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)

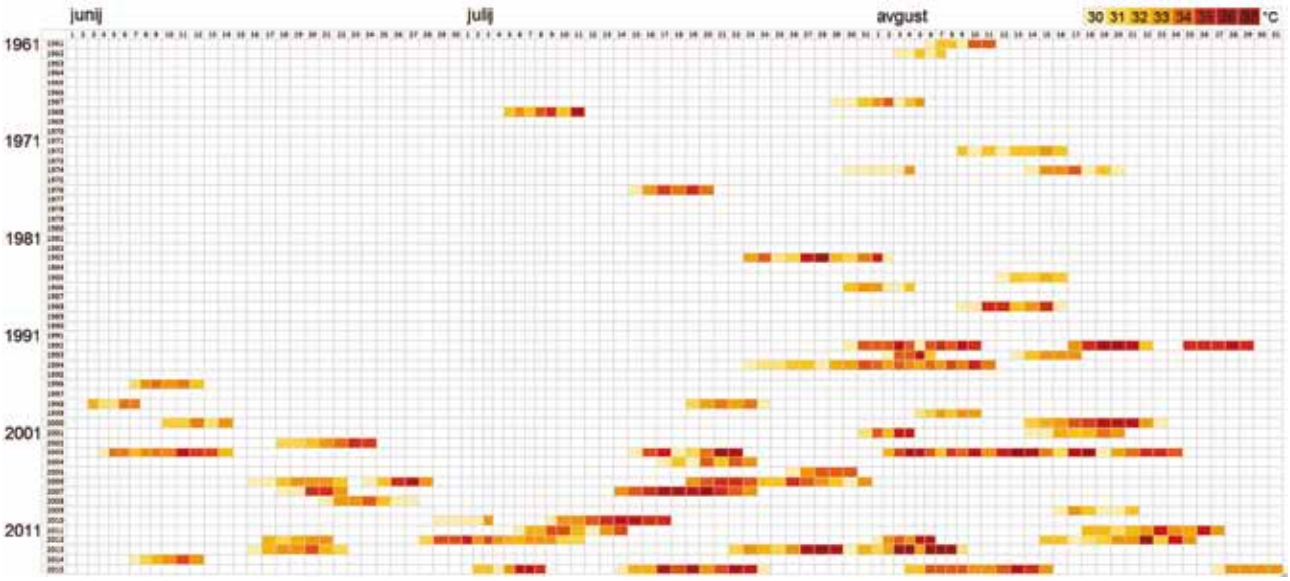
Preglednica 4. Izračunane vrednosti kazalnika HWMId v obdobju 2000–2015 za Ljubljano in Celje (Pogačar in sod. 2016a)

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

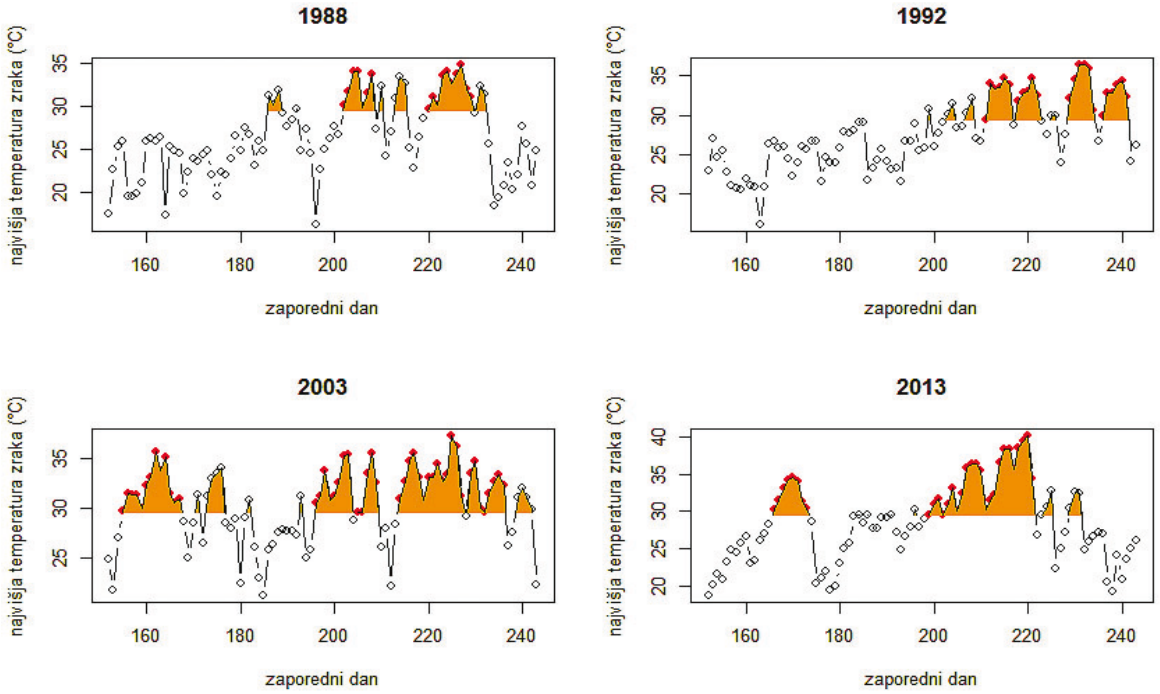
predstavitvijo rezultatov. Tako smo na podlagi definicije, da vročinski val nastopi, ko so najvišje dnevne temperature zraka pet ali več dni enake ali višje od 29,5 °C, pripravili t.i. časovnice vročinskih valov za nekatere kraje. V Ujmi (Pogačar in sod., 2016a) in na konferenci Vivus (Pogačar in sod. 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).

