

Površinski mestni toplotni otok v Slovenski Bistrici

Igor Žiberna*

DOI: <https://doi.org/10.62409/czn.280>
CC BY-SA 4.0

UDK – UDC: 911(497.4Slovenska Bistrica):551.58

Potrjeno – Accepted: 6. 12. 2024 | Objavljeno – Published: 30. 12. 2024

1.01 Izvirni znanstveni članek – 1.01 Original Scientific Article

Igor Žiberna: Površinski mestni toplotni otok v Slovenski Bistrici. Časopis za zgodovino in narodopisje, Maribor 95=60(2024), 3–4, str. 101–125

V članku so obravnavani intenzivnost, oblika in sezonski režim površinskega mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici. Analizirani so podatki, pridobljeni s pomočjo daljinskega zaznavanja satelita Landsat 8. Prikazane so spremembe mestnega toplotnega otoka po letnih časih. Analizirali smo tudi vpliv rabe tal na intenzivnost mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici. V članku smo izpostavili območja v Slovenski Bistrici, ki se močneje pregrevajo, in hkrati opozorili na pomembne blažilne učinke zelenih površin znotraj naselja.

Gljučne besede: mestno podnebje, mestni toplotni otok, toplotna obremenitev, Slovenska Bistrica.

Igor Žiberna: Surface urban heat island in Slovenska Bistrica. Review for History and Ethnography, Maribor 95=60(2024), 3–4, pp. 101–125

In the article, I discuss the intensity, shape and seasonal regime of the surface urban heat island in Slovenska Bistrica. I analyse data obtained using remote sensing from

* Dr. Igor Žiberna, red. prof., (ORCID identifier 0000-0003-4796-4061), Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Koroška cesta 160, 2000 Maribor, Slovenija, igor.ziberna@um.si – Igor Žiberna, PhD, Full Professor, (ORCID identifier 0000-0003-4796-4061), University of Maribor, Faculty of Arts, The Department of Geography, Koroška cesta 160, SI 2000 Maribor, Slovenia, igor.ziberna@um.si

the Landsat 8 satellite, show changes in the urban heat island by season, and also analyse the impact of land use on the intensity of the urban heat island in Slovenska Bistrica. In the article, I highlighted areas in Slovenska Bistrica that are overheating more severely, and at the same time point out the important mitigating effects of green spaces within the settlement.

Keywords: urban climate, urban heat island, heat load, Slovenska Bistrica.

UVOD

Danes 55 % svetovnega prebivalstva živi v urbanih območjih; napovedi nakazujejo, da bi se ta delež do sredine 21. stoletja lahko povečal na 68 %. Danes najbolj urbanizirane celine so Severna Amerika (82 % njenega prebivalstva je leta 2018 živelo v urbanih območjih), Južna Amerika (81 %), Evropa (74 %) in Oceanija (68 %). Delež urbanega prebivalstva v Aziji je okoli 50 %, v Afriki pa 43 %.

Tokio je največje mesto na svetu z aglomeracijo 37 milijonov prebivalcev; sledijo New Delhi z 29 milijoni, Šanghaj s 26 milijoni ter Ciudad de Mexico in São Paulo, vsak s približno 22 milijoni prebivalcev. Danes imajo Kairo, Mumbai, Peking in Daka skoraj 20 milijonov prebivalcev. Do leta 2030 naj bi bilo na svetu 43 megamest z več kot 10 milijoni prebivalcev, večinoma v regijah v razvoju. Vendar pa so nekatera najhitreje rastoča urbana strnjena mesta tista z manj kot 1 milijonom prebivalcev. Medtem ko eden od osmih ljudi živi v 33 velemestih po vsem svetu, skoraj polovica svetovnih urbanih prebivalcev prebiva v naseljih z manj kot 500.000 prebivalci (Medmrežje 1).

Urbana okolja torej predstavljajo prevladujoč ekosistem za večino svetovnega prebivalstva. Urbani ekosistemi predstavljajo eno od skrajnih oblik t. i. grajenega, energijsko podprtega antropogenega ekosistema, za katerega so značilni prevladujoči antropogeni viri energije, spremenjena raba tal in večja energijska gostota v primerjavi z naravnimi ekosistemi (Douglas, 1983; Forman, 2014; Douglas, James, 2015; Errell, Pearlmutter, Williamson, 2015; Oke, Mills, Christen, Voogt, 2017).

Ena od najizrazitejših oblik manifestiranja urbanih ekosistemov je oblikovanje mestnega podnebja, do katerega prihaja zaradi spremenjene energijske in masne bilance (Douglas, James, 2015; Žiberna, 1996). Mestno podnebje se izraža v spremenjeni lokalni cirkulaciji atmosfere, razporeditvi padavin, relativne vlage, vodne bilance, najizraziteje pa v oblikovanju mestnega toplotnega otoka, za katerega so značilne višje temperature v primerjavi s tistimi v okolici mest. Govorimo lahko o oblikovanju specifičnega temperaturnega polja, v okviru katerega obravnavamo ne le razlike med mestom in okolico, pač pa tudi razlike med posameznimi deli znotraj mest.

Zaradi gradnje se je v mestih povečal delež materialov, kot so opeka, naravni kamen, 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)¹ in skoraj dvakrat večjo toplotno kapaciteto² (Oke 1990, str. 259), zato se podnevi počasi segreva, ponoči pa počasi ohlaja. Prav ta lastnost močno vpliva na dnevni režim razlik v temperaturi zraka med mestom in okolico. Pri določanju termičnih lastnosti materialov v urbanem okolju pogosto uporabljamo tudi termično difuzivnost³. Gradbeni materiali, ki jih pogosteje najdemo v urbanih okoljih, imajo v splošnem višjo termično difuzivnost. Mesto s svojimi pozidanimi površinami deluje kot termoakumulacijska peč, ki čez dan absorbira kratkovalovno sevanje Sonca, nato pa v nočnem in jutranjem času sama oddaja dolgovalovno sevanje v ohlajeno okolico. Temperaturne razlike med mestom in okolico zato pogosto nastopajo v času nastopa minimalnih temperatur. Fezer (1994, str. 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. Raziskave za mesto Maribor kažejo, da je intenzivnost mestnega toplotnega otoka največja v poletnih mesecih (Žiberna et. al., 2021). Na intenzivnost mestnega toplotnega otoka vpliva tudi morfologija zgradb: toplotne izgube v ozkih ulicah z visokimi stavbami so ponoči nižje (Oke, 1990).

Ker je v mestih vegetacijski pokrov manjši, to vpliva tudi na nižjo evapotranspiracijo in s tem tudi na nižjo količino porabljene latentne energije, kar dviga temperaturo zraka podnevi in blaži pretirano ohlajanje ponoči. Vse omenjeno vpliva na nižje izgube 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. Prašni delci tudi modificirajo energijsko bilanco, saj manjšajo delež direktnega, večajo pa delež difuznega sončnega obsevanja. Regionalno podnebje z vremenskimi tipi, relief ter antropogeni dejavniki so torej vzrok za lokalne spremembe v energijski

¹ Toplotna konduktivnost neke snovi je merilo sposobnosti toplotnega prevajanja te snovi. Predstavlja količino toplote, ki preteče skozi enoto površine v enoti časa (Kladnik, 1988, str. 200).

² Toplotna kapaciteta snovi nam pove množino toplote, ki je potrebna, da se snov segreje za 1 K, oziroma koliko toplote mora snov oddati, da se ohladi za 1 K (Kladnik, 1988, str. 197).

³ Termična difuzivnost je definirana kot razmerje med toplotno prevodnostjo in gostoto ter toplotno kapaciteto (Monteith, Unsworth, 2013).

bilanci, spremembe v vodni bilanci, spremembe v sestavi zraka, spremembe v kroženju zraka in končno spremembe v vrednostih klimatskih elementov, kar vodi v oblikovanje specifičnih podnebnih razmer v mestu, t. j. do »mestne klime« (Žiberna, 1996).

V prihodnosti lahko zlasti v poletnih mesecih ob anticiklonalnih 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 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 (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. Če odštejemo območje vzhodne Evrope, kjer ob naravnih nesrečah 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 (Robine et al., 2008). Vročinski val, ki je poleti leta 2010 zajel Rusijo, je tam zaradi visokih temperatur terjal 20.000 življenj (Parsons, 2014, 323; Medmrežje 2). 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).

Empirično je potrjeno dejstvo, da vsako gručasto naselje z nad 1000 prebivalci že oblikuje prepoznaven toplotni otok (Bonan, 2008, 522). Na začetku leta 2024 je v Sloveniji v 240 naseljih z nad 1000 prebivalcev živelo kar 56,8 % prebivalstva (Medmrežje 3). Večina prebivalcev Slovenije je torej tako ali drugače pod vplivom višjih temperatur zaradi segrevanja zraka v naseljih. Dodatno k toplotnemu obremenjevanju prispevajo pozitivni trendi zaradi globalnega segrevanja. Na območju Slovenije so trendi dviga povprečne temperature zraka v 20. stoletju bili 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 s trendom med 0,33 °C in 0,44 °C na desetletje, v poletnih mesecih pa celo s trendom med 0,44 °C in

0,59 °C na desetletje (Žiberna 2017). Poletni meseci z vse pogostejšimi vročinskimi valovi 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 (Parsons, 2014, 323).

