj izpopolnjenih metodah interpolacije, je bila tipizacija izdelana za obdobje 1991–2020. Območje še vedno sodi v isti Köppnov podnebni tip, Cfb, oziroma točneje v Cfbw', ki ga imenujemo zmerno toplo vlažno podnebje s toplim poletjem in viškom padavin v enem od jesenskih mesecev. Tudi 30 let pozneje je obravnavana pokrajina podnebno prehodno območje, kjer je v višjih delih oktober toplejši od aprila, v nižjih delih pa je toplejši april. V topli polovici leta v celi regiji pade 55–60 % celoletnih padavin, indeks

mediteranskosti pa je med 0 in 5, kar kaže na prehodnost padavinskega režima, z malo večjo količino padavin od maja do julija v primerjavi z obdobjem od septembra do novembra. V tej študiji je indeks mediteranskosti sicer nekoliko modificiran, zaradi sprememb v pojavnosti poletnega viška so namreč v ta višek uvrščeni meseci od maja do julija (v prejšnji študiji le maj in junij), v jesenski višek pa padavine od septembra do novembra (v prejšnji študiji le oktober in november). Glede vlažnostnih razmer je območje prehodno tudi po Langovem padavinskem faktorju, saj ima skrajni vzhodni del tik ob Sotli polvlažno podnebje z vrednostjo pod 100, drugje pa vlažno podnebje z vrednostjo malo nad 100. Z nadmorsko višino vrednost faktorja narašča, vendar ostaja pod 160, kar je meja za prehod v zelo vlažno podnebje. Glede povprečne letne temperaturne amplitude, podobno kot pri nekaterih drugih parametrih, za območje Posotelja in Kozjanskega velja prehodnost. Nižine na skrajnem vzhodu regije, ob Bistrici in Sotli, njunih pritokih ter med Rudnico na severu in Orlico na jugu, imajo letno amplitudo več kot 20 °C, kar nakazuje celinske značilnosti podnebja. Višji deli regije pa imajo letne amplitude 18–20 °C.

Celotno območje delimo po Ogrinu in sodelavcih (2023) glede na 30-letno obdobje 1991–2020 v dva podnebna tipa. Manj obsežna nižinska območja ob Sotli, Bistrici in njunih pritokih ter višji svet med Rudnico na severu, Orlico na jugu in Sotlo na vzhodu uvrščamo v zmerno celinsko podnebje vzhodne in jugovzhodne Slovenije, obsežnejši višji, bolj hribovit del v zahodnem delu obravnavane pokrajine pa v vlažno podgorsko podnebje.

Za zmerno celinsko podnebje v splošnem velja, da je povprečna letna temperatura na amplituda nad 20 °C, povprečna julijska temperatura 20–22 °C, povprečna letna temperatura 9–12 °C, povprečna letna višina padavin pod 1400 mm in da pade nad 50 % letne višine padavin v topli polovici leta. Za podtip zmerno celinsko podnebje vzhodne in jugovzhodne Slovenije dodajamo še kriterije, da je april toplejši od oktobra, letna višina padavin 1000–1400 mm, da pade 50–60 % letne višine padavin v topli polovici leta, ima zmerno sredozemski padavinski režim ($MI = 0-5$) ter polvlažno (semihumidno) do vlažno (humidno) podnebje ($L > 100$ in $100 < L < 160$).

3 Podnebne razlike med nižinskim in gričevnatim delom Sotelskega gričevja na primeru občine Bistrica ob Sotli v obdobju 2021–2023

V letih 2021–2023 smo na dveh lokacijah v občini Bistrica ob Sotli izvajali meteorološke meritve z dvema samodejnima meteorološkima postajama, ki ju upravlja Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani (Katedra za fizično geografijo, 2021–2023). Prva je bila na dnu Bistriškega polja v naselju Polje (188 m n. v.), na lokaciji zbirnega centra. Postaja predstavlja vremenske razmere na najnižjih uravnanih območjih Srednjega Sotelskega, kjer je ponoči pogosta temperaturna inverzija. Druga postaja je bila v gričevju na območju razloženega naselja Križan Vrh, na nadmorski višini 407 m. Gre za lokacijo, ki je tipična za topli (termalni) pas, z večjo prevetrenostjo, višjimi minimalnimi temperaturami in nižjimi maksimalnimi

temperaturami. Meritve smo izvajali s samodejnima merilnima postajama znamke Hobo (slika 1). Meritve temperature so potekale okoli 1,6 m nad tlemi, meritve vetra pa približno 2 m nad tlemi.



Slika 1:

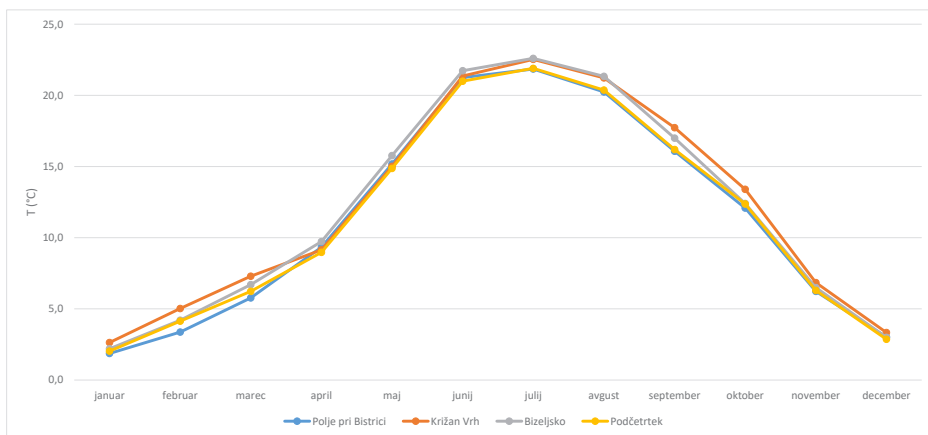
*Samodejni
meteorološki postaji
Polje pri Bistrici
(levo, foto:
I. Miklavčič) in
Križan Vrh
(desno, foto:
M. Ogrin).*

Meritvam Oddelka za geografijo smo dodali še podatke meritev meteoroloških postaj Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO), in sicer samodejnih meteoroloških postaj Bizeljsko in Podčetrtek ter padavinske postaje Metni Vrh. Meteorološka postaja Bizeljsko stoji v manjšem naselju v dolini na nadmorski višini 174 m. Lokacija je tipično nižinska z izrazitejšim toplotnim obratom (Nadbath, 2013). Samodejna meteorološka postaja Podčetrtek je postavljena v sklopu zdravilišča Terme Olimia (nekdanje Atomske toplice) na nadmorski višini 202 m. Tudi ta ima nižinsko lego med gričevjem. Padavinska postaja Metni Vrh stoji severno od Sevnice, v istoimenskem naselju na nadmorski višini 474 m. Čeprav je zunaj Sotelskega gričevja, je primernejša za prikaz podnebnih razmer višjih predelov obravnavane pokrajine kot meteorološka postaja Lisca, ki leži previsoko (947 m).

3.1 Temperatura zraka

Na letni ravni so bile povprečne temperature med 11,4 in 12,1 °C. Najtopleje je bilo na Križanem Vrh, ki je predstavnik toplega (termalnega) pasu, najhladneje pa v Polju pri Bistrici in Podčetrtku, kjer je bilo 0,7 °C hladneje (11,4 °C). Postaja Bizeljsko je bila z 11,9 °C bližje vrednosti toplega pasu kot nižinam. Postaja Križan Vrh je imela višje temperature zlasti od septembra do marca, ko najbolj pride do izraza lega v toplem pasu. Od aprila do avgusta je postaja Bizeljsko nekoliko toplejša od postaje Križan Vrh, v preostanku leta pa postaja Bizeljsko dobi lastnosti postaj v nižjih legah. Polje pri Bistrici in Podčetrtek imata vse leto zelo podobne vrednosti, le v februarju razlika naraste na 0,7 °C in v marcu na 0,4 °C, sicer pa je bila manjša od 0,3 °C (preglednica 1, slika 2).

Slika 2: Letni potek povprečnih mesečnih temperatur zraka (°C) v obdobju 2021–2023.



Vir podatkov: Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), 2025; Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Preglednica 1: Povprečne mesečne in letne temperature zraka (°C) v obdobju 2021–2023.

	Polje pri Bistrici (188 m)	Križan Vrh (407 m)	Bizeljsko (174 m)	Podčetrtek (252 m)
januar	1,9	2,6	2,2	2,0
februar	3,4	5,0	4,2	4,1
marec	5,8	7,3	6,7	6,2
april	9,3	9,2	9,7	9,0
maj	15,2	15,0	15,8	14,9
junij	21,2	21,4	21,7	21,0
julij	21,8	22,5	22,6	21,9
avgust	20,2	21,2	21,3	20,4
september	16,1	17,7	17,0	16,2
oktober	12,1	13,4	12,4	12,4
november	6,2	6,8	6,5	6,3
december	3,0	3,3	3,0	2,9
leto	11,4	12,1	11,9	11,4

Vir podatkov: ARSO, 2025; Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Povprečne mesečne temperature so bile v obravnavanem obdobju tudi v zimskih mesecih pozitivne, najhladnejši mesec je bil na vseh postajah januar, ki je imel povprečno temperaturo v Polju pri Bistrici 1,9 °C, na preostalih postajah pa nad 2 °C. Najvišja povprečna januarska temperatura je bila v toplem pasu Križanega Vrha, in sicer 2,6 °C. Najtoplejši je bil julij, s povprečno temperaturo 22,6 °C na Bizeljskem, v toplem pasu Križanega Vrha pa je bilo le 0,1 °C manj. Podčetrtek je bil malo hladnejši (21,9 °C), podobno tudi Polje pri Bistrici (21,8 °C).

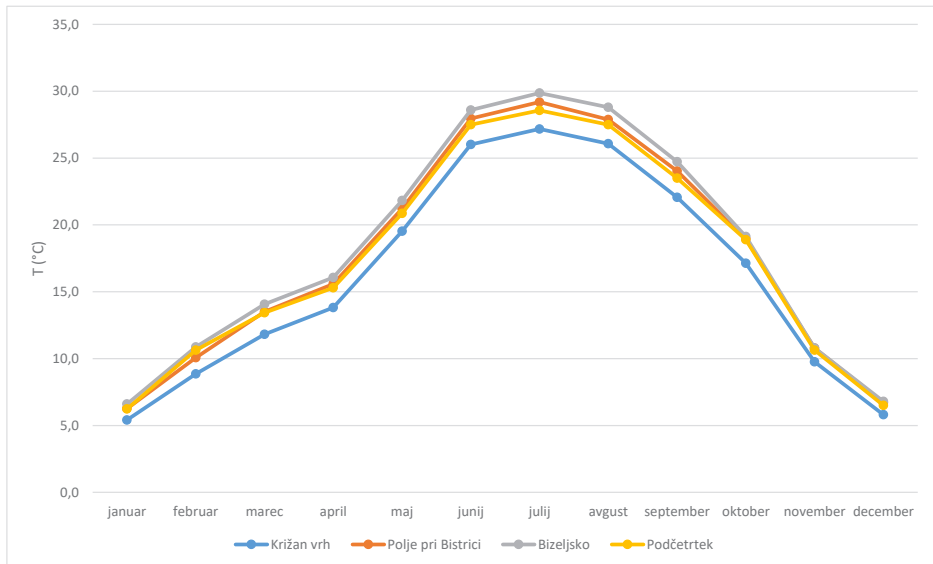
Preglednica 2: Razlika v povprečni temperaturi zraka (dt) med Križanim Vrhom in Poljem pri Bistrici ter vertikalni temperaturni gradient med obema postajama (dt °C/100 m) v obdobju 2021–2023.

	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)	dt (°C)	dt (°C/100 m)
januar	2,6	1,9	0,8	0,36
februar	5,0	3,4	1,6	0,73
marec	7,3	5,8	1,5	0,68
april	9,2	9,3	−0,1	−0,04
maj	15,0	15,2	−0,2	−0,09
junij	21,4	21,2	0,2	0,09
julij	22,5	21,8	0,7	0,31
avgust	21,2	20,2	1,0	0,45
september	17,7	16,1	1,6	0,73
oktober	13,4	12,1	1,3	0,59
november	6,8	6,2	0,6	0,27
december	3,3	3,0	0,3	0,13
leto	12,1	11,4	0,7	0,31

Vir podatkov: Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Temperaturne gradiente je smiselno računati pri postajah, ki ležijo blizu. V našem primeru sta primeren par Križan Vrh (407 m), ki leži v toplem pasu v gričevju, in nižinska postaja Polje pri Bistrici (188 m). Pri povprečnih mesečnih temperaturah je v večini mesecev višje ležeči Križan Vrh toplejši od Polja, le aprila in maja je nižinska postaja malenkost toplejša. Razlika med Križanim Vrhom in Poljem je največja februarja, marca in septembra, ko znaša porast temperature z višino okoli 0,7 °C/100 m (preglednica 2). Vrednosti gradientov in njihov predznak kažejo na pogoste temperaturne obrate ter pomen lege Križanega Vrha v toplem pasu.

Slika 3: Letni potek povprečnih mesečnih maksimalnih temperatur zraka (°C) v obdobju 2021–2023.



Vir podatkov: ARSO (2025), Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Preglednica 3: Povprečne mesečne maksimalne temperature zraka (°C) v obdobju 2021–2023.

	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)	Bizeljsko (174 m)	Podčetrtek (252 m)
januar	5,4	6,3	6,6	6,2
februar	8,9	10,1	10,9	10,6
marec	11,8	13,5	14,1	13,4
april	13,8	15,6	16,1	15,3
maj	19,5	21,2	21,8	20,9
junij	26,0	28,0	28,6	27,5
julij	27,2	29,2	29,9	28,6
avgust	26,1	27,9	28,8	27,5
september	22,1	24,0	24,7	23,5
oktober	17,1	19,0	19,1	18,9
november	9,8	10,8	10,8	10,6
december	5,8	6,7	6,8	6,5
leto	16,1	17,7	18,2	17,5

Vir podatkov: ARSO, 2025; Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Slika 3 in preglednica 3 kažeta pričakovano razporeditev povprečnih mesečnih maksimalnih temperatur. Edina, ki opazneje odstopa, je najvišje ležeča postaja Križan Vrh in je hkrati edina, ki stoji v toplem pasu. Ta se podnevi oziroma v obdobju, ko ni celodnevni inverziji, kaže kot območje nižjih najvišjih dnevni temperatur od območja v dolinskem pasu, kar je skladno s pričakovanim padcem temperature z višino v premešani atmosferi. Na letni ravni je bila od druge najhladnejše postaje (Podčetrtek) hladnejša za 1,4 °C, tri nižinske postaje pa so bile v razponu 0,7 °C, pri čemer je bilo najhladnejše Bizeljsko z 18,2 °C. Najmanjše razlike med Križanim Vrhom in preostalimi so novembra in decembra (0,7–1 °C), najvišje pa poleti, zlasti julija, ko razlika doseže 1,4–2,7 °C. Razlike med letnima časoma pojasnimo z večjo premešanostjo atmosfere poleti. Bolj kot je premešana, bolj sledi temperaturna razlika adiabatnemu temperaturnemu gradientu, ki v suhi atmosferi znaša 1 °C/100 m.

Preglednica 4: Razlika v povprečni maksimalni temperaturi zraka (dt) med Križanim Vrhom in Poljem pri Bistrici ter vertikalni temperaturni gradient med obema postajama (dt °C/100 m) v obdobju 2021–2023.

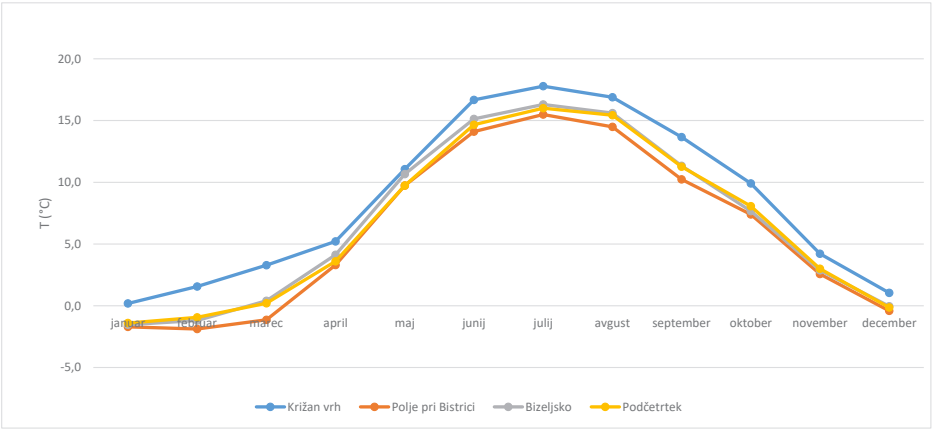
	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)	dt (°C)	dt (°C/100 m)
januar	5,4	6,3	–0,9	–0,41
februar	8,9	10,1	–1,2	–0,55
marec	11,8	13,5	–1,7	–0,76
april	13,8	15,6	–1,8	–0,82
maj	19,5	21,2	–1,7	–0,77
junij	26,0	28,0	–2,0	–0,91
julij	27,2	29,2	–2,0	–0,91
avgust	26,1	27,9	–1,8	–0,82
september	22,1	24,0	–1,9	–0,87
oktober	17,1	19,0	–1,9	–0,87
november	9,8	10,8	–1,0	–0,45
december	5,8	6,7	–0,9	–0,41
leto	16,1	17,7	–1,6	–0,73

Vir podatkov: Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Gradient povprečnih maksimalnih temperatur med Poljem pri Bistrici in Križanim Vrhom je bil v obravnavanem obdobju v vseh mesecih negativen (preglednica 4), kar je za maksimalne temperature pričakovano. Se pa med letom spreminja. Na letni ravni znaša –0,73 °C/100 m, kar je pričakovana vrednost. Če bi bilo ozračje ves čas premešano in pod stopnjo nasičenosti z vlagjo, bi bil gradient enak suhemu adiabatnemu dvigu, to je –1 °C/100 m. Meritve kažejo, da je povprečni gradient v prosti atmosferi okoli –0,6 °C/100 m, kar je blizu vrednosti našega gradienta na letni ravni. Najnižji gradient povprečne maksimalne temperature smo namerili pozimi, med –0,4 in –0,55 °C/100 m. Tedaj je prizemna plast zraka najstabilnejša in tudi pri maksimalnih temperaturah velja, da so zaradi vpliva toplotnega obrata te v povprečju nižje, kot bi bile,

če vpliva jezera hladnega zraka pri tleh ne bi bilo. Poleti se povprečni temperaturni gradient maksimalnih temperatur zelo približa gradientu ob suhem adiabatnem dvigu ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$), saj znaša med $-0,8$ in $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. To ne preseneča, saj se poleti toplotni obrat razkroji že zgodaj po Sončevem vzhodu in se sredi dneva ne pojavlja. V oblačnih in padavinskih dneh pa je temperaturni gradient običajno manjši od gradienta pri suhi adiabatni, kar vpliva na povprečno vrednost, ki je $0,1\text{--}0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ pod vrednostjo gradienta suhe in premešane atmosfere.

