

SEZONSKI REŽIM POVRŠINSKEGA MESTNEGA TOPLOTNEGA OTOKA V MARIBORU

IGOR ŽIBERNA,¹ DANIJEL IVAJNSIČ^{1,2}

¹ Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Maribor, Slovenija
igor.zibera@um.si, dani.ivajnsic@um.si

² Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor, Slovenija
dani.ivajnsic@um.si

Sinopsis Površinski mestni toplotni otok ni odvisen le od globalnega sončnega obsevanja ampak tudi od fizikalnih lastnosti podlage in človekove dejavnosti v mestu. Zaradi gradnje je delež pozidanih površin v mestu višji in delež zelenih površin manjši. Več umetnih gradbenih materialov (asfalt, beton, opeka) nekoliko povečuje specifično toploto, zaradi česar je modificirana energijska bilanca v mestih. V članku smo na osnovi posnetkov v obeh termičnih kanalih satelita Landsat 8 analizirali sezonske spremembe površinskega mestnega toplotnega otoka v Mariboru. Analizirali smo spreminjanje oblike in intenzivnosti površinskega mestnega toplotnega otoka pozimi, spomladi, poleti in jeseni ter ugotavljali povezavo z rabo tal v Mariboru.

Ključne besede

mestni toplotni
otok,
mestna klima,
raba tal,
Maribor,
Landsat

MARIBOR'S SEASONAL SURFACE URBAN HEAT ISLAND REGIME

IGOR ŽIBERNA,¹ DANIJEL IVAJNSIČ^{1,2}

¹ University of Maribor, Faculty of Arts, Maribor, Slovenia
igor.ziberna@um.si, dani.ivajnsic@um.si

² University of Maribor, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Maribor, Slovenia
dani.ivajnsic@um.si

Abstract Surface urban heat islands depend not only on global solar radiation but also on the physical properties of the surface and human activity in the city. As a result of construction, the share of built-up areas in Maribor has increased, while the share of green areas has decreased. Several artificial building materials (asphalt, concrete, brick) slightly increase specific heat, resulting in a modified energy balance in cities. In this study, we used remote sensing imagery in both thermal channels of the Landsat 8 satellite to analyse seasonal changes in Maribor's surface urban heat island. We analysed changes to the shape and intensity of the surface urban heat island in winter, spring, summer, and autumn and studied the connection to land use categories in Maribor.

Keywords:

urban heat island,
urban climate,
land use,
Maribor,
Landsat

1 Uvod

Z nastankom mest in koncentracijo prebivalstva se je naravno površje spremenilo. Zaradi gradnje se je povečal delež umetnih materialov, kot so opeka, naravni kamen, kasneje tudi beton in asfalt. Spremenjene lastnosti površja v naseljih so povzročile spremembo energijske bilance. Beton ima v primerjavi z vlažnimi tlemi tudi do šestkrat večjo toplotno prevodnost (konduktivnost) in skoraj dvakrat večjo toplotno kapaciteto [1], zato se podnevi počasi segreva in ponoči počasi ohlaja. Prav ta lastnost zelo vpliva na dnevni režim razlik v temperaturi zraka 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 na splošno višjo termično difuzivnost. Mesto s svojimi pozidanimi površinami deluje kot termoakumulacijska peč, ki čez dan absorbira kratkovalovno sevanje Sonca, in nato v nočnem in jutranjem času sama oddaja dolgovalovno sevanje v ohlajeno okolico. Temperaturne razlike med mestom in okolico so zato najvišje v času nastopa minimalnih temperatur. Fezer (1995) [2] 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. Kontinentalni del Evrope, še zlasti Panonska nižina z obrobjem kaže, da je mestni toplotni otok običajno najbolj razvit pozimi. Na intenzivnost mestnega toplotnega otoka vpliva tudi morfologija zgradb.

Manj z vegetacijo poraslih površin pomeni tudi manjšo evapotranspiracijo, s tem pa tudi manj porabljene latentne energije, kar dviga temperaturo zraka podnevi in blaži pretirano ohlajanje ponoči. Končni rezultat omenjenega dogajanja je večji prebitek v energijski bilanci mesta v primerjavi s tisto v okolici. Ena najbolj vidnih posledic tega je nastanek "mestnega toplotnega otoka". Energijsko bilanco spreminja tudi človek, ki s svojo aktivnostjo v mestu (ogrevanje, industrija, promet) vnaša energijo v ozračje. V ozračje vnaša tudi materijo, predvsem v obliki onesnaževal in vodne pare. Tudi prašni delci modificirajo energijsko bilanco, saj manjšajo delež direktnega in večajo delež difuznega sončnega obsevanja. Regionalna klima z vremenskimi tipi, relief in antropogeni dejavniki so torej vzrok za lokalne spremembe v: energijski bilanci, vodni bilanci, sestavi zraka, kroženju zraka in končno vrednostih klimatskih elementov, kar vodi v oblikovanje specifičnih klimatskih razmer v mestu, t.j. do "mestne klime".

Zaradi večanja števila mest in koncentracije prebivalstva v urbanih območjih slednja predstavljajo prevladujoče okolje za večino svetovnega prebivalstva. V pogojih globalnega segrevanja planeta so lokalni učinki mestne klime še bolj potencirani. Leta 2000 je v urbanih območjih živelo okoli 47 odstotkov svetovnega prebivalstva. Ta delež se je do leta 2018 povečal na 55 odstotkov. Do leta 2030 naj bi se globalni delež mestnega prebivalstva še povečal na 60 odstotkov. Do takrat naj bi 44 odstotkov svetovnega prebivalstva živelo v mestih z najmanj pol milijona prebivalcev [3].

V prihodnosti lahko zlasti v poletnih mesecih ob anticiklonalnih vremenskih okoliščinah 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 prilagajanju vedno pogostejšim toplotnim obremenitvam v naseljih: sive (kakovostna izolacija stavb, uporaba zunanjih žaluzij ali polken na oknih, pasivno hlajenje stavb, urbanistično zasnovano, ki omogoča prevetrenost); zelene (ohranjanje in širjenje zelenih površin v mestih, uvajanje zelenih zidov in zelenih streh) in mehke (ozaveščanje prebivalstva, kartiranje toplotnih otokov in monitoring) [4]. 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. 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 vročinskem valu leta 2003 je v Evropi zaradi neposrednih posledic stresa ob visokih temperaturah umrlo 70.000 ljudi [5]. Vročinski val, ki je poleti leta 2010 zajel Rusijo, je tam zaradi visokih temperatur terjal 20.000 življenj [6], [7]. Visoke temperature povzročajo tudi psihološki stres in povečujejo medosebne konflikte in druge oblike patološkega ravnanja ljudi [8]. Študije so pokazale, da v ZDA vsako povečanje temperature zraka za 1 °C nad 15 °C znižuje produktivnost za 1,7 % [9].

