

Vročinski valovi v Sarajevu v obdobju 1901–2018

Prejeto/
Received:
21. 11. 2023
Popravljeno/
Revised:
01. 12. 2023
Sprejeto/
Accepted:
08. 12. 2023
Objavljeno/
Published:
14. 12. 2023

Igor ŽIBERNA 

Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo; Maribor, Slovenija
igor.zibera@um.si

Nusret DREŠKOVIĆ 

Univerza v Sarajevu, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Oddelek za geografijo; Sarajevo, Bosna in Hercegovina
nusret@pmf.unsa.ba

Ranko MIRIĆ 

Univerza v Sarajevu, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Oddelek za geografijo; Sarajevo, Bosna in Hercegovina
rankom@pmf.unsa.ba

Izvleček

V članku so analizirani vročinski valovi v Sarajevu v obdobju 1901–2018. Predstavili smo trende števila vročinskih valov, njihove dolžine, najvišjih temperatur zraka v vročinskih valovih in kumulativne najvišjih temperatur v vročinskih valovih. Obravnavali smo tudi trende univerzalnega termičnega podnebnega indeksa za Sarajevo v obdobju 1961–2018, ki na bolj integralen način prikazujejo obremenilni toplotni učinek na človeka. V Sarajevu opažamo dvig števila vročinskih valov, števila dni v vročinskih valovih in kumulativne maksimalnih temperatur v vročinskih valovih. Po letu 1961 narašča tudi obremenilni toplotni učinek v poletnih mesecih, kar nakazuje tudi pozitiven trend vrednosti univerzalnega termičnega podnebnega indeksa.

Ključne besede

Mestni toplotni otok, vročinski val, univerzalni termični podnebni indeks, UTCI, Sarajevo

Abstract

Heat waves in Sarajevo in the period 1901–2018

The article analyzes heat waves in Sarajevo in the period 1901–2018. We presented the trends in the number of heat waves, their length, the highest air temperatures during heat waves and the cumulative highest temperatures during heat waves. We also discussed the trends of the universal thermal climate index for Sarajevo in the period 1961–2018, which show the burdensome thermal effect on humans in a more integral way. In Sarajevo we observe an increase in the number of heat waves, the number of days in heat waves and the cumulative maximum temperatures in heat waves. After 1961, the burdensome thermal effect in the summer months also increases, which also indicates a positive trend in the value of the universal thermal climate index.

Keywords

Urban heat island, heat wave, universal thermal climate index, UTCI, Sarajevo



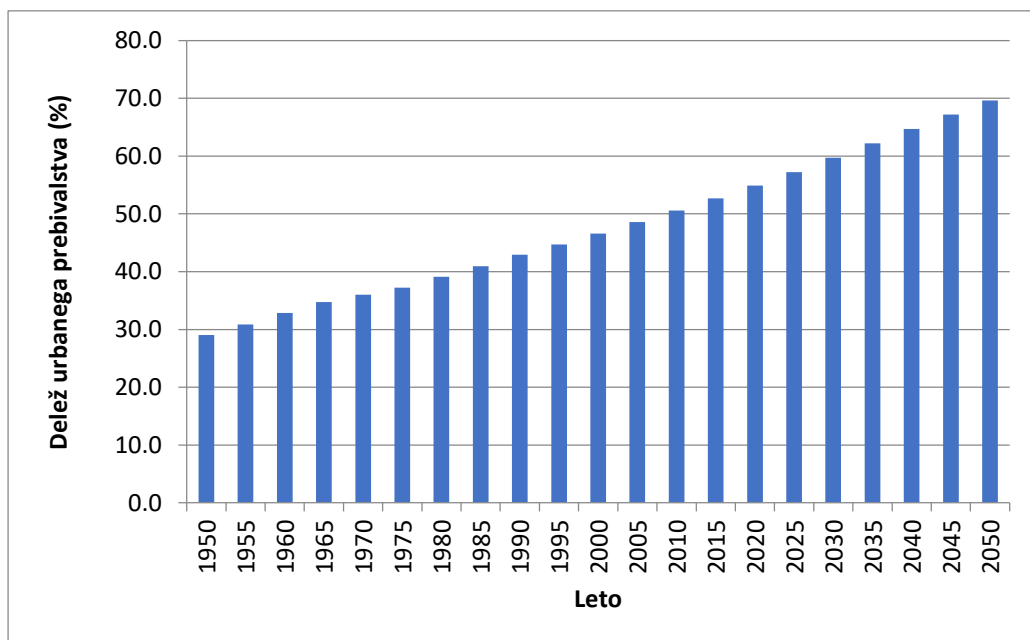
© Avtorji/
Authors, 2023



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

1 Uvod

Danes dobra polovica prebivalstva na Zemlji živi v mestih. Po podatkih OZN je leta 1950 v mestih živel 29,1 % vsega prebivalstva. Ta delež se je do leta 2010 dvignil na 50,6 % in po napovedih bi naj do leta 2050 v urbanih okoljih živel že 68 % vsega svetovnega prebivalstva. V Severni Ameriki kot najbolj urbanizirani celini je leta 2018 v mestih živel 82 % prebivalcev, v Južni Ameriki 81%, v Evropi 74 %, v Aziji okoli 50 %, v Afriki pa 43 %. V Tokiju je leta 2018 živel 37 milijonov prebivalcev, v New Delhiju 29 milijonov, Šanghaju 26 milijonov, Mexico Cityju in Sao Paulu pa po 22 milijonov prebivalcev. Po ocenah bi naj do leta 2030 na svetu obstajalo 43 mest z nad 10 milijonov prebivalcev (UN DESA 2018a). Urbani ekosistem bo torej v prihodnosti oblikoval habitat večine prebivalstva našega planeta.



Slika 1: Spreminjanje deleža mestnega prebivalstva na našem planetu med leti 1950 in 2050.

Vir: UN DESA 2018b.

Vegetacijski pokrov v urbanih območjih lahko obravnavamo v dvojni luči. Po eni strani zelene površine v mestih blažijo pretirane vplive mestnega toplotnega otoka (ob tem imajo pomemben čistilni učinek, saj nase vežejo nekatera onesnaževala) in zaradi evapotranspiracije povečujejo vlažnost zraka. Zelene in vodne površine v mestih modificirajo tudi energijsko bilanco mesta, saj za izhlapevanje porabljajo latentno energijo, kar vpliva na to, da so z vegetacijo porasle površine hladnejše od tistih, ki so pozidane. Po drugi strani pa je vegetacija v mestih pod vplivom vzajemnega učinkovanja globalnega segrevanja in vpliva mestnega toplotnega otoka, zaradi česar se spreminjajo začetki fenofaz in dolžine rastne ter vegetacijske dobe. Študije so pokazale, da je vegetacijska doba v mestih za dober teden daljša kot v ruralni okolici (Žiberna, 2006, 95). V nekaterih srednjeevropskih mestih, v katerih so potekale analize nastopa fenofaz nekaterih rastlin so ugotovili, da te nastopajo za 6 do 10 dni pred tistimi v okolici mest (Roetzer et al., 2000).

Za urbana okolja značilna raba tal (več betonskih in asfaltnih površin in manj z vegetacijo poraslih površin) spreminja energijsko bilanco mesta. Beton ima v primerjavi z vlažnimi tlemi tudi do šestkrat večjo toplotno prevodnost (konduktivnost) in skoraj dvakrat večjo toplotno kapaciteto (Oke, 1992, 259; Gartland, 2008). Mesto se zato podnevi počasneje segreva, ponoči pa počasneje ohlaja. Posledica tega je spremenjen režim dnevnih temperaturnih amplitud med mestom in okolico. Pri določanju termičnih lastnosti materialov v urbanem okolju pogosto uporabljamo tudi termično difuzivnost. Umetni materiali, ki jih pogosteje najdemo v urbanih okoljih imajo v splošnem višjo termično difuzivnost.

Več pozidanih površin v urbanih okoljih pripomorejo, da ta delujejo kot termoakumulacijska peč, ki čez dan absorbira kratkovalovno sevanje Sonca, medtem ko v energijski bilanci mesta v nočnem času gonilno spremenljivko predstavlja dolgovalovno sevanje, ki je večje na pozidanih območjih kot v nepozidani okolici mest. Temperaturne razlike med mestom in okolico so zato najvišje v času nastopa najnižjih dnevnih temperatur zraka (Žiberna, 1996). Fezer (1994, 53-54) govori tudi o letnem režimu intenzivnosti nastajanja mestnega toplotnega otoka. Medtem ko mesta v subpolarnih območjih beležijo najintenzivnejši razvoj mestnega toplotnega otoka v zimskih mesecih, je v submediteranskih mestih ta najbolj razvit v poletnih mesecih. Celinski del Evrope, še zlasti Panonska nižina z obrobjem kaže, da je mestni toplotni otok običajno najbolj razvit pozimi.

Manj zelenih površin v mestih vpliva na manjšo evapotranspiracijo in nižjo porabo latentne energije, kar dviga temperaturo zraka podnevi in blaži ohlajanje ponoči. Končni rezultat omenjenega je višja pozitivna energijska bilanca mesta v primerjavi s tisto v okolici. Rezultat omenjenega je nastanek mestnega toplotnega otoka. Pri dejavnikih oblikovanja mestne klime ne smemo zanemariti tudi vplive človeka. Ta s svojo aktivnostjo v mestu (ogrevanje, industrija, promet) vnaša energijo v ozračje. V ozračje vnaša tudi materijo, predvsem v obliki onesnaževal in vodne pare. Prašni delci vplivajo na energijsko bilanco, saj znižujejo direktno, večajo pa difuzno sončno obsevanje. Regionalno podnebje vključno z vremenskimi tipi, relief ter antropogeni dejavniki vsi vplivajo na lokalne značilnosti energijske bilance, vodne bilance, sestave zraka, kroženje zraka in nenazadnje vplivajo tudi na vrednosti podnebnih elementov, kar oblikuje značilne mestne podnebne razmere oziroma t.i. "mestno podnebje" (Žiberna, 2006, 82-84).

V prihodnosti lahko zlasti v poletnih mesecih ob anticiklonskih vremenskih situacijah pričakujemo vedno pogostejša obdobja z velikimi toplotnimi obremenitvami. Zato bo prilagajanje nanje nujno tudi v manjših naseljih z zgoščeno pozidavo. Evropska okoljska agencija predlaga tri vrste ukrepov za prilagajanje vedno pogostejšim toplotnim obremenitvam v naseljih: sive (kakovostna izolacija stavb, uporaba zunanjih žaluzij ali polken na oknih, pasivno hlajenje stavb, urbanistična zasnova, ki omogoča prevetrenost), zelene (ohranjanje in širjenje zelenih površin v mestih, uvajanje zelenih zidov in zelenih streh) in mehke (ozaveščenje prebivalstva, kartiranje toplotnih otokov in monitoring) (EEA, 2012, 31). Pomen preučevanja toplotnih otokov tudi v manjših naseljih je zato ključnega pomena za ozaveščanje ljudi, opozarjanje na morebitne prihajajoče toplotne obremenitve in ohranjanje kakovostnega bivalnega okolja. Po podatkih Evropske okoljske agencije je v obdobju 1991–2015 v Evropi zaradi vročinskih valov v povprečju umrlo 192 prebivalcev na milijon prebivalcev (Preglednica 1). Če odštejemo območje vzhodne Evrope, kjer največ ljudi umre zaradi zelo nizkih temperatur, so vročinski valovi daleč najpogostejši vzrok za pojav smrti med vsemi naravnimi nesrečami in za velikostni razred ali dva presegajo smrtnost

zaradi ostalih naravnih nesreč. Ob vroćinskem valu leta 2003 je v Evropi zaradi neposrednih posledic stresa ob visokih temperaturah umrlo 70.000 ljudi (Robine et al., 2008). Vroćinski val, ki je poleti leta 2010 zajel Rusijo, je tam zaradi visokih temperatur terjal 20.000 življenj (Parsons, 2014, 323; MetOffice 2023).