Letni režim intenzivnosti mestnega toplotnega otoka (urban heat island ali UHI) in površinskega mestnega toplotnega otoka (surface urban heat island ali SUHI) je bila do sedaj že večkrat predmet raziskav. Bechtel in ostali (Bechtel et al., 2019) ugotavljajo, da je v nekaterih priobalnih mestih v ZDA (San Francisco, Los Angeles, San Diego) intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka 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) leta poleti in jeseni beležijo celo pojav nižjih temperatur v primerjavi z okolico (urban cold island). Zhou in ostali (Zhou et al., 2016) so za London ugotovili, da intenzivnost UHI doseže maksimum okoli poletnega solsticija, medtem ko so najvišje temperature v mestu dosežene praviloma konec julija in na začetku avgusta. Pongracz s sodelavci (Pongracz et al., 2010) je za evropska mesta (München, Milano, Varšava, Budimpešta) ugotovil, da se največja intenzivnost UHI podnevi pojavlja v poletnih mesecih (junija in julija), najmanjša pa pozimi (med novembrom in februarjem). Ponoči je intenzivnost UHI enakomerna med marcem in oktobrom, medtem ko v hladni polovici leta praviloma oslabi. Nakamura s sodelavci (Nakamura et al., 2018) 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.

METODOLOGIJA

V članku obravnavamo površinski mestni toplotni otok, ki predstavlja razlike v temperaturah površja. Te lahko zaznavamo s senzorji infrardečega (toplotnega) sevanja, ki jih s pomočjo algoritmov upoštevajoč prosojnost površja pretvorimo v temperature površja. Temperature površja so v tesni soodvisnosti s temperaturami prizemne plasti zraka, saj se slednji segreva pretežno z vpojem dolgovalovnega sevanja zemeljskega površja (Petkovšek, Hočevnar, 1995, 18–19). V naši analizi smo uporabili metodo daljinskega zaznavanja, in sicer posnetke satelita Landsat 8 v 10. in 11. kanalu (oba beležita sevanje v infrardečem delu

spektra), na osnovi katerih lahko pridobimo podatke o temperaturah površja (land surface temperature ali LST). Satelit v svoji orbiti obkroži Zemljo v 99 minutah in vsak delček zemeljskega površja posname na vsakih 16 dni. Če je nad danim površjem popolnoma jasno vreme, lahko te posnetke uporabimo za interpretacijo temperatur površja. Landsat 8 snema v termičnem kanalu v osnovi z resolucijo 100 m × 100 m, vendar so kasneje podatki prevzorčeni na prostorsko resolucijo 30 m × 30 m (Jensen, 2014; Medmrežje 4). Temperature v obeh kanalih smo povprečili in upoštevali tudi atmosfersko korekcijo. Za potrebe naše analize smo uporabili 22 satelitskih posnetkov za dneve, v katerih je bilo nad Slovensko Bistrico popolnoma jasno vreme. Uporabljeni posnetki zajemajo časovno okno med 31. marcem 2019 in 11. avgustom 2024. Ker se v omenjenem obdobju raba tal v Slovenski Bistrici predvsem v kontekstu spremembe pozidanih površin ni zelo spremenila, menimo, da je časovno obdobje ustrezno. Posnetki so enakomerno razporejeni po podnebnih letnih časih (po pet posnetkov pozimi, spomladi, poleti in jeseni). Na osnovi podatkov površinskega mestnega toplotnega otoka smo izračunali povprečne temperature površja po podnebnih letnih časih. V čas zime so uvrščeni december, januar in februar, v čas pomladi marec april in maj, v čas poletja junij, julij in avgust, v čas jeseni pa 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 (Medmrežje 5), ki na obravnavanem območju Slovenske Bistrice vključuje naslednje kategorije:

Preglednica 1: Kategorije Urbanega atlasa na območju Slovenske Bistrice. Vir: Urban Atlas 2018 (Medmrežje 5).

11100	Sklenjene gosto pozidane površine (NPP > 80 %)
11210	Nesklenjene pozidane površine z veliko gostoto (NPP 50 % – 80 %)
11220	Nesklenjene pozidane površine z zmerno gostoto (NPP 30% – 50%)
11230	Nesklenjene pozidane površine z nizko gostoto (NPP 10 % – 30 %)
11240	Nesklenjene pozidane površine z zelo nizko gostoto (NPP < 10 %)
11300	Posamične stavbe
12100	Industrijske, komercialne, javne in vojaške površine
12210	Avtoceste, hitre ceste in pripadajoča zemljišča
12220	Druge ceste in pripadajoča zemljišča
13100	Gramoznice
13400	Nefunkcionalna zemljišča
14100	Zelena urbana območja
14200	Območja za šport in rekreacijo
21000	Obdelovalna zemljišča
23000	Pašniki
31000	Gozdovi
50000	Vodne površine

V nadaljevanju smo izračunali povprečne sezonske temperature površja po posameznih kategorijah Urbanega atlasa. Intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka smo na koncu izračunali tako, da smo kot referenčno temperaturo površja v vsaki sezoni privzeli tisto na pašnikih/travnikih, nato pa le-te odšteli od povprečnih temperatur v ostalih kategorijah rabe tal v dani sezoni. Po merilih Svetovne meteorološke organizacije (WMO) se namreč meteorološke meritve v zmernih geografskih širinah opravljajo na travno površino, ki kot tako predstavlja referenčno obliko rabe tal (WMO, 2008). Rezultate smo prikazali tudi prostorsko.

REZULTATI IN RAZPRAVA

Splošne lastnosti obravnavanega območja

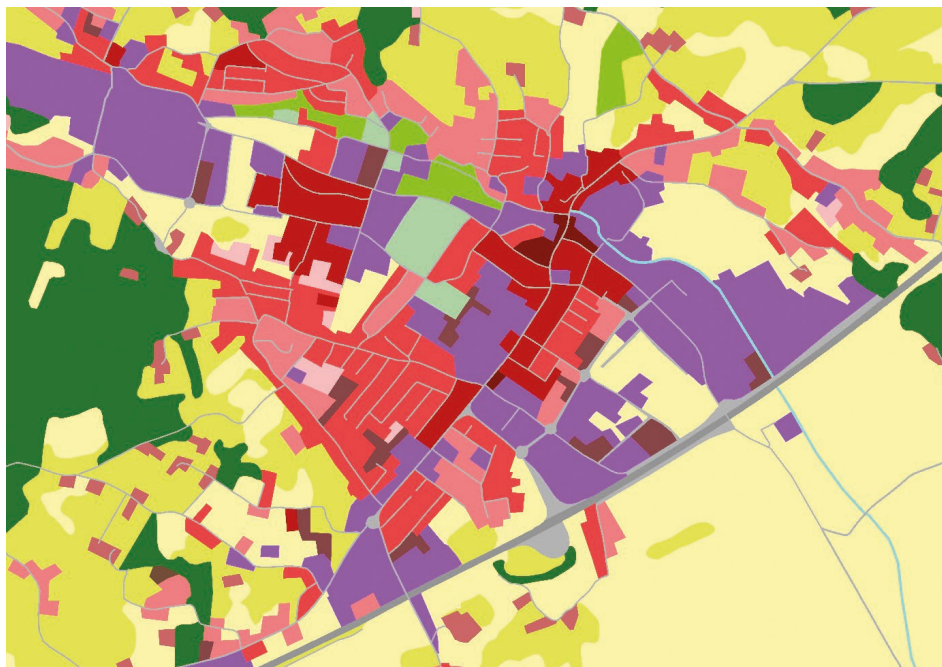
Slovenska Bistrica je naselje s površino 7,97 km² in je na začetku leta 2024 beležilo 8292 prebivalcev, kar to naselje v slovenskem merilu uvršča na 20. mesto od skupaj 6035 naselij. Obravnavano območje (Slika 1) vključuje površje velikosti 4,5 km × 3,0 km oziroma 13,5 km².



Slika 1: Slovenska Bistrica – obravnavano območje.

Vir: Medmrežje 6.

