Zbirka prispevkov

Znanstvenega posveta o vročinskih valovih

Ljubljana, 31. marec 2017

V zadnjem desetletju je huda in dolgotrajna vročina v poletnih mesecih tudi v Sloveniji postala pereč problem. Zelo znan je primer poletja 2003, ko so hudi in dolgotrajni vročini v zahodni in srednji Evropi pripisali več kot deset tisoč smrtnih primerov. Tudi Slovenijo je takrat prizadel eden močnejših vročinskih valov, primerlljivi dogodki so se v naslednjih letih do danes večkrat ponovili. Podnebni scenariji kažejo, da se bosta jakost in dolžina vročinskih valov v prihodnosti še stopnjevali, kar pomeni resno grožnjo z vidika javnega zdravja in kmetijske pridelave.

V meteorologiji spremljamo ekstremne temperaturne razmere in vročinske valove z različnimi kazalci. Enotnega kazalca za spremljanje vročine na svetovni ravni ni, ker je pri tem odločilen uporabniški vidik. Na vročino se tako ljudje kot ostali živi svet ter tudi kulturna krajina do neke mere lahko prilagodijo. Sposobnost prilagodljivosti je različna, zato so tudi kazalci za spremljanje vročine prilagojeni različnim ciljnim skupinam.

V Sloveniji zaradi redke ogroženosti zaradi vročine v preteklih desetletjih nimamo definiranega enotnega kazalca za spremljanje vročine. Vročinski valovi v preteklem desetletju in grožnje vročinskih valov v prihodnosti pa nas silijo k definiciji kazalca (ali več teh), s katerim bi spremljali vročino na državni ravni. Enotna definicija je pomembna tako za opozarjanje na vročino, kot za spremljanje značilnosti ekstremnih temperaturnih razmer v preteklosti in v prihodnosti ter pripravo ustreznih ukrepov prilagajanja.

Dne 31. marca je Slovensko meteorološko društvo v sodelovanju z Agencijo Republike Slovenije za okolje organiziralo posvet na temo spremljanja vročine in vročinskih valov. Na posvetu smo pregledali zgodovino spremljanja ekstremne vročine v Sloveniji, njene vplive in posledice. V drugem delu posveta je potekala razprava, kako izbrati kazalce, s katerimi bi na državni ravni enotno spremljali vročino. Na podlagi sklepov posveta je Slovensko meteorološko društvo imenovalo delovno skupino sestavljeno iz meteorologov in strokovnjakov iz zdravstva, katere naloga je bila priprava strokovnih podlag in predloga za poenotenje definicije vročinskega vala v Sloveniji. Delovna skupina je svojo nalogo opravila in 19. junija 2017 je bil na spletni strani društva objavljen predlog SMD za enotno spremljanje vročinskih valov v Sloveniji. V nadaljevanju so zbrani vsi prispevki predavateljev, ki so sodelovali na posvetu, in zaključek posveta v obliki predloga za enotno spremljanje vročinskih valov v Sloveniji.

Program posveta

Predavanja

- **Mag. Tanja Cegnar**, ARSO: Kdaj so vročinski valovi postali javnozdravstveni problem?
- **Neža Ključevšek**, ARSO: Pregled kazalcev za spremljanje vročine
- **Jožef Roškar**, ARSO, DMCSEE: Poskusno spremljanje in napovedovanje vročinskih valov z dvema kazalcema s pomočjo meteoroloških modelov
- **Janez Markošek,** ARSO: Operativni proces opozarjanja ob visokih temperaturah zraka
- **Simona Perčič**, NIJZ: Analiza povezanosti med umrljivostjo in vročinskimi valovi v Sloveniji
- **Dr. Tjaša Pogačar**, BF: Obravnava vročinskih valov na Biotehniški fakulteti v okviru projekta Heat-Shield

Razprava in oblikovanje zaključkov

Kdaj so vročinski valovi postali javnozdravstveni problem?

Tanja Cegnar, Agencija Republike Slovenije za okolje, (tanja.cegnar@gov.si)

Povzetek

V Evropi so od sredine minulega stoletja številna območja prizadeli vročinski valovi z znatnim učinkom na zdravje ljudi in družbeno-ekonomske razmere, večina jih je bila v tem stoletju. V študijah o vplivu ekstremne temperature na zdravje, ki jih v svojih poročilih navaja Evropska agencija za okolje (EEA, 2012), vročinski valovi izstopajo kot največji ubijalci med ekstremnimi vremenskimi dogodki. Umrljivost je največja v južni in zahodni Evropi, a se moramo vprašati, če morda uporabljena metodologija za pripis smrti zaradi vročinskih valov ne podcenjuje števila v nekaterih regijah. Zaradi družbenih, gospodarskih in okoljskih sprememb, predvsem pa podnebnih sprememb, ki jih Evropska agencija za okolje obravnava v globalnih megatrendih (Bernard Vukadin in sod., 2017), postajajo vročinski valovi vse bolj pereč problem sodobne in bodoče družbe. Vročinski valovi so že vključeni v številnih strategijah za prilagajanje na podnebne spremembe, kratkoročni ukrepi pa temeljijo na sistemih zgodnjega opozarjanja na vročinske valove in ukrepanja za blaženje njihovih posledic. Na kratko povzemamo razvoj ideje o zgodnjem opozarjanju na vročinske valove v Evropi in svetu ter o spletanju tesne povezave med meteorološko stroko in javnozdravstvenimi institucijami.

Ključne besede: *podnebni tipi, Slovenija, spremenljivost podnebja, trend podnebnih spremenljivk*

Abstract

Heat waves have significant impact on human health and wellbeing. Due to climate change they are becoming more frequent, intense and last longer. Among extreme weather events this makes heat waves combined with increasing ratio of population living in urbanized areas one of the major threats to public health. Heat waves are already included in many adaptation to climate change strategies at national and local level. They are addressed also in the European adaptation strategy. In this paper a brief outline of development of the first heat health watch warning systems is presented. From the very beginning two approaches were proposed, the first one based on air masses, and the second on models assessing thermal (dis)comfort. To describe health impacts of heat waves mortality data were used, and this approach is still the most used nowadays in spite the fact that morbidity data would give us a more comprehensive insight in impacts of heath waves on human health. Mitigation measures to prevent or alleviate the impacts of heat waves were considered in systems development from the beginning.

Key wards: *climate types, Slovenia, climate variability, trends of climate variables*

Uvod

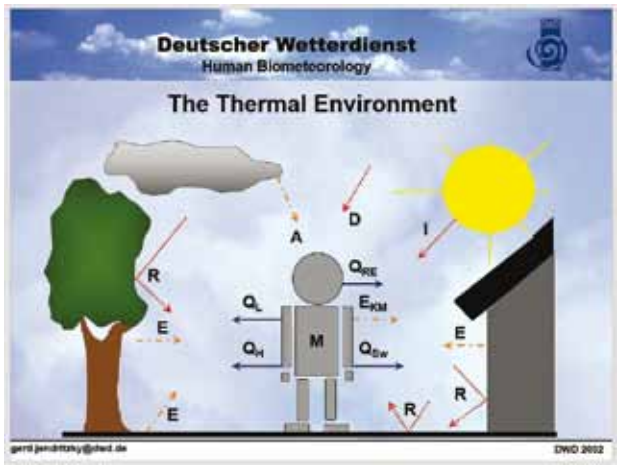
Več dejavnikov je bilo, ki so spodbudili skrb in sprožili razvoj sistemov za opozarjanje na vročinske valove. V času, ko je svetovna skupnost začela spoznavati, da smo ljudje z rabo fosilnih goriv in posledično spuščanjem toplogrednih plinov v ozračje sprožili globalno ogrevanje ozračja, je postalo očitno, da se bodo težave zaradi vročinskih valov v prihodnosti zaostrile. Tudi številke, ki so in še vedno kažejo, da se vse večji delež svetovnega prebivalstva steka v mesta, so zaradi toplotnega otoka mest, krepile spoznanje, da je čas za ukrepanje. Poleg tega je bila znanost na področju razvoja mer za vrednotenje toplotnega učinka okolja na telo na ravni, ki je omogočala učinkovito ugotavljanje pragov, kdaj gre pričakovati nezaželene posledice.

Že več kot stoletje strokovnjaki, ki se ukvarjajo z vplivom vremenskih razmer na počutje in zdravje ljudi vpliv toplotnega okolja postavljajo na prvo mesto pred drugimi vplivi, saj je ohranjanje jedrne temperature v ozkih mejah optimuma ključno. Vsako večje odstopanje od uravnotežene izmenjave toplote

Slika 1. Vročinski valovi so tesno povezani s podnebnimi spremembami (Vir: IPCC SREX Report 2012)

Figure 1. Heatwaves are strongly related to climate change (Source: IPCC SREX Report 2012)

med telesom in okoljem povzroči nelagodje, če se odmik stopnjuje, začne ogrožati zdravje in v končni posledici življenje. Življenja terjata tako izpostavljenost mrzlemu kot tudi pretoplemu okolju. Medtem ko se pred mrazom lahko dokaj dobro zaščitimo z reguliranimi toplotnimi razmerami v zaprtih prostorih in s toplimi oblačili ter obutvijo, nam zaščita pred zelo toplim okoljem predstavlja večje težave. Pomembno vlogo igrajo tudi podnebne razmere.Tam, kjer so ljudje običajno izpostavljeni toplemu podnebju, so z načinom življenja vročini prilagojeni, prav tako so stavbe tradicionalno zasnovane tako, da omogočajo še znosne toplotne razmere. V zmernih geografskih širinah so obdobja hude vročine redka, prebivalci in stavbe temu niso ali pa so slabo prilagojene in tako lahko ob vročinskih valovih prebivalstvo, predvsem občutljive skupine, hitro občutijo obremenilni učinke vročine, predvsem ranljive skupine tudi z resnimi



Slika 2. Shematski prikaz toplotne izmenjave med telesom in okolico v modelu toplotne bilance Klima Michel, ki ga je razvil Gerd Jendritzky (DWD, 2002)

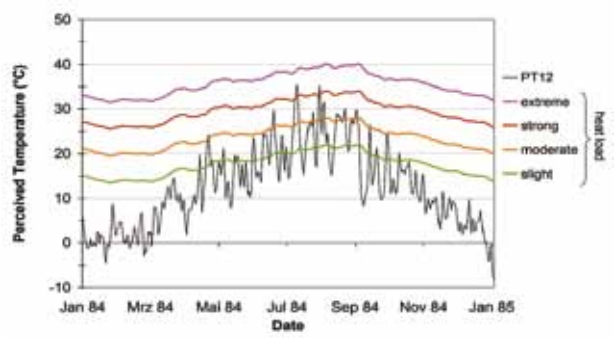
Figure 2. Thermal environment represented in Klima Michel Modell developed by Gerd Jendritzky (DWD, 2002)

posledicami. Za omilitev škodljivih posledic vročinskih valov se da veliko narediti s primernim obnašanjem in ukrepi za omilitev učinkov, pa tudi z ozaveščanjem. Znanost na področju vrednotenja občutja in učinkov toplotnega okolja na počutje in zdravje ljudi že dolgo ponuja veliko orodij. V članku »A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices«, ki je objavljen v Internatonal Journal of Biometeoorlogy, je navedenih in ovrednotenih 164 mer oz. kazalcev (de Freitas, Grigorieva, 2016). Vendar je še pred nekaj desetletji manjkala povezava med meteorološko oceno toplotne obremenitve in dejanskimi posledicami za zdravje prebivalstva ter ukrepi za omilitev posledic, zato je bilo potrebno vzpostaviti tesno povezavo med meteorološkimi in zdravstvenimi institucijami.

Kako ovrednotiti toplotno obremenitev ?

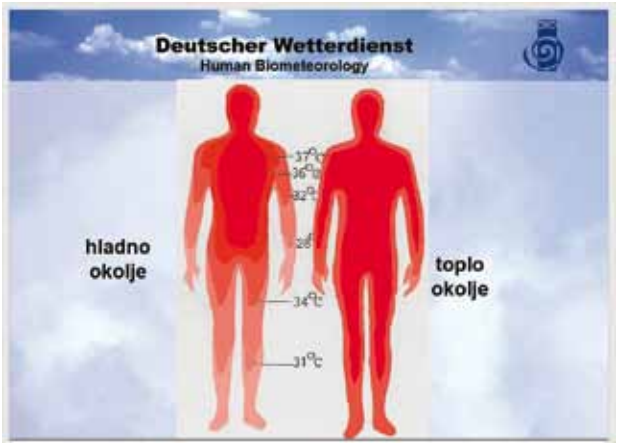
Da je na voljo res veliko načinov za vrednotenje toplotnega ugodja priča tudi že zgoraj naveden podatek, da je na voljo vsaj 164 takih mer. Metode za opis izmenjave toplote med telesom in ozračjem se med seboj razlikujejo glede na vključene meteorološke spremenljivke kot tudi glede na opis telesnih lastnosti in odzivov.

Preproste metode za vrednotenje toplotnega okolja ljudi so v toplem okolju večinoma upoštevale različne kombinacije temperature in vlažnosti zraka. Take preproste mere je lahko izračunati in napovedovati. Standardno jih posredujejo v primeru potrebe različni deležniki. Vendar take mere ne glede na kombinacijo spremenljivk ne bodo nikoli omogočile, da bi za vsako vrednost te mere enoznačno pripisali telesno obremenitev. Njihovi rezultati niso primerljivi oz. prenosljivi med različnimi podnebnimi okolji. Ko je Fanger razvil PMV (Predicted Mean Vote) enačbo (Fanger 1970), je bil narejen velik napredek, čeprav je bila razvita za notranje okolje in je veljala le za razmere blizu toplotnega ugodja. Izboljšavo je ponudil Jendritzky s sodelavci leta 1979 z modelom Klima Michel, ki je bil nekaj časa v operativni rabi v Nemški meteorološki službi (DWD). Model je temeljil na Fangerjevi PMV enačbi, a je bil prirejen za vrednotenje toplotnega okolja na prostem. Glavna novost je bil opis povprečne sevalne temperature okolja na osnovi običajnih sinoptičnih vremenskih spremenljivk. Model ni bil prosto dostopen, zato je imel omejen doseg. Kasneje je model izpopolnil Staiger s sodelavci (Steiger in sodelavci, 1997, VDI 2008) z izhodom PT (percieved temperature), upošteval je tudi vpliv obleke na prilagoditveno sposobnost. Oba modela sta računala vrednosti na osnovi sinoptičnih podatkov v svetovni izmenjavi pod okriljem SMO. V naslednjih letih so se vrstili modeli, ki pa so za opis telesa še vedno upoštevali le jedro in ovojnico telesa.



Slika 3. Primer nemških pragov za različne stopnje toplotne obremenitve na osnovi zaznane temperature (vir: WMO-No. 1142)

Figure 3. Example of DWD thresholds for heat load based on perceived temperature (WMO-No. 1142)



Slika 4. Temperatura telesa v toplem in hladnem okolju (Vir: DWD, 2003)

Figure 4. Body temperature in hot and cold environment (Source: DWD, 2003)

Höppe je leta 1984 objavil model MEMI (Munich Energy Balance Model for Individuals), čeprav je model še vedno upošteval le jedro in ovojnico telesa, je računal vrsto fizioloških telesnih spremenljivk, kot so npr. temperatura kože, hitrost znojenja, jedrna temperatura. V model smo lahko vnašali različne telesne spremenljivke in sledili prilagajanju telesa na spremembo toplotnega okolja npr. pri prehodu iz hlajenega v pretoplo okolje ali obratno.

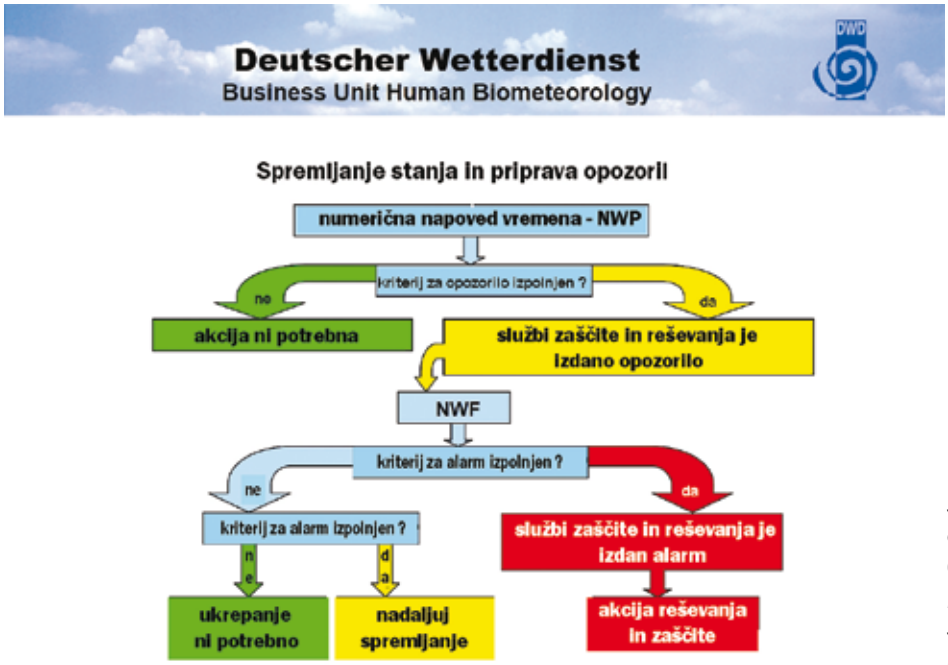
V praksi se model ni uveljavil zaradi kompleksnosti v izračunanih veličinah, saj je bil preveč zahteven za obveščanje javnosti. Zato se je Höppe usmeril v računanje efektivne temperature, torej temperature, ki v poznanem toplotnem okolju izzove enak fiziološki odziv oz. zaznavo kot dejansko okolje, rezultat je objavil leta 1999 (Höppe, 1999) in takrat je model postal dosegljiv za široko uporabo. Model je temeljil na podmeni, da večina ljudi živi v zaprtih prostorih in vrednoti toplotno okolje na osnovi te izkušnje. Primerjalno okolje za PET je sedeč človek (metabolizem 80 W/m^2), z obleko 0,9 clo. Gibanje zraka je določeno na 0,1 m/s, temperatura zraka pa enaka povprečni sevalni temperaturi okolice. Delni tlak vodne pare je 12 hPa, kar pomeni, da bi relativna vlaga pri temperaturi pod 9 °C presegla 100 %. Model je pod tem temperaturnim pragom to ustrezno obravnaval. Nekatere študije so kazale, da je tok latentne toplote v modelu podcenjen. PET je uporabnikom približal Matzarakis, ko je PET vključil v svoj sevalni model Ray Man (Matzarakis in sod. , 2007), ki je postal najbolj citiran model v IJB (international Journal of Biometeorology) doslej.

Naslednji korak je bil model UTCI, ki naj bi odpravil pomanjkljivosti modelov PET in Ray Man. Komisija International Society of Biometeorology (ISB) o UTCI in COST 730 sta omogočila strokovnjakom 23 držav, da so skupaj razvili UTCI, SMO pa je zagotovila UTCI večjo prepoznavnost. UTCI ima veliko uporabnikov in je bil najbolj preverjana metoda za vrednotenje toplotne obremenitve doslej. Uporablja ga tudi ECMWF (Pappenberger s sodelavci, 2015) za napoved globalne toplotne obremenitve v okviru projekta EURO Heat. Številne metode vrednotenja toplotnega okolja so bile razvite za različne potrebe, nekatere med njimi so preproste, druge zelo zapletene, najpopolnejše so tiste, ki temeljijo na bilančnem modelu telesa. Vendar sistemi za zgodnje opozarjanje na vročinske valove pogosto uporabljajo preprostejše mere namesto najpopolnejših, ki so zelo zapletene in zato nepraktične za operativno rabo.

Razvoj sistemov za zgodnje opozarjanje na vročino v Evropi

Čeprav so bili evropski strokovnjaki že več desetletij v vrhu svetovnih biometeorologov, je bil 14. kongres Mednarodnega društva za biometeorologijo od 1. do 8. septembra 1996 v Ljubljani (ISB, 1996) prelomen za obravnavanje vročinskih valov. Z Ivanko Gale sva predstavili analizo vpliva vročinskega vala na umrljivost poleti 1994 v Ljubljani (Cegnar, Gale, 1995). Na kongresu se je prvič zbralo zadostno število biometeorologov, ki smo bili prepričani, da je vloga biometeorologov poleg proučevanja vplivov toplotnega okolja na ljudi tudi razvoj zgodnjega sistema za opozarjanje na vročinske valove in povezava s službami javnega zdravstva z namenom, da bi omilili posledice vročinskih valov.

Takrat še ni bilo moderno govoriti o sistemih za zgodnje opozarjanje in v meteorološki srenji je bil v ospredju še vedno pogled ozke stroke, manj pa interdisciplinarnost in izpostavljanje učinkov ter posledic izrednih vremenskih dogodkov in razmer. V tistem času najnaprednejši pristop in tudi že prvi operativni sistem za zgodnje opozarjanje na vročinske



Slika 5. Shema sistema za opozarjanje na vročinske valove (Vir: DWD, 1999)

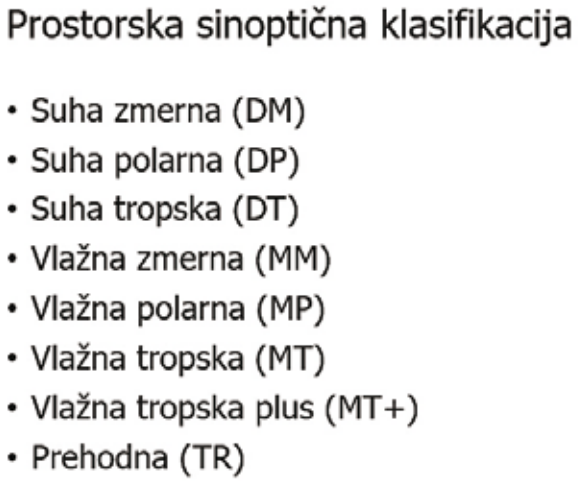
Figure 5. Heat Watch Warning System procedure (Source: DWD, 1999)

valove je na kongresu v Ljubljani leta 1996 predstavil prof. dr. Larry Kalkstein iz Univerze v Delawaru. Najprej je v ZDA razvil sistem s pomočjo Agencije za zaščito okolja (EPA - Environment protection agency), kasneje pa so razvoj sistemov za posamezna mesta financirale lokalne institucije.

Sistem prof. Klaksteina je temeljil na razvrstitvi dni v razrede glede lastnosti zračnih mas. Navadno sta po povečani umrljivosti v času vročinskih valov izstopali dve zračni masi. Metoda na osnovi zračnih mas je omogočala spremljanje vročinskega vala preko obsežnih regij in celo prek celine, v tem primeru pero Severne Amerike. Za ti dve je bilo nato s pomočjo multiple regresijske analize izbranih več vremenskih in nevremenskih spremenljivk, ki so odločale o

Slika 7. Ekspertna skupina SMO Komisije za klimatologijo med delom v Freiburgu leta 1998

Figure 7. WMO Commission for Climatology Expert team working in Freiburg in the year 1998



Slika 6. Klasifikacija zračnih mas v sistemu za opozarjanje na vročinske valove

Figure 6. Air mass classification for Heat Health Watch System

posledicah vročinskega vala za ljudi. Upoštevani so bili le smrtni primeri, saj je ta podatek zanesljivejši in bolj primerljiv med posameznimi državami, kot je podatek o obolevnosti. Lažje je pridobiti podatke o smrtnih primerih kot o številu obolelih. S podatki o obolelih je težava z zbiranjem podatkov in z diagnozo. V prizadevanjih za vzpostavitev učinkovite povezave med meteorologi in zdravstvenimi delavci sta zelo pomembno vlogo odigrali Svetovna meteorološka organizacija (SMO) in Svetovna zdravstvena organizacija (SZO). V okviru SMO je ledino oral dr. Lars Olsson, ki je tudi omogočil, da sem na 12. zasedanju Komisije za klimatologijo SMO, ki je potekalo od 4. do 14. avgusta 1997 v Ženevi (WMO-No. 870), delegatom predstavila pomen biometeorologije človeka, kar je

Slika 8. Uvodna prosojnica ene izmed delavnic na temo vročinskih valov v Freiburgu leta 2003

Figure 8. Initial slide of one of the workshops on heatwaves in Freiburg in the year 2003

bil temelj za sklep zasedanja o imenovanju strokovne poročevalske skupine za »Podnebje in zdravje ljudi« v zasedbi: G. Jendritzky (Nemčija), T. Cegnar (Slovenija), A. McMichael (Združeno Kraljestvo), L. Kalkstein (ZDA), L. Lecha Estela (Kuba) in V. Razuvaev (Ruska federacija).

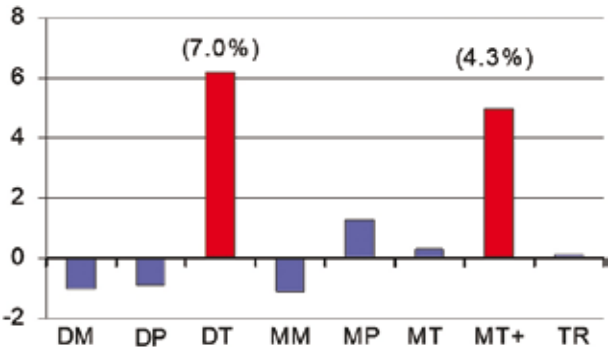
Podrobno smo metodologijo za razvoj sistema za zgodnje opozarjanje na vročinske valove opisali v publikaciji SMO WCASP-42 WMO/TD-No. 822, iz junija 1997, strani 25-50, ki poleg vsebine, ki smo jo pripravili na delovnem sestanku v Freiburgu, vsebuje kot primer tudi tehnična navodila za opozarjanje na vročinske valove v Filadelfiji. K poročilu so poleg članov strokovne skupine Komisije za klimatologijo pri SMO sodelovali tudi predstavniki SMO (L. Olsson) in SZO (R. Slooff) ter K. Bucher (DWD).

Na 15. kongresu za biometeorologijo novembra 1999 v Sydneyu (WMO/TD No. 1026, WCASP-50 Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium, izdano avgusta 2000) so bili vročinski valovi in njihove zdravstvene posledice ter potreba po ukrepanju že uveljavljena tema. Larry Kalkstein je na enem izmed osrednjih predavanj predstavil »Climate Helath showcase projects: international heat/health Watch-warning systems«. A orisani so bili tudi primeri hudih posledic nekaterih vročinskih valov iz preteklosti, K. Leiker je svoje predavanje naslovil »Deadly summer: The new England heat wave of July 1911«. Opisani vročinski val je zahteval okoli 2000 življenj, v Bostonu je 4. julija temperatura dosegla 39,7 °C. Razčlenil je vzroke, ki so vodili do tako velikega števila mrtvih zaradi vročine. Vzroke za visok človeški davek je našel v urbanistični ureditvi in arhitekturi, ki je bila prilagojena hladnemu podnebju, prebivalci pa so bili slabo aklimatizirani na vročinski val, nočna temperatura zraka je ostala visoka, lokalni veter je bil šibak ali ga sploh ni bilo, v zraku je bilo neobičajno veliko vlage, rosišče je bilo med 22,0 in 23,6 °C.

V času razvoja sistemov za zgodnje opozarjanje in ukrepanje ob vročinskih valovih smo razčlenili še več preteklih vročinskih valov in njihovih posledic. Vročinski valovi so se pojavljali tudi v preteklosti, a veliko redkeje kot v zadnjih desetletjih.

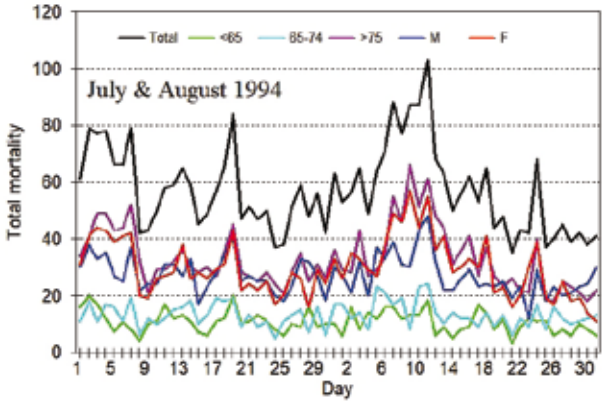
Kako do sistemov za opozarjanje na vročinske valove?

Na nekaj delovnih sestankih je strokovni skupini uspelo oblikovati smernice za pripravo sistema za zgodnje opozarjanje na vročinske valove, ki so bile objavljene v dokumentih SMO. V smernicah SMO za razvoj sistemov za zgodnje opozarjanje na vročinske valove so bile podane osnove za razvoj sistema, ki so še danes veljavne, kljub temu, da smo bili tudi na tem področju priča hitremu razvoju. Vzporedno smo razvijali tesno sodelovanje z zdravstvenimi službami, ki so zadolžene za javno zdravje in preventivne ukrepe. Skupaj s prof. Kalksteinom in njegovo skupino podiplomskih študentov sem med gostovanjem na Univerzi v Delawaru sodelovala pri oblikovanju strategije promocije smernic za razvoj sistemov v večjih mestih zmernih geografskih širin. UNEP in SMO in SZO so kasneje podprli razvoj sistema za zgodnje opozarjanje na vročinske valove v Šanghaju. Del pogodbe je bilo tudi izobraževanje kitajskih strokovnjakov na Univerzi v Delawaru. To je bil velik uspeh, saj je bilo v tistem času sodelovanje in izvajanje mednarodnih projektov na Kitajskem še dokaj zapleten proces. A že takrat smo bili med delovnim sestankom v Shangahju prijetno presenečeni nad opremljenostjo in usposobljenostjo meteoroloških regionalnih in lokalnih centrov na Kitajskem.



Slika 9. Povprečen odklon umrljivosti glede na zračno maso v Rimu (delovno gradivo v razvoju sistema za opozarjanje na vročinske valove v okviru projekta PHEWE)

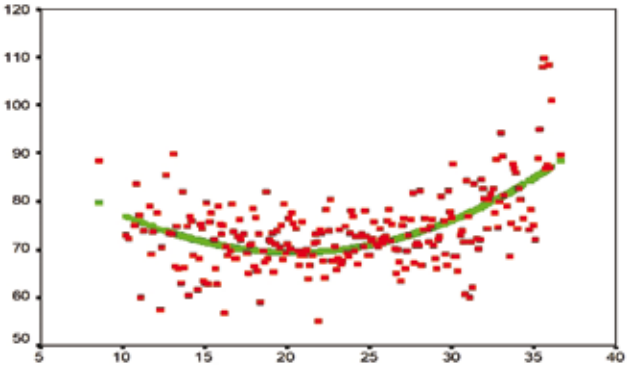
Figure 9. Mean mortality anomaly for air masses in Rome (Source: working material PHEWE)



Slika 10. Delovno gradivo za razčlenjevanje umrljivosti po spolu in starostnih skupinah med vročinskim valom v Rimu (Vir: delovno gradivo PHEWE)

Figure 10. Working material on analysis of mortality structured by age groups and gender (Source: working material PHEWE)

V Evropi sta SMO in SZO združila moči pri razvoju sistema za opozarjanje v Rimu. V Rimu smo se naučili, da ni nujno, da so najbolj ogroženi prebivalci mestnega jedra, ampak so zaradi načina gradnje stavb lahko bolj ogroženi prebivalci sosesk na obdobju mesta, čeprav so te stavbe novejše in grajene po sodobnejših standardih. Spoznali smo, da vročinski val ni enak vročinskemu valu, vsak ima svoje posebnosti, ki odločajo o posledicah. Najbolj ranljive skupine so bile že dobro znane, prav tako tudi znaki velike toplotne obremenitve in možni ukrepi, za omilitev posledic vročinskega vala. Nabirali smo tudi izkušnje o učinkovitih povezavah med udeleženimi službami in težavami ob uvajanju sistema v praksi. Soočali smo se s težavo lažnih alarmov in zgrešenih dogodkov;



Slika 11. Število vseh smrti v Budimpešti v odvisnosti od najvišje dnevne temperature zraka, na abscisi je temperature v °C, na ordinati pa število smrti (Vir: delovno gradivo v projektu PHEWE, 2005)

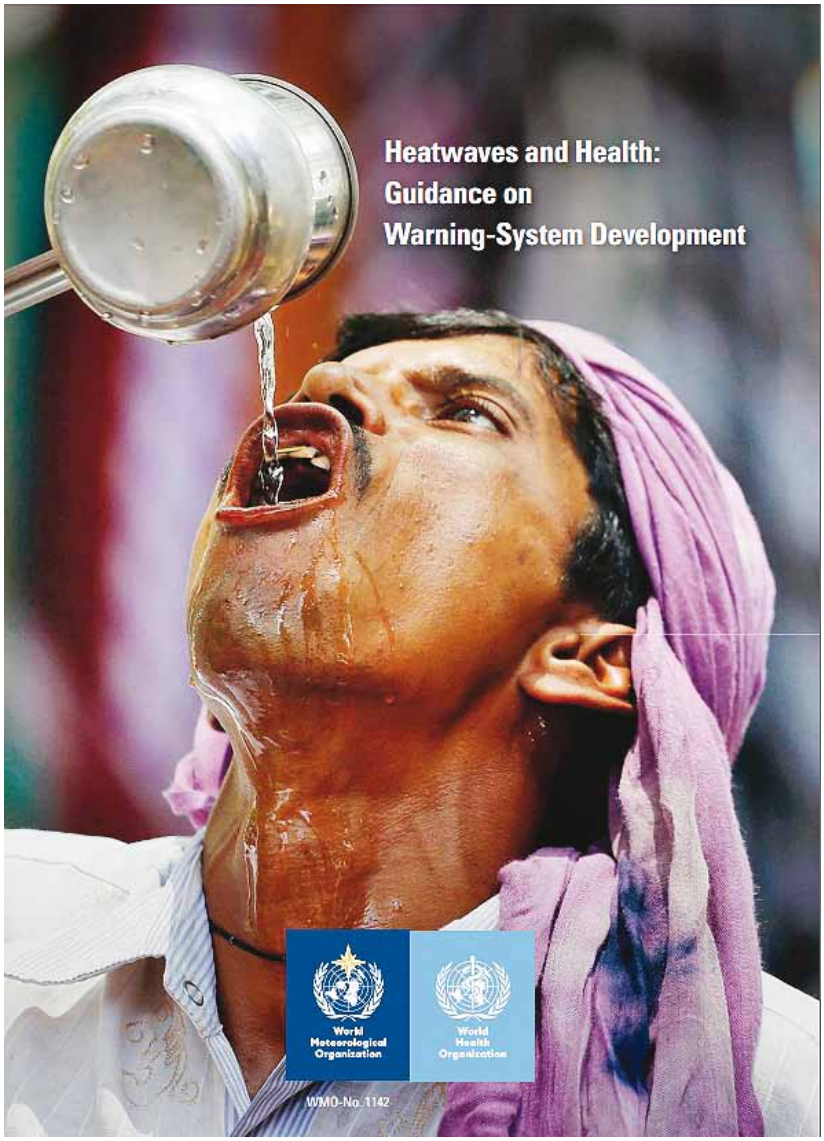
Figure 11. Number of total deaths per day in relation to maximum daily temperature (in °C) (Source: working material PHEWE, 2005)

iskali smo optimalne odločitve, ki so upoštevale vse dejavnike in posledice ter finančne vidike ukrepanja.