Empirično je potrjeno dejstvo, da vsako gručasto naselje z več kot 1.000 prebivalci že oblikuje prepoznaven toplotni otok [10]. Leta 2018 je v Sloveniji v 220 naseljih z več kot 1.000 prebivalci živelo kar 55,9 % prebivalstva. Večina prebivalcev Slovenije je torej tako ali drugače pod vplivom višjih temperatur zaradi segrevanja v naseljih.

Dodatno k toplotnemu obremenjevanju prispevajo pozitivni trendi zaradi globalnega segrevanja. Na območju Slovenije so trendi dviga povprečne temperature zraka v 20. stoletju višji od evropskega povprečja in so znašali 0,34 °C na desetletje, medtem ko so se na območju severovzhodne Slovenije v obdobju 1961–2016 temperature zraka dvigale z dinamiko od 0,33 °C do 0,44 °C na desetletje, v poletnih mesecih celo z dinamiko od 0,44 °C do 0,59 °C na desetletje [11]. Prav poletni meseci z vse pogostejšimi vročinskimi 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. Bolj ogroženi so starejši in 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 [6].

Dnevni letni režim intenzivnosti mestnega toplotnega otoka (UHI) in površinskega mestnega toplotnega otoka (SUHI) sta bila do sedaj že večkrat predmet raziskav. Bechtel idr. (2019) [12] ugotavljajo, da je v nekaterih priobalnih mestih v ZDA (San Francisco, Los Angeles, San Diego) intenzivnost SUHI največja v spomladanskih mesecih, najmanjša pa pozno poleti, medtem ko je v mestih kot Fresno in Sacramento največja v septembru in oktobru. Zaradi namakanja mest v semiaridnih območjih (npr. Phoenix) le-ta poleti in jeseni beležijo celo pojav nižjih temperatur v primerjavi z okolico (*ang. Urban Cold Island*). Zhou idr. (2016) [13] so za London ugotovili, da intenzivnost UHI doseže maksimum okoli poletnega solsticija, medtem ko so najvišje temperature v mestu dosežene praviloma konec julija in v začetku avgusta. Pongracz idr. (2010) [14] so za evropska mesta (München, Milano, Varšava, Budimpešta) ugotovili, da se največja intenzivnost UHI podnevi pojavlja v poletnih mesecih (junija in julija), najmanjša pa jeseni oziroma v zimskem času (od novembra do februarja). Ponoči je intenzivnost UHI enakomerna od marca do oktobra, medtem ko v hladni polovici leta praviloma oslabi. Unger idr. (2001) [15] poroča, da je v madžarskem Szegedu UHI najintenzivnejši aprila in maja ter avgusta in septembra, medtem ko v zimskih mesecih oslabi. Tudi Nakamura idr. (2018) [16] ugotavlja, da je v japonskem mestu Kumagaya podnevi intenzivnost UHI najvišja v poletnih mesecih, medtem ko je ponoči UHI najbolj razvit spomladi, pri čemer je ponoči intenzivnost UHI vse mesece višja kot podnevi.

2 Materiali in metode

Da bi pokazali lokalne razlike v intenzivnosti mestnega toplotnega otoka v času vročinskega vala, smo uporabili tudi metodo daljinskega zaznavanja, in sicer podobe satelita Landsat 8 v 10. in 11. kanalu, ki prikazujejo temperaturo površja (*ang. Land Surface Temperature – LST*) s prostorsko ločljivostjo 30 m x 30 m [17] na območju Maribora. Temperature v obeh kanalih smo povprečili in upoštevali tudi atmosfersko korekcijo. Za potrebe naše analize smo uporabili 22 satelitskih podob za dneve, v katerih je bilo nad Mariborom popolnoma jasno vreme. Uporabljene podoboe zajemajo časovno okno od 12. aprila 2013 do 8. avgusta 2020. Ker se v omenjenem obdobju raba tal, predvsem v kontekstu spremembe pozidanih površin, ni zelo spremenila, menimo, da je časovno obdobje ustrezno. Podobe so enakomerno razporejene po podnebnih letnih časih (po pet podob pozimi spomladi in poleti ter sedem podob jeseni). Na osnovi podatkov SUHI smo izračunali povprečne sezonske temperature površja, pri čemer smo upoštevali podnebne letne čase. V čas zime so uvrščeni december, januar in februar, v čas pomladi marec april in maj, v čas poletja junij, julij in avgust, ter v čas jeseni september, oktober in november.

Podatke o temperaturah površja smo primerjali z rabo tal, predvsem s stopnjo pozidanosti. V ta namen smo uporabili podatke Urbanega atlasa [18], ki zajema naslednje kategorije:

Preglednica 1: Kategorije Urbanega atlasa na območju Maribora

1110	Sklenjene gosto pozidane površine (S.L. > 80 %)
1121	Nesklenjene pozidane površine z veliko gostoto (S.L. : 50 % - 80 %)
1122	Nesklenjene pozidane površine z zmerno gostoto (S.L. : 30 % - 50 %)
1123	Nesklenjene pozidane površine z nizko gostoto (S.L. : 10 % - 30 %)
1124	Nesklenjene pozidane površine z zelo nizko gostoto (S.L. < 10 %)
1130	Posamične stavbe
1210	Industrijske, komercialne, javne in vojaške površine
1221	Hitre tranzitne ceste in sorodna zemljišča
1222	Druge ceste in sorodna zemljišča
1223	Železnice in sorodna zemljišča
1310	Gramoznice
1340	Nefunkcionalna zemljišča
1410	Zelena urbana območja
1420	Območja za šport in rekreacijo
2100	Obdelovalne površine
2200	Trajni nasadi (vinogradi, sadovnjaki)
2300	Pašniki

3100	Gozdne površine
5000	Vodne površine

Vir: Urban Atlas [18].

V nadaljevanju smo izračunali povprečne sezonske temperature površja po posameznih kategorijah Urbanega atlasa. Intenzivnost SUHI smo na koncu izračunali tako, da smo kot referenčno temperaturo površja v vsaki sezoni privzeli tisto na pašnikih, nato pa le-te odšteli od povprečnih temperatur v ostalih kategorijah rabe tal v dani sezoni. Rezultate smo prikazali tudi prostorsko.