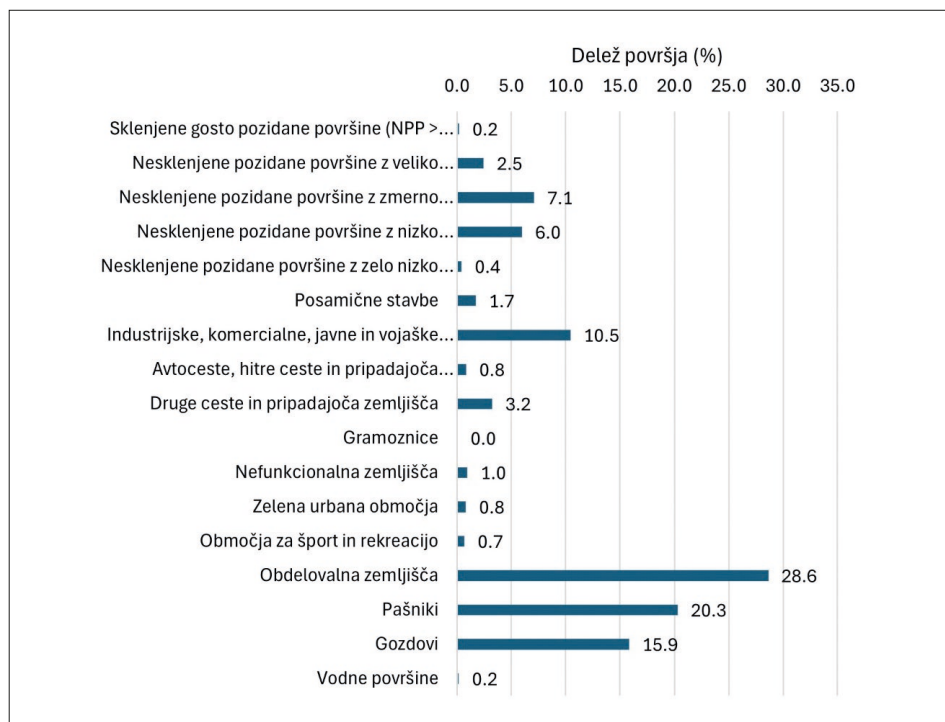
Naselje leži ob vznožju jugovzhodnega dela Pohorja in ob vodotoku Bistrica. V severnem in severovzhodnem delu se širi na odrastke Podpohorskih gor, ki se proti vzhodu nadaljujejo v sleme Savinsko. Na jugovzhodni strani se gosteje pozidani del naselja ostro konča ob avtocesti Maribor–Ljubljana, onkraj avtoceste pa prevladujejo predvsem obdelovalne površine. V strukturi rabe tal obravnavanega območja prevladujejo obdelovalne površine, ki pokrivajo 28,6 % obravnavanega površja, predvsem v jugovzhodnem, jugozahodnem in severovzhodnem delu obravnavanega območja. Pašniki pokrivajo 20,3 % površja, gozdovi 15,9 %, industrijske, komercialne, javne in vojaške površine 10,5 %, nesklenjene pozidane površine skupaj 16,0 %, najgosteje pozidane površine pa 0,2 % (Slika 3). Slednje so v starem mestnem jedru v širšem območju ob Trgu svobode in fragmentarno v industrijsko-storitveni coni v jugovzhodnem delu naselja ob avtocesti. Gosteje pozidan je tudi severozahodni del naselja na območju tovarne Impol.



Raba tal

- | | |
|--|----------------------------------|
| ■ Sklenjene gosto pozidane površine (NPP > 80%) | ■ Gramoznice |
| ■ Nesklenjene pozidane površine z veliko gostoto (NPP 50% - 80%) | ■ Nefunkcionalna zemljišča |
| ■ Nesklenjene pozidane površine z zmerno gostoto (NPP 30% - 50%) | ■ Zelena urbana območja |
| ■ Nesklenjene pozidane površine z nizko gostoto (NPP 10% - 30%) | ■ Območja za šport in rekreacijo |
| ■ Nesklenjene pozidane površine z zelo nizko gostoto (NPP < 10%) | ■ Obdelovalna zemljišča |
| ■ Posamične stavbe | ■ Pašniki |
| ■ Industrijske, komercialne, javne in vojaške površine | ■ Gozdne površine |
| ■ Avtoceste, hitre ceste in pripadajoča zemljišča | ■ Vodne površine |
| ■ Druge ceste in pripadajoča zemljišča | |

Slika 2: Raba tal na območju Slovenske Bistrice.
Vir: Medmrežje 5.



Slika 3: Struktura rabe tal v Slovenski Bistrici.

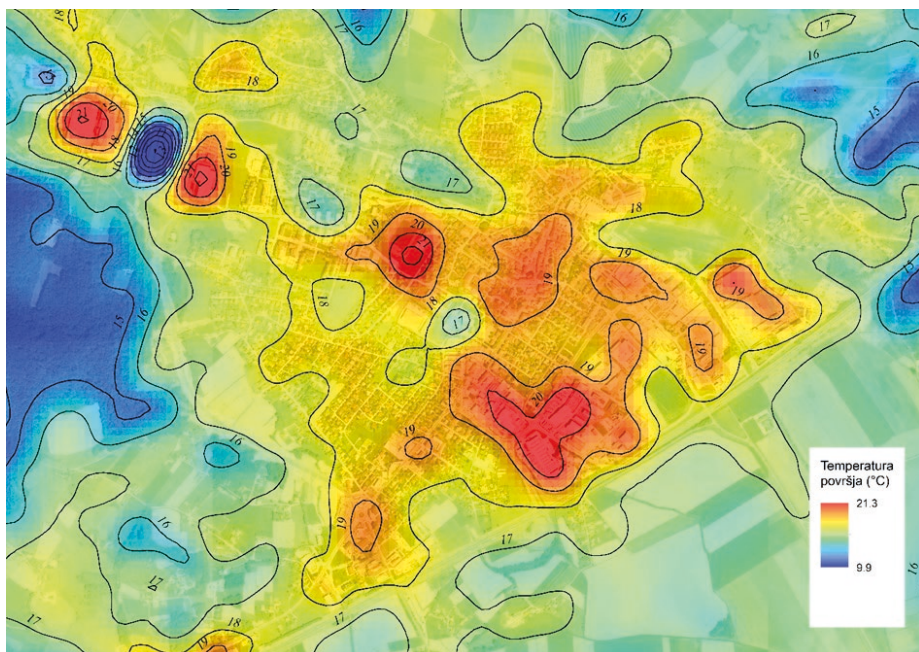
Vir: Medmrežje 5; lastni izračuni 2024.

Povprečni površinski mestni toplotni otok v Slovenski Bistrici

Povprečni površinski mestni toplotni otok v Slovenski Bistrici predstavlja povprečne temperature površja vseh podnebnih letnih časov. Kot take dobro prikazujejo splošne značilnosti oblike, velikosti in intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici, po drugi strani pa vseeno zakrijejo specifične značilnosti po letnih časih, zato je na površinski mestni toplotni otok potrebno gledati z obeh vidikov.

Povprečni površinski mestni toplotni otok v Slovenski Bistrici (Slika 4) kaže dobro ujemanje temperatur površja z rabo tal. Najvišje temperature površja nastopajo na območju trgovsko-podjetniške cone »Bistrica«, ki se je ob avtocesti Maribor – Ljubljana začela razvijati po letu 2000 (Medmrežje 7) in se še naprej širi. To je pomenilo pomembno spremembo rabe tal v smislu večanja gosteje pozidanih površin. Najvišje temperature nastopajo na območju med vpadnico na avtocesto na jugozahodu in Industrijsko ulico na severovzhodu ter med avtocesto na jugovzhodu in Plečnikovo ulico na severozahodu. Povprečne temperature površja so višje tudi na območju športnega igrišča

na križišču ulice Ob stadionu in Ulice Moše Pijade, kjer je del igrišča prekrit s temno sivo površino, ki izdatno vpija kratkovalovno sončno sevanje in se zato intenzivneje pregreva. Povprečne temperature površja so na igrišču vsaj za 3 °C višje od tistih v okolici. Tretje območje z višjimi povprečnimi temperaturami površja je v severozahodnem delu obravnavanega območja, na lokaciji proizvodnih hal tovarne Impol, kjer pa je površinski mestni toplotni otok prekinjen s hladnejšim območjem v osrčju tovarne Impol.



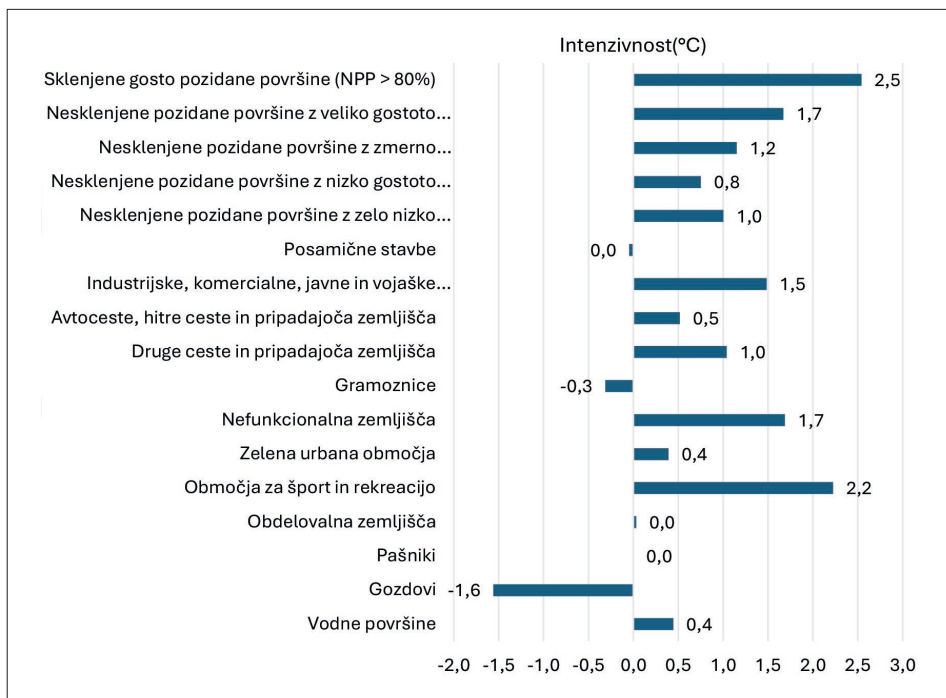
Slika 4: Površinski mestni toplotni otok v Slovenski Bistrici (povprečje vseh letnih časov).

