

Podnebje Zaplane: temperaturne razmere v mraziščih

Martin Gustinčič, Društvo za raziskovanje vremena in podnebja
martin.gustincic@slometeo.net

Povzetek

Raziskovanje mrazišč je pomembno z vidika številnih gospodarskih panog in načrtovanja rabe prostora. Na Notranjskem, v pokrajini z obilo kraškega reliefa in konkavnih reliefnih oblik prihaja do stika poselitve z mrazišči. Na območju Zaplane pri Logatcu lahko na podlagi različnega temperaturnega režima ločimo več vrst mrazišč. Posebej pomemben za raziskave je niz vzporednih meritev na dnu enega od mrazišč in v okolici tik nad mraziščem. Tovrstne meritve so pripomogle h kasnejšemu raziskovanju mrazišč v okviru Slovenskega meteorološkega foruma.

Ključne besede: Zaplana, mikroklima, temperaturni obrat, mrazišča

Abstract

Measurements in the frost hollows are important in terms of many economic activities and master planning. On Zaplana near Logatec exist many types of frost hollows with different temperature characteristics. They were investigated on the basis of parallel measurements of temperature datalogger in the frost hollow and automatic weather station right above the frost hollow.

Keywords: Zaplana, microclimate, temperature inversion, frost hollows

Pomen raziskovanja mrazišč na Zaplani

Raziskovalci mrazišč Slovenskega meteorološkega foruma smo opredelili mrazišča kot območja, kjer se temperatura v mirnih in jasnih nočeh spusti precej nižje kot v okolici na podobni nadmorski višini (Trošt, 2008). Mrazišča se najpogosteje pojavljajo v konkavnih reliefnih oblikah na območju kraških kamnin, saj se v vrtačah, udornicah in na kraških poljih lahko zadržuje jezero hladnega zraka. V odvisnosti od njihove globine in poraščenosti je zanje značilen različen temperaturni režim.

V okviru raziskovanja mrazišč imajo mrazišča na Zaplani poseben pomen, saj so meritvam v teh mraziščih sledile nadaljnje meritve članov meteorološkega foruma v preostalih slovenskih mraziščih. Na Zaplani se mrazišč zaradi njihove nizke nadmorske višine vse bolj dotika tudi poselitev, kar se sicer v večji meri dogaja v drugih delih Notranjske. Posebnost raziskave mrazišč na Zaplani so tudi dolgoletne meritve na dnu izbranega mrazišča in hkrati tudi na meteorološki postaji nad samim mraziščem. Državna mreža meteoroloških postaj z dolgoletnimi meritvami vključuje ne-

katera mrazišča (Babno polje, Bloke, v preteklosti tudi Rakitna), vendar so tamkajšnje meteorološke postaje nekoliko dvignjene nad dnom kraških polj. Na Zaplani pa potekajo meritve temperature v kraških vrtačah, kjer so temperaturne razmere še nekoliko drugačne od tistih na večjih kraških poljih.

Novejše meritve članov Slovenskega meteorološkega foruma so pokazale, da že znane lokacije hudega mraza (na primer Babno polje) niso edinstvene in da je podobno mrzlo v mnogih travnatih kotanjah po Sloveniji. Kot najhladnejša mrazišča so se zaenkrat izkazala mrazišča na sredogorskih planotah v Julijskih Alpah. Pomembne pa so tudi raziskave nižje ležečih mrazišč, ki so sicer manj hladna, a se jih lahko dotika poselitev.

Raziskovanje mrazišč je pomembno z vidika kmetijstva, prometa in načrtovanja rabe prostora. Zlasti na Notranjskem, v pokrajini z obilo kraškega reliefa, prihaja do stika poselitve s hladnimi mrazišči, v katerih je veliko temperaturnih prehodov pod in nad 0 °C. Mrazišča se od okolice ne razlikujejo le po klimatskih razmerah, temveč tudi po samočistilnih sposobnostih

ozračja. Pogost temperaturni obrat v mraziščih namreč onemogoča navpično izmenjavo zraka, s tem pa lahko že manjši vir onesnaženja (kurišče, promet) v mrazišču z majhno prostornino povzroči močno povečano koncentracijo škodljivih snovi. Višja vlažnost ozračja, pogostejše pojavljanje megle, daljše trajanje snežne odeje in, vsaj deloma vegetacijski obrat so le posledice temperaturnega obrata v mraziščih.

Metode in tehnike dela

Že precej pred vzpostavitvijo stalnih meritev na meteorološki postaji Zaplana so poleti 2001 stekle prve meritve v okoliških kraških vrtačah. Z minimalnim alkoholnim termometrom pa so se meritve leto dni kasneje izvajale v mrazišču Dolinca, v kraški vrtači v neposredni bližini meteorološke postaje Zaplana. Klasični termometri so omogočili vpogled v dnevne temperaturne minimume, za beleženje časovnega poteka temperature zraka pa je bil aprila 2004 nameščen digitalni registrator temperature "HOBO". Aprila 2009 ga je nadomestil registrator "Votcraft DL-100T", tega pa oktobra 2009 registrator „Madgetech TransiTemp II“.

Termometer v mrazišču je pred Sončevim sevanjem zaščiten v pasivnem, naravno ventiliranem termometrskem zaklonu Davis 7714. Zaklon dokaj uspešno posnema klasično leseno meteorološko hišico. Po sistematičnih raziskavah predstavlja največji pribitek k izmerjeni temperaturi v tem zaklonu kratkovalovno Sončevo sevanje, odbito neposredno od tal. S tem je natančnost izmerjene temperature odvisna od lastnosti tal oziroma od njihovega albeda. Največja napaka v izmerjeni temperaturi je podnevi, merilna napaka pa se manjša z večanjem hitrosti vetra. Odstopanja so precej manjša ponoči v obdobju stabilne atmosfere (Nakamura, Reina, Mahrt, 2005).

Termometrski zakloni za druga merilna mesta so bili izdelani po načrtih Slovenskega meteorološkega foruma. Zakloni sestavljeni iz vrtnih podstavkov in ovitimi v debelejšo aluminijasto folijo so se v primerjavi z zakloni brez folije bolje izkazali (vir: Slovenski meteorološki forum).

Madgetechove registratorje sem umerjal na izmerke samodejne vremenske postaje Zaplana s tovarniško oznako WMR. Umerjanje opravičujejo izmerki starejšega HOBO termometra in klasičnih meteoroloških termometrov, ki se dobro ujemajo s postajo WMR. Izmerke samodejne postaje uporabljam za izdelavo klimatoloških statistik, z umerjanjem termometrov Madgetech na to samodejno postajo pa sem dosegel boljšo primerljivost izmerkov z različnih merilnih mest na Zaplani. Ugotovil sem sistematično odstopanje Madgetechovih registratorjev od preostalih merilnikov pri nizki temperaturi. Pri 0 °C ni pomembnega od-

stopanja, pod to vrednostjo pa se razlika postopoma povečuje in pri temperaturi -10 °C Madgetechovi data loggerji kažejo za približno 1 °C previsoko temperaturo. Ta razlika se pri nižji temperaturi ohranja. Napaka zaradi uporabe različnih termometrijskih zaklonov ni bila odpravljena.

Poslužujem se tudi terenskih meritev s termometrom Voltcraft-dt 300. Take meritve temperature imajo svoje prednosti in slabosti. Gre za občasne in kratkotrajne meritve na lokacijah, kjer zaradi različnih razlogov, tako finančnih kot varnostnih, stalne meritve niso mogoče.

Plitva travnata mrazišča

Na Zaplani je razvit dolomitni kras s številnimi kraškimi kotanjami, ki pa so večinoma porasle z gozdom. Zaradi kmetijske rabe se nekatera mrazišča danes nahajajo zunaj gozdnih površin. Plitva in travnata mrazišča so po temperaturnih minimumih hladnejša od globljih in zaprtih mrazišč. Z dolgovalovnim zemeljskim sevanjem ponoči mrazišča izgubljajo toploto, ki pa lažje izhaja iz plitvih in odprtih mrazišč brez gozdne vegetacije. Pri bolj zaprtih kotanjah z bolj strmimi pobočji se znaten del izhajajoče toplote prek zemeljskega sevanja ponovno vrača v mrazišče.

Mrazišče Dolinca

Mrazišče Dolinca se nahaja 150 m vzhodno in 21 m nižje od meteorološke postaje Zaplana. Gre za plitvo kotanjo skledaste oblike z globino 13 m, njeno dno pa je na nadmorski višini 545 m (slika 1). Uradnega poimenovanja za to mrazišče ni, se je pa med bližnjimi prebivalci v času gradnje počitniškega naselja v 70. in 80. letih prejšnjega stoletja uveljavilo ime „Dolinca“. Mrazišče je bilo nazadnje pokošeno v letu 2003, njivske površine pa so v vrtačo segle še leta 1997.



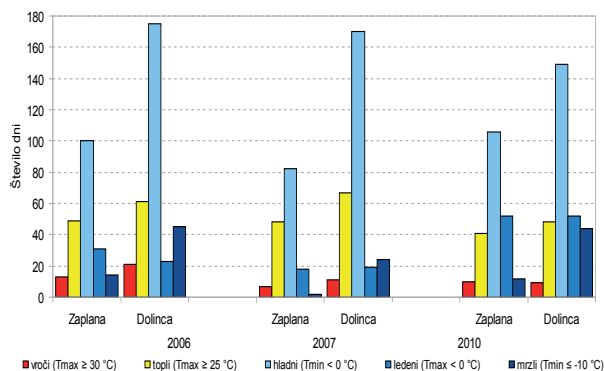
Slika 1. Mrazišče Dolinca (Foto: M. Gustinčič)

Figure 1. Frost hollow Dolinca (Photo: M. Gustinčič)

Prve terenske meritve temperature so se v Dolinci začele poleti 2002, v kasnejših letih pa so se izpopolnjevale. Meritve so potrdile izjemne temperaturne razmere, ki lahko vladajo v nižje ležečih mraziščih. Zelo pogosta je nizka nočna temperatura, pojavlja se veliko dnevno kolebanje temperature, značilne pa so tudi hitre spremembe temperature zaradi močnega radiacijskega ohlajanja ali nenadnega razkroja jezera hladnega zraka ob vdoru vetra v mrazišče.

Iz grafikona na sliki 2 je razvidno število karakterističnih meteoroloških dni v mrazišču v primerjavi z meteorološko postajo Zaplana (upoštevani so klimatološki termini ob 21. uri). Prikazani so podatki za leta, v katerih so potekale meritve na obeh lokacijah hkrati (na postaji nad mraziščem šele po letu 2006) in ko ni bilo izpada podatkov v mrazišču (september 2008 in februar 2009). Pri interpretaciji je pomembno upoštevati dejstvo, da Madgetechov datalogger ni bil umerjen na nizke temperature. Podatki tudi še niso bili popravljeni in zato je število hladnih, ledenih in mrzlih dni za leto 2010 manjše kot bi moralo biti.

Glede na meteorološko postajo Zaplana je v mrazišču Dolinca veliko večje število hladnih dni z najnižjo dnevno temperaturo pod lediščem. Obdobje z negativno temperaturo je tako v mrazišču skoraj enkrat daljše kot na 21 m višje ležeči postaji. Razlika med obema merilnima mestoma je od leta do leta različna. V času anticiklonalnega tipa vremena pridejo najbolj do izraza lokalne vremenske posebnosti povezane z izoblikovanostjo reliefa. Mrazišče je tako v povprečju (klimatološko povprečje) hladnejše od njegovega obrobja predvsem ob stabilnem vremenu, ko se v mrazišču pogosto pojavlja jezero hladnega zraka (na primer v aprilu 2007, preglednica 3).



Slika 2. Karakteristični meteorološki dnevi v mrazišču Dolinca (545 m) v primerjavi z meteorološko postajo Zaplana (566 m). Tmax je oznaka za maksimalno in Tmin za minimalno dnevno temperaturo

Figure 2. Number of days surpassing different air temperature thresholds in frost hollow Dolinca (545 m) and at the private meteorological station of Zaplana (566 m). Tmax denotes maximum and Tmin minimum daily air temperature, respectively

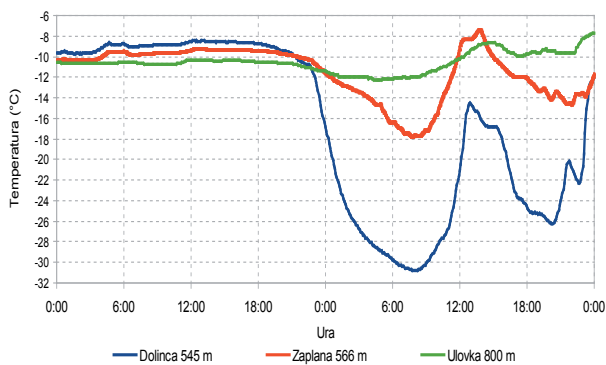
Preglednica 1. Povprečna mesečna (T_{povp}), povprečna minimalna ($T_{min\ povp}$) in povprečna maksimalna ($T_{max\ povp}$) temperatura zraka v mrazišču Dolinca in na vremenski postaji Zaplana.

Table 1. Mean monthly air temperature (T_{povp}), mean monthly minimum temperature ($T_{min\ povp}$) and mean monthly maximum temperature ($T_{max\ povp}$) in frost hollow Dolinca and at the meteorological station Zaplana.

leto 2007	T_{povp} (°C)		$T_{min\ povp}$ (°C)		$T_{max\ povp}$ (°C)	
	Dolinca	Zaplana	Dolinca	Zaplana	Dolinca	Zaplana
januar	2,0	3,6	-3,8	0,8	7,5	6,9
februar	1,5	3,9	-5,1	0,5	9,0	7,8
marec	4,0	6,0	-2,5	1,9	12,0	10,4
april	7,3	11,8	-3,0	4,9	20,7	19,0
maj	12,6	14,4	3,3	9,2	22,0	20,7
junij	15,9	17,7	7,8	13,3	24,6	23,4
julij	15,2	18,6	5,7	12,0	27,1	26,3
avgust	15,4	17,5	8,0	13,0	24,4	23,0
september	9,4	12,0	2,0	7,5	19,1	17,5
oktober	6,2	8,0	0,5	5,1	13,7	12,1
november	1,2	3,2	-4,7	0,0	7,8	6,9
december	-2,7	-1,4	-6,7	-3,5	0,8	0,7
leto	7,3	9,6	0,1	5,4	15,7	14,6

Dosedanje meritve temperature kažejo, da se v Dolinci temperatura pod 0 °C lahko pojavlja tudi sredi poletja, in sicer v zelo hladni zračni masi ali v toplejših nočeh z nizko relativno vlažnostjo zraka. Poletna negativna temperatura v Dolinci (-0,7 °C) je bila med drugim izmerjena 17. julija 2006, ko na zgornji meteorološki postaji sploh ni bilo posebej hladno. Na meteorološki postaji je najnižja poletna temperatura izmerjena v povsem drugih dneh kot v mrazišču, kar je posledica značilnosti vremenske situacije. Na meteorološki postaji je najhladnejše ob močnejših ohlaiditvah, ki pa jih največkrat spremlja vlažno vreme z meglenimi jutri. Nastanek megle bolj zavre ohlajanje v mrazišču.