SMO je krepila sodelovanje s SZO in tako kot v Rimu so tudi v Budimpešti pobudo prevzeli strokovnjaki s področja zdravstva. Spoznanje, da so vročinski valovi resen javnozdravstveni problem, se je krepilo tudi po zaslugi raziskovalnih projektov. Omembe vredna je tudi publikacija Agencije za zaščito okolja ZDA »Excessive heat events guidebook« ter poročila projektov, ki jih je financirala EK v petem (1998–2002) in šestem (2002–2006) programskem okviru: Assessment and prevention of acute health effects and weather conditions in Europe (PHEWE), Climate change and adaptation strategies for human health (cCASHh) in Improving public health responses to extreme weather/heat-waves (EuroHeat). Prof. Glen Mc Gregor je v okviru projekta PHEWE zajel pet Evropskih velemest in zanje na osnovi arhivskih podatkov razvil sistem zgodnjega opozarjanja na vročinske valove. Tudi v tem projektu smo spoznali nove dejavnike, ki vplivajo na posledice vročinskih valov. Nismo se ustavili le pri kratkoročnih ukrepih, ampak smo pripravili tudi nabor srednje in dolgoročnih ukrepov in priporočil za arhitekte in urbaniste ter za upravljalce mest. Ugotovili smo, da mora biti vzorec prebivalstva dovolj velik, da omogoča verodostojne statistične rezultate, da upoštevano obdobje ne sme biti niti prekratko niti predlogo, da lahko privzamemo stabilnost vzorca in zajamemo dovolj veliko število dogodkov. V priporočila smo zajeli kar najširši nabor spoznanj s področja širokega nabora biometeorologije človeka in spoznanj v posameznih mestih.

Veliki preobrat

Kljub zglednemu napredku pri razvoju sistemov za zgodnje opozarjanje in ukrepanje ob vročinskih valovih, so le-ti v Evropi dočakali pravo uveljavitev šele po katastrofalnem vročinskem valu leta 2003, ki je po nekaterih ocenah v zahodni Evropi, kjer je bil tudi najbolj izrazit, terjal okoli 70.000 življenj. Zaradi njega je odstopil tudi tedanji francoski minister za zdravje. Ta dogodek je sprožil zanimanje javnozdravstvenih služb za razvoj in uvajanje sistemov za zgodnje opozarjanje na vročinske valove. Žalostno je, da so vročinski valovi pritegnili potrebno pozornost šele po tako tragičnem dogodku. Operativni programi za ukrepanje na osnovi zgodnjih opozoril so v velikih mestih pridobili legitimnost. Mnoge med njimi smo povzeli v pregledu projekta raziskovalnega projekta PHEWE. SZD je izdala že vrsto publikacij s podrobnimi navodili za obnašanje in ukrepanje ob vročinskih valovih. Vročinski valovi kot resna grožnja zdravju ljudi pa ostajajo visoko na njihovi agendi.



Slika 12. Naslovnica SMO publikacije Št. 1142 Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development

Figure 12. Frontpage of WMO-No 1142 Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development

Prilagajanje na podnebne spremembe

O prilagajanju na podnebne spremembe v zadnjih letih precej slišimo in beremo. Nabor možnih ukrepov prilagajanja je obsežen. Ustrezno načrtovanje prilagoditvenih strategij na področju zdravstva lahko prepreči ali omili negativne posledice, a tudi če vidik zdravja ni upoštevan že pri načrtovanju prilagajanja, lahko ukrepi kljub temu prispevajo k boljšemu zdravstvenemu stanju in počutju. Vročinski valovi predstavljajo grožnjo javnemu zdravju tudi zato, ker se bolezni, ki se prenašajo z vodo in hrano navadno v času vročinskih valov pojavljajo pogosteje.

Za prilagajanje na toplejše ozračje je odločilno ustrezno urbanistično načrtovanje in boljše senčenje, velik učinek pa dosežemo tudi z ozaveščanjem in z zgodnjim opozarjanjem na vročinske valove in z ukrepi za blaženje njihovih posledic. Dopolnilo teh ukrepov so okrepljene družbene vezi med stanovalci v soseskah in skrb za bolj ogrožene posameznike, saj se najbolj ogroženi posamezniki pogosto ne zavedajo nevarnosti, ki so jim izpostavljeni.

Podatki kažejo, da se vročinski valovi pojavljajo pogosteje in so izrazitejši, kot so bili v preteklosti. V prihodnje se bo trend nadaljeval. 5. poročilo IPCC (IPCC, 2013) izpostavlja povezavo med podnebnimi spremembami in pogostejšimi ter izrazitejšimi vročinskimi valovi. Prihodnost bo stopnjevala sedanje težave zaradi vročinskih valov, zato so potrebni načrti za zmanjšanje škodljivih vplivov. Zdravje prebivalcev je tako pomembno, da je zdravstveni vidik prilagajanja na podnebne spremembe vključen v vse prilagoditvene strategije od Evropske ravni do državnih in mestnih strategij prilagajanja na podnebne spremembe. Vročinski valovi so med najbolj izpostavljenimi grožnjami, ki jih za javno zdravje prinašajo podnebne spremembe.

Sicer že od vsega začetka razvoja sistemov za opozarjanje na vročinske valove govorimo tudi o

prilagoditveni sposobnosti. Prilagajanje poteka na kratek rok, srednjeročno in dolgoročno. Predvsem srednjeročno in dolgoročno prilagajanje zahteva sodelovanje različnih sektorjev in je povezano tudi s spremembami v gradnji in urbanističnih načrtih. Kratkoročno je prilagajanje večinoma temelji na primernem obnašanju, ukrepih, ki jih lahko izvedemo sami, vedno bolj pa se tudi v Evropi širijo klimatske naprave. Ključni dejavnik za učinkovito kratkoročno ukrepanje pa so sistemi za opozarjanje na vročinske valove.

Kljub Pariškemu sporazumu ostajajo izpusti toplogrednih plinov nad nivojem, ki bi omejil porast povprečne temperature pod 2 °C, torej je prilagajanje na vročinske valove nujnost, saj lastna sposobnost prilagajanja ob nadaljevanju naraščanja temperature na neki stopnji ne bo zadoščala in bodo potrebni celovitejši ukrepi za prilagajanje. Po najbolj črnogledih projekcijah naraščanja temperature zemeljskega površja bo visoka temperatura spremenila vzorce vsakodnevnega življenja in dela. Južna polovica Evrope bo bolj prizadeta od severne. Prilagoditve v gradbeništvu in urbanističnih rešitvah bodo pomagale, vendar veliki umetno hlajeni prostori niso najprimernejša rešitev, saj so veliki porabniki energije, zato uvajanje klimatskih naprav pogosto označujejo za neustrezno prilagajanje z vidika blaženja podnebnih spremembe.

Bela knjiga iz leta 2009 „Prilagajanje podnebnim spremembam: evropskemu okviru za ukrepanje naproti“ je določila številne ukrepe, ki so bili večinoma izvedeni, ključni rezultat pa je spletna evropska platforma za prilagajanje podnebju (Climate-ADAPT), ki je začela delovati marca 2012. Ta vsebuje najnovejše podatke o prilagoditvenih ukrepih v EU in različna uporabna orodja v podporo odločevalcem in politikom. EU je začela prilagajanje vključevati v več svojih politik in finančnih programov. Tudi Globalni okvir za podnebne storitve (http://www.gfcs-climate.org/) uvršča zdravje med 5 prioritetnih področij.

Poleg segrevanja ozračja bodo težave zaostrovali tudi staranje prebivalstva in preseljevanje. Predvsem urbana okolja so bolj ranljiva. Z naraščanjem temperature v prihodnjih desetletjih bodo stavbe z naravno ventilacijo in hlajenjem vse bolj na preizkušnji. Toplotni otok mest je dejavnik, ki še poslabšuje toplotne razmere v mestih. Vročina vpliva na občutek ugodja, produktivnost, porabo energije in zdravje ljudi. Ocena, da se število prebivalcev v Evropskih mestih ne povečuje zelo hitro, se bo lahko z vidika priseljevanja v Evropo spremenila.

Kako naprej

Poročilo (EEA, 2012) navaja, da se bodo trajanje, intenziteta in pogostost vročinskih valov povečali. V preteklosti so vročinski valovi v zahodni Evropi že terjali več deset tisoč življenj. Poletje 2003 je bilo izjemen dokaz povezave med umrljivostjo in vročinskim valom. Vročina je pogosto kosila tudi v naslednjih poletjih. Projekt PESETA je ocenil, da se bodo pod določenimi podnebnimi projekcijami vročinsko pogojene smrti v Evropi znatno povečale glede na sedanje stanje. Če upoštevamo prilagoditve in fiziološko aklimatizacijo bo porast počasnejši, a kljub temu velik. Z vročino so povezali umrljivost in obolevnost zaradi vročinskih valov, upoštevali so tudi vpliv vročine na kakovost in varnost hrane, torej bolezni, ki se prenašajo s hrano in vodo. Projekcije umrljivosti ob vročinskih valovih so najbolj nazoren pokazatelj, kako bodo podnebne spremembe vplivale na zdravje ljudi. Ne glede na negotovosti v podnebnih projekcijah in ocenjenem številu dodatnih smrti zaradi vročinskih valov, so številke zastrašujoče. Poleg tega je potrebno upoštevati, da se ob vročinskih valovih poleg povečane umrljivosti srečujemo tudi s povečano obolevnostjo in vrsto drugih težav, na primer slabim počutjem in zmanjšano delovno storilnostjo.

Na svetu živi 7,5 milijarde prebivalcev, do leta 2050 pa naj bi se število povečalo na 8,3 – 10,9 milijard (Bernard Vukadin in sod., 2017). V razvitem svetu se prebivalstvo stara, zato postaja tudi vse bolj ranljivo na ekstremne vremenske dogodke, torej tudi na vročinske valove. Vročinski valovi zaradi toplotnega otoka mesta bolj ogrožajo prebivalce mest, ki že zdaj predstavljajo več kot polovico svetovnega prebivalstva, do sredine stoletja pa naj bi v mestih živelo že približno 70 % ljudi. Mesta se lahko v primeru slabega upravljanja sprevržejo v prenaseljena, onesnažena in revna območja, ki nudijo najmanj možnosti za uspešno prilagajanje na intenzivnejše, daljše in pogostejše vročinske valove, ki bodo zelo verjetna posledica svetovnega ogrevanja ozračja (IPCC, 2013. Med pet ključnih posledic podnebnih sprememb, ki lahko vplivajo na zdravstveno stanje prebivalcev, uvrščamo tudi močnejše in pogostejše vročinske valove. Svetovna zdravstvena organizacija je pozvala k blaženju podnebnih sprememb in k prilagajanju nanje, izdali so več publikacij, ki obravnavajo posledice podnebnih sprememb vključno z vročinskimi valovi na zdravje. Na tem področju je veliko prispevala Evropska pisarna SZO (WHO, 2008, WMO, WHO, 2015). Tudi službe za javno zdravje so podnebne spremembe v večini držav prepoznale za resno grožnjo zdravju prebivalstva. Posledice spreminjanja se ne odražajo

zgolj na vremenskih in podnebnih razmerah, ampak vplivajo na celotno okolje, v katerem živimo. Podnebne spremembe lahko poslabšajo zdravstveno stanje prebivalstva neposredno in posredno, saj vplivajo na preskrbo z vodo in hrano, v državah v razvoju tudi na politično stabilnost, lahko pa sprožijo tudi množične migracije prebivalstva.

Danes se zdi nenavadno, da smo do uspešnih sistemov za opozarjanje in ukrepanje ob vročinskih valovih morali »prehoditi dolgo pot«, a pred več desetletji tovrstni operativni sistemi za meteorološke službe niso bili običajni.

V Šanghaju so že v zadnjem desetletju prejšnjega stoletja sistem opozarjanja na vročinske valove razširili z opozarjanjem na onesnaženost zraka. Že dolgo je znano, da so vroča in sončna obdobja pogosto povezana s povišano koncentracijo onesnaževal v zraku, med njimi je najbolj izpostavljen ozon. Predvidevamo, da je bodočnost v sistemih celovitega opozarjanja na vse nevarnosti, ki nam pretijo iz okolja in ne samo zaradi vremena.

Viri

Bernad Vukadin in sod, Globalni megatrendi – znanilci sprememb, Mesečni bilten Naše okolje, št. 7, 2017, http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/mese%C4%8Dni%20bilten/

Cegnar, Gale, Pojavnost in povezanost umrljivosti z biovremenskimi pogoji v nekaterih večjih slovenskih občinah julija in avgusta 1994, Zdravstveno Varstvo, letnik 34, št. 11-12, 1995

Climate ADAPT, http://climate-adapt.eea.europa.eu/eu-adaptation-policy/strategy

De Freitas CR, Grigorieva ES: A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices. Int J Biometeorol 1–26. DOI:10.1007/s00484-016-1228-6, 2016

EC, https://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what_en#tab-0-1 EU Adaptation Strategy Package, Bruselj, 16.4.2013 COM(2013) 216 final, Strategija Evropske unije za prilagajanje podnebnim spremembam

EEA, Human health, Climate change, impacts and vulnerability in Europe, EEA Report No. 12/2012 ,183-200, 2012

Fanger P.O.: Thermal comfort. Analysis and application in environmental engineering. Danish Technical Press, Copenhagen, 1970

Höppe P.: The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int J Biometeorol 43:71–75, 1999

http://www.umweltbundesamt.de/en/topics/climate-energy/climate-change-adaptation/field-of-action-human-health#textpart-3

Pappenberger F., Jendritzky G., Staiger H., Dutra E., Di Giuseppe F., Richardson D.S., Cloke H.L.: Global forecasting of thermal health hazards: the skill of probabilistic predictions of the universal thermal climate index (UTCI). Int J Biometeorol 59:311–324, 2015

Höppe P.: The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int J Biometeorol 43:71–75, 1999

ISB, 14th ICB, 1996, September 1-8, Slovenia, Ljubljana, http://www.biometeorology.org/

Matzarakis A., Rutz F., Mayer H.: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. Int J Biometeorol 51:323–334, 2007

PESETA II Project, https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/climate-impacts-europe-jrc-peseta-ii-project

PHEWE - Assessment and Prevention of acute Health Effects of Weather conditions in Europe, 2001-2005, (http://www.umweltbundesamt.de/en/topics/climate-energy/climate-change-adaptation/adaptation-tools/project-catalog/phewe-assessment-prevention-of-acute-health-effects)

Staiger H., Bucher K., Jendritzky G: Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien in der Maßzahl Grad Celsius. Annalen der Meteorologie, Deutscher Wetterdienst, Offenbach 33:100–107, 1997

VDI-Guideline 3787-2: Environmental meteorology. Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning. Verein Deutscher Ingenieure VDI. Part I: climate. Beuth, Berlin, 2008

WHO EUROPE, Heat-health action plans guidance, 2008, http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/95919/E91347.pdf

WMO, Commission for climatology 12th session, Geneva, 4–14 August 1997, WMO-No.870, 1997, http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/documents/cclxii_report.pdf

WMO: TD No. 1026, WCASP-50 Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium, 2000

WMO: WCASP-42 WMO/TD-No. 822, Geneva, 1997

WMO, WHO (2015) Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. McGregor GR (lead editor), Bessemoulin P, Ebi K, Menne B (eds.) WMO-No 1142, Geneva, 96 pp

Pregled kazalcev za spremljanje vročine v Sloveniji

Neža Ključevšek, Agencija Republike Slovenije za okolje, (neza.kljucevsek@gov.si)

Povzetek

Meteorološke službe vedno bolj uporabljajo t.i. vročinske kazalce za detekcijo vročinskih valov in izdajanje opozoril. Tovrstne uporabe kazalcev v Slovenski meteorološki službi do sedaj ni bilo. Glede na predvidene spremembe podnebja in posledice za regionalne in lokalne vremenske ekstreme, je v članku narejen pregled kazalcev, ki bi bili primerni za uporabo v Sloveniji. Izbrani kazalci so se izkazali kot koristni drugje v zmernih geografskih širinah severne poloble in v Avstraliji. Kazalci so izračunani na večletnih nizih meritev na 14-ih meteoroloških postajah v Sloveniji. Med analiziranimi kazalci sta se za zelo uporabna izkazala dva. Kazalec, imenovan faktor toplotnega presežka, je dovolj enostaven in oblikovan tako, da bi bil uporaben tako za napovedovanje in samo definicijo vročinskih valov, kot tudi za klimatološko analizo, tudi v slovenskem podnebju. Za kompleksnejše analize vročinskih valov tako v preteklosti kot v prihodnosti se je dobro izkazal kazalec HWMId, ki omogoča primerjavo različnih vročinskih valov med sabo in analizo njihove spremenljivosti.

Ključne besede: *vročinski val, vročinski kazalci, kazalci podnebnih sprememb*

Abstract

Meteorological services frequently use heat indices for heat wave detection. Slovenian Meteorological Office does not have a unique index for heat wave detection yet. In relation to the global climate change and its consequences on local weather extremes – especially the increase in the number of heat exhausting days - this article analyses heat indices that may be potentially useful for Slovenian climate. Selected indices have been proved useful in other moderate latitude regions of the northern hemisphere and in Australia. The analysis is based on multiyear measurements from 14 meteorological stations, which are representative of various sub regional climate conditions. Two indices proved to have high potential for operational use in Slovenia. Excess heat factor is simple enough and designed in a way that it can be used wherever in the world for prediction and definition of heat waves. For a degree more complex, the form of HWMId makes it very appropriate for comparison of different heat waves and for analysing their variability in present and future climate conditions.

Key wards: *heat wave, heat index, climate change indices*

Uvod

Scenariji podnebnih sprememb kažejo na prihodnost s čedalje več ekstremnimi vremenskimi pojavi, med katere sodijo tudi vročinski valovi (Russo in sod. 2015). Številne države po svetu uporabljajo kar nekaj različnih vročinskih kazalcev s katerimi opozarjajo prebivalce na prihajajoče obremenilne razmere, zaradi vročine (McGregor in sod. 2015). S pomočjo nekaterih so izoblikovane tudi definicije vročinskih valov (Nairn in sod. 2013). Globalno gledano uradne definicije kaj je vročinski val in kdaj nastopi ni, kar je logično, saj so ljudje v različnih podnebnih pasovih različno prilagojeni na vročino (McGregor in sod. 2015). Uradne definicije vročinskega vala v Sloveniji do sedaj nimamo. V okviru nalog državne meteorološke službe, ki se izvaja na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO), se pri vremenski napovedi trenutno ne poslužujemo nobenega vročinskega kazalca. Odločitev o izdaji opozorila je vezana na napoved maksimalnih in povprečnih dnevnih temperatur, in sicer za pet regij definiranih v sistemu opozarjanja na ekstremne vremenske dogodke.

Se pa v času hude vročine pogosto pozablja na to, da daljša izpostavitev le tej lahko privede tudi do vročinske izčrpanosti, oz. do kakšne druge bolezni povezane z vročino, v najslabšem primeru tudi do smrti. V tem času so najbolj ranljivi starejši in otroci, ki nimajo več. oz. še dovolj dobro razvitega čuta za to, kdaj se je potrebno umakniti na varno. V takšnih dnevih se vse pogosteje pojavlja ignoranca vodilnih v podjetjih, ki bi svojim delavcem morali omogočiti prostor za ohladitev med delom. Še posebej so na

udaru vsi delavci na prostem, ki so poleg visokim temperaturam pogosto izpostavljeni tudi direktnemu sončnemu obsevanju. Nevzdržne razmere se poleti pogosto, ponekod tudi skozi celo leto, dogajajo v velikih proizvodnih halah, kjer delavci praktično celo izmeno delajo pri izredno visokih temperaturah. Ne samo, da so takšne razmere nevarne za zdravje, v tem času je tudi zbranost za delo na nižji ravni, zato lahko pride do poškodb na delavnem mestu.

Seveda pa vročina ne vpliva samo na ljudi, temveč so v dneh hude in dlje časa trajajoče vročine posledice vidne tudi na pridelkih. Na udaru so tudi živali. V dneh, ko imamo visoke temperature je npr. pridelava mleka občutno manjša. Še več, če je izpostavitev dovolj močna in dovolj dolga, potem se mlečnost pri živali nikoli več ne vrne na najvišjo raven (Gantner in sod. 2011). Takšne razmere, ki bi se pojavljale na večjem območju po npr. Evropi, bi lahko privede do zvišanja cen hrane na trgu.

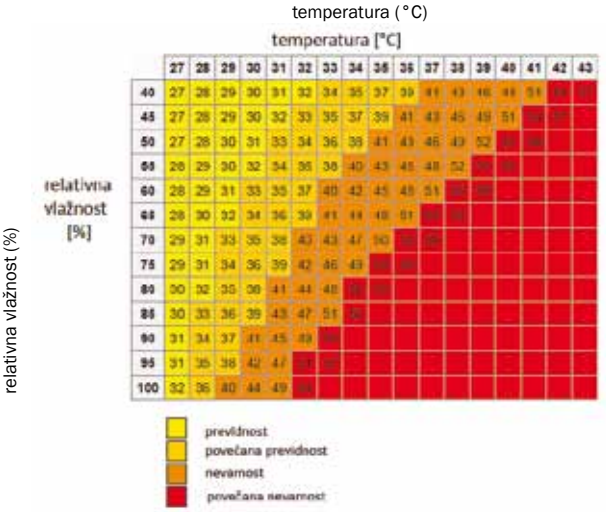
Kot že rečeno, v prihodnosti nas čaka tudi več vročinsko gledano ekstremnih dogodkov, zaradi česar bi bila uporaba vročinskih kazalcev dobrodošla, saj bi lahko nekoliko enostavneje opozarjali prebivalstvo na resnost razmer. Z njihovo pomočjo bi lahko izoblikovali tudi definicijo vročinskega vala. Prav zaradi tega, sem na podatkih iz slovenskih postaj, preverila uporabnost nekaterih najpogosteje uporabljenih vročinskih kazalcev po svetu. Izbrani so glede na dostopnost podatkov, ki so potrebni za njihov izračun.

V poglavju 2 so zbrani in opisani vsi vročinski kazalci, ki sem jih podrobneje raziskala. Pomembnejše rezultate sem predstavila v poglavju 3, temu sledi še zaključek v poglavju 4.

Kazalci za opis vpliva vremena na počutje

Opis vremena na počutje človeka se izraža v t.i. toplotnem naporu. Obstajajo trije osnovni načini ocenjevanja toplotnega napora (Li in sod. 2000). Najenostavnejši način je uporaba biometeoroloških kazalcev, t.i. kazalcev udobja. Najbolj kompleksen pristop je s pomočjo kazalcev, ki poskušajo opisati človeško energijsko bilanco. Najnovejši pristop pri opisu toplotnega napora je sinoptično-podnebna analiza. Za opis podnebne spremenljivosti se pogosto uporablja skupina 27 t.i. ETCCDI kazalcev, ki jih je v okviru Svetovnega programa za podnebne raziskave (WCRP) pripravila skupina strokovnjakov in je objavljena na spletni strani (Spletni vir 6).

Različnih kazalcev je kar nekaj, vendar se bom v delu osredotočila zgolj na tiste, ki so namenjeni ocenjevanju vročine, ali pa so primerni tako za mraz kot za vročino. Kar nekaj je izpuščenih zaradi njihove



Slika 1. Tabela izračunov vročinskega indeksa HI in pripadajoča stopnja nevarnosti. Povzeto po: (spletni vir 2, spletni vir 3)

Figure 1. Table for calculation of heat index and associated rate of danger. Picture from: (spletni vir 2, spletni vir 3)

odvisnosti od podatkov, ki se v Sloveniji ne merijo, ali pa so na voljo le za maloštevilne lokacije (npr. oblačnost).

Osnovni biometeorološki kazalci

Indeks vročine (ang. Heat index)

Indeks oz. kazalec vročine, ki ga bom označevala *HI* po angleški različici, združuje vpliv relativne vlažnosti in temperature zraka. Kazalec določa navidezno temperaturo oz. temperaturo, ki jo dejansko občutimo. Spremenljivke potrebne za izračun indeksa vročine je prvi združil R.G. Steadman leta 1979. Sedanja oblika enačbe sledi predlogu L.P. Rothfusza (Simon in sod. 2013):

$$HI = -24{,}379 + 2{,}04901523\,T + 10{,}14333127\,RH - \\ - 0{,}22475541\,T{\cdot}RH - (6{,}83783{\cdot}10^{-3})\,T^2 - \\ - (5{,}481717{\cdot}10^{-2})\,RH^2 + (1{,}22874{\cdot}10^{-3})\,T^2{\cdot}RH + \\ + (8{,}5282{\cdot}10^{-4})\,T{\cdot}RH^2 - (1{,}99{\cdot}10^{-6})\,T^2RH^2 \qquad (1)$$

kjer sta T temperatura zraka v (°C) in RH relativna vlažnost. Pri visoki relativni vlažnosti se zmanjša zmožnost izhlapevanja vode, kar pomeni, da toplota zapušča telo počasneje, kot v suhem vremenu. Posledično nam je seveda bolj vroče. Indeks vročine *HI* se uporablja v ZDA za izdajanje vročinskih opozoril. Tam je za temperaturo v uporabi enota Fahrenheit (F). Enačba 1 je primerna tako za F, kot za °C, saj je končna vrednost ocena, kakšno temperaturo občutimo, odvisna od tega, v kakšnih enotah vstavljamo podatke o temperaturi. Slaba stran

indeksa je v tem, da ni uporaben tako za vročino kot mraz, saj je uporaben šele pri temperaturi višji od 26 °C in vsaj 40 % relativni vlažnosti (McGregor in sod. 2015).

Za izračun vročinskega kazalca se navadno uporablja dnevna maksimalna temperatura, saj nas zanima, kakšno vrednost je imel kazalec v času najhujše vročine. Ga pa seveda lahko izračunamo tudi v katerem koli delu dneva, če nas recimo zanima kako obremenilne razmere imamo ob npr. večerih.

Slika 1 prikazuje vrednost kazalca vročine pri različnih temperaturah in vlažnostih, ter kakšna stopnja nevarnosti sledi iz te vrednosti kazalca.

Indeks vlažnosti (ang. humidity index oz. humidex)

Indeks oz. kazalec vlažnosti, znan pod imenom *humidex*, se uporablja za izračun navidezne temperature v Kanadi. Za razliko od nekaterih drugih kazalcev, za izračun uporablja temperaturo rosišča namesto temperature. Trenutno obliko sta izoblikovala J.M. Masterson in F.A. Richardson leta 1979 (Simon in sod. 2013), nekoliko drugačno obliko pa je Kanada prvič operativno uporabila leta 1965. Kazalec humidex opisuje, kako vlažno vreme čuti človek. Enačba kazalca vlažnosti se glasi:

$$humidex = T + \frac{5}{9}\left(6.11 \times e^{5417.7530\left(\frac{1}{273.16}-\frac{1}{T_d}\right)} - 10\right), \quad (2)$$

kjer je T_d temperatura rosišča v Kelvinih (K). T ima enak pomen in enoto kot v enačbi 1. Temperatura rosišča T_d se izračuna s pomočjo Clausius–Clapeironove enačbe, ki opisuje spremembe nasičenega tlaka vodne pare v odvisnosti od temperature (spletni vir 4):

$$T_d = \left(\frac{1}{273.16} - \frac{461}{2.5\times10^6}\ln\left(\frac{e}{6.11}\right)\right)^{-1}, \quad (3)$$

kjer je

$$e = RH \cdot e_s \quad (4)$$

in

$$e_s = 6.11 \times e^{5417.7530\left(\frac{1}{273.16}-\frac{1}{T}\right)}, \quad (5)$$

kjer je T tokrat v K. Parametra e in e_s po vrsti označujeta parni tlak vodne pare (hPa) in nasičen parni tlak vodne pare (hPa). Mejne vrednosti kazalca vlažnosti in pripadajoča stanja udobja so zbrani v preglednici 1.

Preglednica 1. Vrednosti indeksa vlažnosti s pripadajočimi občutji udobja. Povzeto po (McGregor in sod. 2015).

Table1. Values of humidex and associated rate of comfort. Summarized after (McGregor in sod. 2015).

Vrednost indeksa vlažnosti	Udobje
maj kot 29	udobno
30 - 39	manjše neudobje
40 - 45	zelo neudobno, izogibajmo se naporu
nad 45	nevarno
nad 54	grozi vročinska kap

Za ekstremno visok indeks vlažnosti se štejejo vrednosti, ki so večje od 40. V takšnih razmerah naj bi se vse nepotrebne aktivnosti preložile. Vrednosti kazalca nad 35 pomenijo, da bi se morale nekatere zunanje aktivnosti upočasniti oz. spremeniti, odvisno od starosti osebe, njene fizične pripravljenosti, zdravja in vrste obleke, ki jo nosi (McGregor in sod. 2015).

Omembe vredno je, da je enačba za izračun kazalca matematično popolnoma nekorektna. Seštevanje temperature, ki je v °C in tlaka, ki je v hPa je popolnoma napačno matematično početje, enako velja za odštevanje skalarja 10, ki je brez enote (spletni vir 5). Pravzaprav, če pozorno pogledamo, je taka večina kazalcev, saj so to empirične formule, ki poskušajo širši javnosti približati, kakšno občutje bodo ustvarile različne vrednosti vremenskih spremenljivk.

Skupna efektivna temperatura (ang. Net effective temperature)

Efektivna temperatura je že nekaj let v uporabi na Kitajskem in na Portugalskem, ker je zelo primerna za operativne namene (McGregor in sod. 2015). Prvič jo je predstavil A. Missenard že leta 1937, da bi poleg temperature vključil učinek relativne vlažnosti. Njegova oblika efektivne temperature je bila namenjena samo vročim dnem, zato jo je M. Gregorczuk nekoliko spremenil, in jo naredil primerno za vse vremenske razmere (Li in sod. 2000). Formula, ki je še danes v uporabi na Kitajskem ima naslednjo obliko:

$$NET = 37 - \frac{37-T}{0.68 - 0.0014\,RH + \frac{1}{(1.76 + 1.4\,v^{0.75})}} - 0.29\,T(1 - 0.01\,RH), \quad (6)$$

kjer je v hitrost vetra v (m/s) in RH v (%). Prednosti uporabe kazalca NET so povzete po (Li in sod. 2000):

- Relativno lahko ga je izračunati in interpretirati, kajti velika vrednost efektivne temperature pomeni veliko toplotno obremenitev.

- Lahko ga uporabljamo tako za vroče dneve, kot tudi pozimi med hudim mrazom.

- Njegova občutljivost je zelo podobna ‘‘wind-chill’’-u in navidezni temperaturi, ki sta najpogosteje uporabljena kazalca za hladne in vroče dni.

- Njegova vrednost se da napovedati, saj so meteorološke spremenljivke, ki se uporabljajo za izračun, napovedljive.

- Efektivna temperatura je konsistentna z človeškim dojemanjem. V vročem vremenu se vrednost kazalca NET poveča, če se temperatura in/ali relativna vlaga poveča, zniža pa, če piha močnejši veter. V hladnem vremenu se vrednost NET manjša z nižanjem temperature in povečevanjem relativne vlažnosti in vetra.

Navidezna temperatura (ang. Apparent temperature)

Navidezna temperatura je splošen izraz za več biometeoroloških kazalcev, ki poskušajo opisati zaznavno temperaturo, na podlagi izmerjene temperature in vlage, nekateri tudi hitrosti vetra. Primeri kazalcev, ki spadajo v to skupino so: indeks vročine, indeks toplotne obremenitve, indeks vlažnosti, univerzalni toplotni klimatski indeks in indeks navidezne temperature (Simon in sod. 2013). V tem poglavju se bom ukvarjala z zadnjim. Tudi tega je prvi predstavil R.G. Steadman (Simon in sod. 2013). Navidezna temperatura (*AT*) je definirana kot temperatura pri referenčni vlažnosti, ki predstavlja isto mero neugodja, kot temperatura in vlažnost izmerjena v trenutku opazovanja. Navidezna temperatura predstavlja prilagoditev temperaturi zraka glede na vlažnost. Za referenčno stanje je izbrana absolutna vlažnost pri temperaturi rosišča 14 °C, ker se pri tej vrednosti temperatura zraka le malo razlikuje od navidezne temperature. Če je vlaga višja od referenčne, potem bo *AT* višja od temperature zraka. Dobra stran tega kazalca je v tem, da je uporaben na velikem temperaturnem intervalu in je tako uporaben tudi za zimske mesece, saj z njim dobimo tudi efekt navideznega mraza zaradi vetra pri nižjih temperaturah. Prvo verzijo navidezne temperature smo spoznali že pri indeksu vročine (6). Druga oblika, ki vsebuje veter ima obliko:

$$AT = T + 0.33e - 0.7v - 4. \quad (7)$$

V enačbi 7 imajo parametri *T, e* in *v* enak pomen in enote kot pri enačbah 1 in 6.

Indeks toplotnega presežka (ang. Excess heat index)

Toplotni presežek se pojavi ob dnevih, ko je vroče tako čez dan, kot tudi nadpovprečno toplo ponoči. Presežek se določi iz primerjave treh zaporednih povprečnih dnevnih temperatur z referenčno vrednostjo. Vrednost, ki je višja od 95. centila izmerjenih dnevnih temperatur, velja za dan z velikim toplotnim presežkom. Indeks toplotnega presežka je tako izražen kot dolgotrajna temperaturna anomalija. Povprečje treh dni je izbrano z razlogom, ker je ugotovljeno, da ranljiva populacija postane občutljiva na vročino po treh dneh izpostavitve (Nairn in sod. 2013). Podnebna referenčna vrednost za nastop toplotnega presežka, je 95. centil izmerjenih dnevnih temperatur, ki so merjene v daljšem časovnem obdobju (izbrano je bilo obdobje 1981-2010). Sledeča pozitivna odstopanja od referenčne vrednosti pomenijo precejšen toplotni presežek oz. vročinski val.

Za izračun kazalca najprej izračunamo povprečne dnevne vrednosti temperature (PDT) v celotnem opazovanem večletnem časovnem obdobju (upoštevajoč vse dneve v letu) kot:

$$PDT = (T_{maks} + T_{min})/2 \quad (8)$$

Naredimo povprečje po treh zaporednih dnevih in izračunamo odstopanje od mejne vrednosti:

$$EHI_{sig} = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2})/3 - T_{95}\,, \quad (9)$$

kjer je T_i povprečna dnevna temperatura (PDT) i-tega dneva v °C. Vrednost T_{95} predstavlja 95. percentil povprečnih dnevnih temperatur v izbranem tridesetletnem časovnem obdobju (1981–2010), prav tako v enotah °C.

V primerjavi z drugimi kazalci je indeks toplotnega presežka relativno nov, ker je bil izoblikovan v Avstralskem uradu za meteorologijo leta 2013 (Nairn in sod. 2013).