Slika 4: Letni potek povprečnih mesečnih minimalnih temperatur zraka ($^{\circ}\text{C}$) v obdobju 2021–2023.



Vir podatkov: ARSO (2025), Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Preglednica 5: Povprečne mesečne minimalne temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$) v obdobju 2021–2023.

	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)	Bizeljsko (174 m)	Podčetrtek (252 m)
januar	0,2	−1,7	−1,5	−1,4
februar	1,6	−1,9	−1,2	−0,9
marec	3,3	−1,1	0,4	0,2
april	5,2	3,3	4,1	3,6
maj	11,1	9,7	10,7	9,7
junij	16,7	14,1	15,1	14,7
julij	17,8	15,5	16,3	16,0
avgust	16,9	14,5	15,6	15,4
september	13,7	10,2	11,3	11,3
oktober	9,9	7,4	7,7	8,1
november	4,2	2,6	2,9	3,0
december	1,0	−0,4	0,0	−0,1
leto	8,5	6,0	6,8	6,6

Vir podatkov: ARSO, 2025; Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Povprečne mesečne minimalne temperature zraka pričakovano kažejo najnižje vrednosti v Polju pri Bistrici, kjer najnižja in ravninska lega vpliva na pojav inverzne celice. Na letni ravni so te vrednosti kar 2,5 °C nižje kot na Križanem Vrhu, glede na preostali postaji se vrednosti razlikujejo precej manj, in sicer so nižje za 0,8 oziroma 0,6 °C. Tako lahko ugotovimo inverzno celico tudi na postajah Bizeljsko in Podčetrtek, vendar je ta vseeno manj izrazita. Križan Vrh kot predstavnik toplega pasu ni imel niti v enem mesecu negativnih povprečnih najnižjih temperatur, medtem ko je bila januarja in februarja na vseh drugih postajah ta vrednost pod lediščem (vendar nad –2 °C). Decembra je bila povprečna najnižja temperatura negativna v Polju pri Bistrici ter Podčetrtku, medtem ko je na Bizeljskem znašala 0 °C. Nasploh se je v obravnavanem obdobju izkazalo, da so povprečne minimalne temperature na Bizeljskem in v Podčetrtku zelo podobne. V toplem pasu Križanega Vrha so bile povprečne minimalne temperature od novembra do aprila pod 5 °C, aprila okoli 5 °C, v preostalih mesecih pa (razen v oktobru z 9,9 °C) nad 10 °C. Drugače je v nižinskem svetu, tam so tudi aprilске temperature še pod 5 °C, maj pa je za dobrih 6 °C toplejši od aprila. Jesenski padec povprečnih najnižjih temperatur je bolj postopen, pod 10 °C padejo na vseh postajah v oktobru, pod 5 °C pa mesec pozneje. Na vseh postajah so bile najvišje povprečne minimalne temperature v juliju, najnižje pa januarja, z izjemo Bizeljskega, ki je imelo najnižje maksimume februarja (preglednica 5, slika 4).

Preglednica 6: Razlika v povprečni minimalni temperaturi zraka (dt) med Križanim Vrhom in Poljem pri Bistrici ter vertikalni temperaturni gradient med obema postajama (dt °C/100 m) v obdobju 2021–2023.

	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)	dt (°C)	dt (°C/100 m)
januar	0,2	–1,7	1,9	0,87
februar	1,6	–1,9	3,5	1,60
marec	3,3	–1,1	4,4	2,00
april	5,2	3,3	1,9	0,87
maj	11,1	9,7	1,4	0,64
junij	16,7	14,1	2,6	1,19
julij	17,8	15,5	2,3	1,05
avgust	16,9	14,5	2,4	1,09
september	13,7	10,2	3,5	1,60
oktober	9,9	7,4	2,5	1,14
november	4,2	2,6	1,6	0,73
december	1,0	–0,4	1,4	0,64
leto	8,5	6,0	2,5	1,14

Vir podatkov: Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Višinski temperaturni gradienti za povprečne minimalne temperature potrjujejo inverzni potek temperature in s tem vpliv toplotnega obrata. Na letni ravni znaša porast temperature z višino okoli $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Tudi v tem primeru se gradient med letom spreminja. Največji je bil v marcu ($2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$), februarju in septembru ($1,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Nad $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ je znašal še v juniju, avgustu, septembru in oktobru. Najmanjši je bil v maju in decembru ($0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) (preglednica 6). Nizek gradient minimalnih temperatur je posledica advektivnega in/ali padavinskega vremena, tedaj je negativen. Visok gradient pri minimalnih temperaturah pa nakazuje izrazitejši temperaturni obrat in več mirnega, jasnega vremena. Značilnega vzorca menjave temperaturnega gradienta, kot smo ga prepoznali pri maksimalnih temperaturah, pri minimalnih temperaturah med letnimi časi ni zaznati.

3.2 Dnevi s karakterističnimi temperaturami

Med dnevi s karakterističnimi temperaturami smo analizirali ledene dneve (najvišja dnevna temperatura nižja od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), hladne dneve (najnižja dnevna temperatura pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), tople (poletne) dneve (najvišja dnevna temperatura nad $25\text{ }^{\circ}\text{C}$), vroče (tropske) dneve (najvišja dnevna temperatura nad $30\text{ }^{\circ}\text{C}$) in dneve s toplo (tropsko) nočjo (najnižja dnevna temperatura višja od $20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Ledeni dnevi

Preglednica 7: Povprečno število ledenih dni v obdobju 2021–2023.

	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)	Bizeljsko (174 m)	Podčetrtek (252 m)
januar	2,7	1,0	0,3	1,3
februar	1,7	1,0	0,7	0,7
marec	0,0	0,0	0,0	0,0
april	0,0	0,0	0,0	0,0
maj	0,0	0,0	0,0	0,0
junij	0,0	0,0	0,0	0,0
julij	0,0	0,0	0,0	0,0
avgust	0,0	0,0	0,0	0,0
september	0,0	0,0	0,0	0,0
oktober	0,0	0,0	0,0	0,0
november	0,0	0,0	0,0	0,0
december	3,3	1,7	0,3	1,7
leto	7,7	3,7	1,3	3,7

Vir podatkov: ARSO, 2025; Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Število ledenih dni (preglednica 7), ko se najvišje dnevne temperature ne dvignejo nad ledišče, v Sloveniji v zadnjih desetletjih hitro upada in tudi pozimi postajajo vse večja redkost. V triletnem obdobju smo na obravnavanih postajah v povprečju na leto zaznali od osem dni (7,7) na Križanem Vrhu do en dan (1,3) na Bizeljskem. Polje pri Bistrici in Podčetrtek imata enako vrednost, in sicer štiri dni (3,7). Ledeni dnevi so se pojavili izključno v zimskih mesecih (mišljeni so meseci meteorološke zime), najpogostejši so bili decembra. Čeprav smo pri drugih temperaturnih kazalcih hladnejše lege pogosto povezovali z inverzno celico v nižini, se je pri ledenih dnevih izkazalo, da so vsaj v obravnavanem triletnem obdobju topli pas in višje ležeča območja deležna več ledenih dni. To je posledica dejstva, da je za ledeni dan pomembna zlasti nizka dnevna temperatura, saj ta ne sme preseči 0 °C, ob zelo verjetni predpostavki, da je ponoči še hladneje. Ne glede na izrazitost inverzije ponoči in zjutraj se ta v Sotelskem gričevju čez dan večinoma razkroji in tedaj so nižine očitno toplejše od nekaj deset do sto metrov višje ležečega toplega pasu, kar potrjujejo tudi povprečne maksimalne temperature, ki se seveda pojavljajo podnevi.

Kandidati za ledeni dan v toplem pasu in višjih legah so na primer dnevi, ko območje pozimi v hladnem zraku pokriva nizka oblačnost, ki presega vrhove toplega pasu. Tedaj se v delih gričevja in hribovja, ki je v oblakih, lahko pojavi tudi ivje. Lahko pa gre za oblačne zimske dneve s sneženjem (slika 5), ko je v nižini pri tleh temperatura okoli ali malo nad 0 °C, 100 ali 200 m višje pa do 2 °C hladneje, kar lahko zadošča za ledeni dan. Za ledene dneve so kandidati tudi dnevi, ko območje preplavi mrzel polarni (arktični) zrak, in sicer v advektivni fazi, torej ko piha veter. Če so v nižini temperature ob vetru tudi čez dan negativne, so negativne temperature zagotovo tudi višje, v toplem pasu. Na obravnavanem območju je prav tako mogoče, da je čez dan izrazita inverzija in v nižini temperature ostanejo negativne, v termalnem pasu pa se ogreje nad 0 °C. To je bolj verjetno v ozkih zaprtih grapah ali zatišnih legah pod osojnimi pobočji hribovij s slemenitvijo vzhod–zahod z močno previšanim južnim horizontom, da nizko zimsko Sonce ne doseže tal. Ampak takih območij je v Sotelskem gričevju malo, mednje sodijo soteska Bistrice gorvodno od Zagaja in izrazito senčne lege pod Kunšperško goro.



Slika 5:

Ledenih in hladnih dni s snežno odejo je v zadnjih desetletjih v Sotelskem gričevju vse manj. Sneg na Okiču decembra 2021
(foto: D. Ogrin).

Hladni dnevi

Preglednica 8: Povprečno število hladnih dni v obdobju 2021–2023.

	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)	Bizeljsko (174 m)	Podčetrtek (252 m)
januar	17,0	18,3	19,3	24,7
februar	8,7	15,7	16,3	14,3
marec	6,7	19,3	15,7	15,3
april	2,3	5,7	4,0	5,3
maj	0,0	0,0	0,0	0,0
junij	0,0	0,0	0,0	0,0
julij	0,0	0,0	0,0	0,0
avgust	0,0	0,0	0,0	0,0
september	0,0	0,0	0,0	0,0
oktober	0,0	3,0	1,7	0,7
november	3,0	6,7	7,3	7,0
december	12,3	15,3	12,7	15,3
leto	50,0	84,0	77,0	82,7

Vir podatkov: ARSO, 2025; Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Pri hladnih dnevih (najnižje dnevne temperature se spustijo pod ledišče) se, obratno kot pri ledenih dnevih, razmerja obrnejo v prid večjega števila hladnih dni v nižini, kjer je pogosta inverzija. Pri pojavu hladnih dni temperatura čez dan ni pomembna, pomembna pa je intenziteta ohlajanja ponoči, in tu se pokaže precej večji potencial ohlajanja v nižinah; zato je pogosto primer, da se nižine ponoči ohladijo pod ledišče, topli pas pa ne. V resnici je to tudi glavni vzrok oblikovanja toplega pasu. Vse tri nižinske postaje so imele v obravnavanem obdobju podobno povprečno število hladnih dni, in sicer med 77 (Bizeljsko) in 84 (Polje pri Bistrici). Podčetrtek je imel slabih 83 dni. Topli pas pa je imel na letni ravni za dober mesec manj hladnih dni v primerjavi z nižinami oziroma za okoli 40 % manj. Spomladi je razlika v prid manj hladnih dni v toplem pasu še nekoliko večja, kar je zelo pomembno, ko jutranji hlad s pozebami ovira rast toploljubnih kulturnih rastlin v inverzni plasti nižin (preglednica 8).

Pričakovali bi, da imajo januarja vse postaje največje število hladnih dni, toda v obdobju 2021–2023 ni bilo povsem tako. Za Podčetrtek (25 dni), Bizeljsko (19) ter Križan Vrh (17) to drži, v Polju pri Bistrici pa je imel marec največ hladnih dni, in sicer 19, januar pa dan manj. Marca, ko je ozračje že občutno toplejše, se hladni dnevi še pojavljajo. V obravnavanem obdobju jih je bilo v primerjavi z zimskimi meseci veliko, in sicer med 15 in 19 po nižinah, v toplem pasu pa občutno manj, le sedem. Sklepamo, da je bila zjutraj slana po nižinah približno vsak drugi marčevski dan, v toplem pasu pa vsak četrti. December je prvi zimski mesec, v katerem negativne temperature niso nič posebnega. V obravnavanem obdobju je bil po številu hladnih dni na drugem mestu na Križanem Vrhu, na tretjem v Podčetrtku in četrtem mestu v Polju pri Bistrici

in na Bizeljskem. Na petem mestu je mesec november, ko je hladnih dni v nižinah okoli sedem, v toplem pasu pa so trije hladni dnevi. Hladni dnevi v aprilu (po nižinah štiri do šest, v toplem pasu dva) so problematični zaradi pozeb, saj je zaradi vse zgodnejšega začetka vegetacijske dobe april mesec, ko številne rastline že brstijo ali celo cvetijo, hkrati pa so negativne temperature v nižinah v povprečju vsako šesto jutro. Hladni dnevi se v nižini pojavljajo tudi v oktobru, ko praviloma ne predstavljajo nevarnosti v kmetijstvu, saj so rastline običajno v fazah rasti, ko niso občutljive na nizke temperature. Majskih ali septembrskih negativnih temperatur v obravnavanem obdobju nismo izmerili, čeprav so se v preteklosti že pojavljale. V poletnih mesecih pa se negativne temperature na obravnavanem območju ne pojavljajo.

Topli dnevi

Preglednica 9: Povprečno število toplih dni v obdobju 2021–2023.

	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)	Bizeljsko (174 m)	Podčetrtek (252 m)
januar	0,0	0,0	0,0	0,0
februar	0,0	0,0	0,0	0,0
marec	0,0	0,0	0,0	0,0
april	0,0	0,3	0,3	0,3
maj	3,7	7,3	6,3	6,3
junij	17,0	23,7	24,0	24,0
julij	22,7	28,3	26,3	26,3
avgust	20,0	23,3	22,3	22,3
september	7,0	17,0	15,0	15,0
oktober	0,7	2,3	2,7	2,7
november	0,0	0,0	0,0	0,0
december	0,0	0,0	0,0	0,0
leto	71,0	102,3	97,0	97,0

Vir podatkov: ARSO, 2025; Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Pri toplih dnevih najvišje dnevne temperature presežejo 25 °C. Na letni ravni jih je več kot hladnih dni, višinska razporeditev pa je obratna. To pomeni, da razporeditev ustreza normalnemu temperaturnemu gradientu, zato ima topli pas opazno manj toplih dni kot nižine. To je posledica dejstva, da so sredi dneva oziroma zgodaj popoldne, ko običajno nastopijo dnevni maksimumi, nižine po navadi toplejše od gričevij. Na letni ravni smo v toplem pasu Križanega Vrha popisali 71 toplih dni, v Polju pri Bistrici pa kar 102. Podobno število smo zasledili tudi na Bizeljskem in v Podčetrtku, kjer smo na obeh postajah popisali 97 toplih dni (preglednica 9).

Od novembra do marca ni bilo toplih dni. V nižinskih postajah je bil aprila v triletnem obdobju le en tak dan, v maju šest do sedem, junija pa je bilo že 80 % vseh dni toplih. V toplem pasu so se topli dnevi prvič v sezoni pojavili v maju, v juniju jih je bilo okoli

17. Julija je bilo toplih dni še več, v nižini 26–28, v toplem pasu pa malenkost manj (23). V avgustu se je število toplih dni že zmanjševalo, v nižinah jih je bilo 22–23, v toplem pasu pa okoli 20. V septembru se število toplih dni močno zmanjša v toplem pasu (bilo jih je okoli sedem), v nižinah pa manj, saj jih je bilo med 15 in 17. Oktobra so topli dnevi redki.

Vroči dnevi

Preglednica 10: Povprečno število vročih dni v obdobju 2021–2023.