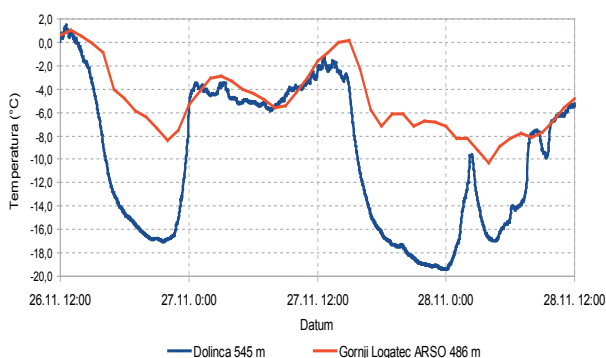
Absolutna najnižja izmerjena temperatura v mrazišču Dolinca je pogojena s toplejšimi zimami v zadnjem obdobju in nepopolnim nizom podatkov. Po vzpostavitvi stalnih meritev temperature je bilo verjetno v mrazišču najhladnejše 1. marca 2005, ko se je termometer HOBO pokvaril. Najnižja temperatura -30,5 °C je bila tako izmerjena 20. decembra 2009. Upoštevajoč odstopanje termometra pri nizkih temperaturah je bila realna vrednost v mrazišču okoli -31,5 °C. Meritve potrjujejo izjemno velike temperaturne razlike, ki se lahko pojavijo v posameznih zimskih nočeh in prav tako kažejo, da lahko prizemni temperaturni obrat vztraja ves dan tudi v sicer plitvem mrazišču Dolinca. Dne 20. decembra 2009 je bila na primer v mrazišču maksimalna dnevna temperatura občutno nižja kot na meteorološki postaji Zaplana (slika 3).



Slika 3. Časovni potek temperature v mrazišču Dolinca v noči z 19. na 20. december 2009.

Figure 3. Temperature time series in frost hollow Dolinca in the night of December 19-20, 2009.

Večletne primerjave so pokazale, da obstajajo velike temperaturne razlike med mrazišču Zaplane in bližnjim dnem Logaškega polja, ki sicer sodi med hladnejša kraška polja Notranjskega podolja (slika 4). Zasebna meteorološka postaja v Gornjem Logatcu (vir: medmrežje 4) je postavljena le malo nad dnem polja in v doslej najhladnejši noči 20. decembra 2009 (ko je bilo v Dolinci $-31,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) se je temperatura tam spustila do $-23,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Podobna temperaturna razlika je bila tudi 19. decembra 2010 (Dolinca $-28,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, Gornji Logatec $-20,7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Velike razlike se pojavljajo že v večernem času. Dne 18. decembra 2010 ob 21. uri je bilo v mrazišču Dolinca $-20,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, v Gornjem Logatcu pa $-14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kot kažejo podatki so temperaturne razmere med dnem Logaškega polja in posameznimi kraškimi vrtačami v višjih okoliških hribovjih bistveno drugačne, čeprav gre v obeh primerih za plitve reliefne depresije.



Slika 4. Primer velike temperaturne razlike med Dolinco in Gornjim Logatcem. Prikazan je časovni potek temperature med 26. in 28. novembrom 2008 (Vira: arhiv ARSO, 2008 in vremenska postaja Gornji Logatec).

Figure 4. An example of significant temperature difference between Dolinca and Gornji Logatec. The temperature time series for the period of 26-28 November 2008 is shown. (Sources: ARSO archive and Weather station Gornji Logatec)

Termometer v mrazišču Dolinca ni nameščen v klasično meteorološko hišico, temveč v plastičen termometriški zaklon, kar zagotovo prispeva k večjim napakam pri meritvah dnevne temperature. Predvidevam pa, da imata v mrazišču Dolinca še večji vpliv zlasti mikrolokacija termometra v bližini prisojnega pobočja in manjša prevetrenost mrazišča, zaradi česar je mrazišče ob šibkem vetru lahko bistveno toplejše od zgornje meteorološke postaje Zaplana. Dodatno k višjim izmerjenim vrednostim prispeva merilna oprema. Na to kažejo primerjave temperature v več dneh s sončnim vremenom in spremenljivim vetrom. Ne glede na vrsto termometra, v mrazišču so se izmenjali trije digitalni termometri, je temperatura v Dolinci od tiste na obrobju višja ob vzhodnem vetru, primerljiva ali celo nižja pa je v dneh z jugozahodnim vetrom. Ob vzhodnem vetru pride do izraza zatišna lega Dolince, ob jugozahodniku pa zatišna lega postaje Zaplana. V dneh z jugozahodnikom je namreč Dolinca hladnejša od zgornje postaje Zaplana, hkrati pa povsem primerljiva z bližnjima zasebnima vremenskima postajama Logatec in Petkovec. Ob vzhodnem vetru so razmere obrnjene in temperatura v Dolinci je podobna temperaturi na Petkovcu in v Logatcu.

Mrazišče Dvojček

V preteklosti so bile posamezne terenske meritve temperature izvedene tudi v sosednjem mrazišču, ki se nahaja 100 m severovzhodno od Dolince (slika 5). Mrazišče v obliki dvojne vrtače pod imenom Dvojček poznamo raziskovalci mrazišč. Mrazišče z nadmorsko višino dna 552 m je globoko devet metrov in je bolj odprto od Dolince.

Rezultati terenskih meritev temperature so bili zelo pogojeni z merilno opremo, trenutnim tipom vremena in s stanjem tal v mrazišču. Mrazišče Dvojček je namreč za razliko od Dolince redno košeno, dno je bolj osončeno – to vpliva na temperaturo vrhnjega sloja prsti in s tem tudi na nočno temperaturo zraka. Mrazišče Dolinca pokriva tudi v hladni polovici leta debel sloj suhe trave. Trajanje snežne odeje je v Dvojčku krajše kot v Dolinci. To je vidno ob spomladanskem taljenju snežne odeje, ko snega v Dvojčku navadno ni več, dno in osojna pobočja Dolince pa še pokriva debelejša plast starega snega. V mrazišču Dvojček redno košena in skoraj gola tla precej manj zavirajo toplotni tok iz tal od nepokošenih in z debelo plastjo suhe trave pokritih tal v Dolinci. To tezo potrjujejo meritve v dneh s snežno odejo, ko je Dvojček pogosto hladnejši od Dolince.

Dne 18. decembra 2010 je bilo ob 21. uri v Dolinci $-20,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, v Dvojčku pa na podlagi terenskih meritev s termometrom Voltcraft $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zaradi uporabe različne merilne opreme je morala biti temperaturna razlika s kasnejšimi primerjavami termometrov dokazano nekoliko manjša, a še vedno znatna.



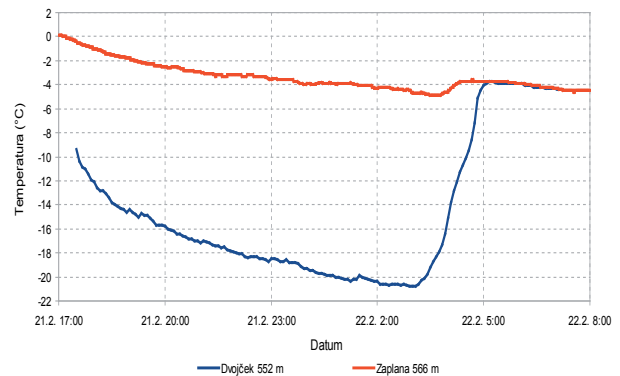
Slika 5. Mrazišče Dvojček (Foto: M. Gustinčič)

Figure 5. Frost hollow Dvojček (Photo: M. Gustinčič)

Prva sistematična primerjava obeh mrazišč je bila izvedena v času daljšega ustaljenega vremena ob koncu septembra in v oktobru 2011. Na obeh merilnih mestih sta bila 2 m od tal nameščena digitalna regulatorja temperature Madgetech. V mrazišču Dvojček so bile zaradi varnosti in dejstva, da termometer ne more biti v termometriškem zaklonu, meritve mogoče le v nočnem času. Za kar najboljšo primerjavo je bil tudi v mrazišču Dolinca ob obstoječi termometer nameščen še en regulator temperature brez termometriškega zaklona. Občasno so bile v obeh kotanjah opravljene tudi meritve temperature vrhnjega sloja prsti v globini 5 cm.

Meritve so pokazale, da je bilo mrazišče Dolinca sprva ves čas hladnejše, vendar se je temperaturna razlika med kotanjama tekom noči zmanjševala. V prvih dneh z meritvami je znašala povprečna temperaturna razlika za drugi del noči okoli 0,7 °C. Ob 20. uri je bila temperatura vrhnjega sloja prsti v Dvojčku 18 °C, v Dolinci pa 13 °C. Do jutra se je razlika zmanjšala na približno 2 °C. Ob koncu merilnega obdobja pa je bilo mrazišče Dvojček v dveh zaporednih nočeh že hladnejše od Dolince. Razlika v temperaturnem minimumu je znašala celo 2 °C. Smatram, da je do spremembe prišlo zaradi obilnih padavin in celo sneženja malo pred tem (7. oktober 2011), pri čemer se je na podlagi meritev razlika v temperaturi tal med obema kotanjama prepolovila. Meritve so potrdile tudi izsledke predhodnih terenskih meritev, da temperaturni obrat v mrazišču Dvojček zelo hitro razpade zaradi nočnega jugozahodnega vetra iz smeri Logaškega polja (poljenje hladnega zraka v smeri Vrhnike), medtem ko je relativno stabilen ob šibkem vzhodnem in severnem vetru.

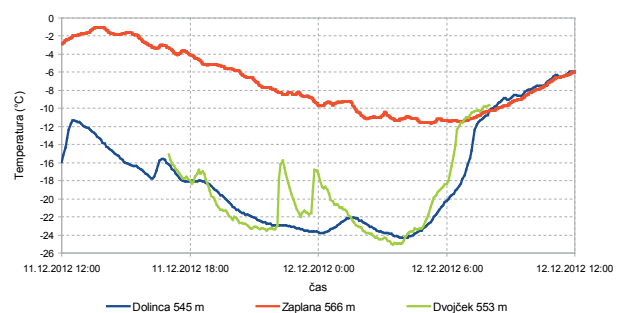
Naslednje sistematične meritve sem opravil ob prodoru mrzlega zraka februarja 2012. Registrator temperature v Dvojčku je bil v nasprotju s tistim v Dolinci že umerjen na preostale termometre. Dne 14. februarja ob 3. uri zjutraj se je temperatura v mrazišču Dolinca spustila na -23,9 °C (predvidoma je bila realna vrednost -24,9 °C), v mrazišču Dvojček pa na podlagi umerjenega termometra celo na -26,1 °C. To vrednost je z -26,0 °C potrdil tudi minimalni alkoholni termometer.



Slika 6. Časovni potek temperature v noči z 21. na 22. februar 2012 na vremenski postaji Zaplana in v mrazišču Dvojček. V drugem delu noči se je zaradi vetra in razširitve nizke oblačnosti temperatura v mrazišču izenačila s temperaturo okolice.

Figure 6. Temperature time series in frost hollow Dvojček during the night of 21-22 February 2012. Temperature in the frost hollow equalized the temperature in the surroundings in the second half of the night due to wind and low-level cloudiness.

Mrazišče Dvojček je plitvejše, globina glede na najnižji obod kotanje znaša 9 m in s tem je še bolj ekstremno mrazišče od Dolince, saj je temperaturni obrat izrazitejši. V noči na 22. februar 2012 je bil med meteorološko postajo Zaplana in mrazišču zabeležen najbolj izrazit temperaturni obrat doslej. Na zgornji postaji je vso noč pihal vzhodni veter in zaviral nočno ohlajanje, hkrati pa je bil veter dovolj šibek, da je omogočal neovirano ohlajanje v zatišnih mraziščih. Dvojček je bil sredi noči od vremenske postaje Zaplana 14 m višje hladnejši za 16,6 °C (slika 6). Termometer na vremenski postaji Zaplana je bil nameščen v meteorološko hišico, termometer v mrazišču Dvojček pa je bil v prostem ozračju. Po primerjavah v predhodni jeseni je temperaturna razlika med tako nameščenimi termometri pri že ustaljeni temperaturi zanemarljiva, pri hitrem spreminjanju temperature pa lahko razlika znaša nekaj desetink stopinje Celzija.



Slika 7. Nestabilen temperaturni obrat v mrazišču Dvojček v noči z 11. na 12. december 2012.

Figure 7. Temperature inversion in frost hollow Dvojček during the night of 11-12 December 2012

Plitvo mrazišče Dvojček ima bistveno manj stabilen temperaturni obrat od Dolince, ima pa večji potencial za izjemno nizke zimske temperature. Ta potencial se redko izrazi, ugodne pa so predvsem noči s snežno odejo v kombinaciji s šibkimi vetrovi oziroma odsotnostjo nočnega vetra. Zaradi večje plitvosti Dvojčka se tu motnje v nočnem ohlajanju odražajo v precej večji meri. Motnja, ki v Dolinci povzroči komaj zaznavno spremembo v poteku temperature, se lahko v Dvojčku kaže kot nenadna otoplitev za skoraj 10 °C (slika 7).