Psevdo ekvivalentna temperatura

Kazalec psevdo ekvivalentna temperatura se pojavlja v učbeniku za medicinsko meteorologijo (Vida 1990). Je tudi izbrani indeks pri študiji vročega poletja 2013 na spletni strani ARSO, najverjetneje, ker ga pozna medicinska stroka. Psevdo ekvivalentna temperatura povezuje vpliv temperature in absolutne vlažnosti. Definirana je kot (spletni vir 1):

$$PET = T + 1.5e \quad (10)$$

V enačbi 10 imata parametra *T* in *e* enak pomen in enote kot pri enačbah 1 in 6. Sama omenjenega kazalca ne bom preverjala, ker ni omenjen v nobeni literaturi kot kazalec, ki bi se uspešno uporabljal pri izdajanju opozoril na vročino. Tudi psevdo ekvivalentna temperatura fizikalno gledano nima enote, se pa tudi tu končna vrednost interpretira v °C.

Dnevni temperaturno-vlažnostni indeks (ang. The daily temperature-humidity index - THI)

THI je še en v vrsti kazalcev, ki za svoj izračun potrebujejo maksimalno dnevno temperature in vlago. Ta kazalec je nekakšna skrajšana in poenostavljena verzija vročinskega indeksa *HI*. V obliko enačbe 11 ga je izoblikoval H. H. Kibler (1964).

$$THI = 1.8\,T - (1 - RH)(T - 14.3) + 32 \quad (11)$$

V literaturi je mogoče zaslediti več člankov, ki Kibblerjev kazalec uporabljajo kot kazalec vročinskega napora pri živalih. Z njegovo pomočjo je bilo uspešno pokazano, kako zelo so npr. krave občutljive na različne vrednosti vremenskih spremenljivk, kar se zelo pozna pri pridelavi mleka (Gantner 2011; Kučević 2013).

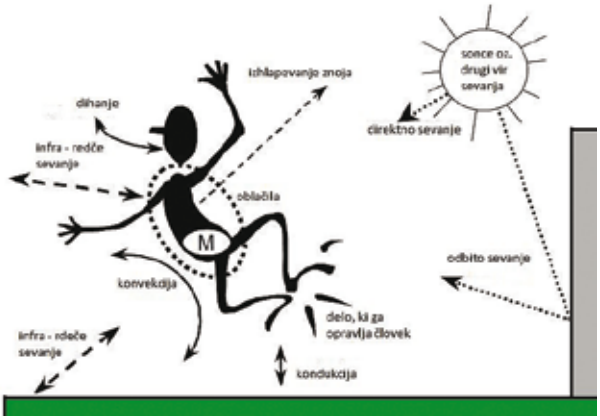
Modeli za izračun toplotne bilance človeka

V to skupino spadajo modeli, ki skušajo čim bolj natančno opisati toplotne tokove med človekom in okolico. Zaradi tega so najbolj obsežni in po večini najbolj vprašljivi, saj vključujejo veliko predpostavk o npr. obleki, velikosti in teži človeka, metabolični vrednosti. Edina država, ki dejansko vsak dan računa celotni toplotni model človeka je Nemčija, ki uporablja model Klima-Michel (Jendritzky). To je že relativno star model, ki predpostavlja lastnosti povprečnega človeka Michela. Michel je moški, star 35 let, velik 1,75 m in težak 75 kg. Predpostavljene ima tudi nekatere druge dejavnosti (delo, ki ga opravlja, hitrost hoje...). Torej je to popolnoma ne-reprezentativen model za otroke in starejše, ki so navadno ob vročini najbolj ranljivi.

Toplotno bilanco med človekom in okolico zapišemo s pomočjo energijske bilance.Za razumevanje enačbe ravnovesja si lahko pomagamo s sliko 2.

$$M - W - \left[Q_T(T,v) + Q^*\left(T_{pst},v\right)\right] - \\ - \left[Q_L(e,v) + Q_z(e,v)\right] - Q_d(T,e) \pm S = 0, \quad (12)$$

kjer so: *M* metabolična stopnja (aktivnost), *W* mehanična moč (neke vrste aktivnost), *S* skladiščenje



Slika 2. Toplotna bilanca človeka. Vir: (McGregor in sod. 2015).

Figure 2. The human heat budget. Picture from: (McGregor in sod. 2015).

(spreminjanje vsebnosti toplote v telesu), Q_T turbulentni tok zaznavne toplote, Q^* sevalni prispevek, Q_L turbulentni tok latentne toplote (vodna para), Q_Z turbulentni tok latentne toplote (izhlapevanje znoja), Q_d toplotni tok dihanja (zaznavna in latentna). Vse te količine imajo enoto W/m^2.

Meteorološke spremenljivke potrebne za izračun sevalne bilance so temperatura zraka, tlak vodne pare, hitrost vetra in T_{pst} povprečna sevalna temperatura, ki vključuje kratko in dolgo valovno sevanje. Prav poznavanje T_{pst} predstavlja problem večine modelov sevalne bilance. Za oceno te temperature se namreč potrebuje količino srednjih, nizkih in visokih oblakov.

Pet najpogosteje uporabljenih kazalcev sevalne bilance je: Standardna efektivna temperatura (ang. Standard effective temperature), Predvidena povprečna vrednost (ang. Predicted mean vote), Zaznavna temperatura (ang. Percived temperature), Fiziološka ekvivalentna temperatura (ang. Physiological equivalent temperature), Univerzalni toplotni klimatski indeks (ang. Univrsal termal climate index – UTCI) (McGregor in sod. 2015).

Sinoptično - podnebna klasifikacija

Indeks toplotnega presežka z upoštevanjem aklimatizacije (ang. Excess heat indeks-acclimatization)

Indeks toplotnega presežka z upoštevanjem aklimatizacije lahko v literaturi najdemo tudi pod imenom toplotna obremenitev (ang. Heat stress). Izvira iz opažanj, da se pojavljajo dnevi, ki so toplejši od nedavne preteklosti. Podobno kot pri indeksu toplotnega presežka, tudi tukaj pogledamo povprečne dnevne temperature treh

zaporednih dni in jih primerjamo z povprečno dnevno temperaturo predhodnih 30 dni. Kazalec tako izraža kratko časovno anomalijo temperature. Ker primerja vrednosti z poprečno vrednostjo tridesetih predhodnih dni, upošteva morebitno kratko časovno aklimatizacijo. Izbira tridesetih predhodnih dni je bila izbrana z razlogom, ker se človek na višje temperature aklimatizira nekje med dvema in šestimi tedni. Oblika opisanega indeksa je sledeča:

$$EHI_{akl} = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2})/3 - (T_{i-1} + \cdots + T_{i-30})/30, \quad (13)$$

Vrednost EHI_{akl} nam pove stopnjo toplotnega napora, ki je predstavljena kot temperaturna anomalija, v primerjavi s povprečjem predhodnih trideset dni. Enota kazalca je °C. Tako kot indeks toplotnega presežka je tudi to relativno nov kazalec iz leta 2013 in izvira iz Avstralije (Nairn in sod. 2013).

Faktor toplotnega presežka (ang. Excess heat factor)

Še zadnji najnovejši kazalec, prav tako iz Avstralije, je faktor toplotnega presežka (Nairn in sod. 2013). Pravzaprav ta faktor združuje oba prejšnja nova kazalca, ki so jih predstavili v Avstraliji, z namenom definicije vročinskega vala pri njih. Faktor toplotnega presežka združuje intenziteto, trajanje in obremenitev v času vročinskega vala. V Avstraliji vročinski val obstaja, ko je količina *EHF* pozitivna. Definicija faktorja toplotnega presežka je sledeča:

$$EHF = EHI_{sig} \times \max(1, EHI_{akl}). \quad (14)$$

Enota kazalca *EHF* je $(°C)^2$, saj imata oba kazalca, ki se uporabljata pri izračunu, enoto °C. Število 1 v členu max (1, EHI_{akl}) pomeni 1 °C. Vročinski valovi, ki so šibki, povzročijo malo amplitudo dogodkov *EHF*. Ko se EHI_{sig} in EHI_{akl} povečujeta, se njun produkt odziva kvadratno na povečevanje vročinskega napora. Glede na to, ali nas zanimajo pretekli ali prihodnji dogodki v enačbah 9 in 13 lahko uporabimo pretekle oz. prihajajoče tri dneve.

Če povzamem, faktor toplotnega presežka je pozitiven, če je EHI_{sig} pozitiven (opazovana tridnevna perioda je vroča glede na absolutno vrednost, torej je nad 95. percentilom dnevne povprečne temperature), poleg tega je *EHF* velik, ko je povprečna tridnevna perioda toplejša kot predhodnih trideset dni. *EHF* se po enačbah 8, 9 in 13 izračuna za prvi dan, od opazovanih treh. Če vročinski val traja dlje od ene tridnevne periode, se toplotna obremenitev dogodka definira kot vsoto sledečih si pozitivnih vrednosti *EHF* (Nairn in sod. 2013).

Indeks dnevne magnitude vročinskega vala (ang. Heat-wave magnitude index daily)

Ta kazalec je nadgradnja oz. pravilnejša verzija kazalca HWMI (heat-wave magnitude index) (Russo in sod. 2014), katerih avtor je Simone Russo. Popravljena verzija je bila objavljena novembra 2015 (Russo in sod. 2015).

Za izračun tega kazalca potrebujemo 30 letno referenčno obdobje, izbrano je bilo obdobje (1981–2010). Mejna vrednost nad katero definiramo, da imamo nadpovprečno vročino se izračuna za vsak dan v letu posebej. Za celotno referenčno obdobje gledamo isti del leta (15 dni pred in 15 dni po dnevu i) in izračunamo 90. centil maksimalnih dnevnih temperatur. Vročinski val je definiran kot obdobje najmanj treh zaporednih dni, ko je presežena ta meja. Na ta način imamo lahko vročinske valove tudi pozimi. Kazalec *HWMId* poskuša razporediti vročinske valove glede na trajanje in glede na to, koliko so posamezne dnevne maksimalne temperature odstopale od predhodno izračunane mejne vrednosti. Magnituda vročinskega vala se izračuna kot vsota magnitud po posameznih dnevih znotraj enega vročinskega vala. Najvišja vrednost v letu, torej najmočnejši vročinski val, predstavlja vrednost kazalca *HWMId*. Dnevna magnituda se izračuna po spodnji formuli:

$$M_d(T_d) = \begin{cases} \dfrac{T - T_{30y25p}}{T_{30y75p} - T_{30y25p}} & \text{, če je } T_d > T_{30y25p} \\ 0 & \text{, če } T_d \leq T_{30y25p} \end{cases} \quad (15)$$

kjer je *T* vrednost maksimalne dnevne temperature, T_{30y25p} in T_{30y75p} pa sta 25. in 75. percentila letnih maksimalnih vrednosti temperatur v izbranem 30 letnem referenčnem obdobju (Russo in sod. 2015).

Kazalci za opis podnebnih sprememb

Vsi spodaj našteti kazalci so bili povzeti iz spletne strani (spletni vir 6) WCRP skupine strokovnjakov za podnebne spremembe, kjer je sicer naštetih kar 27 različni kazalcev s pomočjo katerih lahko ocenimo spreminjanje podnebja na izbrani lokaciji.

Število toplih dni (ang. number of summer days - SU)

Število dni na leto, ko maksimalna dnevna temperatura preseže 25 °C.

Število tropskih noči (ang. number of tropical nights - TR)

Število dni na leto, ko minimalna dnevna temperatura ostane večja od 20 °C.

Odstotek dni, ko je maksimalna dnevna temperatura nad 90 percentilom (TX90p)

Če je TX_{ij} maksimalna dnevna temperatura za dan i in periodo j in TX_{in90} devetdeseti centil na izbran dan v letu, ki se izračuna s pomočjo 5 dnevnega okna na referenčnem obdobju 1981–2010, se odstotek glede na referenčno obdobje dobi z:

$$TX_{ij} > TX_{in90} \quad (16)$$

Indeks trajanja vročinskega vala (ang. warm speel duration index - WSDI)

Letno število dni, ko imamo vsaj 6 zaporednih dni maksimalno dnevno temperaturo nad 90. centilom, ki se izračuna s pomočjo izbranega referenčnega obdobja in s pomočjo 5 dnevnega okna, enako kot je opisano v predhodnem poglavju.

Za konec sem v preglednici združila vse opisane kazalce, vhodne meteorološke spremenljivke potrebne za izračun posameznega kazalca in pripadajočo enoto. Prvih šest kazalcev je fizikalno brez enote, se pa njihove vrednosti interpretirajo kot vrednosti temperature v °C v danih vremenskih razmerah.

Rezultati

Najbolj enostaven za uporabo v prognostične namene, se je v literaturi in na podatkih, ki sem jih uporabljala (Ključevšek 2016), izkazal kazalec *EHF*. Pozitivne vrednosti kazalca *EHF* pomenijo vročinski val. Za opozarjanje na razmere, ki bi lahko bile nevarne (oranžna stopnja) bi kazalec *EHF* moral preseči mejo, ki je enaka 85. centilu vseh pozitivnih vrednosti *EHF* na podatkih iz referenčnega obdobja (1981–2010). Na tak način je definirana meja za oranžno stopnjo v Avstraliji (Nairn 2013). Zelo nevarne razmere (rdeča stopnja) nastopijo, ko kazalec *EHF* preseže 99. centil pozitivnih vrednosti. To mejno vrednost sem izbrala z namenom, da so izločeni res samo tisti najbolj ekstremni dnevi hude vročine. Za posamezne postaje po Sloveniji sem izračunala opisane mejne vrednosti in jih za občutek preračunala nazaj v temperature. Vrednosti so zbrane v preglednici 3. Zavedati se je treba, da je reprezentativnost rezultatov na postajah Babno polje in Letališče Portorož slabša, saj se na postaji Babno polje med leti 1991 in 2003 meritve niso izvajale. Na Letališču v Portorožu pa so se začele izvajati šele leta 1987, kar pomeni, da pri obeh postajah manjka kar nekaj podatkov iz referenčnega obdobja (1981–2010).

Za lažjo predstavo sem vrednosti kazalca in ocenjene vrednosti temperatur za obe stopnji ogroženosti izrisala na zemljevid Slovenije, kjer sem vse vrednosti zaokrožila na 1 °C oz. 1 $(°C)^2$ natančno. Najprej so prikazani rezultati za primer temperature, za tem vrednosti kazalca EHF.

Za vse postaje je na sliki 7 prikazano število dni na leto, ko je kazalec *EHF* pozitiven, ko smo imeli nevarne in zelo nevarne razmere. Iz rezultatov lahko zaključim, da smo imeli daleč največ dni, ki so že

Preglednica 2. Seznam vseh vročinskih kazalcev, njihovih vhodnih podatkov in enot.

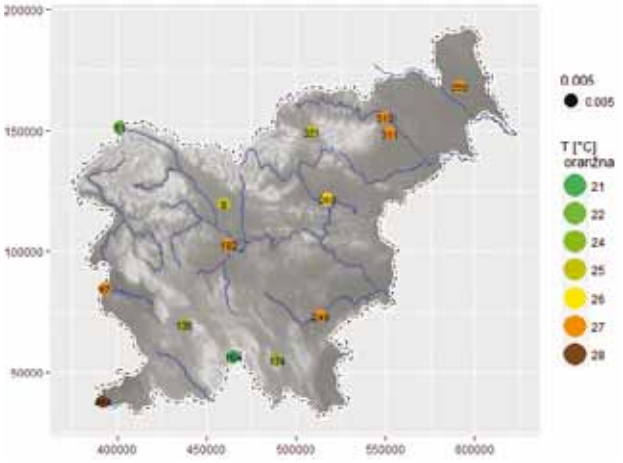
Table 2. List of all indices, their input variables and units.

kazalec	vhodni podatki	enota
HI	T_{maks}, RH	/
humidex	T_{maks}, RH	/
NET	T_{maks}, RH, v	/
AT	T_{maks}, RH, v	/
PET	T_{maks}, RH	/
THI	T_{maks}, RH	/
EHIsig	T_{pov}	°C
EHIaccl	T_{pov}	°C
EHF	T_{pov}	$(°C)^2$
HWMId	T_{maks}	/
SU	T_{maks}	/
TR	T_{min}	/
TX90p	T_{maks}	%
WSDI	T_{maks}	/

Preglednica 3. Vrednosti kazalca EHF in okvirne povprečne dnevne temperature za opozarjanje pred hudo vročino na posameznih postajah za izbrani mejni vrednosti.

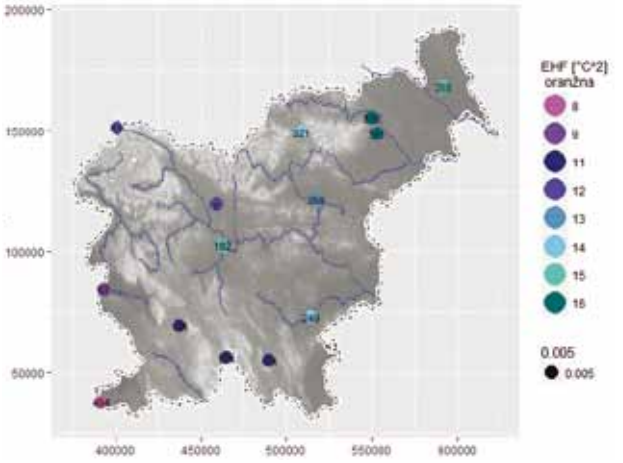
Table 3. Values of index EHF and approximate temperatures for different thresholds used for heat warnings on different stations.

	EHF ($°C^2$)		temperatura (°C)	
percentili	85p	99p	85p	99p
Murska Sobota	14,9	38,7	26,6	28,9
Maribor	16,2	40,9	27,1	29,5
Let. Maribor	16,1	41,8	26,5	29,0
Šmartno pri SG	14,4	36,5	24,6	26,8
Celje	12,8	30,5	26,1	28,0
Novo mesto	14,0	35,6	26,7	29,0
Kočevje	10,5	28,2	23,9	26,0
Babno polje	10,9	27,7	21,4	23,4
Postojna	11,0	27,6	24,0	26,0
Ljubljana	14,7	34,6	27,2	29,3
Let. Ljubljana	12,1	30,9	25,2	27,3
Rateče	12,0	27,6	22,3	24,1
Bilje	8,8	26,2	27,1	29,2
Portorož	7,5	17,1	27,5	28,9



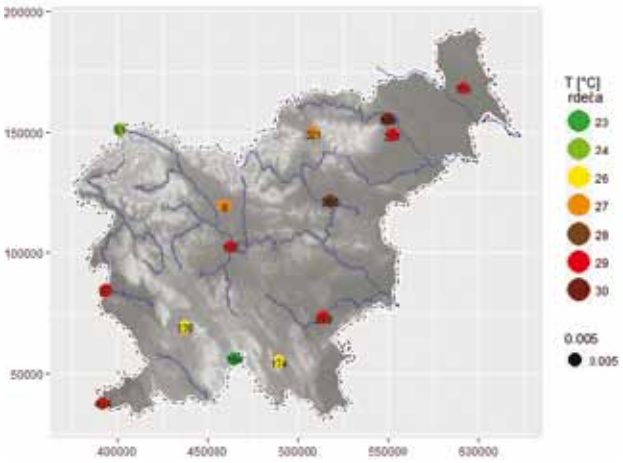
Slika 3. Vrednosti ocenjene povprečne dnevne temperature za oranžno stopnjo ogroženosti na posameznih obravnavanih postajah po Sloveniji. Številke na obarvanih krogih na zemljevidu predstavljajo številko postaje.

Figure 3. Values of approximate temperatures for orange level of threat on different stations in Slovenija. The numbers on circles are the station numbers.



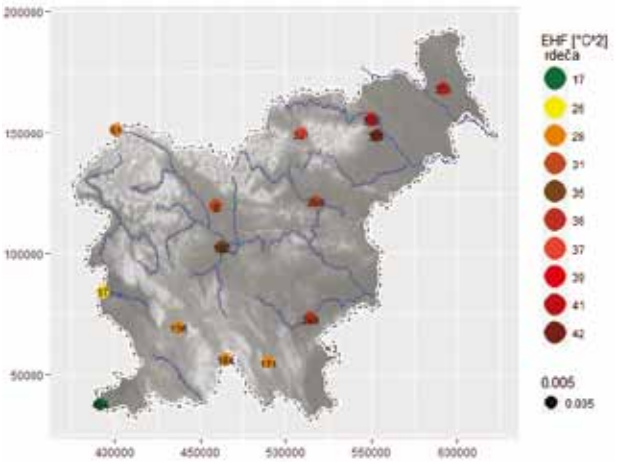
Slika 5. Vrednosti vročinskega kazalca EHF za oranžno stopnjo ogroženosti na posameznih obravnavanih postajah po Sloveniji. Številke na obarvanih krogih na zemljevidu predstavljajo številko postaje.

Figure 5. Values of heat index EHF for orange level of threat on different stations in Slovenija. The numbers on circles are the station numbers.



Slika 4. Enako kot slika 3, le za rdečo stopnjo ogroženosti.

Figure 4. The same as figure 3, but for red level of threat.



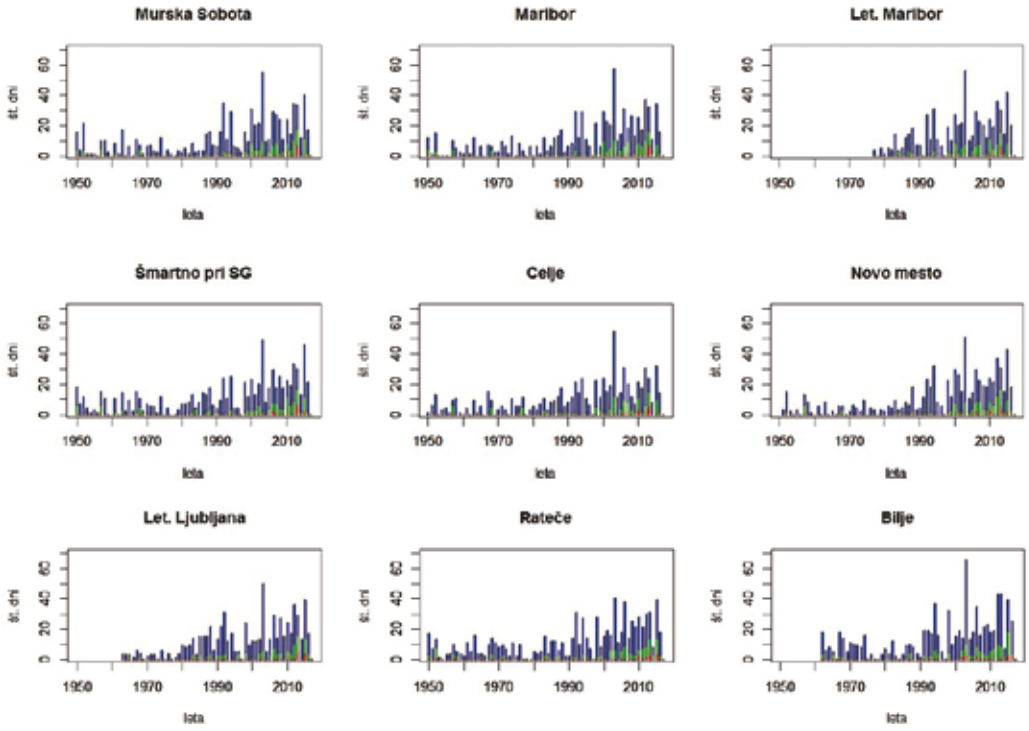
Slika 6. Enako kot slika 5, le za rdečo stopnjo ogroženosti.

Figure 6. The same as figure 5, but for red level of threat.

veljali za vročinski val leta 2003. Absolutno največ jih je bilo na postaji v Biljah. Ni pa bilo veliko teh dni zelo nadpovprečnih. Takih je bilo na večini postaj največ leta 2013.

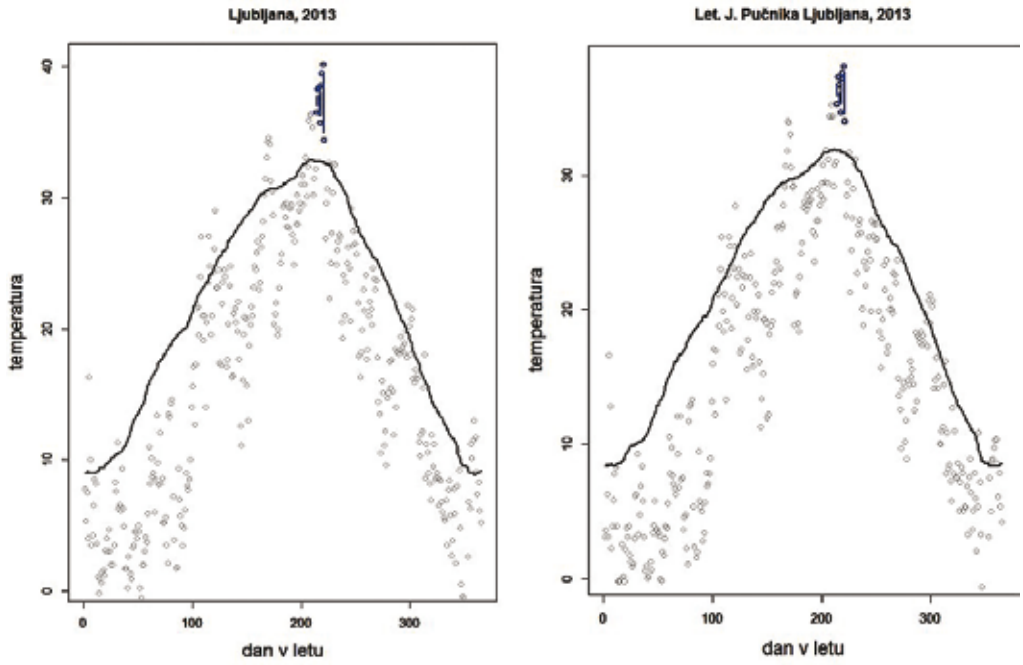
Za prognostične namene se zdi uporaba tega kazalca najenostavnejša. Nas pa iz klimatološkega zornega kota zanima, ne samo koliko dni na leto je ustrezalo definiciji vročinskega vala in kako se njihovo število spreminja iz leta v leto, temveč tudi kako močni so bili in kakšna je bila njihova dolžina. Za ta namen se zdi najprimernejši kazalec *HWMId*, ki vse značilnosti vročinskega vala združuje v eno število. Poda samo magnitudo najhujšega vročinskega vala v letu, vendar ga lahko uporabljamo tudi za analizo ostalih vročinskih valov v letu. Za prikaz prihodnjih razmer je ta kazalec izbrala Evropska okoljska agencija (EEA 2017). Magnitude najhujših vročinskih valov od leta 1950 naprej na posameznih postajah so prikazane na sliki 9.

Kazalec potrdi, da je bil vročinski val v letu 2013 najmočnejši na večini postaj, izjema sta postaji Murska Sobota, z najmočnejšim vročinskim valom v leta 1950 in Bilje, kjer je bilo najhuje leta 2003. Absolutno gledano se je najmočnejši vročinski val zgodil na letališču Ljubljana leta 2013, ko je magnituda skoraj dosegla vrednost 18. Podobno močan je bil tudi v Ljubljani. Kdaj v letu se je pojavil, koliko dni je trajal in kako visoka so bila odstopanja od mejne vrednosti v teh dneh prikazuje slika 8.



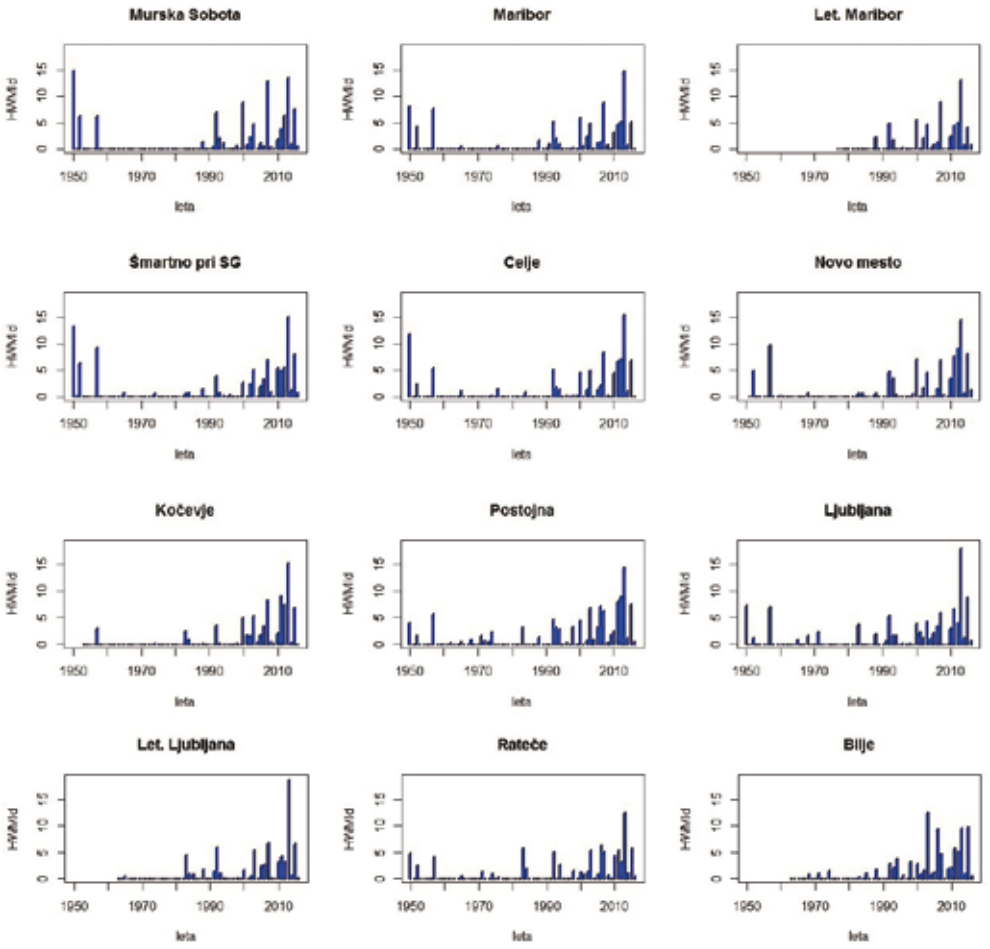
Slika 7. Prikaz števila dni na leto, ko so izpolnjeni pogoji za vročinski val (modri stolpci), ko bi lahko imeli nevarne razmere (zeleni stolpci) in ko so bile razmere zelo nevarne (rdeči stolpci). Po vrsti so prikazani rezultati za postaje Murska Sobota, Maribor, Letališče E. Rusjana Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Kočevje, Postojna, Ljubljana, Letališče J. Pučnika Ljubljana, Rateče in Bilje.

Figure 7. Number of days per year when terms for heat wave ware fulfilled (blue bars), when we had dangerous conditions (green bars), and very dangerous conditions (red bars). Results are shown for stations Murska Sobota, Maribor, Letališče E. Rusjana Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Kočevje, Postojna, Ljubljana, Letališče J. Pučnika Ljubljana, Rateče and Bilje.



Slika 8. Primer absolutno najhujšega vročinskega vala od leta 1950 naprej pri nas. Zgornji sliki prikazujeta razmere v Ljubljani (levo) in na bližnjem letališču (desno). Sivi krogci prikazujejo dnevne izmerjene maksimalne vrednosti temperatur v letu 2013. Črna črta prikazuje izračunano mejno vrednost, nad katero so dnevi, ki že lahko pomenijo vročinski val. Z modro so označeni dnevi, ki so bili najbolj ekstremni v dnevni magnitudi. Vsota dnevnih magnitud predstavlja magnitudo vročinskega vala.

Figure 8. Example of the strongest heat wave in Slovenija from 1950. The results are shown for Ljubljana (left) and the nearby airport (right). Grey circles represent daily measurements of maximum temperature in year 2013. The black line represent threshold values above witch heat wave is defined. Blue circles represent the most severe heat wave in a year from witch the heat wave magnitude is computed.



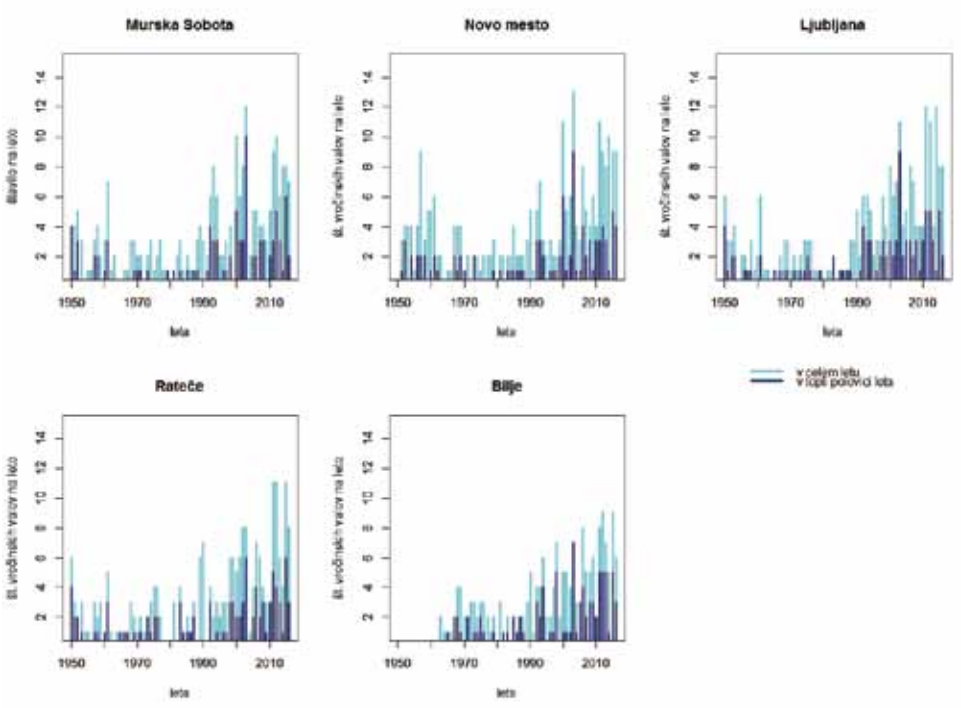
Slika 9. Vrednosti kazalca HWMId v posameznem letu, kar predstavlja najmočnejši vročinski val v tistem letu glede na trajanje in glede na magnitudo. Po vrsti so predstavljene vrednosti na postajah Murska Sobota, Maribor, Letališče E. Rusjana Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Kočevje, Postojna, Ljubljana, Letališče J. Pučnika Ljubljana, Rateče in Bilje.

Figure 9. Values of index HWMId in different years, which represent the most intense heat wave in a year based on length and magnitude. Results are shown for stations Murska Sobota, Maribor, Letališče E. Rusjana Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Kočevje, Postojna, Ljubljana, Letališče J. Pučnika Ljubljana, Rateče and Bilje.