	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)	Bizeljsko (174 m)	Podčetrtek (252 m)
januar	0,0	0,0	0,0	0,0
februar	0,0	0,0	0,0	0,0
marec	0,0	0,0	0,0	0,0
april	0,0	0,0	0,0	0,0
maj	0,0	0,3	0,7	0,3
junij	6,3	8,7	10,7	7,3
julij	6,3	12,7	14,7	10,3
avgust	5,3	9,7	13,7	9,7
september	0,0	1,3	1,3	1,0
oktober	0,0	0,0	0,0	0,0
november	0,0	0,0	0,0	0,0
december	0,0	0,0	0,0	0,0
leto	18,0	32,7	41,0	28,7

Vir podatkov: ARSO, 2025; Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Vroči dan je dan, ko temperatura doseže ali preseže 30 °C. Če smo še pred desetletji v nižinah Slovenije opazili le okoli deset vročih dni na leto, so v zadnjih 30 letih ti dnevi vse pogostejši. Vroči dnevi so najpogostejši v poletnih mesecih in jih povezujemo z vročinskim valovi, čeprav ni vsak vroč dan že vročinski val in vsaj teoretično kak dan znotraj vročinskega vala tudi ni vroč dan. V obravnavanem obdobju so se vroči dnevi po nižinah pojavili že v maju, na Bizeljskem dva, na preostalih postajah po eden. Junij se je v zadnjih desetletjih uveljavil kot mesec, ko se je pojavil vsaj en vročinski val. V obravnavanem obdobju smo junija po nižinah zaznali sedem do deset vročih dni, kar pomeni, da je bil vroč približno vsak tretji do četrti dan; v termalnem pasu pa približno vsak peti dan. Največ vročih dni je bilo julija, v nižini od 10 (Podčetrtek) do 15 (Bizeljsko), šest pa v toplem pasu (Križan Vrh). Avgusta smo v nižinah zaznali 10–14 vročih dni, pri čemer je bilo ponovno največ vročih dni na Bizeljskem. Podčetrtek in Polje sta imela enako število vročih dni (10). V toplem pasu je bilo avgusta pet vročih dni, septembra pa jih ni bilo, medtem ko se je po nižinah pojavljal še kak. Na letni ravni po številu vročih dni izstopa Bizeljsko, ki jih je imelo v povprečju kar 41, kar je glede na slovenske razmere veliko. Okoli 30 vročih dni sta imeli preostali nižinski postaji, pri

čemer je imel Podčetrtek štiri dni manj od Polja pri Bistrici. Topli pas je imel na letni ravni okoli 18 vročih dni, izključno v poletnih mesecih (preglednica 10).

Dnevi s toplo nočjo

Preglednica 11: Povprečno število dni s toplo nočjo v obdobju 2021–2023.

	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)	Bizeljsko (174 m)	Podčetrtek (252 m)
januar	0,0	0,0	0,0	0,0
februar	0,0	0,0	0,0	0,0
marec	0,0	0,0	0,0	0,0
april	0,0	0,0	0,0	0,0
maj	0,0	0,0	0,0	0,0
junij	4,3	0,0	0,7	0,7
julij	6,7	0,3	1,3	0,0
avgust	5,0	0,3	1,3	1,0
september	0,0	0,0	0,0	0,0
oktober	0,0	0,0	0,0	0,0
november	0,0	0,0	0,0	0,0
december	0,0	0,0	0,0	0,0
leto	16,0	0,6	3,3	1,7

Vir podatkov: ARSO, 2025; Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Dan s toplo nočjo je dan, ko temperatura ne pade pod 20 °C. Takih noči pred desetletji v notranjosti Slovenije po nižinah praktično ni bilo ali so bile zelo redke, v zadnjem desetletju ali dveh pa jih je vse več. Povezane so z vročinskimi valovi in/ali oblačnimi ali vetrovnimi poletnimi nočmi po jasnem dnevu. Tedaj se prizemna plast zraka ne more radiacijsko dovolj ohladiti in toplota prejšnjega dne ostane v prizemnem sloju zraka. Dnevi s toplo nočjo se lahko pojavijo tudi v prvem delu jeseni, ko je ozračje vetrovno, nad nami pa zelo tople zrak. V toplem pasu gričevnatih pokrajin so tople noči precej pogostejše, saj jih radiacijske inverzije ne dosežejo. Tudi tam vetrovno vreme v obdobju zelo tople advekcije (na primer zračna masa s temperaturo okoli ali nad 15 °C na višini 1500 m) pripomore k pojavu toplih noči. V obravnavanem obdobju je opazna zelo velika razlika v pojavu toplih noči med nižinskimi območji s pogostim temperaturnim obratom in toplim pasom. Kar 16 toplih noči na leto smo v povprečju zaznali v toplem pasu Križanega Vrha, skoraj desetkrat manj (1,7 noči) v Podčetrtku, še manj (le 0,6 noči) v Bistrici ob Sotli ter v povprečju 3,3 noči na leto na Bizeljskem. Glede na ta kazalec sklepamo, da je temperaturni obrat najizrazitejši na Bistriškem polju (preglednica 11).

3.3 Višina padavin in padavinski režim

Preglednica 12: Povprečna višina padavin (v mm) v obdobju 2021–2023.

	Metni Vrh (474 m)	Bizeljsko (174 m)	Podčetrtek (252 m)
januar	101,0	90,8	76,3
februar	30,3	34,6	25,7
marec	39,1	41,9	37,9
april	85,4	94,7	79,5
maj	135,9	145,0	154,5
junij	74,1	44,0	56,5
julij	139,6	119,2	124,2
avgust	98,3	66,7	85,3
september	138,7	125,7	130,2
oktober	90,3	64,4	58,8
november	120,9	113,6	98,4
december	109,1	96,6	96,3
leto	1162,5	1037,1	1023,7

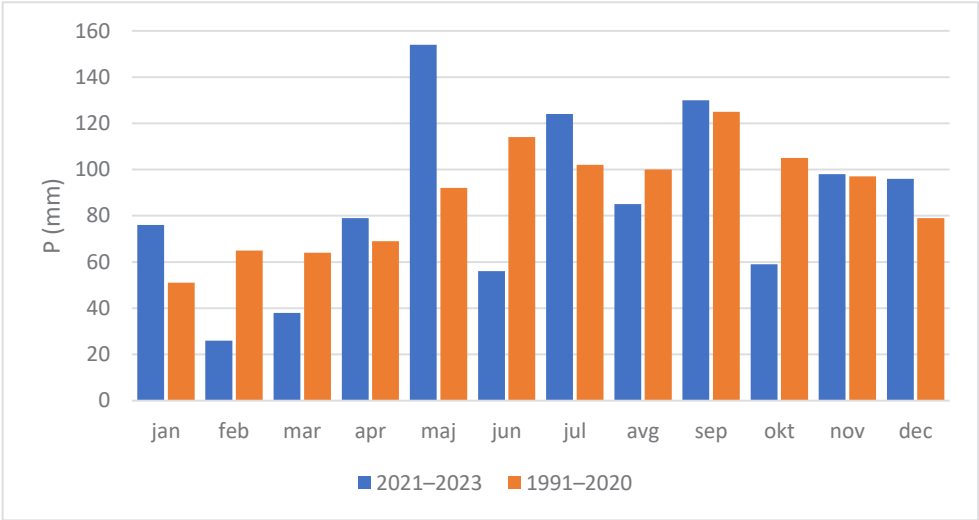
Vir podatkov: ARSO, 2025; Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

Za primerjavo padavin smo uporabili podatke uradne mreže padavinskih postaj Bizeljsko, Podčetrtek in Metni Vrh (preglednica 12), saj so meritve padavin postaj Odredka za geografijo nenatančne, ker ne spremljajo snežnih padavin in padavin v trdnem stanju. Ker so padavine običajno precej bolj variabilne kot temperature, nam triletno povprečje daje zgolj informativno vrednost. Letni povprečji triletnega obdobja Bizeljskega in Podčetrtega sta zelo podobni in se razlikujeta za dobrih 13 mm (1 %). Zares sušen je bil le junij z okoli 50 mm, še manj padavin je padlo februarja, ko je v povprečju Podčetrtek dobil 26 mm, Bizeljsko pa 35 mm. Tudi marec (sušec) izkazuje nizke vrednosti (okoli 40 mm), od maja do decembra pa so se izmenično vrstili bolj in manj namočeni meseci. Nekoliko več padavin je v obravnavanem obdobju padlo na Metnem Vrh, ki ima bolj hribovito lego. Letne višine padavin obravnavanega triletnega obdobja so v rangu dolgoletnega povprečja, ko je v obdobju 1991–2020 na Bizeljskem padlo 998 mm, v Podčetrtku 1061 mm in v Podsredi, ki leži v bolj hribovitem delu obravnavane pokrajine, 1115 mm (ARSO, 2025).

Pričakovano so nekoliko večja odstopanja triletnega obdobja od 30-letnega povprečja pri padavinskem režimu (slika 6). V obdobju 2021–2023 je bil višek padavin v maju, jesenski višek septembra je bil sekundarnega pomena, v obdobju 1991–2020 pa je bil jesenski višek dominantnejši od poletnega. Nižek se je v obeh obdobjih pojavil konec zime oziroma v začetku pomladi (februar, marec). Razen viškov in nižkov padavin je z vidika opredeljevanja padavinskega režima pomembno razmerje med višino padavin v topli (april–september) in hladni polovici leta. Tako v primeru krajšega kakor tudi v primeru standardnega 30-letnega obdobja je več kot polovica vseh

padavin (med 55 in 61 %) padlo v topli polovici leta, kar kaže na celinske poteze padavinskega režima in večji prispevek konvekcijskih padavin k letni vsoti. Ker pa k letni bilanci pomembno prispevajo tudi jesenske padavine, je primerno, da padavinski režim Sotelskega gričevja označujemo za zmerno celinskega.

Slika 6: Padavinski režim Podčetrтка (252 m) v obdobju 2021–2023 v primerjavi s 30-tletnim obdobjem 1991–2020.



Vir podatkov: ARSO, 2025; Katedra za fizično geografijo, 2021–2023.

3.4 Pogostost in hitrost vetra

Preglednica 13: Pogostnost in povprečna hitrost vetra po smereh na Križanem Vrh (od 6. 2. 2020 do 31. 12. 2022) in v Polju pri Bistrici (od 5. 2. 2020 do 15. 9. 2022).

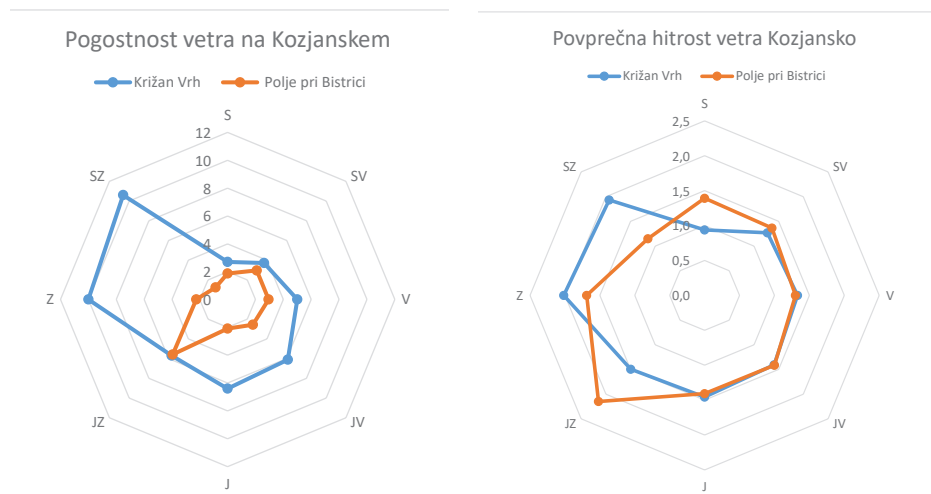
	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)	Križan Vrh (407 m)	Polje pri Bistrici (188 m)
Smer neba	Pogostost vetra (v %)		Hitrost vetra (m/s)	
sever	2,7	1,9	0,9	1,4
severovzhod	3,7	3,0	1,3	1,4
vzhod	5,0	2,9	1,3	1,3
jugovzhod	6,1	2,6	1,4	1,4
jug	6,4	2,1	1,5	1,4
jugo zahod	5,7	5,6	1,5	2,1
zahod	10,0	2,3	2,0	1,7
severozahod	10,6	1,2	1,9	1,1
brezvetrje	49,8	78,5		

Vir podatkov: Katedra za fizično geografijo, 2020–2022.

Na obeh lokacijah je bilo najpogostejše brezvetrje (preglednica 13), kar nakazuje, da gričevje ter zlasti nižinski in dolinski svet Sotelskega gričevja ne sodijo med vetru izpostavljene lege v Sloveniji. Prej obratno, saj je na Bistriškem polju v skoraj 80 % vseh merilnih terminov prevladovalo brezvetrje. V gričevju je ta delež dosegel polovico. Po pogostosti vetra iz posameznih smeri se Križan Vrh in Polje razlikujeta. Roža vetrov (slika 7) nakazuje, da na Križanem Vrhju prevladujeta severozahodnik in zahodnik, ki sta zastopana z nekaj več kot 10 %, s 5 ali nad 5 % so zastopani še vzhodnik in vetrovi z južnega kvadranta, najredkeje piha veter s severa (2,7 %) ali severovzhoda (3,7 %).

Na Bistriškem polju je razporeditev vetrov bolj enakomerna, saj so, razen jugozahodnika, ki doseže 5,6 %, preostale smeri zastopane z 1,2 % (sever) do 3 % (severovzhod). Glede na prevladujočo smer vetrov po nižinah Slovenije, kjer skladno z vetrovi ob prehodih vremenskih front prevladujeta jugozahodnik in severovzhodnik, ugotavljamo, da ima nižinska postaja bolj tipično vetrovno rožo kot postaja v vzpetem svetu. Zanimivo pa je, da je delež pogostnosti jugozahodnika in severovzhodnika na obeh postajah zelo podoben, razlikuje pa se pogostnost drugih smeri. Severozahodnik je v Polju pri Bistrici najredkejši veter, na Križanem Vrhju pa najpogostejši. Severovzhodnik je na Križanem Vrhju drugi najredkejši veter, v Polju pri Bistrici pa je to drugi najpogostejši veter.

Slika 7: Pogostnost vetra (% , levo) in povprečna hitrost vetra (m/s, desno) na Križanem Vrhju (407 m) ter v Polju pri Bistrici (188 m).



Vir podatkov: Katedra za fizično geografijo, 2020–2022.

Povprečne hitrosti vetra so na obeh postajah razmeroma majhne, kar je skladno s splošnimi vetrovnimi razmerami notranje Slovenije. Le dve smeri imata povprečno hitrost 2 ali 2,1 m/s, in sicer zahodnik na Križanem Vrhju ter jugozahodnik v Polju pri Bistrici. Druge povprečne hitrosti so med 0,9 in 1,9 m/s. Sklepamo, da je ozračje po nižinah Sotelskega gričevja in tudi vzpetega sveta precej mirno. To vpliva na slabše samočistilne sposobnosti ozračja, kar je težava zlasti v hladni polovici leta v dolinah med gričevji z nekoliko gostejšo poselitvijo in večjo koncentracijo virov onesnaževanja ozračja, zlasti individualnih kurišč. Vetrovne razmere prav tako ne kažejo na velik



Slika 8:

Vetrovna harfa na Vetrniku (709 m) nakazuje nadpovprečno vetrovnost hriba, kar glede na nadmorsko višino in izpostavljenost vrha prostemu ozračju ne preseneča (foto: D. Ogrin).

potencial za izkoriščanje vetrne energije. V hribovitih, bolj izpostavljenih območjih obravnavane pokrajine je vetra gotovo več, vprašanje pa je, ali ga je dovolj za ekonomično izrabo. Na večjo vetrovnost najvišjih predelov kaže tudi ime hriba Vetrnik (709 m) (slika 8), vendar je takih območij zelo malo. Nad 600 m nadmorske višine je le 4 % obravnavane pokrajine, nad 700 m pa le še dober odstotek.

3.5 Podnebje v obdobju 2021–2023 v primerjavi z obdobjem 1981–2010

V triletnem obdobju 2021–2023 je bila povprečna letna temperatura zraka v Sloveniji in tudi v obravnavani pokrajini nad dolgoletnim povprečjem obdobja 1981–2010. V letu 2021 je bil odklon na Bizeljskem, ki je najbližja klimatska postaja z razpoložljivimi podatki, $+0,8^{\circ}\text{C}$, v letu 2022 $+1,8^{\circ}\text{C}$ in leta 2023 $+1,4^{\circ}\text{C}$. Letnih padavin je bilo v triletnem obdobju za okoli 4 % več od referenčnega povprečja, kar pa je znotraj intervala običajne variabilnosti letne višine padavin, ki v tem delu Slovenije znaša okoli 11 % (Čotar in Ogrin, 2024). Gledano v celoti, je bilo obdobje 2021–2023 za okoli $1,3^{\circ}\text{C}$ pretoplo in nekoliko bolj vlažno glede na dolgoletno povprečje.

Podnebje Sotelskega gričevja moramo, tako kot pri drugih slovenskih pokrajinah, gledati v kontekstu podnebnih sprememb. Če je še do nedavnega veljalo, da se Slovenija segreva za okoli $0,35^{\circ}\text{C}/10$ let, zadnji izsledki kažejo, da se segreva kar $0,7^{\circ}\text{C}/10$ let (ARSO, 2024). Ne glede na to, ali se bo ta trend v prihodnje vsaj malo umiril ali ne, je treba podnebje razumeti v luči teh trendov, ki so v primerjavi s preteklimi 20 leti zelo izraziti, v primerjavi z obdobjem pred letom 2000 pa nepredstavljeni. Tako je zelo malo možnosti, da bi kakšno leto, če ga primerjamo s preteklimi 30 leti, imelo povprečne temperature, saj se je temperatura zraka od začetka do konca referenčnega obdobja 1991–2020 dvignila za $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$, če upoštevamo trend $0,3\text{--}0,7^{\circ}\text{C}/10$ let.

4 Topoklima občine Bistrica ob Sotli

Z izrazom topoklima označujemo specifične lokalne podnebne poteze, ki se oblikujejo pod vplivom lokalnih morfoloških in morfometričnih značilnosti reliefa

(nadmorska višina, ekspozicija, naklon površja, reliefna izoblikovanost), tipa vegetacije in rabe (pokrovnosti) površja (urbanizirane površine, gozdne površine, kmetijske površine) ter vodnih oziroma vlažnostnih razmer (vodne površine, mokrišča, visoka talna voda in podobno). Osnovne poteze pa so odvisne od splošnih, regionalnih in tudi globalnih podnebnih razmer. Za oblikovanje topoklime so odločilne vremenske razmere, saj je od (ne)prisotnosti radiacijskega vremena odvisno, ali se bodo topoklimatske poteze oblikovale in v kakšni meri.