Preglednica 1: Število umrlih na milijon prebivalcev v regijah Evrope zaradi naravnih nesreč v obdobju 1991-2015.

Regija	Poplave in zemeljski plazovi	Obdobja zelo nizkih temperatur	Vroćinski valovi	Nevihte	Požari v naravnem okolju
Vzhodna Evropa	8,57	28,27	11,39	1,73	0,54
Severna Evropa	0,99	1,67	11,17	2,48	0,01
Južna Evropa	6,75	0,92	177,98	1,19	0,97

Vir: EEA, 2017.

Visoke temperature povzročajo tudi psihološki stres in povečujejo medosebne konflikte ter druge oblike patološkega ravnanja ljudi (Hsiang, Marshall, Edward, 2015). Študije so pokazale, da v ZDA vsako povečanje temperature zraka za 1°C nad 15°C znižuje produktivnost za 1,7 % (Hsiang, Deryugina, 2014). Da obstajajo povezave med vroćinskimi valovi in mortaliteto pričajo številne študije (Anderson et.al., 2009; Baccini et.al., 2008; Basu 2002). Ob nadaljevanju današnjih trendov podnebnih sprememb bodo vroćinski valovi na območju celotne Evrope postali vse pogostejši, dolgotrajnejši in intenzivnejši (Meehl, Tebaldi, 2004). Najranljivejša populacija ob vroćinskih valovih so starejši (zaradi fiziološki sprememb v starosti, zaradi kroničnih bolezni, specifičnega življenjskega sloga ali zaradi uživanja nekaterih vrst zdravil) (Kenney, Munce, 2003). Bolj ogroženi ob vroćinskih valovih so še otroci, bolniki s srčno-žilnimi obolenji in obolenji dihal, diabetiki, bolniki z obolenjem ledvic, bolniki z duševnimi motnjami in nepokretni. Na njihovo ogroženost lahko dodatno vplivajo nizek socialno-ekonomski status, socialna izoliranost, slabša dostopnost do zdravstvenih storitev in nasploh slabši bivalni pogoji (Parsons, 2014, 323). Prebivalstvo v Evropi, zlasti v mestnih okoljih se stara. Napovedi kažejo, da bo populacija stara nad 60 let do sredine 21. stoletja predstavljala 21,1 % vsega evropskega prebivalstva (United Nation, 2013). Pričakujemo lahko, da se bo zaradi globalnih podnebnih sprememb do leta 2050 povečalo število s toplotno obremenitvijo povezanih smrti za 257 % (Hajat et al., 2014).

Empirično je potrjeno dejstvo, da vsako gručasto naselje z nad 1000 prebivalci že oblikuje prepoznaven toplotni otok (Bonan, 2008, 522). Po podatkih popisa prebivalstva je leta 2013 v Bosni in Hercegovini od skupaj 3.531.159 prebivalcev 1.506.691 ali 42,7 % živelo v mestnih naseljih, ki so tako ali drugače pod vplivom višjih temperatur zaradi segrevanja v naseljih. Dodatno k toplotni obremenitvi prispevajo pozitivni trendi zaradi globalnega segrevanja. V Sarajevu so trendi dviga povprečne temperature zraka v obdobju 1901–2018 znašali 0,1174 °C/10 let, medtem ko so se v obdobju 1961–2018 dvignili na 0,3115 °C/10 let, v poletnih mesecih pa celo na več kot 0,5 °C/10 let. Prav poletni meseci z vse pogostejšimi vroćinskimi valovi, ki nastopajo pretežno ob anticiklonalnih vremenskih tipih postajajo tudi v manjših naseljih vzrok za veliko toplotno obremenitev in tako vplivajo na zdravje in produktivnost prebivalstva. Zaradi tega je vedenje o pojavu vroćinskih valov v mestih vedno večjega pomena. Temu bodo morali slediti ukrepi za blaženje

previsokih temperatur v mestnih okoljih, kot so širjenje zelenih površin, ozelenjevanje streh, tam kjer je to možno in uporaba svetlejših kritin zaradi povečevanja albeda (Žiberna, 2017). V članku bomo analizirali vročinske valove v Sarajevu v obdobju 1901–2018. Predstavili bomo trende števila vročinskih valov, njihove dolžine, najvišjih temperatur zraka v vročinskih valovih in kumulative najvišjih temperatur v vročinskih valovih. Obravnavali bomo tudi trende univerzalnega termičnega podnebne indeksa za Sarajevo v obdobju 1961–2018, ki na bolj integralen način prikazujejo obremenilni toplotni učinek na človeka.

2 Metodologija

Vročinski val lahko v najširšem smislu pojmuje kot obdobje z nadpovprečno visokimi temperaturami. Natančnejše definicije vročinskega vala temeljijo na kombiniranih kriterijih visokih temperatur v kombinaciji z visoko relativno vlago in vzajemnim neugodnim učinkom na človeško telo, ki se manifestira v slabšem počutju in ki lahko v končni fazi privede tudi smrti (Robinson, 2001). Če želimo vročinski val kvantificirati, nastopijo težave, saj v različnih okoljih za opredeljevanje nastopa vročinskega vala uporabljajo neenotne kriterije. Svetovna meteorološka organizacija označuje vročinski val kot nekaj dnevno do nekaj tedensko obdobje z nadpovprečno visokimi temperaturami, katerih posledica je lahko tudi večja umrljivost ljudi (WMO, 2015). V Belgiji, Luksemburgu in na Nizozemskem je vročinski val definiran kot obdobje, v katerem se najvišje dnevne temperature zraka vsaj pet zaporednih dni dvignejo nad 25 °C. Podoben kriterij uporabljajo tudi na Švedskem in Danskem (DMI 2023). V južni Avstraliji je vročinski val definiran kot obdobje petih zaporednih dni z najvišjo dnevno temperaturo zraka nad 35 °C (Australian Government 2023a), medtem ko Avstralski urad za meteorologijo vročinski val opredeljuje kot obdobje, v katerem so vsaj trije dnevi z nadpovprečno najvišjo dnevno temperaturo zraka (Australian Government 2023b). V našem primeru smo - tudi zaradi možnosti kasnejših primerjav - uporabili kriterij, kot so ga definirali Zalar, Pogačar, Črepinšek in Kajfež-Bogataj (2017), po katerem je vročinski val obdobje z najmanj petimi zaporednimi dnevi z najvišjo dnevno temperaturo zraka vsaj 30 °C.

Podatke o najvišjih dnevni temperaturah zraka za obdobje od 1. januarja 1901 do 31. decembra 2018 smo za meteorološko postajo Sarajevo-Bjelave pridobili na spletni strani European Climate Assessment (ECA 2023). V prvem koraku smo za omenjeno obdobje analizirali trende povprečnih mesečnih temperatur zraka, povprečnih maksimalnih mesečnih temperatur zraka in povprečnih minimalnih mesečnih temperatur zraka. V nadaljevanju smo za obravnavano obdobje analizirali letno število dni z najvišjo dnevno temperaturo zraka nad 30 °C in letno število dni z najnižjo dnevno temperaturo zraka nad 20°C. Na koncu smo ugotavljali letno število dni v vročinskih valovih (po mesecih), trajanje vročinskih valov (v številu dni) in njihovo intenzivnost. Slednjo smo prikazali s povprečno najvišjo dnevno temperaturo zraka v posameznem vročinskem valu in s kumulativo najvišjih dnevni temperatur zraka v posameznem vročinskem valu. Rezultate analiz smo prikazali grafično, z linearno regresijo in regresijsko polinomske krivuljo petega reda, ki najboljše opisuje spremembe od leta 1901 naprej. Da bi pokazali lokalne razlike v intenzivnosti mestnega toplotnega otoka v času vročinskega vala, smo uporabili tudi metodo daljinskega zaznavanja, in sicer posnetke satelita Landsat 8 v 10. in 11. kanalu, ki prikazujejo temperaturo površja (Land Surface Temperature – LST) s prostorsko resolucijo 30m x 30m (USGS 2023) na območju Sarajeva. Temperature v obeh kanalih smo povprečili in upoštevali tudi atmosfersko korekcijo.

Eden od splošno sprejetih kazalcev toplotne obremenitve je univerzalni termični podnebni indeks (Universal Thermal Climate Index ali UTCI). Analizirali smo trende UTCI za meteorološko postajo Sarajevo-Bjelave za obdobje 1961–2018, pri čemer smo se osredotočili predvsem na analizo obremenilnih učinkov mestnega podnebja na človeka zlasti ob anticiklonalnih vremenskih situacijah v poletnih mesecih. UTCI je definiran kot referenčna temperatura, ki jo posameznik zaznava, pri čemer za njen izračun poleg temperature zraka upoštevamo še hitrost vetra, parni tlak in človekov metabolizem (Błażejczyk et al., 2013, 6-8). Stopnja obremenilnega vpliva na človeka glede na vrednost UTCI je prikazana v Preglednici 4.

Preglednica 2: Stopnja obremenilnega vpliva na človeka glede na vrednost UTCI.

UTCI (°C)	Stopnja obremenilnega vpliva
Nad +46	izjemno močan obremenilni toplotni vpliv
+38 to +46	zelo močan obremenilni toplotni vpliv
+32 to +38	močan obremenilni toplotni vpliv
+26 to +32	zmeren obremenilni toplotni vpliv
+9 to +26	brez obremenilnega toplotnega vpliva
+9 to 0	šibek obremenilni vpliv zaradi mraza
0 to -13	zmeren obremenilni vpliv zaradi mraza
-13 to -27	močan obremenilni vpliv zaradi mraza
-27 to -40	zelo močan obremenilni vpliv zaradi mraza
Pod -40	izjemno močan obremenilni vpliv zaradi mraza

Vir: Błażejczyk et al., 2013.

Podatke o vrednostih UTCI za meteorološko postajo Sarajevo-Bjelave smo povzeli iz baze podatkov European Climate Assessment (ECA 2023) in sicer za obdobje 1961–2018.