Pri tem kazalcu je vročinski val definiran kot vsako obdobje, ko maksimalna dnevna temperatura presega mejno vrednost vsaj 3 zaporedne dni. Je pa lahko magnituda takega zelo kratkega in temperaturno gledano ne preveč ekstremnega vročinskega vala lahko enaka 0, saj ni nujno, da najvišja dnevna temperatura preseže 25. centil vseh najvišjih dnevnih temperatur v referenčnem odboju. Prav zaradi tega imamo v zimskem času vročinske valove, vendar je njihova magnituda enaka 0. Nas pa zanima, koliko vročinskih valov na leto smo imeli po definiciji tega kazalca. Izrisala sem število vseh vročinskih valov torej tudi tistih, ko je maksimalna dnevna temperatura nižja od 25. percentila najvišjih dnevnih temperatur, v celem letu in št. vročinskih valov samo v topli polovici leta (od 1.5. do 30.9.). Zanimivo je, da praktično skoraj nimamo leta, ko ne bi imeli vsaj enega vročinskega vala v letu, bodisi pozimi ali poleti. Še več, pozimi pogosto beležimo več vročinskih valov kot poleti.

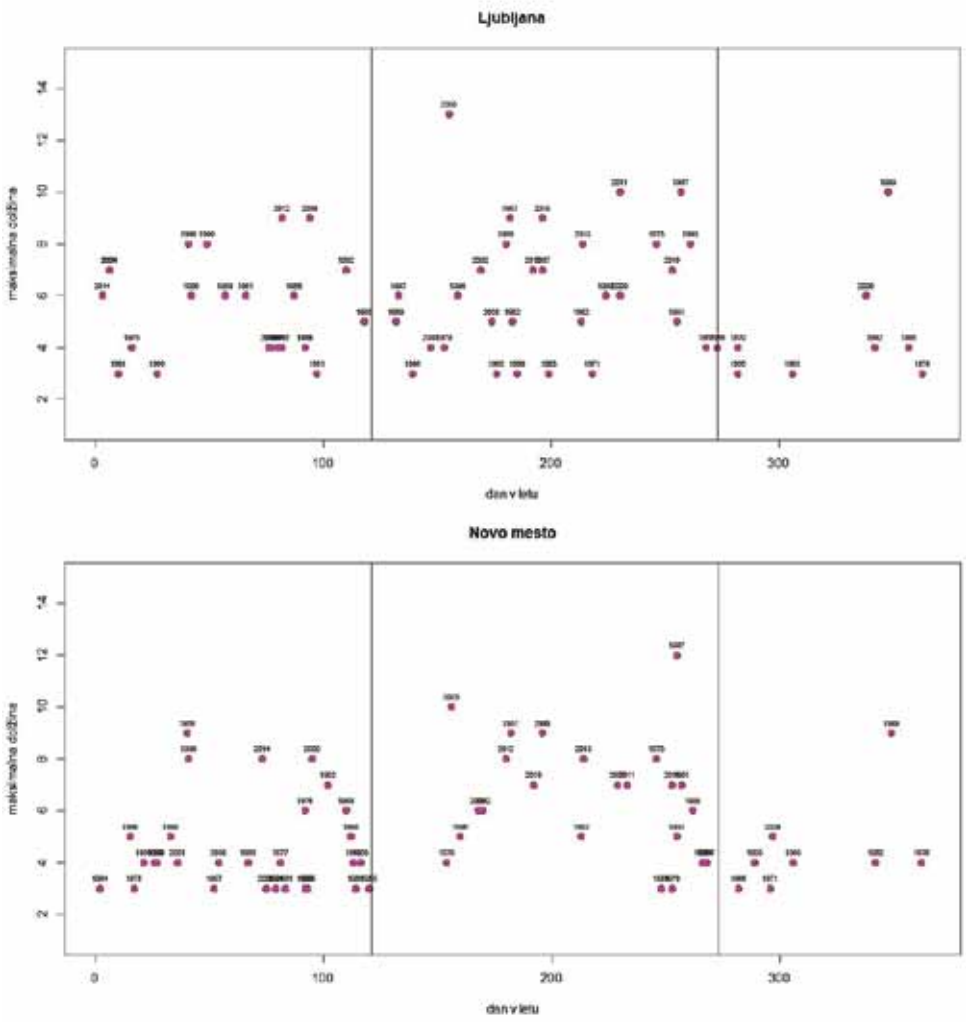
Zanimiv je podatek kdaj v letu se najpogosteje pojavljajo najdaljši vročinski valovi, definirani glede na kazalec HWMId na posameznih postajah. Poiskala sem najdaljši vročinski val v letu, številko dneva v letu ko se je ta začel in izrisala primere na isti graf. Izkaže se, da so na večini postaj (slike niso prikazane) najdaljši vročinski valovi res med poletnimi meseci. Izjema sta postaji v Ratečah in Kočevju, kjer smo leta 2015 zabeležili absolutno gledano najdaljši vročinski val na tej lokaciji, ki pa se je zgodil v hladni polovici leta.

Skupina strokovnjakov za detekcijo podnebnih sprememb (program CLIVAR) ima na svoji spletni strani objavljen seznam 27 t.i. ETCCDI kazalcev, s pomočjo katerih lahko ocenjujemo podnebne spremembe. Štiri od njih sem uporabila tudi sama, rezultati števila toplih dni in tropskih noči, odstotkov, ko najvišja dnevna temperatura preseže izbrano mejo in število dni, ko vročinski val traja vsaj 6 zaporednih dni, so predstavljeni na sledečih slikah (slika 13 – slika 16). Tudi tu so rezultati pričakovani. Število toplih dnih je v zadnjih letih v porastu, še posebej od leta 1980 naprej. Največ toplih dni vsako leto beležimo na postaji Bilje pri Novi Gorici. Na vseh postajah najbolj odstopa leto 2003. Izjema sta obe primorski postaji, ki sta imeli v letu 2011 več toplih dni. Ima pa največji naklon od vseh postaj, ki sem jih preverjala (vse slike niso prikazane) postaja na letališču v Mariboru, vendar je to posledica krajšega časovnega niza. Od postaj, ki imajo najdaljše nize, ima največji trend naraščanja poletnih dni postaja v Kočevju, sledi ji Postojna.



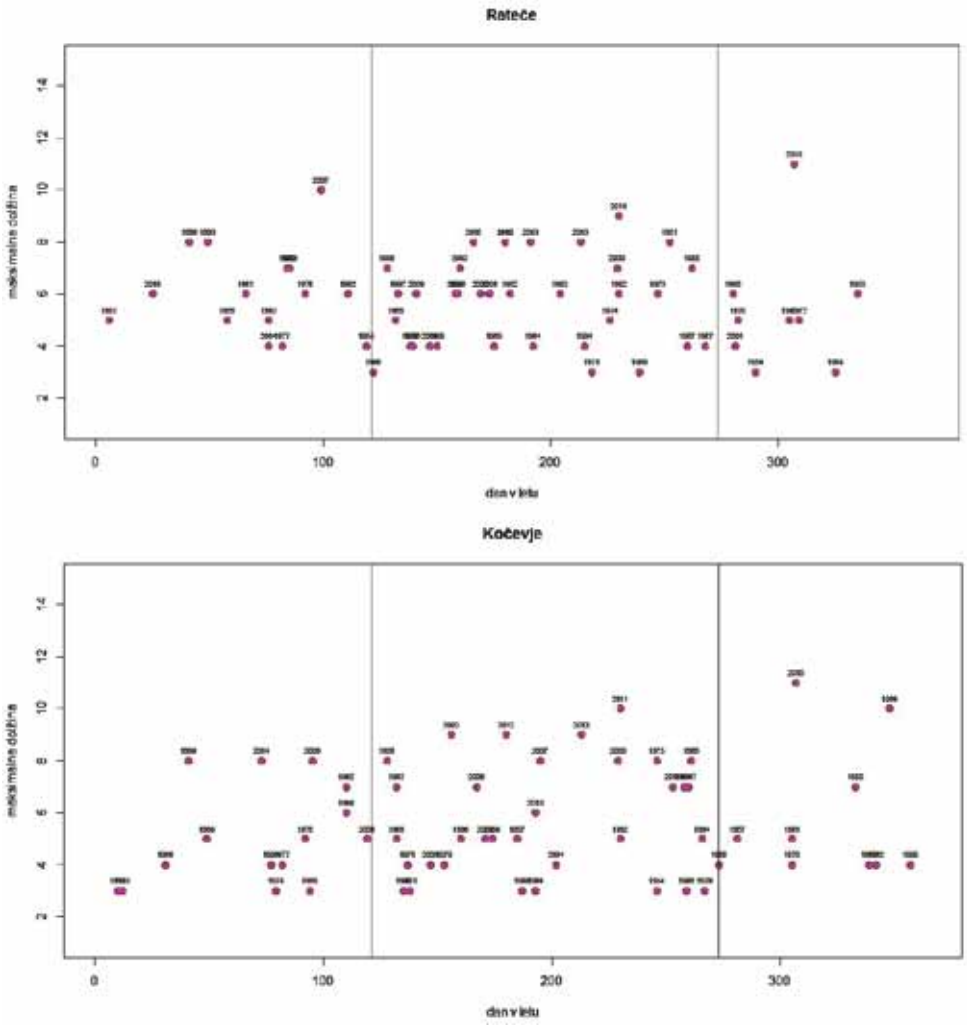
Slika 10. Prikaz števila vročinskih valov po definiciji iz kazalca HWMID. Vsi vročinski valovi v letu, torej tudi zimski, so prikazani s turkizno barvo, samo tiste v toplejši polovici leta prikazujejo modri stolpci. Po vrsti so prikazane postaje Murska Sobota, Novo mesto, Ljubljana, Rateče in Bilje.

Figure 10. Number of heat waves per year from definition of HWMId. All heat waves per year, even those who accrued in wintertime are displayed with turquoise bars, the ones from summertime (May – September) are plotted with blue bars. Results are shown for stations Murska Sobota, Novo mesto, Ljubljana, Rateče and Bilje.



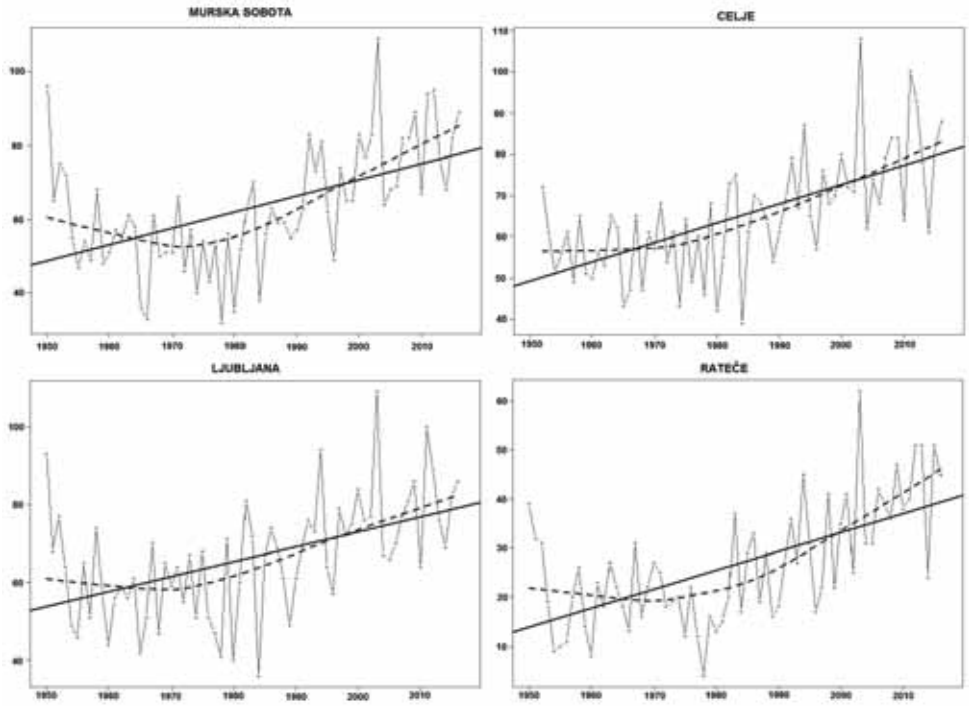
Slika 11. Prikaz najdaljšega vročinskega vala v posameznem letu na postajah Ljubljana in Novo mesto. Roza krogci prikazujejo najdaljši vročinski val v letu, črni navpični črti označujeta datuma 1.5. in 30.9., torej ločujeta toplejšo in hladnejšo polovico leta.

Figure 11. The pink dots represent the longest heat wave in a year on stations Ljubljana and Novo mesto. Black vertical lines denotes the beginning and the end of warm half of the year (May – September).



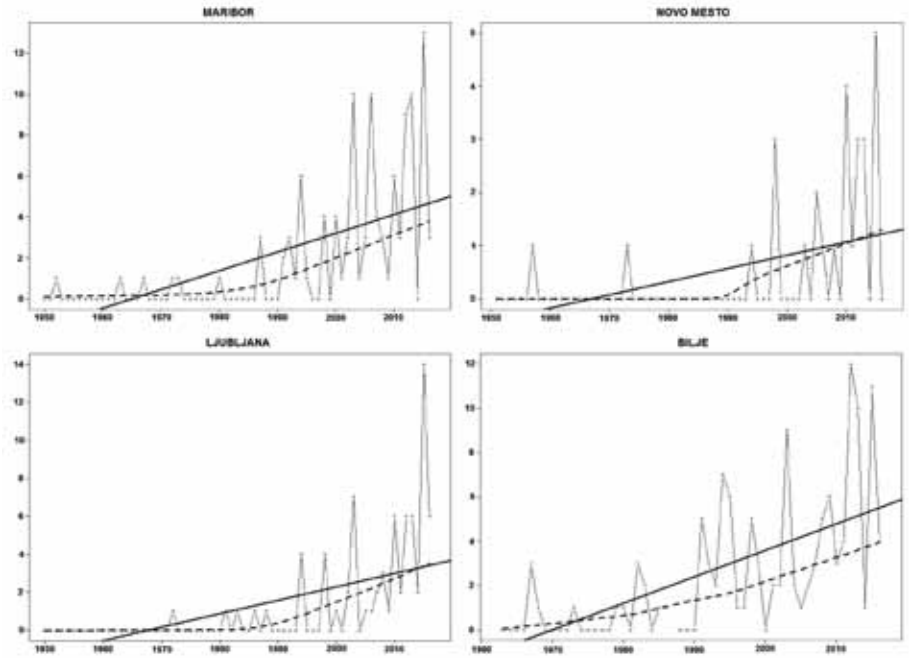
Slika 12. Enako kot slika 11, le da sta tu predstavljeni postaji Rateče in Kočevje, ki sta imeli absolutno najdaljši vročinski val v hladni polovici leta 2015.

Figure 12. The same as Figure 11, but for stations Rateče and Kočevje, where the absolute longest heat wave occurred in cold half of the season 2015.



Slika 13. Prikaz števila toplih dni na posameznih postajah v posameznih letih in njihov linearni trend naraščanja. Po vrsti so prikazane postaje Murska Sobota, Celje, Ljubljana in Rateče.

Figure 13. Number of summer days per year and associated linear trend. Results are shown for stations Murska Sobota, Celje, Ljubljana and Rateče.



Slika 14. Prikaz števila tropskih noči na posameznih postajah v posameznih letih in njihov linearni trend naraščanja. Po vrsti so prikazane postaje Maribor, Novo mesto, Ljubljana in Bilje.

Figure 14. Number of tropical nights per year and associated linear trend. Results are shown for stations Murska Sobota, Ljubljana and Bilje.

Število tropskih noči je na veliko postajah premajhno, da bi iz njih lahko z zanesljivostjo ocenjevali trend. Se pa njihovo število predvsem v mestih hitro povečuje, tudi tu še posebej od leta 1980 naprej. Veliko število tropskih noči imamo po pričakovanjih vsako leto na primorskem. Je bilo pa na postaji v Celju leta 2003, 2004 in 2010 zabeleženih kar 20 tropskih noči. Več smo jih zabeležili leta 2003 le v Portorožu. Absolutno največ je bilo namerjenih prav tako na letališču v Portorožu leta 2015, kar 26. Zanimivo, v Kočevju smo od kar potekajo meritve zabeležili le 3 tropske noči, in vse so se zgodile pred letom 2000 (1983, 1993, 1999).

Odstotek koliko dni presegamo mejno vrednost 90 percentila izračunanega na 30 letnem referenčnem obdobju s pomočjo 5 dnevnega okna se pravzaprav povečuje zelo primerljivo na vseh postajah. Naklon je seveda največji pri postajah s krajšim časovnim nizom. Sta pa ponovno postaji Postojna in Kočevje med tistimi z največjim naklonom med tistimi postajami, ki imajo najdaljše nize. Pri teh rezultatih je zanimivo tudi to, da je v Ljubljani izpostavljeno kot eno najtoplejših let, leto 2011. Poleg že velikokrat omenjenega leta 2003 ta kazalec na številnih postajah kot ekstremno leto izloča tudi poletja 2000, 2011 in 2012. Absolutno gledano je bilo po rezultatih tega kazalca najbolj ekstremno leto 2011 v Postojni, ko smo bili kar v 26 % nad definirano mejno vrednostjo.

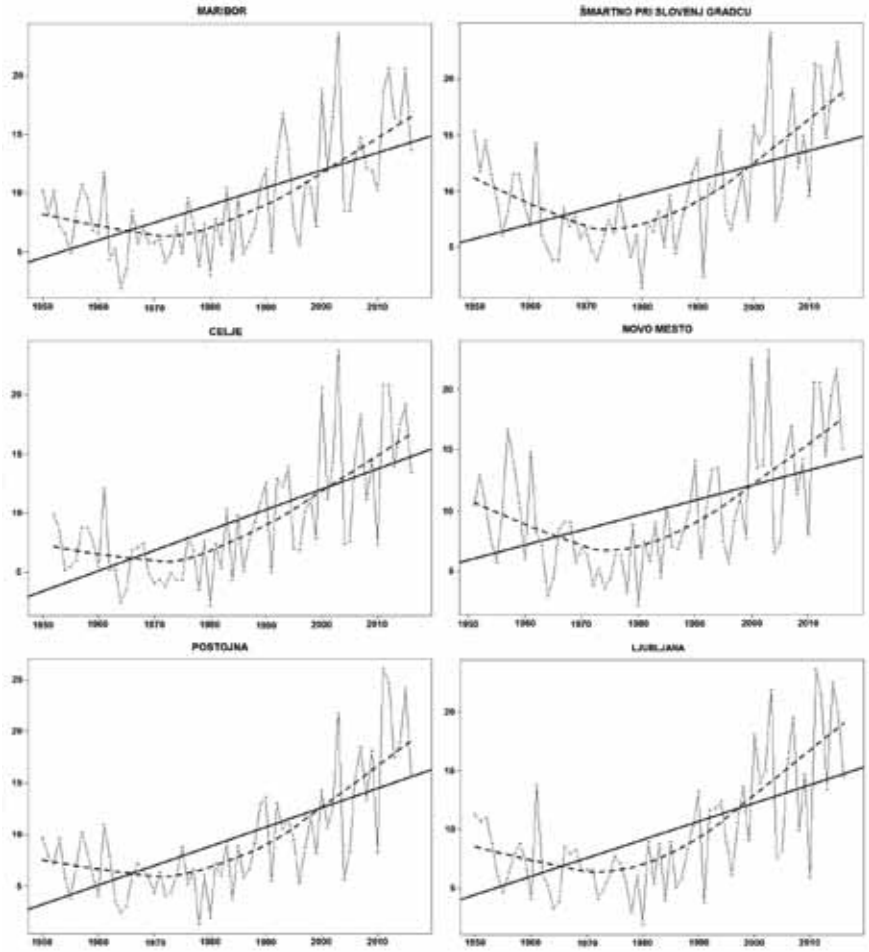
Število dni, ko dnevna maksimalna temperatura presega mejno vrednost 90. percentila iz izbranega 30 letnega referenčnega obdobja, vsaj šest zaporednih dni, se nam na večini postaj hitro povečuje od leta 1980 oz. 1990 naprej. Zelo veliko dni z vročinskim valom smo imeli leta 2011 v Postojni. Pravzaprav je bilo to leto ekstremno na večini postaj, izjema sta postaji Rateče in Šmartno pri Slovenj Gradcu. Na teh postajah je bilo največ takih dni v letu 2015. Tudi tu je največji trend pri postajah z najdaljšim nizom na postaji Postojna. Je pa na vseh postajah veliko število dni z vročinskim valom vsa leta od leta 2011 naprej.

Zaključek

V prihodnosti bo topleje, to kažejo praktično vsi podnebni scenariji. Strokovnjaki se strinjajo, da nas poleti čaka čedalje več vročinskih valov (EEA 2017). In ti v Sloveniji še niso uradno definirani. Veliko držav po svetu uporablja najrazličnejše vročinske kazalce za opozarjanje prebivalstva na morebitne izredne razmere in definicijo vročinskih valov.

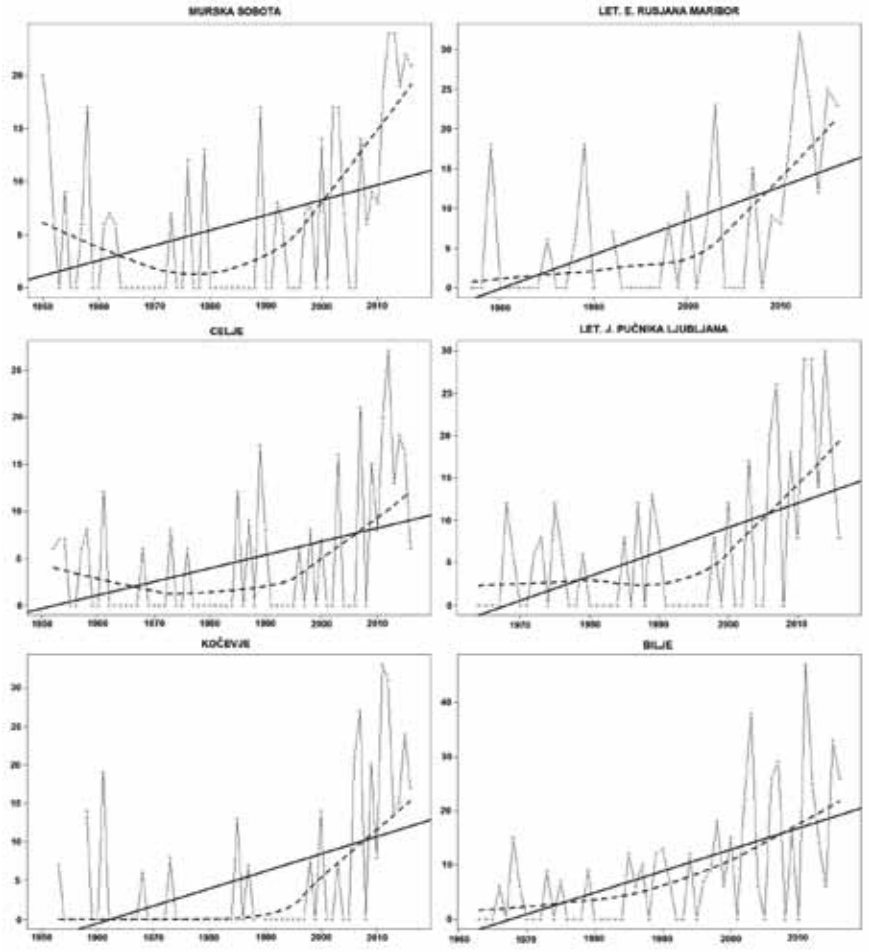
Opisala sem glavne značilnosti nekaterih najbolj poznanih in najpogosteje uporabljenih kazalcev za vročino in tudi tistih, ki so bili izoblikovani v zadnjih letih. Osredotočila sem se na tiste vročinske kazalce, ki so zaradi svoje oblike primerni za računanje pri nas. Izračunala sem jih na 14. postajah po Sloveniji, ki imajo čim daljši časovni niz in ki so geografsko med seboj na različnih območjih.

Najbolj uporabna definicija vročinskega vala se zdi definicija s pomočjo avstralskega kazalca EHF. Ta kazalec je bil narejen z namenom čim boljše napovedi vročinskih valov in opozarjanje na njih. Odlikujeta ga po eni strani preprostost, po drugi strani pa je dovolj kompleksen, da upošteva tako klimatologijo opazovanega območja, kot kratko časovno



Slika 15. Prikaz deleža dni na leto, ko imamo preseženo mejo 90 percentila najvišjih dnevnih temperatur s pet dnevnim oknom izmerjenih na isti dan v letu v 30 letnem referenčnem obdobju. Po vrsti so tokrat predstavljene postaje: Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Postojna in Ljubljana.

Figure 15, Percentage of days when daily maximum temperatures exceed 90 percentile of maximum daily temperatures on 5-day window from reference period on the same day. Results are shown for stations Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Postojna and Ljubljana.



Slika 16. Enako kot slika 15 le da so tu prikazani rezultati kazalca trajanja vročinskega vala (WSDI) za postaje Murska Sobota, Letališče E. Rusjana Maribor, Celje, Let. J. Pučnika Ljubljana, Kočevje in Bilje.

Figure 16. The same as in Figure 15, but here are results for warm speel duration index for stations Murska Sobota, Letališče E. Rusjana Maribor, Celje, Let. J. Pučnika Ljubljana, Kočevje and Bilje.

aklimatizacijo na vročino. Poleg tega obstaja nekoliko prirejena oblika tudi za napovedovanje hudega mraza.

Se pa vročinski valovi težko primerjajo med sabo zaradi različne intenzitete, trajanja in prostorske porazdelitve. Ta problem zelo uspešno reši kazalec HWMId, ki je nekoliko kompleksnejši, vendar zelo primeren za podnebne študije vročinskih valov. Tudi ta kazalec temelji na centilih, torej je zelo primeren za podnebno različna območja, kar pa ne moremo trditi za npr. število toplih dni in tropskih noči, ki imata fiksno mejno vrednost. Omenjeni kazalec prikaže, da smo imeli leta 2003 res daleč najdaljši vročinski val, vendar so bili ti dnevi precej manj nadpovprečni od tistih v letu 2013, ko smo marsikje po državi zabeležili nove rekordne vrednosti najvišjih dnevnih temperatur (spletni vir 7).

Vsem obravnavanim kazalcem je skupno to, da kažejo trend naraščanja, še posebej izrazit je po letu 1980. V bližnji prihodnosti bodo postale napovedi vročinskih valov pomembne, ne samo zato, da se ljudi opozori na resnost prihajajočih vremenskih razmer. Dlje trajajoče visoke temperature navadno prizadenejo večja območja npr. južni del Evrope. Visoke temperature pomenijo tudi sušo. Takšne razmere tako vplivajo na vse žive organizme. Posledično lahko lokalno pride do hudega pomankanja vode, izredno slabega pridelka sadja, zelenjave in mleka... Z dovolj zgodnimi opozorili, bi lahko tako nekatere posledice vsaj deloma omilili.
.

Viri

EEA poročilo, Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report, European Environment Agency, 2017

Gantner V., Mijić P., Kuterovac K., Solić D., Gantner R., Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Sveučilište J.J. Strossmayera v Osijeku, 2011.

Jendritzky G., Staiger H., Bucher K., Graetz A., Laschewski G., The Perceived Temperature: The Method of the Deutscher Wetterdienst for the Assessment of Cold Stress and Heat Load for the Human Body, Deutscher Wetterdienst, Germany. (Dostopno na: http://www.utci.org/isb/documents/perceived_temperature.pdf)

Kibler H.H., Environmental physiology and shelter engineering. LXVII. Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses. Res. Bull. Missouri Agric. Exp. Station. 862., 1964

Ključevšek N., Žagar N., Detekcija in vpliv vročinskih valov v Sloveniji, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, 2016

Kučević D., Plavšić M. , Trivunović S., Radinović M., Bogdanović V., Infuence of microclimatic conditions on the daily production of dairy cows, Institute for Animal Husbandry, Belgrade-Zemun, Biotechnology in Animal Husbandry 29 (1), p 45-51, 2013

Li P.W. in S.T. Chan, 2000: Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in Hong Kong. Meteor. Appl., 7: 369–375.

McGregor G.R., glavni urednik, Bessemoulin P., Ebi K. in Menne B., uredniki, Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. World Meteorological Organization and World Health Organization, 2015

Nairn, J.R. in R. Fawcett, 2013: Defining heatwaves: heatwave defined as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia. Centre for Australian Weather and Climate Research (CAWCR) Technical Report 060 Kent Town, South Australia, 84 pp.

Russo S., Dosio A., Graversen R. G., Sillmann J., Carrao H., Dunbar M. B., Singeton A., Montagna P., Barbola P. in Vogt J. V., Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world, Jurnal of Geophysical Research: Atmospheres, 2014.

Russo S., Sillmann J. in Fischer E. M., Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. Environmental Research Letters, 2015.

Simon N. Gosling, Erin K. Bryce, P. Grady Dixon, Katharina M. A. Gabriel, Elaine Y. Gosling, Jonathan M. Hanes, David M. Hondula, Liang Liang, Priscilla Ayleen Bustos Mac Lean, Stefan Muthers, Sheila Tavares Nascimento, Martina Petralli, Jennifer K. Vanos, Eva R. Wanka A glossary for biometeorology, Int J Biometeorol, 2013

Vida M., Medicinska meteorologija, Ljubljana, Medicinska fakulteta, 1990.

Spletni vir 1: http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=685&lang_id=302 (20.11.2016)

Spletni vir 2: http://www.nws.noaa.gov/om/heat/heat_index.shtml (25.11.2016)

Spletni vir 3: https://pwlinfo.wordpress.com/tag/heat-index/ (25.11.2016)

Spletni vir 4: http://www.fmf.uni-lj.si/~zagarn/downloads/M2015/StabilnostVlazenZrak_2015.pdf (25.11.2016)

Spletni vir 5: http://ptaff.ca/humidex/?lang=en_CA (25.11.2016)

Spletni vir 6: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml (3.4.2017)

Spletni vir 7: http://www.meteo.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/vrocina_zacetek-avg2013.pdf (5.4.2017)

Vplivi vročinskih valov na umrljivost v Sloveniji

Simona Perčič, Nacionalni Inštitut za javno zdravje, (simona.percic@nijz.si)
Andreja Kukec, Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta
Tanja Cegnar, Agencija Republike Slovenije za okolje
Ana Hojs, Nacionalni Inštitut za javno zdravje

Povzetek

Ozadje: *Število smrti se v času vročinskih valov dokazano poveča.*

Namen: *Namen raziskave je bil prepoznati ogrožene skupine prebivalcev, ki umirajo v obdobju vročinskih valov po diagnozi, spolu in starostnih skupinah. S ciljem, da se oblikujejo in izvajajo ciljani preventivni ukrepe na področju javnega zdravja.*

Metode: *Izračunali smo relativna tveganja (RT) števila smrti primerjajoč število smrti v obdobju vročinskih valov in obdobju brez vročinskih valov za opredeljene diagnoze, spol in starost in interval zaupanja (IZ) ter povečano število smrti povezano z vročinskimi valovi v Sloveniji v letu 2015. Izračunali smo relativna tveganja (RT) za umrljivosti v obdobju vročinskih valov in obdobju brez vročinskih valov za opredeljene diagnoze, spol in starost in interval zaupanja (IZ) ter umrljivost povezano z vročinskimi valovi v Sloveniji v obdobju od 2006 do 2015.*

Rezultati: *V letu 2015 je bilo za celotno populacijo, za vse vzroke smrti, v obdobju vročinskih valov povečano število smrti za 137 več od pričakovanega, ni pa bilo statistično značilno. Pri analizi za leto 2015 so bili trije RT za število smrti v času vročinskih valov statistično značilni: v starostni skupini 75 let in več za vse vzroke smrti; v celotni populaciji za bolezni obtočil; v starostni skupini 75 let in več za bolezni obtočil. V obdobju od leta 2006 do 2015 je bila za celotno populacijo, za vse vzroke smrti, v obdobju vročinskih valov povečana umrljivost 43,221/100 000, ni pa bila statistično značilna. Pri analizi za obdobje od leta 2006 do 2015 sta bila samo dve RT za umrljivost v obdobju vročinskih valov, ki sta bili statistično značilni: v starostni skupini 75 let in več za vse vzroke smrti in v starostni skupini 75let in več za bolezni obtočil.*

Zaključek: *Relativna tveganja za števila smrti in umrljivosti so variirala za opredeljene diagnoze, spol in starostne skupine in nekateri vzorci občutljivosti so se razlikovali od že opredeljenih v dosedanjih raziskavah. Javnozdravstvene ukrepe naj bi okrepili predvsem za prebivalce starejše od 75 let in tiste z boleznimi obtočil.*

Ključne besede: *vročinski valovi, povečano število smrti/povečana umrljivost, ranljive skupine, vzrok smrti, starost, spol*

Abstract

Background: *Number of deaths increases during periods of elevated heat.*

Aim: *The specific goal was to identify vulnerable subgroups by diagnosis, sex and age groups which is needed for public health prevention efforts.*

Methods: *We estimated relative risks (RRs) of deaths for the observed diagnoses, sex and age, and confidence intervals (CI) and excess deaths associated with large-scale Slovenian heat waves in 2015, comparing deaths during the heat waves with the reference days. We also estimated relative risks (RRs) of mortality for the observed diagnoses, sex and age, and confidence intervals (CI) and excess mortality associated with Slovenian heat waves in the period from 2006 to 2015, comparing mortality during the heat waves with the reference days.*

Results: *In the year 2015, for total (whole population), all causes of death, during the heat waves, 137 excess deaths occurred, but was not statistically significant. In the analysis for 2015, there were only three RRs of deaths during heat waves, which were statistically significant: age group 75+, all causes of deaths; all population, diseases of the circulatory system and age group 75+, diseases of the circulatory system. In the period from 2006 to 2015, for total (whole population), all causes of death, during heat waves, 43,221/100 000 excess mortality occurred, but was no statistically significant. In the analysis for the 2006 to 2015 period, there were*

only two RRs of mortality during heat waves which were statistically significant: age group 75+, all causes of deaths and age group 75+, diseases of the circulatory system.