2.1 Glavne geografske značilnosti obravnavanega območja

Mesto Maribor se nahaja na stiku predalpske in obpanonske severovzhodne Slovenije in na izteku Dravske doline. Mesto s 95.767 prebivalci [19] je svoj razcvet doživelo v sredini 19. stoletja, ko so v mestu nastali prvi industrijski obrati v povezavi z izgradnjo železniške proge med Dunajem in Trstom. Kmalu so se poleg kovinske industrije začele razvijati tudi druge industrijske panoge, ki pa so po razpadu Jugoslavije leta 1991 doživele zaton. Danes skuša mesto ustvariti svojo identiteto na storitvenih dejavnostih in kot univerzitetno središče severovzhodne Slovenije. Mesto je doživelo pospešen prebivalstveni in prostorski razvoj od 60. let 19. stoletja naprej, predvsem zaradi intenzivnega priseljevanja iz podeželja. Pozidani del se je širil predvsem proti jugu, zahodu in vzhodu, in sicer na nekdanje obdelovalne površine. V mestu je danes še vedno ohranjenih nekaj parkovnih površin (Mestni park, Trg Borisa Kidriča, Slomškov trg, Magdalenski park), med večjimi gozdnimi površinami pa velja omeniti predvsem gozd Stražun, ki se kot zelen rt širi v pozidani del mesta med Pobrežjem in Teznom. Druga, precej manjša gozdna površina se nahaja na južnem robu pozidanega dela, na Taboru (Betnavski gozd). Pomemben lokalno klimatski modifikator je tudi reka Drava, ki z do 160 m širokim koritom deli mesto na dvoje [20].



Slika 1: Obravnavano območje mesta Maribor [21]

3 Rezultati z diskusijo

3.1 SUHI in raba tal v Mariboru po letnih časih

Povprečne temperature površja so na obravnavanem območju najvišje poleti (26,3 °C), sledijo jesen (20,4 °C), pomlad (19,1 °C) in zima (3,3 °C). Vendar se znotraj letnih časov pojavljajo razlike v temperaturah po kategorijah rabe tal. Najvišje povprečne temperature površja se pojavljajo v poletnih mesecih, in sicer na sklenjenih gosto pozidanih površinah s stopnjo nepropustnosti površja nad 80 % (29,1 °C), sledijo industrijske, komercialne, javne in vojaške površine (28,8 °C), železnice in pripadajoča zemljišča (28,4 °C) in nesklenjene pozidane površine z veliko gostoto in stopnjo nepropustnosti površja 50 % - 80 % (28,2 °C). Kot najhladnejše oblike rabe tal se pojavljajo vodne površine (22,5 °C) in gozdne površine (23,3 °C). Razlika med najhladnejšimi in najtoplejšimi oblikami rabe tal je poleti znašala 6,6 °C. Spomladi in jeseni so se najvišje temperature površja pojavljale na industrijskih, komercialnih, javnih in vojaških površinah (22,2 °C oziroma 22,1 °C). Temperaturne razlike med kategorijami rabe tal so spomladi znašale 6,2 °C,

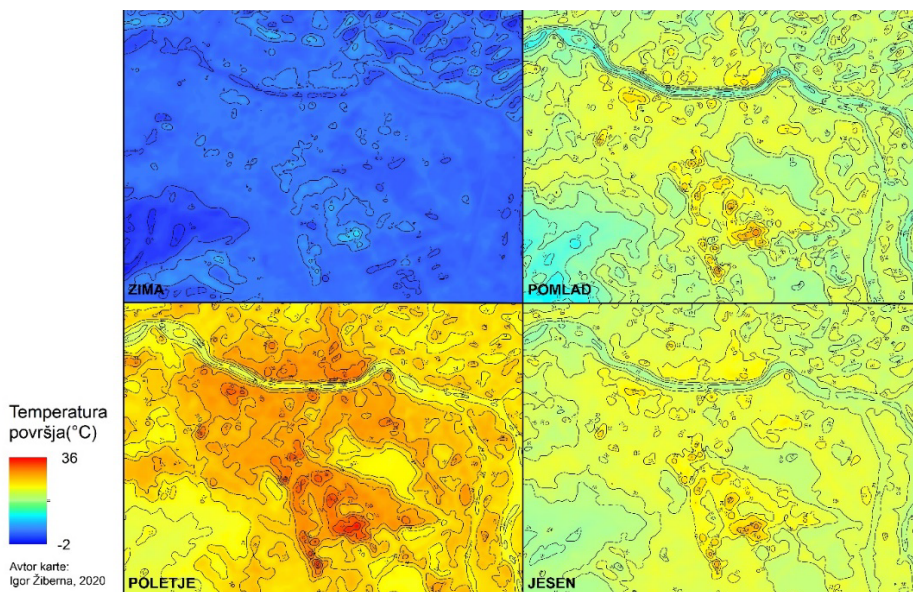
jeseni pa 4,3 °C. V zimskem času so temperature površja najvišje na območjih s trajnimi nasadi, pretežno vinogradi (4,0 °C), ter na industrijskih, komercialnih, javnih in vojaških površinah oziroma na sklenjenih gosto pozidanih površinah s stopnjo nepropustnosti površja nad 80 % (3,7 °C) (Preglednica 1). Temperaturne razlike med najtoplejšimi in najhladnejšimi oblikami rabe tal so bile pozimi najmanjše med vsemi letnimi časi (3,3 °C). Visoke temperature pozimi na območjih s trajnimi nasadi odstopajo od ustaljene predstave. Trajni nasadi, predvsem vinogradi, se na obravnavanem območju nahajajo v Mariborskih gorica, in sicer na strmih južnih pobočjih, ki pozimi zaradi velike prejete količine kratkovalovnega sevanja odstopajo od ravninskih območij. Pozimi topoklimatski dejavniki prevladajo nad običajnimi, ki sicer oblikujejo površinski mestni toplotni otok. Nizke razlike v temperaturah površja med posameznimi oblikami rabe tal v zimskem obdobju so tudi rezultat pogostejšega snežnega pokrova, zaradi česar se razlike v fizikalnih lastnostih podlage (predvsem v toplotni kapaciteti) znižajo. Omenjeno ne velja za kategoriji avtoceste, hitre ceste in pripadajoča zemljišča ter druge ceste in pripadajoča zemljišča, ki v povprečnih zimskih temperaturah ne zaostajata pretirano za najtoplejšimi kategorijami. Obe kategoriji pozimi redno plužijo, zato se tudi v obdobjih s snežno odejo ohranjajo prvotne lastnosti površja.

Morda nekoliko preseneča dejstvo, da je kategorija železnice in pripadajoča zemljišča v vseh letnih časih uvrščena med tiste z višjimi temperaturami površja. Gre za območja železniških tirov, katerih podlaga je sestavljena iz večjih kamnitih kosov, ki imajo podobne fizikalne lastnosti (toplotna kapaciteta in toplotna prevodnost) kot gradbeni materiali, zaradi katerih se sicer oblikuje površinski mestni toplotni otok. V tem pogledu izstopata predvsem glavni železniški kolodvor v Melju in ranžirna železniška postaja na Teznem. Večja sklenjena območja višjih temperatur se pojavljajo na območju industrijskega kompleksa na Teznem v jugovzhodnem delu mesta, v Melju v severovzhodnem delu mesta, nekoliko manj pa na območju industrijske cone na Studencih (Slika 2). Na teh območjih so se poleti pojavljale tudi najvišje maksimalne izmerjene temperature (36,0 °C).