Globoka in z gozdom porasla mrazišča mrazišča

Petdeset metrov južno od mrazišča Dvojček se nahaja mrazišče, ki predstavlja osnovo vsem kasnejšim meritvam v mraziščih Zaplane. Meritve temperature so se na tem mestu prvič izvajale že poleti 2001. Mrazišče je globoko 13 m in je zaradi strmih pobočij bistveno bolj zaprto od Dolince. Pobočja kotanje so porasla z gozdom, vlažno dno kotanje pa porašča malinjak. Glede na občasne terenske meritve so v kotanji temperaturne razmere drugačne kot v plitvih in travnatih mraziščih. Manjše je dnevno kolebanje temperature, višja je minimalna nočna temperatura, bistvena razlika pa je v trajanju jezera hladnega zraka. Če se v sosednji Dolinci po jutranjem mrazu zelo hitro ogreje, pa se hladen zrak na dnu te kotanje zadržuje bistveno dlje in celo v poletju obstaja temperaturni obrat do poznega dopoldneva.

Mrazišč take vrste je na Zaplani največ, uravnano dno opisanega mrazišča pa porašča le malinjak in pozimi so tako možne tudi meritve snežne odeje. V večini drugih mrazišč sega gozd tudi v dna kraških kotanj in meritve snežne odeje niso reprezentativne. Pred leti pa sem odkril tudi podvrsto globokih in poraščenih mrazišč, in sicer mrazišče s hladnimi tlemi.

Mrazišče Globoka dolina

Nekatera mrazišča obkrožajo obsežni in prevotljeni kraški masivi. Ti se v hladni polovici leta preko razpok, brezen in jam napolnijo s hladnim zrakom. Snežnica lahko masiv ohladi na 0 °C, zrak, ki vdira s površja, pa še na nižjo temperaturo. V toplejšem delu leta na tak način nakopičeni hladen zrak izhaja iz kraškega masiva (Mihevc, 2008). Skale v krasu imajo veliko toplotno kapaciteto in lahko hladijo zrak skozi vso toplo polovico leta.

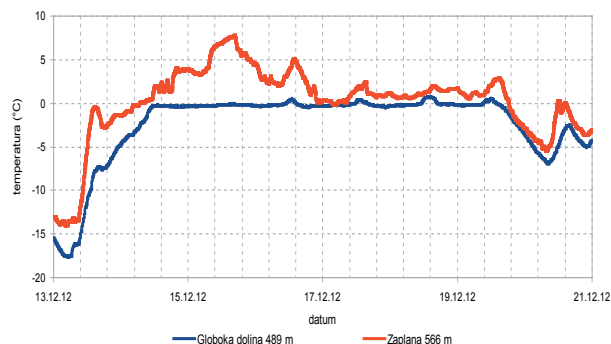
Temperaturni obrat se v nekaterih kotanjah pojavi zaradi advekcije hladnega zraka iz kraških votlin. Zaradi temperaturne razlike med votlinami in prostim ozračjem prihaja do tlačne razlike, ki poganja tok hladnega zraka iz votlin in razpok v kraški kotanji. Temperaturni obrat je lahko dolgotrajen in ima zato še posebno velik vpliv na rastne pogoje v mrazišču (Ortar, 2011).

Mrazišče takega tipa je tudi na Zaplani, kjer se na nadmorski višini 489 m nahaja dno globoke kraške udornice z obsežnimi pobočji. Hladen zrak se iz kraškega masiva prazni skozi brezno na osojnim pobočju dobrih deset metrov nad dnom udornice. Brezno je poimenovano kot Brezno nad Globoko dolino in po tem je bilo za to mrazišče privzeto tudi ime. Brezno v hladnejši polovici leta črpa zrak v podzemlje, v topli pa hladen zrak izteka ven na površje. Ob poletni vročini iz brezna izteka zrak, ohlajen na 8 °C, in v 20 cm debeli plasti ter v 2 m širokem pasu odteka proti dnu udornice. Celoten sistem si lahko predstavljamo kot slap vode, ki se zliva po pobočju.

Krajši merilni niz iz Globoke doline obstaja za april 2010, po kraji merilnih naprav pa so bile meritve ponovno vzpostavljene spomladi leta 2011. Terenske meritve v tem mrazišču so sicer nakazovale na nizko dnevno temperaturo, boljši vpogled v dinamiko temperature pa so dali kasnejši nizi podatkov. Temperaturne razmere v mrazišču so zelo odvisne od letnega časa in pri tem lahko ločimo različna obdobja, kot so zima, poletje ter prehodno obdobje pomladi in jeseni. V prispevku bodo opisane razmere pozimi in v poletju, ko so te najbolj značilne.

Temperatura v Globoki dolini pozimi

Globoka dolina je kraška udornica, kjer je po izkušnjah iz nekaj zadnjih let najdaljše trajanje snežne odeje na celotni Zaplani in v bližnji okolici. Po zimah in po spomladanskih snežnih padavinah, kakršne so bile v letih 2004 in 2006, se sneg v udornici zadržuje še v prvih dneh meseca maja. Zaradi lijakastega dna in poraščenosti se meritve snežne odeje izvajajo le malo nad dnom kotanje, na manjšem uravnanim platoju, nad katerim ni drevesnih krošenj. Na merilnem mestu je trajanje snežne odeje krajše kot dva metra nižje med skalovjem na dnu udornice. Ob obilnejših jesenskih snežnih padavinah in kasnejši pomrznitvi snežne



Slika 8. Pod vplivom snežne odeje se v času odjuge temperatura v Globoki dolini giblje okoli ledišča.

Figure 8. The temperature in frost hollow Globoka dolina during the winter thaw is hovering around zero due to snow cover.

odeje je mrazišče skoraj zanesljivo neprekinjeno zasneženo vse do pomladi. Snežna odeja se navadno postopoma kopiči, ob sneženjih se debeli, v vmesnih odjugah pa se sneg le posede in počasi tali, a kmalu ponovno zmrzne. Nastane poledenela snežna odeja in tako je bilo januarja in februarja 2011 debelino snežne odeje z lavinsko sondo nemogoče izmeriti. Od zime 2011/2012 dalje je zato v tem mrazišču v uporabi stalni snegomer, s katerim je bila v februarju 2013 izmerjena 160 cm debela snežna odeja.

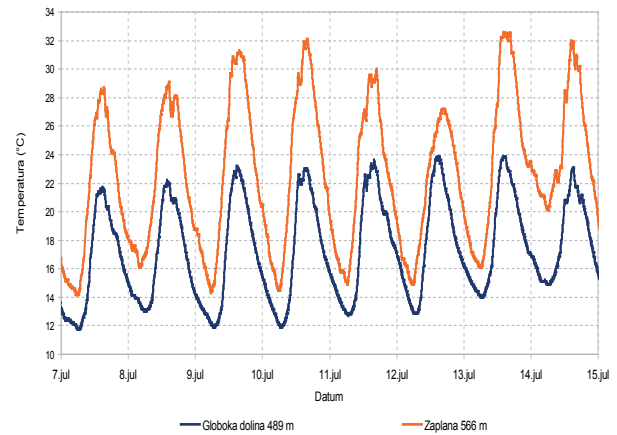
V Globoki dolini je ob izrazitih odjugah z dežjem in vetrom hladneje kot v okolici (slika 8). Zaradi vpliva snežne odeje v ozkem mrazišču temperatura stagnira okoli ledišča. V topli polovici leta je ob padavinah temperatura v Globoki dolini podobna temperaturi okolice.

Kadar v hladni polovici leta nizki jutranji temperaturi ob šibkem jugozahodnem vetru sledi izrazito dnevno ogrevanje, v zaprtih mraziščih obleži plast hladnega zraka, temperaturno razliko pa lahko dodatno okrepi snežna odeja, ki je prisotna v mrazišču, ne pa tudi na zgornji meteorološki postaji. Do opisane kombinacije vremenskih razmer je prišlo 7. februarja 2011, ko je bilo ob 13. uri na postaji Zaplana 16,7 °C, v mrazišču Dolinca 17,0 °C, v mrazišču Globoka dolina pa na podlagi terenskih meritev samo -1,6 °C. Ta temperaturna razlika med mrazišči Zaplane in njihovo okolico je največja izmerjena doslej.

Temperatura v Globoki dolini poleti

Vpliv hladnih tal se prične kazati približno s pričetkom meteorološkega poletja, ko je v Globoki dolini tudi sredi dneva in ne glede na hitrost vetra občutno hladneje kakor v njeni okolici. Na dnu udornice je poleti stalno prisoten temperaturni obrat, ki je posledica hladnih tal. Pogosto zasenčena tla imajo veliko toplotno kapaciteto in se počasi segrevajo. Hladen zrak se na pobočju nekaj metrov pod breznom razlije in ga s sekundnim termometrom sicer ni mogoče več zaznati, predvidoma pa kljub temu nižja temperaturo tal v mrazišču. Meritve v poletju 2008 so pokazale, da se temperatura v breznu in na dnu udornice tekom poletja le neznatno dviga in da je iztekanje hladnega zraka iz brezna odvisno od zunanje temperature in s tem od dnevnega in letnega časa. Ob nižji zunanji temperaturi brezno ni aktivno, ob naraščanju temperature pa hladen zrak stalno izteka.

Temperatura na dnu udornice se v času poletne vročine giblje okoli 11 °C, med skalovjem okoli 8 °C, v tleh na globini 10 cm pa je še za nekaj desetink stopinje hladneje. Ob tako hladnih tleh se zrak tik nad njimi ne more ogreti in tudi veter lahko plast hladnega zraka premeša samo za kratek čas. Sredi dneva v poletju sega jezero hladnega zraka v mrazišču tudi do 10 m



Slika 9. Časovni potek temperature zraka v Globoki dolini in na vremenski postaji Zaplana v času vročinskega vala julija 2011.

Figure 19 Temperature time series in Globoka dolina and at the meteorological station Zaplana during heatwave in July 2011.

visoko. Za hladna tla v poletju je bolj kot snežnica pomembnejši hladen jamski zrak, saj je po dosedanjih meritvah dno mrazišča hladno tudi še ob koncu poletja, torej precej po samem koncu zimske sezone. Hkrati pa so tla mrazišča hladna tudi v poletjih, ki so sledila izrazito suhi zimi brez snežne odeje (na primer leta 2007).

Na podlagi dosedanjih meritev temperature se v mrazišču zaradi hladnih tal na dveh metrih višine najvišja poletna temperatura dvigne le do okoli 25 °C. Maksimalna dnevna temperatura je dokaj neodvisna od temperature v okolici mrazišča, kar kažejo meritve sredi julija 2011 (slika 10). Kljub precej višji temperaturi na Zaplani 13. julija je bilo tega dne v mrazišču enako toplo kot v sicer hladnejšem dnevu pred tem.

V tako zaprtem mrazišču ima toča izjemno velik vpliv na temperaturo zraka, saj hladi sorazmerno majhno prostornino zraka. Dne 13. junija 2012 je Zaplano zajela nevihta s točo, ki je tla prekrila v sklenjeni plasti. Na vremenski postaji Zaplana je temperatura padla na 10,8 °C, v mrazišču Dolinca je bila temperatura za stopinjo nižja, v Globoki dolini pa je bilo ob 14. uri izmerjeno 4,9 °C. Tekom običajnih neviht brez toče do tako velike temperaturne razlike ne pride.

Temperaturna razlika med okolico in Globoko dolino je torej močno odvisna od letnega časa. V poletju trajanje Sončevega obsevanja v mrazišču skrajšuje vegetacija, do izraza pride advekcija hladnega zraka iz kraških votlin in razpok v dnu mrazišča, hladna tla pa znižujejo temperaturo v nekaj višinskih metrih kraške kotanje. Mrazišče je stalni naravni hladilnik tudi v topli polovici leta.

Zaključki

Opisal sem izsledke večletnega proučevanja mrazišč, ki predstavljajo dobro izhodišče za proučevanje mikroklimatskih razmer v mraziščih na nižji nadmorski višini. Prve terenske meritve so se izvajale leta 2001, stalne meritve temperature v mrazišču Dolinca pa potekajo že od leta 2004. Kmalu so bile vzpostavljene tudi stalne meritve na merilnem mestu nad mraziščem in s tem že več let potekajo vzporedne meritve. Na merilnem mestu nad mraziščem se merijo tudi smer in hitrost vetra ter relativna zračna vlaga, torej meteorološke spremenljivke, pomembne za proučevanje mrazišč. Na Zaplani obstaja kopica mrazišč z različnimi temperaturnimi režimi, kar sem dokazal s pomočjo stalnih in občasnih meritev temperature. Večletne meritve so pokazale, da se v nekaterih mraziščih Zaplane temperatura pod 0 °C pojavlja v vseh letnih časih in da se lahko pozimi spusti tudi pod -30 °C.

Viri

Meteorološki arhiv Agencije RS za okolje – podatki digitalnega registratorja temperature Gornji Logatec.

Mihevc, A., 2008. Mrazišča s hladnimi tlemi. (osebni vir, maj 2008).

Nakamura, Reina, L. Mahrt, 2005: Air Temperature Measurement Errors in Naturally Ventilated Radiation Shields. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 22, 1046–1058. Dosegljivo na: <http://dx.doi.org/10.1175/JTECH1762.1>

Trošt, A., 2008. Mrazišča na Komni. Diplomsko delo. Dosegljivo na: http://geo2.ff.uni-lj.si/pisnadela/pdfs/dipl_200810_andedrej_trost.pdf (11.3.2013)

Sinjur, I., Termometrski zaklon – interna objava na Slovenskem meteorološkem forumu. Dosegljivo na: <http://www.slometeo.net/forum/viewtopic.php?f=6&t=331> (11.3.2013)

Ortar, J., Tipizacija in regionalizacija slovenskih mrazišč – diplomsko delo. Dosegljivo na: http://geo2.ff.uni-lj.si/pisnadela/pdfs/dipl_201105_jaka_ortar.pdf (11.3.2011)

Zasebna meteorološka postaja Gornji Logatec. Dosegljivo na: <http://www.slometeo.net/logatec/vreme.html> (11.3.2013)

Boultier F., in F. Courtier, 1999: Data assimilation concepts and methods. ECMWF, Reading.