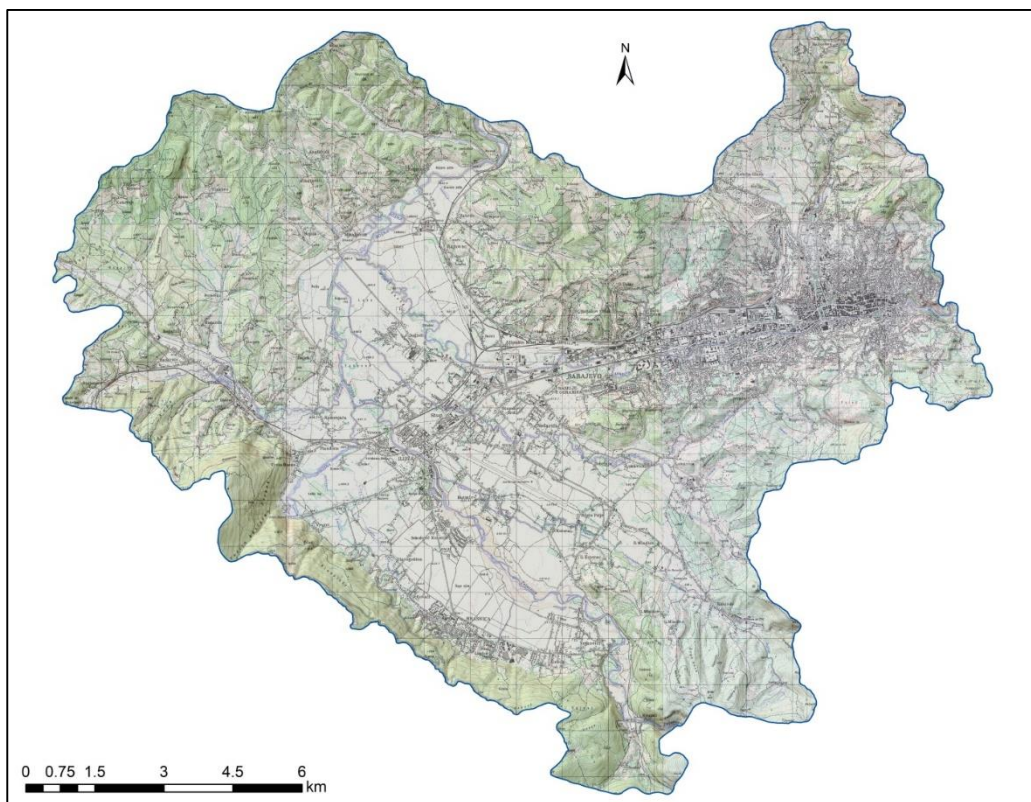
3 Rezultati

3.1 Glavne geografske in podnebne značilnosti Sarajeva in okolice

Mesto Sarajevo je nastalo v Sarajevski kotlini, ki je nastala na širšem območju izvirov Bosne in ustij njenih pritokov: Željeznice, Tilave, Dobrinje, Zujevine in Miljacke. Del porečja predstavlja dolina reke Miljacke, od izliva v reko Bosno do sarajevskega naselja Bentbaša, v gorvodni smeri. Površina Sarajevske kotline v teh mejah je približno 50,4 km² (Slika 2).

Povprečna letna temperatura zraka v spodnjem delu Sarajevske kotline se spreminja glede na nadmorsko višino. Spodnji, vzhodni deli kotline (del aluvialne ravnice reke Miljacke na območju Viječnice - 550 m n. v.) imajo približno 9,5 °C, zahodni del (Sarajevsko polje - 500 m n.v.) pa okoli 9,4 °C. Z višanjem nadmorske višine povprečna letna temperatura precej hitro pada z vrednostmi vertikalnega temperaturnega gradienta okoli 0,55 °C/100 m. Najvišja višinska točka, ki predstavlja tudi del morfološke meje v zahodnem delu kotline, je vrh Bjelšnice (Zvezdarnica - 2067 m) s povprečno letno temperaturo 1,2 °C.

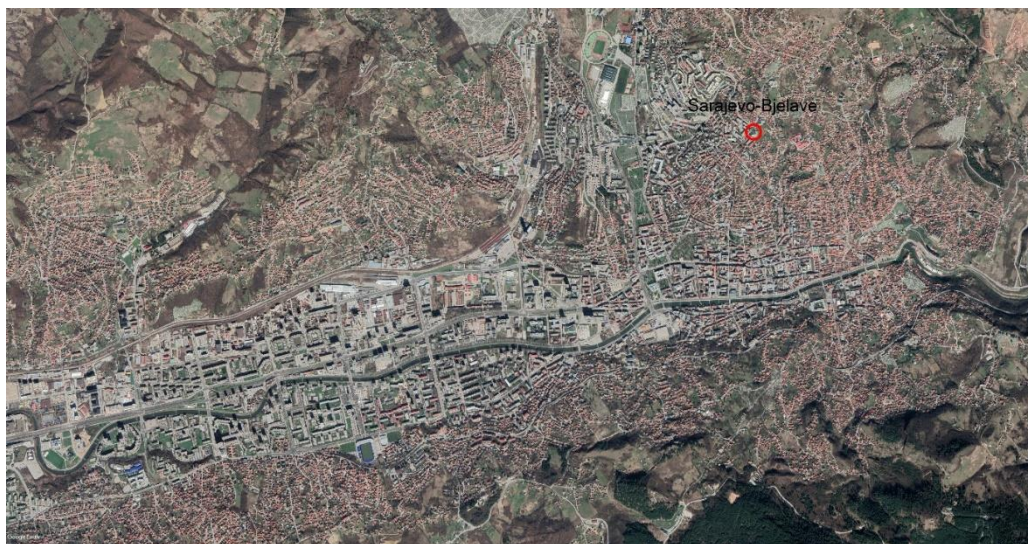
Povprečna letna amplituda temperature v Sarajevski kotlini je okoli 21,0 °C, kar kaže na zmerno-celinsko podnebje. Stopnja toplotne celinskosti (določena po enačbi Gorčinskega) je okoli 33,0 %, kar potrjuje tudi zmerno-celinski značaj podnebja.



Slika 2: Položaj Sarajeva v Sarajevski kotlini.

Vir: Topografska karta, 1:25.000, List Sarajevo.

Meteorološka postaja Sarajevo-Bjelave je locirana v severovzhodnem delu mesta, na nadmorski višini 630 m, na pobočju, ki se od starega dela mesta (Baščaršija) širi v Bjelave, ki je sestavljeno pretežno iz individualnih stanovanjskih hiš (Slika 3 in 4). Območje Bjelave je bilo v obdobju, ki ga obravnavamo v članku že urbanizirano, zato večjih sprememb v rabi tal od začetka 20. stoletja ni beležilo. Sarajevo je namreč pospešeno rast doživelo v času po letu 1878, ko je Bosna in Hercegovina z Berlinskim sporazumom prešla pod nadzor Avstro-Ogrske monarhije. Ta je v zadnji četrtini 19. stoletja v Sarajevu začela širiti industrijo in število prebivalcev v mestu se je do začetka 20. stoletja podvojilo (Donia 2006, 87).



Slika 3: Položaj meteorološke postaje Sarajevo-Bjelave.

Vir: Google Earth, 2023.

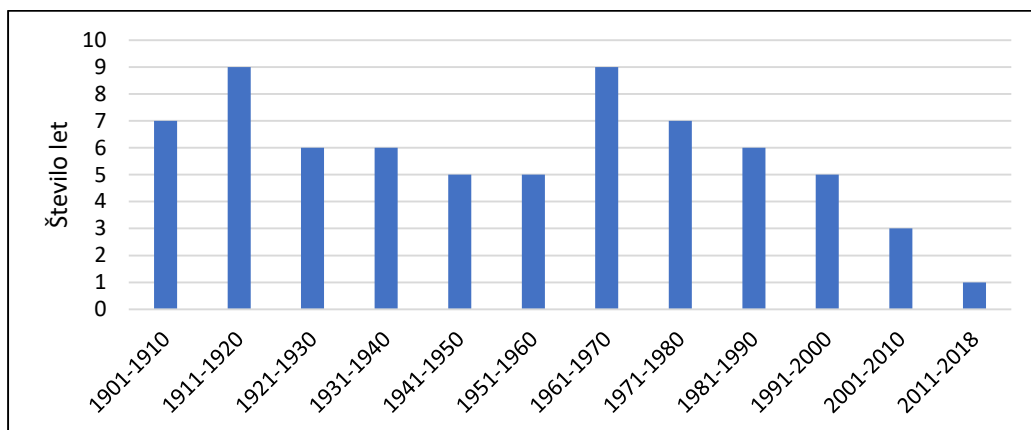


Slika 4: Opazovalni prostor meteorološke postaje Sarajevo-Bjelave.

Vir: Žiberna, 2019.

3.2 Trend števila vročinskih valov

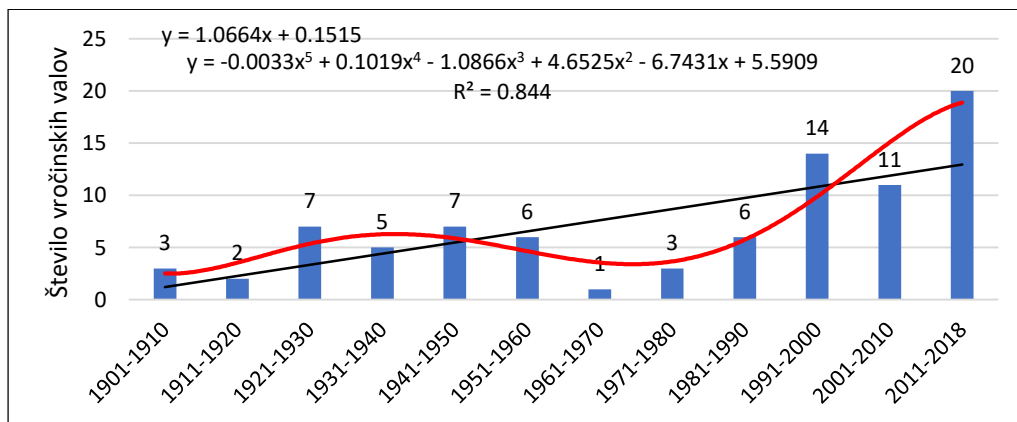
V Sarajevu se število let, v katerih ne prihaja do pojava vročinskega vala, zlasti v zadnjih desetletjih naglo zmanjšuje. V še nepopolnem drugem desetletju 21. stoletja se vročinski valovi niso pojavili le v enem letu (2018), v prvem desetletju 21. stoletja pa le v treh letih (2001, 2003, in 2009) (Slika 5), kar pa ne pomeni, da poletja v teh letih niso bila nadpovprečno topla.



Slika 5: Število let brez vročinskih valov v Sarajevu po desetletjih v obdobju 1901-2018 (Opomba: zadnji razred zajema le osem let).

Vir: ECA, 23; Lastni izračuni, 2023.