Preglednica 2: Temperature površja po kategorijah rabe tal in po letnih časih (v °C)

Kategorije rabe tal po Urbanem atlasu	Pomlad	Poletje	Jesen	Zima
Sklenjene gosto pozidane površine (S.L. > 80 %)	21,1	29,1	22,0	3,7
Nesklenjene pozidane površine z veliko gostoto (S.L.: 50 % - 80 %)	20,8	28,2	21,5	3,5
Nesklenjene pozidane površine z zmerno gostoto (S.L.: 30 % - 50%)	19,9	27,1	21,0	3,4
Nesklenjene pozidane površine z nizko gostoto (S.L. : 10 % - 30 %)	18,9	25,7	20,1	3,4
Nesklenjene pozidane površine z zelo nizko gostoto (S.L. < 10 %)	18,7	25,5	20,0	3,4
Posamične stavbe	18,2	24,9	19,6	3,5
Industrijske, komercialne, javne in vojaške površine	21,2	28,8	22,1	3,7
Hitre tranzitne ceste in sorodna zemljišča	19,3	26,3	20,4	3,2
Druge ceste in sorodna zemljišča	20,0	27,3	21,0	3,4
Železnice in sorodna zemljišča	20,9	28,4	21,9	3,6
Gramoznice	18,8	26,3	20,3	2,8
Nefunkcionalna zemljišča	19,9	27,0	20,9	3,4
Zelena urbana območja	18,9	26,2	20,1	2,9
Območja za šport in rekreacijo	19,2	26,3	20,3	3,0
Obdelovalne površine	18,9	25,6	20,3	3,0
Trajni nasadi (vinogradi, sadovnjaki)	19,2	25,6	20,2	4,0
Pašniki	18,5	25,1	19,8	3,6
Gozdne površine	16,0	23,3	18,2	2,3
Vodne površine	15,0	22,5	17,8	2,4

Vir: Landsat 8 TIRS [22], vir: lastni izračuni, 2021.



Slika 2: Povprečne temperature površja po letnih časih [22]

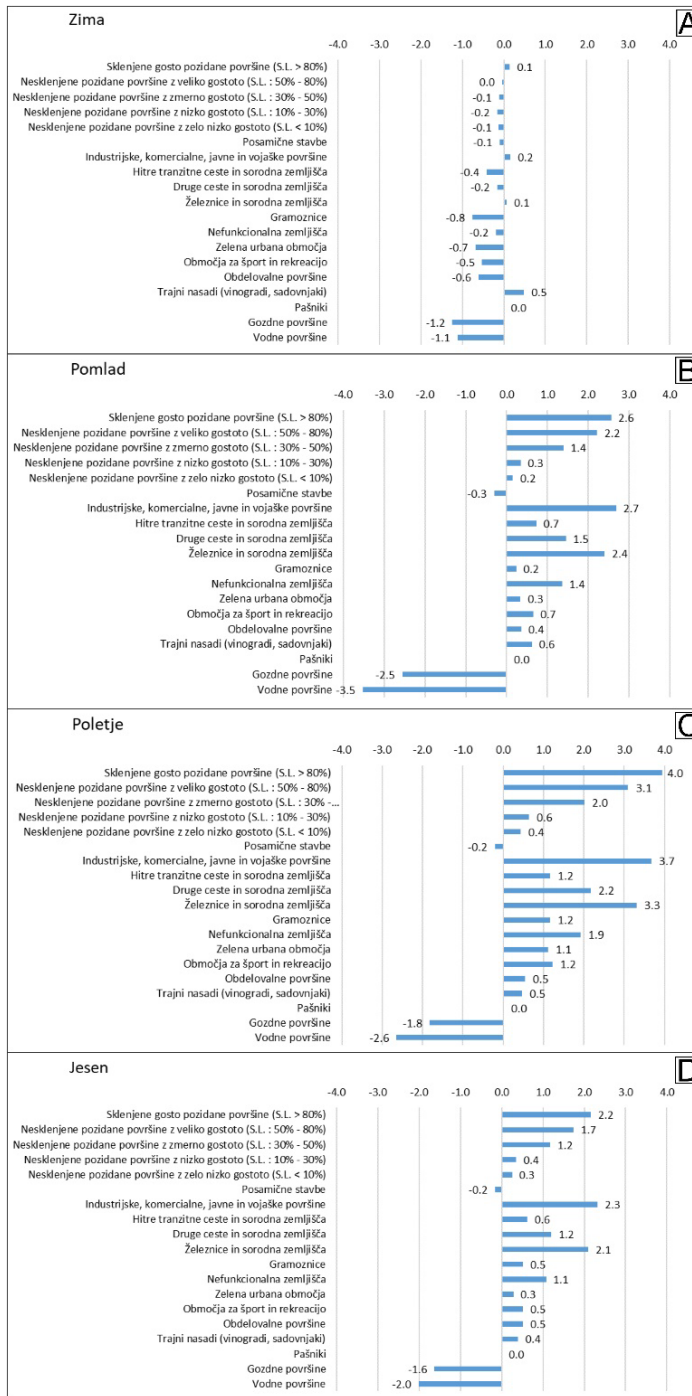
3.2 Intenzivnost SUHI in raba tal v Mariboru po letnih časih

Zaradi lažje analize intenzivnosti SUHI smo podatke normirali, pri čemer smo kot referenčno vrednost za vsak letni čas uporabili povprečno temperaturo na pašnikih, za vse ostale kategorije rabe tal pa izračunali razlike med temperaturo površja dane kategorije in temperaturo na pašnikih.

Podatki kažejo, da so najvišje temperature razlike zabeležene poleti (6,6 °C) in spomladi (6,2 °C). Jeseni so se temperaturne razlike znižale na 4,3 °C, pozimi pa na 1,7 °C. Poleti so se najvišje temperaturne razlike glede na referenčno vrednost pojavljale na sklenjenih gosto pozidanih površinah s stopnjo nepropustnosti nad 80 % (4,0 °C), industrijskih, komercialnih, javnih in vojaških površinah (3,7 °C) in na železnicah in sorodnih zemljiščih (3,3 °C). Glede na referenčno površino so bile nižje temperature na vodnih površinah (za 2,6 °C), gozdnih površinah (1,8 °C) in posamičnih stavbah (0,2 °C). Slednje morda malce preseneča, vendar moramo upoštevati, da so v to kategorijo vštete zasebne hiše s pripadajočimi vrtovi, ki so v poletnih mesecih na višku vegetacijske dobe, kar površje nekoliko ohladi. Tudi spomladi so najvišja odstopanja od referenčne površine zaznana na industrijskih, komercialnih, javnih in vojaških površinah (2,7 °C), na sklenjenih gosto pozidanih površinah s stopnjo nepropustnosti nad 80 % (2,6 °C), na železnicah in sorodnih zemljiščih (2,4 °C) in na nesklenjenih gosto pozidanih površinah s stopnjo nepropustnosti od 50 % do 80 % (2,2 °C). Nižje temperature od referenčnih so zaznane na vodnih površinah (za 3,5 °C), gozdnih površinah (za 2,5 °C) in na območjih s posamičnimi stavbami (za 0,3 °C). Pozimi so se najvišja pozitivna odstopanja od referenčne površine pojavila na vinogradniških površinah (0,5 °C). Te se nahajajo na strmih južnih pobočjih v Mariborskih gorica, gričevju, ki obdaja pozidane površine na severnem robu mesta. Zaradi ugodne lege in kljub zimskemu času še vedno visokega vpadnega kota Sončevih žarkov, so te lege dobro obsevane, zato sneg tukaj hitro skopni in površje se hitro segreje. V ostalih delih mesta snežni pokrov – kljub pluženju v mestu – zabriše siceršnje razlike. Hladnejše od referenčne površine so gozdne površine (1,2 °C) in vodne površine (1,1 °C) (Slika 3).