Vir: Medmrežje 4; Medmrežje 6; Lastni izračuni 2024.

Višje povprečne temperature površja nastopajo tudi na območju starega mestnega jedra na širšem območju Trga svobode, v skrajnem severovzhodnem delu trgovsko-podjetniške cone »Bistrica« med Kolodvorsko ulico in pobočji pod cerkvijo sv. Jožefa ter na širšem območju avtobusne postaje ob Kolodvorski ulici. Dva manj izrazita otoka z višjimi povprečnimi temperaturami površja se pojavljata še ob Ljubljanski cesti, in sicer na širšem območju krožišča z odcepom ceste proti Poljčanam, v bližini katerega je nekaj nakupovalnih središč in bencinski servis. Najnižje povprečne temperature površja se pojavljajo na območjih, ki so manj pozidana: na pretežno gozdnatem območju zahodno od obvoznice med tovarno Impol in krožiščem ob Ljubljanski cesti ter na vzhodu, na pretežno gozdnatih pobočjih severovzhodno od cerkve sv. Jožefa. Znotraj mesta izstopajo tri območja z nižjimi povprečnimi temperaturami

površja: na območju parka med gradom in Osnovno šolo Pohorskega odreda Slovenska Bistrica, na območju stanovanjskih blokov z več okoliških zelenih površin med Partizansko ulico in Tomšičevo ulico ter na območju vojaških objektov ob Špindlerjevi ulici. Posebnost med hladnejšimi območji v Slovenski Bistrici predstavlja kompleks tovarniških hal v osrčju tovarne Impol, kjer so povprečne temperature za najmanj 9 °C nižje od temperatur nad ostalimi sosednjimi tovarniškimi halami. Vzrok za nizke temperature v osrednjem delu Impola izhaja iz tehnološkega postopka hlajenja aluminija s pomočjo hladilnih stebrov, ki imajo viden vpliv na temperaturo površja streh. Omenili smo, da so jugovzhodno od avtoceste pretežno obdelovalne površine, zato so tam povprečne temperature površja nižje, razen na območjih s pozidanimi površinami (ulica Proti jezam in na območju centralne čistilne naprave Slovenska Bistrica).

Z intenzivnostjo povprečnega površinskega mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici prikazujemo odstopanja povprečnih temperatur površja od tistih na pašniških oziroma travniških površinah. Najvišja pozitivna odstopanja se kažejo na območjih sklenjenih gosto pozidanih površin z deležem nepropustnega površja nad 80 %, na katerih so povprečne temperature površja za 2,5 °C višje od pašniških.



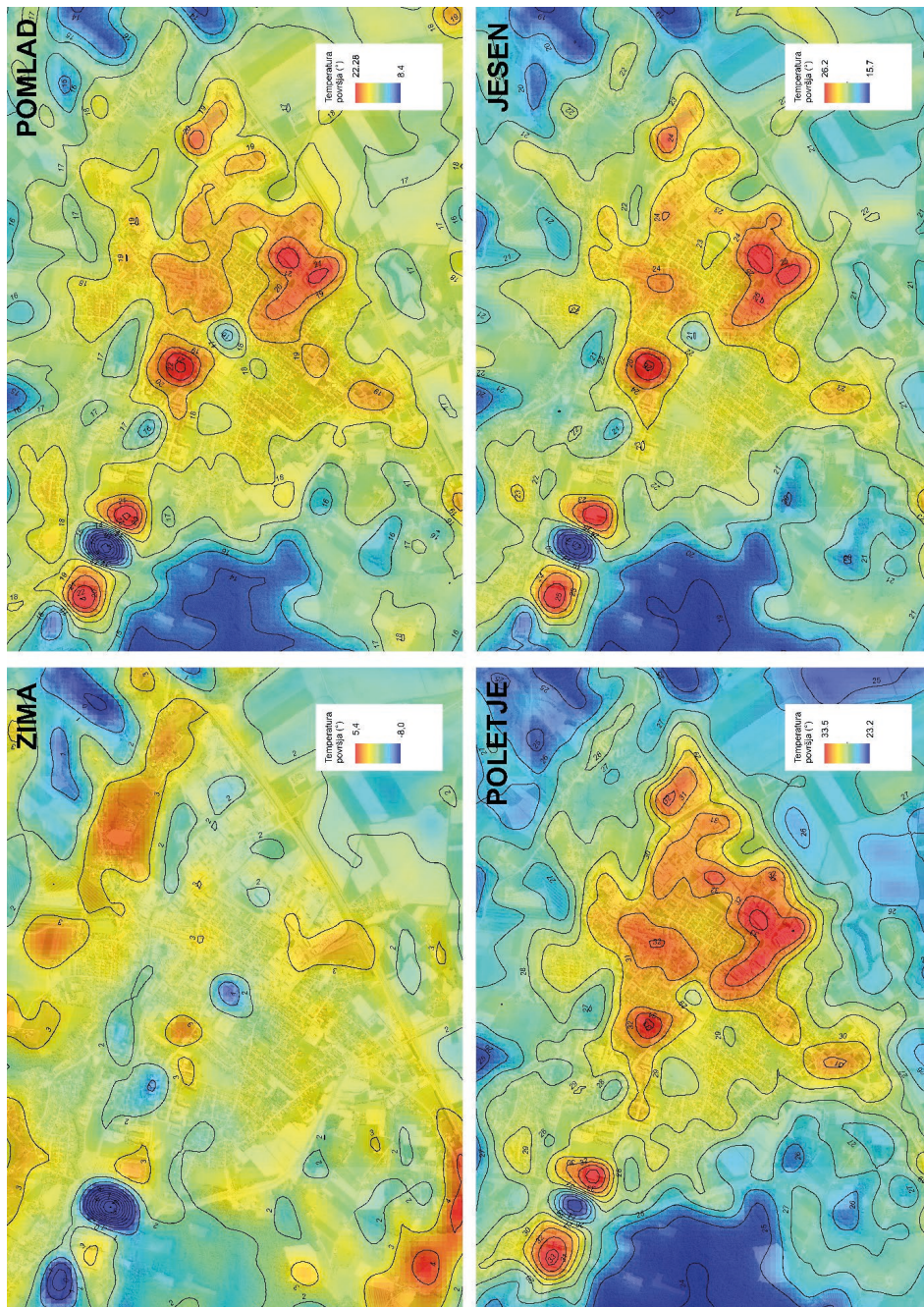
Slika 5: Intenzivnost površinskega mestnega toplotne otoka v Slovenski Bistrici (povprečje vseh letnih časov). Vir: Medmrežje 5; lastni izračuni 2024.

Večje odstopanje v višini +2,2 °C je mogoče zaznati tudi na območjih za šport in rekreacijo, kjer pa gre to predvsem na račun že omenjenega igrišča s temno sivo podlago ob ulici Ob stadionu. Višja odstopanja se pojavljajo še na nesklenjenih pozidanih površinah z veliko gostoto pozidanosti (delež nepropustnega površja med 50 % in 80 %) ter na nefunkcionalnih zemljiščih. V obeh primerih so povprečne temperature površja za 1,7 °C višje od tistih na pašnikih. Hladnejše površine od pašniških se pojavljajo na gozdnih površinah (-1,6 °C), precej manj pa na območju gramoznic (-0,4 °C) (Slika 5). Amplituda povprečnih temperatur površja na območju Slovenske Bistrice znaša 4,1 °C. Če analiziramo skrajne temperature po posameznih kategorijah rabe tal, so amplitude občutno višje: najnižje temperature posameznih pikslov po kategorijah rabe tal nihajo z razponom 8,9 °C, najvišje pa z razponom temperatur 4,5 °C.