V obdobju 1901–2018 je bilo v Sarajevu zabeleženih 85 vročinskih valov. Njihova razporeditev po desetletjih kaže na tesno povezanost z globalnimi temperaturnimi spremembami. Število vročinskih valov se od prvega desetletja 20. stoletja, ko so se v Sarajevu pojavili trije vročinski valovi (med 29. 8. 1902 in 2. 9. 1902, med 8. 8. 1904 in 12. 8. 1904 ter med 9. 9. 1905 in 16. 9. 1905) počasi dvigovalo do 40. let 20. stoletja (7 vročinskih valov) in 50. let 20. stoletja (6 vročinskih valov), nato pa je njihovo število naglo padlo (1 vročinski val v 60. letih), ter ponovno pričelo naraščati (3 vročinski valovi v 70. letih, 6. v 80. letih, 14 v 90. letih, 11 v prvem desetletju 21. stoletja in kar 20 v obdobju 2011 – 2018). Linearni trend vročinskih valov kaže naraščanje s povprečno stopnjo en vročinski val na desetletje. Trende bolje opisuje polinomska funkcija 5. reda (Slika 6).



Slika 6: Število vročinskih valov v Sarajevu po desetletjih v obdobju 1901-2018 (Opomba: zadnji razred zajema le osem let).

Vir: ECA, 2023; Lastni izračuni, 2023.

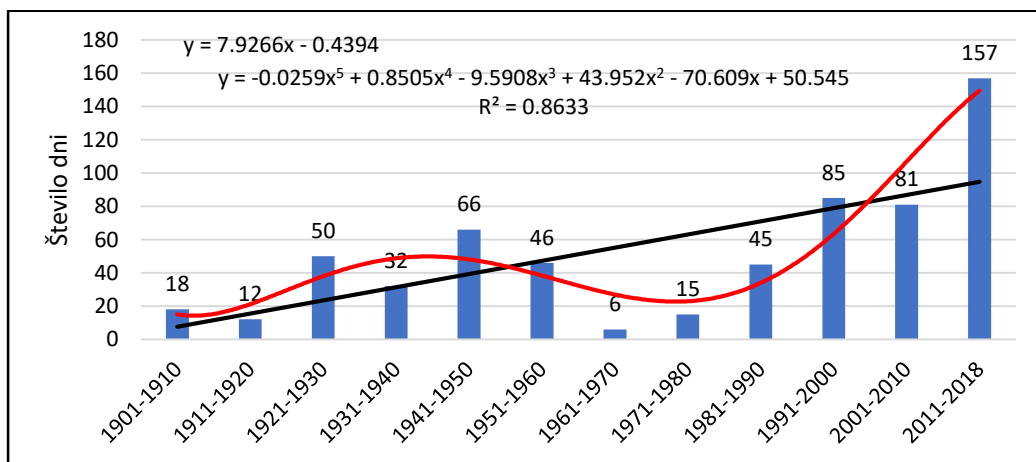
Raziskave tudi kažejo, da je spreminjanje frekvenca vročinskih valov v večji odvisnosti od globalnih in regionalnih podnebnih sprememb (Hansen et al. 2010) kot od lokalnih vplivov, pri čemer mislimo na vplive mestnega toplotnega otoka. Okolica lokacije meteorološke postaje Sarajevo-Bjelave se namreč od začetka 20. stoletja v smislu

intenzivnosti pozidanosti ni bistveno spremenila. Seveda pa je res, da so bili vplivi mestnega toplotnega otoka ves čas prisotni, le na mikroklimatskem nivoju se niso dosti spreminjali. Stagnacijo in rahel padec temperatur v sredini 20. stoletja si razlagamo z učinkom mračenja (povečane absorpcije kratkovalovnega sončnega sevanja), ki je posledica povečane emisije prašnih delcev in SO₂ kot posledica povečane antropogene rabe fosilnih goriv. V začetku 20. stoletja so bili v Sarajevu vroćinski valovi zgoščeni v juliju, avgustu in septembru. Prvi vroćinski val v juniju se je pojavil šele leta 1929, od druge polovice 50. let pa se vroćinski valovi pojavljajo tudi v maju. Pojavljanje vroćinskih valov v juniju in maju je vedno pogostejše, zlasti od 90. let naprej. Prav tako je v drugem desetletju 21. stoletja opazno povečanje vroćinskih valov v septembru. V aprilu in oktobru v obravnavanem obdobju nismo beležili vroćinskih valov.

Z izjemo leta 1928, ko so bili zabeleženi štirje vroćinski valovi, sta se v posameznih letih pojavila največ dva vroćinska vala. Prvič so se pojavili štirje vroćinski valovi leta 1992, nato pa še v letih 1998 in 2011, leta 2012 pa je bilo v Sarajevu zabeleženih celo pet vroćinskih valov.

3.3 Trend dolžine vroćinskih valov

Razen števila vroćinskih valov se povečuje tudi število dni v vroćinskih valovih. Tudi glede števila dni v vroćinskih valovih lahko opazimo značilno oscilacijo, ki doseže prvi vrhunec v 20. in 40. letih 20. stoletja (50 oziroma 66 dni v vroćinskih valovih) in minimum v 60. letih 20. stoletja (6 dni v vroćinskih valovih). Od 70. let se število dni v vroćinskih valovih ponovno viša in v še nepopolnem drugem desetletju 21. stoletja doseže absolutni maksimum (157 dni). V povprečju se število dni v vroćinskih valovih viša s stopnjo 8 dni na desetletje (Slika 7).



Slika 7: Število dni v vroćinskih valovih v Sarajevu po desetletjih v obdobju 1901–2018 (Opomba: zadnji razred zajema le osem let).

Vir: ECA, 2023; Lastni izračuni, 2023.

Kljub splošnemu povečevanju števila dni v vroćinskih valovih zlasti ob koncu 20. stoletja in v začetku 21. stoletja, pa so že v prvi polovici 20. stoletja nastopali posamični daljši vroćinski valovi. Vroćinski val v avgustu leta 1928 je trajal 13 dni, njegove povprečna maksimalna temperatura je bila 33,3 °C, absolutna maksimalna temperatura 35,9 °C, kumulativna maksimalnih temperatur pa 432,3 °C. Najdaljši

vročinski val v Sarajevu, ki smo ga zabeležili v obravnavanem obdobju je trajal kar 19 dni in sicer med 4.8.1946 in 22.8.1946, v katerem je znašala povprečna maksimalna temperatura 35,7 °C, absolutna maksimalna temperatura 40,0 °C (ta je bila zabeležena 19.8.1946 in predstavlja najvišjo izmerjeno temperaturo v Sarajevu), kumulativa maksimalnih temperatur pa 677,7 °C (Preglednica 3). Od 28 vroćinskih valov z dolžino daljšo od 7 dni, se jih je 13 (46,4 %) pojavilo v zadnjih 20 letih.

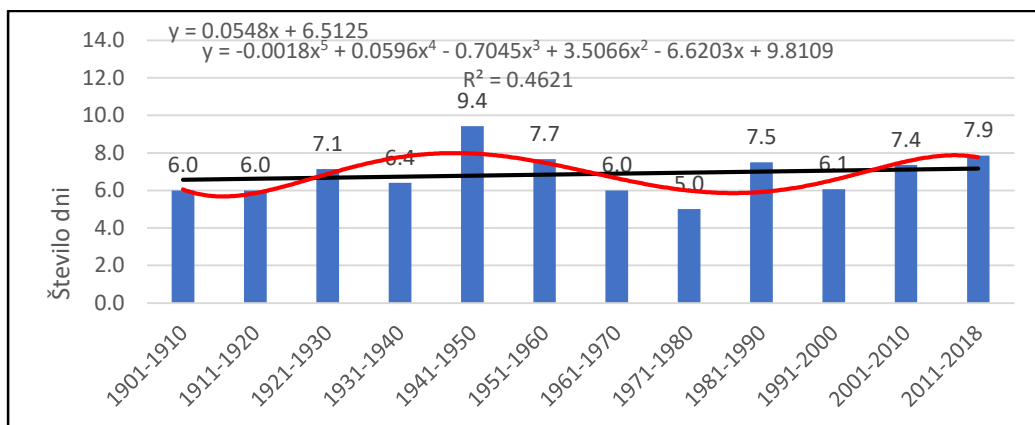
Preglednica 3: Osnovni podatki o vroćinskih valovih v Sarajevu v obdobju 1901–2018, ki so trajali več kot 7 dni.

Zaporedna številka	Število dni v vroćinskem valu	Trajanje vroćinskega vala	Povprečna maksimalna temperatura v vroćinskem valu (°C)	Absolutna maksimalna temperatura v vroćinskem valu (°C)	Kumulativa maksimalnih temperatur v vroćinskem valu (°C)
22	19	4. 8. 1946- 22. 8. 1946	35.7	40.0	677.7
65	17	12. 8. 2010.- 28. 8. 2010	33.0	36.8	561.3
71	16	39. 6. 2012- 15. 7. 2012	34.9	36.9	557.9
26	15	3. 8. 1952- 17. 8. 1952	34.1	37.4	511.9
80	14	2. 8. 2015- 15. 8. 2015	32.7	34.3	457.2
9	13	21. 7. 2028- 2. 8. 2028	33.3	35.9	432.3
20	12	20. 7. 1945- 31. 7. 1945	33.9	37.4	406.2
66	12	8. 7. 2011- 19. 7. 2011	34.6	37.9	415.6
38	11	14. 9. 1987- 24. 9. 1987	31.6	35.0	347.5
24	10	23. 8. 1950- 1. 9. 1950	34.5	38.0	345.4
37	10	16. 7. 1987- 25. 7. 1987	34.4	36.1	344.3
79	10	16. 7. 2015- 25. 7. 2015	34.9	37.3	349.4
7	9	8. 8. 1922- 16. 8. 1922	35.5	38.1	319.9
25	9	2. 8. 1951- 10. 8. 1951	32.8	35.2	295.1
43	9	7. 8. 1992- 15. 8. 1992	31.8	33.6	285.8
49	9	20. 7. 1988- 28. 7. 1988	33.3	35.2	300.0
61	9	16. 7. 2007- 24. 7. 2007	36.7	38.0	329.9
63	9	10. 6. 2010-	32.1	34.4	288.5

		18. 6. 2010			
67	9	19. 8. 2011- 27. 8. 2011	35.4	37.5	318.9
3	8	9. 9. 1905- 16. 9. 1905	31.9	33.0	255.0
14	8	3. 8. 1931- 10. 8. 1931	34.2	36.0	273.9
17	8	16. 7. 1939- 23. 7. 1939	34.3	36.8	274.7
40	8	9. 8. 1988- 16. 8. 1988	32.9	34.5	263.3
54	8	18. 8. 2000- 25. 8. 2000	34.5	37.4	276.0
58	8	27. 7. 2005- 3. 8. 2005	32.8	34.9	262.7
72	8	2. 8. 2012- 9. 8. 2012	34.8	38.3	278.3
81	8	28. 8. 2015- 4. 9. 2015	34.0	35.7	272.0
85	8	30. 7. 2017- 6. 8. 2017	35.4	38.0	283.4

Vir: ECA, 2023; Lastni izračuni, 2023.