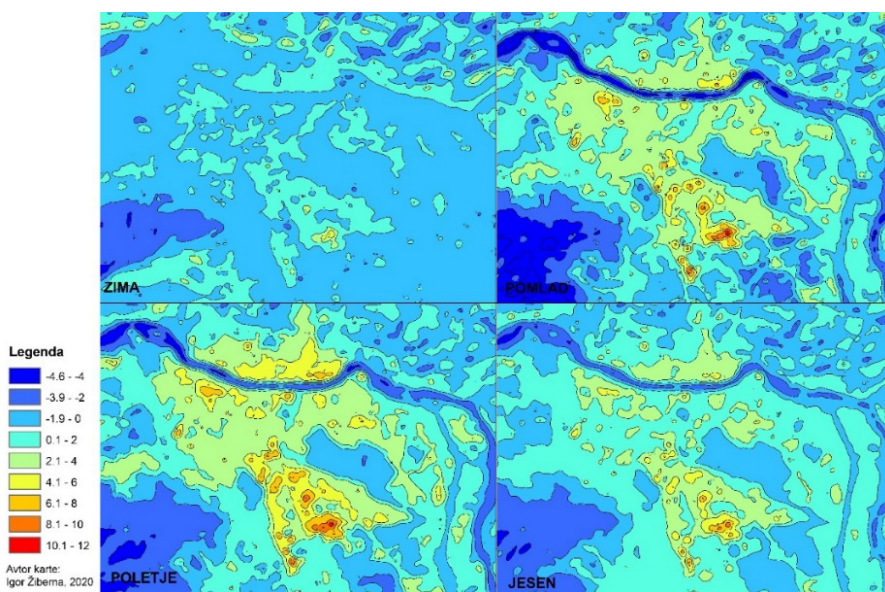
Geografska razporeditev intenzivnosti SUHI v Mariboru po letnih časih (Slika 4) potrjuje zgoraj opisano. Polje intenzivnosti SUHI v Mariboru je najbolj homogeno pozimi, najbolj raznoliko pa poleti in spomladi. Pozimi od referenčnih površin najbolj izstopa industrijska cona Tezno v jugovzhodnem delu mesta in prisojna pobočja z vinogradi v Mariborskih gorica na severnem robu pozidanega dela mesta.

Temperaturne razlike med ostalimi kategorijami rabe tal so zelo zabrisane. Spomladi se razlike v intenzivnosti SUHI povečajo, pri čemer kot toplejša območja izstopajo industrijska cona Tezno, območje trgovskih centrov in storitvenih dejavnosti s pripadajočimi parkirišči vzhodno od Tržaške ceste (glavne cestne vpadnice v mesto z južne strani), industrijska cona Melje v severovzhodnem delu mesta in industrijska cona Studenci v zahodnem delu mesta. V negativno smer vidno odstopajo reka Drava s hidroenergetskim kanalom HE Zlatoličje, gozd Stražun v vzhodnem delu mesta, Betnavski gozd v južnem delu mesta in Limbuška Dobrava, gozd na skrajnem zahodnem delu mesta. V poletnih mesecih se območjem s pozitivnimi odstopanji pridružijo tudi manjši otočki SUHI: območje mariborske bolnišnice, nakupovalnega središča Europark (oboje na desnem bregu reke Drave) ter nakupovalni središči ob Puhovi cesti na Pobrežju ter Qlandia ob zahodni obvoznici. Poleti se območjem z nižjimi temperaturami od referenčnih pridružijo tudi območja Mestnega parka na robu starega dela mesta na levem bregu reke Drave in nekatere druge manjše zelene površine, ki še povečujejo kontrast med različno segretim deli mesta.



Slika 3: Intenzivnost SUHI po letnih časih in po kategorijah rabe tal v Mariboru [22]

Glede na dejstvo, da se vročinski valovi v Mariboru najpogosteje pojavljajo julija in avgusta, v zadnjem desetletju pa tudi junija in septembra [23], je pomen zelenih in vodnih površin zaradi blaženja temperaturnega stresa toliko večji. V jesenskem času polje intenzivnosti SUHI ponovno postaja bolj homogeno, pri čemer še vedno izstopajo zgoraj omenjena območja. Na bivalnih območjih z višjo gostoto prebivalstva v Mariboru prevladuje individualna gradnja, kjer se ob hišah praviloma pojavljajo vrtno površine, ki učinek SUHI na srečo blažijo. Od 70. let naprej se je v mestu začela pojavljati tudi blokovna gradnja [23], ob katerih je zelenih površin manj, zaradi tega je na takih območjih učinek toplotnega stresa večji.



Slika 4: Intenzivnost SUHI po letnih časih [22]. Povzeto po Žiberna idr. (2021) [24]

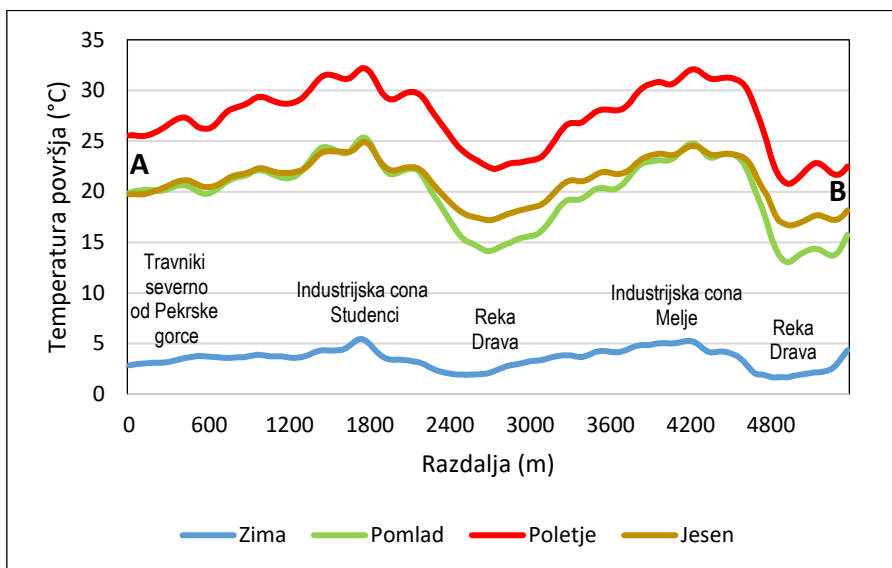
Vpliv zelenih površin na SUHI in kakovost bivalnega okolja v mestih je predmet številnih analiz [25]–[32]. Zelene površine v mestih imajo širok spekter ekosistemskih storitev. Ob tem da blažijo stres zaradi visokih temperatur, predstavljajo območja za oddih, druženje, rekreacijo in pridobivanje hrane [33]. Za dodaten prikaz vpliva različnih oblik rabe tal na SUHI smo v ta namen čez mesto izrisali nekaj tipičnih presekov po letnih časih. Presek A-B (Slika 5) poteka pretežno v vzporedniški smeri, in sicer med industrijskima conama Studenci in Melje, pri čemer dvakrat prečka reko Dravo. Pričakovano najvišje temperature se v vseh letnih časih pojavljajo na območju obeh industrijskih con, najnižje pa na reki Dravi.