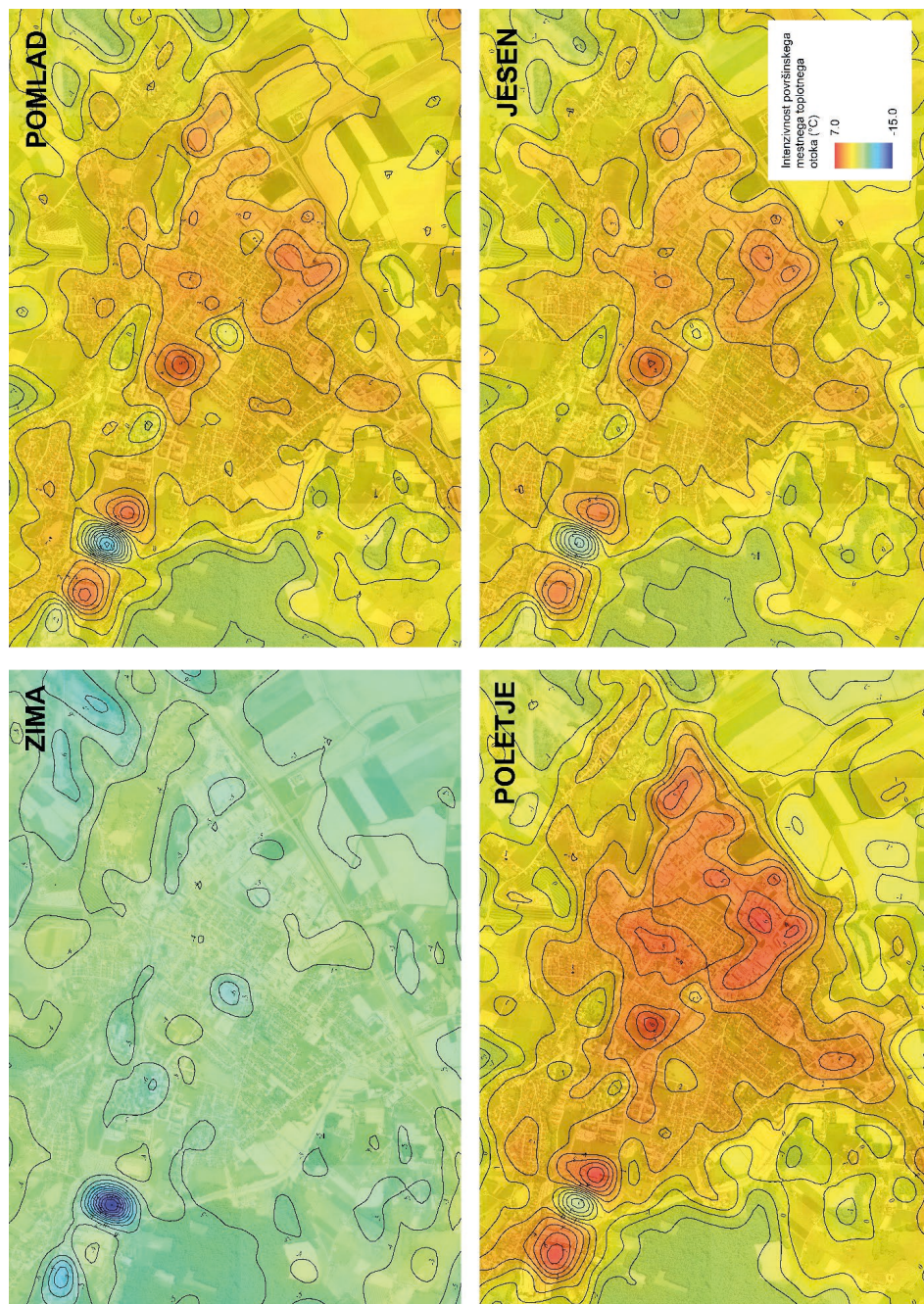
Površinski mestni toplotni otok v Slovenski Bistrici po letnih časih

Obseg, oblika in intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka ima običajno letni režim. Nanj vplivajo različni dejavniki, od višinskega kota Sonca v posameznem letnem času, snežnega pokrova in letnega ritma vegetacije do človekovih vplivov (kurilna sezona, spremembe gostote prometa itd.) (Žiberna et al., 2021). Slovenska Bistrica v tem smislu ni izjema. Amplituda temperatur površinskega mestnega toplotnega (razlika med najtoplejšim in najhladnejšim pikslom) je v Slovenski Bistrici najnižja v zimskih mesecih (1,8 °C), najvišja pa v poletnih mesecih (6,5 °C). V prehodnih letnih časih je nekoliko nižja od poletne amplitude: spomladi 5,6 °C, jeseni pa 5,2 °C. Eden od pomembnih vzrokov za manjše razlike v temperaturah površja pozimi je pojav snežne odeje. Ta prekrije različne oblike rabe tal in zato zniža razlike v intenzivnosti toplotnega sevanja. V zimskih mesecih lahko opazimo tudi, da ima zaradi nižjega višinskega kota Sonca večji pomen relief. Prisojne lege prejmejo relativno več sončnega obseva kot ravninska območja, medtem ko so ob višjih višinskih kotih Sonca (poleti, deloma pa tudi spomladi in jeseni) reliefni dejavniki manj pomembni (Šegota, Filipčič, 1996, 25–26). To je nazorno vidno na Sliki 6. V času zime so najtoplejša območja južna pobočja pohorskih odrastkov severno od Slovenske Bistrice ter vzhodno od Spodnje Ložnice. Ostali dejavniki, kot so gostota pozidave in albedo površja v zimskih mesecih, zaradi snežne odeje nimajo takega vpliva. Spomladi, poleti in jeseni zaradi odsotnosti snežnega pokrova in večjega višinskega kota Sonca relief ne igra več tako pomembne vloge, zato pa je toliko pomembnejši vpliv rabe tal, še posebej gostota pozidave in industrijska dejavnost. V vseh treh letnih časih se najvišje temperature pojavljajo na območju sklenjene pozidave

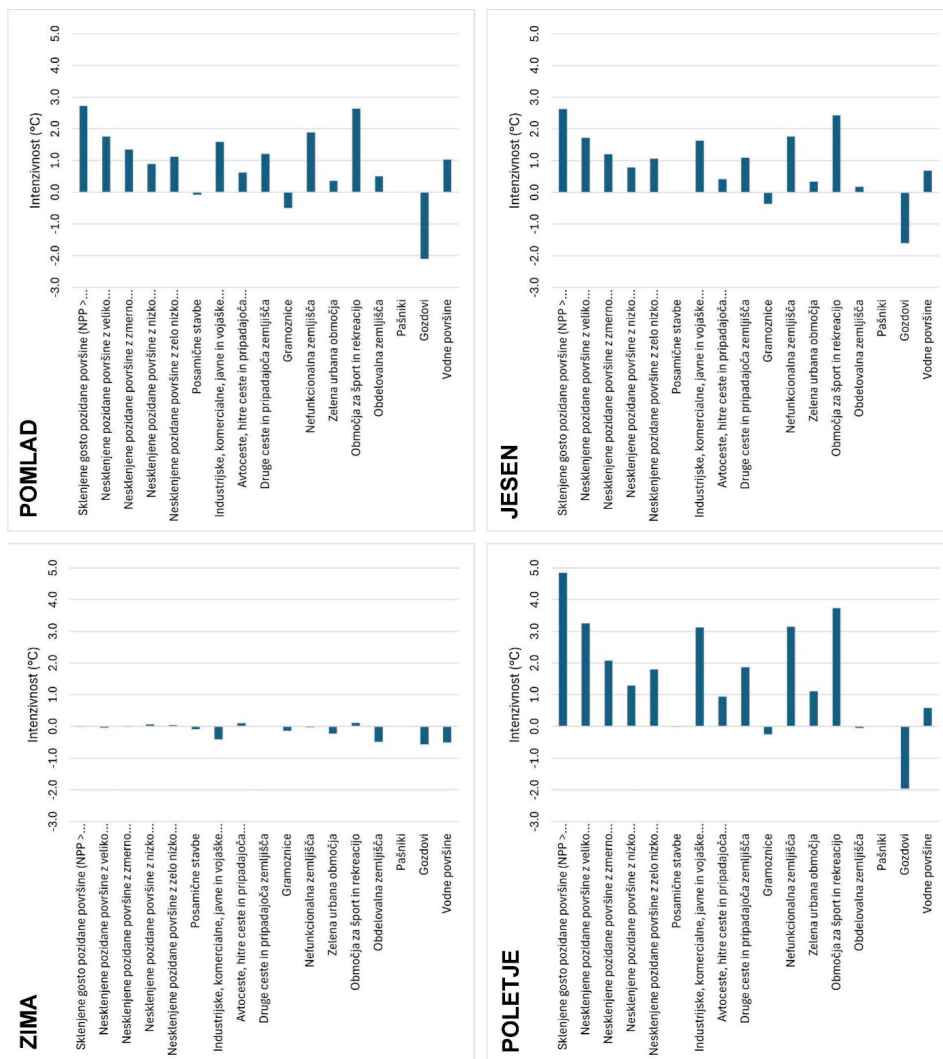
s stopnjo nepropustnega površja nad 80 %, pri čemer so ta območja najtoplejša v poletnih mesecih. To vidimo na karti intenzivnosti površinskega mestnega toplotnega otoka (Slika 7). Za referenčno površje smo izbrali pašniške/travniške površine, nato pa za vse ostale kategorije rabe tal izračunali temperaturne razlike. Pozimi temperature površja na najgosteje pozidane površine (delež nepropustnega površja nad 80 %) ne kažejo odstopanja od pašniških/travniških površin, medtem ko so te spomladi za 2,7 °C, poleti za 4,8 °C in jeseni za 2,6 °C višje od temperatur površja na pašniških/travniških površinah. Intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka je višja tudi na območjih za šport in rekreacijo, kjer so temperature površja spomladi za 2,6 °C, poleti za 3,7 °C in jeseni za 2,4 °C višje od temperatur površja na referenčnih površinah. Pri razlagi vzrokov za to pa moramo biti kritični: višje temperature območij za šport in rekreacijo so v veliki meri višje zaradi igrišča s temno podlago in veliko sposobnosti vpoja Sončevega sevanja na območju ob ulici Ob stadionu, o čemer pa smo že pisali pri analizi povprečnega površinskega mestnega toplotnega otoka. V intenzivnosti sezonskega površinskega mestnega toplotnega otoka z nadpovprečno visokimi temperaturami izstopajo tudi nefunkcionalna zemljišča in industrijske, komercialne, javne in vojaške površine v delih Slovenske Bistrice, ki smo jih navedli že v prejšnjem poglavju (Slika 6, Slika 7, Slika 8). Povzamemo lahko, da je površinski mestni toplotni otok v Slovenski Bistrici najintenzivnejši in tudi najbolj strukturiran v poletnih, najmanj pa v zimskih mesecih. V poletnih mesecih je višinski kot Sonca višji; posledica tega je višji sončni obsev, zaradi česar razlike v rabi tal, ki vplivajo na intenzivnost segrevanja in ohlajanja pridejo bolj do izraza. Pozimi je višinski kot Sonca nižji, zato ima na sončni obsev večji vpliv relief, zato se najbolj segrevajo prisojna pobočja. Vpliv rabe tal na intenzivnost segrevanja in ohlajanja je manjši predvsem zaradi prisotnosti snežne odeje, ki površje z vidika energijske bilance naredi bolj homogeno.