Foto: L. Likar

Merilna napaka temperature zraka v aluminijasto–plastičnem zaklonu Slovenskega meteorološkega foruma

Gregor Vertačnik in Iztok Sinjur, oba Slovenski meteorološki forum

gregor.vertacnik@t-2.net, iztok.sinjur@t-2.net

Povzetek

Na točnost in natančnost meritev temperature zraka poleg merilne naprave močno vpliva zaklon, ki ščiti merilno napravo pred neposrednim sončnim sevanjem, dolgovalovnim sevanjem neba in površja ter padavinami. Pri primerjavi in vrednotenju meritev v različnih zaklonih je potrebno upoštevati tudi vpliv zaklona. Člani Slovenskega meteorološkega foruma smo konec leta 2005 pričeli razvijati mrežo samodejnih temperaturnih postaj, nameščenih zlasti v mraziščih. Meritve temperature zraka izvajamo z elektronskim registratorjem iButton DS1922L v dveh vrstah zaklonov, angleški hišici in aluminijasto-plastičnem zaklonu lastne izdelave. Primerjava vzporednih meritev v obeh zaklonih kaže na sistematične razlike, ki pa so večinoma velikostnega reda nekaj desetink stopinje Celzija. Razlike v dnevnem času so praviloma večje kakor v nočnem in v jasnem vremenu večje kakor v oblačnem. Na podlagi meritev smo razvili prenosno funkcijo, ki povezuje meritve z omenjenim elektronskim registratorjem v obeh vrstah zaklonov.

Ključne besede: meteorološke meritve, temperatura zraka, merilna napaka, sevalni zaklon, iButton, mrazišča

Abstract

Accuracy and precision of air temperature measurements are apart from the instrument itself greatly affected by shield, protecting the instrument from direct solar radiation, longwave radiation of sky and terrestrial surface and precipitation. Thereby the effect of radiation shield has to be considered when comparing and interpreting measurements inside various shields. Members of Slovenian Meteorological Forum have set up a network of automatic temperature stations since 2005 and placed the stations mostly in frost hollows. Temperature measurements are made by data logger iButton 1922L, which placed in two different types of radiation shields, Stevenson screen and aluminum-plastic home-made shield. Comparison of parallel measurements in both types of shields shows systematic differences, however mostly on the order of few tenths of Celsius degree. The difference is usually larger during daytime than night-time and in clear-sky conditions than in overcast conditions as well. On the basis of these measurements a transfer curve has been developed, relating measurements with iButtons placed in aforementioned types of radiation shield.

Keywords: : meteorological measurements, air temperature, observational error, radiation shield, iButton, frost hollows

Uvod

Meteorološke meritve temperature zraka so obremenjene z merilno napako, ki je vsaj skupek napake merilnika in napake zaradi vpliva zaklona, ki ščiti merilnik pred neželenimi vplivi. Na napako meritve temperature zraka tako znatno vplivajo vremenske razmere. Mednje sodijo zlasti neposredno in odbito kratkovalovno (sončno) in dolgovalovno, infrardeče

(zemeljsko) sevanje, zastajanje zraka znotraj zaklona, ohlajanje zaradi izhlapevanja vode na mokri površini merilnika ali zaklona, v puščavah pa tudi odlaganje peska na zaklon in merilnik. Zaklone ločimo po obliki, velikosti, načinu prezračevanja in materialu, iz katerega so izdelani. Po obliki sta najpogostejša tipa zaklon z žaluzijami in zaklon iz krožnikov, ki so naloženi eden na drugega. Zakloni so lahko izdelani iz lesa, plastike ali kovine (Lacombe in sod., 2011).

Težavo pri izdelavi zaklona predstavlja nasprotje med dvema dejavnikoma: zaščita proti sevanju in omočenju nasproti zadostnemu zračenju. Rezultat pri izdelavi zaklona je tako nujno kompromis za zmanjšanje skupnega vpliva obeh dejavnikov (Meulen in Brandsma, 2008). V notranjost tipičnega meteorološkega zaklona prodre nekaj odstotkov kratkovalovnega sevanja, hitrost vetra znotraj pa je običajno manj kot polovica hitrosti vetra zunaj zaklona (Hubbard in sod., 2001; Lin in sod., 2001). Naravno prezračevanje zaklonov je tako pri nas večinoma manjše od priporočil WMO – hitrost vetra znotraj zaklona bi morala biti vsaj 2,5 m/s (Lin in sod., 2001, ki se sklicuje na WMO, 1983). Pomembno vlogo pri meritvi temperature v meteorološkem zaklonu igra velikost termometra ali temperaturnega tipala. Z zmanjševanjem velikosti se zmanjšuje napaka zaradi sončnega obsevanja, ki segreva tipalo (Erell in sod., 2003).

Med najpomembnejši lastnosti zaklona, ki vplivajo na napako izmerjene temperature v zaklonu, sodita emisivnost zaklona v vidnem in infrardečem delu spektra – pri valovnih dolžinah, ki jih najmočneje oddajajo Sonce, Zemljino površje in ozračje. Energijsko bilanco neprozorne površine zaklona pri ravnovesni temperaturi lahko zapišemo kot:

$$\alpha_s R_s + \alpha_t R_t = \alpha_t \sigma T^4 + L \quad (1)$$

kjer sta R_s in R_t gostoti toka vpadlega sončnega in zemeljskega sevanja, α_s in α_t pripadajoča absorpcijska koeficienta, σ Stefan-Boltzmannova konstanta, T temperatura površja zaklona, L pa predstavlja izgubo toplote na enoto časa in površine s konvekcijo (Fuchs in Tanner, 1965). Zadnji člen v enačbi (1) lahko zapišemo kot:

$$L = h(T - T_a) \quad (2)$$

torej s sorazmerno odvisnostjo od koeficienta h , ki predstavlja učinkovitost konveksijskega odvajanja toplote in temperaturne razlike med zaklonom (T) in zrakom (T_a). V enačbo (1) vstavimo enačbo (2) in jo preoblikujemo, tako da na desni strani ostanejo »sevalni« členi:

$$\frac{h(T - T_a)}{\alpha_t} = \frac{\alpha_s}{\alpha_t} R_s + R_t - \sigma T^4 \quad (3)$$

Ob močnem sončnem obsevanju je površina zaklona običajno toplejša od okoliškega zraka – obe strani enačbe (3) sta v tem primeru pozitivni. Pri stalni vrednosti h je temperaturna razlika $T - T_a$ manjša, kadar je razmerje α_s/α_t majhno. Le ob majhnem razmerju α_s/α_t je lahko zaklon tudi hladnejši od okoliškega zraka. Snovi s takšno lastnostjo so na primer svetle nekovinske površine, z visoko emisivnostjo v

IR delu spektra in hkrati majhno emisivnostjo (visokim albedom) v vidnem delu spektra (medmrežje 7 in medmrežje 8). Podobno velja za nekatere sijoče kovinske površine, ki so prevlečene s prosojno snovjo z visoko emisivnostjo v IR delu spektra (Fuchs in Tanner, 1965). V nočnem času je prvi člen na desni strani enačbe (3) praktično nič in je temperaturna razlika pri danih vremenskih pogojih odvisna od α_t . V jasnih nočeh je dolgovalovno sevanje površja zaklona praviloma večje od dolgovalovnega sevanja okolice in neba, zato je zaklon hladnejši od okoliškega zraka. Temperaturna razlika narašča z α_t in v tem primeru je za zaklon primeren material, ki slabo seva v dolgovalovnem delu spektra. Med takšne materiale sodijo mnoge kovine (medmrežje 7).

Zgodovina preskušanja različnih zaklonov in njihovih izboljšav sega v 19. stoletje. Thomas Stevenson je v drugi polovici 19. stoletja razvil novo vrsto zaklona, ki so ga na prelomu stoletja izboljšali. Zaklon, izdelan iz lesa in prebarvan z belo barvo, se je razširil po svetu in se marsikje obdržal do danes. Pri nas temu zaklonu pravimo angleška (meteorološka) hišica ali meteorološka hišica (v nadaljevanju hišica). Z nastopom modernih in manjših merilnikov ter avtomatizacijo meritev ob koncu 20. stoletja so se namesto hišice začeli uveljavljati manjši zakloni. Novejši zakloni so tudi cenejši od hišice (Barnett in sod., 1998).

Glavna hiba hišice je njena toplotna kapaciteta, ki zavira temperaturne spremembe zraka v njeni notranjosti. V naravno prezračevani hišici izmerjen časovni potek temperature zraka zaostaja za nekaj minut glede na zunanje razmere (Lacombe in sod., 2011; Meulen in Brandsma, 2008; Brandsma in Meulen, 2008). Z odličnim instrumentom je merilna napaka v tem zaklonu običajno kvečjemu nekaj desetink stopinje Celzija. Večje napake, velikosti 1 °C, se pojavljajo v sončnem in mirnem vremenu in pri hitrih spremembah temperature zraka. Snežna odeja na tleh zaradi odboja svetlobe dodatno poveča pozitivno napako v sončnem vremenu (Lacombe in sod., 2011; Meulen in Brandsma, 2008; Mueller, 1984; Z'graggen, 2006).

Zakloni, ki so sestavljeni iz krožnikov, so odzivnejši na zunanje spremembe temperature zraka. Na tržišču so danes na voljo številne izvedbe, ki se glede na merilno napako močno razlikujejo. Ta je običajno manjša pri umetno (prisilno) prezračevanih zaklonih, a so razlike močno odvisne od kraja meritve in vremenskih razmer (Lacombe in sod., 2011; Meulen in Brandsma, 2008; Brandsma in Meulen, 2008; Hubbart in sod., 2005; Larre in Hegg, 2002; Davis Instruments, 1999).

Pri izbiri temperaturnega zaklona je pomemben dejavnik njegova cena, zlasti pri ljubiteljskih vremenslovcih. Ti so v zadnjih letih razvili obsežno mrežo t.i. ljubiteljskih meteoroloških postaj – povečini samodejnih. Nekateri so svoje merilnike namestili v hišico ali

njeno manjšo in poenostavljeno različico, drugi merijo v zaklonih, ki so del samodejnih vremenskih postaj. Pri slednjih je razpon kakovosti merilnika in zaklona širok in temu primerno točne so meritve. Na podlagi navedenih dejavnikov so se raziskovalci mrazišč Slovenskega meteorološkega foruma (SMF) leta 2005 odločili za namestitev termometrov v preprostih in ceneni zaklonih. Meritve temperature zraka v mraziščih izvajamo s klasičnim tekočinskim termometrom in elektronskim, samodejnim registratorjem.

V nadaljevanju članka sledi opis primerjalnih meritev Slovenskega meteorološkega foruma v različnih termometrijskih zaklonih z elektronskim registratorjem temperature iButton DS1922L. Na podlagi analize teh meritev podajamo oceno o njihovi točnosti. V zaključku so strnjene glavne ugotovitve in podani predlogi za izboljšavo zaklona.

Merilne metode

V zadnjih letih so člani SMF izvedli nekaj primerjalnih meritev med različnimi termometrijskimi zakloni in različnimi merilnimi napravami. V članku so predstavljene rezultati analize izbranih primerjalnih obdobj. V teh smo merili temperaturo zraka tako v hišici kot v zaklonu domače izdelave, ki se najpogosteje uporablja pri meritvah SMF v mraziščih.

Metode in tehnike dela

Zaklon, ki ga uporablja SMF v mraziščih, je izdelan na osnovi Gillovega tipa zaklona oziroma je podoben zaklonom, ki so danes najpogosteje v uporabi za samodejne meteorološke meritve (slika 1). Zaklon je po vseh dimenzijah velik okoli 20 cm. Sestavljen je iz vsaj petih okroglih podstavkov za korita rož, ki so obrnjeni



Slika 1. Aluminijasto-plastični (AP) zaklon Slovenskega meteorološkega foruma (Foto: G. Vertačnik)

Figure 1. Aluminum-plastic (AP) screen of Slovenian meteorological forum (Photo: G. Vertačnik)



Slika 2. Registrator temperature iButton DS1922L (Foto: G. Vertačnik)

Figure 2. Temperature data logger iButton DS1922L (Photo: G. Vertačnik)

navzdol in na kovinsko navojno palico v sredini nanizani eden nad drugim z razmakom okoli 2 cm. Merilnik se po višini nahaja približno v sredini, pod in nad njim sta vsaj dva podstavka. V osrednji podstavek je izrezanih ali izvrtanih več lukenj, ki omogočajo nekaj več navpičnega mešanja zraka znotraj zaklona. V eni od teh lukenj se nahaja gumbek. Običajno podstavke ločujejo majhni leseni kvadri ali plastični zamaški. Celoten zaklon je običajno pritrjen na leseno stojalo. Potrebno je poudariti, da se posamezni zakloni razlikujejo po velikosti in materialu, vsi pa so oviti v gospodinjsko aluminijasto folijo ali oblepljeni s samolepilnim aluminijastim trakom. Preveka s časom oksidira in folija tudi razpada, zato jih je priporočljivo vsaj vsaki dve leti obnoviti, zamenjati aluminijasto prevleko. Ti aluminijasto-plastični zakloni (v nadaljevanju AP zakloni) nudijo dobro zaščito pred neposrednim sončnim sevanjem in padavinami.

Primerjalne meritve smo opravili z elektronskim registratorjem temperature zraka iButton DS1922L, ki ga je razvilo ameriško podjetje Dallas Semiconductor, to podjetje pa je leta 2001 prešlo pod Maxim Integrated Products (Medmrežje 1, Medmrežje 2). Registrator je majhna in priročna naprava v obliki in velikosti gumba, zato se ga je v pogovornem jeziku prijelo ime gumbek – to ime uporabljamo tudi v nadaljevanju članka (slika 2). V neprodušnem ohišju iz nerjaveče pločevine so temperaturno tipalo, baterija in spominski čip. Slednji lahko zabeleži 4192 meritev s točnostjo zapisa na 0,0625 °C (pogosto zaokroženo na 0,1 °C) ali 8192 pri 0,5 °C točnosti (Medmrežje 3). Ohišje je pritrjeno na podolgovat plastični nosilec, ki omogoča lažjo namestitev gumbka. Minimalna življenjska doba baterije je pri časovnem intervalu meritev od nekaj minut do ene ure in pri temperaturi med -40 °C in +40 °C od tri do osem let (Medmrežje 4).



Slika 3. Angleška hišica v mrazišču Luknja na planoti Komna. Desno zadaj je viden AP zaklon za primerjalne meritve (Foto: I. Sinjur)

Figure 3. Stevenson screen in frost hollow Luknja at the Komna plateau. Right and behind the screen an AP screen for parallel measurements is visible (Photo: I. Sinjur)



Slika 5. Merilni prostor v Grosuplju, levo AP in BP zaklon, v sredini hišica (Foto: I. Sinjur)

Figure 5. Measurement field in Grosuplje with AP and BP screen on left-hand side and Stevenson screen in the middle of the photo (Photo: I. Sinjur)

V večjem delu merilnega območja, od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$, proizvajalec za merilno napako gumbka tipa DS1922L navaja razpon od $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z oddaljevanjem od tega intervala napaka postopno narašča (Medmrežje 4). Tuje študije (Hubbart in sod., 2005; van Marken Lichtenbelt in sod. 2006; Purswell in Davis, 2008) in domača preskušanja SMF in Agencije RS za okolje so pokazala, da je merilna napaka večine gumbkov, ne glede na tip, bistveno manjša od mejnih vrednostih, ki jih navaja proizvajalec (priloga A in B).