Conclusions: *Heat wave relative risk of deaths and mortality varied across observed diagnosis, sex and age, and some patterns of vulnerability differed from those previously identified. Public health efforts should address patients with circulatory system diseases and old age groups.*

Key words: *heat waves, excess deaths/excess mortality, vulnerability groups, cause of death, sex, age groups*

Uvod

Vročinski valovi so dobro poznan javnozdravstveni problem (Kovats 2008). Povezanost med visokimi temperaturami in opazovanimi zdravstvenimi izidi, še posebej umrljivostjo so potrdile številne epidemiološke raziskave (Anderson 2009; Baccini 2008; Basu 2002; Basu 2009). Daljša obdobja ekstremne vročine, ki jih navadno definiramo kot vročinske valove, so bila povezana s precejšnim porastom umrljivosti (Kovats 2006) in specifični dogodki so privedli do velikih javnozdravstvenih problemov – kot na primer v Chicagu v juliju 1995 (Semenza 1996) in v Franciji v letu 2003 (Le Terte 2006). Projekcije podnebnih sprememb za Evropo kažejo, da bodo v naslednjem stoletju postali vročinski valovi pogostejši, intenzivnejši in dolgotrajnejši ne samo v mediteranski regiji, pač pa tudi v drugih predelih Evrope (Meehl 2004). Te spremembe bodo prispevale k bremenu bolezni in prezgodnji umrljivosti še posebej pri ranljivih skupinah prebivalcev z omejeno zmožnostjo prilagoditve vročinskim valovom (IPCC 2007). Najranljivejša populacija, ki jo prizadenejo vročinski valovi so starejši (Åström 2001), zaradi fizioloških sprememb, ki se pojavijo v starosti, kroničnih bolezni, uživanje nekaterih zdravil, življenjskega sloga, ki prispeva k slabši regulaciji temperature telesa in vodi v dehidracijo (Kenney 2003). Vročinski valovi lahko povzročijo ali poslabšajo številne stranske učinke zdravil pri starejših, ki jemljejo diuretike, selektivne zaviralce privzema serotonina, zaviralce angiotenzinske konvertaze, zaviralce protonske črpalke, ne-dopaminergične antiparkinsonike in antiepileptike in zaviralce adrenergičnih receptorjev beta (Sommet 2012). Raziskave kažejo, da se prebivalstvo v Evropi stara, še posebej v mestnih območjih. Populacija stara 60 in več let bo do leta 2050 predstavljala kar 21,1 % evropskega prebivalstva (United Nation 2013). Ker ljudje živijo dlje, se bo breme kroničnih in degenerativnih bolezni močno povečalo (Prince 2015). Druge ranljive skupine so prebivalci s srčno-žilnimi obolenji (Bouchama 2007), obolenji dihal (D'Ippoliti 2010; Conti 2007) obolenji ledvic (Hansen 2008a; Conti 2007), s sladkorno boleznijo (Bouchama 2007) in duševno bolni (Hansen 2008b; Kaiser 2001). Dejavniki tveganja za povečano umrljivost v času vročinskih valov so poleg bolezni še: življenje v najvišjih nadstropjih zgradb, pomanjkanje klimatskih naprav, debelost in nizek socialno – ekonomski status (Kilbourne 1982; Semenza 2008). Nekateri avtorji so v raziskavah dokazali tudi, da v obdobju vročinskih valov umre več žensk, drugi te domneve niso potrdili (Anderson 2009; Basu 2008; Hajat 2010). Prebivalci območji, kjer so visoke temperature redke, so bolj ranljiva populacija, ker nimajo ali imajo slabše razvite prilagoditvene mehanizme. Tisti, ki se rodijo in preživijo svojo mladost v toplejših krajih, so manj ogroženi zaradi učinka vročinskih valov v primerjavi s tistimi, ki se rodijo in preživijo svojo mladost v mrzlih krajih (Viggoti 2006).

V Sloveniji je bila na Nacionalnem Inštitutu za javno zdravje v Ljubljani leta 2008 izdelana analiza povečane umrljivosti v času vročinskih valov v letu 2003. V letu 2003 je v Sloveniji v vročinskem valu umrlo 81 prebivalcev več, kot jih sicer umre v tem časovnem obdobju (Tomšič 2008). Sledila je izdelava kazalca v letu 2013, v katerem se proučuje število umrlih v času vročinskih valov. Kazalec se vsako leto osvežuje in je dosegljiv na spletni strani Agencije Republike Slovenije za Okolje (ARSO). V Sloveniji se je v času vročinskih valov v letu 2013 povečalo število umrlih, kar lahko delno pripišemo obremenitvi s toploto. V letu 2013 je bilo v obdobju vročinskih valov povprečno 52 umrlih/dan ter 48 umrlih/dan v obdobju brez vročinskih valov. Za obdobje od 1.5.–30.9. v letih 2008 do 2013 se je pokazala pozitivna in statistično značilna časovna povezanost med dnevnim številom umrlih in vročinskimi valovi na populacijski ravni (ARSO medmrežje). Za boljši uvid v problematiko pa je bilo treba pregledati bolj dolgotrajen pregled povezanosti vročinskih valov in umrljivost v Sloveniji.

Metode

Območje opazovanja

Slovenija je evropska država z zemljepisno lego na skrajnem severu Sredozemlja in na skrajnem jugu Srednje Evrope. Leži na stičišču alpskega, sredozemskega, panonskega in dinarskega sveta. Površina 20.273 km^2 uvršča Slovenijo med srednje velike evropske države. Glede na popis iz leta 2011 ima Slovenija 2.050.189 prebivalcev. Podnebje je mešanica vplivov alpskega, sredozemskega in celinskega podnebja (SURS 2015).

Zdravstveni podatki

Pregledali smo podatke o številu in vzrokih smrti po spolu in starostnih skupinah za obdobje od 1. maja do 30. septembra, v letih 2006 do 2015. Podatki so bili pridobljeni iz baze podatkov o umrlih Nacionalnega inštituta za javno zdravje. Opazovane diagnoze za vzroke smrti po Mednarodni klasifikaciji bolezni in sorodnih zdravstvenih problemov MKB–10 so bile: vsi vzroki (MKB–10, A00–T98), bolezni obtočil (MKB–10, J00–J99), bolezni dihal (MKB–10, I00–I99), endokrine bolezni (MKB–10, E00–E90), sladkorna bolezen (MKB–10, E10–E14), bolezni živčevja (MKB–10, G00–G99), bolezni prebavil (MKB–10, K00–K93), bolezni sečil in splovil (MKB–10, N00–N99), kronične ledvične bolezni (MKB–10, N18) in neoplazme (MKB–10, C00–C99).

Glede starostnih skupin smo se odločili, da bomo opredelili tri starostne skupne: 0–4 leta, 5–74 let in 75 let in več. Ker je v Sloveniji dnevno število smrti zelo majhno, smo se odločili, da za starostno skupino 0–4 leta ne bomo delali analiz saj je število smrti v celotnem opazovanem obdobju v tej starostni skupini zelo majhno. Za ostali dve skupini smo se odločili, da izračunamo relativno tveganje (RT) umrljivosti/števila smrti posebej za vse vzroke smrti, bolezni obtočil in bolezni dihal.

Smrt v času vročinskega vala smo opredelili kot katerokoli smrt po MKB–10, ki se je pojavila v času vročinskega vala. Za vsako leto posebej smo izračunali dnevno umrljivost na 100 000 prebivalcev v obdobju vročinskih valov.

Pričakovano umrljivost smo izračunali iz obdobja brez vročinskih valov, prav tako v času od 1.5. do 30.9., od 2006 do 2015, v Sloveniji. Opredelili smo smrt v času brez vročinskega vala, kot katerokoli smrt po MKB–0, ki se je pojavila v obdobju brez vročinskega vala. Za vsako leto posebej smo izračunali umrljivost na 100 000 prebivalcev v obdobju brez vročinskega vala za dvakrat daljše obdobje, kot so v tem letu trajali vročinski valovi.

Podatki o vročinskih valovih

Vročinski val smo opredelili, kot obdobje dveh ali več sosledних dni s psevdo-ekvivalentno temperaturo, ki presega 56 °C. Psevdo-ekvivalentna dnevna temperatura je izračunana kot vsota temperature zraka in 1,5-kratnika delnega pritisk vodne pare. Podatki o temperaturah so bili pridobljeni na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO). Obdobje vročinskih valov je obsegalo vse dneve vročinskih valov, ki smo jih opredelili v času od 1.5. do 30.9., od 2006 do 2015 v Sloveniji.

Statistična analiza: relativno tveganje in povečana umrljivost

Za oceno povezanosti med vzrokom smrti (diagnozo) in vročinskimi valovi po spolu in starostnih skupinah smo izračunali RT za smrti/umrljivost zaradi vseh opazovanih vzrokov smrti in 95 % interval zaupanja (IZ).

Podatke smo pripravili in analizirali s pomočjo programa Microsoft Excela, verzija 2010. Podobno prejšnjim raziskavam (Knowlton 2009; Hoshiko 2010) smo uporabili pristop računanja RT primerjajoč umrljivost/število smrti v obdobju vročinskih valov z referenčno umrljivostjo v obdobju brez vročinskih valov.

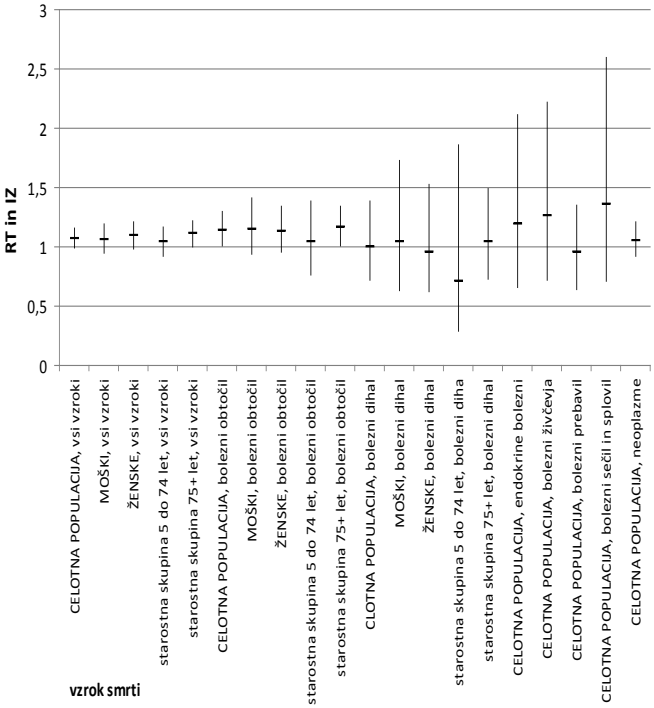
Če je bila spodnja meja 95 % IZ večja od 1,00, smo smatrali, da je povečana umrljivost v času vročinskih valov statistično značilna.

Rezultati

Rezultati raziskave števila smrti v obdobju vročinskih valov v letu 2015

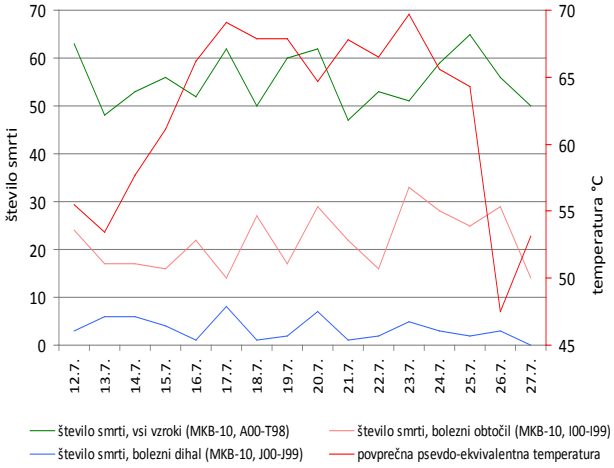
V obdobju vročinskih valov v letu 2015 je bilo v Sloveniji v celotni populaciji povečano število smrti za 137, vendar ni bilo statistično značilno. 98 teh smrti je bilo zaradi bolezni obtočil in nobenega zaradi boleznim dihal. Število smrti zaradi bolezni obtočil je bilo edino, ki je bilo statistično značilno povezano z večjim številom smrti v času vročinskih valov (RT = 1.14, 95 % IZ 1.01–1.30). Pri pregledu števila smrti zaradi drugih diagnoz (endokrine bolezni, nevrološke bolezni, bolezni prebavil, bolezni sečil in splovil, neoplazme) v obdobju vročinskih valov ni bilo statistično značilne povezave (slika 1).

Pregled števila smrti po spolu je pokazal podobno sliko kot pri različnih diagnozah. Pri moških je bilo v času vročinskih valov število smrti zaradi vseh vzrokov smrti večje od pričakovanega, in sicer 52 smrti, za ženske še nekoliko višje, 89 smrti, vendar je bilo statistično neznačilno tako za moške kot za ženske. Intervali zaupanja so preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v povečanem številu smrti med moškimi in ženskami v obdobju vročinskih valov in obdobju, ko ni bilo vročinskih valov. Število smrti zaradi bolezni obtočil je bilo v obdobju vročinskih valov pri moških in ženskah višje od pričakovanega (pri moških 42 in pri ženskah 53), vendar statistično neznačilno pri obeh spolih. Intervali zaupanja so zopet preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v povečanem številu smrti zaradi bolezni obtočil med moškimi in ženskami v obdobju vročinskih valov in obdobju, ko ni bilo vročinskih valov. Tudi pri pregledu



Slika 1. Relativna tveganja (RT) in 95 % intervali zaupanja (IZ) zaradi vseh smrti po spolu in starostnih skupinah, in po vzrokih smrti v obdobju vročinskih valov v letu 2015 v Sloveniji.

Figure 1. Relative risks (RT) and 95 % confidence intervals (IZ) for all deaths by sex and age groups, and due to different diseases in heat waves in year 2015 in Slovenia.



Slika 2. Dnevno število umrlih zaradi vseh vzrokov, zaradi bolezni obtočil, bolezni dihal in psevdo ekvivalentna temperatura v Sloveniji, v obdobju od 12. julija do 29. julija 2015 (vročinski val: od 14.7.2015 do 25.7.2015).

Figure 2. Daily number of deaths due to all causes, due to diseases of the circulatory system, due to the respiratory system diseases and pseudo equivalent temperature in Slovenia in the period from 12 July to 29 July 2015 (heat wave: from 14/7/2015 to 25/7/2015).

števila smrti pri moških zaradi bolezni dihal je bilo število smrti v obdobju vročinskih valov večje od pričakovanega (2 smrti), pri ženskah pa ni bilo razlike. Povezanost za moške je bila statistično neznačilna. Intervali zaupanja so zopet preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v povečanem številu smrti zaradi bolezni dihal med moškimi in ženskami v obdobju vročinskih valov in obdobju, ko ni bilo vročinskih valov (slika 1).

Pri pregledu števila smrti pri različnih starostnih skupinah v obdobju vročinskih valov in obdobju brez vročinskih valov so rezultati pokazali večjo variabilnost. Za vse vzroke smrti, za starostno skupino 5–74 let je bilo povečano število smrti v obdobju vročinskih valov višje od pričakovanega za 22 smrti, za starostno skupino 75 let in več pa 115 smrti. Za starostno skupino 75 let in več je bila povezava med obdobjem vročinskih valov in številom smrti zaradi vseh vzrokov statistično značilna (RT = 1.11, 95 % IZ 1.00–1.22). Intervali zaupanja so zopet preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v povečanem številu smrti zaradi vseh vzrokov med obema starostnima skupinama. Število smrti zaradi bolezni obtočil v starostni skupini 5-74 let je bilo v obdobju vročinskih valov višje od pričakovanega za 6 smrti, prav tako za starostno skupino 75 let in več za 92 smrti. Za starostno skupino 75 let in več je bila povezava med vročinskimi valovi in številom smrti zaradi bolezni obtočil statistično značilna (RT = 1.17, 95 % IZ 1.01–1.34). Intervali zaupanja so zopet preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v povečanem številu smrti zaradi bolezni obtočil med obema starostnima skupinama. Pri opazovanju smrti zaradi bolezni dihal pri starostni skupini 5-74 let v obdobju vročinskih valov ni bilo večjega števila smrti od pričakovanega, za starostno skupino 75 let in več pa je bilo nekoliko večje število smrti: 4 smrti, povezava pa ni bila statistično značilna. Intervali zaupanja so zopet preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v povečanem številu smrti zaradi bolezni dihal med obema starostnima skupinama (slika 1).

Na koncu smo grafično analizirali še najdaljši in najintenzivnejši vročinski val v letu 2015 v Sloveniji. Na grafu ni videti, da bi se število smrti v času vročinskega vala veliko spreminjalo, niti ni pričakovanega večjega ali manjšega števila smrti po vročinskem valu (slika 2).

Rezultati raziskave umrljivosti v obdobju vročinskih valov v letih 2006–2015

V obdobju V obdobju vročinskih valov v letih od 2006 do 2015 v Sloveniji smo ugotovili povečano umrljivost za celotno populacijo in sicer 43,221/100.000 prebivalcev, vendar ni bila statistično značilna. Od povečane umrljivosti je 23,002/100.000 prebivalcev umrlo zaradi bolezni obtočil in 2,06/100 000

prebivalcev zaradi bolezni dihal. Tudi umrljivosti v obdobju 2006 do 2015 in povezanosti z vročinskimi valovi zaradi drugih diagnoz (endokrine bolezni, nevrološke bolezni, bolezni prebavil, bolezni sečil in splovil, neoplazme in duševne bolezni) so bile vse statistično neznačilne.

Pri pregledu umrljivosti po spolu so rezultati dali podobno sliko, kot pri različnih diagnozah za celotno populacijo. Za umrljivost za vsemi vzroki smo ugotovili višjo umrljivost od pričakovane v času vročinskih valov za moške 33,242/100.000 prebivalcev in za ženske 81,219/100.000 prebivalcev, vendar je bila statistično neznačilna tako za moške kot za ženske. Intervali zaupanja so preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v povečani umrljivosti med moškimi in ženskami. Pri pregledu števila smrti pri moških zaradi bolezni obtočil je bila umrljivost višja od pričakovane in sicer 13,078/100.000 prebivalcev v obdobju vročinskih valov in pri ženskah 32,092/100.000 prebivalcev vendar statistično neznačilno pri obeh spolih. Intervali zaupanja so zopet preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v umrljivosti zaradi bolezni obtočil med moškimi in ženskami. Pri pregledu števila smrti pri moških zaradi bolezni dihal je bila umrljivost povečana od pričakovane 2,445/100.000 prebivalcev v obdobju vročinskih valov in pri ženskah 4,408/100.000 prebivalcev. Povezanost za moške in ženske je bila statistično neznačilna. Intervali zaupanja so bili zopet preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v umrljivosti zaradi bolezni dihal med moškimi in ženskami.

Pri pregledu umrljivosti po različnih starostnih skupinah v obdobju vročinskih valov in obdobju brez vročinskih valov so rezultati pokazali večjo variabilnost. Za vse vzroke smrti za starostno skupino 5–74 let smo ugotovili povišano umrljivost v času vročinskih valov: 9,107/100.000 prebivalcev, za starostno skupino 75 let in več pa 455,428/100.000 prebivalcev. Za starostno skupino 75 let in več je bila povezava med vročinskimi valovi in umrljivostjo zaradi vseh vzrokov statistično značilna (RT = 1,09, 95 % IZ 1,04–1,15). Intervali zaupanja so zopet preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v povečani umrljivosti zaradi vseh vzrokov med obema starostnima skupinama. Umrljivost zaradi bolezni obtočil za starostno skupino 5–74 let je bila povečana umrljivost v času vročinskih valov višja od pričakovane 31,458/100.000 prebivalcev, za starostno skupino 75 let in več pa 307,203/100.000 prebivalcev. Za starostno skupino 75 let in več je bila povezava med vročinskimi valovi in umrljivostjo zaradi bolezni obtočil statistično značilna (RT = 1,13, 95 % IZ 1,05–1,2). Intervali zaupanja so zopet preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v umrljivosti zaradi bolezni obtočil med obema starostnima skupinama. Za umrljivost zaradi bolezni dihal, za starostno skupino 5–74 let nismo ugotovili višje umrljivosti v času vročinskih valov od pričakovane, za starostno skupino 75 let in več pa je bila povišana 35,58/100.000 prebivalcev ni pa bila statistično značilna. Intervali zaupanja so zopet preširoki, da bi lahko utemeljili kakršnokoli razliko v umrljivosti zaradi bolezni dihal med obema starostnima skupinama.

Razprava

Ekstremni vremenski dogodki, kot so na primer vročinski valovi v poletnem času, se pojavljajo tudi v Sloveniji. Pri interpretaciji zaključkov glede smrti/umrljivosti v vseh vročinskih valovih, tako tistih, ki so se pojavili samo v letu 2015 in tistih, ki so se pojavili tekom desetih let od 2006 do 2015, moramo upoštevati, da v Sloveniji umre majhno število prebivalcev na dan in rezultati slonijo tudi na definiciji vročinskih valov, ki ni poenotena med državami. Povprečno je v Sloveniji v opazovanih 10 letih umrlo v času vročinskih valov 7 % prebivalcev več od pričakovanega. Vpliv vročinskih valov v Sloveniji na število smrti/umrljivost kaže naraščajoč trend za tiste stare več kot 75 let in za tiste z boleznimi obtočil. Pri tem je potrebno omeniti, da smo v tem času že opozarjali na negativne vplive vročinskih valov. Poleg tega je iz leta v leto vse več prostorov opremljenih s klimatskimi napravami.

Starost je dobro poznan dejavnik tveganja za povečano umrljivost med vročinskimi valovi in je bil dokazan v številnih raziskavah (Åström 2011; Kenny 2003). Ogroženost starejših lahko pripišemo fiziološkim in socialnim dejavnikom, kot so: starostniki večkrat živijo sami, pogosta je polimorbidnost, uporaba različnih zdravil, počasnejša sposobnost prilagajanja in neustrezno vedenje v času vročinskih valov, omejen dostop do zdravstvene pomoči in pomanjkanje klimatskih naprav (Åström 2011; Kenny 2003).

Kar zadeva bolezni obtočil, vemo da vročina poveča minutni volumen srca, povzroči prerazporeditev krvi iz notranjih organov na periferijo, kjer povzroči razširitev žil in poveča potenje ter verjetnost za trombozo. Odgovor telesa se poslabša pri starejših še zaradi omejene termoregulacijske kapacitete in višjega nivoja holesterola, kar poveča verjetnost za akutne koronarne dogodke (Keating 1986). Poleg tega sistemi v telesu ne delujejo ločeno: okužba ali vnetje dihalnih poti lahko pospeši razvoj aterosklerotičnih plakov in posledično hiperkoagulacijo, kar vodi do trombotičnih dogodkov (Lavallee 2002).

Ostali rezultati naše raziskave se nekoliko razlikujejo od drugih objavljenih raziskavah umrljivosti v času vročinskih valov. Učinek vročinskih valov na umrljivost v Sloveniji ni bil močnejši pri ženskah kot pri moških,

tako pri celotni populaciji, kot pri boleznih obtočil ali boleznih dihal, kar so nekatere tuje raziskave potrdile (Anderson 2009, Basu 2008; Hajat 2010). Ta fenomen lahko pripišemo dejstvu, da ženske dosežejo višjo starost, kot moški in starejši več umirajo zaradi učinka vročinskih valov (Hajat 2010). Ne moremo pa izključiti tudi vpliva kulturnih razlik in različnih navad starejšega dela ženske in moške populacije v različnih okoljih. Čeprav v Sloveniji ženske prav tako živijo dlje, v raziskavi nismo potrdili takšne povezanosti. V naši raziskavi prav tako nismo potrdili povezanosti med umrljivostjo zaradi vročinskih valov zaradi bolezni dihal, endokrinih bolezni, nevroloških bolezni, bolezni prebavil, bolezni sečil in splovil ter neoplazem, kar je v nasprotju z nekaterimi do sedaj objavljenimi raziskavami (Bouchama 2007; D'Ippoliti 2010; Conti 2007, Hansen 2008a; Hansen 2008b; Kauser 2001). Izpostavljenost visokim temperaturam lahko v pljučih izzove nastajanje vnetnih dejavnikov, pospeši frekvenco dihanja in poslabša kronična, obstruktivna obolenja dihal, ki so pogosta pri starejših. Kronična obolenja, kot je sladkorna bolezen lahko povzroči presnovno, srčno-žilno, nevrološko in vedenjsko okvaro, ki oslabi ustrezen termoregulacijski odziv v obdobju vročinskega stresa. Slab nadzor nad koncentracijo glukoze v krvi in nevropatije preprečujejo potenje ob visoki vročini bolnikom s sladkorno boleznijo tipa 2, kar je zaskrbljujoče, saj pogostost debelosti in sladkorne bolezni v Sloveniji naraščata. Podobno pri izpostavljenosti vročini pride do prerazporeditve krvnega obtoka iz žil notranjih organov na periferijo, kar pomeni stres za ledvice (Kenny 2010). V več raziskavah so tudi potrdili povezanost med vročinskimi valovi in umrljivostjo zaradi bolezni živčevja in duševnih bolezni, vendar pa učinki vročine pri tovrstnih bolnikih niso natanko znani. Mehanizmi pri tistih z boleznimi živčevja so med drugim lahko: slaba skrb zase, ne dovolj dobra zdravstvena oskrba in posledice fizioloških procesov staranja (Bouchama 2007; Hansen 2008b; Kaiser 2001) .

Nekatere raziskave so potrdile domnevo, da visoke temperature povzročijo večjo umrljivost še nekaj časa po vročinskem valu (ang. tako imenovan »lag«) (Semenza 1999). Glede na naše grafične analize (sekvenčni diagrami) tega fenomena v Sloveniji nismo dokazali, zato smo zadržani pri interpretaciji. Niti nismo opazili upada števila smrti po vročinskih valovih, kar naj bi bila posledica povečanega števila smrti v času vročinskega vala (ang. tako imenovan »harvesting«) (Alberdi 1998).

Zavedamo se, da imajo rezultati naše raziskave nekatere pomanjkljivosti. Pomanjkljivost je nedvomno majhen vzorec in kot lahko vidimo na sliki 1, so 95 % intervali zaupanja zelo široki in interpretacija zato težka. To je deloma posledica majhne populacije v Sloveniji, vendar pa so po drugi strani zabeleženi samo osnovni vzroki smrti in zanimivo bi bilo vedeti še druge vzroke, kot so poškodbe, druge bolezni in stanja ali dogodki, ki so privedli do smrti. Pomanjkljivost raziskave je tudi, da nismo upoštevali drugih motečih dejavnikov, ki so prav tako povezani s povečano umrljivostjo v poletnem času.

Pomen raziskave

Podnebne spremembe postajajo vse bolj pomembna tema v javnem zdravju na področju zdravja in okolja. V svetu in Evropi so bile izvedene številne epidemiološke raziskave, ki so ugotovile povezanost med povečano umrljivostjo in vročinskimi valovi za različne ranljive skupine. Glede na to, da se tudi v slovenskem prostoru pojavljajo ekstremni vremenski pogoji, ki vključujejo tudi visoke temperature v poletnih mesecih, je nujno, da natančneje pregledamo stanje tudi za našo državo.

Glede razvoja stroke bodo rezultati dali nujne znanstvene temelje za na dokazih podprte ukrepe v Sloveniji, pri blaženju posledic, ki jih pričakujemo v umrljivosti zaradi vročinskih valov. V raziskavi smo razjasnili, katere ranljive skupine so ogrožene v Sloveniji in ker v prihodnosti pričakujemo še daljše, močnejše ter bolj pogoste (Meehl 2004) vročinske valove, je pregled stanja pomemben za Slovenijo in druga podobna območja v Evropi. Rezultati bodo lahko pripomogli k boljši politiki pri preprečevanju posledic vročinskih valov z boljšimi strategijami za enakost do zdravja za vse.

Raziskava lahko predstavlja dobro izhodišče za nadaljnje raziskave na tem področju. V prihodnosti bodo potrebne dodatne raziskave, ki bodo lahko dale uvid v prilagoditev na vročinske valove v Sloveniji, prav tako je potrebno pregledati povezanost med obolevnostjo in vročinskimi valovi. Pomembno pomanjkljivost v raziskavi lahko predstavlja neupoštevanje potencialnih motečih dejavnikov, ki prav tako prispevajo k večji umrljivosti v poletnem času. To so predvsem troposferski ozon v poletnem obdobju, druga onesnaževala zunanjega zraka (delci različnih velikosti), kot tudi prisotnost onesnaževal v notranjem okolju. Prav tako sta pomembna tudi socialno-ekonomski status in življenje v mestu ali na podeželju.

Viri

Agencija Republike Slovenije za Okolje. Kazalci okolja. Število umrlih v času vročinskih valov. Pridobljeno 25.2.2017 s spletne strain: http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=685

Alberdi J C, Diaz J, Montero J C, et al.1998: Daily mortality in Madrid community 1986-1992: relationship with meteorological variables. Eur J Epidemiol. 14: 571-578.

Anderson BG, Bell ML. 2009: Weather-Related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. Epidemiology. 20(2):205-2013.

Åström DO, Forsberg B, Rocklöv J. 2011: Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: a review of recent studies. Maturitas. 69:99-105.

Baccini M, Biggeri A, Accetta G, Kosatsky T, et al. 2008: Health effects on mortality in 15 European cities. Epidemiology. 19(5):711-719.

Basu R, Samet JM. 2002: Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of epidemiological evidence. Epidemiological Reviews. 24(2):190-202.

Basu R, Feng WY, Ostro BD.2008: Characterizing temperature and mortality in nine Californian countis. Epidemiology. 19:138-145.

Basu R .2009: High ambient temperature and mortality: a review of epidemiological studies from 2001 to 2008. Environmental health. 8(1): 40.

Bouchama A, Dehbi M, Mohamed G, Mattihies F, et al.2007: Prognostic Factors in heat wave related deaths: a meta-analysis. Arch Intern Med. 167:2170-2176.

Conti S, Masocco M, Meki P, et al. 2007: General and specific mortality among the elderly during the 2003 heatwave in Genoa (Italy). Environ Res. 103:267-274.

D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, et al. 2010: The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from EuroHEAT project. Environ Health. 9:37-45.

Hajat S, Kosatky T.2010: Heat related mortality: a review and exploration of heterogenity, J Epidemiol Community Health. 64:753-760.

Hansen AL (a), Bi P, Ryan P, et al.2008: The effect of heat waves on hospital admissions for renal disease in a temperate city of Australia. Int J Epidemiology. 37:1359-1365.

Hansen A (b), Bi P, Nithschke M, et al. 2008: The effect of heat waves on mental health in a temperate Australian cities. Environ Health Perspect. 116:1369-1375.

Hoshiko S, English P, Smith D, et al. 2010: A simple methode for estimating excess mortality due to heat waves, as applied to the 2006 Claifornia heat wave. Int J Public Health. 55:133-137.

IPCC. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Edited by: Solomon S, Quin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, TignorM, Miller HL. United Kingdom and New York, NY, USA. Cambridge University Press 996.

Kaiser R, Rubin CH, Henderson AK, et al.2001: Heat-related deathand mental ilness during the 1999 Cincinnati heat wave. Am J Forensic Med Pathol. 22:303-307.

Keating W R, Coleshaw S R, Easton J C, et al.1986: Increased platelet and red cell counts, blood viscosity and plasma cholesterol levels during heat stress and moratality from coronary and cerebral throbosis, Am J Med. 81: 795-800.

Kenney WL, Munce TA. 2003: Invited review: ageing and human temperature regulation, J Appl Physiol. 95:2598-2603.

Kenny G P, Yardley J, Brown C, et al.2010: Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases CMAJ. 182: 1053-1060.

Kilbourne EM, Choi K, Jones TS, Thacker SB.1982: Risk factors for heatstroke. A case-control study. JAMA. 247(24):3332-3336.

Knowlton K, Rotkin Ellman M, King G, et al.2009: The 2006 Claifornia heat wave : impact on hospitalization and emergency department visits. Environ Health Prespect. 117: 61-67.

Kovats RS, Kristie LE. 2006: Heat waves and public health in Europa. European Journal of Public Health. 16:592-599.

Kovats RS, Hajat S. 2008: Heat stress and public health: a critical review. Annual Review of Public Health. 29:41-55.

Lavallee P, Perchaud V, Gautier Bertrand M, et al. 2002: Assocciation between influenza vaccination and reduced risk of brain infarction. Stroke. 33: 513-518.

Le Terte A, Lefranc A, Eilstein D, et al. 2006: Impact of the 2003 heatwave on all cause mortality in 9 French cities. Epidemiology. 17(1):75-79.

Meehl GA, Tebaldi C.2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in 21th century. Science. 305:994-997.

Prince MI, Wu F, Guo J.2015: The burden of disease in older people and implications for health policy and practice. Lancet. 385:549-562.

Semenza JC, Rubin CH, Falter KH, et al. 1996: Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. New England Journal of Medicine. 335(2):84-90.

Semenza JC, McCullough D, Flanders W D, et al.1999: Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. Am J prev Med. 16: 269-277.

Semenza JC, Wilson DJ, Parra J, Bontempo BD, Hart M, Sailor DJ, et al.2008: Public perception and behavior change in relationship to hot weather and air pollution. Environ Res. 107(3):401-411.

Sommet A, Durrieu G, Lapeyre-Mestre M, Montastruc JL. 2012: Association of French Pharmaco Vigilance Centres. A comparative study of adverse drug reactions during two heat waves that occurred in France in 2003 and 2006. Pharmacoepidemiol Drug Saf. 21(3):285-288.

Statistični Urad Republike Slovenije. Regije v številkah. Pridobljeno 25.2. 2017 s spletne strain: http://www.stat.si/StatWeb/File/DocSysFile/8941

Tomšič S, Šelb Šemerl J, Omerzu M. 2008: Vpliv vročinskih valov na umrljivost ljudi. In: Svetovni dan zdravja 2008. Podnebne spremembe vplivajo na zdravje: moje, tvoje, naše. Ljubljana: Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije, 22-24.

United Nation, 2013. Department of Economic and Social Affairs, Population Devision. World Population Ageing 2013 ST/ESA/SER.A/348.

Viggoti MA, Muggeo VM, Cusimano R. 2006: The effect of birth-place on heat tolerance and mortality in Milan, Italy, 1980-1989. Int J Biometeorol. 50:335-341.

Obravnava vročinskih valov na Biotehniški fakulteti v okviru EU projekta Heat-Shield

dr. Tjaša Pogačar in dr. Lučka Kajfež-Bogataj, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, (tjasa.pogacar@bf.uni-lj.si)

Povzetek

Ob dogovorih glede čim bolj poenotene definicije vročinskega vala v Sloveniji predstavljamo naše raziskovalno delo na področju vročinskih valov od leta 2016 dalje. S to problematiko se na Biotehniški fakulteti trenutno ukvarjamo predvsem zaradi sodelovanja v evropskem projektu Heat-Shield. Pri tem smo naleteli na težavo, saj večinoma evropske države nimajo enotno definiranega vročinskega vala in primernega kazalnika za opredelitev vročinskega stresa. V projektu se namreč osredotočamo na toplotno obremenitev delavcev. Preizkusili smo nekaj definicij in kazalcev, predstavljamo pa dosedanje rezultate z uporabo definicije, da nastopi vročinski val, ko so najvišje dnevne temperature zraka vsaj 5 dni enake ali višje od 29,5 °C. Za naslavljanje javnosti je definicija primerna, ker je enostavna in razumljiva, vendar onemogoča primerjavo z rezultati analiz v drugih državah. Tudi grafični prikazi morajo biti v ta namen nazorni (primer – časovnica na sliki 1). Za določanje toplotne obremenitve delavcev priporočamo uporabo kazalnika WBGT, za katerega bodo v okviru projekta pripravljene tudi projekcije podnebnih sprememb in mesečne napovedi.

Ključne besede: *vročinski val, Heat-Shield, temperaturni prag, kazalnik WBGT*

Abstract

Due to the ongoing efforts of Slovenian meteorologist to define the heat wave, our work in this field is presented from 2016 onwards. At the Biotechnical Faculty, there is currently some focus on heat waves due to participation in the European Heat-Shield project. This problem was detected already at the beginning of the project as most European countries have not defined heat wave and a suitable indicator for heat stress yet. The focus of the project is on the heat load of workers. A few definitions and indicators were tested and results using the definition that heat wave occurs, when is the daily maximum air temperature for at least 5 days equal or higher than 29.5 °C are presented. The definition is adequate to address the public because it is simple and understandable, but it makes it impossible to compare the results of the analysis with other countries. Graphics also have to be very illustrative (an example is the timeline in figure 1). To determine the thermal load of workers we recommend the use of the WBGT index, for which projections of climate change and monthly forecasts will be provided during the next stage of the project.