Raziskavo smo osredotočili na občino Bistrica ob Sotli, ki leži v južnem delu Sotelskega gričevja. Osrednji del občine sestavlja ravnina ob sotočju Bistrice in Sotle (Bistriško polje). Polje leži na nadmorski višini med 170 in 200 m ter ima kotlinski značaj (Bistriška kotlina). Bistriško polje prehaja na severozahodu in zahodu v gričevje, ki dosega višine do 450 m, na jugu v 500–700 m visoko hribovje Orlice in Kunšperške gore (slika 9), na severu in vzhodu pa v gričevje Hrvaškega Zagorja. Meja občine na severu in vzhodu je hkrati državna meja s Hrvaško ter poteka po reki Sotli oziroma njenih nekdanjih okljukih. Občina ima površino 31 km², leta 2024 je imela 1348 prebivalcev z gostoto poselitve 43 prebivalcev/km² (Občina Bistrica ob Sotli, 2024).

Slika 9:

Pogled na Bistriško polje s Kunšperško goro (597 m) ozadju s Srebrnika (foto: D. Ogrin).



Raziskovanje vpliva lokalnih pokrajinskih razmer na podnebje ima v slovenski geografiji dolgo tradicijo. Študije so bile usmerjene na raziskovanje vpliva reliefa na lokalno podnebje (na primer Ogrin, 2000; Ogrin, 2003), raziskovanje vpliva konkavnih oblik reliefa na minimalne temperature zraka (na primer Gams 1972a; Gustinčič 2013; Ogrin in sod., 2006; Ogrin, 2007; Ortar in sod., 2010; Žiberna, 1999), oblikovanje termalnega pasu (na primer Gams, 1996; Ogrin, 2005, 2007; Žiberna, 1992), proučevanje padavinskih gradientov v alpskih dolinah (na primer Ogrin in Kozamernik, 2018, 2020) in vpliv reliefa na mejo sneženja (na primer Strle in Ogrin, 2016, 2021). Raziskovali so odnos med reliefom in Sončevim obsevanjem (Gabrovec, 1996) ter pojav mestne klime (na primer Gams in Krevs, 1997; Jernej, 2000; Konovšek, 2006; Pipenbaher in sod., 2020; Žiberna, 1991). Manjšo tradicijo ima v slovenskem prostoru topoklimatsko kartiranje in izdelovanje topoklimatskih kart (Ogrin in sod., 2016, 2017, 2022; Ogrin in Vysoudil, 2011).

4.1 Metodologija topoklimatskega raziskovanja

V metodološkem smislu lahko topoklimatske značilnosti ugotavljamo s pomočjo terenskih meritev in opazovanj (neposredne metode) oziroma z različnimi posrednimi metodami, pri čemer so pomembne predvsem razmere pri površju (aktivna plast), kjer poteka energijska izmenjava med površjem in ozračjem. Pri našem delu smo uporabili kombinacijo obojega. Sledili smo priporočilom v literaturi (Vysoudil, 1993, 2000; Vysoudil in Ogrin, 2009; Quitt, 1994) in metodologiji, ki smo jo uporabili pri predhodnih tovrstnih raziskavah (Ogrin in Vysoudil, 2011; Ogrin in sod., 2016, 2017, 2022), ter jo ustrezno prilagodili razmeram v občini Bistrica ob Sotli. Pri neposrednem spoznavanju lokalnih podnebnih razmer smo uporabili rezultate terenskih meritev in opazovanj, ki so bila v obdobju 2019–2024 opravljena za potrebe raziskave topoklimatske občine Bistrica ob Sotli. Meritve in opazovanja so potekala v okviru terenskega dela iz fizične geografije študentov drugega letnika geografije Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani v mesecu maju in bile nadgrajene z individualnim raziskovalnim delom avtorjev prispevka.

Zaradi pomena razmer pri površju za oblikovanje topoklimatskih značilnosti del meritev ni bil opravljen na standardni višini, na primer temperature zraka na 2 m oziroma vetra na 10 m nad tlemi, ker so te meritve bolj reprezentativne za regionalne razmere, ampak nižje. Temperaturo zraka smo z digitalnimi registratorji merili med 1,6 in 1,8 m nad površjem, v podobni višini tudi temperaturo zraka med meritvami po vnaprej načrtovani poti (maršrutne meritve). Veter smo merili na 2–2,5 m nad površjem, zastrtost obzorja zaradi reliefa in arhitektonskih ovir ter s tem vpliv na insolacijo na 1,6–1,8 m nad tlemi. Petletne meritve klimatskih elementov na dveh digitalnih mezoklimatoloških postajah, od katerih je bila ena postavljena na Bistriškem polju, druga pa v gričevju na Križanem Vrh, so potekale na višinah 1,5 m (temperatura zraka), 2 m (višina padavin), 2,1 m (energija Sončevega sevanja) in 2,4 m nad površjem (vetrovnost).

O lokalnih podnebnih potezah smo sklepali tudi s pomočjo posrednih metod analize značilnosti površja, kjer smo uporabili različna GIS-ovska orodja. Pri reliefu smo upoštevali konkavnost, konveksnost, naklon in ekspozicijo. Trajanje insolacije in prejeta energijo Sončevega sevanja smo izračunali s pomočjo orodij »Solar radiation« programskega paketa ESRI ArcGIS Pro, ki upošteva astronomske dejavnike, oblikovanost reliefa in atmosferske dejavnike. Vpliv vegetacijskih razmer in rabe tal na lokalno podnebje smo določali s pomočjo evidentirane dejanske rabe zemljišč (Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP), 2024).

Za proučevano območje je značilno, da je reliefno razgibano in ga sestavlja preplet gozdnih in negozdnih predelov ter različnih tipov pokrovnosti (rab) površja, iz česar lahko sklepamo na večje število specifičnih topoklimatskih enot (Vysoudil in sod., 2019). Za identifikacijo teh enot smo na območju občine Bistrica ob Sotli izvedli termalno snemanje, saj so od temperaturnega stanja aktivne plasti površja odvisne temperaturne značilnosti prizemne plasti ozračja. Aktivna plast pomeni površje tal ali predmetov oziroma objektov na tleh, usmerjeno v nebo. V primeru mest so to poleg mestnih tal tudi strehe stavb, v primeru polj so to obdelovalna tla ali rastje, ki jih pokriva, v primeru gozdov so to krošnje, v primeru voda pa gre za

vodno gladino. Ta površina je ključna za sprejem kratkovalovnega in oddajanje dolgovalovnega sevanja, torej pomembno vpliva na segrevanje in ohlajanje površja ter zraka neposredno nad njimi.

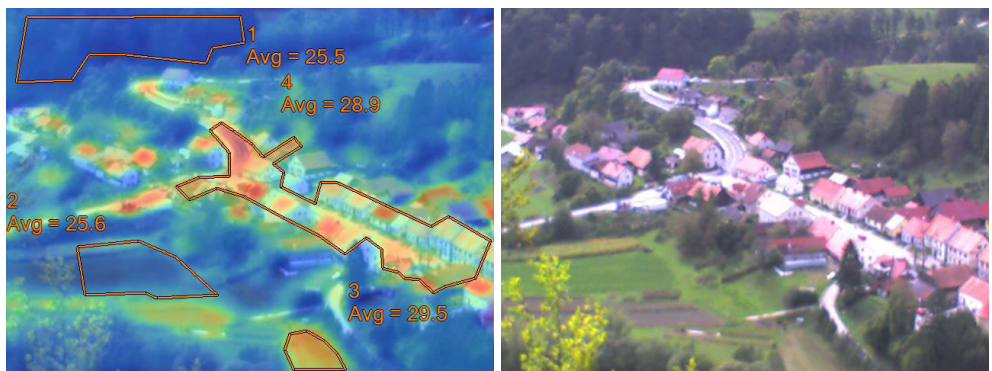
Termalno snemanje je bilo narejeno s prenosno infrardečo kamero (Fluke Ti55 IR fusion technology). Kot primer temperaturnih razlik različnih tipov aktivne plasti površja navajamo analizo posnetka iz Podsrede (preglednica 14, slika 10).

Preglednica 14: Osnovne temperaturne značilnosti (°C) izbranih tipov aktivnega dela površja na območju Podsrede ob radiacijskem vremenu 14. 9. 2022 ob 14:21.

	Minimalna temperatura	Maksimalna temperatura	Povprečna temperatura	Temp. amplituda tipa aktiv. pov.	Stand. odklon
1 gozd	24,9	26,1	25,5	1,2	0,22
2 njiva	24,6	27,4	25,6	2,8	0,65
3 redko poraščeno	27,5	30,3	29,5	2,8	0,54
4 pozidano	26,3	32,6	28,9	6,3	1,07

Temperaturne značilnosti, predstavljene v preglednici 14, ne opozarjajo samo na razlike med gozdnimi površinami in na primer pozidanimi oziroma slabo poraščenimi površinami, ampak tudi na (ne)homogenost njihovega temperaturnega polja, kar lahko razberemo iz amplitude in vrednosti standardnega odklona. Po homogenosti temperature aktivne plasti prednjači gozd (drevesne krošnje), nasprotno velja za pozidana območja, ki na splošno veljajo (tudi manjša naselja) za toplejša območja v pokrajini in tvorijo tako imenovani mestni toplotni otok.

Slika 10: Temperaturna polja aktivne plasti površja v Podsredi in njeni okolici (levo) ter slika analiziranega območja v vidnem spektru (desno) (foto: M. Vysoudil).



1 – gozd, 2 – njiva, 3 – redko poraščeno, 4 – pozidano

4.2 Topoklimatske razmere

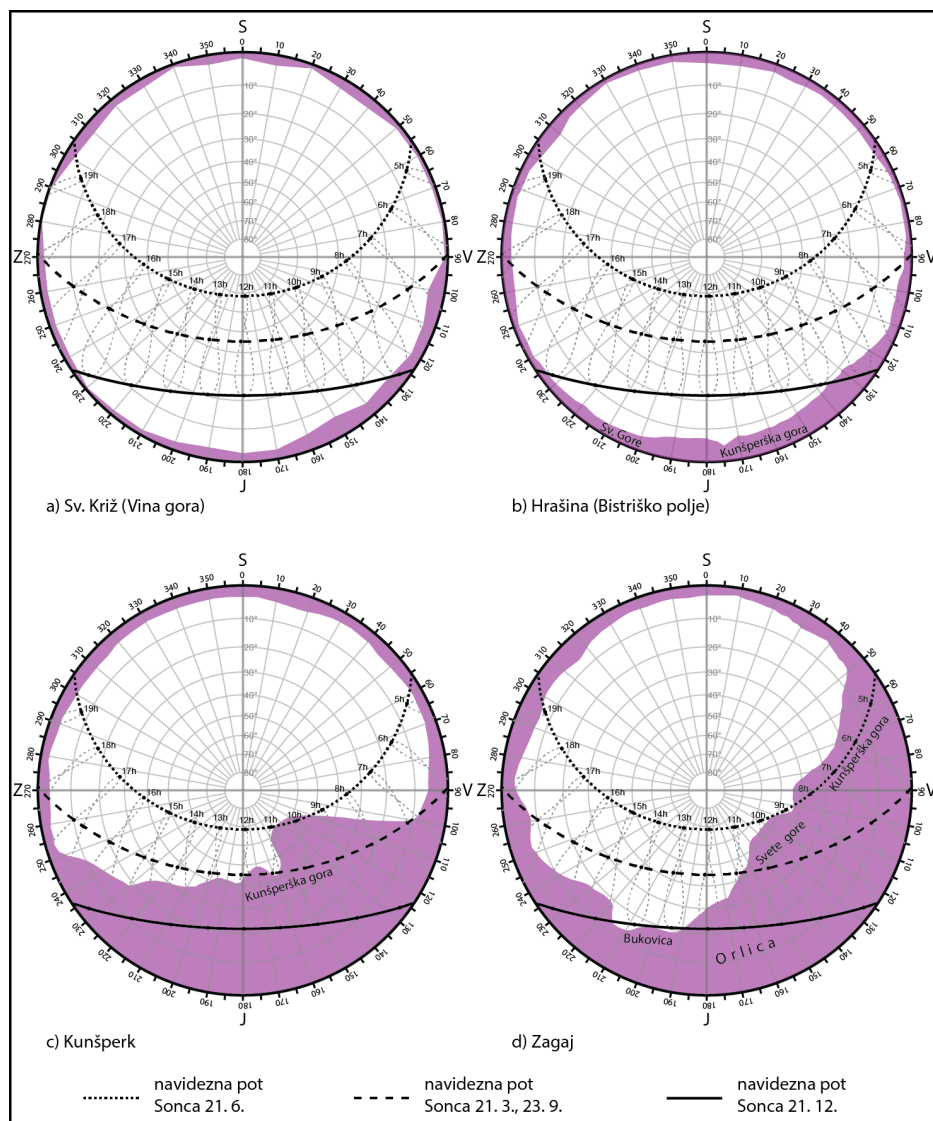
Lokalne razlike v osončenosti

Na lokalne in mikro razlike v obsevanju ter prejeti energiji Sončevega sevanja vplivajo ob astronomskih in atmosferskih dejavnikih predvsem višina južnega obzorja oziroma zasenčenost zaradi njega, ekspozicija ter naklon površja. V srednjih geografskih širinah so z vidika povprečnih razmer ugodne južne ekspozicije z nakloni okoli 45°. Okoli zimskega obrata, ko je Sonce najnižje nad obzorjem, prejmejo več energije nekoliko strmejša pobočja, okoli poletnega obrata, ko je Sonce v najvišji legi, pa nekoliko položnejša. Razlike v prejeti energiji Sončevega sevanja med posameznimi ekspozicijami so veliko večje pozimi, ko je Sonce nizko nad horizontom in je čas obsevanja krajši.

Večina občine Bistrica ob Sotli ima z vidika slovenskih razmer povprečne vrednosti trajanja obsevanja in prejete energije Sončevega sevanja. Po izračunih orodja »Solar Radiation«, ki ne upošteva oblačnosti, prejme letno med 950 in 1250 kWhm⁻². Za primerjavo, letno povprečje na horizontalno površino v Sloveniji je okoli 1250 kWhm⁻² (Kastelec in sod., 2007). Ugodne razmere so posledica reliefnih danosti, saj je površje večine občine blago razgibano, kjer ni zelo velikih relativnih višinskih razlik oziroma zelo dolgih in strmih pobočij ter globokih dolin, kakor na primer v alpskih in predalpskih pokrajinah. Po zelo dobri obsijanosti in nadpovprečnih vrednostih prejete energije izstopajo strma pobočja z južno, jugovzhodno ter jugozahodno lego v severnem in severozahodnem gričevnatem delu občine, na primer Vine gore, Križanega Vrha in Dekmance, ki letno prejmejo med 1250 in 1750 kWhm⁻² (slika 22). Na splošno so temena gričevja in prisojna pobočja zelo dobro obsijana s soncem. Glede na meritve poteka realnega horizonta in njegovega vpliva na insolacijo (v občini je bilo narejenih 48 meritev na značilnih lokacijah) je trajanje Sončevega obsevanja krajše od teoretično možnega le za kako uro (slika 11, Sveti Križ). Zelo dobre razmere ima tudi osrednji in severni del Bistriškega polja (slika 11, Hrašina), le okoli zimskega obrata je obsevanje krajše do tri ure zaradi visokega južnega obzorja, ki ga predstavljajo Kunšperška gora in Svete gore oziroma Orlica.

Podpovprečne razmere (pod 950 kWhm⁻²) imajo strma osojna pobočja in njihov prehod v kotlinsko oziroma dolinsko dno pod Kunšperško goro in Orlico ter soteska Bistrice na jugu občine in zelo strma severno eksponirana pobočja posameznih delov gričevja v severnem delu občine, na primer Dekmance, Šiškovega vrha, Bobovca in Bojnega Vrha. Ti predeli imajo okoli zimskega obrata le kako uro sonca ali se Sonce sploh ne dvigne nad obzorje. Visoko južno obzorje pomembno skrajšuje obsevanje v naštetih območjih tudi ob enakonočju in poletnem obratu (slika 11, Kunšperk, Zagaj).

Slika 11: Trajanje Sončevega obsevanja ob enakonočju ter poletnem in zimskem obratu na Svetem Križu (a), v Hrašini na Bistriškem polju (b), v Kunšperku pod Kunšperško goro (c) in v Zagaju ob izhodu Bistrice iz soteske (d). Sonce je nad obzorjem, ko poteka njegova pot zunaj obarvanega dela grafikona.



Prostorsko razporejanje temperature zraka

Da bi ugotovili osnovne značilnosti prostorskega razporejanja temperature zraka v občini Bistrica ob Sotli, h kateri smo priključili še okolico Podsrede, smo v obdobju 2019–2024 postavili digitalne merilnike temperature na šestih lokacijah. Z njimi smo

zajeli Bistriško polje in dolino Bistrice pri Podsredi, gričevnati del občine in hribovje na jugu (preglednica 15). Meritve so potekale 84 dni pozimi, s pričetkom ob zimskem obratu, in 84 dni poleti, z začetkom ob poletnem obratu. Merilniki (i-button, proizvajalec Dallas Semiconductor) so bili nameščeni v sevalne zaklone (slika v preglednici 15) med 1,6 in 1,8 m nad tlemi.

Preglednica 15: Osnovne značilnosti lokacij meritev temperature zraka in sevalni zaslon za digitalni registrator temperature.

Lokacija meritev	Nadmorska višina (m)	Topoklimatska lega
Kramer	175	dno Bistriškega polja
Bistrica	215	terasa nad Bistriškim poljem
Podsreda	240	dno doline Bistrice
Sveti Križ	325	prisojno pobočje gričevja
Žalostna mati	375	prisojno pobočje gričevja
Svete gore	550	vrh hriba



Pri povprečnih poletnih in zimskih temperaturah je bilo gričevje nad Bistriškim poljem in dolino Bistrice najtoplejši del raziskovalnega območja. V obravnavanem obdobju je bilo za 1–1,5 °C toplejše od dna Bistriškega polja oziroma doline Bistrice pri Podsredi in prav toliko toplejše od hribovja Orlice na jugu v višinah okoli 550 m (preglednica 16). Opisani potek temperature zraka z višino nakazuje pogoste temperaturne obrate, ki se razvijejo ob radiacijskem vremenu.