Merilne kampanje

Prva daljša primerjava je potekala od 8. julija do 18. avgusta 2006 v mrazišču Luknja na planoti Spodnja Komna v Julijskih Alpah. Na dnu 55 metrov globokega mrazišča z nadmorsko višino 1430 m že od poletja



Slika 4. AP zaklon (levo) in angleška hišica (desno) pri Domu na Komni. Na levi sliki je z rdečim krogom označena lega hišice, ki se nahaja za drevjem (Foto: I. Sinjur)

Figure 4. AP screen (left) and Stevenson screen (right) near Dom na Komni alpine hut. Red circle on left image marks the location of the Stevenson screen, hiding behind the trees (Photo: I. Sinjur)

2006 stoji hišica, s stalnimi meritvami pa smo pričeli decembra 2005 (slika 3). V primerjalnem obdobju so merili trije gumbki, dva v hišici in eden v AP zaklonu. Na Komni smo izvedli še eno daljše primerjalno testiranje, a sta bila zaklona medsebojno oddaljena okoli 30 metrov (slika 4). Pri Domu na Komni, na nadmorski višini 1530 m, smo z gumbkom v AP zaklonu s stalnimi meritvami pričeli septembra 2007. Novembra 2009 smo v bližino postavili še hišico in jo opremili z nekaj termometri. V naslednjih 10 mesecih smo merili v obeh zaklonih, in tako pridobili referenčni primerjalni niz. Prvotno postajo smo kmalu zatem ukinili, ostala je le še hišica.

Tretje obravnavano testiranje je potekalo od 5. julija do 8. avgusta 2008 na merilnem prostoru uradne podnebne, takrat še padavinske postaje Grosuplje (slika 5). Merilno mesto se nahaja v strnjem naselju, na položnem jugozahodnem pobočju in v





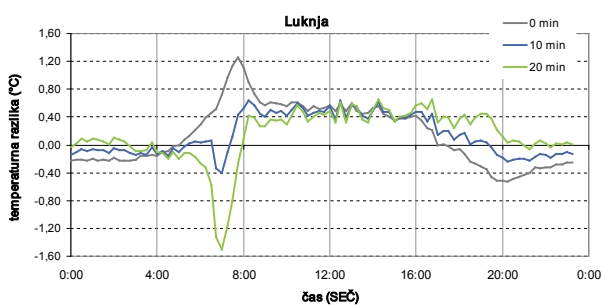
Slika 6. Merilni prostor v Šmartnem pri Slovenj Gradcu
(Foto: I. Sinjur)

Figure 6. Measurement field in Šmartno pri Slovenj Gradcu
(Photo: I. Sinjur)



Slika 7. Razporeditev gumbkov v AP zaklonu pri preskusu vpliva usmerjenosti gumbka (Foto: I. Sinjur)

Figure 7. The arrangement of iButtons in AP screen for the experiment with different exposures (Photo: I. Sinjur)



Slika 8. Povprečni dnevni hod temperaturne razlike med AP zaklonom in hišico v odvisnosti od časovnega zamika meritev v hišici. Izračun temelji na vzporednih meritvah vseh dni v Luknji in Grosuplju. Pri grafikonu za Luknjo je referenčna vrednost v hišici povprečje izmerkov obeh gumbkov.

Figure 8. Mean daily course of temperature difference between AP screen and Stevenson screen, in dependance of time offset in Stevenson screen. Calculation is based on parallel measurements in Luknja and Grosuplje, all days are considered. At Luknja graph the reference value in Stevenson screen is the arithmetic mean of both iButton measurements.

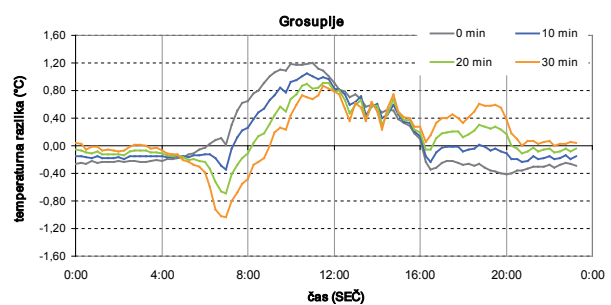
neposredni bližini stanovanjske hiše na severozahodu. Temperaturo smo z gumbkom merili v treh zaklonih – hišici, AP zaklonu in belem plastičnem zaklonu (v nadaljevanju BP zaklon), ki se od AP zaklona razlikuje le po odsotnosti aluminijaste prevleke. V hišici so potekale tudi ročne meritve z ekstremnima tekočinskima termometroma.

Zadnje obravnavano preskušanje zaklonov se je odvijalo v Šmartnem pri Slovenj Gradcu. Meritve so potekale od 19. do 30. julija 2010 na merilnem prostoru glavne meteorološke postaje Agencije RS za okolje. Hkrati sta potekala dva ločena poskusa. Prvi je bil namenjen primerjavi štirih različnih zaklonov: hišice, plastičnega zaklona podjetja Davis, AP in BP zaklona (slika 6). Z drugim poskusom smo želeli ugotoviti najprimernejšo lego merilnika v AP zaklonu glede na smer neba. Ta poskus je potekal s štirimi merilniki hkrati, ki so bili glede na os zaklona obrnjeni proti štirim glavnim smerem neba (slika 7).

Metode analize meritev

Podatke, ki smo jih pridobili v času opisanih merilnih kampanj, smo obdelali z računalniškim programom MS Excel. Gumbki niso bili absolutno kalibrirani, a smo njihovo točnost ocenili na podlagi medsebojne primerjave. Zapis meritev v gumbkih je bil večinoma nastavljen na ločljivost 0,1 °C, le v primerjalnih nizih pri Domu na Komni na 0,5 °C. Časovni interval meritev smo nastavili na 15 minut, le v Šmartnem pri Slovenj Gradcu na 5 minut. Vse časovne vrednosti smo prevedli na zimski čas.

Pri vseh primerjavah smo izračunali povprečen časovni zamik vrednosti v hišici glede na AP zaklon. Izračun temelji na standardnem odklonu razlike časovno zamaknjenih nizov iz obeh zaklonov. Časovni zamik v hišici je enak časovni razliki nizov, kjer standardni odklon pade na najnižjo vrednost – tam se niza



najbolje ujame. Časovni zamik je sicer odvisen od vremenskih razmer, zlasti od prevetrenosti. V obravnavanih merilnih kampanjah je izračunan časovni zamik znašal okoli 10–20 minut (slika 8).

Osredotočili smo se na analizo povprečnega dnevnega hoda temperature in dnevne temperaturne statistike. Vanjo sodijo najnižja (minimalna), najvišja (maksimalna) in povprečna temperatura. Prvi dve vrednosti se nanašata na obdobje od 21. ure prejšnjega dne do 21. uri tekočega dne. Povprečno vrednost smo izračunali na dva načina. Klimatološki, ki je še vedno v veljavi v uradni meteorološki statistiki v Sloveniji, temelji na izmerkih ob mannheimskih¹ urah. Dnevno povprečje po tej formuli je vsota četrtine vrednosti ob 7. uri po sončnem času, četrtina vrednosti ob 14. uri in polovica vrednosti ob 21. uri. Ker je pri nas sončni čas kvečjemu za nekaj minut različen od zimskega časa in smo imeli na voljo le 15-minutne vrednosti, smo v izračun zajeli vrednosti ob polnih urah po zimskem času. Drugi uporabljeni način izračuna dnevnega povprečja je aritmetična sredina vseh vrednosti od 0.00 do 24.00 istega dne, pri čemer smo prvi in zadnji izmerek utežili pol manj kot vmesne. Na večini merilnih postaj in na daljši časovni rok je sicer razlika med obema formula majhna, manjša od 0,3 °C (Meteorološki arhiv ARSO). Mnogo večja pa je lahko ta razlika v posameznih dneh, zlasti ob hitrih spremembah temperature zraka v večernem času in pri prehodih nekaterih vremenskih front.

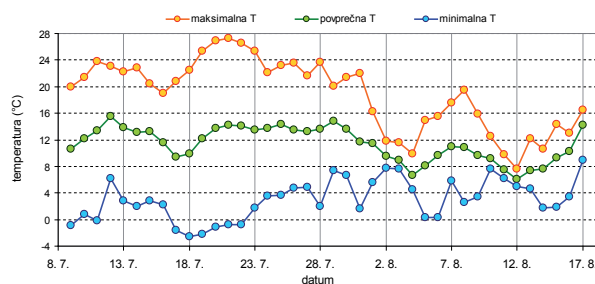
V nadaljevanju predstavljamo rezultate analize po posameznih merilnih kampanjah. Navedene medsebojne razlike med zaklonom so, če ni navedeno drugače, izražene kot odstopanje temperature v AP zaklonu glede na temperaturo v hišici.

Rezultati

Luknja

V času primerjalnih meritev v mrazišču Luknja poleti 2006 je sprva prevladovalo sončno vreme z velikim dnevnim hodom temperature zraka, v avgustu pa oblačno s hladnejšimi dnevi in toplejšimi nočmi (slika 9). Sistematično razliko med gumbki smo ocenili na podlagi izmerkov v dveh obdobjih. Prvo zajema vse izmerke v oblačnih dneh od 2. do 4. avgusta in od 10. do 12. avgusta in drugo nočne vrednosti v šestih nočeh. Rezultat je bil v obeh primerih zelo podoben, odstopanje je bilo pri prvem gumbku 0,0 °C, drugem –0,1 °C in tretjem 0,1 °C. Pri nadaljnji analizi smo uporabili popravke na podlagi nočnih vrednosti.

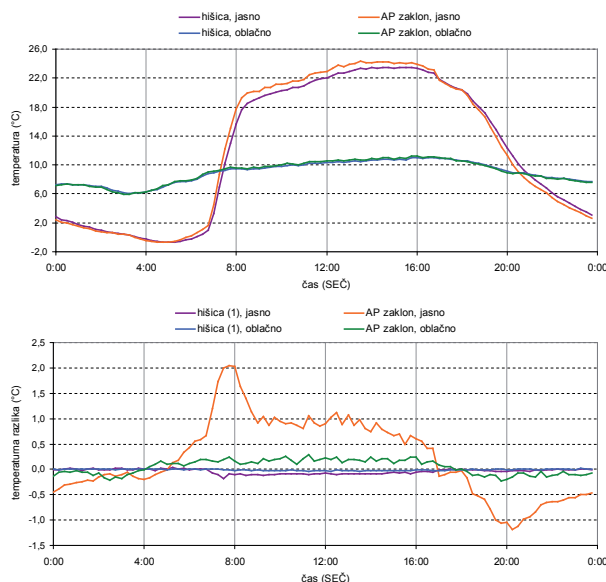
¹ Ob 7., 14. in 21. uri po srednjem krajevnem času. Omenjeni časi so dobili ime po Mannheimu, ki je bil konec 18. stoletja sedež meteorološke mreže društva Societas Meteorologica Palatina. V tej mreži so merili ob omenjenih časih po navodilu Johanna Jakoba Hemmerja (Medmrežje 5, Medmrežje 6).



Slika 9. Časovni potek dnevnih ekstremov in dnevnega povprečja vseh izmerkov v Luknji v primerjalnem obdobju. Prikazana je aritmetična sredina vrednosti obeh gumbkov v hišici.

Figure 9. Time series of daily temperature extremes and all-values mean temperature in Luknja in the parallel measurement period. Arithmetic mean of both iButton measurements in Stevenson screen is shown.

Povprečen dnevni potek in razliko med gumbki v jasnih in oblačnih dneh prikazuje slika 10. Med jasne dni smo uvrstili 10., 14. in 17.–21. julij in oblačne 1.–4. ter 10.–17. avgust. Kljub korekciji se izmerki gumbkov v hišici v jasnih dneh nekoliko razlikujejo. To neskladnost lahko pripišemo neupoštevani temperaturni odvisnosti korekcije in temperaturnemu gradientu znotraj hišice. Izrazit dnevni hod temperature zraka ima oster minimum v času vzida Sonca, okoli 4.30,



Slika 10. Povprečni dnevni potek temperature (zgoraj) in razlike glede na povprečje meritev obeh gumbkov v hišici (spodaj) v primerjalnem obdobju v Luknji, posebej za jasne dni in oblačne dni. Pri razliki je prikazan zgolj časovni potek enega od gumbkov v hišici.

Figure 10. Mean daily course of temperature (top) and difference to the mean of both iButtons in Stevenson screen (bottom) during the parallel measurement period in Luknja, for clear and overcast days separately. At the difference graph, only one iButton measurements are shown.

in neizrazit maksimum okrog 14. ure. Dopoldansko ogrevanje je izjemno naglo, popoldansko, večerno in nočno ohlajanje pa bolj umirjeno. Največja razlika med zaklonoma se pojavi v času močnega dopoldanskega ogrevanja, ko v povprečju doseže $+1,3$ °C in najmanjša po zaidu Sonca z okoli $-0,5$ °C. V izbranih sedmih jasnih dneh so razlike v povprečju večje, dosežajo od $-1,2$ °C do $+2,0$ °C. S časovno uskladitvijo nizov lahko bolje ovrednotimo vpliv dnevnega kratkovalovnega in nočnega dolgovalovnega sevanja na zabeležene razlike. V jasnih dneh je gumbek v AP zaklonu sredi dneva beležil okoli $0,8$ °C višje in ponoči do okoli $0,3$ °C nižje vrednost kot v hišici. V večinoma oblačnih dneh sta ustrezna odklona znašala $+0,2$ °C in od $-0,1$ do $0,0$ °C.

Dnevni ekstremi kažejo nekoliko drugačno sliko. Na izmerjeno vrednost najvišje in najnižje temperature zraka znatno vpliva toplotna »vztrajnost« zaklonov. AP zaklon ima precej manjšo toplotno kapaciteto in boljšo prevetrenost od hišice, zato je časovno nihanje temperature zraka na kratki časovni skali mnogo bolj izrazito. Posledično je zabeležena najvišja temperatura zraka v AP zaklonu običajno višja in najnižja temperatura nižja od tiste v hišici (preglednica 1).