Najvišje razlike med najtoplejšo in najhladnejšo točko na profilu se pojavljajo spomladi (12,3 °C), sledijo poletje (11,4 °C), jesen (8,2 °C) in zima (3,8 °C) (Slika 5). Najvišje poletne temperature (32,2 °C) se pojavljajo na območju industrijske cone Studenci, v bližini katere se nahaja tudi ranžirna železniška postaja. Le nekoliko nižje temperature (32,1 °C) se pojavljajo na območju industrijske cone Melje. Najnižje poletne temperature se pojavljajo na območju reke Drave v Melju (20,8 °C). Da nastopajo najvišje razlike v spomladanskih mesecih je posledica nižjih temperatur reke Drave, saj se vodne površine spomladi zaradi višje toplotne kapacitete segrevajo počasneje kot gradbeni materiali [34].

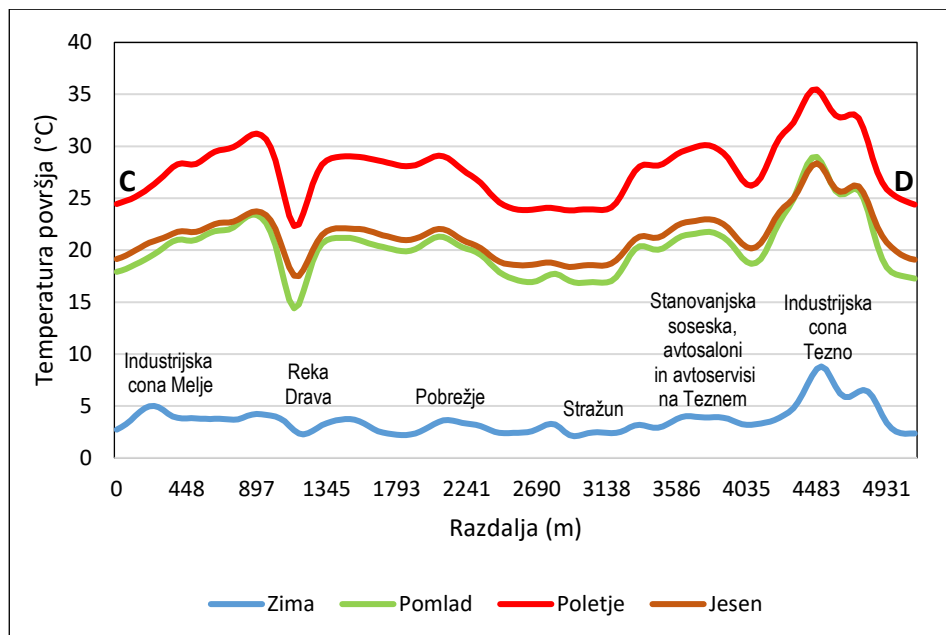
Presek C-D poteka v poldnevniški smeri med vznožjem gričevja v Melju in južnim robom mesta, na katerem se že pojavljajo njivske površine. Profil prečka reko Dravo in gozd Stražun, ki predstavlja največjo sklenjeno gozdno površino v mestu (Slika 4). Tudi na tem profilu so bile najvišje temperaturne razlike spomladi (14,6 °C), sledile so amplitude poleti (13,2 °C), jeseni (10,9 °C) in pozimi (3,6 °C). Najvišje temperature se v vseh letnih časih pojavljajo na območju industrijske cone Tezno, nekoliko nižje so na območju industrijske cone Melje. Najnižje temperature se ponovno pojavljajo na reki Dravi, vendar pa se pozimi te razlike znižajo na minimum. Površje na reki Dravi redko zamrzne, kar pa ne drži za kopno. Voda ima višjo toplotno kapaciteto, zato voda v reki ni bistveno hladnejša od kopnega. Temperatura površja na območju Stražuna je v poletnih mesecih kar za 11 °C nižja od temperature površja na območju industrijskih con in za okoli 5 °C nižja od temperature površja na območju individualnih stanovanjskih hiš, ki imajo v svoji okolici tudi veliko zelenih površin v obliki vrtov.



Slika 5: Profili čez površinski mestni toplotni otok v Mariboru [21]