Inverzna razporeditev temperature zraka z višino je še bolj razvidna pri povprečnih minimalnih temperaturah. Te so najvišje v hribovju na jugu, kjer so Svete gore poleti toplejše za več kot 2 °C od okoli 250 m nižje ležečih najnižjih območij obravnavane pokrajine, pozimi pa za več kot 3 °C. Povprečne zimske minimalne temperature so v nasprotju z meritvami v dolini Bistrice ter na Bistriškem polju pogosto tudi pozitivne. Hribovito obrobje je pri povprečnih minimalnih temperaturah toplejše od gričevja na severnem in severozahodnem obrobju občine ter tudi od naselja Bistrica ob Sotli, ki leži na terasi 20–30 m nad dnom polja, kar nakazuje, da toplotni pas sega pogosto do najvišjih delov hribovja na jugu.

Običajno razporeditev temperature zraka z višino, to je da se temperatura z višino znižuje, zasledimo pri povprečnih poletnih maksimalnih temperaturah. Pri teh so najvišji predeli okoli Svetih gora na višku dneva hladnejši od najnižje ležečih za 3–4 °C. Pri povprečnih zimskih najvišjih temperaturah so od najnižjih območij, kjer je trajanje Sončevega obsevanja krajše zaradi visokega južnega obzorja in se temperaturni obrat razkroji pozneje, toplejša dobro obsijana prisojna pobočja ter temena gričevja na severu in severozahodu obravnavane pokrajine. Tu so najvišje dnevne temperature v povprečju višje od dna Bistriškega polja oziroma doline Bistrice pri Podsredi za nekaj več kot 1 °C, od hribovitega obrobja na jugu pa 1,5–2 °C.

Preglednica 16: Povprečne poletne in zimske temperature zraka (°C) v obdobju 2019–2024.

Lokacija meritev	n. v. (m)	Povprečne poletne temperature zraka					Povprečne zimske temperature zraka				
		2019	2020	2021	2022	2023	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24
Kramer	175	/	19,9	19,9	21,9	21,3	3,8	3,5	/	4,5	5,3
Bistrica	215	21,7	/	/	22,9	21,9	4,5	4,0	3,3	5,2	5,8
Podsreda	240	20,0	19,8	19,8	20,7	20,5	4,1	3,6	2,2	4,2	/
Sveti Križ	325	21,8	/	/	22,8	22,0	5,8	4,5	4,3	5,7	7,3
Žalostna mati	375	20,3	/	/	21,5	20,8	5,2	4,4	/	/	6,6
Svete gore	550	20,6	20,0	20,1	21,4	20,7	5,2	3,8	/	4,4	6,6
		Povprečne poletne minimalne temp.					Povprečne zimske minimalne temperature				
Kramer	175	/	14,4	14,4	15,5	15,7	–1,3	–1,1	/	–0,1	0,4
Bistrica	215	16,7	/	/	16,9	16,4	0,4	0,3	–1,2	1,3	1,6
Podsreda	240	14,8	14,4	14,4	14,7	15,2	–0,9	–0,8	–2,9	–0,2	/
Sveti Križ	325	16,8	/	/	17,1	16,8	1,7	0,8	0,1	2,1	3,4
Žalostna mati	375	15,9	/	/	16,4	16,2	1,3	0,9	/	/	3,0
Svete gore	550	17,2	16,7	16,7	17,3	17,3	2,2	1,1	/	1,9	4,2
		Povprečne poletne maksimalne temp.					Povprečne zimske maksimalne temperature				
Kramer	175	/	25,8	25,8	28,4	27,9	9,8	8,6	/	9,7	11,7
Bistrica	215	27,4	/	/	30,4	29,4	9,4	8,2	8,6	9,6	10,9
Podsreda	240	26,6	26,6	26,6	27,7	27,3	9,9	8,8	8,5	9,2	/
Sveti Križ	325	27,6	/	/	30,5	28,5	11,6	9,9	10,1	10,5	12,9
Žalostna mati	375	25,5	/	/	27,3	25,9	10,5	9,2	/	/	11,3
Svete gore	550	24,2	23,6	23,6	26,1	23,4	8,7	7,5	/	7,7	11,7

Vir podatkov: Katedra za fizično geografijo, 2019–2024.

/ Izpad meritev, ni podatka

V obdobju 2019–2024 so bile najnižje zimske temperature med –10 in –16,6 °C. Po pričakovanju so bile najnižje temperature največkrat izmerjene na Bistriškem polju pri Kramerju oziroma v dolini Bistrice pri Podsredi (preglednica 17). Po najnižjih temperaturah izstopa zadnja zima meritev, ko se je 21. 1. 2024 temperatura pri Kramerju spustila do –16,6 °C. Merilna mesta v toplem pasu so imela do 5,5 °C višje absolutne minimalne temperature od merilnih mest v dolini Bistrice oziroma na Bistriškem polju. V poletnem času so se najnižje temperature spustile do 8 °C (Podsreda, 11. 7. 2019). Tudi pri poletnih minimumih izstopata Kramer in Podsreda, ki sta bila od višje ležečih postaj hladnejša do 3 °C. Razlika med dolinskimi (kotlinskimi) merilnimi mesti in višje ležečimi je jasno razvidna tudi pri številu dni, ko se je poleti temperatura spustila pod 10 °C. V obdobju 2019–2024 je bilo takih dni v nižje ležečih krajih med štiri in sedem na leto, v višje ležečih pa takih dni ni bilo ali pa je bil le kak posamičen dan. Še večja razlika je v zimskem času v številu hladnih dni (najnižja temperatura pod 0 °C). Teh je bilo v hladni polovici leta v najnižjih delih obravnavane pokrajine okoli 50, v višje ležečih pa okoli 30.

Preglednica 17: Najnižje zimske minimalne temperature (°C) v obdobju 2019–2024.

	2019/20		2020/21		2021/22		2022/23		2023/24	
	T	Datum	T	Datum	T	Datum	T	Datum	T	Datum
Kramer	–9,5	7. 1. 20	–10,0	13. 2. 21	/	/	–10,1	10. 2. 23	–16,6	21. 1. 24
Podsreda	–7,4	30. 12. 19	–10,5	12. 1. 21	–10,5	12. 3. 22	–9,5	10. 2. 23	/	/
Bistrica	–7,5	7. 1. 20	–9,0	13. 2. 21	–7,5	13. 1. 22	–8,5	10. 2. 23	–13,5	21. 1. 24
Sveti Križ	–5,5	30. 12. 19	–9,5	13. 2. 21	–7,0	9. 1. 22	–7,0	7. 2. 23	–11,0	22. 1. 24
Žalostna mati	–6,5	30. 12. 19	–10,0	13. 2. 21	/	/	/	/	–8,0	11. 1. 24
Svete gore	–5,0	30. 12. 19	–10,5	13. 2. 21	/	/	–7,5	7. 2. 23	–6,5	9. 1. 24

Vir podatkov: Katedra za fizično geografijo, 2019–2024.

/ Izpad meritev, ni podatka

Temperaturni obrat in topli pas

Dodatne informacije o pomenu temperaturnega obrata za podnebne razmere občine Bistrica ob Sotli smo dobili z maršrutnimi meritvami uro pred sončnim vzhodom. V času terenskega dela s študenti smo imeli dve vremenski situaciji z radiacijskim tipom vremena, 11. 5. 2022 in 15. 5. 2024. Obakrat smo uro pred sončnim vzhodom med vožnjo z avtomobilom opravili okoli 50 meritev na profilu od Bistriškega polja do Svetih gora na jugu ter gričevnatega obrobja na severni, severozahodni in zahodni strani občine. Ob obeh serijah meritev je bila prostorska razporeditev temperature zraka podobna. Najnižje temperature smo pričakovano izmerili na dnu Bistriškega polja oziroma v dolini Trebčice, najvišje pa na najvišje ležečih vrhovih in temenih gričevnatega ter hribovitega obrobja. Pravega hribovskega pasu glede na vertikalno podnebno pasovitost Slovenije (Gams, 1972b), ko bi temperatura zraka nad toplim pasom z višino padala, z meritvami nismo dosegli. Ob meritvah maja 2022 je bila najnižja temperatura izmerjena pri Kramerju (175 m), 8,2 °C, najvišja pa na prevalu tik pod vrhom Svetih gora (460 m), 14,9 °C. Dno Bistriškega polja in dolina Trebčice sta imela temperature pod 9 °C, pokrivala ju je tanka plast megle (slika 12). Večina gričevja in vznožje Orlice sta imela temperature med 9 in 11 °C, najvišji deli gričevja in Orlica nad okoli 300 m pa nad 11 °C (Slika 12). Jakost temperaturnega obrata je bila tega dne 6,7 °C. Temperatura zraka je v hribovitem delu pokrajine na jugu občine naraščala z višino z gradientom +2,3 °C/100 m, v gričevnatem delu pa s +2,7 °C/100 m.

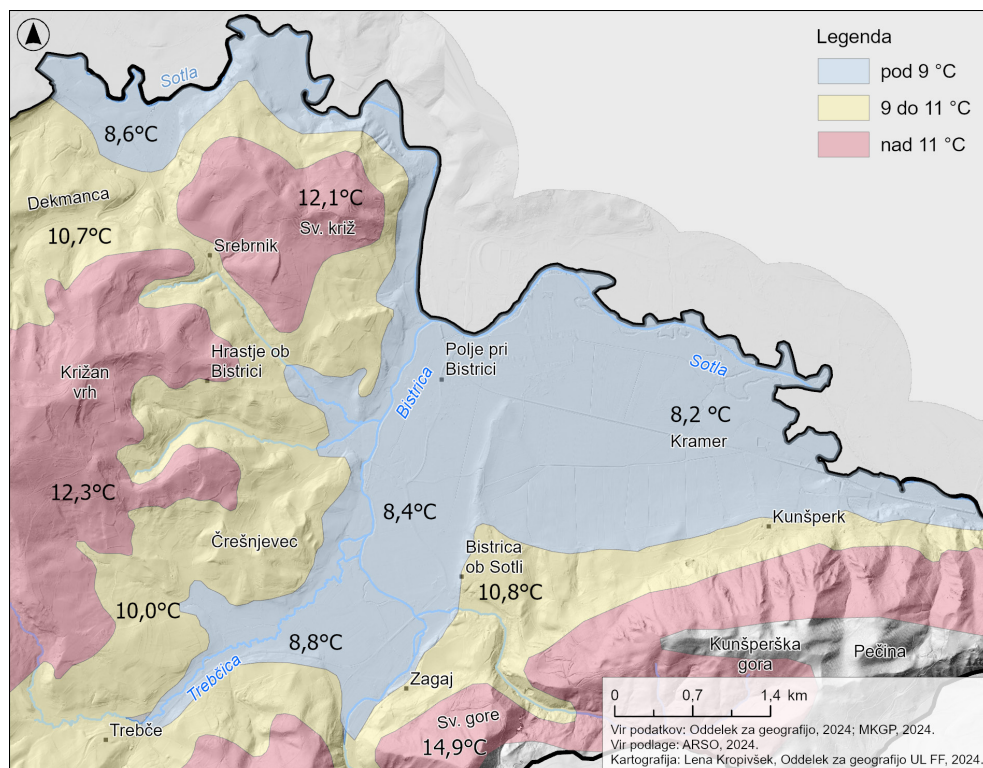


Slika 12:

Talna megla ob sončnem vzhodu nad Bistriškim poljem ob temperaturnem obratu 11. 5. 2022 (foto: D. Ogrin).

Manjša je bila jakost temperaturnega obrata 15. 5. 2024, in sicer 4,1 °C. Najnižjo temperaturo smo izmerili v dolini Trebčice pod Trebčo Gorco (205 m), 6,5 °C, najvišjo pa ponovno na prevalu pod Svetimi gorami, 10,6 °C. Temperatura zraka je z višino naraščala s stopnjo +0,8 °C/100 m. V primerjavi z razmerami 11. 5. 2022 je bila meglena plast ozračja debelejša, segala je do višine okoli 280 m. Tudi v tem primeru se je kmalu po sončnem vzhodu razkrojila.

Slika 13: Temperaturni obrat v občini Bistrica ob Sotli 15. 5. 2024 (od 5:06 do 6:38).



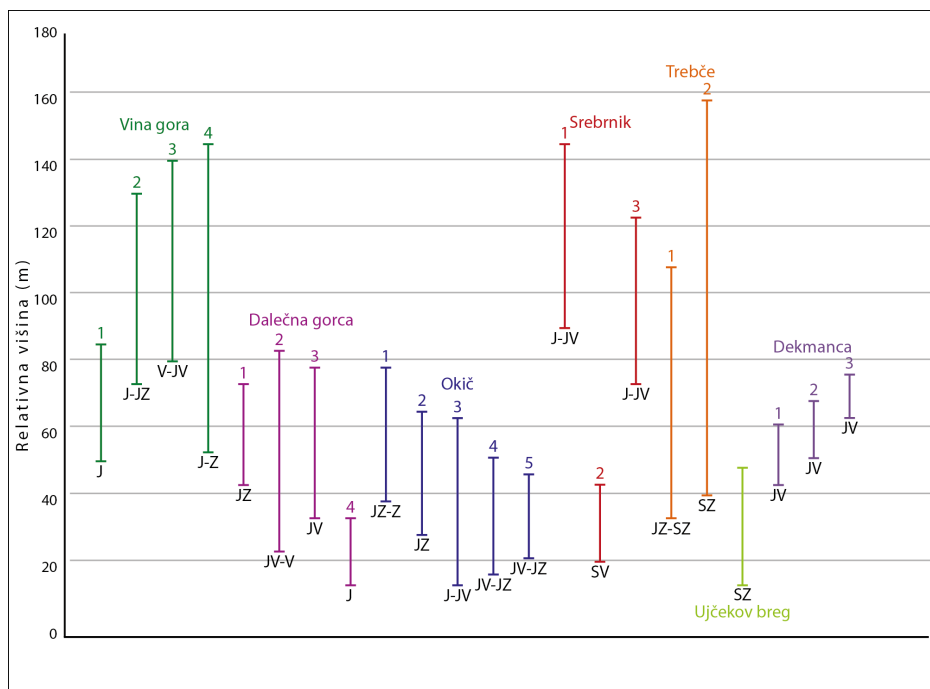
Ob radiacijskem vremenu se v pokrajini kot posledica temperaturnega obrata oblikuje topli (tudi termalni) pas. To je območje višjih temperatur od nižje ležečih kotlin, dolin in kraških depresij s temperaturnim obratom ter višje ležečih območij nad njim (Gams, 1996). Zaradi višjih minimalnih temperatur, krajšega obdobja s slano, manjše nevarnosti pozeb, manjše vlažnosti zraka in več sonca v prisojeh je topli pas primernejši za toplotno zahtevnejše kulture, na primer za vinsko trto in sadno drevje. Vertikalni obseg inverznega in z njim povezanega toplega pasu se razlikuje v odvisnosti od vremenskih razmer ter tudi letnega časa. Inverzije so praviloma plitvejšje in šibkejše v topli polovici leta zaradi slabših razmer za ohlajanje zraka.

V pokrajinah z večstoletno tradicijo vinogradništva so vinogradi dober pokazatelj toplega pasu, predvsem spomladi (Ogrin, 2007). Vinska trta je namreč v začetku

rastne dobe zelo občutljiva za pozebe, zato jo je smiselno saditi tam, kjer je nevarnost zanje manjša. Kartiranje vinogradov na 22 lokacijah v gričevju občine Bistrica ob Sotli (slika 14) je pokazalo, da se ti v povprečju začnejo okoli 40 m nad dnom Bistriškega polja oziroma dolin vodotokov, ki se stekajo v Sotlo oziroma Bistrico, in segajo do vrha gričevja, to je do nadmorske višine okoli 350 m (vertikalni obseg v povprečju 45 m). Razpon spodnje meje se giblje 15–90 m nad dnom. Višje se vinogradi praviloma začnejo tam, kjer so doline ozke, vlažne in imajo visoko južno obzorje. Ker segajo do vrha gričevja, zgornje meje termalnega pasu s pomočjo vinogradov v tem primeru, podobno tudi v bližnjih Virštanjskih goricah in okolici Imenega ter Sel, ni možno določiti.

Podatki o spodnji meji toplega pasu s pomočjo vinogradov v Bistrici ob Sotli so primerljivi z rezultati podobnih raziskovanj drugod v Posotelju in nekaterih drugih obpanonskih pokrajinah. V okolici Imenega in Sel se topli pas začne 25–40 m nad dolino Sotle oziroma Golobinjskega potoka (Lupše, 2001), v Virštanjskih goricah okoli 35 m nad potokom Buča (Grobelsšek, 2014), v dolini Kolpe 25–80 m nad dnom doline in na obodu Bele krajine 10–40 m nad Črnomaljskim ravnikom (Ogrin, 2008). V srednjih Slovenskih goricah se vinogradi začnejo 15–30 m nad dnom dolin in segajo do nadmorske višine 450–550 m (Žiberna, 1992). Na obodu Bele krajine segajo nekoliko nižje, do 425 m, in nakazujejo vertikalni obseg toplega pasu 50–200 m (Ogrin, 2008).

Slika 14: Vertikalni obseg toplega pasu v občini Bistrica ob Sotli, kakor ga nakazujejo vinogradi.