Key words: *heat wave, Heat-Shield, temperature threshold, WBGT index*

Uvod

S poglobljeno obravnavo vročinskih valov smo se na Biotehniški fakulteti začeli ukvarjati v okviru projekta Heat-Shield (medmrežje 4), ki je finančno podprt s strani EU (programski okvir Obzorja 2020) in naslavlja negativne vplive vročinskega stresa na delovnem mestu na zdravje in produktivnost delovne sile v EU. Obravnavamo vplive naraščanja pojava prevročih delovnih razmer zaradi podnebnih sprememb v tem stoletju in učinke blaženja podnebnih sprememb na zdravje in produktivnost na delovnem mestu. Pripravili bomo strategije prilagajanja za glavne gospodarske panoge v EU: industrijo, gradbeništvo, prevozništvo, turizem in kmetijstvo. Te po podatkih OECD (medmrežje 1) skupaj predstavljajo 40 % BDP in 50 % delovne sile v EU. Smo skupina dvanajstih raziskovalnih institucij, dveh uradnih služb, štirih podjetij in dveh nevladnih organizacij širom EU. Projekt dodatno podpirajo nekateri odločevalci, nevladne organizacije in deležniki iz gospodarstva.

S projektom želimo nasloviti negativne vplive vročinskega stresa na delovnem mestu na zdravje in produktivnost delavcev v evropskih strateških panogah in možno povečanje vplivov zaradi

poglabljanja učinkov podnebnih sprememb. Podnebne spremembe in z njimi povezana izpostavljenost vročini na delovnem mestu so med največjimi grožnjami globalnemu zdravju v 21. stoletju s hudimi posledicami za kakovost življenja. Naraščanje vročinskega stresa pomeni rastoč izziv za večino družbenih okolij. Raziskave po svetu so poleg dobro znanih učinkov izpostavljenosti vročini potrdile še značilno zmanjšano produktivnost, kadar so temperature v delovnem okolju previsoke. (Franchetti in Komaki 2012; Kosonen in Tan 2014). Nadalje poškodbe in smrti na delovnem mestu pomenijo zavarovalne zahtevke in sodniške postopke, kakor tudi slabše javno mnenje o podjetju. S staranjem delovne sile se odpornost na vročinski stres manjša, kar pomeni nadaljnje negativne učinke na zdravje in produktivnost. Zato ni presenetljivo, da več kot polovico (56 %) ocenjenih skupnih ekonomskimih stroškov posledic podnebnih sprememb v letu 2030 pripisujejo vročini na delovnem mestu (Costa in sod. 2016). Zmanjšanje vplivov naraščajočih temperatur v industriji, gradbeništvu, prevozništvu, turizmu in kmetijstvu bo pomenilo dve vrsti strateških koristi za omenjene panoge:

- zagotovilo bo kakovostnejše delovne razmere delovne sile;
- z blaženjem zmanjševanja produktivnosti se bo izboljšala konkurenčnost EU.

Zgoraj zapisano bo doseženo postopno, z uresničevanjem posameznih ciljev (preglednica 1).

Ker bi evropski družbi vse od posameznika do javnih in privatnih odločevalcev radi zagotovili znanje za uvedbo metod in postopkov, ki bodo ohranjali zdravje in produktivnost delavcev navkljub poslabšanju toplotnih razmer v delovnem okolju, bomo pripravili vrsto sodobnih rešitev, ki bodo vključevale:

- poročilo o oceni sedanjih tveganj na področju zdravja na delovnem mestu zaradi vročinskega stresa, kot tudi predvidenega poslabšanja stanja v nekaterih delovnih okoljih zaradi podnebnih sprememb;
- razvoj primernih tehničnih in biofizičnih rešitev za kljubovanje z vročino izzvanemu tveganju za zdravje delavcev v glavnih evropskih gospodarskih panogah;
- razvoj prosto dostopnega portala za napovedi in opozorila pred dogodki, ki bi lahko predstavljali nevarnost za zdravje delavcev;
- razširjanje smernic za varovanje zdravja delavcev, njihovo dobro počutje in produktivnost pomembnim deležnikom;
- oceno učinkovitosti zasnovanih smernic glede zdravja delavcev ter gospodarske in družbene koristi pa tudi njihovega vpliva na zmanjševanje zdravstvenih in družbenih neenakosti.

V Sloveniji in drugih evropskih državah se je že v začetni fazi projekta pokazala težava – države nimajo nacionalnih definicij vročinskega vala, prav tako pa ni enotnih evropskih smernic, ki bi posamezne države vodile k odločitvi. Poleg tega smo morali izbrati kazalnik, ki bi dobro opisoval vročinsko obremenitev delavcev. Za Slovenijo smo preizkusili nekaj definicij vročinskega vala, kazalnik smo izbirali na evropski ravni za nadaljnje potrebe projekta.

Podatki in metode dela

Izbiranje definicije za opredelitev vročinskega vala

Že Šelb-Šemerl in Tomšič (2008) sta ugotovili, da enotna definicija za vročinske valove ne obstaja. Pomembno je namreč za kakšno geografsko lego, letne čase, aklimatizacijo ljudi ter za kakšne potrebe bi vročinski val radi opredelili. Robinson (2001) meni, da ob določanju vročinskih valov na podlagi določenih temperaturnih pragov lahko nastane težava, da se pojav vročinskih valov omejuje samo na poletja, kljub temu, da so lahko prisotni tudi v drugih letnih časih. Svetovna meteorološka organizacija zato, na

Preglednica 1. Predvideni koraki v projektu Heat-Shield
Table 1. Planned steps in Heat-Shield project

Korak 1	Napoved vremenskih vzorcev in prihodnjih delovnih razmer v Evropi za različne scenarije podnebnih sprememb.
Korak 2	Ocena vplivov zgornjih napovedi na zdravje in produktivnost delavcev v industriji, gradbeništvu, prevozništvu, turizmu in kmetijstvu v Evropi. Ocenjena bo ranljivost na vročino v omenjenih panogah za različne skupine delavcev glede na starost in spol.
Korak 3	Iskanje in izboljšava tehničnih in biofizičnih rešitev za zmanjšanje vročinskega stresa v delovnem okolju.
Korak 4	Oblikovanje usmeritev za ohranjanje zdravja in preprečevanje zmanjšanja produktivnosti delavcev na osnovi podatkov o toplotnih obremenitvah (z visoko ločljivostjo za posamezno panogo, regijo in podnebni scenarij).
Korak 5	Razvoj prosto dostopnega portala, s katerim bomo pomagali gospodarskim panogam in družbi predvideti nevarnosti za zdravje delavcev in ki bo služil za razširjanje smernic za prilagajanje pomembnim deležnikom.
Korak 6	Ocena učinkovitosti zasnovanih smernic in prosto dostopnega portala glede zdravja delavcev ter ekonomskih in družbenih koristi.

primer, vročinski val definira kot obdobje, ko najvišje dnevne temperature zraka 5 ali več zaporednih dni za vsaj 5 °C presegajo povprečne najvišje dnevne temperature v obdobju 1961–1990 (medmrežje 2). Russo in sod. (2015) so za ocenjevanje jakosti vročinskih valov definirali indeks HWMId. Indeks vročinski val definira kot zaporedje najmanj treh dni z najvišjo dnevno temperaturo zraka nad dnevno mejno vrednostjo, ki jo določimo kot 90. centil referenčnega obdobja. Vrednost indeksa HWMId predstavlja vsoto odstopanj najvišje temperature zraka vseh dni v vročinskem valu. Tu se kaže prednost uporabe centilne meje, saj z uporabo absolutne ne moremo primerjati vročinskih valov v severni in južni Evropi, čeprav so posledice zaradi različne aklimatiziranosti ljudi lahko primerljive.

Ob preizkušanju navedenih možnosti, smo se na podlagi izkušenj komuniciranja z javnostmi odločili, da mora biti vročinski val določen jasno in razumljivo vsakemu posamezniku. S tega vidika podpiramo izbiro določenega števila dni z najvišjimi dnevnimi temperaturami nad določenim pragom. Pri dosedanjih analizah smo na podlagi delnih rezultatov analiz in preteklih izkušenj izbrali mejo 5 dni nad pragom za najvišje dnevne temperature zraka 29,5 °C. Namesto 30 °C smo izbrali 29,5 °C, ker je velikostnega reda 0,5 °C lahko še napaka meritev pa tudi v primeru zaokroževanja se te vrednosti zaokrožijo navzgor na 30 °C. Poleg tega je Joint Research Centre v svoji publikaciji o vplivih podnebnih sprememb na zdravje ljudi v Evropi (Paci 2014) določil prag povečane smrtnosti zaradi vročine za urbana območja na 29,4 °C in za podeželje 29,9 °C (Evropo so v tem primeru razdelili le na severni kontinentalni del in Mediteran – vrednosti sta za Mediteran, kamor Slovenija po tej osnovni delitvi bolj sodi). V literaturi se kot dodatni zaostritveni pogoj pojavlja še vpeljava nočnega temperaturnega praga, ki ga nismo želeli uporabiti, saj je po našem mnenju pomembnejši za rastline in živali kot za ljudi. Ljudje se ponoči namreč zadržujemo v notranjih prostorih, kjer si vsaj do določene mere sami uravnavamo temperaturo zraka. Temperaturni prag, ki bi slonel na izmerjenih najnižjih dnevnih temperaturah zraka, tako ne odraža realnega stanja in ni objektiven.

Opredelitev izrazitosti in drugih lastnosti vročinskega vala

Dodatno težavo predstavlja želja po meri, ki bi vročinski val opisala v celoti. Kjer bi upoštevali število dni v vročinskem valu, temperaturne presežke in prikazali razlike med, na primer, julijskim in septembrskim vročinskim valom. Pri opisu ali primerjavi vročinskih valov namreč želimo iskati trende sprememb skozi izbrana obdobja z obravnavo posameznih let. Tako lahko definiramo več meteoroloških izvedenih spremenljivk v letni časovni skali ali za daljše obdobje :

- število vročinskih valov,

Preglednica 2. Pregled ustreznosti nekaterih kazalnikov toplotne obremenitve glede na zahteve projekta Heat-Shield. Tw - Wet-bulb temperature, CET - Corrected effective temperature, WBGT – Wet bulb globe temperature index, AT- Apparent temperature oz. Humidex (Australia), UTCI – Universal thermal climate index (prevedeno iz internega poročila WP1 projekta Heat-Shield).

Table 2. Overview of the adequacy of some indices of heat load according to Heat-Sheild project requirements (translation from the internal WP1 report of Heat-Shield project).

Vprašanje	Tw	CET	WBGT	AT	UTCI
Ali je kazalnik koreliran s specifičnimi vplivi vročine na zdravje in produktivnost?	Ne	Ne	Da	Ne	Ne
Ali lahko s kazalnikom opredelimo vpliv vročine v senci in na soncu?	Ne	Da	Da	Ne	Da
Ali lahko izračunamo kazalnik iz podatkov osnovne meteorološke postaje?	Da	?	Da	Da	Da
Ali je na voljo preverjena enačba za izračun?	Da	?	Da	Da	Da
Ali je kazalnik primeren za ocene večje toplotne obremenitve v prihodnosti?	Da	Da	Da	?	?
Ali lahko kazalnik uporabimo na različnih delovnih mestih in je rangiran za različne stopnje vročinskega stresa?	Ne	Da	Da	Ne	Ne
Ali lahko pri uporabi kazalnika upoštevamo različne metabolične stopnje in vpliv oblačil?	Ne	?	Da	?	Ne
Ali je dokumentiranih dovolj izkušenj z uporabo kazalnika pri raziskavah zdravja na delovnem mestu?	Ne	?	Da	?	Ne
Ali je dokumentiranih dovolj izkušenj z uporabo kazalnika pri raziskavah zdravja na delovnem mestu?	Ne	Da	Da	?	Da
Ali obstajajo objave, ki kazalnik kritizirajo z dejanskimi dokazi, ki podpirajo njihove zaključke?	Ne	Da	Da	?	?
Ali je mogoče vrednosti kazalnika enostavno razumeti in sporočati?	Da	Da	Da	Da	Da
Ali je bil kazalnik potrjen z laboratorijskimi raziskavami ali raziskavami na terenu?	Ne	Da	Da	?	?

- število dni v vročinskih valovih,
- povprečno najvišjo temperaturo zraka v vročinskih valovih,
- vsoto odstopanje najvišjih dnevnih temperatur zraka v vročinskih valovih od praga, ki določa vročinski val,
- vsoto odstopanj urnih temperatur zraka v vročinskih valovih od praga,
- datum nastopa prvega/zadnjega vročinskega vala,
- razmerje med številom vročih dni in številom dni v vročinskem valu
- in podobno.

Poleg tega je za razumevanje pojava pomembno, kako rezultate čim bolj razumljivo grafično prikažemo.

Izbira kazalnika toplotne obremenitve

Kot pri določanju vročinskih valov, se tudi pri kazalnikih toplotne obremenitve kaže ogromno možnosti. Sodelavci v projektu Heat-Shield so za pomoč pri izbiri kazalnika na podlagi preteklih raziskav in izkušenj ustvarili preglednico 2. Za nadaljnjo uporabo je bil izbran kazalnik *WBGT* (Wet Bulb Globe Temperature index).

Za izračun (Lemke in Kjellstrom 2012 po Bernard in Pourmoghani 1999) vrednosti v senci (oz. v notranjih prostorih) potrebujemo podatke o temperaturi zraka (T_a) in temperaturi rosišča (T_d ; ki jo lahko določimo iz relativne vlage):

$$WBGT = 0{,}67 \cdot T_{pwb} + 0{,}33 \cdot T_a$$

pri čemer je T_{pwb} psihrometrična temperatura mokrega termometra (umetno ustvarjeni pogoji vetra s hitrostjo 3-5 m/s), ki jo z iteracijo določimo iz temperature zraka in rosišča (enačbe v McPherson (2008)). Za izračun vrednosti na soncu potrebujemo dodatno podatke o sončnem sevanju in vetru (Liljegren in sod. 2014). Pri tem se je potrebno zavedati, da je pragove za opozorilni sistem potrebno izbrati glede na aklimatiziranost delavcev, napor pri njihovem delu, oblačila, pretok zraka, starost, spol itd. Osnovna primerjava različnih pragov za aklimatizirane delavce je prikazana v preglednici 3.

Rezultati z razpravo

Vročinski valovi – uporaba različnih definicij

Kot smo prikazali v reviji Ujma (Pogačar in sod. 2016a) smo za primerjavo z najhujšimi evropskimi vročinskimi valovi izračunali kazalnik HWMId za Ljubljano in Celje od leta 2000 naprej (preglednica 4) z referenčnim obdobjem 1971–2000. Vrednosti so večinoma med 0 in 10, kazalnik doseže večjo vrednost le izjemoma. Največja vrednost kazalnika je bila v Evropi dosežena v vročinskem valu leta 2010 v Rusiji, in sicer 71,9. Šesto zaporedno največjo vrednost HWMId (26) med najhujšimi vročinskimi valovi je dosegel vročinski val v srednji Evropi leta 2015. V tem letu je bila vrednost za Ljubljano 14,3. Na sedmem mestu je grški vročinski val leta 2007 (22,9), HWMId za Ljubljano istega leta je 10,3 in za Celje 10,2. Največja dosežena vrednost v Ljubljani je 27,4 leta 2013, v Celju pa 16,7 istega leta. Najvišji HWMId za Ljubljano je tako primerljiv z vrhom petega ocenjenega najhujšega vročinskega vala v Evropi.

Kot smo že omenili v predhodnem poglavju, smo se nagibali k enostavnejši definiciji z nazorno

Preglednica 3. Primerjava pragov kazalnika WBGT za aklimatizirane delavce ob majhnih hitrostih tokov zraka. ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists, AIHA - American Industrial Hygiene Association OSHA - Occupational Safety and Health Administration, ISO - International Organization for Standardization, NIOSH - The Nation Institute for Occupational Safety and Health (povzeto po medmrežje 3).

Table 3. Comparison of WBGT index thresholds for acclimatized workers at low air stream velocities (according to medmrežje 3).

Delo	ACGIH	AIHA	OSHA	ISO	NIOSH
Počivanje		32,2 °C (117 W)		33 °C (117 W)	
Lahko	30 °C (117-233 W)	30 °C (233 W)	30 °C (233 W)	30 °C (117-234 W)	30 °C (233 W)
Zmerno	26,7 °C (234-407 W)	26,7 °C (349 W)	27,8 °C (234-349 W)	28 °C (234-360 W)	28 °C (234-349 W)
Težko			26,1 °C (350 W)	25 °C (360-468 W)	26 °C (350-465 W)
Zelo težko	25 °C (407-581 W)			23 °C (468 W)	25 °C (466-580 W)

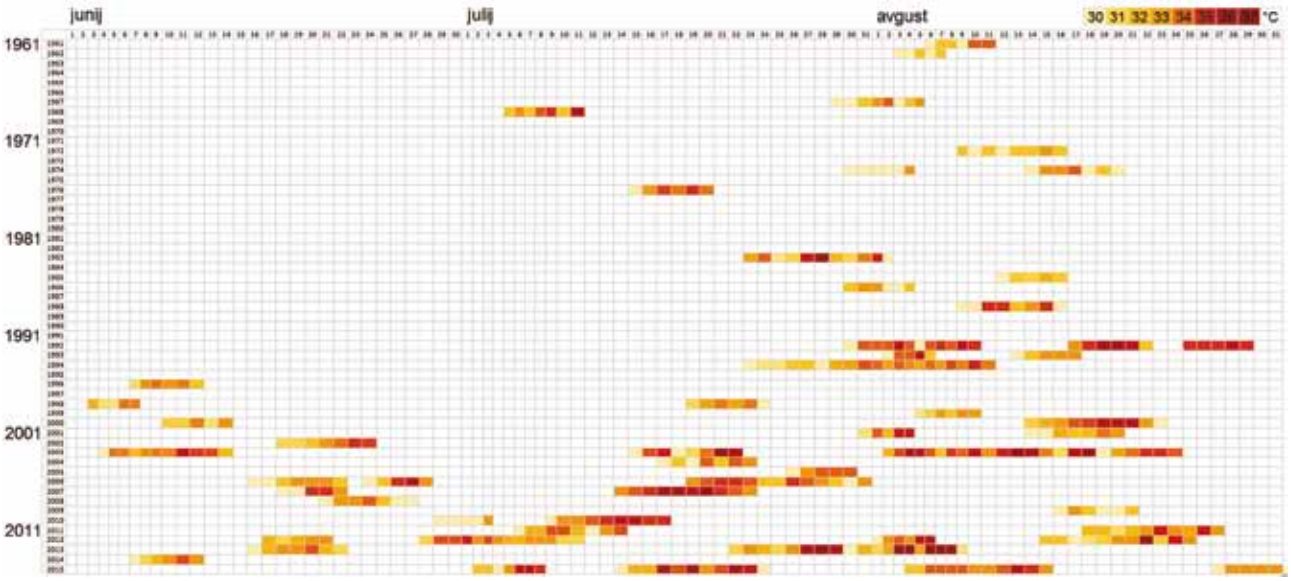
Preglednica 4. Izračunane vrednosti kazalnika HWMId v obdobju 2000–2015 za Ljubljano in Celje (Pogačar in sod. 2016a)

Table 4. Calculated values of HWMId index for the period 2000–2015 in Ljubljana and Celje (Pogačar in sod. 2016a)

Meteorološka postaja	Ljubljana		Celje	
Leto	HWMId	Trajanje (dni)	HWMId	Trajanje (dni)
2000	6,9	7	5,7	8
2001	4,1	4	0,5	3
2002	2,0	12	2,2	7
2003	7,6	7	8,4	8
2004	2,4	5	0,8	4
2005	3,9	4	1,8	4
2006	6,2	5	2,8	5
2007	10,3	7	10,2	10
2008	0,0	0	0,7	6
2009	0,0	0	0,3	3
2010	5,6	8	5,8	8
2011	11,6	10	9,5	10
2012	9,9	7	8,2	8
2013	27,4	9	16,7	9
2014	2,7	7	2,0	6
2015	14,3	9	8,6	9

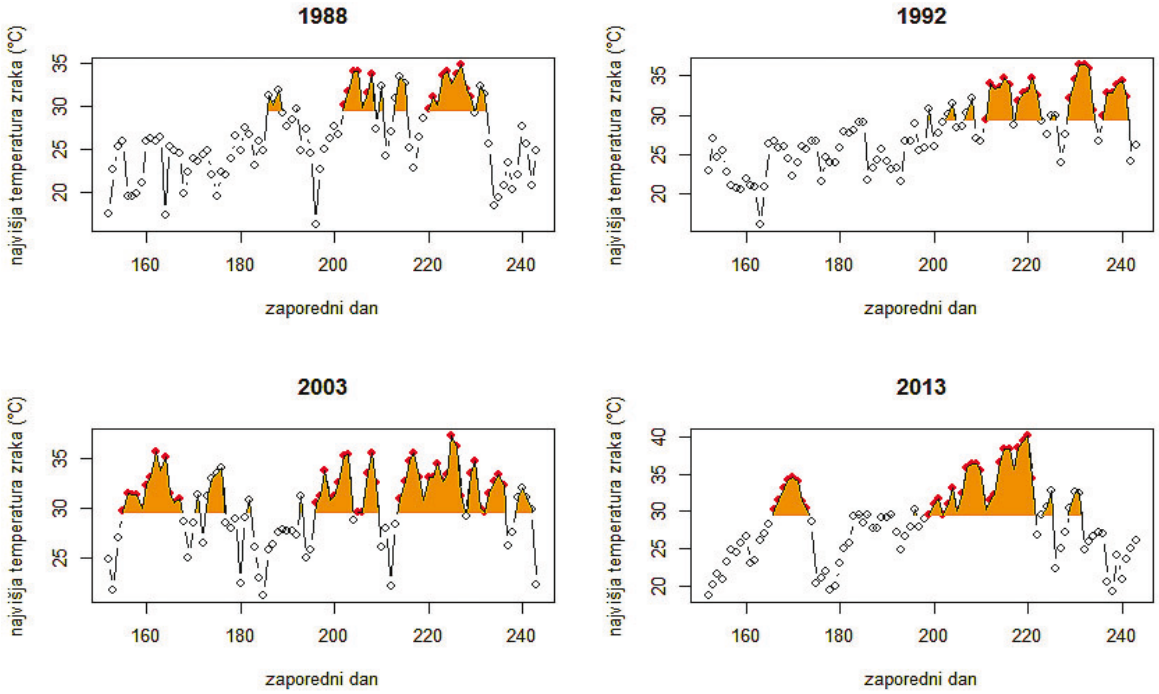
predstavitvijo rezultatov. Tako smo na podlagi definicije, da vročinski val nastopi, ko so najvišje dnevne temperature zraka pet ali več dni enake ali višje od 29,5 °C, pripravili t.i. časovnice vročinskih valov za nekatere kraje. V Ujmi (Pogačar in sod., 2016a) in na konferenci Vivus (Pogačar in sod. 2016b) smo predstavili rezultate za Ljubljano in Celje (slika 1), na Sadjarskem kongresu za Novo mesto (Kajfež Bogataj in sod. 2017). Za splošno javnost se nam zdijo zelo primerne za predstavitev več spremenljivk vročinskih valov (datum, dolžina, temperature) hkrati za daljše obdobje. Analizo vročinskih valov po zgornji definiciji je za več meteoroloških postaj v diplomskem delu predstavil Tomažič (2016).

V Ljubljani so se vročinski valovi začeli pogosteje pojavljati v juniju, z zgostitvijo po letu 1996. Vročinski valovi v juliju se pojavljajo skozi celotno obdobje 1961–2015, vendar pa so v zadnjih desetih letih daljši, pogostejši in izrazitejši (rdeče, temnejše barve). V avgustu se je spremenilo število in trajanje vročinskih valov. Do leta 1991 niso vročinski valovi nikoli, z izjemo leta 1973, segali v drugo polovico meseca avgusta, medtem ko je v zadnjih 25 letih pojav vročinskih valov v drugi polovici meseca avgusta nekaj povsem običajnega. Tudi v tem mesecu so postali izrazitejši. V Celju se prav tako povečuje število vročinskih valov na leto, vročinski valovi se daljšajo in postajajo izrazitejši, hkrati pa so se začeli pojavljati bolj zgodaj in se zaključijo pozneje (slika 1). Junija se je vročinski val v Celju prvič pojavil leta 1996, od takrat pa skoraj vsako leto. V prvi polovici obdobja so vročinski valovi le izjemoma segli v drugo polovico



Slika 1. Pojavljanje in izrazitost vročinskih valov od 1. junija do 31. avgusta v Celju v obdobju 1961–2015. Svetlo rumena označuje najvišjo dnevno temperaturo zraka, zaokroženo na 30 °C, bolj rdeče in temnejše barve pa po 1 °C višje najvišje dnevne temperature zraka (Pogačar in sod. 2016a).

Figure 1. Occurrence and intensity of heat waves from 1 June to 31 August in Celje in the period 1961–2015. Light yellow denotes maximum daily air temperature rounded to 30 °C, reddish and darker colors for 1 °C higher temperatures (Pogačar in sod. 2016a).



Slika 2. Vročinski valovi v Ljubljani v letih 1988, 1992, 2003 in 2013 – dnevi v vročinskih valovih so označeni z rdečo, vsi dnevi nad pragom 29,5 °C pa so označeni z oranžnim območjem (160. dan = 9. junij, 240. dan = 28.avgust) (Zalar in sod. 2017).

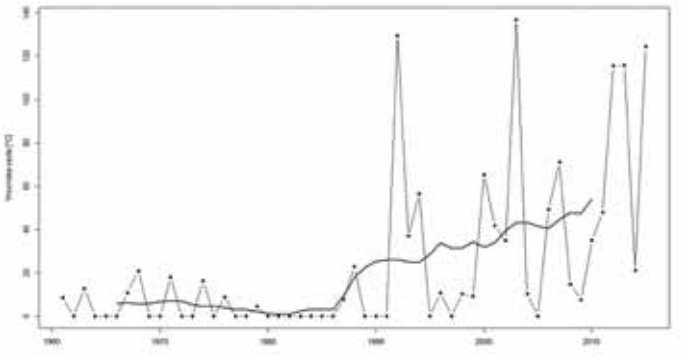
Figure 2. Heat waves in Ljubljana in years 1988, 1992, 2003 and 2013 – days in heat waves are colored red, all days above 29.5 °C are denoted with orange area (160 = 9 June, 240 = 28 August) (Zalar in sod. 2017).

avgusta, po letu 1991 pa to ni nič nenavadnega. Prav tako je v prvi polovici obdobja vročinski val izjemoma nastopil v dveh zaporednih letih, medtem ko po letu 1991 v Celju ni bilo vročinskega vala le v letih 1995 in 1997.

Zanimiva so tudi razmerja med številom posameznih dni nad temperaturnim pragom in številom dni v vročinskem valu. Večinoma se razmerje povečuje v prid številu dni v vročinskih valovih, kar pomeni, da se v zadnjih letih vroči dnevi pogosteje držijo skupaj in povzročajo večjo toplotno obremenitev. V objavi v monografiji Naravne nesreče (Zalar in sod. 2017) smo na istih grafih prikazali dneve v vročinskih valovih in dneve nad temperaturnim pragom.
Kot smo predstavili v omenjeni monografiji, sta leta 1988 (slika 2 zgoraj levo) v Ljubljani nastopila dva vročinska vala. V obeh so najvišje dnevne temperature zraka segle do 35 °C. Prvi vročinski val se je pojavil v drugi polovici julija, drugi pa v začetku avgusta. Pred, med in po vročinskih valovih so bila tri krajša obdobja z najvišjimi temperaturami nad 29,5 °C. Poletje 1992 (slika 2 zgoraj desno) je bilo zelo vroče. Nastopili so štirje vročinski valovi, vsi v avgustu. Že pred tem sta nastopili dve krajši (dvodnevni) obdobji z najvišjimi temperaturami nad 29,5 °C. Poleti 2003 (slika 2 spodaj levo) smo imeli v Ljubljani tri dolgotrajne vročinske valove. Prvi se je začel že junija in je trajal 13 dni. Sledilo je nekaj krajših obdobij z najvišjimi temperaturami nad 29,5 °C. V drugi polovici julija se je začel drugi vročinski val, ki je vztrajal 14 dni. Sledila je nekaj dnevna ohladitev. Po njej se je začel še zadnji vročinski val. Ta je trajal kar 23 dni. Poletje 2013 (slika 2 spodaj desno) je bilo izjemno po vrednostih najvišjih dnevnih temperatur zraka, ki so dosegale in celo presegale 40 °C. Poletje sta zaznamovala dva vročinska vala. Prvi se je pojavil že junija in je trajal 8 dni. Do sredine julija nato najvišje dnevne temperature zraka niso presegle praga 29,5 °C. V drugi polovici julija se je začel drugi vročinski val, ki je poskrbel za temperaturne rekorde. V Ljubljani je najvišja dnevna temperatura zraka dosegla 40,2 °C. Vročinski val je trajal 23 dni. Sledili sta mu še dve krajši obdobji z najvišjimi temperaturami nad 29,5 °C.

Primer opredelitve izrazitosti vročinskih valov

Pri obravnavi daljšega obdobja oziroma iskanju trendov sprememb se moramo nasloniti na eno ali več kombiniranih spremenljivk. Tako lahko, na primer, obravnavamo t.i. vročinsko vsoto, ki predstavlja vsoto odstopanj najvišjih dnevnih temperatur zraka v vročinskih valovih od praga, ki določa vročinski



Slika 3. Vročinska vsota (-●-), ki je izračunana kot vsota odstopanj najvišjih dnevnih temperatur zraka od praga 29,5 °C v vseh dneh v vročinskih valovih v posameznem letu, in desetletna drseča sredina (-) za obdobje 1961–2015 za Mursko Soboto.

Figure 3. Heat sum (-●-), calculated as a sum of maximum daily air temperature deviations from the threshold (29.5 °C) in all days in heat waves in each year, and moving average in order 10 (-) for the period 1961–2015 in Murska Sobota.

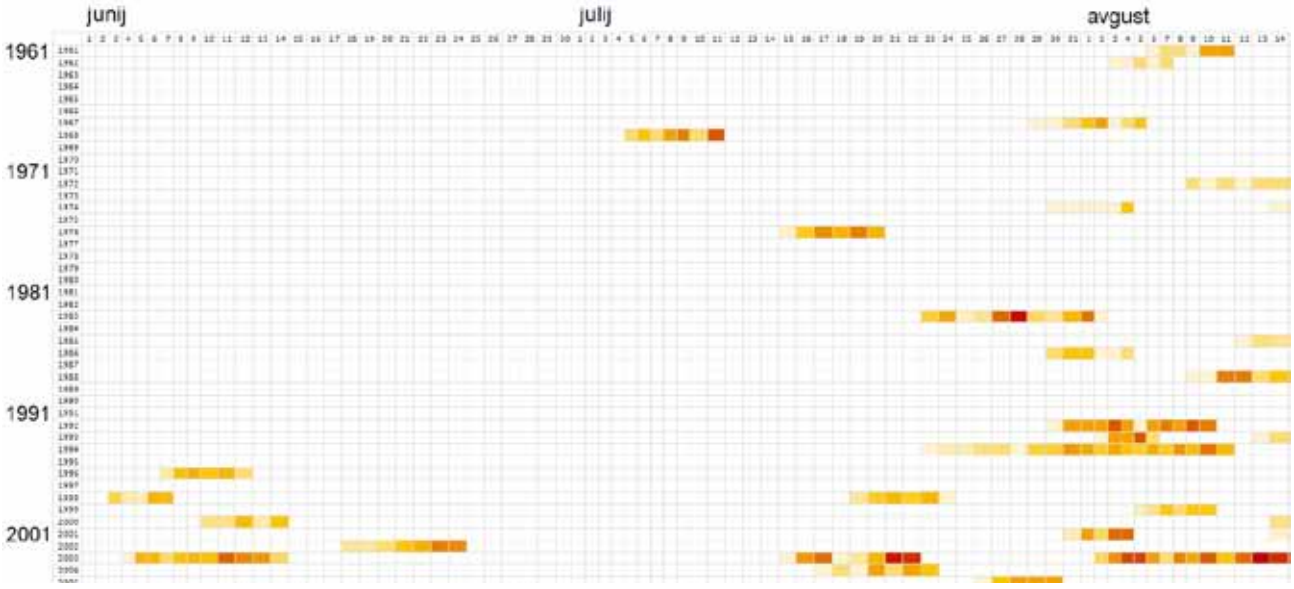
val. Če je torej za vročinski val pogoj, da je najvišja dnevna temperatura zraka vsaj 5 dni zaporedoma vsaj 29,5 °C, potem seštejemo v vseh dneh vročinskega vala odstopanje najvišjih dnevnih temperatur od 29,5 °C navzgor. Na grafu za Mursko Soboto (slika 3) se vidi izrazito naraščanje vročinske vsote v obdobju med 1961 in 2015, kar nazorno prikazuje tudi desetletna drseča sredina.

Uporaba kazalnika WBGT

Poleg definicije vročinskega vala pa, kot omenjeno, za potrebe projekta Heat-Shield potrebujemo kazalnik toplotne obremenitve delavcev, za katerega je bil izbran WBGT. V Sloveniji trenutno spremljamo razmere v tovarni odelo d.o.o., kjer sodelavci z Inštituta Jožef Stefan na delovnih mestih merijo temperaturo zraka na 0,05 in 1,5 m ter relativno vlago na 1,5 m. Pred tovarno je bila v lanskem letu na novo postavljena avtomatska meteorološka postaja. Lansko leto je na tej lokaciji 5-dnevni vročinski val nastopil proti koncu julija, med 20. in 24. julijem 2016 (slika 4). V tovarni so bile temperature zraka izredno visoke že prej, od 8. julija so se pod 30 °C spustile le med 4-dnevno ohladitvijo med 14. in 17. julijem. Kot vidimo, približno velja, da je WBGT nad 25 °C, ko so temperature nad 30 °C, a za nekoliko krajše časovno obdobje v vsakem posameznem dnevu. Takšna toplotna obremenitev predstavlja za delavce velik problem glede počutja, produktivnosti in zdravja, zato so naslednje faze projekta namenjene iskanju in preizkušanju učinkovitih rešitev.

Sklepne misli

Predstavili smo nekaj težav in rešitev, s katerimi se soočamo pri našem delu na projektu Heat-Shield. Menimo, da je za predstavitev splošni javnosti zelo primerna časovnica vročinskih valov. Poleg tega mora biti definicija samega vročinskega vala jasna, torej osnovana kot število dni z izmerjenimi



Slika 4. Meritve temperature zraka v tovarni odelo d.o.o., ki jih izvaja Inštitut Jožef Stefan (oranžna), in izračunane vrednosti kazalnika WBGT (rjava) iz meritev temperature zraka in relativne vlage v obdobju med 7. 7. 2016 in 27 .7. 2016.