Slika 6: Temperaturni profil povprečnih sezonskih temperatur A-B čez SUHI

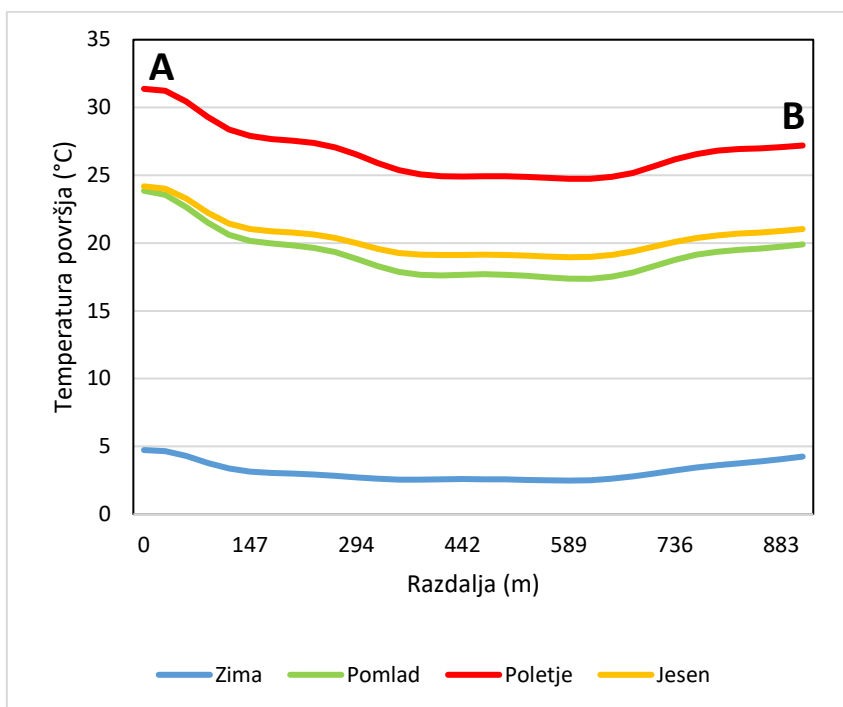


Slika 7: Temperaturni profil povprečnih sezonskih temperatur C-D čez SUHI

Mesto Maribor, predvsem starejši del mesta, sestavljajo pogoste parkovne površine. Med največje s 54 ha površine sodi Mestni park, ki je nastal leta 1872 in bil razširjen leta 1882 [35]. Mestni park na vzhodu in zahodu obdajajo območja individualnih stanovanjskih hiš, na jugu staro mestno jedro, na severu pa južna pobočja gričev Piramida in Stolni vrh (Slika 8). Profil čez polje SUHI kaže, da najvišje razlike v temperaturah površja nastopajo poleti (6,6 °C) in spomladi (6,5 °C), medtem ko se jeseni znižajo na 5,2 °C, pozimi pa na 2,3 °C (Slika 9), kar dokazuje, da imajo parkovne površine v času največje frekvence in intenzivnosti pojavljanja vročinskih valov pomemben blažilni učinek. Ob gozdu Stražun se na južnem robu mesta pojavlja manjša gozdna zaplata Betnavski gozd (30,9 ha) (Slika 10). Profili čez polje SUHI na tem območju kažejo na najvišje razlike spomladi (6,8 °C) in poleti (6,6 °C), nižje pa so jeseni (4,8 °C) in pozimi (1,7 °C) (Slika 11). Analize so pokazale, da že precej manjše parkovne površine modificirajo intenzivnost SUHI. Magdalenski park na Taboru, ki pokriva 2,18 ha površja, ima poleti za 3,4 °C nižje temperature od okolice (spomladi za 3,1 °C). Trg Borisa Kidriča ob železniškem kolodvoru s površino 1,17 ha ima poleti za 3,0 °C nižje temperature od okolice (spomladi za 2,6 °C).



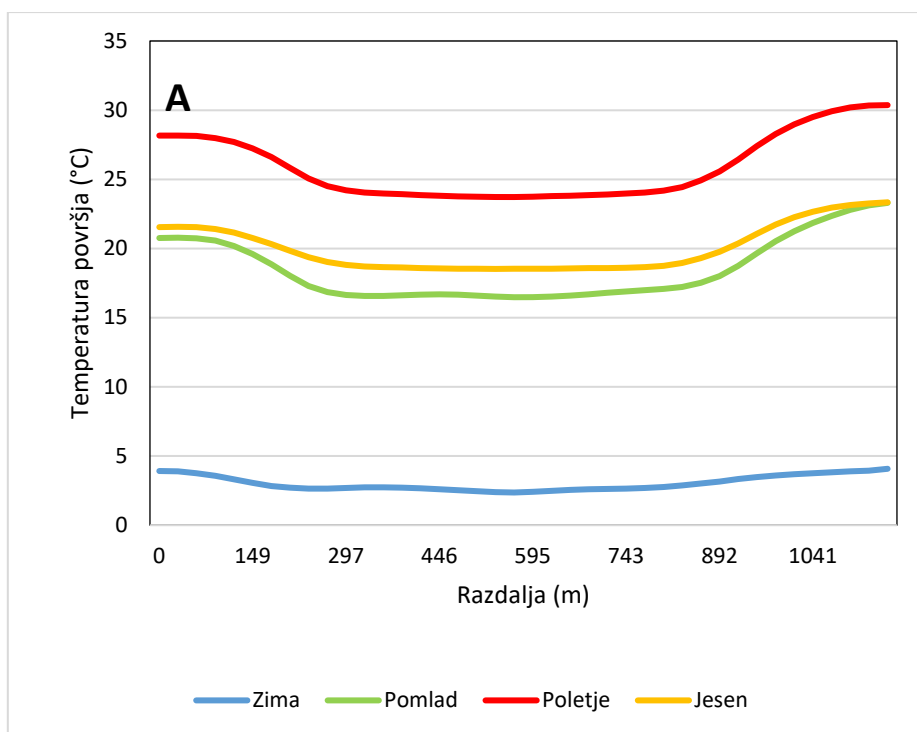
Slika 8: Profil čez SUHI na območju Mestnega parka v Mariboru [21]



Slika 9: Profil čez SUHI na območju mestnega parka v Mariboru po letnih časih



Slika 10: Profil čez SUHI na območju Betnavskega gozda v Mariboru [21]



Slika 11: Profil čez SUHI na območju Betnavskega gozda v Mariboru po letnih časih

4 Zaključek

Temperature površja v Mariboru kažejo tesno odvisnost od rabe tal, vendar se ta zveza spreminja z letnimi časi. Pozimi so zaradi snežnega pokrova razlike v površinskih temperaturah nižje, večjo vlogo pa igra relief (strma prisojna pobočja). Temperaturne razlike med vodnimi površinami in kopnim so najnižje med vsemi letnimi časi. Površinski toplotni otok kaže najvišje razlike med posameznimi deli mesta v času pomladi in poletja. Analiza kaže, da so najvišje temperature razlike zabeležene poleti (6,6 °C) in spomladi (6,2 °C). Jeseni so se temperaturne razlike znižale na 4,3 °C, pozimi pa na 1,7 °C. Poleti so se najvišje temperaturne razlike glede na referenčno vrednost (temperature na pašnikih) pojavljale na sklenjenih gosto pozidanih površinah s stopnjo nepropustnosti nad 80 % (4,0 °C), industrijskih, komercialnih, javnih in vojaških površinah (3,7 °C) in na železnicah in sorodnih zemljiščih (3,3 °C). Glede na referenčno površino so bile nižje temperature na vodnih površinah (za 2,6 °C), gozdnih površinah (1,8 °C) in posamičnih stavbah (0,2 °C), kjer temperature znižujejo okoliški vrtovi in trate. Rezultati potrjujejo, da zelene in vodne površine v obdobjih, v katerih lahko pričakujemo vedno pogostejše vročinske valove, igrajo pomembno blažilno vlogo. Temperature površja v Mestnem parku so bile poleti za 6,6 °C, spomladi pa za 6,5 °C nižje od pozidane okolice. V Betnavskem gozdu so bile temperature površja spomladi za 6,8 °C, poleti pa za 6,6 °C nižje od pozidane okolice. Tudi manjše parkovne površine kažejo za nekaj stopinj C nižje temperature površja od okolice. V času, ko lahko pričakujemo pogostejše, vedno daljše in intenzivnejše vročinske valove, bi v strategiji razvoja mesta morali najmanj ohranjati, še boljše pa širiti zelene in vodne površine. Te nimajo samo funkcije blažilca temperaturnih obremenitev, ampak nudijo tudi pomembno socialno in psihološko funkcijo (druženje, sprostitve).