Slika 6: Sezonski režim površinskega mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici.
Vir: Medmrežje 4; Medmrežje 6; lastni izračuni 2024.



Slika 7: Intenzivnost sezonskega režima površinskega mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici.
Vir: Medmrežje 4; Medmrežje 6; lastni izračuni 2024.



Slika 8: Intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici glede na kategorije rabe tal v Slovenski Bistrici.

Vir: Medmrežje 4; lastni izračuni 2024.

Da bi prikazali vplive sezonskega režima površinskega mestnega toplotnega otoka na temperature površja v posameznih delih mesta in ob tem izpostavili amplitude temperatur površja v posameznih letnih časih, smo izdelali tudi dva tipična profila (Profil A, Profil B) čez polje temperatur površja v Slovenski Bistrici po letnih časih. Profil A poteka v smeri severozahod-jugovzhod in prečka nepozidane površine na levem bregu Bistrice, tovarno Impol, območje stanovanjskih blokov južno od Tomšičeve ulice, območje individualnih hiš, nakupovalno središče ob izvozu z avtoceste in njivske površine južno od

avtoceste Maribor – Ljubljana. Profil B poteka od redkeje pozidanega južnega pobočja pod Zafoštom, prečka območje individualnih hiš v zahodnem delu Slovenske Bistrice in staro mestno jedro, nadaljuje pa čez tovarno olja in se konča na redkeje pozidanem odrastku Pohorja severno od cerkve sv. Jožefa (Slika 9).



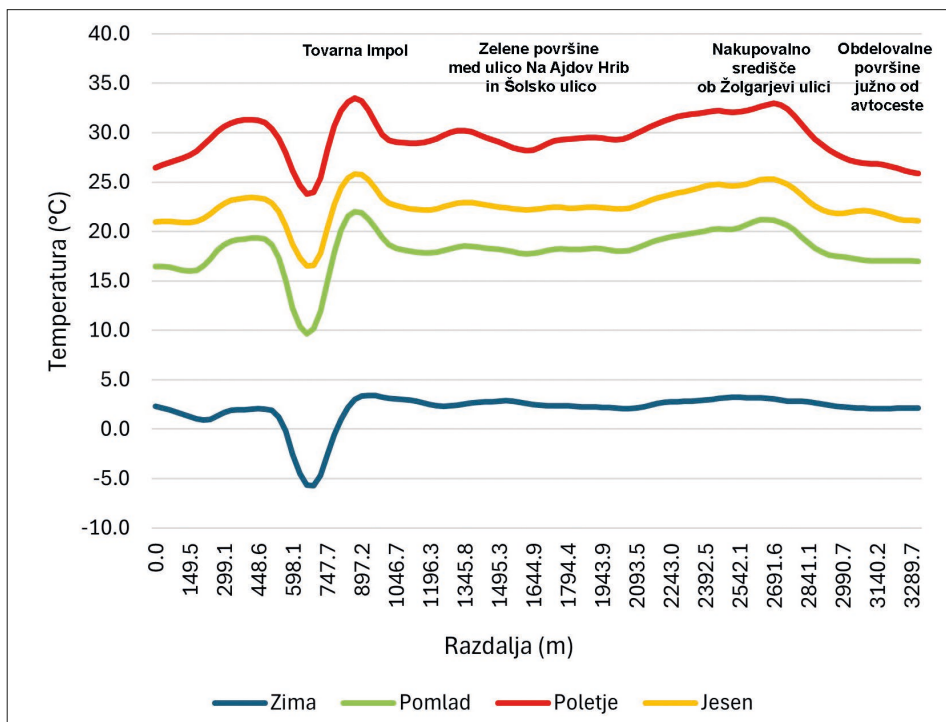
Slika 9: Potek Profila A in profila B čez Slovensko Bistrico.

Vir: Medmrežje 6.

Spremembe temperatur površja na profilu A (Slika 10) kažejo na več značilnosti površinskega mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici:

- Temperaturne razlike med območji z različno gostoto pozidave v Slovenski Bistrici so najnižje pozimi (3,0 °C), najvišje pa poleti (5,7 °C).
- Povprečne temperature na profilu A so seveda najvišje poleti (28,8 °C), medtem ko so jeseni 22,2 °C, spomladi 17,9 °C, pozimi pa 2,4 °C. Višje jesenske povprečne temperature površja na profilu A si lahko razlagamo kot posledico poletnih razmer z višjimi temperaturami, čeprav se kontinentalna območja jeseni relativno hitro ohlajajo.
- Obstaja dobra korelacija med kategorijami rabe tal in višino temperature: najvišje temperature se pojavljajo na gosto pozidanem območju tovarne Impol in na območju nakupovalnega središča ob vpadnici na avtocesto. Zelenih površin, ki bi blažile pretirano pregrevanje površja, tukaj skoraj ni. Po drugi strani so najnižje temperature na travnikih severno od tovarne

Impol, na območju zelenice med ulico Na Ajdov Hrib in Šolsko ulico ter na njivskih površinah južno od avtoceste. Izrazit padec temperature površja na območju osrednjega dela tovarne Impol je posledica tehnoloških procesov hlajenja aluminija s pomočjo hladilnih stolpov in je s tega vidika zelo zanimiv, a hkrati netipičen pojav.

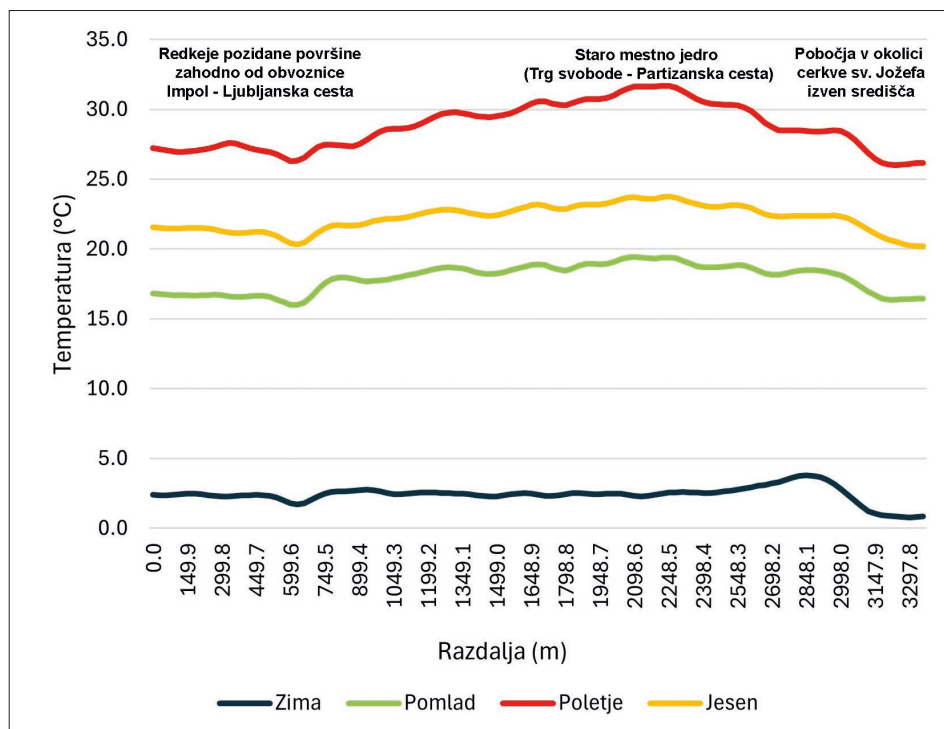


Slika 10: Spremembe temperatur površja na profilu A po letnih časih.
Vir: lastni izračuni, 2024.