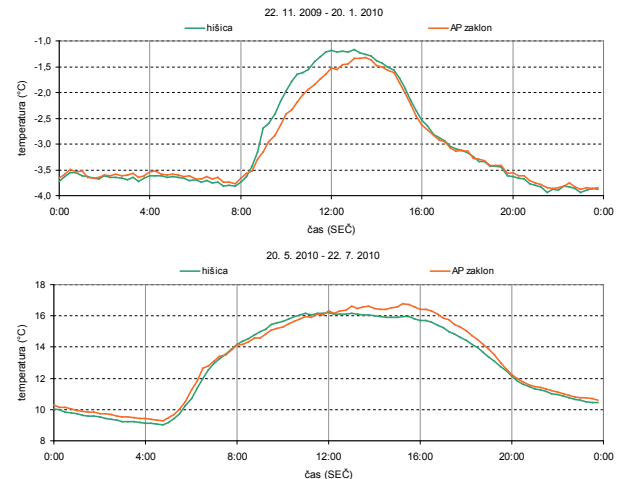
Preglednica 1. Povprečna razlika v izmerjeni dnevni najvišji in najnižji temperaturi (°C) ter obema dnevni povprečjeva med AP zaklonom in hišico za meritve v Luknji in Grosupljem. Vrednosti za hišico v Luknji so povprečja meritev obeh gumbkov. V oklepaju je naveden celoten razpon razlik v posamezni kategoriji.

Table 1. Mean temperature difference in measured daily temperature (°C) extremes and means between AP screen and Stevenson screen, based on measurements in Luknja and Grosuplje. Values corresponding to the Stevenson screen in Luknja are arithmetic means of both iButton measurements. Total span of the differences is given in brackets.

spremenljivka	Luknja	Grosuplje
najnižja temperatura	-0,2 (-0,5; 0,2)	-0,2 (-0,4; 0,1)
najvišja temperatura	0,9 (-0,2; 1,7)	0,7 (-0,1; 1,4)
aritmetična sredina	0,1 (-0,2; 0,4)	0,0 (-0,4; 0,2)
klimatološko povprečje	0,1 (0,0; 0,3)	0,1 (-0,2; 0,5)

Dom na Komni

Analiza meritev pri Domu na Komni je pokazala na pomembnost mikrolokacije obeh zaklonov, zato izsledkov te primerjave večinoma ne moremo prenesti na druge lokacije. AP zaklon in hišica sta bila okoli 30 metrov narazen. Hišica je bila ves dan osončena, južno od nje se površje s strmim, prisojnim pobočjem spusti za nekaj metrov (slika 4). AP zaklon je bil prvi del dneva deloma zasenčen z vejami okoliških nizkih dreves (vzhodno in južno od zaklona), proti jugu pa je bil teren bolj uravnan. V prvih dveh tretjinah obdobja je ocenje-

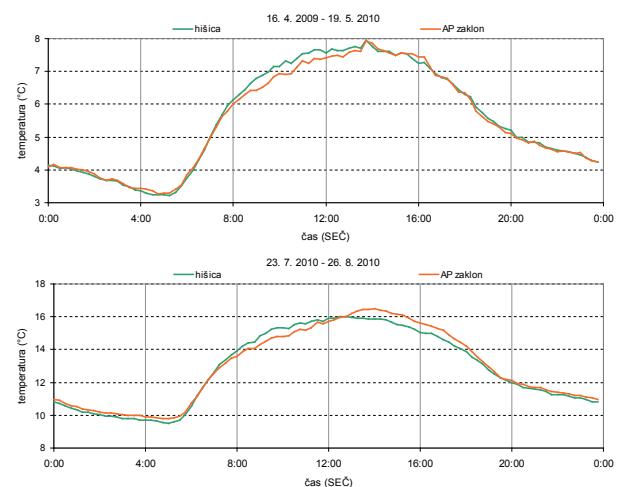


Slika 11. Povprečni dnevni potek temperature v AP zaklonu in hišici pri Domu na Komni za obdobje okoli zimskega (zgoraj) in poletnega (spodaj) Sončevega obrata

Figure 11. Mean daily course of temperature in AP and Stevenson screen for winter (top) and summer (bottom) solstice period at Dom na Komni alpine hut. The periods are limited by the time of the solar declination passing values -20° or 20° , respectively.

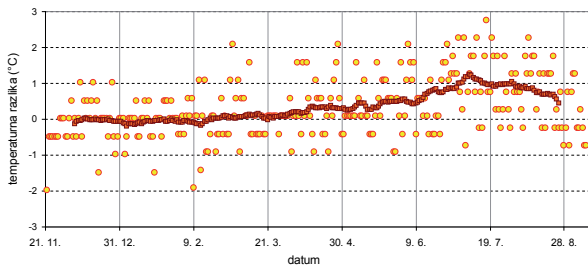
na povprečna merilna razlika med gumbkoma manjša od $0,1$ °C, v zadnji tretjini pa znaša približno $0,24$ °C. Pri nadaljnji analizi smo izmerke korigirali na podlagi omenjenih razlik.

Glede na različno mikrolokacijo zaklonov lahko pričakujemo pomembno časovno odvisnost razlik od letnega časa. Merilno obdobje smo zato razdelili na podlagi deklinacije Sonca, po intervalih velikosti 10° . Prvo obdobje, ko je deklinacija manjša od -20° , sega od 22. novembra do 20. januarja. Sonce se nato na nebu



Slika 12. Enako kot slika 11, le za spomladansko (zgoraj) in pozno poletno (spodaj) obdobje. V obeh obdobjih je bila deklinacija Sonca med 10° in 20°

Figure 12. Same as Figure 11, but for spring (top) and late-summer (bottom) period. The periods correspond to the intervals of solar declination between 10° and 20°



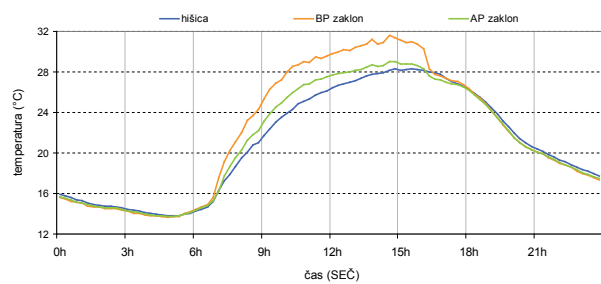
Slika 13. Časovni potek razlike v dnevni najvišji temperaturi med AP zaklonom in hišico pri Domu na Komni. S temnejšimi kvadrati je prikazano 30-dnevno drsečo in centrirano povprečje

Figure 13. Time series of daily maximum temperature difference between AP screen and Stevenson screen at Dom na Komni alpine hut. Darker squares denote moving and centred 30-day average

naglo dviga in naslednja štiri obdobja so bistveno krajša: 21. januar–22. februar, 23. februar–19. marec, 20. marec–15. april in 16. april–19. maj. Obdobje okoli poletnega Sončevega obrata zajema dvomesečni niz od 20. maja do 22. julija. Zadnje obdobje se konča s 26. avgustom, ko deklinacija doseže 10° .

Povprečni večerni in nočni potek temperature je bil v vseh obdobjih zelo podoben v obeh zaklonih, le poleti je bilo v jutranjem času v AP zaklonu okoli $0,3^\circ\text{C}$ topleje. Dopoldanski dvig temperature je bil vedno hitrejši v hišici, zgodaj popoldne pa sta se časovna poteka zblížala. Popoldanske temperature so bile večinoma zelo usklajene, le v zadnjih dveh obdobjih je bil AP zaklon bistveno toplejši, tudi več kot $0,5^\circ\text{C}$ (slika 11). Zanimiva je razlika med pomladanskim in pozno-poletnim obdobjem z deklinacijo Sonca 10° – 20° (slika 12). Razlika je morda posledica različne stopnje olistanosti krošenj okoliških dreves in stanja tal.

Podobno razliko med omenjenima obdobjema opazimo na časovnem poteku dnevnih ekstremnih temperatur in dnevne povprečne temperature. Razlika v najnižji temperaturi je bila vseskozi med $-0,5^\circ\text{C}$ in 1°C , drseče povprečje se je vseskozi gibalo blizu ali tik nad ničlo. Bistveno večji raztros razlik opazimo pri najvišji temperaturi, od -2°C do $+3^\circ\text{C}$. Do marca je drseče povprečje razlike blizu ničle, nato pa počasi raste (slika 13). Maja je razlika znašala še okoli $0,3^\circ\text{C}$, junija okoli $0,7^\circ\text{C}$ in julija približno $1,0^\circ\text{C}$. Nato se je razlika spet zmanjševala. Razlika je bila zlasti poleti močno odvisna od vremenskih razmer. V dneh z največjim hodom temperature je bila v AP zaklonu izmerjena maksimalna temperatura približno $1,5^\circ\text{C}$ višja kakor v hišici. Dnevno temperaturno povprečje je bilo med zaklonom precej bolj usklajeno. Razlika aritmetične sredine vseh izmerkov se je gibala med $-0,5^\circ\text{C}$ in $+0,6^\circ\text{C}$. Do maja je bila povprečna razlika zelo majhna, nato se je povečala do okoli $0,3^\circ\text{C}$ v juliju, zlasti v sončnih dneh.



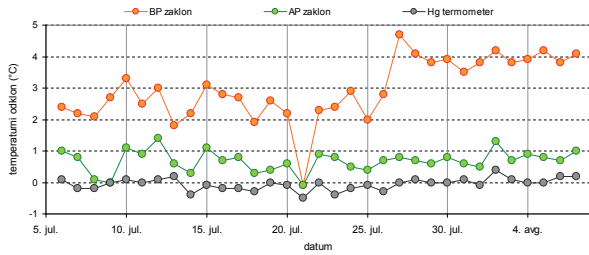
Slika 14. Povprečen dnevni potek temperature v različnih zaklonih in jasnih dneh primerjalnega obdobja v Grosuplju
Figure 14. Mean daily course of temperature within different screens in clear days of the parallel measurement period in Grosuplje

Grosuplje

Analiza meritev je v tem primeru pokazala na velik, pomemben vpliv mikrolokacije in to kljub neposredni bližini preskušanih zaklonov. V času vzporednih meritev je prevladovalo sončno in zelo toplo ali vroče vreme, vmes je bilo le nekaj krajših obdobj oblačnega vremena. Na podlagi nočnih meritev v oblačnih dneh smo izračunali sistematično razliko med gumbki. Glede na povprečje vseh treh gumbkov je odstopanje okoli $0,1^\circ\text{C}$, a se bistveno razlikuje med začetnim in osrednjim delom primerjalnega obdobja. Zato izmerkov v nadaljnji analizi nismo korigirali.

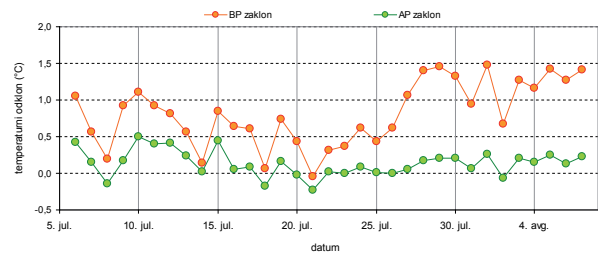
Povprečni dnevni hod temperature se med zakloni pomembno razlikuje le v času sončnega obsevanja, zato so razlike večje v jasnih dneh (slika 14). Ti so izbrani na podlagi časovnega poteka temperature v Grosuplju in izmerjenega trajanja sončnega obsevanja v Ljubljani in Novem mestu. V to skupino dni sodijo 9.–11. in 16. julij ter 1., 3. in 7. avgust. Beli plastični zaklon se dopoldne ogreje bistveno hitreje od ostalih dveh, sredi dneva je razlika največja. Ko pozno popoldne Sonce zaide za stanovanjsko hišo, se temperaturne krivulje hitro zblížajo. V nočnem času med plastičnima zaklonoma povprečno ni zaznavne razlike, v hišici je okoli $0,2^\circ\text{C}$ topleje, a je razlika manjša v jasnih dneh. Od 9. do 15. ure so razlike med plastičnima zaklonoma največje, beli je okoli $1,8^\circ\text{C}$ toplejši, v jasnih dneh 2 – $2,5^\circ\text{C}$. Zaradi toplotne vztrajnosti hišice je največja razlika z AP zaklonom pozno dopoldne, okoli 1°C , v jasnih dneh okoli $1,5^\circ\text{C}$. V času maksimuma, okoli 14.45, je AP zaklon $0,5^\circ\text{C}$ toplejši, v jasnih dneh še nekoliko več. Časovno zaostajanje hišice za AP zaklonom znaša okoli 20 minut.

Razlika v dnevni minimalni temperaturi zraka med zaklona je majhna in ne kaže odvisnosti od velikosti dnevnega hoda temperature. Ročne meritve z alkoholnim termometrom so dale okoli $0,1^\circ\text{C}$ nižjo



Slika 15. Časovni potek odklona dnevne najvišje temperature v obdobju primerjalnih meritev v Grosuplju. Odklon je določen kot temperaturni odmik od gumbka v hišici.

Figure 15. Time series of daily maximum temperature anomaly in the parallel measurement period in Grosuplje. Anomaly is defined as the difference to the iButton in Stevenson screen.



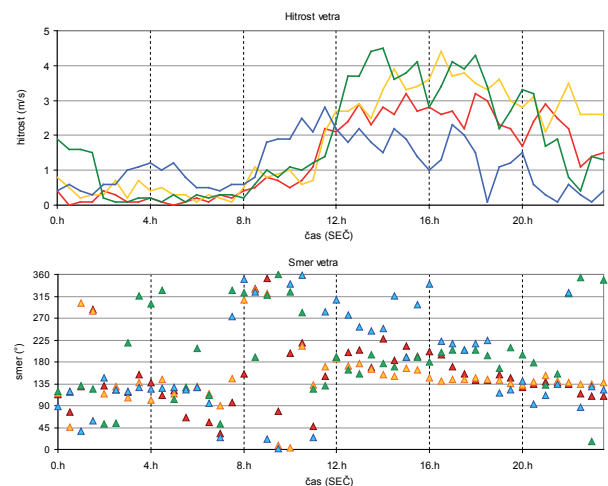
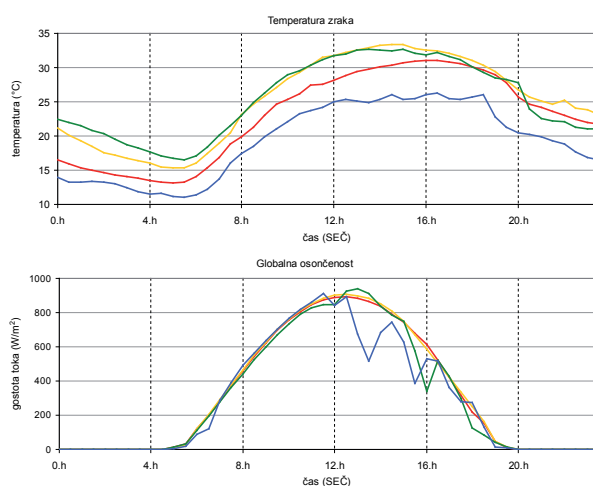
Slika 16. Enako kot pri sliki 15, le za dnevno povprečje na podlagi vseh izmerkov. Odklon je določen kot temperaturni odmik od gumbka v hišici.