Pri povprečnem številu dni v vroćinskih valovih ne beležimo bistvenih sprememb. Vroćinski valovi sicer postajajo vse pogostejši, vendar se je njihova povprečna dolžina povečala le s stopnjo 0,05 dneva na desetletje, pri čemer je njihova največja povprečna dolžina znašala 9,4 dni na vroćinski val in sicer v 40. letih 20. stoletja (Slika 8).



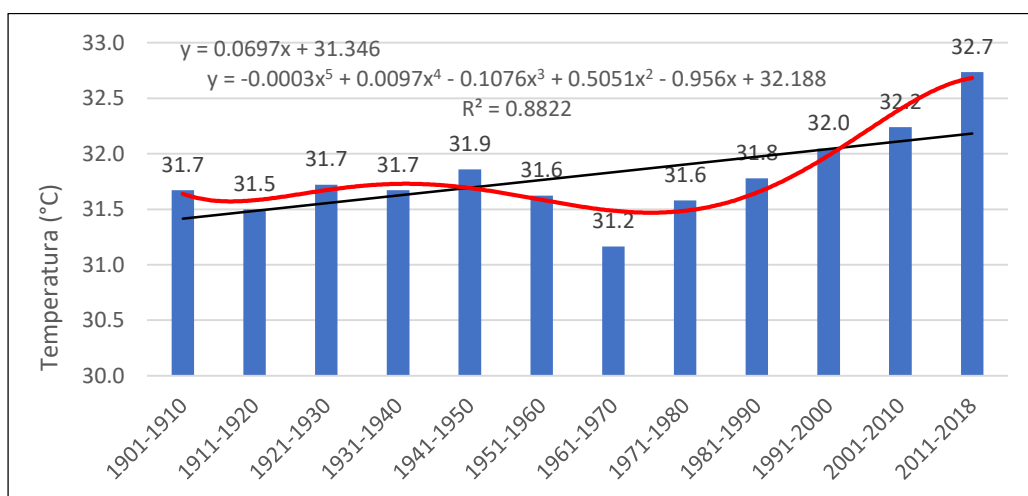
Slika 8: Povprečno število dni v vroćinskih valovih v Sarajevu po desetletjih v obdobju 1901—2018 (Opomba: zadnji razred zajema le osem let).

Vir: ECA, 2023; Lastni izračuni, 2023.

3.4 Trend maksimalnih temperatur v vročinskih valovih

Poleg pogostosti in trajanja vročinskih valov je njihova pomembna značilnost tudi intenzivnost. To najenostavneje prikažemo s podatkom o maksimalnih temperaturah zraka v dnevih s pojavom vročinskih valov. Analizirali smo trende povprečnih in absolutnih maksimalnih temperatur v vročinskih valovih po desetletjih.

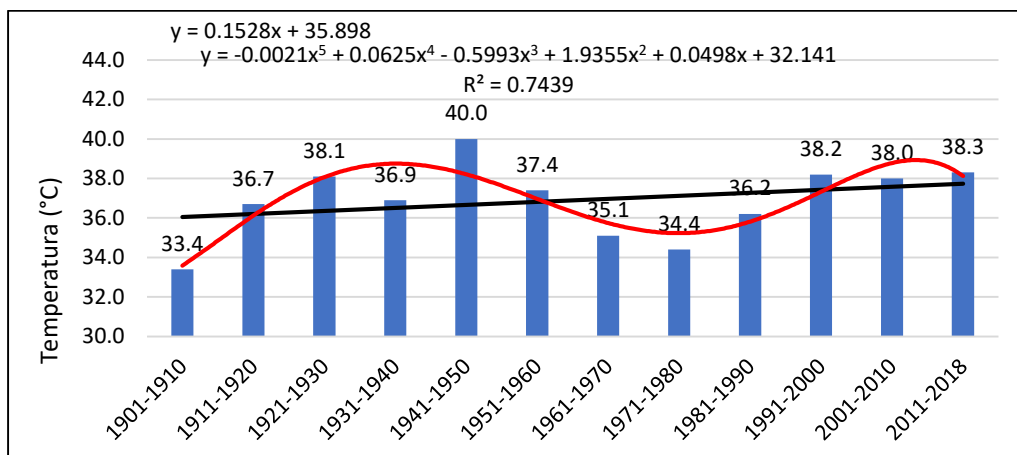
Spremembe povprečij maksimalnih temperatur v vročinskih valovih v Sarajevu kažejo že prej omenjeno oscilacijo z viškoma v 40. letih 20. stoletja in drugem desetletju 21. stoletja. Linearni trend povprečij maksimalnih temperatur v vročinskih valovih je pozitiven in znaša 0,07 °C na desetletje. Povprečje najvišjih dnevnih temperatur v vročinskih valovih je v 40. letih 20. stoletja znašalo 31,9 °C, v drugem desetletju 21. stoletja pa 32,7 °C. Vročinski valovi v Sarajevu torej niso le vse pogostejši, pač pa tudi vse toplejši (Slika 9).



Slika 9: Povprečne maksimalne temperature v vročinskih valovih v Sarajevu po desetletjih v obdobju 1901–2018 (Opomba: zadnji razred zajema le osem let).

Vir: ECA, 2023; Lastni izračuni, 2023.

Absolutne maksimalne temperature, izmerjene v vročinskih valovih v Sarajevu prav tako nakazujejo oscilacije z dvema viškoma, vendar so v tem primeru najvišje temperature nastopile v 40. letih 20. stoletja (40,0 °C dne 19.8.1946, in sicer v vročinskem valu, ki je trajal od 4.8.1946 do 22.8.1946). Visoke maksimalne temperature so bile izmerjene še v vročinskih valovih, ki so nastopili med 2.8.2012 in 9.8.2012 (38,3 °C dne 6.8.2012) ter med 3.7.2000 in 8.7.2000 (38,2 °C dne 4.7.2000). Linearni trend absolutnih maksimalnih temperatur v vročinskih valovih kaže na rast s stopnjo 0,15 °C na desetletje (Slika 10).



Slika 10: Absolutne maksimalne temperature v vroćinskih valovih v Sarajevu po desetletjih v obdobju 1901–2018 (Opomba: zadnji razred zajema le osem let).

Vir: ECA, 2023; Lastni izraćuni, 2023.

Preglednica 4: Maksimalne temperature v desetih vroćinskih valovih z najvišjo absolutno maksimalno temperaturo v Sarajevu v obdobju 1901 – 2018.

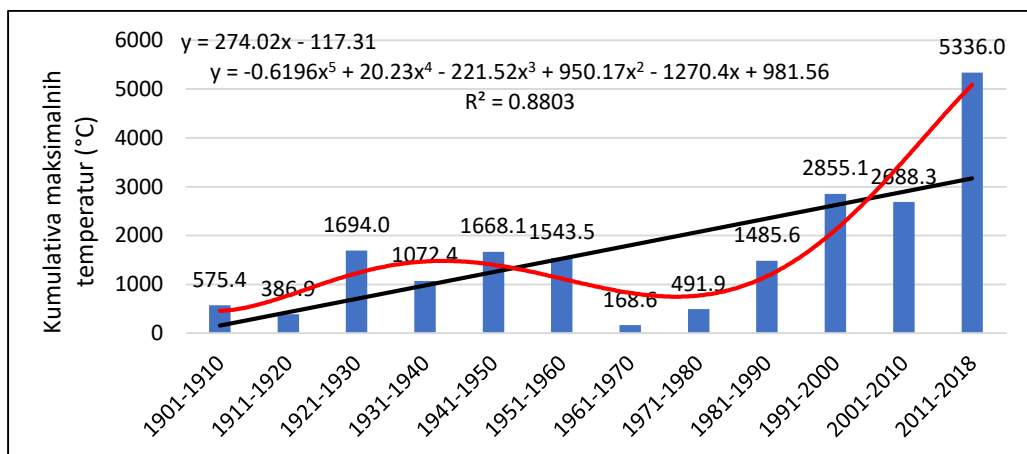
Trajanje vroćinskega vala	Absolutna maksimalna temperatura v vroćinskem valu (°C)
4. 8. 1946-22. 8. 1946	40,0
2. 8. 2012-9. 8. 2012	38,3
3. 7. 2000-8. 7. 2000	38,2
8. 8. 1922-16. 8. 1922	38,1
25. 8. 1928-30. 8. 1928	38,1
23. 8. 1950-1. 9. 1950	38,0
16. 7. 2007-24. 7. 2007	38,0
30. 7. 2017-6. 8. 2017	38,0
8. 7. 2011-19. 7. 2011	37,9
8. 8. 1922-16. 8. 1922	37,7

Vir: ECA, 2023; Lastni izraćuni, 2023.

3.5 Trend kumulativne maksimalnih temperatur v vroćinskih valovih

Intenzivnost vroćinskih valov smo prikazali tudi s kumulativo (vsoto) maksimalnih temperatur v dnevih v vroćinskih valovih. Kumulativa maksimalnih temperatur nam posredno kaže intenzivnost režima vroćinskega vala: visoke kumulativne maksimalnih temperatur v danem vroćinskem valu so v splošnem rezultat visokih maksimalnih temperatur znotraj tega vala, s čimer lahko posredno merimo tudi stopnjo obremenilnih vplivov na organizem v posameznih vroćinskih valovih. Res pa je, da je obremenilni vpliv odvisen tudi od drugih meteoroloških elementov, kot sta relativna vlaga in hitrost vetra. Obremenilne vplive zaradi kombinacije različnih meteoroloških elementov smo za območje Sarajeva predstavili v poglavju o trendih UTCI (poglavje 3.7).

Tudi pri razporeditvi kumulativ maksimalnih temperatur v vročinskih valovih v Sarajevu po desetletjih v obdobju 1901–2018 je mogoče opaziti značilno oscilacijo s prvimi vrhuncem med 20. in 50. leti 20. stoletja, padcem v 60. letih in ponovno rastjo od 70. let 20. stoletja naprej. Razlika v primerjavi z ostalimi doslej obravnavanimi trendi je v tem, da je rast kumulativ maksimalnih temperatur od 70. let 20. stoletja naprej zelo izrazita, kar pomeni, da se intenzivnost vročinskih valov povečuje. Kumulativa vročinskih valov v še nedokončanem drugem desetletju 21. stoletja je že do leta 2018 bila za 3,1 krat višja od kumulativ maksimalnih temperatur v 20. letih 20. stoletja, ko je v prvem valu oscilacije le-ta dosegla vrhunec. Linearni trend kumulativ maksimalnih temperatur kaže povprečno rast za 274 °C na desetletje (Slika 11).



Slika 11: Kumulative maksimalnih temperatur v vročinskih valovih v Sarajevu po desetletjih v obdobju 1901–2018 (Opomba: zadnji razred zajema le osem let).

Vir: ECA, 2023; Lastni izračuni, 2023.