Lokalne razlike v vetrovnosti

Višja območja občine Bistrica ob Sotli, predvsem izpostavljeni vrhovi in grebeni, so na splošno bolj prevetrena kot Bistriško polje in doline vodotokov. Po modelu Ailos dosega tu povprečne letne hitrosti vetra 50 m nad tlemi 3–4 m/s, 10 m nad tlemi 2–3 m/s, v nižjih delih občine pa 1–2 m/s (Rakovec in sod., 2009). Večjo vetrovnost višje ležečih območij nakazuje tudi ime hriba Vetrnik (709 m) v sosednji občini Kozje. Podrobnejše razlike med nižinskim in gričevnatim delom občine glede na meritve v obdobju 2020–2022 so prikazane v poglavju 3.3. Podatki kažejo na prevlado brezvetrja, ob vetrovnem vremenu pa prevladujejo šibki vetrovi. Močnejši so le ob spremembah vremena in so povezani s prehodi vremenskih front in ciklonov ter ciklogenezo v severnem Sredozemlju, spremljajo lahko tudi nevihte (nevihtni piši).

Lokalni vetrovi, ki so v glavnem termično pogojeni in se uveljavijo tedaj, ko so splošni in regionalni vetrovi šibki, so v obravnavani pokrajini neizraziti. V času terenskega dela smo opazili le izrazitejšo nočno pobočno vetrove, ki predstavljajo stekanje hladnejšega zraka z višjih območij proti nižjim. Najizrazitejši (jakost do 3 po Beaufortovi lestvici oziroma do 4 m/s) so bili v spodnjem delu grap osojnih pobočij Kunšperške gore in ob izhodu Bistrice iz soteske pri Zagaju, kjer so dosegali hitrosti do 6 m/s. Dnevne vzgornika po prisojnih pobočjih gričevja nismo zaznali.

4.3 Toplotni odziv površja

Pestra pokrajinska slika občine Bistrica ob Sotli ponuja ugodne razmere za raznolikost topoklimatskih razmer. Za slednje so pomembne predvsem morfografske in morfometrične značilnosti površja, pokrovnost oziroma raba tal in radiacijsko vreme (oblačnost pod 2/10, povprečna hitrost vetra do 2 m/s s potencialnimi sunki do 4 m/s). Ob radiacijskem vremenu se namreč najbolj pokažejo sevalne in energijske značilnosti aktivne plasti površja ter prizemnega sloja ozračja.

Iz rezultatov klimatskih meritev in opazovanj v občini Bistrica ob Sotli, ki so prikazani v predhodnih poglavjih, ter podobnih študij v drugih slovenskih pokrajinah lahko sklepamo, da se v obravnavani pokrajini pojavlja več topoklimatskih enot (Vysoudil, 1993, 2000) in njihovih podnebnih vplivov (Vysoudil, 2009), predvsem toplotne in termodinamične narave. Da bi dodatno argumentirali in potrdili domnevo o pestri topoklimi občine Bistrica ob Sotli, smo opravili termalno snemanje površja. Bolj kot je heterogen aktivni del površja, bolj raznolike in izrazite so topoklimatske enote. Termalno snemanje površja je bilo narejeno maja 2019 in septembra 2022. Čeprav meteorološke razmere, zlasti ob snemanju leta 2019, niso bile idealne, rezultati kažejo ustrezno sliko temperaturnih razmer aktivnega dela površja in so v skladu s teoretičnimi predpostavkami oziroma rezultati podobnih meritev v preteklosti. Rezultati potrjujejo pomen reliefnih razmer, pokrovnosti površja in rabe tal za termodinamične procese v sloju ozračja tik nad površjem, ki v veliki meri določajo značaj topoklime, zato so bili eno od izhodišč za izdelavo topoklimatske karte (slika 22).

Surove termalne posnetke površja smo analizirali s programsko opremo »Smart View Clasic 4.4.420.0«, ki je bila razvita za sisteme »Fluke«. Analizirali smo predvsem površinska temperaturna polja nekoliko večjih enot Zemljinega površja oziroma tipov rabe

tal, v manjši meri tudi manjše enote oziroma točkovne objekte v pokrajini. Ugotavljali smo povprečno (T_{avg}), najvišjo (T_{max}) in najnižjo temperaturo (T_{min}), temperaturno amplitudo (T_a) ter standardni odklon ($StDev$) temperaturnih polj. Pridobljene podatke smo uporabili za primerjavo in oceno vloge različnih tipov aktivnega dela površja pri oblikovanju topoklime proučevanega območja. Za prikaz temperaturnih razlik kot posledice nehomogenosti aktivnega dela površja znotraj posameznih temperaturnih polj smo izdelali linearne temperaturne profile. Za prikaz razlik v temperaturnem polju, ki so človeškemu očesu nevidne, pa funkcijo »Picture in Picture« (PIP, slika v sliki, slika 16).

Za talno termalno snemanje in analizo temperaturnih polj smo izbrali kategorije, ki so prikazane v preglednici 18. V skladu s svojimi fizikalnimi in kemijskimi lastnostmi se kategorije med seboj razlikujejo po toplotnih razmerah. Temeljna značilnost, ki omogoča analizo njihovega toplotnega polja, je emisivnost.

Preglednica 18: Prevladujoče kategorije pokrovnosti oziroma rabe tal v občini Bistrica ob Sotli.

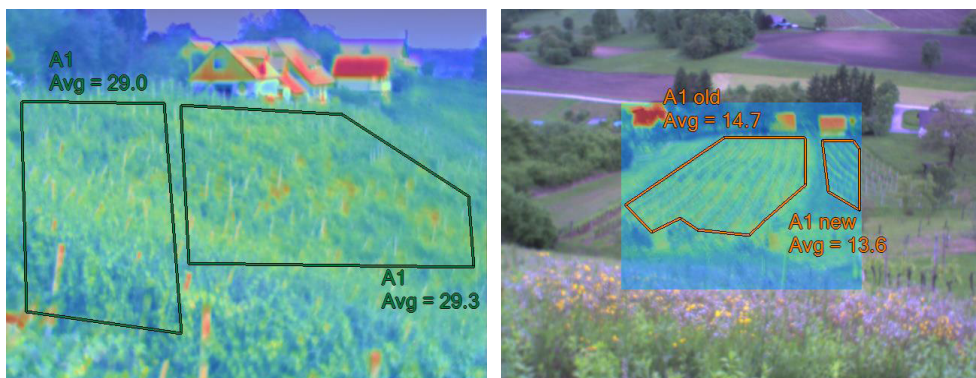
A Kmetijske površine	B Gozd
A1 vinogradi	B1 gozd in visoko grmičevje
A2 sadovnjaki	B2 območja z redko vegetacijo
A3 poljščine	C Pozidano
A4 travniki in pašniki	C1 razpršena pozidava
	D Vodna telesa
	D1 vodotoki

4.3.1 Toplotne značilnosti temperaturnih polj

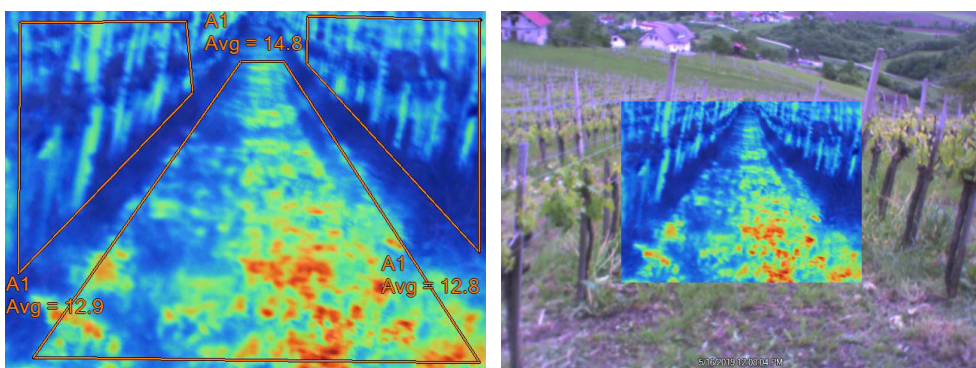
Kmetijske površine (A)

Kmetijske površine (vinogradi, sadovnjaki, njive, zasajene z različnimi poljščinami, ter travniki in pašniki) zavzemajo nekaj več kot polovico občine (52,11 %). Njihove toplotne razmere so odvisne od tipa rabe tal in razvojne stopnje (fenofaze) (slika 15) ter fizičnega in zdravstvenega stanja rastlin. Pomembna sta tudi pokrovnost parcele z rastlinami (razlike med vrstami, zasajenimi z rastlinami, in vmesnim, boljše ali slabše poraščenim prostorom, slika 16) ter letni čas (slika 17).

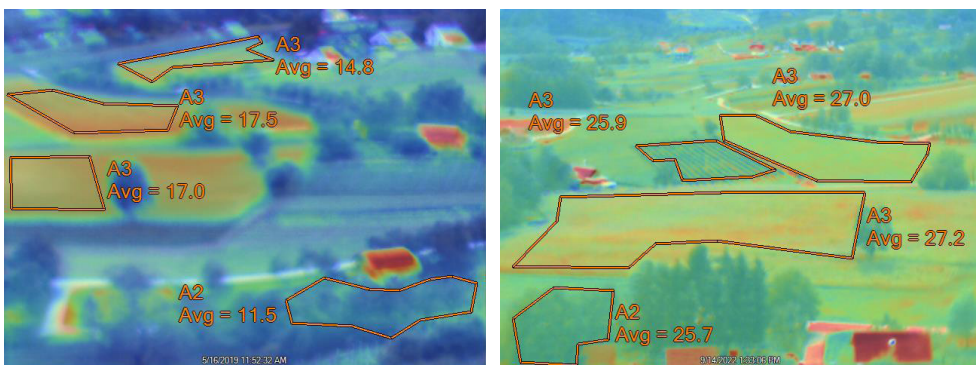
Slika 15: Toplotno stanje vinograda (A1) na Okiču septembra 2022 (levo) in Srebrniku maja 2019 (desno). Skupine hiš izstopajo kot »vroče točke« v pokrajini (foto: M. Vysoudil).



Slika 16: Razlike v temperaturnem polju vinograda v začetku rastne sezone med vrstami, zasajenimi s trto, in slabo poraščenim medvrstnim prostorom. Na desni sliki je termalni posnetek znotraj posnetka v vidnem spektru (PIP) (foto: M. Vysoudil).



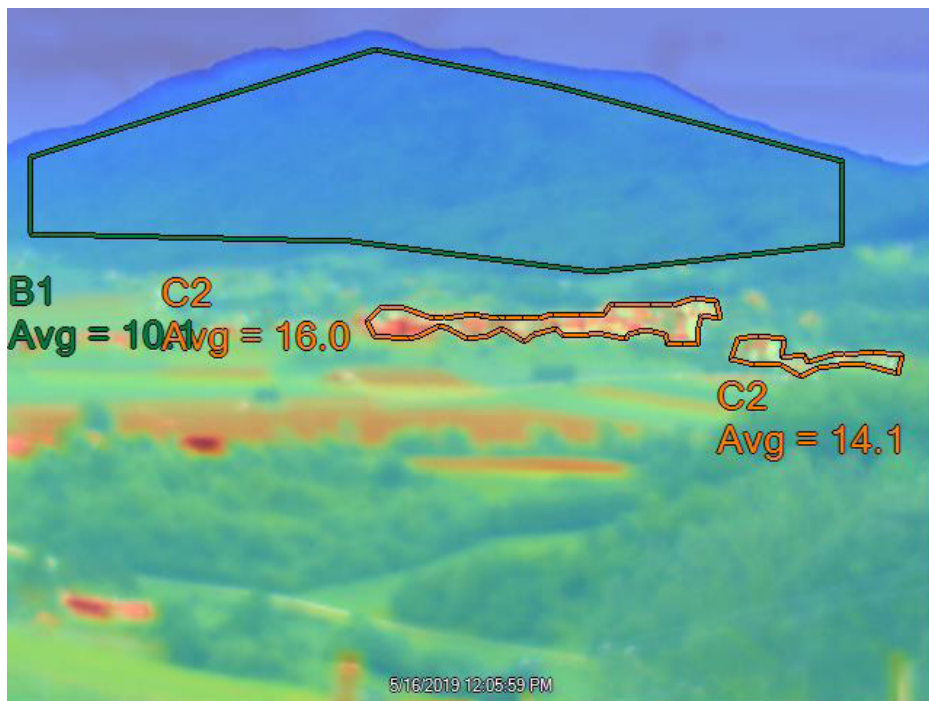
Slika 17: Razlike v temperaturnem polju njiv (A3) in sadovnjaka (A2) maja 2019 (levo) in septembra 2022 (desno) (foto: M. Vysoudil).



Gozd (B)

Gozd je s 43-% deležem drugi najbolj zastopan tip pokrovnosti. Toplotne značilnosti aktivne površine gozda (pri strnjenem gozdu so to krošnje) so odvisne od gostote zaraščenosti oziroma deleža vrzeli med drevesi, vrstne sestave, letnega časa in zdravstvenega stanja gozda. Pri razgibanem površju je pomembna tudi ekspozicija (slika 18).

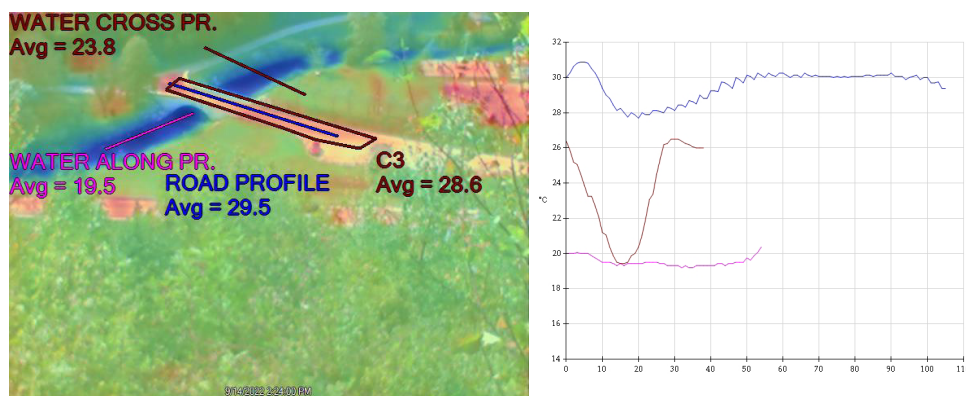
Slika 18: Temperaturno polje gozda na osojnim pobočju Kunšperške gore (B1) v primerjavi z razpršeno pozidanim površjem (C2) 16. 5. 2019 ob 12:05 (foto: M. Vysoudil).



Pozidano (C)

Toplotne razmere pozidanih površin so odvisne predvsem od gostote pozidave, gostote prometnega omrežja, uporabljenih materialov in deleža vmesnih, nepozidanih (zelenih) površin. Dosedanje raziskave (na primer Jernej 2000; Ogrin in sod., 2016; Žiberna, 1991) so pokazale, da toplotni otok ni značilen le za večja naselja (mesta), ampak za vse pozidane površine, tudi individualne objekte (na primer industrijske hale, parkirišča), ki predstavljajo bolj ali manj izrazite »vroče točke« v pokrajini. V občini Bistrica ob Sotli je pozidava naselij razpršena, zato so temperaturna polja teh površin precej heterogena oziroma se »vroče točke« pojavljajo individualno (slika 19).

Slika 19: Cesta in most pri Podsredi kot »vroča točka« v pokrajini (C3) ter reka Bistrica kot »hladna točka« (levo) 14. 9. 2022 ob 14:22. Desno: temperaturni profil vzdolž ceste čez most (modra črta), prečno čez rečno strugo (rjava črta) in vzdolž toka reke (rdeča črta) (foto: M. Vysoudil).



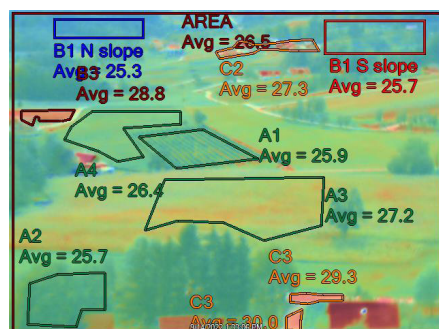
Vodna telesa (D)

Vodna telesa (reke, jezera, ribniki in podobno) predstavljajo homogene površine v pokrajini s prav takim temperaturnim poljem (slika 19). Temperaturne razmere so odvisne od fizikalnih lastnosti vode, vključno z globino in hitrostjo gibanja vode. Z izjemo manjših rek in potokov v občini Bistrica ob Sotli ni večjih vodnih teles, kljub temu pa njihovega topoklimatskega učinka ne smemo zanemariti. Na sliki 19 (desno) je opazen hladilni učinek reke na temperaturo mostu v primerjavi s temperaturo ceste stran od mostu in na srednjem profilu hladilni učinek reke na površje tik ob njej.

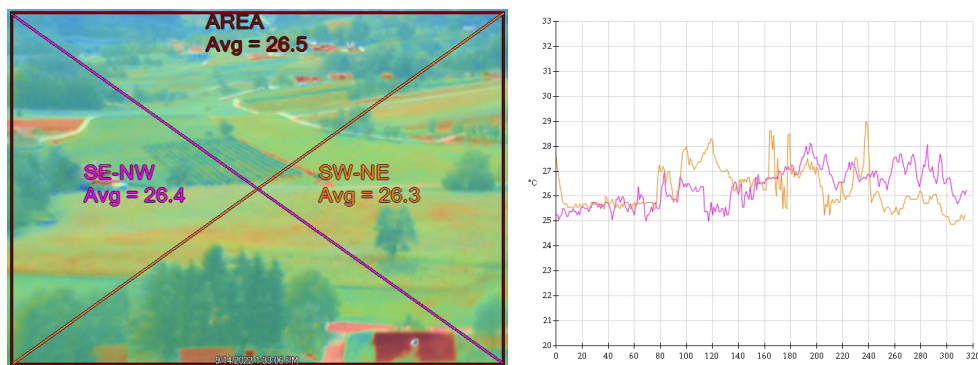
4.3.2 Toplotna podoba pokrajine

Razgibanost in pestrost pokrajinske slike ter razlike v pokrovnosti in rabi tal občine Bistrica ob Sotli se odražajo v nehomogenosti aktivnega dela površja in posledično v raznolikosti topoklime, kar je razvidno s slik 20 in 21.