Pri interpretaciji sprememb temperatur površja na profilu B glede na letne čase bi lahko povzeli glavne značilnosti, ki smo jih omenili pri analizi profila A; dodali bi še naslednje:

- V času zime se najvišje temperature površja ne pojavljajo na najgosteje pozidanih območjih, pač pa na prisojnih pobočjih pod cerkvijo sv. Jožefa. O vzrokih za to smo že govorili (ob manjših višinskih kotih Sonca je vpliv reliefnih značilnosti, predvsem ekspozicije in naklona pobočij na intenzivnost segrevanja višji; snežni pokrov homogenizira površje, zato je vpliv gostote pozidave na intenzivnost segrevanja površja bistveno nižji).
- Najvišje temperature površja so na območju starega mestnega jedra med Trgom svobode in Partizansko cesto, kjer je zaradi zgodovinskih razlogov delež zelenih površin močno zmanjšan.

- Najnižje temperature se pojavljajo na osojnih pobočjih severno od cerkve sv. Jožefa in zahodno od obvoznice med tovarno Impol in krožiščem ob Ljubljanski cesti.



Slika 11: Spremembe temperatur površja na profilu B po letnih časih.

Vir: lastni izračuni, 2024.

ZAKLJUČEK

Slovenska Bistrica sodi med večja naselja v Sloveniji. Zaradi spremenjene rabe tal, predvsem sorazmerno goste pozidave, oblikuje jasno viden površinski mestni toplotni otok. Na intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici najbolj vplivajo sklenjene goste pozidane površine z deležem nepropustnega površja nad 80 %, območja za šport in rekreacijo (predvsem na račun temnega igrišča ob na račun igrišča s temno podlago in veliko sposobnostjo vpoja sončnega obseva na območju ob ulici Ob stadionu) ter industrijske komercialne, javne in vojaške površine, predvsem na območju trgovsko-podjetniške cone »Bistrica«, ki se je ob avtocesti Maribor–Ljubljana začela razvijati po letu 2000. Nižje temperature so na območju gozdov, vodnih površin in zelenih urbanih območij, ki pomembno

blažijo obremenilne učinke ob vedno pogostejših vročinskih valovih zlasti v poletnih mesecih.

Sezonski režim površinskega mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici kaže, da je ta najslabše razvit v zimskih mesecih, ko znašajo povprečne temperaturne razlike med posameznimi deli mesta le 1,8 °C. Najintenzivneje je površinski mestni toplotni otok razvit v poletnih mesecih, ko temperaturna amplituda znaša 6,5 °C. V prehodnih letnih časih je temperaturna amplituda nekoliko nižja od poletne: spomladi 5,6 °C, jeseni pa 5,2 °C. Eden od pomembnih vzrokov za manjše razlike v temperaturah površja pozimi je pojav snežne odeje.

Zaradi globalnega segrevanja lahko pričakujemo, da se bodo obremenilni učinki zaradi vedno pogostejših vročinskih valov v urbanih območjih krepili. Za zagotavljanje primerne kvalitete bivalnega okolja so študije mestnega toplotnega okolja v srednje velikih naseljih zelo pomembne, saj opozarjajo na problematična območja. V prihodnje bomo tudi v srednjih in manjših naseljih v okviru načrtovanja bodočega prostorskega razvoja morali začeti razmišljati o umeščanju zelenih in vodnih površin v naselja, s katerimi bomo blažili negativne učinke podnebnih sprememb in vročinskih valov.

LITERATURA

- Bechtel, B., Panagiotis, S., Voogt, J., Wenfeng, Z., (2019): Seasonal Surface Urban Heat Island Analysis, 2019 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), Vannes, France. DOI: 10.1109/JURSE.2019.8808982
- Bonan, G., (2008): Ecological Climatology. Concepts and Applications. Cambridge University Press. Cambridge. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107339200>
- Douglas, I., (1983): The Urban Environment. Edward Arnold. Baltimore.
- Douglas, I., James, P., (2015): Urban Ecology. An Introduction. Routledge. London and New York.
- EEA, (2012): Urban adaptation to climate change in Europe, EEA Report No. 2/ 2012.
- Erell, E., Pearlmutter, D., Williamson, T., (2015): Urban Microclimate. Designing the Spaces Between Buildings. Earthscan. New York.
- Fezer F. (1994): Das Klima der Städte. Justus Perthes Verlag, Gotha.
- Forman, R. T. T., (2014): Urban Ecology. Science of Cities. Cambridge University Press. Cambridge. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139030472>
- Hsiang, S., Deryugina, T., (2014): Does the Environment Still Matter? Daily Temperature and Income in the United States. NBER Working Paper No. 20750.
- Jensen, J. R., (2014): Remote Sensing of the Environment. An Earth Resource Perspective. Pearson. Harlow.
- Kladnik R., (1988): Termodinamika. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.

- Monteith, J. L., Unsworth, M. H., (2013): Principles of Environmental Physics. Plants, Animals, and the Atmosphere. Fourth Edition. Elsevier. Amsterdam. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2010-0-66393-0>
- Nakamura, Y., Shigeta, Y., Watarai, Y., (2018): Seasonal Variations of the Urban Heat Island in Kumagaya, Japan, Geographical Review of Japan Series B 91(2): 29–39. DOI: <https://doi.org/10.4157/geogrevjapanb.91.29>
- Oke, T. R., (1990): Boundary Layer Climates, Routledge. London and New York. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203407219>
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J. A., (2017): Urban Climates. Cambridge University Press. Cambridge. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Parsons, K., (2014): Human Thermal Environments. CRC Press. New York.
- Petkovšek, Z., Hočvar, A., (1995): Meteorologija. Osnove on nekatere aplikacija. Biotehniška fakulteta. Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
- Pongrácz, R., J. Bartholy, Dezs, Z., (2010): Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities. Phys. Chem. Earth, 35, 95–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.03.004>
- Robine, J., Cheung, S., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J., Herrmann, François R., (2008): Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. Comptes Rendus Biologies. 331 (2). DOI:10.1016/j.crvi.2007.12.001
- Šegota, T., Filipčić, A., (1996): Klimatologija za geografe. Školska knjiga. Zagreb.
- Zhou, B., Lauwaet, D., Hooyberghs, H., DeRidder, K., Kropp, J., Rybski, D., (2016): Assessing Seasonality in the Surface Urban Heat Island of London. Journal of Applied Meteorology and Climatology. Vol. 55. p 493–505. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0041.1>
- Žiberna, I., (1996): Mestna klima Maribora. Doktorska disertacija. Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
- Žiberna, I., (2017): Trendi vodne bilance v severovzhodni Sloveniji v obdobju 1961–2016. V: Geografije Podravja. Prostori. Univerzitetna založba. Univerza v Mariboru. Maribor. DOI: <https://doi.org/10.18690/>
- Žiberna, I., Pipenbaher, N., Donša, D., Škornik, S., Kaligarič, M., Kajfež-Bogataj, L., Črepinšek, Z., Grujić, J. V., Ivajnsič, D., (2021): The impact of climate change on urban thermal environment dynamics. Atmosphere. 2021, vol. 12, iss. 9, str. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12091159>
- WMO, (2008): Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8.
- Medmrežje 1: <https://www.un.org/uk/desa/68-world-population-projected-live-urban-areas-2050-says-un> (6. 11. 2024).
- Medmrežje 2: <https://www.metoffice.gov.uk/learning/learn-about-the-weather/weather-phenomena/case-studies/russian-heatwave> (7. 11. 2024).
- Medmrežje 3: <https://gis.stat.si/#> (7. 11. 2024).
- Medmrežje 4: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (8. 9. 2024).
- Medmrežje 5: <https://land.copernicus.eu/en/products/urban-atlas> (20. 8. 2024).
- Medmrežje 6: <https://ipi.eprostor.gov.si/jgp/data> (8. 9. 2024).