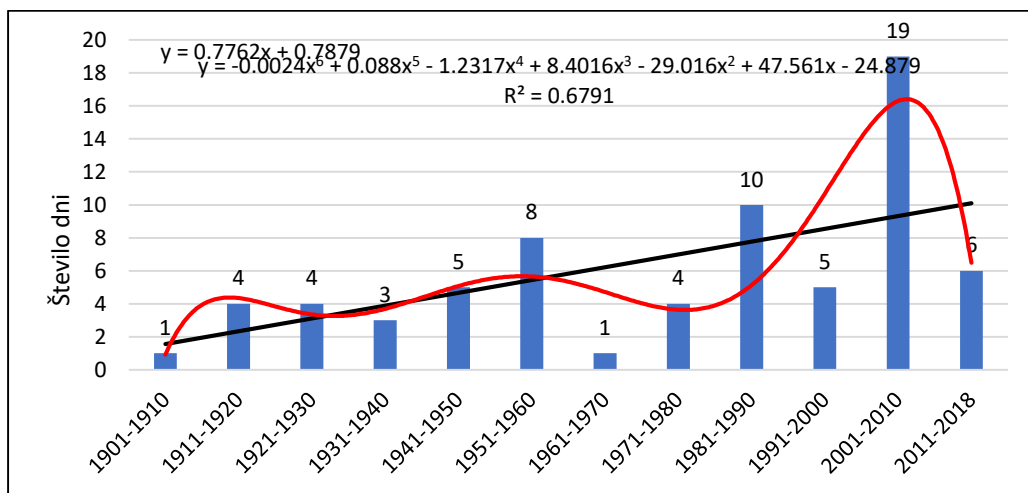
Najvišje letne kumulativ maksimalnih temperatur v vročinskih valovih smo na meteorološki postaji Sarajevo-Bjelave zabeležili v letih 2012 (1486,8 °C), 2011 (1127,0 °C), 2015 (1078,6 °C), 2010 (1015,7 °C) in 1928 (1009,4 °C). V obdobju po letu 2000 je nastopilo štiri od skupaj petih let s kumulativ maksimalnih temperatur nad 2000 °C in 7 od 12 let s kumulativ maksimalnih temperatur nad 600 °C, kar ponovno kaže na to, da se v zadnjih desetletjih vročinski valovi intenzivirajo.

3.6 Trend minimalnih temperatur v vročinskih valovih

Na pojav vročinskih valov vplivajo tudi nočne in jutranje temperature: če se zrak v nočnem času ne ohladi dovolj, se dvig temperatur zlasti v jasnih poletnih dnevih začne z višjim izhodiščem, zaradi česar je večja možnost, da bodo temperature v zgodnjem popoldnevu dosegale nadpovprečne vrednosti. Dneve z minimalno temperaturo enako ali višjo od 20 °C imenujemo dnevi s tropsko nočjo (European Climate Assessment & Dataset, 2013, 26). Na stopnjo ohlajanja vpliva več dejavnikov: dolžina noči (ta je v poletnih mesecih kratka), količina vodne pare v spodnjih slojih troposfere (če je količina vodne pare visoka, se poveča absorpcija in s tem tudi dolgovalovno protisevanje atmosfere. Pri tem se zmanjšajo toplotne izgube v nočnem času, zaradi česar so minimalne temperature zraka v jutranjem času višje.

Povprečne minimalne temperature v Sarajevu v obdobju 1901–2018 se gibljejo med $-4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (januar) in $13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (julij). Povprečna letna minimalna temperatura znaša $-5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po merilih Svetovne meteorološke organizacije se podnebne značilnosti prikazujejo za tridesetletna časovna obdobja, zato smo tako naredili tudi v našem primeru. Povprečna letna minimalna temperatura v Sarajevu se je od $-4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ v obdobju 1901–1930 dvignila na $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ v obdobju 1989–2018. V celotnem obdobju se negativna minimalna temperatura pojavlja v treh zimskih mesecih (december, januar, februar). V Januarju kot najhladnejšem mesecu je v prvem tridesetletju znašala povprečna minimalna temperatura $-4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, do zadnjega tridesetletja pa narasla na $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Povprečna julijska minimalna temperatura je v prvem tridesetletju znašala $12,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, v zadnjem tridesetletju pa $14,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prav zimski meseci (z izjemo decembra) in poletni meseci so tisti, ki so beležili najvišjo rast povprečne minimalne temperature: preračunano na stoletno obdobje se je povprečna minimalna temperatura v januarju dvignila za $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, v februarju za $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, v juniju in juliju za $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, v avgustu pa za $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. V spomladanskih in jesenskih mesecih so trendi še vedno pozitivni, a nižji (med $0,4$ in $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Zanimivo je, da se je povprečna mesečna minimalna temperatura v decembru znižala in sicer za $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 100 let, kar je v nasprotju s pričakovanimi vplivi mestnega toplotnega otoka in globalnega segrevanja.

Podobno kot pri do sedaj obravnavanih trendih kazalcev, povezanih z vroćinskimi valovi tudi pri trendih števila dni s tropsko noćjo opazimo značilno oscilacijo s primarnim minimumom v 60. letih 20. stoletja, v ostalih desetletjih pa število dni s tropsko noćjo variira moćneje kot pri doslej obravnavanih kazalcih: najvišje število tropskih noći (19) je nastopilo v prvem desetletju 21. stoletja, visoko pa je bilo še v 80. letih (10), 50. letih (5) ter v drugem in tretjem desetletju 20. stoletja (po 4). Vsekakor pa se število tropskih noći v Sarajevu viša: linearni trend kaže stopnjo rasti $0,8$ tropske noći na desetletje (Slika 12).



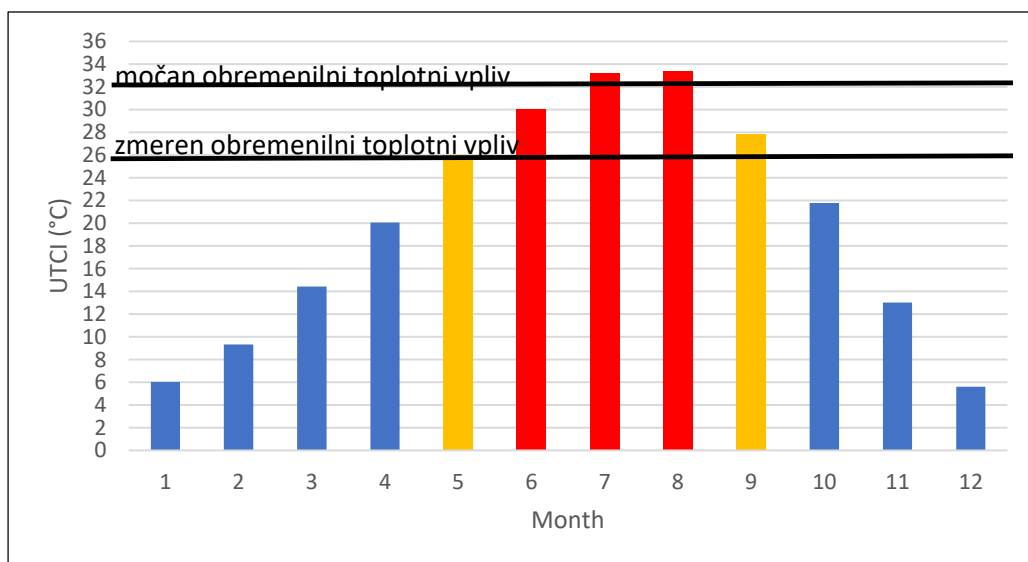
Slika 12: Število dni z minimalnimi temperaturami enakimi ali višjimi od $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ v Sarajevu po desetletjih (Opomba: zadnji razred zajema le osem let).

Vir: ECA, 2023; Lastni izračuni, 2023.

V Sarajevu se je v obdobju 1901–2018 pojavilo skupaj 70 tropskih noći, od tega najveć v avgustu (24), sledili pa so julij (22), junij (18), september (4) ter maj in oktober (po 1). Z vidika noćnega ohlajanja in stopnje obremenilnega vpliva na človeka v času spanja so ti kazalci neugodni.

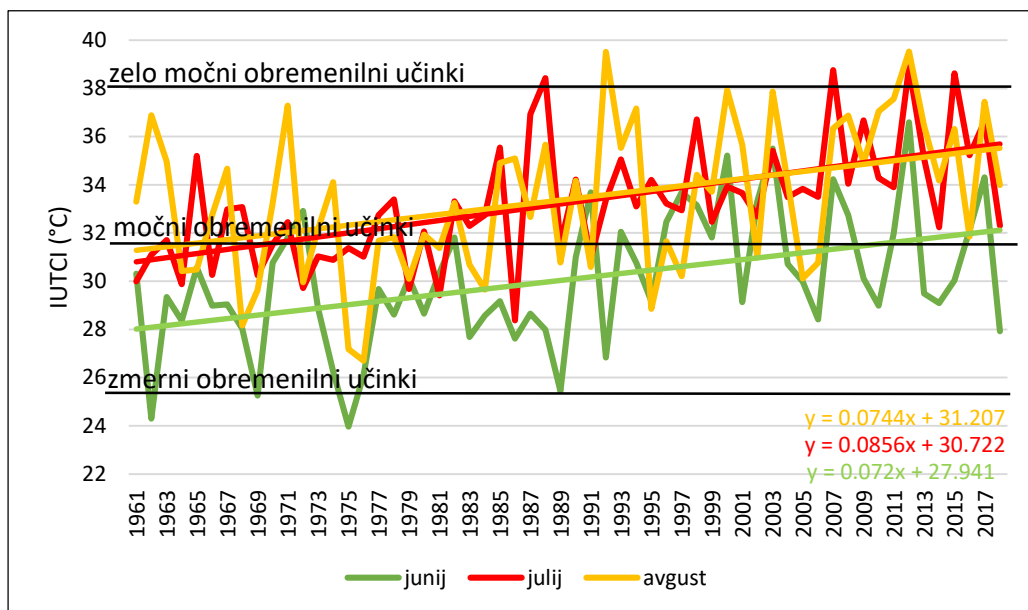
3.7 Trend univerzalnega termičnega podnebnega indeksa (Universal Thermal Climate Index ali UTCI)

Rezultati analize UTCI kažejo, da se zmeren obremenilni vpliv zaradi mraza pojavlja v januarju (v letih 1963 in 1964) in decembru (v letih 1962 in 1969) zelo redko, medtem ko se v zimskih mesecih najpogosteje pojavlja šibek obremenilni vpliv zaradi mraza. V našem primeru so nas bolj zanimali obremenilni toplotni vplivi v topli polovici leta. Ti so v povprečju zmerni (26,0 v maju, 30,1 v juniju, 27,8 v septembru) ali močni (33,3 v juliju, 33,4 v avgustu) (Slika 13). V posameznih mesecih v obravnavanem obdobju so bili obremenilni vplivi tudi zelo močni (38,4 julija 1988, 39,5 avgusta 1992, 38,8 julija 2007, 38,9 julija 2012, 39,5 avgusta 2012 in 38,6 julija 2015).



Slika 13: Vrednosti povprečnega mesečnega UTCI v Sarajevu v obdobju 1961–2018. Vir: ECA 2023, lastni izračuni 2023.