Figure 4. Measurement of air temperatures in odelo company carried out by Jozef Stefan Institute (orange), and values of the WBGT index calculated from measured air temperature and relative humidity (brown) in the period from 7 to 27 July 2016.

temperaturami zraka nad določenim pragom. Za samo vrednotenje vročinskega vala lahko uporabimo različne temperaturne vsote ali druge izvedene meteorološke spremenljivke ali statistike. Za določanje toplotne obremenitve delavcev priporočamo uporabo preverjenega kazalnika WBGT, za katerega bodo v projektu pripravljenje tudi projekcije glede na scenarije podnebnih sprememb, operativno pa se bodo pripravljale mesečne in tedenske napovedi.

Za opis oziroma stopnjevanje pri vročinskih valovih svetujemo uporabo izrazov pogostejši, daljši in izrazitejši, namesto morda do sedaj uporabljenih intenzivnost, jakost ipd. Primerno je, da se v prihodnje držimo dogovorjenih definicij vročinskih valov za različne namene, saj nas na tem področju čaka še precej dela z analizami, pripravo smernic in preizkušanjem učinkovitih načinov blaženja vročinskega stresa.

Zahvala

Raziskava je bila finančno podprta s strani okvirnega programa EU za razvoj in inovacije Obzorje 2020 s pogodbo št. 668786.

Viri

Bernard, T. E., Pourmoghani, M. 1999. Prediction of Workplace Wet Bulb Global Temperature. Applied Occupational and Environmental Hygiene 14, 126-134

Costa, H., Floater, G., Hooyberghs, H., Verbeke, S., De Ridder, K. 2016 Climate change, heat stress and labour productivity: A cost methodology for city economies. Medmrežje: http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/publication/climate-change-heat-stress-and-labour-productivity-a-cost-methodology-for-city-economies/ (7. 1. 2017)

Franchetti, M., Komaki, G. 2012. Quantification methods for employee health and productivity rates. Int J Env Eng Res 1, 104-114

Kajfež Bogataj, L., Pogačar, T., Zalar, M., Črepinšek, Z. 2017. Pomen vročinskih valov v hortikulturi. V: Hudina, M. (ur.). Zbornik referatov 4. slovenskega sadjarskega kongresa z mednarodno udeležbo, Krško, 20.-21. januar 2017. Ljubljana: Strokovno sadjarsko društvo Slovenije, 2017, 153-158

Kosonen, R., Tan, F. 2004. Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index. Energy Build 36, 987-993

Lemke, B., Kjellstrom, T. 2012. Calculating Workplace WBGT from Meteorological Data: A Tool for Climate Change Assessment. Industrial Health 50, 267-278

Liljegren, J. C., Carhart, R. A., Lawday, P., Tschopp, S., Sharp, R. 2008. Modeling the Wert Bulb Globe Temperature using standard meteorological measurements. J Occup Environ Hyg 5, 645-55

McPherson, M. J. 2008. Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, 2nd Ed., Ch. 17. Physiological reactions to climatic conditions. Mine Ventilation Services Inc., Clovis. Medmrežje: http://www.mvsengineering.com/index.php?cPath=25 (7. 9. 2016)

Medmrežje 1: https://data.oecd.org/ (8. 7. 2015)

Medmrežje 2: http://www.metoffice.gov.uk/learning/learn-about-the-weather/weather-phenomena/heatwave (10. 3. 2016)

Medmrežje 3: https://www.aiha.org/Pages/default.aspx (7. 5. 2016)

Medmrežje 4: https://www.heat-shield.eu/ (20. 4. 2017)

Paci, D. 2014. Human Health Impacts of Climate Change in Europe. Report for the PESETA II project. Joint Research Centre, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 33 str.

Pogačar, T., Zalar, M., Kajfež Bogataj, L. 2016a. Vročinski valovi v povezavi z zdravjem in produktivnostjo. Ujma 30, 151-160

Pogačar, T., Zalar, M., Črepinšek, Z., Kajfež Bogataj, L. 2016b. Vročinski valovi v Sloveniji. V: Maček Jerala, M., Maček M. A., Kolenc Artiček, M. (ur.) Z znanjem in izkušnjami v nove podjetniške priložnosti : zbornik referatov, 4. konferenca z mednarodno udeležbo - konferenca VIVUS, 20.-21. april 2016, Strahinj, Slovenija, 58-64

Robinson, P. J. 2001. On the definition of a heat wave. Journal of applied meteorology 40, 762-775.

Russo, S., Sillmann, J., Fischer, E. M. 2015. Top ten European heatwaves since 1950 and theri occurrenace in the coming decades. Environmental Research Letters 10, 124003-124019

Šelb Šemerl, J., Tomšič, S. 2008. Vpliv vročinskih valov na umrljivost – vročinski val avgusta 2003 v Sloveniji. Medmrežje: http://ec.europa.eu/health/ph_information/dissemination/unexpected/docs/vpliv.pdf (1.2.2016)

Tomažič, G. 2016. Pogostost pojavljanja vročinskih valov v Sloveniji in njihov vpliv na kmetijstvo : diplomsko delo. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana, 86 str.

Zalar, M., Pogačar, T., Črepinšek, Z., Kajfež Bogataj, L. 2017. Vročinski valovi kot naravna nesreča v mestih. V: Zorn, M. in sod. (ur.) Trajnostni razvoj mest in naravne nesreče, (Knjižna zbirka Naravne nesreče, 4), 1. izd. Ljubljana: Založba ZRC, 2017, 41-49

Podnebne podlage za definicijo vročinskega vala

Neža Ključevšek, Andrej Hrabar, Mojca Dolinar, Agencija Republike Slovenije za okolje, (neza.kljucevsek@gov.si)

Povzetek

V Sloveniji enotne definicije za vročinski val do sedaj nismo imeli. Zaradi hude vročine, ki v zadnjih poletjih postaja stalnica tudi v Sloveniji, se je pojavila potreba po enotni definiciji za spremljanje vročinskih valov. Na znanstvenem posvetu o vročinskih valovih smo sodelujoči ugotovili, da zaradi zelo različnih vplivov vročine na posamezne uporabniške skupine, ne moremo definirati enotnega kazalca vročine. Kljub temu je za spremljanje, predvsem pa za napovedovanje vročine splošni javnosti, potrebno definirati enoten kazalec vročinskega vala. Osnovne zahteve takega kazalca so preprostost in razumljivost splošni javnosti, sledljivost na podlagi meritev ter napovedljivost na podlagi modelskih izračunov. Na podlagi prostorsko-časovne analize temperaturnih nizov slovenskih merilnih postaj je predlagana definicija vročinskega vala, ki temelji na dnevni povprečni temperaturi z regionalno različnimi temperaturnimi pragovi.

Ključne besede: *vročinski val, vročinski kazalci*

Abstract

Until recently, no uniform definition of a heat wave has been agreed upon in Slovenia. However, due to frequent and intense hot spells during the summer, there is a need for such a definition in order to successfully monitor these periods of intense heat. A scientific council on heat waves has concluded that due to the immensely different requirements of impact studies for each specific group of subjects, no uniform heat index can be defined. Nevertheless, such an index is needed for systematic monitoring and forecasting of heat waves. For this index to be effective it has to be simple and easy to understand for the general public, should be based on the monitored meteorological variables for monitoring purposes and calculable on the basis of weather model values for forecasting purposes. The proposed heat wave index is based on daily mean temperature value, where temperature limit is regionalised, based on spatio-temporal analysis of Slovenian temperature time series

Ključne besede: *heat wave, heat index*

Uvod

Huda vročina je v zadnjih letih naša poletna stalnica. Podnebni scenariji kažejo, da se bodo temperature še naprej dvigale (npr. Russo in sod., 2014). Tudi za poletno, več dni trajajočo vročino, se kaže trend naraščanja (Clark in sod., 2005). Pogosto lahko zasledimo, da se daljše obdobje nenavadno visokih temperatur imenuje vročinski val. Zanj ni splošno sprejete definicije, predvsem zaradi velike podnebne pestrosti in različnih sposobnosti prilagajanja živih organizmov na vročino (McGregor in sod., 2015).

Kazalci, ki bi jih bilo mogoče uporabljati v slovenskem podnebju, so podrobneje predstavljeni v Ključevšek (2018), analiza različnih kazalcev, ki temelji na meritvah meteoroloških postaj po Sloveniji, pa v magistrskem delu Ključevšek (2016) in članku Ključevšek (2018).

Različne države po svetu imajo torej različno definicijo vročinskega vala. Nekatere definicije temeljijo izključno na podnebnih značilnostih posameznega območja, druge upoštevajo tudi učinke vročinsko izredno napornih dni na različne ciljne skupine. Najpogostejša definicija vročinski val opredeljuje kot dlje časa trajajoče nadpovprečno toplo obdobje. Pri tej definiciji pa ni jasno definirano, kaj pomeni dlje časa trajajoče, torej kaj pomeni "več". Tudi nadpovprečno toplo obdobje ni natančno opredeljeno, – se to nanaša na najvišje, najnižje ali povprečne izmerjene temperature? Prav zaradi tega so se po različnih državah izoblikovale različne definicije (McGregor in sod., 2015). V nekaterih delih sveta so ugotovili, da se v času vročinskih valov poveča umrljivost, še posebej v mestih, kjer se toplota še bolj nakopiči (Li, 2013; Schatz, 2015). V Sloveniji v povprečju na dan umre 55 ljudi. Ta podatek je dovolj, da lahko podvomimo o statistično značilnem vplivu vročine na umrljivost

(Ključevšek, 2016). Primerneje bi bilo opazovati povečan obisk urgenc zaradi zdravstvenih stanj, ki so povezana z vročino, vendar ti podatki za Slovenijo zaenkrat niso na voljo. Zaradi pomanjkanja podatkov ne moremo ugotavljati povezave med intenzivnostjo in trajanjem vročine na eni strani in njenimi učinki na zdravje in umrljivost na drugi strani, kar bi nas lahko pripeljalo do ustreznih meja za nastop vročinskega vala. Glede na dostopnost podatkov v Sloveniji lahko vročinski val definiramo samo na podlagi podnebnih značilnosti.

Drugi vidik, ki prav tako podpira definicijo izključno na podnebnih značilnostih, je širina uporabe. Različna živa bitja se različno odzivajo na toplotno obremenitev in imajo različno sposobnost prilagajanja. Že pri človeku težko pridemo do enotne meje, kje se začne toplotna obremenitev, saj se ta precej razlikuje med posameznimi skupinami (otroci, zdravi odrasli, ostareli, kronični bolniki ...). Še večje so razlike med različnimi živimi bitji.

Metode in podatki

Pri definiciji vročinskega vala smo sledili dvema vidikoma:

- široka uporabnost vročinskega kazalca
- enostavnost

Z upoštevanjem prvega vidika smo želeli, da nastop vročinskega vala pomeni večjo toplotno obremenitev za čim več ciljnih skupin. Z drugim vidikom smo želeli doseči, da je sama definicija razumljiva in da za izračun nastopa vročinskega vala potrebujemo čim manj podatkov, ti pa morajo biti dosegljivi za preteklost (meritve) in za prihodnost (rezultati meteoroloških modelov). Podatki za izračun vročinskega vala morajo biti tudi dovolj zanesljivi – obremenjeni s čim manjšo mersko napako oziroma negotovostjo izračuna pri modelskih spremenljivkah.

Nastanek vročinskega vala je povezan z dotokom tople zračne mase, ki je lahko morsko-tropska ali celinsko-tropska. Zračna masa mora vztrajati nad našimi kraji vsaj nekaj dni, drugače ne moremo govoriti o vročinskem valu, ampak le o prehodnem vročem dnevu ali dveh. Morsko-tropska zračna masa vsebuje več vlage, zato dnevni temperaturni hod (razlika med dnevno najnižjo in najvišjo temperaturo) ni tako izrazit, je pa ozračje bolj soparno in so nevihte lahko pogoste. Celinsko-tropska zračna masa v primerjavi z morsko-tropsko zračno maso vsebuje manj vlage, je bolj stabilna in tudi bolj vroča. Zato je dnevni temperaturni hod izrazitejši, višje so tudi dnevne najvišje temperature, vendar so noči v primerjavi z morsko-tropsko zračno maso hladnejše.

Pri enaki temperaturi zraka je toplotna obremenitev odvisna še od količine vodne pare v zraku (vlažnosti zraka), hitrosti vetra (odvajanje toplote s telesa) in sevanja (sončno sevanje in dolgovalovno sevanje– tal in neba, sevanje zgradb, prostorov, in drugih teles). Povezava vročinskega vala z dnevnimi najvišjimi temperaturami torej ni enoznačna. Poleg dnevne najvišje temperature je pomembno tudi trajanje toplotne obremenitve. V zelo suhem ozračju se ponoči prizemna plast zraka lahko močno ohladi in v taki zračni masi imamo kljub zelo visokim dnevnim najvišjim temperaturam noči sorazmerno sveže. Nasprotno pa v vlažni zračni masi temperature čez dan ne zrastejo tako visoko kot v suhi zračni masi, vendar se tudi ponoči bistveno manj spustijo in toplotna obremenitev lahko traja večji del dneva. Tako je lahko toplotna obremenitev v vlažni zračni masi bistveno večja, čeprav so zabeležene dnevne najvišje temperature nižje kot v suhi zračni masi.

Od naštetih spremenljivk, ki vplivajo na toplotno obremenitev, z najmanjšo napako izmerimo in z največjo zanesljivostjo napovemo temperaturo zraka. Vse ostale spremenljivke so obremenjene z bistveno večjo negotovostjo. Vlažnost zraka, ki je zelo pomembna za stopnjo toplotne obremenitve, je obremenjena z veliko mersko napako. Poleg tega je v primerjavi s temperaturo zraka vlaga veliko bolj odvisna od mikrolokacije. Tudi napovedi vlage so veliko manj zanesljive od napovedi temperature zraka.

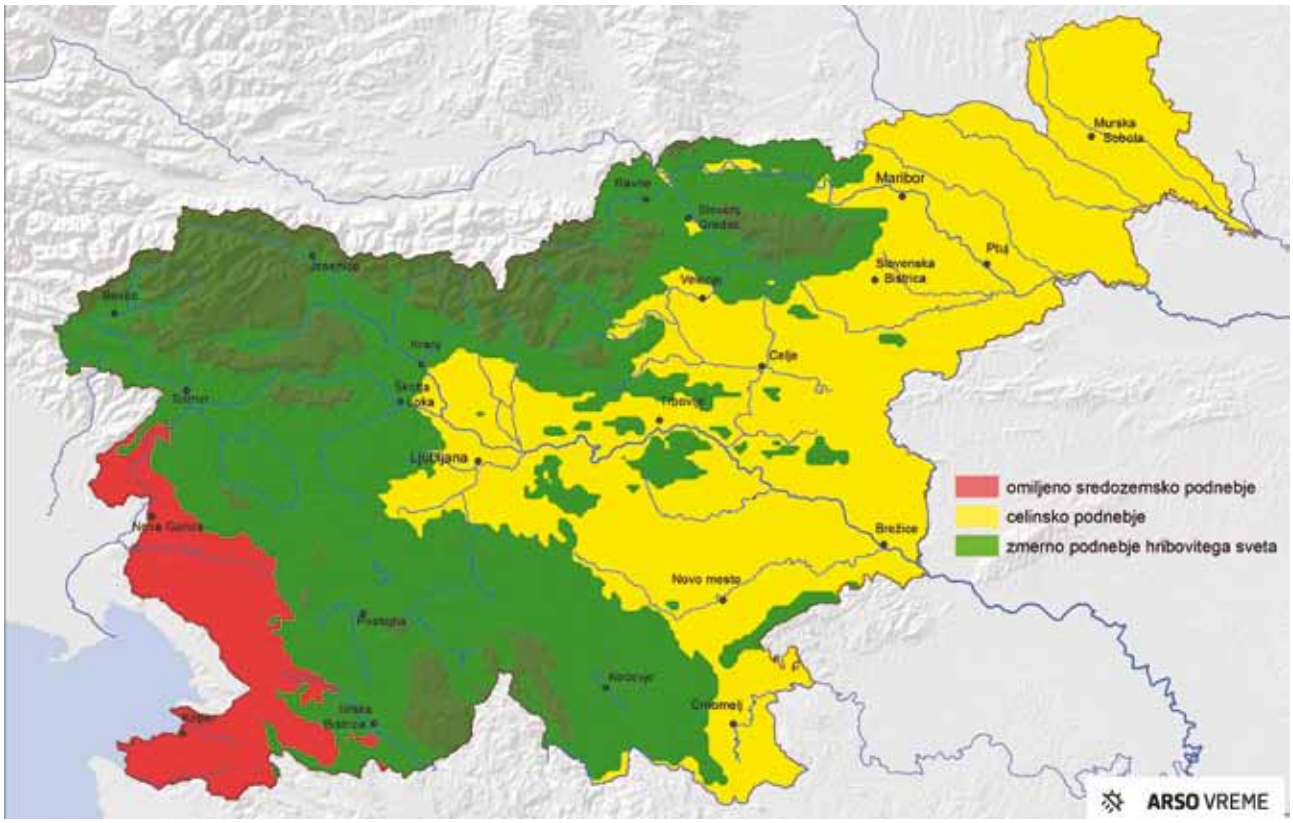
Dnevna povprečna temperatura zraka ima lastnost, da delno odraža tudi druge meteorološke spremenljivke. Predvsem je dnevna povprečna temperatura dobra mera za jakost toplotne obremenitve, saj bo približno enaka za dolgotrajno obremenitev pri nekoliko nižjih temperaturah (majhna amplituda dnevnega temperaturnega hoda v vlažni zračni masi) ali kratkotrajno obremenitev pri višjih temperaturah z vmesno osvežitvijo (velika amplituda dnevnega temperaturnega hoda v suhi zračni masi). Tako dnevna povprečna temperatura delno posredno iz dnevnega temperaturnega hoda odraža tudi vlažnost zraka. Zelo neposredno pa je dnevna povprečna temperatura povezana z jakostjo sončnega sevanja. Tako je edina spremenljivka, pomembna za energijsko bilanco živih bitij, ki je vsaj delno ne opišemo z dnevno povprečno temperaturo, veter. Čeprav je veter zelo pomembna spremenljivka za občutenje hladu ali vročine, ga pri definiciji nismo upoštevali, ker so podatki o vetru pomanjkljivi. Meritve vetra so prostorsko redke, pri čemer je podobno kot vlažnost zraka tudi veter prostorsko zelo spremenljiv in odvisen od mikrolokacije. Enako velja za napovedi, ki so ravno zaradi velike prostorske spremenljivosti obremenjene z veliko napako na lokalni ravni.

Dnevna povprečna temperatura zraka se je izkazala kot primeren kazalec za spremljanje vročine (Nairn, 2013). Poleg temperaturnih razmer z njo vsaj delno zajamemo tudi vlažnost zraka in opišemo izpostavljenost toplotni obremenitvi (jakost in trajanje).

Dnevna povprečna temperatura je enostaven kazalec, razumljiv širši javnosti in ga lahko z dokaj veliko natančnostjo izračunamo na podlagi meritev in hkrati tudi na podlagi modelskih rezultatov za prihodnost. Zaradi teh lastnosti smo vročinski val definirali na podlagi dnevne povprečne temperature. Pri tem pa se je potrebno zavedati, da za natančnejše študije vpliva toplotne obremenitve na različne skupine uporabnikov takšna definicija ne zadošča, saj je preveč splošna in ne upošteva različnih odzivov živega bitja na toplotno obremenitev. Za takšne študije je potrebno bolj natančno upoštevati vse lastnosti zračne mase in lokalnega vremena (poleg temperature tudi vlažnost, veter, sončno sevanje ...) in uporabiti kazalec, ki je prirejen za posameznega uporabnika (Ključevšek, 2018).

Slovenija je glede na velikost podnebno izjemno pestra. Temu so do neke mere prilagojeni ljudje, ostali živi svet in kulturna krajina. Zato temperaturna meja, pri kateri nastopi vročinski val, ni enotna. Pri določitvi meje je potrebno upoštevati prilagoditve, ki so odvisne od lokalnih podnebnih značilnosti. Na postajah z dolgimi nizi meritev smo analizirali vrednosti temperature za vrhnji del porazdelitve (od 95. do 99. centila) dnevne povprečne temperature zraka. Vrednost temperature zraka pri 95. centilu pomeni, da je bila dnevna povprečna temperatura zraka v 95 % vseh dni v obravnavanem obdobju nižja ali enaka, v 5 % dni pa višja od te mejne temperature. Za vsako od postavljenih meja smo analizirali pogostost vročinskih valov (vorčinski val se šteje vsak dogodek, ko vsaj tri dni zapored presegamo izbrano mejo) in porazdelitev dnevne najvišje temperature znotraj tako določenih vročinskih valov. Na podlagi te analize smo določili, pri katerem centilu bomo postavili mejo za nastop vročinskega vala. Izbrani centil bi podal temperaturo, ki jo od sedaj naprej imenujmo temperatura praga vročinskega vala.

Ena od potrebnih poenostavitev pri definiciji vročinskega vala je enotna meja za čim širše območje. Na podlagi točkovno izračunanih vrednosti temperature pri določenem mejnem centilu, smo izračunali prostorsko porazdelitev temperatur praga vročinsega vala po Sloveniji. Da smo zadostili kriteriju enostavnosti, smo zaradi velike prostorske spremenljivosti na podlagi prostorske analize meje poenotili po podnebnih regijah Slovenije (Kozjek in sod., 2016). Podnebnih regij je šest. Ker za namen definicije vročinskih valov ni potrebno upoštevati značilnosti padavin, smo podnebne regije lahko združili v tri: celinsko podnebje (osrednja, severovzhodna in jugovzhodna Slovenija), zmerno podnebje hribovitega sveta (Gorenjska, Notranjska ter dvignjen svet Štajerske in Dolenjske) in omiljeno



Slika 1. Temperaturne regije, povzete po Kozjek in sod. (2016), namenjene analizi vročinskih valov. Temno območje znotraj regije s podnebjem hribovitega sveta (zelena), predstavlja območje z gorskim podnebjem, ki ni bilo vključeno v analizo.

Figure 1. Temperature regions after Kozjek et al. (2016) which were used for heat wves analysis. Dark area within zmerno podnebje hribovitega sveta, indicates alpine climate region, that was excluded from the heat waves analysis.

sredozemsko podnebje (zahodni in jugozahodni del Primorske) (slika 1). Regije z gorskim podnebjem smo iz analize izločili zaradi zelo redke poseljenosti tega območja in nizke povprečne temperature v tej regiji.

V analizo smo vključili podatkovne nize, ki so bili v procesu homogenizacije dolgih mesečnih nizov prepoznani kot kakovostni nizi brez potrebnih večjih popravkov (Vertačnik, 2015). To namreč pomeni, da so tudi dnevni podatki (ki niso bili homogenizirani) dovolj zanesljivi za analizo. Postaj s takšnimi nizi je 19 (preglednica 1).

Rezultati

Značilnosti vročinskih valov pri različnih mejah

Za izbranih 19 postaj z dovolj dolgim in kakovostnim časovnim nizom smo izračunali vrednosti dnevne povprečne temperature pri visokih centilih, in sicer od 95. do 99. centila. Vrednost pri posameznem centilu je bila izračunana na podlagi porazdelitve dnevne povprečne temperature v treh različno dolgih časovnih obdobjih. Prvo obdobje je bilo dolgo 30 let, kot je standard v klimatologiji, nato smo postopek ponovili še za 20- in 10-letno obdobje. Da ne bi iz analize izpustili zadnjega, izjemno toplega obdobja, se vsa obravnavana obdobja zaključijo z letom 2015. Tako je v vse analize vključeno tudi leto 2013, ko smo zabeležili veliko temperaturnih rekordov. Z analizo centilov v različno dolgih obdobjih smo ocenili občutljivost tako določene meje za vročinski val na časovno spremenljivost dnevne povprečne temperature. Izračunane temperaturne vrednosti za posamezne centile in obdobja so zbrane v preglednici 1.

Vročinski val obravnavamo kot ekstremen vremenski dogodek, na katerega prebivalstvo ni prilagojeno in je nanj potrebno opozarjati. Za Slovenijo ne obstajajo študije, ki bi povezale stopnjo toplotne obremenitve s škodnimi učinki na prebivalstvo. Študija Perčičeve in sodelavk v pričujoči številki Vetrnice je pokazala, da se pri določenih občutljivih skupinah poveča stopnja umrljivosti, ko v dveh ali več sosledih dnevih psevdo-ekvivalentna temperatura zraka preseže 56 °C. To je bil edini podatek o vplivu vročine na ljudi, na katerega smo se lahko oprli pri določitvi mejne temperature vročinskega vala, ki pa ne pove nič o mejni (psevdo-ekvivalentni) temperaturi na stopnjo umrljivosti. Zato smo se pri določitvi kriterijev za vročinski val oprli tudi na izkušnje prognostične službe Agencije Republike Slovenije za okolje ob vročini v preteklih letih, pri

Preglednica 1. Vrednosti dnevne povprečne temperature (°C) pri različnih centilih, izračunane za tri različno dolga obdobja za postaje z dovolj dolgimi kakovostnimi nizi. Z mastnim tiskom so označene vrednosti, ki so bile na podlagi analize izbrane za mejno vrednost vročinskega vala.

Table 1. Mean daily temperature (in °C) for different percentiles calculated for three different time periods. The selected heat wave trashold values are indicated in bold.

	1986–2015					1996–2015					2006–2015				
centil	95.	96.	97.	98.	99.	95.	96.	97.	98.	99.	95.	96.	97.	98.	99.
Murska Sobota	23,1	23,6	**24,2**	25,0	26,0	23,5	24,0	24,5	25,2	26,4	23,9	**24,3**	25,0	25,8	27,0
Maribor	23,6	24,2	**24,8**	25,5	26,6	24,0	24,6	25,2	25,9	27,0	24,3	**24,9**	25,6	26,4	27,6
Let. Maribor	23,0	23,6	**24,1**	24,9	25,8	23,4	23,9	24,4	25,2	26,3	23,8	**24,2**	24,9	25,4	27,0
Šmartno	21,1	21,6	**22,2**	22,8	23,9	21,4	22,0	22,4	23,2	24,3	22,0	**22,4**	23,0	23,9	24,8
Celje	22,7	23,2	**23,7**	24,4	25,3	23,0	23,5	24,0	24,8	25,7	23,1	**23,6**	24,2	25,0	26,1
Novo mesto	23,4	23,9	**24,5**	25,1	26,0	23,9	24,3	24,8	25,6	26,5	24,1	**24,6**	25,3	25,9	26,8
Črnomelj	24,0	24,5	**25,1**	25,6	26,6	24,6	25,0	25,5	26,2	27,3	24,6	**25,1**	25,6	26,3	27,5
Kočevje	21,0	21,4	**21,9**	22,4	23,3	21,2	21,6	22,1	22,6	23,5	21,5	**21,9**	22,4	23,0	23,8
Postojna	21,1	21,5	**21,9**	22,7	23,6	21,5	21,9	22,5	23,1	23,9	21,9	**22,5**	23,1	23,7	24,6
Ljubljana	23,9	24,3	**24,9**	25,6	26,4	24,2	24,7	25,2	25,9	26,9	24,6	**25,1**	25,8	26,3	27,3
let. Ljubljana	22,0	22,4	**22,9**	23,5	24,5	22,1	22,6	23,0	23,6	24,6	22,6	**23,1**	23,6	24,3	25,1
Rateče	19,2	19,6	**20,1**	20,6	21,6	19,5	20,0	20,4	20,9	22,1	20,0	**20,4**	20,9	21,6	22,3
Bilje	24,5	25,0	**25,4**	25,9	26,8	24,8	25,2	25,7	26,2	27,0	25,3	**25,7**	26,1	26,6	27,2
Portorož	24,9	25,3	**25,8**	26,4	27,0	25,1	25,5	26,0	26,5	27,1	25,4	**25,9**	26,4	26,8	27,4
Starše	23,4	23,9	**24,5**	25,1	26,1	23,8	24,3	24,9	25,6	26,6	24,2	**24,7**	25,3	26,0	26,9
Veliki Dolenci	23,0	23,5	**24,2**	25,0	26,0	23,3	23,9	24,5	25,3	26,4	23,6	**24,3**	25,0	25,8	26,8
Bizeljsko	23,2	23,6	**24,1**	24,8	25,9	23,5	24,0	24,7	25,3	26,3	23,9	**24,5**	25,0	25,9	26,6
Topol pri Medvodah	21,9	22,4	**23,0**	23,7	24,9	22,1	22,6	23,1	23,9	25,1	22,7	**23,1**	23,7	24,5	25,5
Vojsko	18,6	19,0	**19,5**	20,2	21,1	18,7	19,1	19,7	20,4	21,4	19,1	**19,6**	20,3	20,9	21,8

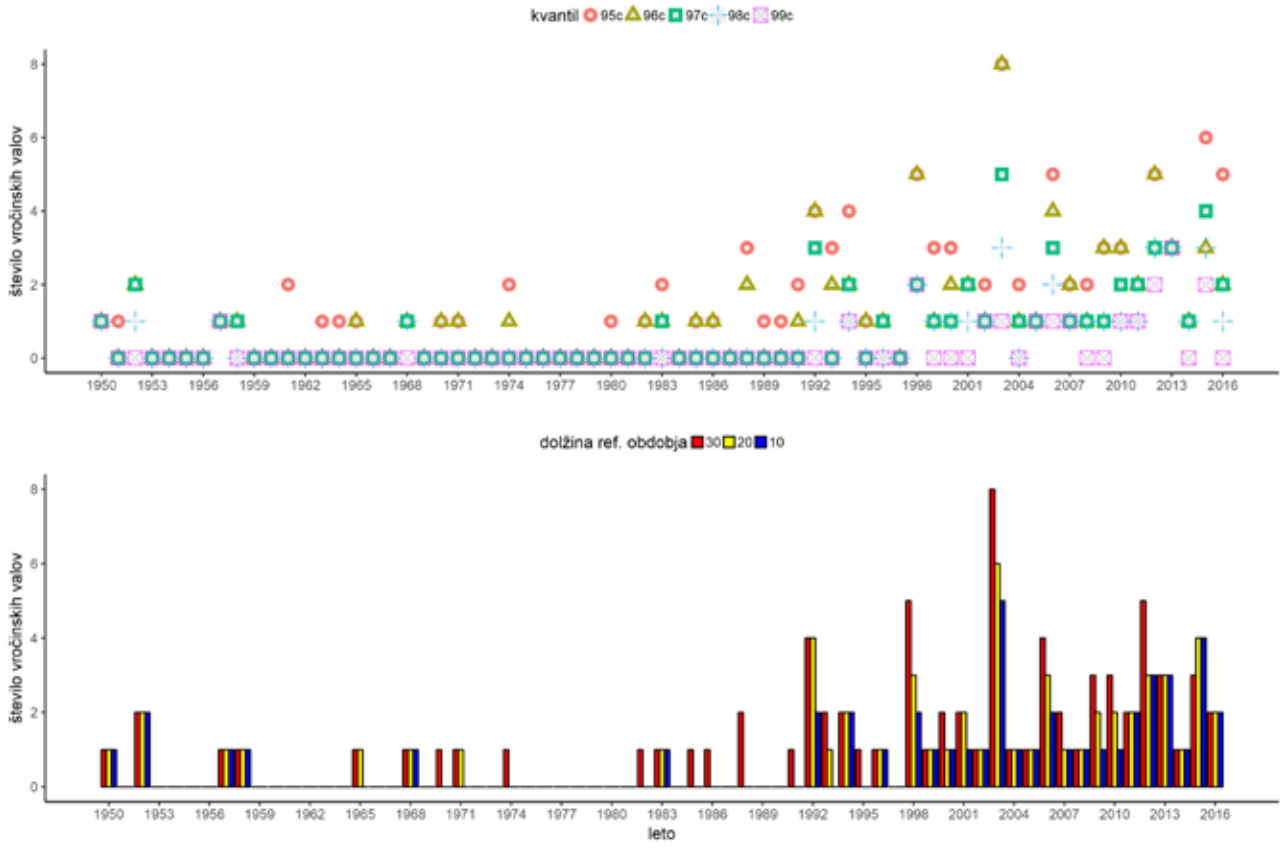
čemer smo pri postavljanju mejne temperature upoštevali pogostost vročinskih valov. Tako smo postavili dva kriterija za pogostost vročinskih valov, ki temeljita na izkušnjah prognostične službe in hkrati upoštevata zahteve za opozarjanje - dogodkov ne sme biti preveč, ker opozarjanje postane neučinkovito:

- V preteklih desetih letih smo imeli vsaj en vročinski val v letu
- V posameznem letu število vročinskih valov ne sme preseči 6

Za podporo odločitvi, kateri centil bi ustrezal za mejo nastopa vročinskega vala, smo naredili analizo pogostosti pojavljanja vročinskih valov pri različnih mejah in porazdelitev dnevne najvišje temperature ob tako določenih vročinskih valovih. Za vsako postajo smo za posamezni centil prešteli število vročinskih valov na leto, če je vročinski val definiran z izbrano mejno vrednostjo centila in vsaj tremi zaporednimi dnevi, ko dnevna povprečna temperatura presega to vrednost. Vrednosti so prikazane tako, da je v enem primeru na istem grafu prikazano število vročinskih valov glede na izbrani centil v istem referenčnem obdobju. V drugem primeru je na istem grafu za izbrani centil in različna referenčna obdobja prikazano število dogodkov na leto. Primera obeh grafov za postajo Ljubljana sta prikazana na sliki 2.