Figure 16. Same as Figure 15, but for daily arithmetic mean. Anomaly is defined as the difference to the iButton in Stevenson screen.

temperaturo od gumbka v hišici. Gumbka v plastičnih zakloni sta namerila okoli 0,2 °C manj od gumbka v hišici. Za velikostni razred večje so razlike ob dnevnem temperaturnem višku (slika 15). Meritve gumbka in živosrebrnega maksimalnega termometra v hišici se dobro ujemajo, razlika je redko večja od 0,3 °C. Živosrebrni termometer je dal v povprečju le 0,05 °C hladnejše izmerke, odvisnost od dnevnega hoda je neizrazita. Nasprotno v plastičnih zaklonih razlika narašča z dnevnim hodom. V temperaturno najbolj stabilnih dneh je bil AP zaklon okoli 0,5 °C toplejši in v dneh z največjim dnevnim hodom povprečno slabo stopinjo Celzija. Maksimalna temperatura je bila v belem zaklonu 21. julija za 0,1 °C hladnejša od gumbka v hišici – posledica ohlaiditve z maksimumom v večernem času prejšnjega dne. V oblačnih dneh je bil sicer beli zaklon okoli 2 °C toplejši, v dneh z velikim

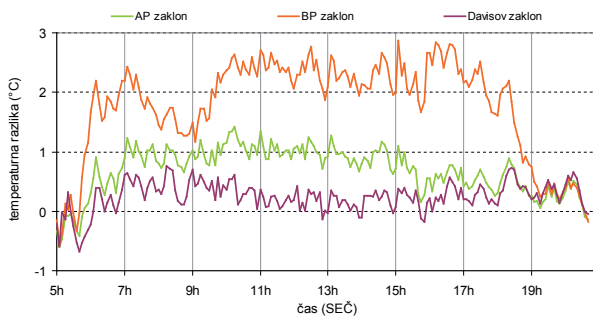
hodom temperature zraka pa je opazno velik raztros vrednosti. Razlike segajo od dobri 2 °C do okoli 4 °C. Nenavaden je časovni potek razlike v maksimalni temperaturi med belim zaklonom in hišico. Do 26. julija se razlika suče okoli 2,5 °C, nato pa vse do konca okoli 4,0 °C.

Klimatološko dnevno povprečje temperature se med AP zaklonom in hišico v povprečju praktično ne razlikuje, večinoma je razlika do 0,2 °C (preglednica 1). V belem zaklonu je zaradi dnevnega pregrevanja dnevno povprečje v nekaterih dneh dobro stopinjo Celzija večje od tistega v hišici. Pri upoštevanju vseh 15-minutnih izmerkov se pokaže odvisnost razlik od dnevnega hoda tudi pri AP zaklonu (slika 16). V dneh z velikim hodom je AP zaklon do 0,5 °C toplejši od hišice. Pri belem zaklonu znaša ta razlika do 1,5 °C.



Slika 17. Vremenske razmere v izbranih štirih dneh primerjalnih meritev v Šmartnem pri Slovenj Gradcu. Prikazane so polurne meritve temperature zraka (levo zgoraj), povprečne polurne hitrosti vetra (desno zgoraj), povprečne polurne gostote toka globalnega sevanja (levo spodaj), in povprečne smeri vetra (desno spodaj). Temperaturno tipalo je bilo znotraj svojega zaklona v hišici, zato je časovni zamik izmerjenega poteka glede na dejanskega še večji (Vir podatkov: Agencija RS za okolje)

Figure 17. Weather conditions on selected four days of parallel measurements in Šmartno pri Slovenj Gradcu. There are half-hour measurements of air temperature (top left), mean wind speed (top right), mean global irradiance (bottom left) and mean wind direction (bottom right). Temperature sensor was installed into another radiation shield within Stevenson screen. That results in an additional time lag of the measured temperature course with respect to the real one (Data source: Slovenian Environment Agency)



Slika 18. Povprečen dnevni potek temperaturne razlike med zakloni in hišico. Izračun temelji na vzporednih meritvah v Šmartnem pri Slovenj Gradcu. Vrednosti, izmerjene v hišici so pomaknjene za 15 minut naprej

Figure 18. Mean daily course of temperature difference between screens and Stevenson screen, in dependence of time offset in Stevenson screen. Calculation is based on parallel measurements in Šmartno pri Slovenj Gradcu. Measurements inside Stevenson screen are offset forward by 15 minutes

Šmartno pri Slovenj Gradcu

V obdobju meritev so bili štirje večinoma ali popolnoma sončni in mirni dnevi, od 21. do 23. in 28. julija (slika 17). Podatke teh dni smo podrobneje analizirali. Trije od teh dni, od 21. do 23. julija, so bili vroči, medtem ko je bilo 28. julija zmerno toplo. V nočnem in dopoldanskem času veter večinoma ni dosegel niti 2 m/s, živahnejši so bili le popoldnevi in večeri. Najbolj vetrovno je bilo 22. in 23., z vetrom okoli 3 m/s, 21. in 28. je veter večinoma pihal s hitrostjo 1–2 m/s. Ponoči je zaradi blago nagnjenega površja proti severozahodu pihalo večinoma od jugovzhoda, dopoldne s severnih smeri in popoldne od jugovzhoda do jugozahoda. Relativna vlažnost zraka je bila nekoliko večja prvi dan, v ostalih treh dneh je bila čez dan večinoma od 5 % do 20 % nižja. Globalna osončenost ravne površine je ob sončnem poldnevu vse merilne dni dosegla okoli 900 W/m². Prva dva dneva sta bila jasna, 23. julija je bilo popoldne nekaj malega oblačnosti, 28. pa je bilo oblačnosti še nekaj več, a je bilo večinoma sončno.

Primerjava zaklonov

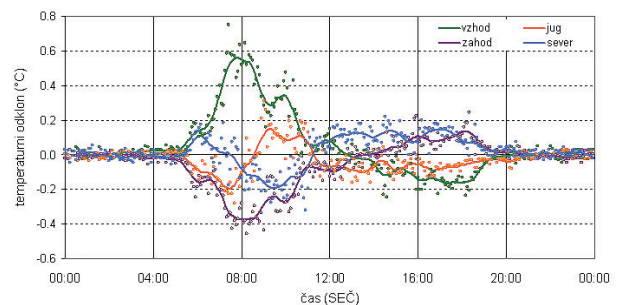
Sistematično medsebojno odstopanje gumbkov smo izračunali na podlagi izmerkov od 5. do 21. ure SEČ v analiziranih štirih dneh. Glede na povprečje vseh gumbkov je bilo sistematično odstopanje zgolj do 0,1 °C. V nadaljevanju analize smo upoštevali korekcijo s pomočjo izračunane regresijske premice.

Dnevni hod temperature zraka v obravnavanih dneh kaže vse dni podobno sliko (slika 18). V večernem in nočnem času so časovni poteki najbolj skladni, medsebojna razlika je večinoma manjša od 0,5 °C. Na naglo dopoldansko ogrevanje se pričakovano hitreje

odzovejo plastični zakloni, pri čemer je beli zaradi vpliva sončnega sevanja najtoplejši. Izračunan časovni zamik hišice glede na ostale zaklone je odvisen od posameznega dneva, v povprečju znaša slabih 20 minut glede na AP zaklon in slabih 15 minut glede na Davisov zaklon¹. Sredi dneva in večji del popoldneva je beli zaklon v vseh dneh občutno najtoplejši. AP zaklon je ob upoštevanju časovnega zamika glede na hišico toplejši okoli 1 °C in Davisov zaklon okoli 0,2 °C.

Vpliv usmerjenosti gumbka glede na smer neba

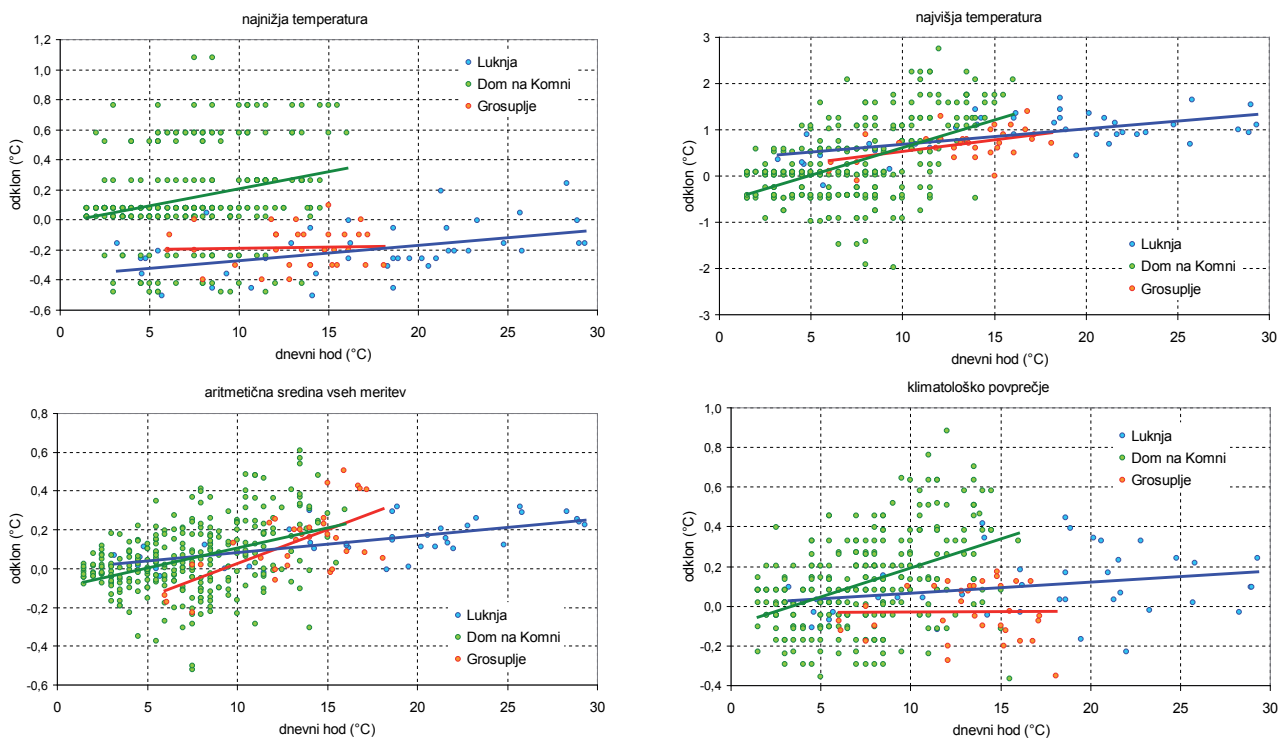
Vsak primerjalni dan smo zjutraj okoli osi zavrteli celoten zaklon za četrto obrata in s tem vse merilnike izpostavili vsem štirim glavnim nebesnim legam. Sistematično odstopanje med gumbki smo izračunali na dveh nizih meritev. V prvem smo zajeli vse izmerke štirih dni, v drugem smo izločili vrednosti v obdobju 5.35–11.55 SEČ. V tem obdobju je bilo nihanje temperature zraka na krajši časovni skali in med gumbki bistveno večje kot sicer. Regresijske premice odvisnosti razlike posameznega gumbka od povprečja glede na izmerjeno temperaturo se dobro ujemajo v obeh primerih, kar kaže na robustno oceno napake. V razponu meritev je odstopanje med premicami največ 0,03 °C. V nadaljnji analizi smo izmerke korigirali na podlagi vseh meritev.



Slika 19. Povprečni dnevni potek temperaturnega odklona gumbkov, usmerjenih v različne smeri neba glede na navpično os zaklona. Odklon je določen kot odstopanje od aritmetične sredine izmerkov vseh gumbkov. Izračun temelji na vzporednih meritvah v Šmartnem pri Slovenj Gradcu. Krogi predstavljajo terminska povprečja in krivulje drseča časovna povprečja (Gaussov filter)

Figure 19. Mean daily course of temperature anomaly of iButtons, oriented in different sky directions according to the vertical axis of screen. Anomaly is defined as a difference to the mean of all iButtons Calculation is based on parallel measurements in Šmartno pri Slovenj Gradcu. Small circles represent means at measurement times (every 5 minutes) and solid lines smoothed time courses (Gaussian filter)

1 Zaklon, ki se uporablja v sklopu samodejne vremenske postaje Vantage PRO ameriškega proizvajalca Davis Instruments.



Slika 20. Odvisnost temperaturne razlike med AP zaklonom in hišico od velikosti dnevnega hoda temperature. Prikazana je odvisnost za dnevno statistiko: najnižjo (levo zgoraj), najvišjo (desno zgoraj), povprečno iz vseh meritev (levo spodaj) in klimatološko povprečno temperaturo (desno spodaj). Prikazana je regresijska premica za vsako od merilnih kampanj

Figure 20. The dependance of temperature difference between AP screen and Stevenson screen on the daily temperature range. Figure shows daily values of maximum (top left), minimum (top right), all-values mean (bottom left) and climatological mean (bottom right). A regression line is depicted for each of the measuring campaigns

Povprečni dnevni hod kaže v vseh dneh podobno sliko (slika 19). Zgodaj dopoldne se najbolj segreje gumbek na vzhodni strani zaklona, in je okoli 8. ure skoraj 1 °C toplejši od ostalih treh. Gumbek na zahodni strani je nekoliko hladnejši od ostalih dveh. Okoli 11. ure se časovni poteki močno zblizajo in do 19. ure so tipično okoli 0,1 °C stran od povprečja, odstopanje več kot 0,2 °C je redko. V tem obdobju je presenetljivo večinoma najtoplejši severni gumbek. Povprečni dnevni maksimum je bil prav tako najvišji v tej legi, 31,6 °C. Zahodni gumbek ima povprečni maksimum 31,5 °C, južni 31,4 °C in vzhodni 31,3 °C. Ko zvečer na zaklone pade senca, se vrednosti praktično povsem uskladijo in tako ostane do jutra. Povprečna razlika med posameznimi legami je v času, ko je Sonce nad matematičnim obzorjem, zelo majhna. Vzhodni gumbek je 0,08 °C toplejši od povprečja vseh gumbkov, severni 0,03 °C, južni in zahodni sta hladnejša za 0,04 °C in 0,07 °C.