Trendi UTCI, preračunani na 50 let kažejo v vseh mesecih naraščanje, najbolj v januarju (5,9/50 let), marcu (5,4/50 let), februarju (4,6/50 let) in aprilu (4,3/50 let), visoki pa so tudi v poletnih mesecih: v juliju (4,3/50 let), avgustu (3,7/50 let) in juniju (3,6/50 let). Najnižji trendi UTCI so v septembru (1,1/50 let) in oktobru (2,4/50 let). V kolikor se bodo dosedanji trendi nadaljevali, lahko zlasti v poletnih mesecih pričakujemo vse večje toplotne obremenitve, zaradi česar se bo kakovost bivalnega okolja v Sarajevu poslabšala.

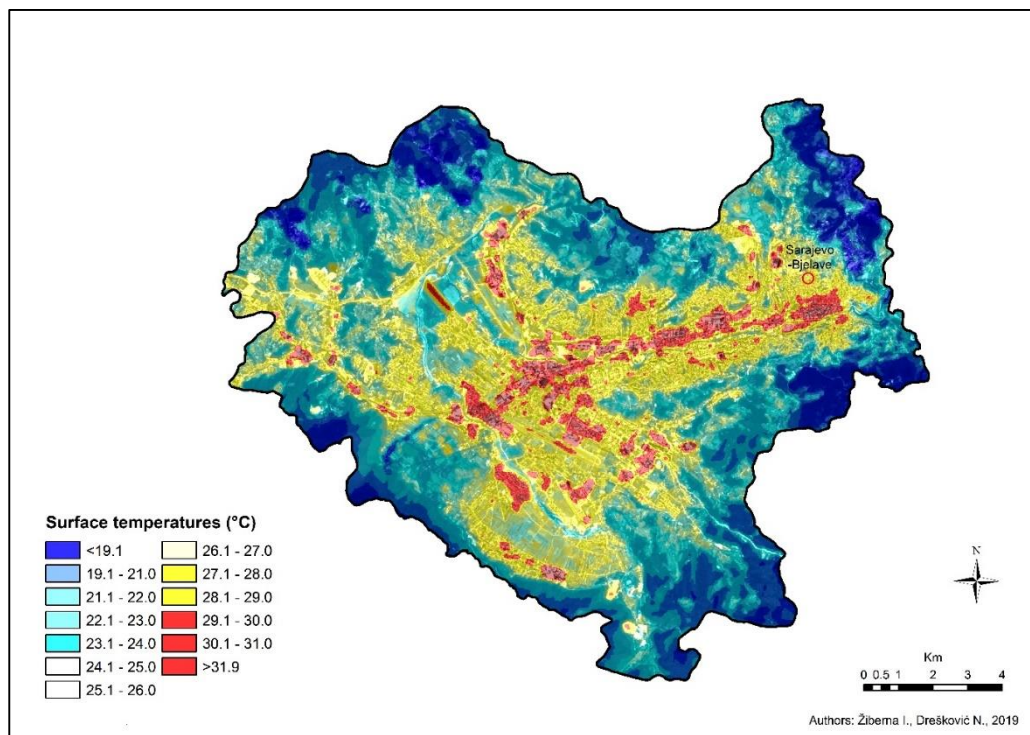


Slika 14: Povprečne mesečne vrednosti UTCI v poletnih mesecih v Sarajevu v obdobju 1961–2018.

Vir: ECA 2023, lastni izračuni 2023.

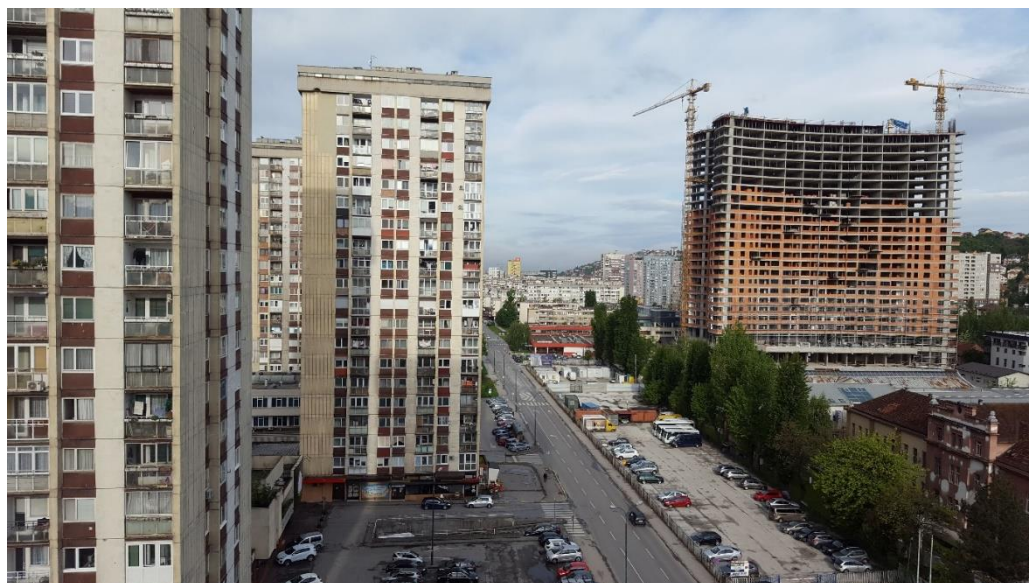
Vpliva globalnih podnebnih sprememb na razmere na lokalnem nivoju ne moremo preprečiti, lahko pa ga omilimo. Eden od načinov zmanjševanja toplotne obremenitve v mestih je širjenje zelenih površin in ozelenjevanje streh ter nasploh spreminjanje albeda v mestih z uporabo primernih kritin (Žiberna 2017). To bi pri bodočem načrtovanju prostorskega razvoja Sarajeva morali upoštevati. Analiza površinskega mestnega toplotnega otoka (surface urban heat island ali SUHI), detektiranega s pomočjo daljinskega zaznavanja v termičnem kanalu nam omogoča dober uvid v stanje na določenem območju.

Slika 15 prikazuje površinski mestni toplotni otok v Sarajevu dne 31. julija 2018. Posnetek je bil narejen ob 10:33 po SEČ. Tega dne je bila na meteorološki postaji Sarajevo-Bjelave (njena lokacija je na karti označena z rdečim krogom) izmerjena maksimalna temperatura zraka 28,8 °C. Lokacija meteorološke postaje se torej ne nahaja na območju, kjer nastopajo najvišje temperature površja, zato lahko upravičeno sklepamo, da so temperature zraka na območjih z najvišjimi temperaturami površja še višje in da je dejanska toplotna obremenitev v posameznih delih Sarajeva višja od tiste, ki jo nakazujejo podatki z meteorološke postaje Sarajevo-Bjelave. Površinski mestni toplotni otok v Sarajevu kaže dobro ujemanje z gosteje pozidanimi deli mesta, ki se vlečejo vzdolž sarajevske kotline v smeri VSV-ZJZ, medtem ko se v zahodnem delu kotline pahljačasto razširi v več krakih, predvsem v smeri novo urbaniziranih delov Sarajeva na območju Neđarići-Dobrinja-Lukavica ter proti letališču, v smeri Rajlovca in v smeri Ilidža-Sokolović-Kolonija-Hrasnica. V ožjem delu mesta bi med toplejše dele lahko uvrstili območje Baščaršije, Marijinega Dvora, del Pofalićev med Zmaja od Bosne in Tvornico duhana Sarajevo, na območju sosesk Čengić Vila I in Nova otoka ter med Ali Pašinim poljem in Stupskim brdom.



Slika 15: Površinski mestni toplotni otok v Sarajevu 31. 7. 2018.
Vir: USGS 2023.

Omenjena območja najpogosteje sovpadajo z gosto pozidanimi stanovanjskimi sosezkami, industrijsko in storitveno infrastrukturo in celo turistično dejavnostjo (Ilidža). Kakovost bivalnega okolja je v obdobjih višjih temperatur nižja, zato lahko ocenimo, da je pogostost vročinskih valov na teh območjih večja, zaradi česar je pomen omilitvenih ukrepov, predvsem v smislu večjega deleža zelenih površin še večji. Hadžidervišagić (2011) ugotavlja, da so zelene površine v začetnih fazah razvoja Sarajeva igrale pomembno vlogo. V otomanski fazi je koncept razvoja mesta temeljil na principu vrtnega mesta. Avstro-ogrška faza je v razvoj mesta začela uvajati javne zelene površine-parke. Prvo stagnacijo v razvoju zelenih površin predstavlja obdobje med obema vojnama. V prvi fazi razvoja mesta po 2. svetovni vojni, ki je trajala do začetka 60. let 20. stoletja so se zelene površine povečale za 20 krat. V drugi fazi razvoja po 2. svetovni vojni, ki je trajala od začetka 60. let do leta 1992 je bilo širjenju zelenih površin posvečeno bistveno manj pozornosti. V obdobju vojne (1992 – 1995) so bile številne zelene površine poškodovane ali uničene. Leta 2011 je na prebivalca Sarajeva prišlo 6,7 m² zelenih površin (leta 1991 8 m²) (Hadžidervišagić, 2011, 28).



Slika 16: Območje med Zmaja od Bosne in Drinsko ulico predstavlja enega od gosteje pozidanih delov Sarajeva brez večjih zelenih površin.
Vir: Žiberna, 2019.

4 Sklep

V članku smo analizirali trende pogostosti, dolžine in intenzivnosti vroćinskih valov v Sarajevu. Vroćinski val smo opredelili kot obdobje z najmanj pet zaporednih dni z maksimalno temperaturo nad $30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rezultati so pokazali, da se pogostost in intenzivnost vroćinskih valov v Sarajevu spreminja v odvisnosti od podnebnih oscilacij v 20. stoletju. Globalne podnebne spremembe in naraščajoče temperature dodatno krepijo vroćinske valove v urbanih okoljih. V Sarajevu je pozitiven trend povprečne temperature zraka v obdobju 1901–2018 znašal $0,1^{\circ}\text{C}/10$ let, medtem ko se je v obdobju 1961–2018 povzpел na $0,3^{\circ}\text{C}/10$ let, v poletnih mesecih pa celo do več kot $0,5^{\circ}\text{C}/10$ let. Prav poletni meseci z vse pogostejšimi vroćinskimi valovi, ki se pojavljajo predvsem ob anticiklonalnih vremenskih vzorcih, postanejo tudi v manjših naseljih vzrok za velike toplotne obremenitve in s tem vplivajo na zdravje in produktivnost prebivalstva. V obdobju 1901–2018 je bilo v Sarajevu zabeleženih 85 vroćinskih valov. Njihova razporeditev po desetletjih kaže na tesno povezanost z globalnimi temperaturnimi spremembami. Število vroćinskih valov se od prvega desetletja 20. stoletja, ko so se v Sarajevu pojavili trije vroćinski valovi dvigovalo do 40. let 20. stoletja (7 vroćinskih valov) in 50. let 20. stoletja (6 vroćinskih valov), nato pa je njihovo število naglo padlo (1 vroćinski val v 60. letih), ter ponovno pričelo naraščati (3 vroćinski valovi v 70. letih, 6. v 80. letih, 14 v 90. letih, 11 v prvem desetletju 21. stoletja in kar 20 v obdobju 2011 – 2018). Linearni trend vroćinskih valov kaže naraščanje s povprečno stopnjo en vroćinski val na desetletje. Število dni v vroćinskih valovih se viša s povprečno stopnjo 8 dni na desetletje. V razporeditvi kumulativ maksimalnih temperatur v vroćinskih valovih v Sarajevu po desetletjih v obdobju 1901–2018 je mogoče opaziti značilno oscilacijo s prvim vrhuncem med 20. in 50. leti 20. stoletja, padcem v 60. letih in ponovno rastjo od 70. let 20. stoletja naprej. Kumulativa vroćinskih valov v še nedokončanem drugem desetletju 21. stoletja je že do leta 2018 bila za 3,1 krat višja od kumulativ maksimalnih temperatur v 20. letih 20. stoletja. Linearni trend kumulativ maksimalnih temperatur kaže

povprečno rast za 274 °C na desetletje. Trendi UTCI, preračunani na 50 let kažejo v vseh mesecih naraščanje, najbolj v januarju (5,9/50 let), marcu (5,4/50 let), februarju (4,6/50 let) in aprilu (4,3/50 let), visoki pa so tudi v poletnih mesecih: v juliju (4,3/50 let), avgustu (3,7/50 let) in juniju 3,6/50 let).