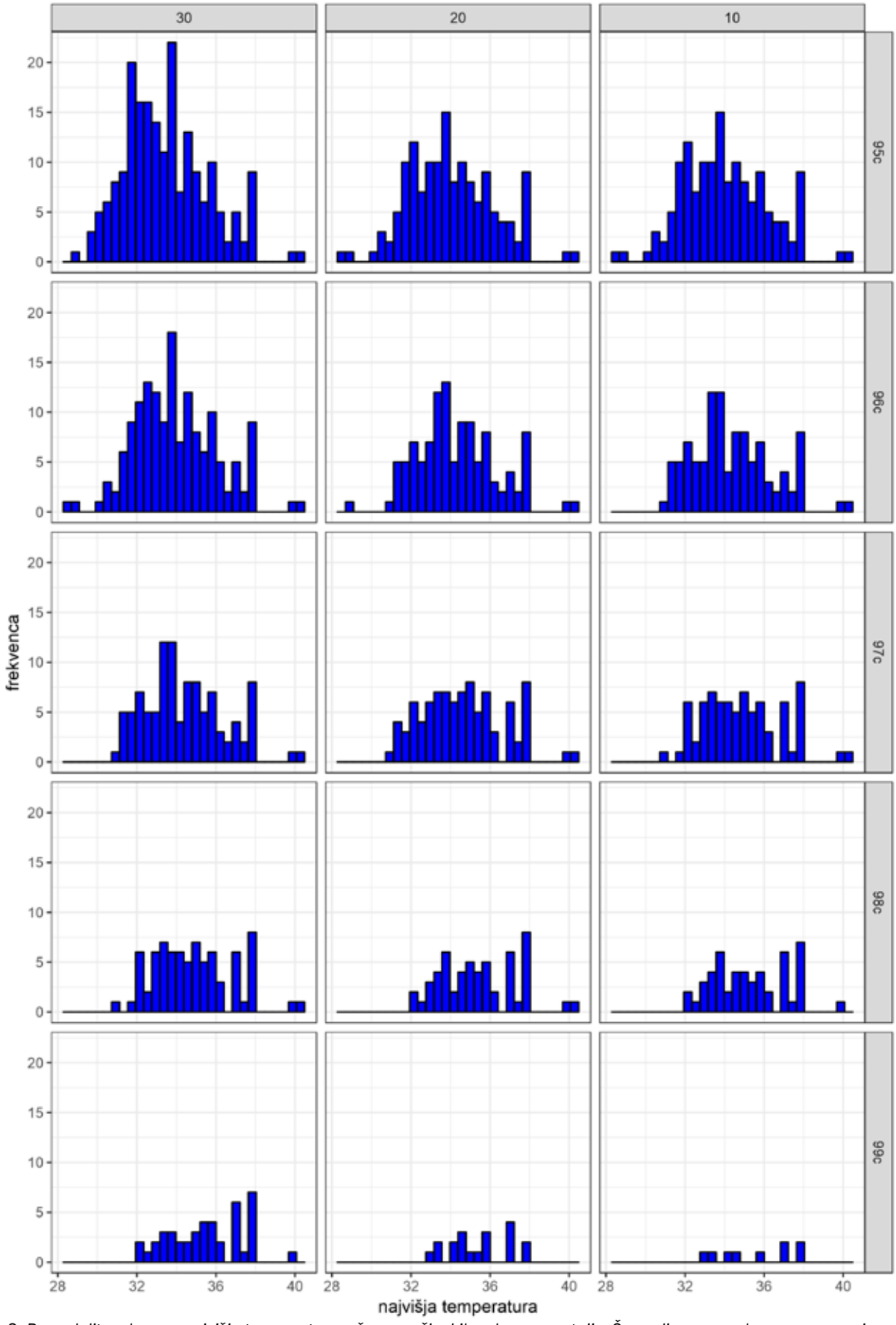
Z višanjem mejne vrednosti dobimo strožje pogoje za nastop vročinskega vala in s tem manjše število le teh. Po drugi strani lahko višja vrednost razdeli en dogodek na dva ali več krajših dogodkov. Tak primer je na sliki 2 (spodaj) v letu 2015, ko je pri višji mejni vrednosti več vročinskih valov (modri stolpec), kot pri nižji meji (rdeči stolpec). Iz rezultatov na sliki 2 opazimo, da v zadnjem desetletju praktično vsako leto beležimo vsaj en vročinski val, medtem ko je bilo takih dogodkov pred letom 1980 zelo malo.

Ob pojavu vročinskega vala je pomembno, kako visoko dnevno temperaturo dosežemo vsak dan



Slika 2. Število vročinskih valov na leto v Ljubljani v odvisnosti od izbire mejne vrednosti (zgoraj) in od izbire referenčnega obdobja (spodaj). Zgornja slika torej prikazuje število vročinskih valov za vseh pet mejnih vrednosti definiranih s centili, ki so izračunani s pomočjo najdaljšega referenčnega obdobja (1986-2015). Na spodnji sliki so prikazani rezultati za vsa tri referenčna obdobja, vendar samo za izbrani centil (96.). Zelene pike na zgornjem grafu tako predstavljajo iste vrednosti, kot rdeči stolpci na spodnjem grafu.

Figure 2. Number of heat waves per year in Ljubljana. The upper graph shows the dependence of heat wave number on the percentile temperature threshold value in the period 1986-2015). The lower graph shows the heat wave frequency when the temperature threshold value is 96. percentile in three different reference periods. Green dots on the upper graph denote the same values as red columns on the lower graph.



Slika 3. Porazdelitve dnevne najvišje temperature v času vročinskih valov na postaji v Črnomlju za vse obravnavane mejne vrednosti (različne centile in različna obdobja).

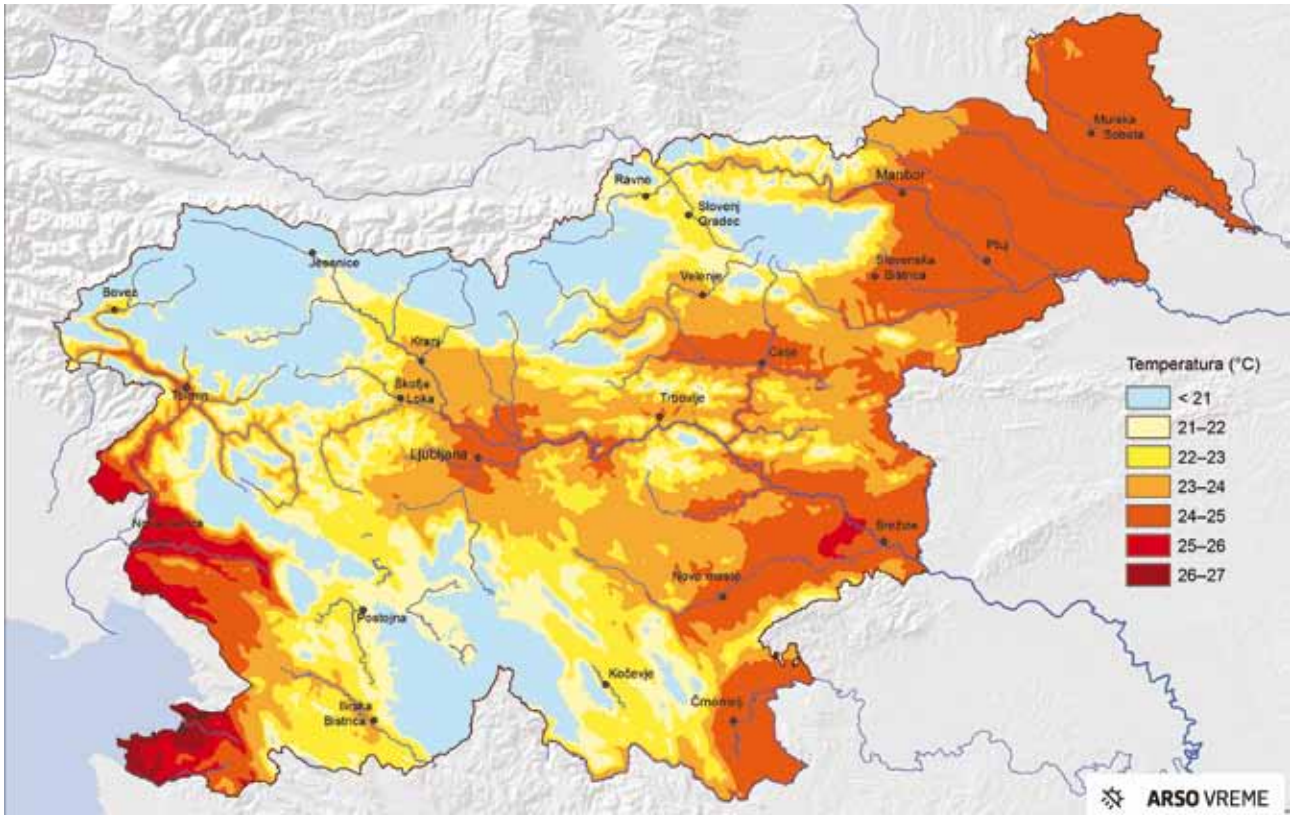
Figure 3. Daily maximum temperature distribution in heat wave episodes on measurement station Črnomelj for all different heat wave threshold temperature values (calculated for different percentiles and different reference period values).

znotraj vročinskega vala. Analizirali smo porazdelitev dnevne najvišje temperature v času vročinskih valov. Primer take analize je za postajo Črnomelj prikazan na sliki 3. Ena od definicij vročinskega vala, ki je bila v preteklosti uporabljena tudi v študijah vplivov vročinskih valov v Sloveniji, je drugi zaporedni dan, ko psevdo-ekvivalentne temperatura preseže 56 °C. Analiza dnevne najvišje temperature v tako definiranih vročinskih valovih je pokazala, da je ta le izjemoma nižja od 30 °C. Tako je bila ena od zahtev za določanje mejne temperature tudi ta, da je dnevna najvišja temperatura v dnevih z vročinskim valom v večini primerov nad 30 °C. Na podlagi porazdelitev dnevne najvišje temperature v času vročinskih valov pri različnih mejah in analize pogostosti vročinskih valov pri različnih mejah lahko iz uporabe izločimo 98. in 99. centil. To sta očitno prestrogi meji, saj s takšnima mejama zajamemo zelo majhno število zelo vročih dni (slika 2) in izpustimo veliko število dni, ko dnevna najvišja temperatura močno preseže 30 °C (slika 3). Na primeru Črnomlja, ki je predstavljen na sliki 3, vidimo, kaj pomeni prestrog pogoj za mejno vrednost. V primeru 99. centila, izračunanega na deset in dvajsetletnem obdobju, se med vročinske valove ne uvrstita dneva, ko sta bili izmerjeni dve od najvišjih temperatur na tej postaji (40,0 °C, 40,3 °C), saj povprečna temperatura v treh zaporednih dneh ni dosegala strogih pogojev (27,3 °C in 27,5 °C). Tako visoke temperature navadno izmerimo po več zelo vročih dnevih, ko vročina iz dneva v dan narašča, torej bi se pričakovalo, da se to obdobje nedvomno šteje za vročinski val. Izredno veliko dogodkov, kar ponovno kaže na manj primerno izbiro, dobimo v primeru meje pri 95. centilu (slika 2). V tem primeru med vročinske valove uvrstimo tudi veliko dni, ko dnevna najvišja temperatura ne doseže 30 °C (slika 3).

Regionalne značilnosti temperaturne meje za vročinski val

Na podlagi rezultatov, ki so bili pridobljeni z enakimi analizami kot na sliki 2 in 3 za vse obravnavane postaje, se je za najprimernejšo izbiro za definicijo vročinskega vala izkazal 96. centil na zadnjem desetletnem obdobju, oz. 97. centil na tridesetletnem obdobju. Razlike med mejnimi vrednostmi, izračunanih za oba primera iz omenjenih dveh centilov, so v 80 % postaj med 0,0 °C in 0,2 °C, največja razlika je na postaji Postojna, kjer znaša 0,6 °C. Glede na po podnebnih scenarijih predvideno rast temperature v naslednjih desetletjih, se zdi bolj smotrna izbira definicije na podlagi podatkov zadnjega desetletja (2006-2015), ki se mora v prihodnosti redno preverjati na novih podatkih. Nove temperature praga vročinskega vala bi se tako računale po sedanjih ocenah predvidoma vsakih deset let.

Za izbrano mejo dnevne povprečne temperature (96. centil na zadnjem desetletnem obdobju)



Slika 4. Prostorska porazdelitev dnevne povprečne temperature zraka pri 96. centilu v obdobju 2006–2015 (DPT96).

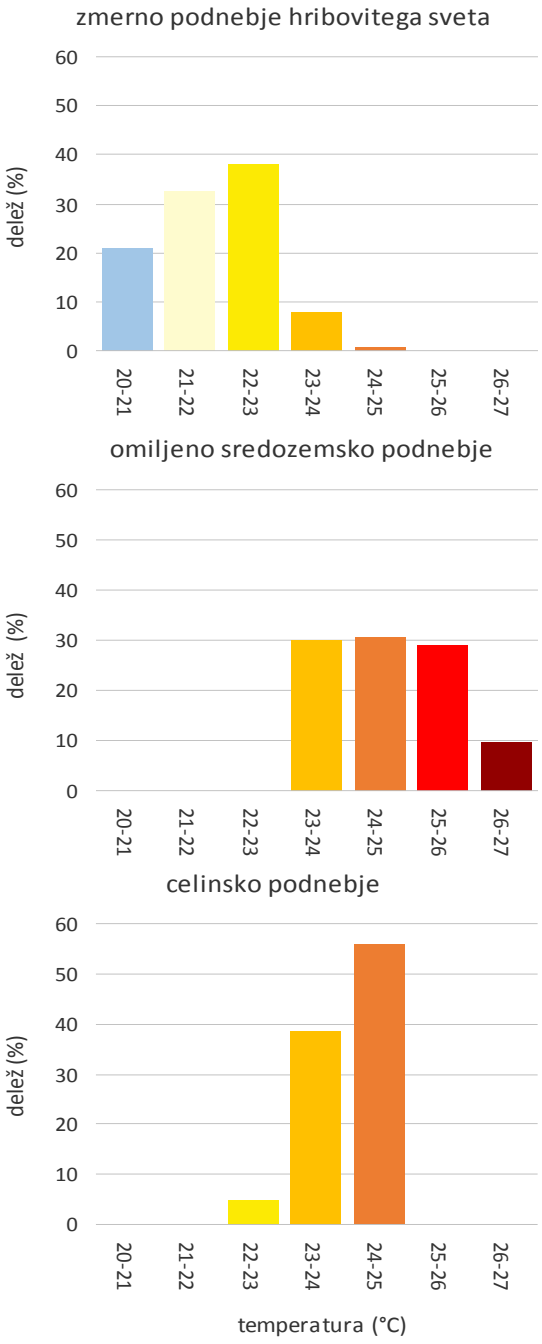
Figure 4. Spatial distribution of the 96. percentile of daily mean temperature in teh reference period 2006–2015 (DPT96).

smo naredili prostorsko analizo. Na sliki 4 je predstavljena prostorska porazdelitev dnevne povprečne temperature pri 96. centilu obdobja 2006–2015 (DPT96). Na sliki 5 je prikazana prostorska spremenljivost DPT96 znotraj posamezne podnebne regije s slike 1. Najbolj enotna je DPT96 znotraj regije s celinskim podnebjem, v večjem delu tega območja se giblje med 23 °C in 25 °C, le na zelo majhnem območju pade pod 23 °C. Na prvi pogled se zdi spremenljivost DPT96 znotraj regije z zmernim podnebjem hribovitega sveta kar precejšnja, od manj kot 20 °C pa vse do 25 °C. Izkaže se, da je DPT96 pod 21 °C vezana na najvišje predele Slovenije z gorskim podnebjem. To območje smo zaradi zelo redke poseljenosti in nizkih povprečnih temperatur že na začetku izločili iz analize, saj se na tem območju ne srečujemo s posledicami prevelike toplotne obremenitve. Če izločimo območje z gorskim podnebjem, se porazdelitev DPT96 znotraj regije z zmernim podnebjem precej skrči. Večinoma se DPT96 giblje med 21 °C in 23 °C, le na majhnem območju je tudi nekoliko višja. Največjo prostorsko spremenljivost in hkrati najvišje vrednosti DPT96 imamo tako znotraj regije z omiljenim sredozemskim podnebjem, kjer se giblje med 23 °C in 26 °C, na ozkem obalnem pasu Slovenije pa doseže tudi 27 °C.

Zgoraj naštete ugotovitve so povzete v preglednici 2, kjer je za posamezno regijo podano prostorsko povprečje DPT96 znotraj regije, ter standardni odklon, ki meri prostorsko spremenljivost DPT96 znotraj regije. Najvišje povprečje DPT96 je s 24,7 °C v regiji z omiljenim sredozemskim podnebjem, hkrati pa se v tej regij DPT96 tudi najbolj spreminja. Podobno velika prostorska spremenljivost je v regiji z zmernim podnebjem, kjer je povprečje bistveno nižje (21,8 °C). Le nekoliko nižje povprečje od regije z omiljenim sredozemskim podnebjem ima regija s celinskim podnebjem (24,0 °C) ima pa ta regija precej manjšo prostorsko spremenljivost kot ostali dve regiji.

Definicija vročinskega vala za Slovenijo

Rezultati prostorske analize so pokazali, da je spremenljivost DPT96 znotraj regij velika, v vseh primerih je interval dvakratnega standardnega odklona večji od 1 °C. To dejstvo in pa vodilo, da mora biti kazalnik čim bolj enostaven, sta nas vodila k sklepu, da mejno dnevno povprečno temperaturo zraka za nastop vročinskega vala zaokrožimo na celo stopinjo Celzija. Za določanje konkretne meje smo sledili rezultatom prostorske analize. Za vsako od podnebnih regij smo mejo za nastop vročinskega vala določili povprečno vrednost DPT96 znotraj regije, zaokroženo na celo stopinjo Celzija. Pri tem pa smo preverili tudi vrednosti DPT96 na merilnih mestih iz preglednice 1. Ker se bo v prihodnosti nastop vročinskega vala spremljal na teh merilnih mestih, DPT96 teh merilnih mest ne sme veliko odstopati od mejne vrednosti regije, v kateri ležijo. Za sprotno spremljanje vročinskih valov je težavno predvsem odstopanje DTP96 merilnega mesta od regionalnega navzdol, saj v tem primeru tvegamo, da ne bomo beležili vročinskega vala tudi v primeru, ko so v regiji



Slika 5.. Pogostost pojavljanja posameznih vrednosti DPT96 znotraj posamezne temperaturne regije. Frekvenčna porazdelitev za regijo z zmernim podnebjem hribovitega sveta je izračunana za celotno regijo, vključujoč območje z gorskim podnebjem.

Figure 5. The distribution of DPT96 for temperature regions (Figure 1). Values for region of hilliy are calculated including area with alpine climate (dark green in Figure 1).

Preglednica 2. Prostorsko povprečje in standardni odklon DPT96 znotraj posamezne temperaturne regije. Vrednosti za regijo z zmernim podnebjem so izračunane brez upoštevanja območja z gorskim podnebjem (temno zeleno na sliki 1).

Table 2. Spatial avarage and standard deviation of DPT96 for temperature regions (Figure 1). Values for region of hilliy are calculated dicarding area with alpine climate (dark green on Figure 1).

regija	povprečje (°C)	standardni odklon (°C)
zmerno podnebje hribovitega sveta	21,8	1,0
celinsko podnebje	24,0	0,6
omiljeno sredozemsko podnebje	24,7	1,1

izpolnjeni pogoji za njegov nastop. Primerjava kaže, da je na večini postaj DPT96 višji od mejne vrednosti za podnebno regijo, v kateri ležijo. To pomeni, da nevarnosti za prezrtje dni s hudo vročino ni. Izjema je postaja Celje, kjer je DPT96 za 0,4 °C nižji od meje za to regijo, zato velja biti predvsem pri napovedovanju vročinskih valov na tej postaji previden. Zelo nizka vrednost DPT96 je zabeležena tudi na postaji Rateče, vendar ta postaja leži na območju z gorskim podnebjem, ki je bilo zaradi majhnega vpliva vročine iz analize izločeno (slika 1).

Po vzoru avstralskega faktorja toplotnega presežka (Nairn in sod., 2013), kjer je vročinski val vsak dogodek, ko imamo vsaj tri dni zaporedoma visoke temperature glede na lokalne podnebne značilnosti, smo se odločili, da tudi v Sloveniji definiramo vročinski val kot obdobje najmanj treh zaporednih dni nad izbrano mejo. Tudi sicer je izbira treh zaporednih dni zelo pogosta (npr. Russo, 2015). Nekatere študije ugotavljajo, da ranljivo prebivalstvo v času hude vročine ravno po treh dneh izpostavitve začne čutiti posledice visokih temperatur (Nairn in sod., 2013). Definicija vročinskega vala za Slovenijo je povzeta v preglednici 3.

Preglednica 3. Mejne vrednosti, ki jih mora povprečna dnevna temperatura zraka doseči ali preseči vsaj tri zaporedne dni, da imamo izpolnjen pogoj za nastop vročinskega vala v posamezni podnebni regiji.

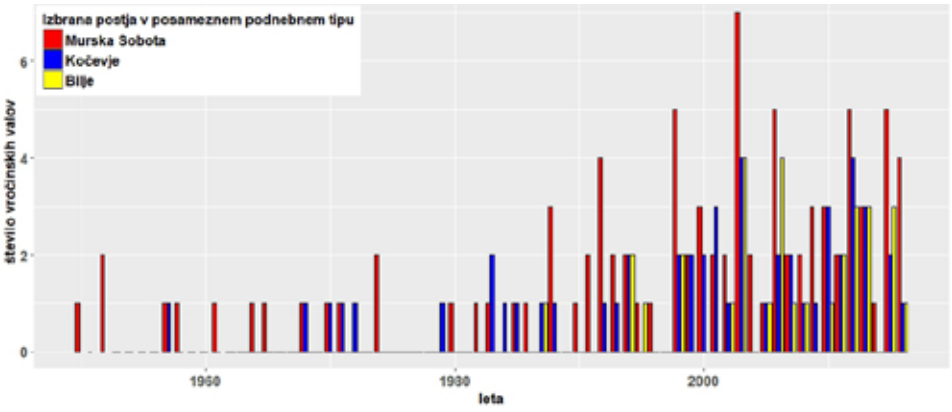
Table 3. Daily mean temperature treshold value which should be reached or exeeded for at least three conscutive days for the heat wave to occure in the respective region.

podnebni tip	temperatura (°C)
zmerno podnebje hribovitega svetao	22
celinsko podnebje	24
omiljeno sredozemsko podnebje	25

Primeri uporabe izbrane definicije vročinskega vala

Na sliki 6 je prikazano letno število vročinskih valov po zgoraj predlagani definiciji (preglednica 3) za tri postaje, ki predstavljajo posamezno temperaturno regijo. Opazen je pozitiven trend števila vročinskih valov, ki se od leta 1990 pojavljajo skoraj vsako leto. Število vročinskih valov v posameznem letu je nekoliko večje v severovzhodni Sloveniji, torej na postaji v Murski Soboti.

Da si lahko predstavljamo temperaturne razmere v dnevih, ko je po definiciji iz preglednice 2 razglašen vročinski val, je na sliki 7 prikazan potek najvišje, najnižje in povprečne temperature ter relativne vlažnosti ob koncu julija in začetku avgusta 2013 v Ljubljani. Iz grafa je razvidno, da je dnevni temperaturni razpon večji ob nižji zračni vlažnosti in manjši ob višji zračni vlagi. Tako se npr. 5. avgusta, ko vlažnost precej poraste, najvišja dnevna temperatura zniža, medtem ko se najnižja dnevna temperatura zviša. Čeprav čez dan ni bilo tako vroče kot predhodni dan (4. avgusta), je toplotna obremenitev ostala podobna zaradi večje zračne vlažnosti (bolj soparno vreme). Poleg tega se je ponoči manj osvežilo. Primer pokaže, da je dnevna povprečna temperatura primerna mera za oceno toplotne obremenitve, saj je bila enaka v obeh obravnavanih dnevih.

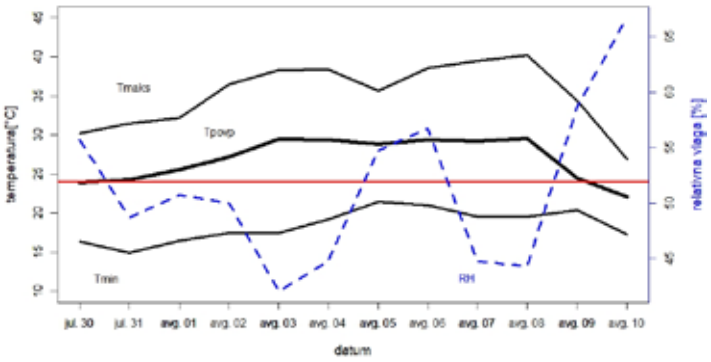


Slika 6. Število vročinskih valov na leto na postajah Murska Sobota (celinsko podnebje), Kočevje (zmerno podnebje hribovitega sveta) in Bilje (omiljeno sredozemsko podnebje).

Figure 6. Annual number of heat waves in Murska Sobota (Continental climate), Kočevje (Moderate climate of hilly region) and Bilje (Submediterranean climate)

Zaključek

V Sloveniji do sedaj nismo imeli določenih kriterijev za enotno spremljanje vročine in vročinskih valov. Z zgoraj predlagano metodologijo poskušamo to vrzel odpraviti. Na posvetu o vročini se je izkazalo, da zaradi velike pestrosti učinkov vročine na živa bitja ni mogoče najti kazalca vročine, ki bi ustrezno pokril vse zahteve različnih študij učinkov vročine na živa bitja. V marsikaterem sektorju je nujno, da upoštevamo vse lastnosti zračne mase ob vročini (od temperature in vlažnosti zraka do sevanja in vetra) in zato postanejo kazalci zelo zapleteni. V primeru komuniciranja s splošno javnostjo, predvsem v primeru spremljanja in napovedovanja vročinskih valov, pa mora biti količina, o kateri govorimo, enostavna in razumljiva. To je bilo eno od osnovnih vodil pri zasnovi zgoraj definiranega vročinskega vala. Zato se je pri uporabi tega kazalca treba zavedati, da gre za poenostavljen kazalec, ki je prvenstveno namenjen spremljanju in napovedovanju obremenjujočih vročinskih razmer za splošno javnost, manj pa poglobljenim študijam učinkov vročine na različne skupine živih bitij. Za slednje je primernejša uporaba kazalcev, ki vsebujejo informacijo o vseh lastnostih zračne mase, ki imajo lahko učinek na proučevan subjekt.



Slika 7. Potek dnevne najvišje, najnižje in povprečne temperature ter relativne vlažnosti v vročinskem valu ob koncu julija in začetku avgusta 2013 v Ljubljani. Z rdečo črto je označena mejna vrednost za vročinski val (glej preglednico 3). Dnevna povprečna temperatura je takrat mejo prekoračila kar v desetih zaporednih dneh.

Figure 7. Daily maximum, minimum and mean temperature and relative humidity course during the heat wave in July and August 2013 in Ljubljana. Read line denotes threshold daily mean temperature value for heat wave (Table 3), which was exceeded in 10 consecutive days during the hot spell.

Viri

Clark R. T., Brown S. J. in Murphy J. M., 2005. Modelling Northern Hemisphere Summer Heat Extreme Changes and Their Uncertainties Using a Physics Ensemble of Climate Sensitivity Experiments, Journal of climate Volume 19

Holton J. R., 2004. An introduction to dynamical meteorology, Elsevier Academic Press

Kozjek K., 2016. Objektivna opredelitev podnebnih regij Slovenije: magistrsko delo. Ljubljana, 85 str.

Kjučevšek N., 2016. Detekcija in vpliv vročinskih valov v Sloveniji: magistrsko delo. Ljubljana 66. str

Kjučevšek N., 2018. Pregled kazalcev za detekcijo in klimatologijo vročinskih valov v Sloveniji, Vetrnica 10 , Ljubljana

Li D. in Bou-Zeid E., 2013. Synergistic Interactions between Urban Heat Islands and Heat Waves: The Impact in Cities Is Larger than the Sum of Its Parts, Journal of American Meteorological Society

McGregor G. R., Bessemoulin P., Ebi K. in Menne B., 2015. Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. World Meteorological Organization and World Health Organization. (Dostopno na http://www.who.int/globalchange/publications/WMO_WHO_Heat_Health_Guidance_2015.pdf?ua=1)

Nairn J.R. in Fawcett R., 2013: Defining heatwaves: heatwave defined as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia. Centre for Australian Weather and Climate Research

Russo S., Dosio A., Graverson R. G., Sillman J. in sod., 2014. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. Journal of Geophysical Research: Atmospheres

Russo S., Sillmann J. in Fiscger E.M., 2015. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades, Environmental Research Letters

Schatz J. in Kucharik C. J., 2015. Urban climate effects on extreme temperatures in Madison, Wisconsin, USA, IOP science.

Vertačnik G., 2015. Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011, Kontrola in homogenizacija podnebnih podatkov, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, str. 101

spletni vir: http://www.smd.v-izdelavi.si/data/upload/VABILO.pdf

Kriteriji za opozarjanje na ekstremno visoke temperature

Janez Markošek, Agencija Republike Slovenije za okolje,
(janez.markosek@gov.si)

Uvod

Državna meteorološka služba se je leta 2008 priključila skupini evropskih držav, ki svoje prebivalce in obiskovalce prek spletne strani www.meteoalarm.eu opozarjajo pred nevarnimi vremenskimi razmerami. Barvna lestvica kaže na stopnjo vremenske ogroženosti in možne posledice. Leta 2011 smo v nabor vremenskih ujm, za katere državna meteorološka služba izdaja opozorila, vključili tudi ekstremno visoke temperature.

Opozorilni sistem

Stalno dostopna informacija o nevarnem vremenskem dogajanju predstavlja velik prispevek k obveščenosti o stopnji ogroženosti prebivalcev in njihove lastnine. Posredovanje napovedi in opozoril o nevarnih vremenskih razmerah je ena osnovnih nalog državnih meteoroloških služb. Državna meteorološka služba opozorilo običajno izda, ko napovedane vrednosti posameznih meteoroloških spremenljivk presežejo vnaprej definirane kriterije. Od leta 2008 smo opozorila posredovali v enotni evropski opozorilni sistem Meteoalarm, kjer so združene osnovne informacije o pričakovanih vremenskih ujmah na ozemlju Evrope. Nekaj let pozneje smo začeli na spletnem portalu (www.meteo.si/pozor) objavljati bolj podrobne informacije za območje Slovenije in sicer za 5 dni vnaprej. Informacije so prikazane na enoten način, barvna lestvica kaže na stopnjo vremenske ogroženosti in možne posledice z nasveti za ukrepanje. Na ta način se zagotavlja usklajene interpretacije vremenske ogroženosti po vsej Evropi. V letu 2011 smo naboru nevarnih vremenskih pojavov dodali tudi opozarjanje na ekstremno visoke temperature.

Pomen barvne lestvice

Barva lestvica kot prikaz stopnje ogroženosti ima naslednji pomen:

Zelena:
posebna pozornost v zvezi z vremenskimi dogajanji ni potrebna.

Rumena: bodite pozorni!
Vreme je potencialno nevarno. Napovedani vremenski pojavi niso neobičajni, vendar bodite pozorni, če načrtujete dejavnosti, ki so odvisne od vremenskih razmer. Priporočamo, da se sproti seznanjate s predvidenimi vremenskimi razmerami in ne tvegajte, kadar ni potrebno.

Oranžna: bodite pripravljeni!
Vremenske razmere so nevarne. Napovedani so neobičajni meteorološki pojavi. Verjetna je gmotna škoda, možne so človeške žrtve. Bodite zelo pozorni in se redno seznanjajte s podrobnostmi v zvezi z napovedanimi vremenskimi razmerami. Zavedajte se tveganj, ki se jim morda ne boste mogli izogniti. Upoštevajte uradno izdana priporočila.

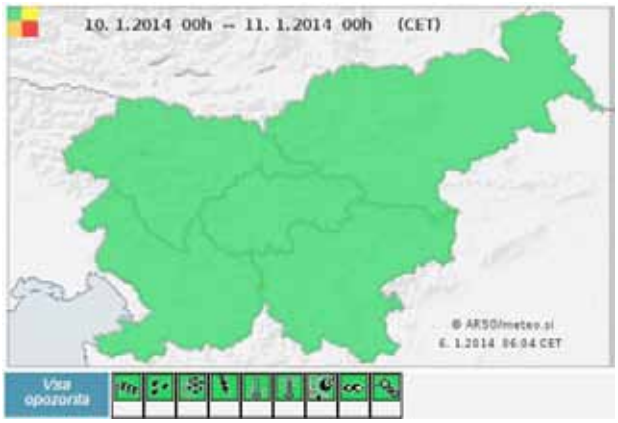
Rdeča: ukrepajte!
Napovedane vremenske razmere so zelo nevarne. Napovedani so zelo burni meteorološki pojavi. Na širšem območju je verjeten nastanek večje gmotne škode in nesreč, ogrožena so človeška življenja. Čim pogosteje se seznanjajte s podrobnostmi v zvezi z napovedanimi vremenskimi razmerami in tveganji. Brezpogojno upoštevajte uradne ukaze in priporočila, bodite pripravljeni na izredne ukrepe.

Mejne vrednosti za izdajo opozorila

Slovenijo smo glede na podnebne značilnosti razdelilia na več regij. Trenutna razdelitev je na pet regij (slika 1), ki so poimenovane po straneh neba (severozahodna, jugozahodna, severovzhodna in jugovzhodna), vmes pa je še centralna regija, ki zajema širše območje Ljubljanske kotline ter Zasavje. Mejne vrednosti (preglednica 1) so bile za vsako regijo dobljene iz podnebnih podatkov obdobja 2001-2010 večjih naseljenih krajev znotraj posamezne regije. Vsekakor pa pri odločanju o stopnji ogroženosti zaradi visokih temperatur zraka ne upoštevamo le zgoraj navedenih mejnih vrednostih, temveč so pri odločanju za oranžno ali rdečo stopnjo ogroženosti pomembni tudi naslednji dejavniki: trajanje kritičnih temperatur tekom dneva, trajanje večdnevnega vročinskega vala, vlažnost zračne mase, povprečna dnevna hitrost vetra, padavine itd.

Preglednica 1. Mejne vrednosti dnevne najvišje (T_{max}) in povprečne temperature (T_{pov}) zraka za različne stopnje ogroženosti

	Regija				
	JZ	**SZ**	**C**	**SV**	**JV**
Rumena	T_{max}>32 °C	T_{max}>29 °C	T_{max}>31 °C	T_{max}>31 °C	T_{max}>32 °C
Oranžna	T_{max}>36 °C in/ali T_{pov}>26 °C	T_{max}>33 °C in/ali T_{pov}>23 °C	T_{max}>34 °C in/ali T_{pov}>26 °C	T_{max}>34 °C in/ali T_{pov}>26 °C	T_{max}>35 °C in/ali T_{pov}>26 °C
Rdeča	T_{max}>38 °C in T_{pov}>28 °C	T_{max}>35 °C in T_{pov}>26 °C	T_{max}>37 °C in T_{pov}>28 °C	T_{max}>37 °C in T_{pov}>28 °C	T_{max}>38 °C in T_{pov}>28 °C



Slika 1. Zemljevid regij za izdajanje opozoril

Posledice in nasveti

Vsaki od treh stopenj vremenske ogroženosti zaradi visokih temperatur je pripisan tudi tekst s posledicami, ki so možne zaradi takšnega vremenskega stanja ter priporočila za ravnanje prebivalcev. Za primer spodaj navajamo tekst, ki se izpiše ob najvišji (rdeči) stopnji ogroženosti.

Posledice: zelo visoke temperature bodo močno vplivale na zdravstveno stanje občutljivejšega dela populacije.

Nasveti in priporočila: sredi dneva in popoldne se zadržujte v senci, odsvetujemo velike fizične napore na prostem. Uživajte lahko hrano in pijte zadostno količino tekočine. Nosite zračna in lahka oblačila. Odsvetujemo pitje kave, alkohola in zelo sladkih pijač. Če je možno, pojdite v gozd, višje lege, ob vodo. V mestih se vsaj za nekaj ur dnevno zadržujte v ohlajenih prostorih. Če jemljete zdravila za uravnavanje krvnega tlaka, se posvetujte s svojim zdravnikom. Klimatske naprave naj ne bi bile nastavljene na temperaturo, ki je več kot 8 °C nižja od zunanje. Domačim živalim zagotovite zadostno količino sveže vode in senco. Bivalne prostore zračite ponoči in zjutraj in poskrbite za zadostno kroženje zraka. Priporočamo senčenje prostorov od zunaj. Na soncu parkirana vozila pred začetkom vožnje dobro prezračite. Spremljajte navodila pristojnih služb.

Viri

Navodilo za pripravo vremenskih opozoril (ARSO, 2011)