Razprava

Zabeležena temperature zraka v zaklonu Slovenskega meteorološkega foruma kaže različno odvisnost od velikosti dnevnega hoda med posameznimi merilnimi mesti (slika 20). Pri dnevnem minimumu

temperature zraka izstopa Dom na Komni, najverjetneje zaradi znatnega vpliva ožje okolice merilnih mest (senčenje, zastajanje hladnega zraka, stanje in tip tal). Pri dnevnem maksimumu temperature zraka je razlika med izmerki v različnih zaklonih večja in narašča z velikostjo dnevnega hoda oziroma s trajanjem in jakostjo sončne obsevanosti. Slednje se je pokazalo pri AP zaklonu pri Domu na Komni, kjer so bili največji pozitivni odkloni v sončnih julijskih popoldnevih. Doprinos k temu je prinesela še okoliška, sicer od dva do tri metre visoka vegetacija, ki je bodisi ustvarjala zatišje bodisi »žepe«, zlasti od tal močnejše ogretega zraka. Naklon regresijske premice pri dnevnem povprečju vseh 15-minutnih izmerkov je v Grosupljem bistveno večji kot v Luknji. Pri klimatološkem dnevnem povprečju temperature zraka naklon premice ni statistično značilen ne v Grosupljem, ne v Luknji. Povprečni temperaturni odklon dnevnega klimatološkega povprečja v Luknji znaša 0,1 °C, v Grosupljem pa 0,0 °C.

V preglednici 2 so navedeni koeficienti linearne regresije odvisnosti razlike temperature med AP zaklonom in hišico od velikosti dnevnega hoda temperature zraka. Pri 5 % stopnji značilnosti je statistično značilna odvisnost od dnevnega hoda pri vseh štirih statistikah, razen pri povprečni dnevni temperaturi po klimatološki formuli. Navedene vrednosti so lahko v pomoč

Preglednica 2. Koeficienti linearne regresije odstopanja temperature v AP zaklonu glede na hišico v odvisnosti od dnevnega hoda temperature. V oklepaju je naveden 95 % interval zaupanja.

Table 2. Linear regression coefficients for temperature deviation inside AP screen from Stevenson screen in dependance on daily temperature range. Within brackets 95 % confidence interval is given

spremenljivka	merilno mesto	število dni	povprečna razlika (°C)	naklon regresijske premice (10 ⁻³ °C/°C)	ničla regresijske premice (°C)
minimalna temperatura	Luknja in Grosuplje	73	-0,19	8 (2; 13)	-0,31 (-0,22; -0,40)
maksimalna temperatura	Luknja in Grosuplje	73	0,82	38 (26; 50)	0,24 (0,04; 0,44)
povprečje vseh meritev	Luknja	40	0,14	9 (5; 12)	-0,01 (-0,07; 0,06)
	Grosuplje	33	0,14	35 (19; 50)	-0,32 (-0,53; -0,11)
klimatološko povprečje	Luknja	40	0,10	6 (-1; 13)	0,01 (-0,12; 0,14)
	Grosuplje	33	-0,03	0 (-15; 16)	-0,03 (-0,24; 0,18)

pri vrednotenju izmerkov na ostalih merilnih mestih z AP zaklonom, a se je pri tem potrebno zavedati vpliva vremenskih razmer in mikrolokacije merilnega mesta.

Glede na enačbo (3) so temperaturni izmerki v AP in BP zaklonih presenetljivi. Aluminijasta folija bi se morala zaradi zelo majhne emisivnosti v IR delu spektra glede na plastiko (medmrežje 7) ob sončnem dnevu močnejše segreti od bele plastike, to pa bi se moralo poznati na izmerjenih vrednostih. Omenjenega sklepa ne moremo potrditi prav z nobenega od merilnih mest. Nasprotno. Analize zabeleženih vrednosti temperature zraka kažejo na večjo uporabnost AP zaklona kot BP zaklona. Do močnejšega segrevanja gumbka v belem zaklonu morda prihaja zaradi bistveno večje osvetljenosti znotraj zaklona – beli plastični podstavki so rahlo prosojni.

Usmerjenost gumbka igra manjšo, a ne zanemarljivo vlogo. Najvišje dopoldanske vrednosti na vzhodnem delu zaklona in najnižje na zahodnem delu so zaradi Sončevega sevanja pričakovane, popoldanski časovni potek pa je nekoliko presenetljiv. Tako severna lega gumbka, ki je bila pri meritvah SMF stalnica, ni najboljša izbira. Gledano preko celotnega dne se je za najboljšo izkazala južna lega gumbka.

Vzporedne meritve pri Domu na Komni kažejo na pomembnost sicer majhnega krajevnega premika zaklona, a drugačne mikrolokacije. Pri lepjenju dveh časovnih nizov s sicer zelo bližnjih merilnih mest je tako vedno potrebno upoštevati vpliv mikrolokacije in ne zgolj razlik v merilnikih in zaklonih.

Sklepne misli

Analiza vzporednih meritev SMF je potrdila ugotovitve Brandsme in Meulena (2008) o močni odvisnosti merilne napake od vremenskih razmer. Kadar nimamo na voljo izčrpnih podatkov o vremenskih razmerah, lahko zgolj grobo ocenimo razliko med izmerjeno temperaturo v zaklonu in dejansko temperaturo zraka v okolici zaklona ali temperaturo v drugem zaklonu. Na daljši časovni rok da korekcija meritev boljše rezultate. Vendarle je potrebno poudariti, da po korekciji dnevnih vrednosti na podlagi dnevnega hoda temperature še vedno ostane precejšen del napake.

Pričujoča analiza primerjalnih meritev bo v pomoč pri vrednotenju stalnih meritev SMF in drugih uporabnikov AP zaklona, a pušča odprta nekatera vprašanja. Doslej so primerjave potekale večinoma nad koptnimi tlemi, a glede na naše izkušnje z meritev v mraziščih na Komni in tujo literaturo je pomemben dejavnik odboj svetlobe z zasneženih tal. Zato je smiselno izvesti še nekaj primerjalnih meritev nad zasneženimi tlemi in v različnih letnih časih ter krajih. Najverjetneje je mogoča tudi znatna in cenovno ugodna izboljšava AP zaklona.

Zahvala

Avtorja se zahvalujeta članom Slovenskega meteorološkega foruma, osebju Doma na Komni, Agenciji RS za okolje in vsem ostalim, ki so pripomogli k izvedbi primerjalnih meritev.

Viri

- Barnett A., D.B. Hatton in D.W. Jones 1998. *Recent Changes in Thermometer Screen Designs and their Impact*. IOM 66 WMO/TD 871, 12 str.
- Brandsma, T. in J. P. van der Meulen, 2008. *Thermometer Screen Intercomparison in De Bilt (the Netherlands), Part II: Description and modeling of mean temperature differences and extremes*. *Int. J. Climatology*, 28 (3), 389–400
- Davis Instruments, 1999. *Comparisons of solar heating in five radiation shields*. Davis Instruments, application note 24, 4 str.
- Erell, E., V. Leal in E. Maldonado, 2003. *On the measurement of air temperature in the presence of strong solar radiation*. Poster na Fifth International Conference on Urban Climate, 1.–5. september 2003, Lodz, Poljska
- Fuchs, M., in C. B. Tanner, 1965. *Radiation shields for air temperature thermometers*. *J. Appl. Meteorol.*, 4 (4), 544–547
- Hubbard, K. G., X. Lin, E. A. Walter-Shea, 2001. *The Effectiveness of the ASOS, MMTS, Gill, and CRS Air Temperature Radiation Shields*. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 18, 851–864
- Hubbart, J., T. Link, C. Campbell in D. Cobos, 2005. *Evaluation of a low-cost temperature measurement system for environmental applications*. *Hydrol. Process.*, 19, 1517–1523
- Lacombe M., D. Bousri, M. Leroy in M. Mezred, 2011. *WMO Field Intercomparison of Thermometer Screens/Shields and Humidity Measuring Instruments, Ghardaïa, Algeria, November 2008 - October 2009*. IOM 106 WMO/TD 1579, 101 str.
- Larre M. H. in K. Hegg, 2002. *Norwegian National Thermometer Screen Intercomparison*. Poster na WMO Tehnical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation, 23. september–3. oktober 2002, Bratislava, Slovaška
- Lin, X., K. G. Hubbard, G. E. Meyer, 2001. *Airflow Characteristics of Commonly Used Temperature Radiation Shields*. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 18, 329–339
- Medmrežje 1: <http://en.wikipedia.org/wiki/IButton> (30. 3. 2013)
- Medmrežje 2: http://en.wikipedia.org/wiki/Dallas_Semiconductor (30. 3. 2013)
- Medmrežje 3: <http://www.maximintegrated.com/products/ibutton/ibuttons/> (30. 3. 2013)
- Medmrežje 4: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1922L-DS1922T.pdf> (30. 3. 2013)
- Medmrežje 5: http://de.wikipedia.org/wiki/Mannheimer_Stunden (30. 3. 2013)
- Medmrežje 6: http://de.wikipedia.org/wiki/Johann_Jakob_Hemmer (30. 3. 2013)
- Medmrežje 7: http://www-eng.lbl.gov/~dw/projects/DW4229_LHC_detector_analysis/calculations/emissivity2.pdf (30. 3. 2013)
- Medmrežje 8: <http://enduse.lbl.gov/Projects/ESRoof-Tab4.pdf> (28. 5. 2013)
- Meulen, J. P. van der in T. Brandsma, 2008. *Thermometer Screen Intercomparison in De Bilt (the Netherlands), Part I: Understanding the weather-dependent temperature differences*. *Int. J. Climatology*, 28 (3), 371–387
- Müller, G., 1984. *Vergleich der Temperaturen verschiedener Wetterhütten an einigen Stationen des ANETZes*. *Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt*, 119, 41 str.
- van Marken Lichtenbelt W. D., H. A. Daanen, L. Wouters, R. Fronczek, R. J. Raymann, N. M. Severens, E. J. Van Someren, 2006. *Evaluation of wireless determination of skin temperature using iButtons*. *Physiol. Behav.*, 88 (4–5), 489–97
- Purswell, J. L, in J. D. Davis, 2008. *Construction of a low-cost black globe thermometer*. *Applied engineering in agriculture*, 24 (3), 379–381
- WMO, 1983. *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. WMO-8, šesta izdaja, WMO, Ženeva, Švica, 248 str.
- Z'graggen, L., 2006. *Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 und Vergleich zu früheren Extremtemperaturen*. *Arbeitsberichte der MeteoSchweiz*, 212, 74 str.

PRILOGA – A

Umerjanje gumbkov pri različnih temperaturah v kalibracijski kopeli. Podano je odstopanje od referenčnega merilnika v desetinkah °C. Izvajalec meritev Gašper Repanšek, naročnik Agencija Republike Slovenije za okolje, 23. oktober 2010.

APPENDIX – A

Calibration of iButtons at different temperature in calibration bath. Table shows deviation of measured temperature from the reference instrument in tenths of °C. Measurements performed by Gašper Repanšek, applicant Slovenian Environment Agency, 23 October 2010.

ID gumbka	št. certifikata	tip	2 °C	8 °C	25 °C
D00000002143F041	T12B90	1923H	0	0	0,1
CC000000219C3641	T12B89	1923H	-0,1	0	0
A300000025B06F41	T12B79	1922L	0	0,1	0,1
6800000022F91541	T12B80	1922L	0	0	0,1
7100000025B01241	T12B81	1922L	0	0,1	0,1
CB00000025B14141	T12B82	1922L	0,1	0	0,1
66000000259BD241	T12B83	1922L	0	0	0,2
3D00000022F0AD41	T12B84	1922L	0	0	0,1
3600000025BC5C41	T12B85	1922L	-0,1	0	0
6D00000022F40341	T12B86	1922L	0	0	0,1
A500000025A90241	T12B87	1922L	0	0	0,1
400000001ACE5141	T12B88	1922L	-0,1	0	0

PRILOGA – B

Primerjava meritev gumbkov iButton 1922L pri različnih temperaturah v termovki, pri 0 °C v južnem snegu in pri višjih temperaturah v vodi. Pri temperaturi 19 °C je merilna napaka gumbka s serijsko številko (ID) 2700000027EF4541 po kalibracijskem certifikatu T12C92 (Gašper Repanšek, s.p.) -0,1 °C. Čas meritev na posameznem temperaturnem nivoju je znašal okoli 30 minut, meritve so potekale na 10 sekund, ločljivost je 0,0625 °C. Pri najhladnejšem temperaturnem nivoju je podana najnižja, pri srednjem temperaturi najpogostejša in pri najtoplejšem najvišja izmerjena temperatura. Izvajalec meritev Gregor Vertačnik, 3. marec 2013.

APPENDIX – B

Comparison of iButton 1922L temperature measurements in a thermos flask, in melting snow at 0 °C and in water at higher temperatures. Measurement error of iButton with serial number (ID) 2700000027EF4541 is -0,1 °C at 19 °C according to calibration certificate T12C92 (Gašper Repanšek, s.p., 28. decembra 2012). Period of measurements was about 30 minutes at each temperature level, measurements were taken each 10 seconds, resolution was set to 0,0625 °C. The lowest measured temperature is presented at the coldest temperature level, the most common at the middle level and the highest at the warmest temperature level. Measurements performed by Gregor Vertačnik, 3 March 2013

ID gumbka	sneg	~19,5 °C	~34,7 °C
670000001C965641	0	19,5	34,75
900000001D8C8A41	0,125	19,625	34,75
A70000001B24AD41	0,0625	19,5	34,75
2700000027EF4541	-0,0625	19,4375	34,625
930000001B427141	0,125	19,5625	34,75
BA0000001C94E541	0,0625	19,5625	34,75
EA0000001C936041	0,125	19,5625	34,75