Satelitski posnetki v termičnem kanalu, ki prikazujejo temperature površja kažejo, da se območja z najvišjimi temperaturami površja nahajajo v delih mesta z veliko gostoto stanovanjskih blokov in z večjimi objekti industrijske infrastrukture. Sem sodijo območje Baščaršije, Marijinega Dvora, Pofaličev med Zmaja od Bosne in Tvornico duhana Sarajevo, na območju sosek Čengiće Vila I in Nova otoka ter med Ali Pašinim poljem in Stupskim brdom. Sklepamo torej lahko, da je velik del prebivalstva v Sarajevu izpostavljen večjim toplotnim obremenilnim vplivom zlasti v poletnih mesecih. Zaradi tega bo potrebno pri bodočem načrtovanju prostorskega razvoja posebno mesto posvetiti omilitvenim ukrepom, predvsem širjenju zelenih površin in ozelenjevanju streh in nasploh spreminjanju albedu površja v teh območjih.

Literatura

- Anderson B.G., Bell M.L., (2009). Weather-Related mortality: How heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology*, 20(2), 205-2013. <https://doi.org/10.1097/ede.0b013e318190ee08>
- Australian Government, Bureau of Meteorology. (2023a). First heatwave for Adelaide in 2010. Retrieved March 19, 2023, from http://www.bom.gov.au/announcements/media_releases/sa/20100115_First_Heatwave_SA_Jan.shtml
- Australian Government, Bureau of Meteorology (2023b). *Glossary*. Retrieved March 19, 2023, from <http://www.bom.gov.au/lam/glossary/hpagegl.shtml>
- Baccini M., Biggeri A., Accetta G., Kosatsky T., et al., (2008). Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*, 19(5), 711-719. <https://doi.org/10.1097/ede.0b013e318176bfcd>
- Basu R., Samet J.M., (2002). Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of epidemiological evidence. *Epidemiological Review*, 24(2), 190-202. <https://doi.org/10.1093/epirev/mxf007>
- Błażejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., Psikuta, A., & Kampmann, B. (2013). An introduction to the universal thermal climate index (UTCI). *Geographia Polonica*, 86(1). <http://dx.doi.org/10.7163/GPol.2013.1>
- Bonan, G. (2008). *Ecological Climatology. Concepts and Applications*. Cambridge University Press. Cambridge.
- DMI. (2023). Danmark får varme- og hedeølge. Retrieved March 20, 2023, from https://web.archive.org/web/20080723170544/http://www.dmi.dk/dmi/danmark_faar_varme-_og_hedeboelge
- Donia R.J., (2006) *Sarajevo: biografija grada*. Historijske monografije. Institut za istoriju. Sarajevo.
- ECA. (2023). Daily data: Download predefined subsets (ASCII). Retrieved March 20, 2023, from <https://www.ecad.eu/dailydata/predefinedseries.php>
- EEA, (2012). Urban adaptation to climate change in Europe, *EEA Report No.2/ 2012*.
- EEA, (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. *An indicator-based report*. EEA Report No. 1/2017.
- European Climate Assessment & Dataset (ECA&D). (2013). *Algorithm Theoretical Basis Document*. Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI.
- Fezer, F. (1994). *Das Klima der Städte*. Justus Perthes Verlag, Gotha.
- Gartland, L. (2008). *Heat Island. Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. Earthscan. London.
- Google Earth. (2023).
- Hadžidervišagić D. (2011). Historijski razvoj urbanih zelenih površina u Sarajevu. *Naše šume*, 24-25(10), 23-31.
- Hajat, S., Vardoulakis, S., Heaviside, C., et al, (2014) Climate change effects on human health: projections of temperature-related mortality for the UK during the 2020s, 2050s and 2080s. *Journal of Epidemiology and Community Health*; 68:641-648.
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M., & Lo, K. (2010). Global surface temperature change. *Review of Geophysics*, 48(4), RG4004. <https://doi.org/10.1029/2010RG000345>
- Hsiang, S., Deryugina, T. (2014). Does the Environment Still Matter? Daily Temperature and Income in the United States. *NBER Working Paper No. 20750*.
- Hsiang, S., Marshall, B., Edward, M., (2015). Climate and Conflict. *Annual Review of Economics*, 7(1), 577–617. <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080614-115430>

- Kenney, W. L., & Munce, T. A. (2003). Invited review: aging and human temperature regulation. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 95(6), 2598–2603. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00202.2003>
- Kladnik, R. (1988). *Termodinamika*. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.
- Meehl, G. A., & Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305(5686), 994-997. <https://doi.org/10.1126/science.1098704>
- MetOffice. (2023). The Russian heatwave of summer 2010. Retrieved April 20, 2023, from <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/case-studies/russian-heatwave>
- Monteith, J.L., Unsworth, M.H., (1990). *Principles Of Environmental Physics*. Edward Arnold, New York.
- Oke, T.R. (1992). *Boundary Layer Climates*. Routledge, London.
- Parsons, K., (2014). *Human Thermal Environments*. CRC Press. New York.
- Robine, J.-M., Cheung, S. L. K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J.-P., & Herrmann, F. R. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, 331(2), 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2007.12.001>
- Robinson, P. (2001). On the Definition of a Heat Wave. *Journal of Applied Meteorology*, 40(4), 762–775. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040%3C0762:OTDOAH%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040%3C0762:OTDOAH%3E2.0.CO;2)
- Roetzer, T., Wittenzeller, M., Haeckel, H., & et al. (2000). Phenology in central Europe – Differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *International Journal of Biometeorology*, 44, 60–66. <https://doi.org/10.1007/s004840000062>
- Topografska karta, 1:25.000, List Sarajevo. GIJNA. Beograd.
- UN DESA. (2018a). 2018 *Revision of World Urbanization Prospects* [Podatkovna baza]. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
- UN DESA. (2018b). World Urbanization Prospects 2018. Population of Urban and Rural Areas at Mid-Year (thousands) and Percentage Urban, 2018. [Podatkovna baza]. <https://population.un.org/wup/Download/>
- United Nation, 2013. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Ageing 2013 ST/ESA/SER.A/348.
- USGS. (2023). *Earth Explorer*. (10.5.2023). <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- WMO, (2015). *Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events*. Draft version. First review by TT.
- Zalar, M., Pogačar, T., Črepinšek, Z., Kajfež-Bogataj, L. (2017). Vročinski valovi kot naravna nesreča v mestih, *Naravne nesreče* 4. SAZU. Ljubljana.
- Žiberna, I., (1996). *Mestna klima Maribora*. Doktorska disertacija. Oddelek za geografijo. Filozofska fakulteta. Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
- Žiberna, I., (2006). Trendi temperatur zraka v Mariboru kot posledica razvoja mestnega toplotnega otoka. *Journal for Geography/Revija za geografijo* 1(1), 81-98.
- Žiberna, I., (2017). *Spreminjanje podnebja na lokalnem nivoju: mestna klima Maribora*. Predavanje na posvetu Spreminjamo gradbeno kulturo. Inženirska zbornica Slovenije, Regijska pisarna Maribor. 25.9.2017.

Summary

Today, more than half of the world's population already lives in an urban environment. High population density in built-up areas, artificially produced energy and a changed energy and water balance will shape the environment of the majority of our planet's population in the future. Also, especially in the summer months with anticyclonic weather conditions, we can expect increasingly frequent periods with high heat loads. Therefore, adaptation to them will be necessary even in smaller settlements with densely built-up areas. According to the European Environment Agency, in the period 1991–2015, an average of 192 inhabitants per million inhabitants died in Europe due to heat waves. If we exclude the area of Eastern Europe where most people die from very low temperatures, heat waves are by far the most common cause of death among all natural disasters and exceed the death rate from other natural disasters by an order of magnitude or two.

In the article, we analyzed trends of the frequency, length and intensity of heat waves in Sarajevo. A heat wave was defined as a period with at least five consecutive days with a maximum temperature above 30.0 °C. In the period 1901–2018, 85 heat waves were recorded in Sarajevo. Their distribution over decades shows a close connection with global temperature changes. The number of heat waves increased from the first decade of the 20th century, when three heat waves occurred in Sarajevo, to the 1940s (7 heat waves) and the 1950s (6 heat waves), after which their the number dropped sharply (1 heat wave in the 1960s), and started to rise again (3 heat waves in the 1970s, 6 in the 1980s, 14 in the 1990s, 11 in the first decade of the 21st century, and as many as 20 in period 2011 – 2018). The linear trend of heat waves shows an increase at an average rate of one heat wave per decade. The number of days in heat waves is increasing at an average rate of 8 days per decade. In the distribution of cumulative maximum temperatures in heat waves in Sarajevo by decades in the period 1901–2018, a characteristic oscillation can be observed with the first peak between the 20s and 50s of the 20th century, a drop in the 60s and a rise again from the 70s of the 20th century. centuries on. By 2018, the cumulative number of heat waves in the second decade of the 21st century was already 3.1 times higher than the cumulative maximum temperatures in the 20s of the 20th century. The linear trend of cumulative maximum temperatures shows an average increase of 274 °C per decade. The UTCI trends, calculated for 50 years, show an increase in all months, the most in January (5.9/50 years), March (5.4/50 years), February (4.6/50 years) and April (4.3 /50 years), but they are also high in the summer months: in July (4.3/50 years), August (3.7/50 years) and June 3.6/50 years).

Heat waves are therefore generally becoming more intense. The meteorological station Sarajevo-Bjelave is located in the part of Sarajevo for which, based on the analysis of satellite images in the thermal channel, surface temperatures are not the warmest in the city. The areas with the highest surface temperatures are located in parts of the city with a high density of residential blocks and with larger areas of industrial infrastructure. We can conclude, therefore, that a large part of the population in Sarajevo is exposed to even greater thermal stress, especially in the summer months. For this reason, it will be necessary in the future planning of spatial development to devote a special place to mitigating measures, especially the expansion of green areas and the greening of roofs and, in general, changing the albedo of the surface in these areas.