Slika 20: Toplotni mozaik aktivnega dela površja v osrednjem delu občine Bistrica ob Sotli 14. 9. 2022 ob 13:33 (foto: M. Vysoudil).



Slika 21: Temperaturne razlike na profilu jugovzhod–severozahod (vijoličasta črta) in jugozahod–severovzhod (rumena črta) v osrednjem delu občine Bistrica ob Sotli 14. 9. 2022 ob 13:33 (foto: M. Vysoudil).



V preglednici 19 so prikazane značilnosti temperaturnih polj oziroma celotnega območja na sliki 20. Temperaturne razlike med polji ustrezajo teoretičnim izhodiščem in poudarjajo pomen zelenih površin, predvsem gozda, ki imajo homogeno temperaturno polje. Nasprotno pa imajo pozidane površine in posamezni objekti (C2, C3) bolj kompleksno in heterogeno temperaturno zgradbo. Izračuni povprečnih vrednosti za vsa temperaturna polja (predzadnja vrstica) oziroma za celotno območje, prikazano na sliki 20, potrjujejo ustreznost izbora analiziranih kategorij pokrovnosti oziroma rabe tal in s tem koristnost termalnega snemanja površja kot pripomočka pri določanju topoklimatskih enot. Ugotovitve podpirajo tudi rezultati analize izbranih termalnih posnetkov površja iz obsežne baze slik, ki je bila narejena na območju občine Bistrica ob Sotli maja 2019 in septembra 2022 (preglednica 20). Prostorsko variabilnost topoklime najbolj izražata temperaturna amplituda (T_a) in standardni odklon ($StDev$).

Preglednica 19: Značilnosti temperaturnih polj osrednjega dela občine Bistrica ob Sotli, prikazane na sliki 20 (14. 9. 2022, 13:33).

Kategorija pokrovnosti / rabe tal	Tavg (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Ta (°C)	StDev (°C)
A1 vinogradi	25,9	24,7	28,9	4,2	0,59
A2 sadovnjaki	25,7	25,2	26,7	1,5	0,16
A3 poljščine	27,2	26,1	28,3	2,2	0,46
A4 travniki, pašniki	26,4	25,7	27,0	1,3	0,22
B1 gozd, višje grmovje	10,1	8,5	12,9	4,4	0,52
C2 razpršeno pozidano	27,3	24,9	31,1	6,2	1,30
C3 posamezni objekti	29,3	25,4	31,0	5,6	1,37
C3 posamezni objekti-1	30,0	28,3	30,9	2,6	0,62
Povpr. (temperaturna polja)	25,2	23,6	27,1	3,5	0,70
Povpr. (celotno območje)	26,5	20,6	32,3	11,7	1,03

Tavg: povprečna temperatura; Tmin: najnižja temperatura; Tmax: najvišja temperatura; Ta: temperaturna amplituda
StDev: standardni odklon

Preglednica 20: Temperaturne značilnosti (°C) aktivnega dela površja različnih tipov pokrovnosti in rabe tal na območju občine Bistrica ob Sotli kot reprezentativnih enot topoklime glede na termalno snemanje površja maja 2019 in septembra 2022.

A Kmetijske površine	Emis	Tavg	Tmax	Tmin	Ta	StDev
A1 vinogradi	0,94	20,8	23,9	24,7	4,7	0,74
A2 sadovnjaki	0,94	21,0	22,3	20,1	2,3	0,33
A3 poljščine	0,94	22,4	24,0	21,0	2,0	0,61
A4 travniki, pašniki	0,94	19,6	20,1	19,0	1,1	0,19
povprečje		21,0	22,6	21,2	2,5	0,50
B Gozd, grmovje	Emis	Tavg	Tmax	Tmin	Ta	StDev
B1 gozd, višje grmovje	0,9	10,1	12,9	8,5	4,4	0,52
B2 redko poraščeno	0,9	15,3	21,1	11,9	9,2	1,53
povprečje		12,7	17,0	10,2	6,8	1,00
C Pozidane površine	Emis	Tavg	Tmax	Tmin	Ta	StDev
C2 razpršeno pozidano	0,93	19,1	31,1	24,9	6,7	1,30
C3 cestno omrežje	0,76	29,6	30,9	27,1	3,9	0,95
povprečje		24,4	31,0	26,0	5,3	1,10
D Vodna telesa	Emis	Tavg	Tmax	Tmin	Ta	StDev
D1 vodotoki	0,95	28,6	31,0	22,8	8,2	1,46
povprečje		28,6	31,0	22,8	8,2	1,46

Emis: emisivnost; Tavg: povprečna temperatura; Tmax: najvišja temperatura; Tmin: najnižja temperatura; Ta: temperaturna amplituda; StDev: standardni odklon

4.4 Topoklimatska karta

Topoklimatska karta občine Bistrice ob Sotli (slika 22) predstavlja sintezni prikaz lokalnih in nekaterih mikropodnebni značilnosti topoklimatskega raziskovanja. Izdelana je v merilu 1 : 83.000. Metodologija izdelave izhaja iz izkušenj predhodnih raziskav v Sloveniji: v Slovenski Istri (Ogrin in Vysoudil, 2011), Kamniški Bistrici (Ogrin in sod., 2017), na Jezerskem (Ogrin in sod., 2016) in v Loškem potoku (Ogrin in sod., 2022). Osnovna sloja sta obsijanost površja oziroma prejeta energija Sončevega sevanja in rabe tal. Pri prvem so bile vrednosti razdeljene na tri razrede, in sicer na dobro obsijane predele (letna energija Sončevega sevanja med 1250 in 1750 kWhm⁻²), srednje obsijane (950–1250 kWhm⁻²) in slabo obsijane predele (180–950 kWhm⁻²). Sloj rabe tal je bil za namen karte z upoštevanjem rezultatov termalnega snemanja površja (poglavje 4.3) posplošen na njivske površine, trajne nasade (vinograde), travišča in grmišča, gozd ter pozidane površine. Na karti so s posebno šrafuro prikazana izrazito konkavna in konveksna območja, s puščicami območja pod vplivom zračnih tokov (črtkano šibkejši tokovi) in z vetrovnimi rožami prevladujoče smeri vetrov glede na meritve v obdobju 2020–2022. Deleži celotne občine, ki jih zavzemajo posamezne topoklimatske enote, so predstavljeni v preglednici 21.

Preglednica 21: Deleži (%) posameznih topoklimatskih enot občine Bistrica ob Sotli.

Topoklima	Slabo obsijano	Srednje obsijano	Dobro obsijano	Skupaj		
Njive	0,06	14,41	0,02	14,49	Konkavno	20,65
Trajni nasadi	0,40	5,44	0,04	5,88	Konveksno	0,80
Travišča	2,34	29,21	0,19	31,74	Prisoje*	40,12
Gozd, grmišča	15,41	25,40	2,36	43,17	Osoje**	56,72
Pozidano	0,39	4,31	0,01	4,72	Ravno***	3,16
Skupaj	18,60	78,77	2,63	100,00		

*Azimut 90–270°; **Azimut 270–90°; ***Naklon 0–1,9°

Osnovne topoklimatske enote izhajajo iz razlik v osončenosti (tipizacija na topoklimo dobro, srednje in slabo obsijanih predelov) ter členitve površja na konkavne predele s pogostim temperaturnim obratom in na konveksne predele (vrhovi in grebeni) z odprtim obzorjem ter večjo vetrovnostjo. Nadaljnja členitev je odvisna od poraščenosti površja (topoklima gozda, grmišč in travišč) ter različnih kmetijskih rab (topoklima trajnih nasadov, vinogradov; topoklima njivskih površin). Vpliv pozidanih površin na podnebje je minimalen, saj v občini ni večjih urbanih središč. Največja in najbolj strnjeno pozidana naselja znotraj raziskovalnega območja so Bistrica ob Sotli, Kunšperk in Polje, v soseščini tudi Podsreda, ki, sodeč po termalnih posnetkih, tvorijo tople otoke v pokrajini. S termalnega posnetka Podsrede (slika 10), ki je bil narejen ob sončnem vremenu sredi dneva septembra 2022, je razvidno, da je bilo površje središča naselja od površja krošenj dreves gozda v okolici toplejše za dobre 3 °C. Čeprav stavbe v naseljih občine Bistrica ob Sotli niso visoke in ne tvorijo izrazitih uličnih koridorjev, pa ponekod pomembno skrajšujejo teoretično možno trajanje Sončevega obsevanja.

Z vidika topoklimatskih razmer lahko obravnavano območje razdelimo na dva dela, ki sta posledica razgibanosti površja in njegove višinske strukture, to je na ravninsko-gričevnati osrednji in severni do zahodni del občine ter hriboviti južni del. Bistriško polje ob Sotli in Bistrici prehaja proti severu in zahodu v blago razgibano gričevje. Obzorje je odprto, relief tudi v dolinah, ki so večinoma plitve, bistveno ne skrajšuje Sončevega obsevanja. Trajanje in energija Sončevega obsevanja sta na ravni slovenskega povprečja, le ponekod imajo zelo strma prisojna pobočja nadpovprečno osončenost oziroma strma osojna pobočja in ozke doline podpovprečno. Ta del občine ima zelo mozaično in na kratke razdalje spreminjajočo se topoklimatsko sestavo. Prevladuje odprta kulturna pokrajina, gozda je nekoliko več v nekoliko višjem zahodnem delu gričevja in v osojah. Značilno topoklimatsko enoto predstavljajo vinogradi, ki zavzemajo skoraj 6 % površine občine. Za njihovo mikroklimo je značilno, podobno kakor tudi za sadovnjake in za listopadni ali mešani gozd, da so razmere v rastni sezoni drugačne kakor pozimi, ko je gozdno podnebje bolj podobno podnebju odprtih predelov.

V rastni sezoni so mikroklimatske razmere vinogradov odvisne od orientacije, medsebojne oddaljenosti in višine vrst ter od vinogradniške prakse (dolžina mladice, zelena rez, odstranjevanje listja in zalistnikov). Vinogradi, ki imajo vrste v smeri sever–jug,

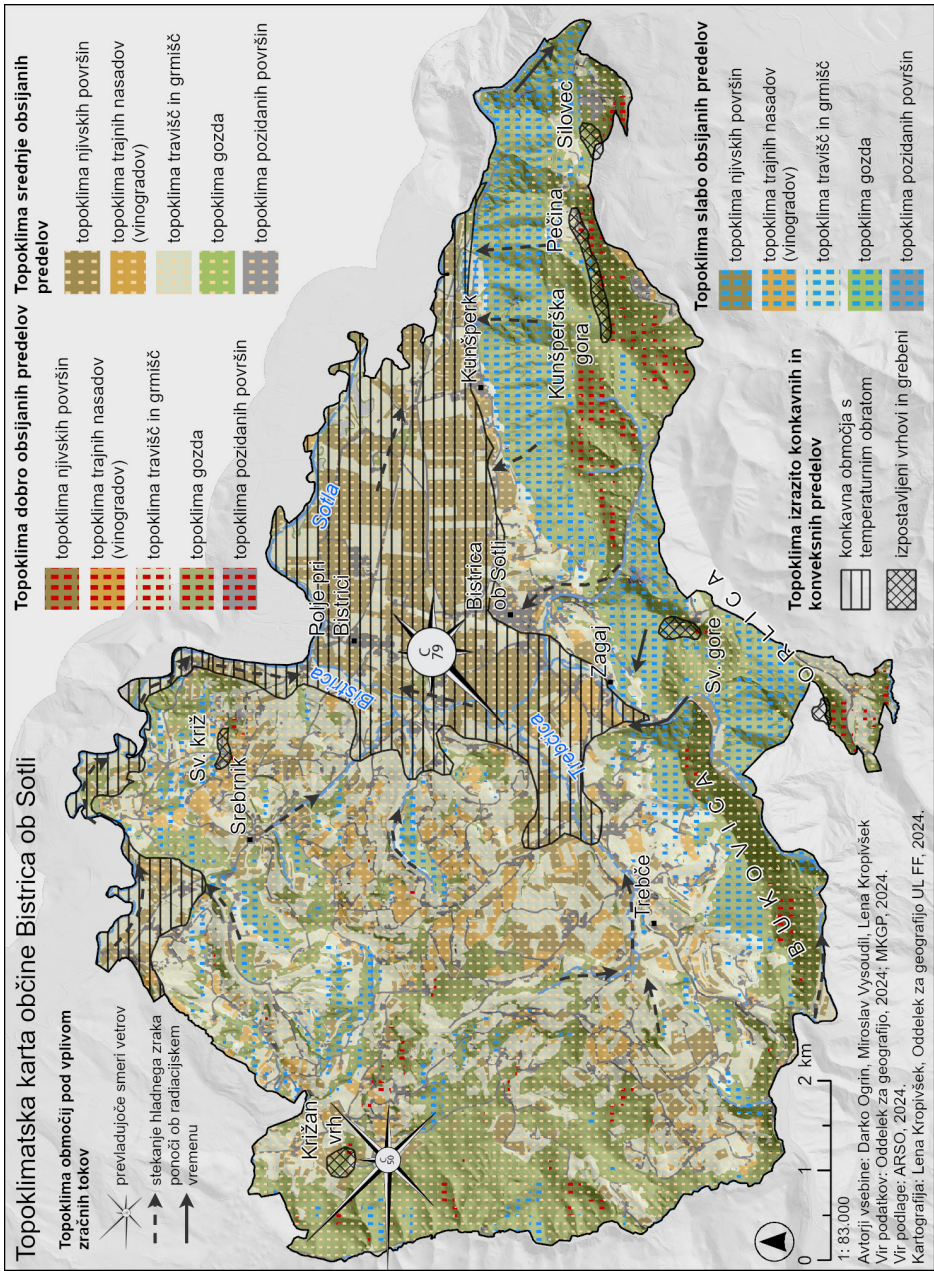
so enakomerneje osončeni ter imajo bolj uravnan temperaturni in vlažnostni režim kakor vinogradi z vrstami v smeri vzhod–zahod, še posebej če je medvrstna razdalja manjša in so vrste visoke. Pri slednjih prihaja do večjih mikroklimatskih razlik med prisojnimi in osojnimi deli vrst. Osojna stran dobi nekoliko manj sonca, temperature v listni odeji trte so nižje, relativna vlažnost pa večja. Značilnost vinogradniške mikroklimatike je tudi spreminjanje podnebnega režima čez dan v odvisnosti od višine in azimuta. Sonca oziroma njegove poti po nebesnem svodu. Ta vpliva na izpostavljenost vinske trte Sončevemu obsevanju ter s tem tudi na temperaturo vinske trte in zraka v njeni listni odeji (Crisci in sod., 2013).

Južni del občine je hribovit, zanj so značilne večje relativne višinske razlike, daljša in strmejša pobočja ter tudi globlje vrezane doline. Tu prihaja do izmenjave dobro in srednje obsijanih prisojnih pobočij ter slabo obsijanih strmih osojnih pobočij in ozkih dolin. Visoko južno obzorje okoli zimskega obrata marsikje preprečuje neposredno Sončevo obsevanje. Mozaik topoklimatskih enot nižjega reda je manj pester, prevladuje podnebje gozda, ki zavzema 43 % površine občine.

Aktivna plast gozda so krošnje, za katere so značilne velike temperaturne amplitude med dnevom in nočjo. Do gozdnih tal pride le del Sončevega sevanja, saj se ga večina absorbira v drevesnih krošnjah, deblih in vejah. V gozdu je zato čez dan večinoma hladneje kakor na nivoju krošenj in na odprtem. Občutek, da je v gozdu čez dan hladneje, stopnjuje tudi manjši delež neposrednega Sončevega sevanja, ki prodre do tal. Gozdna vegetacija vsebuje visok delež vode, zato je specifična toplota debel, vej, listja in krošenj velika, precej večja od specifične toplote preostalega površja. Zaradi tega se rastlinska masa gozda počasneje segreva in počasneje ohlaja, tudi v primerjavi s travo. V nočnem času gozd spremeni dolgovalovno sevanje tal, ki se delno absorbira v drevesih in vlaga v zraku, ki je v gozdu večja kot na odprtem, zato se v gozdu ponoči manj ohladi kakor na odprtem in na nivoju krošenj. Ker se krošnje dreves ponoči zelo ohladijo, je v njih močna kondenzacija in rosa, medtem ko so gozdna tla pod krošnjami suha ali le z malo rose. Gozd oslabi vetrove, zato je v gozdu več brezvetrja, spremeni se tudi smer vetrov. Povečana turbulentnost vetra je na privetni in zavetrni strani gozda. Ob manj intenzivnih padavinah je v gozdu tudi manj padavin, saj jih del prestrežejo listi in veje, del jih, preden dosežejo gozdna tla, tudi izhlapi. Olistano drevje odvaja padavinsko vodo na robove krošenj, zaradi tega je na gozdnih tleh ob robovih krošenj več padavin. Sneg, ki pade na gozdna tla, je dobro zaščiteno pred Sončevim sevanjem in vetrom, zato manj izpareva ter se počasneje tali kot na odprtem. Moker снег z velikimi snežinkami se sprijema, zato se ga v krošnjah zadrži do 80 %. Suh снег, ki nima sposobnosti sprijemanja, pa lažje prodre do gozdnih tal (Kolić, 1988; Ogrin in sod., 2012).

V občini Bistrica ob Sotli prevladuje rečno-denudacijski relief, kjer je največja enota Bistriško polje (Bistriška kotlina) ob izlivu Bistrice v Sotlo, v preostalem delu občine se izmenjujejo doline in vmesna slemenca. Za Bistriško polje, dolino Sotle pri Dekmanci in dolino Bistrice (dobrih 20 % površine občine) je ob radiacijskem tipu vremena značilen temperaturni obrat. Predeli s pogostimi temperaturnimi obrati imajo nižje temperature, predvsem jutranje, več megle, višja je vlažnost zraka, pogostejši sta tudi rosa in slana. Zaradi reliefnih razmer jezera hladnega zraka niso globoka, intenziteta temperaturnega obrata je različna, odvisno od vremenske situacije in letnega časa. V

Slika 22: Pregledna topoklimatska karta občine Bistrica ob Sotli.



hladni polovici leta so najnižje temperature na Bistriškem polju in v dolinah pogosto negativne, nekaj deset metrov višje, v toplem pasu, pa nekaj stopinj nad lediščem. Glede na meritve v občini Bistrica ob Sotli in na sosednjih območjih Kozjanskega (Grobelšek, 2014; Lupše, 2001; Polšak, 1995) je intenziteta temperaturnega obrata ob posameznih vremenskih situacijah, ne glede na letni čas, znašala med 3 in 10 °C.