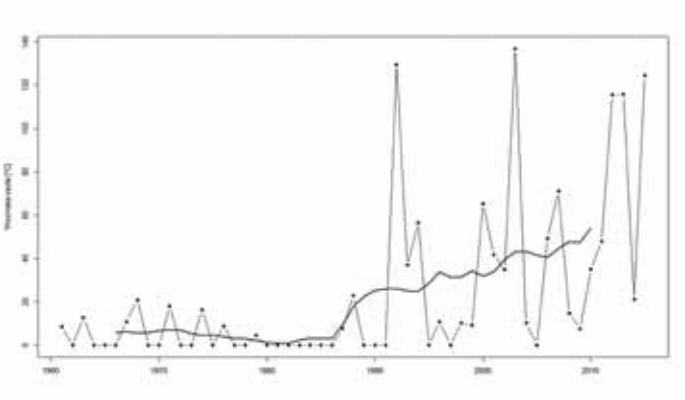
Figure 2. Heat waves in Ljubljana in years 1988, 1992, 2003 and 2013 – days in heat waves are colored red, all days above 29.5 °C are denoted with orange area (160 = 9 June, 240 = 28 August) (Zalar in sod. 2017).

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.

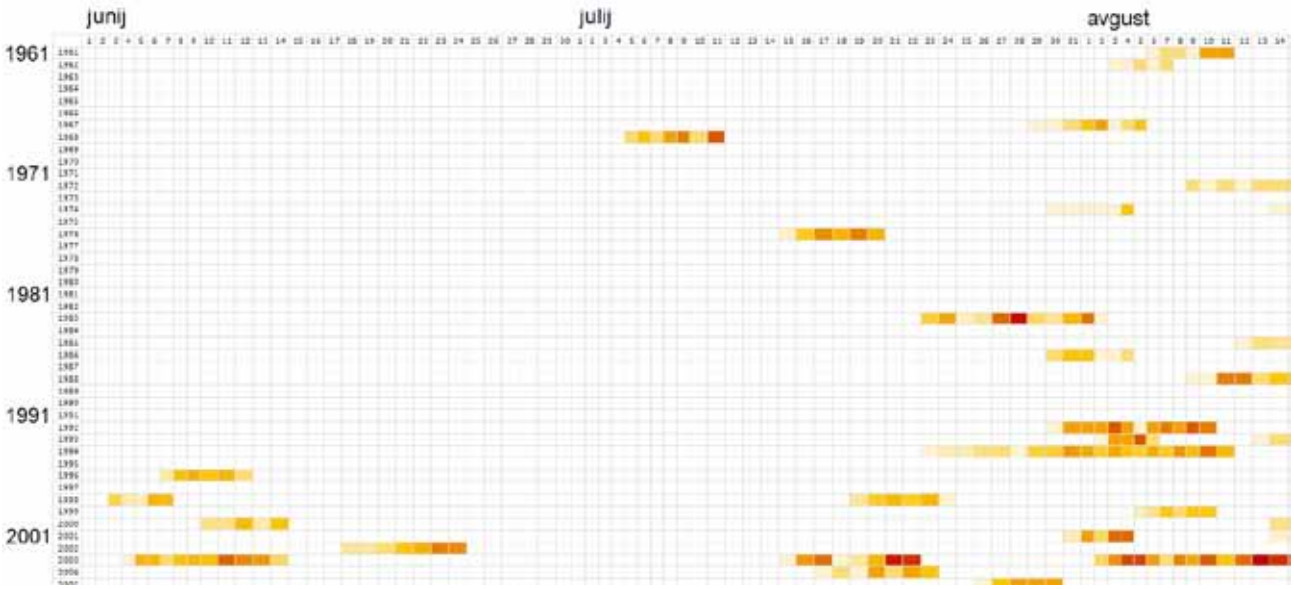
val. Če je torej za vročinski val pogoj, da je najvišja dnevna temperatura zraka vsaj 5 dni zaporedoma vsaj 29,5 °C, potem seštejemo v vseh dneh vročinskega vala odstopanje najvišjih dnevnih temperatur od 29,5 °C navzgor. Na grafu za Mursko Soboto (slika 3) se vidi izrazito naraščanje vročinske vsote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