Zahvale

Študijo so omogočili: Projekt »RAZVOJ RAZISKOVALNE INFRASTRUKTURE ZA MEDNARODNO KONKURENČNOST SLOVENSKEGA RRI PROSTORA – RI-SI-LifeWatch« (projekt sofinancirata Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport Republike Slovenije in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj) in programska skupina P6-0372 »Slovenska identiteta in kulturna zavest v jezikovno in etnično stičnih prostorih v preteklosti in sedanjosti«.

Literatura

- [1] T. R. Oke, *Boundary layer climates*. Routledge, 2002.
- [2] F. Fezer, *Das Klima der Städte*. Perthes [ua], 1995.

- [3] „United Nations“, *Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics*. <https://population.un.org/wup/Download/> (pridobljeno 15. februar 2021).
- [4] EEA (European Environment Agency), „Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies“, *EEA Report, No. 2/2012*, 2012.
- [5] J.-M. Robine *idr.*, „Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003“, *Comptes rendus biologiques*, let. 331, št. 2, str. 171–178, 2008.
- [6] K. Parsons, *Human heat stress*. CRC Press, 2019.
- [7] „The Russian heatwave of summer 2010“. <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/case-studies/russian-heatwave> (pridobljeno 29. oktober 2018).
- [8] B. Marshall, S. Hsiang, in M. Edward, „Climate and conflict“, *Annual Review of Economics*, let. 7, št. 1, str. 577–617, 2015.
- [9] T. Deryugina in S. M. Hsiang, „Does the environment still matter? Daily temperature and income in the United States“, National Bureau of Economic Research, 2014.
- [10] G. Bonan, *Ecological climatology: concepts and applications*. Cambridge University Press, 2015.
- [11] I. Žiberna, „Trendi vodne bilance v severovzhodni Sloveniji v obdobju 1961–2016“, *V: Geografije Podravskega prostora. Univerzitetna založba. Univerza v Mariboru. Maribor*, 2017.
- [12] B. Bechtel, P. Sismanidis, J. Voogt, in W. Zhan, „Seasonal Surface Urban Heat Island Analysis“, v *2019 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, Vannes, France, maj 2019, str. 1–4. doi: 10.1109/JURSE.2019.8808982.
- [13] B. Zhou, D. Lauwaet, H. Hooyberghs, K. De Ridder, J. P. Kropp, in D. Rybski, „Assessing seasonality in the surface urban heat island of London“, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, let. 55, št. 3, str. 493–505, 2016.
- [14] R. Pongrácz, J. Bartholy, in Z. Dezső, „Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities“, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, let. 35, št. 1–2, str. 95–99, 2010.
- [15] J. Unger, Z. Sümegehy, in J. Zoboki, „Temperature cross-section features in an urban area“, *Atmospheric research*, let. 58, št. 2, str. 117–127, 2001.
- [16] Y. Nakamura, Y. Shigeta, in Y. Watarai, „Seasonal variations of the urban heat island in Kumagaya, Japan“, *Geographical review of Japan series B*, let. 91, št. 2, Art. št. 2, 2018.
- [17] „USGS. Curve Fit: A Pixel Level Raster Regression Tool. U.S. Army Corps of Engineers.“ <https://earthexplorer.usgs.gov/> (pridobljeno 20. september 2018).
- [18] „Copernicus“, *Urban Atlas 2018*. <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018?tab=metadata> (pridobljeno 15. februar 2021).
- [19] „Statistični urad Republike Slovenije. (2020). SiStat. <https://pxweb.stat.si/SiStat/sl>“. [Na spletu]. Dostopno na: SiStat. <https://pxweb.stat.si/SiStat/sl>
- [20] I. Žiberna, „Izbrane naravnogeografske značilnosti občine Radlje ob Dravi“, *Revija za geografijo*, let. 6, št. 1, str. 47–60, 2011.
- [21] „Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije. (2020).“ Pridobljeno: 1. februar 2020. [Na spletu]. Dostopno na: E-geodetski podatki. <https://egp.gu.gov.si/egp/?lang=en>
- [22] „Landsat 8 TIRS, 2020. EarthData Open Acces for Open Science. EarthData.“ <https://earthdata.nasa.gov/>
- [23] V. Drozg, „Regijsko mesto Maribor“, *Revija za geografijo*, let. 1, št. 1, str. 9–39, 2006.
- [24] I. Žiberna *idr.*, „The Impact of Climate Change on Urban Thermal Environment Dynamics“, *Atmosphere*, let. 12, št. 9, str. 1159, sep. 2021, doi: 10.3390/atmos12091159.
- [25] S. Hamada in T. Ohta, „Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas“, *Urban forestry & urban greening*, let. 9, št. 1, str. 15–24, 2010.
- [26] S. E. Gill, J. F. Handley, A. R. Ennos, in S. Pauleit, „Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure“, *Built environment*, let. 33, št. 1, str. 115–133, 2007.
- [27] D. Maheng, I. Ducton, D. Lauwaet, C. Zevenbergen, in A. Pathirana, „The sensitivity of urban heat island to urban green space—a model-based study of city of Colombo, Sri Lanka“, *Atmosphere*, let. 10, št. 3, str. 151, 2019.

- [28] G. Kaplan, „Evaluating the roles of green and built-up areas in reducing a surface urban heat island using remote sensing data“, *Urbani izživ*, let. 30, št. 2, str. 105–112, 2019.
- [29] C. Yang *idr.*, „The effect of urban green spaces on the urban thermal environment and its seasonal variations“, *Forests*, let. 8, št. 5, str. 153, 2017.
- [30] M. F. Altunkasa, S. Berberoğlu, C. Uslu, in H. Duymuş, „The Effectiveness of Urban Green Spaces and Socio-Cultural Facilities“, *Tema. Journal of Land Use, let. Mobility and Environment*, str. 41-56 Paginazione, apr. 2017, doi: 10.6092/1970-9870/4087.
- [31] P. Jonsson, „Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana“, *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, let. 24, št. 10, str. 1307–1322, 2004.
- [32] R. Emmanuel, „Assessment of impact of land cover changes on urban bioclimate: the case of Colombo, Sri Lanka“, *Architectural Science Review*, let. 46, št. 2, str. 151–158, 2003.
- [33] J. Breuste, M. Artmann, J. Li, in M. Xie, „Special issue on green infrastructure for urban sustainability“, *Journal of Urban Planning and Development*, let. 141, št. 3, str. A2015001, 2015.
- [34] E. Erell, D. Pearlmutter, in T. Williamson, *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. Routledge, 2012.
- [35] S. Radovanovič, I. Žiberna, in D. Cvetnič, *Maribor: mestni vodnik*. Obzorja, 1996.