Ker je na Bistriškem polju in po dolinah zaradi temperaturnih obratov večja nevarnost spomladanskih pozeb in so na splošno predvsem v nočno-jutranjem času slabše razmere za uspevanje zahtevnejših kultur, sadijo domačini trto do nekaj deset metrov nad dolinskim dnom, kjer se začne tako imenovani topli (termalni, toplotni) pas, kjer je v prisojeh tudi več sonca. Pri določanju spodnje meje termalnega pasu je prebivalcem orientacijsko v pomoč višina megle, saj z njo povezujejo pozebe. Ali kakor je omenil domačin iz Podlešja: »Včasih se megla vzbne tudi po dnu dolinice pod Vinico, zato so prve vrste vinograda okoli 10 m nad dnom« (osebni vir, citirano v Marinčič, 2006, str. 12). Kartiranje vinogradov v občini Bistrica ob Sotli je pokazalo, da se vinogradi večinoma začnejo 20–50 m nad dnom dolin in se raztezajo do najvišjih vrhov in temen gričevja, to je do okoli 300 oziroma 400 m.

Izrazitih konveksnih predelov, za katere je značilna dobra prevetrenost, je v obravnavani pokrajini malo, niti 1 % površine občine (Sveti Križ, Križan Vrh, Svete gore, Kunšperška gora). Zaradi skromnih relativnih višinskih razlik tudi ni območij, za katera bi bil značilen izrazit dolnik. Ob temperaturnih obratih je opazno stekanje hladnega zraka iz stranskih dolin v dolino Sotle.

5 Sklep

Sotelsko gričevje leži na vzhodu Slovenije, zato se pri podnebj uveljavljajo celinski vplivi, ki pa niso izraziti. Najizrazitejše celinske značilnosti imajo temperature po nižinah, kjer povprečna letna temperaturna amplituda preseže 20 °C in so aprilске temperature višje od oktobrskih. Manj celinske so padavinske razmere, saj je podnebje vlažnejše od pravega celinskega, z ne tako izrazitim viškom padavin v topli polovici leta. Klimatska tipizacija Slovenije za obdobje 1991–2020 (Ogrin in sod., 2023) uvršča vzhodnejši, nižji in gričevnati del obravnavane pokrajine v zmerno celinsko podnebje vzhodne Slovenije, višjega, bolj hribovitega v zahodnem delu pa v vlažno podgorsko podnebje.

Na lokalni ravni so pomembe razlike med nižinskim in gričevnatim oziroma hribovitim delom Sotelskega gričevja. Glede na meritve v Polju pri Bistrici ob Sotli in v gričevju Križanega Vrha je bil slednji, kljub višji nadmorski višini, v povprečju toplejši. To kaže na pogostost in intenzivnost temperaturnega obrata po nižinah ter pomen tako imenovanega toplega pasu, ki ima manj ostre temperaturne razmere, kot so v nižinah, v prisojeh pa tudi več sonca. Bolj namočen je zahodnejši, višji del, kjer so vrhovi in grebeni tudi bolj prevetreni. V nižjih delih prevladuje brezvetrje.

Topoklima, ki je najizrazitejša ob radiacijskem vremenu, je v Sotelskem gričevju odraz značilnosti Zemljinega površja (reliefa), pokrovnosti in rabe tal, v manjši meri

pozidanosti in vodnih površin. Podrobneje smo jo proučevali v občini Bistrica ob Sotli. Osnovne topoklimatske enote izhajajo iz razlik v osončenosti ter členitve površja na konkavne predele s pogostim temperaturnim obratom in na konveksne predele z odprtim obzorjem in večjo vetrovnostjo. Nadaljnja členitev je odvisna od poraščenosti površja in različnih kmetijskih rab. Z vidika topoklimatskih razmer lahko bistriško občino razdelimo na dva dela, to je na ravninsko-gričevnati osrednji, severni in zahodni del ter hriboviti južni del. Za prvi del, ki je prevladujoč, je značilno odprto obzorje, relief tudi v dolinah, ki so večinoma plitve, bistveno ne skrajšuje Sončevega obsevanja od teoretično možnega. Ta del občine ima mozaično in na kratke razdalje spreminjajočo se topoklimatsko sestavo. Prevladuje odprta kulturna pokrajina, gozdnega podnebja je nekoliko več le v nekoliko višjem, zahodnem delu gričevja in v osojah. Značilno topoklimatsko enoto predstavljajo vinogradi.

Južni del občine je hribovit, zanj so značilne večje relativne višinske razlike, daljša in strmejša pobočja ter globlje vrezane doline. Tu prihaja do izmenjave dobro in srednje obsijanih prisojnih pobočij ter slabo obsijanih strmih osojnih pobočij in ozkih dolin. Visoko južno obzorje okoli zimskega obrata marsikje preprečuje neposredno Sončevo obsevanje. Mozaik topoklimatskih enot nižjega reda je manj pester, prevladuje podnebje gozda.

Z vidika človeka in njegovih dejavnosti so v obravnavani pokrajini pomembni temperaturni obrati ter z njimi povezana jezera hladnega zraka v konkavnih delih površja. Čeprav ta niso globoka, smo pozimi ob mirnem radiacijskem tipu vremena čez dan opazili zadimljene nižine, kar kaže, da ob dani gostoti individualnih virov onesnaževanja ozračja (individualna kurišča) temperaturna inverzija vsaj del dneva lahko vpliva na znatno poslabšanje kakovosti zraka. Kurjenje biomase bi v takih primerih moralo biti predpisano v energetske učinkovitih kotlih ter v energetske varčnih stavbah. Tako bi močno zmanjšali izpuste. Na gosteje pozidanih območjih bi bilo smiselno vpeljati tudi sistem daljinskega ogrevanja, kar bi zmanjšalo število individualni virov. K izboljšanju kakovosti zraka lahko prav tako prispeva drugačen urnik kurjenja, kar je mogoče v gospodinjstvih z vgrajenimi zalogovniki toplote in dobrim zadrževanjem toplote v stavbah, pa tudi menjava energenta in vgradnja toplotnih črpalk.

Boljše razmere za življenje človeka in prav tako za uspevanje toplotno zahtevnejših kultur, tudi vinogradov, so v toplem pasu, kjer so nočne temperature višje, manj je megle in slane ter drugih kondenzacijskih pojavov. Topli pas je ob upoštevanju trajnostne rabe prostora med drugim marsikje primeren za rabo Sončeve energije, na primer za sončne elektrarne. Tudi stanovanjske stavbe lahko v toplem pasu ob energetske učinkoviti gradnji s pridom izkoristijo višje temperature in večjo količino Sončevega obsevanja za zmanjšanje porabe toplote za ogrevanje v hladni polovici leta. Res pa je, da ob vse večjih potrebah po hlajenju stavb poleti in vse manjši potrebi po ogrevanju pozimi lega v termalnem pasu kmalu v prihodnosti niti ne bo več nujno ugodna z vidika rabe energije za kakovostne razmere bivanja. Tu imamo v mislih predvsem višje minimalne temperature ponoči in z njimi povečano število tropskih noči v vročinskih valovih poleti.

Zahvala

Avtorji prispevka se zahvaljujemo gospodu Gregorju Vertačniku in Agenciji Republike Slovenije za okolje za posredovanje meteoroloških podatkov, ki so dopolnili naše meritve ter študentkam in študentom, ki so sodelovali pri delu klimatogeografske skupine.

Viri in literatura

- Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). (20. 1. 2025). *Arhiv meteoroloških podatkov* [osebni vir G. Vertačnik].
- Crisci, A., Fiorillo, E., Primicerio, J. in Toscano P. (2012). Influence of Canopy Management Practices on Vineyard Microclimate: Definition of New Microclimatic Indices. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63(3). <https://doi.org/10.5344/ajev.2012.11117>
- Čotar, A. in Ogrin, D. (2024). Srednja relativna variabilnost padavin v Sloveniji v obdobju 1991–2020. *Dela*, 61, 75–98.
- Gabrovec, M. (1996). Solar Radiation and Diverse Relief of Slovenia. *Geografski zbornik*, 34, 47–68.
- Gams, I. (1972a). Prispevek k mikroklimatologiji vrtač in kraških polj. *Geografski zbornik*, 13, 1–77.
- Gams, I. (1972b). Prispevek h klimatogeografski delitvi Slovenije. *Geografski obzornik*, 19(1), 1–9.
- Gams, I. (1984). Nekaj naravnogeografskih značilnosti. V M. Žagar (ur.), *Med Bočem in Bohorjem* (str. 25–34). Delavska univerza.
- Gams I. (1996). Termalni pas v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 68, 5–38.
- Gams, I. in Krevs, M. (1997). Mestna klima na Slovenskem. *Geografski obzornik*, 44(1), 20–23.
- Grobelšek, M. (2014). *Topoklimatske značilnosti Virštanja v času nevarnosti pozebe vinske trte*. [Zaključna seminarska naloga]. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta.
- Gustinčič, M. (2013). Podnebje Zaplane: temperaturne razmere v mraziščih. *Vetrnica*, 4, 54–61.
- Jernej, S. (2000). Mestna klima Ljubljane. V Gabrovec, M. in Orožen Adamič, M. (ur.), *Ljubljana – geografija mesta* (str. 117–139). Ljubljansko geografsko društvo in Založba ZRC.
- Kastelec, D., Rakovec, J. in Zakšek, K. (2007). *Sončna energija v Sloveniji*. ZRC SAZU.
- Katedra za fizično geografijo. (2021–2023). [Neobjavljen podatkovni nizi meritev izbranih meteoroloških spremenljivk]. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo.
- Kolić, B. (1988). *Šumarska ekoklimatologija sa osnovama fizike atmosfere*. Naučna knjiga.

- Konovšek, A. (2006). Mezoklimatske razmere Šaleške doline in mesta klima Velenja. V M. Šalej (ur.), *Šaleška in Zgornja Savinjska dolina, zbornik 19. zborovanja slovenskih geografov* (str. 76–87). ERICo Velenje.
- Lupše, I. (2001). *Klimatske značilnosti srednjega Posotolja s poudarkom na minimalnih temperaturah ob anticiklonalnem vremenu in problematika termalnega pasu*. [Seminarska naloga]. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta.
- Marinčič, A. (2006). *Poznavanje podnebnih razmer in lokalnih vremenskih posebnosti pri prebivalcih Kozjanskega*. [Seminarska naloga]. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta.
- Nadbath, M. (2013). Meteorološka postaja Bizeljsko. *Naše okolje: bilten Agencije RS za okolje*, 20(8), 45–52.
- Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP). (2024). *Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč* (stanje 31. 10. 2024) [Prostorski podatki]. <https://podatki.gov.si/dataset/evidenca-dejanske-rabe-kmetijskih-in-gozdnih-zemljisc1>
- Občina Bistrica ob Sotli. (2024). [Osnovni podatki o občini]. <https://www.bistricaob-sotli.si/objave/347>
- Ogrin, D. (1996). Podnebni tipi Slovenije. *Geografski vestnik*, 68, 39–56.
- Ogrin, D. (2000). Nekateri topoklimatske značilnosti razporejanja temperature zraka in burje v razgibanem reliefu Slovenije. *Dela*, 15 (Vojaška geografija v Sloveniji), 125–138.
- Ogrin, D. (2005). A contribution to the definition of thermal belt in Sub-pannonian Slovenia. *Geographica Pannonica*, 9, 4–8.
- Ogrin, D. (2007). Uporabnost kartiranja vinogradov kot metode za ugotavljanje prostorskih značilnosti termalnega pasu. *Dela*, 28, 212–132.
- Ogrin, D. (2008). Splošne in lokalne podnebne značilnosti Bele Krajine. V D. Plut (ur.), *Bela Krajina in Krajinski park Lahinja* (str. 71–90), Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani.
- Ogrin, D., Koželj, T. in Vysoudil, M. (2016). Lokalno podnebje in topoklimatska karta Jezerskega. *Dela*, 45, 5–30.
- Ogrin, D., Ogrin, M. in Vysoudil, M. (2022). Splošno in lokalno podnebje. V M. Ogrin (ur.), *Geografski oris Občine Loški Potok* (str. 23–55). Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani.
- Ogrin, D., Repe, B., Štaut, L., Svetlin, D. in Ogrin, M. (2023). Podnebna tipizacija Slovenije po podatkih za obdobje 1991–2020. *Dela*, 59, 5–89.
- Ogrin, D. in Vysoudil, M. (2011). Topoklimatska karta obalnega pasu Slovenske Istre. *Dela*, 35, 5–25.
- Ogrin, D., Vysoudil, M., Ogrin, M. in Koželj, T. (2017). Topoklimatske razmere. V D. Ogrin (ur.), *Kamniška Bistrica – geografska podoba gorske doline* (str. 45–70). Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani.

- Ogrin, M. (2003). Vpliv reliefa na oblikovanje nekaterih mikroklimatskih tipov v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 75(1), 9–24.
- Ogrin, M. (2007). The minimum temperatures in the winter 2006/07 in the Slovenian frost hollows and cold basins. *Dela*, 28, 221–237.
- Ogrin, M. in Kozamernik, E. (2018). Horizontalni padavinski gradienti v alpskih dolinah severozahodne Slovenije. *Dela*, 49, 5–36.
- Ogrin, M. in Kozamernik, E. (2020). Vertical precipitation gradients: a case study of Alpine valleys of northwestern Slovenia. *Theoretical and applied climatology*, 140(1–2), 401–409.
- Ogrin, M., Ortar, J. in Sinjur, I. (2012). Topoklimatska pestrost Slovenije. *Geografija v šoli*, 21(1–2), 4–13.
- Ogrin, M., Sinjur, I. in Ogrin, D. (2006). Minimalne temperature v slovenskih mraziščih pozimi 2005/2006. *Geografski obzornik*, 53(2), 4–12.
- Ortar, J., Ogrin, M., Vertačnik, G. in Sinjur, I. (2010). Primerjava temperaturnih razmer v mraziščih Reovce (Orjen), Valoviti do (Durmitor), Luknja in Mrzla Komna (obe Julijske Alpe) v meteorološki zimi 2007/2008. V S. Ivanović (ur.), *Geoekologija – XXI vijek, Teorijski i aplikativni zadaci, Zbornik referatov GEOEKO 2010* (str. 553–561), Filozofski fakultet Nikšić.
- Pipenbaher, N., Ivajnšič, D., Žiberna, I., Donša, D., Kaligarič, M., Škornik, S., Kajfež Bogataj, L., Črepinšek, Z. in Grujić, V. J. (2020). Letna dinamika pojava mestnega toplotnega otoka v malem urbanem sistemu. *Revija za geografijo*, 15(2), 91–104.
- Polšak, A. (1995). Temperaturna inverzija in nekatere druge mikroklimatske značilnosti Kozjanskega. *Geografski obzornik*, 42(4), 20–22.
- Rakovec, J., Žagar, M., Bertalanič, R., Cedilnik, J., Gregorič, G., Skok, G. in Žagar, N. (2009). *Vetrovnost v Sloveniji*. Založba ZRC.
- Quitt, E. (1994). Topoclimatic map as a basis for atmosphere protection and regional development of the landscape. *Moravian Geographical Reports*, 2(2), 12–17.
- Slovenija – pokrajine in ljudje* (1998). M. Orožen Adamič in D. Perko (ur.). Založba Mladinska knjiga in Geografski inštitut ZRC SAZU.
- Slovenski Štajer, dežela in ljudstvo* (več avtorjev) (1868). Slovenska matica.
- Strle, D. in Ogrin, M. (2016). Pojav znižane meje sneženja na območju doline Planice in Peči (Tromeje). *Dela*, 45, 101–118.
- Strle, D. in Ogrin, M. (2021). Latent cooling of atmosphere as an indicator of lowered snow line: case study from Planica and Vrata valleys. *Acta geographica Slovenica*, 61(1), 7–23.
- Vysoudil, M. (1993). Topoclimatic Mapping in Central Moravia (Czech Republic). *Geografski vestnik*, 65, 25–31.
- Vysoudil, M. (2000). Topoklimatické mapování: Od teorie k praxi. (Topoclimatic Mapping: From Theory to Praxis). *Geografický časopis*, 52(2), 2–13.

- Vysoudil, M. (2009). Klasifikacija lokalnih podnebnih vplivov. *Geografski vestnik*, 61(3), 229–241.
- Vysoudil, M., Káčovská, K. in Ogrin, D. (2019). Comparison of thermal behaviour of different land cover types in Slovenia and Czech Republic. *Dela*, 51, 111–134.
- Vysoudil, M. in Ogrin, D. (2009). Portable infrared camera as a tool in topoclimatic research. *Dela*, 31, 115–127.
- Žiberna, I. (1991). Nekatere značilnosti mestne klime Maribora. *Dela*, 8, 72–77.
- Žiberna, I. (1992). Vpliv klime na lego in razširjenost vinogradov na primeru srednjih Slovenskih gor. *Geografski zbornik*, 32, 50–139.
- Žiberna, I. (1999). Temperaturni obrat v hriboviti Sloveniji. *Dela*, 13 (Sonaravni razvoj v slovenskih Alpah in sosedstvu), 237–248.
- Žibret, B. (2001). Vinogradništvo v Šmarsko-Virštanjskem okolišu glede na klimatske in morfometrijske prvine. *Geografski obzornik*, 39(1), 22–23.