POVRŠINSKI MESTNI TOPLOTNI OTOK V SLOVENSKI BISTRICI

Povzetek

Mesta zaradi spremenjene rabe tal, energijske in masne bilance ter antropogenih virov energije predstavljajo poseben ekosistem, v katerem danes živi že 55 % svetovnega in kar 74 % evropskega prebivalstva. Eden od najizrazitejših načinov manifestiranja specifičnega mestnega ekosistema je oblikovanje mestnega podnebja, še posebej pa mestnega toplotnega otoka, za katerega so značilne višje temperature zraka in površja v mestih v primerjavi z okolico. V pogojih globalnega segrevanja se zlasti v mestih povečuje pogostost vročinskih valov, ki znižujejo kakovost bivalnega okolja. Empirično je dokazano, da vsako gručasto naselje z nad 1000 prebivalci že oblikuje prepoznaven toplotni otok. Na začetku leta 2024 je v Sloveniji v 240 naseljih z nad 1000 prebivalcev živelo kar 56,8 % prebivalstva. Večina prebivalcev Slovenije je torej tako ali drugače pod vplivom višjih temperatur zaradi segrevanja v gručastih naseljih. Poletni meseci z vse pogostejšimi vročinskimi valovi postajajo tudi v manjših naseljih vzrok za 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. Prav zato je preučevanje značilnosti mestnega toplotnega otoka tudi v srednjih in manjših naseljih velikega pomena, saj lahko tako lažje prepoznamo kritična območja v naseljih in temu primerno načrtujemo razvoj naselij v smer blaženja obremenilnih podnebnih vplivov na zdravje in bivalne razmere.

V članku smo obravnavali površinski mestni toplotni otok (surface urban heat island ali SUHI) v Slovenski Bistrici in njegov letni režim. Analizirali smo razporeditev temperatur površja, ki vplivajo tudi na temperature zraka. Pri tem smo uporabili metodo daljinskega zaznavanja, in sicer posnetke satelita Landsat 8 v 10. in 11. kanalu (oba beležita sevanje v infrardečem delu spektra), na osnovi katerih lahko pridobimo podatke o temperaturah površja. Za potrebe naše analize smo uporabili 22 satelitskih posnetkov za dneve, v katerih je bilo nad Slovensko Bistrico popolnoma jasno vreme. Uporabljeni posnetki vključujejo časovno okno med 31. marcem 2019 in 11. avgustom 2024. Podatke smo primerjali z rabo tal, pri čemer smo za slednje uporabili bazo podatkov Urbanega atlasa, ki je bil izdelan v okviru projekta Copernicus in ki so za tovrstne analize zelo uporabni, saj na dovolj natančen način predstavljajo ne le razporeditev pozidanih in ostalih površin, pač pa prinašajo tudi podatke o stopnji pozidanosti, kar je pomemben element, ki vpliva na intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka.

Slovenska Bistrica z 8292 prebivalcev sodi med večja naselja v Sloveniji. Med 6035 naselji v Sloveniji je po številu prebivalcev na 20. mestu. Zaradi spremenjene rabe tal, predvsem sorazmerno goste pozidave, oblikuje jasno viden površinski mestni toplotni otok. Na intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici najbolj vplivajo sklenjene gosto pozidane površine z deležem nepropustnega površja nad 80 %, območja za šport in rekreacijo (predvsem na račun temnega igrišča in velike sposobnosti vpoja Sončevega sevanja na območju ob ulici Ob stadionu) ter industrijske komercialne, javne in vojaške površine (predvsem na območju trgovsko-podjetniške cone »Bistrica«, ki se je ob avtocesti Maribor – Ljubljana začela razvijati po letu 2000). Nižje temperature so na območju gozdov, vodnih površin in zelenih urbanih območjih, ki pomembno blažijo obremenilne učinke ob vedno pogostejših vročinskih valovih zlasti v poletnih mesecih. Sezonski režim površinskega mestnega toplotnega otoka v Slovenski Bistrici kaže, da je ta najslabše razvit v zimskih mesecih, ko znašajo povprečne temperaturne razlike med posameznimi deli mesta le 1,8 °C. Najintenzivneje je površinski mestni toplotni otok razvit

v poletnih mesecih, ko temperaturna amplituda znaša 6,5 °C. V prehodnih letnih časih je temperaturna amplituda nekoliko nižja od poletne: spomladi 5,6 °C, jeseni pa 5,2 °C. Eden od pomembnih vzrokov za manjše razlike v temperaturah površja pozimi je pojav snežne odeje.

Zaradi globalnega segrevanja lahko pričakujemo, da se bodo obremenilni učinki zaradi vedno pogostejših vročinskih valov v urbanih območjih krepili. V prihodnje bomo tudi v srednjih in manjših naseljih v okviru načrtovanja bodočega prostorskega razvoja morali začeti razmišljati o umeščanju zelenih in vodnih površin v naselja, s katerimi bomo blažili negativne učinke podnebnih sprememb in vročinskih valov.

SURFACE URBAN HEAT ISLAND IN SLOVENSKA BISTRICA

Summary

Due to changed land use, energy and mass balance, and anthropogenic energy sources, cities represent a special ecosystem in which 55% of the world's population and 74% of the European population live today. One of the most striking ways of specific urban ecosystem manifestation is the formation of an urban climate, and in particular the urban heat island, which is characterised by higher air and surface temperatures in cities compared to their surroundings. Under global warming conditions, the frequency of heat waves is increasing, particularly in cities, which reduces the quality of the living environment. It has been empirically proven that every clustered settlement with over 1,000 inhabitants already forms a noticeable heat island. At the beginning of 2024, 56.8% of the population in Slovenia lived in 240 settlements with over 1,000 inhabitants. The majority of the population of Slovenia is therefore, in one way or another, affected by higher temperatures due to warming in clustered settlements. The summer months, with increasingly frequent heat waves, are also becoming a cause of heat stress in smaller settlements, thus affecting the health and productivity of the population. The elderly and children, patients with cardiovascular and respiratory diseases, diabetics, patients with kidney diseases, patients with mental disorders and immobile persons are at greater risk. Their vulnerability may be further affected by low socio-economic status, social isolation, reduced access to health services and generally poorer living conditions. That is why studying the characteristics of the urban heat island in medium-sized and smaller settlements is of great importance, as it makes it easier to identify critical areas in settlements and accordingly plan the development of settlements in order to mitigate the stressful climate impacts on health and living conditions. In this article, I discuss the surface urban heat island (SUHI) in Slovenska Bistrica and its annual regime. I analysed the distribution of surface temperatures, which also affect air temperatures. I used the remote sensing method, specifically images from the Landsat 8 satellite in channels 10 and 11 (both record radiation in the infra-red part of the spectrum), based on which we can obtain data on surface temperatures. For the purposes of my analysis, I used 22 satellite images for days when the weather over Slovenska Bistrica was completely clear. The images used cover a time window from 31 March 2019 to 11 August 2024. I compared the data with land use, using the Urban Atlas database, which was produced as part of the Copernicus project and is very useful for such analyses, as it presents not only the distribution of built-up and other areas in a adequately accurate manner, but also provides data on the level of built-up area, which is an important element that affects the intensity of the surface urban heat island. Slovenska Bistrica, with a population of 8,292, is one of the larger settlements in Slovenia. Among the 6,035 settlements in Slovenia, it ranks 20th in terms of population. Due to changed land use, particularly relatively dense construction, it forms a clearly visible surface urban

heat island. The intensity of the surface urban heat island in Slovenska Bistrica is most influenced by connected, densely built-up areas with a share of impervious surface above 80%, areas for sports and recreation (mainly due to dark playgrounds and the high ability to absorb solar radiation in the area along Ob stadionu street), and industrial, commercial, public and military areas (mainly in the area of the “Bistrica” commercial and business zone, which began to develop along the Maribor–Ljubljana motorway after 2000). Lower temperatures are found in areas of forests, bodies of water and urban green areas, which significantly mitigate the heat load effects of increasingly frequent heat waves, especially in summer months. The seasonal regime of the surface urban heat island in Slovenska Bistrica shows that it is least developed in winter months, when the average temperature differences between individual sections of the city are only 1.8 °C. The surface urban heat island is most intensively developed in summer months, when the temperature amplitude is 6.5 °C. In transitional seasons, the temperature amplitude is slightly lower than in summer: 5.6 °C in spring, and 5.2 °C in autumn. One of the important reasons for smaller differences in surface temperatures in winter is the occurrence of snow cover. Due to global warming, we can expect the heat load effects to intensify due to increasingly frequent heat waves in urban areas. In the future, we will also have to start thinking about placing green and water areas in medium-sized and smaller settlements as part of planning future spatial development, in order to mitigate the negative effects of climate change.

STÄDTISCHE OBERFLÄCHENWÄRMEINSEL IN SLOVENSKA BISTRICA

Zusammenfassung

Aufgrund veränderter Flächennutzung, Energie- und Massenbilanz sowie anthropogener Energiequellen stellen Städte ein besonderes Ökosystem dar, in dem heute 55% der Weltbevölkerung und 74% der europäischen Bevölkerung leben. Eine der auffälligsten Erscheinungsformen eines spezifischen städtischen Ökosystems ist die Ausbildung eines Stadtklimas und insbesondere der städtischen Wärmeinsel, die durch höhere Luft- und Oberflächentemperaturen in Städten im Vergleich zu ihrer Umgebung gekennzeichnet ist. Unter den Bedingungen der globalen Erwärmung ist die Häufigkeit von Hitzewellen, die die Lebensqualität beeinträchtigen. Es ist empirisch belegt, dass jede Ballungssiedlung mit über 1000 Einwohnern bereits eine erkennbare Wärmeinsel bildet. Anfang 2024 lebten 56,8% der Bevölkerung Sloweniens in 240 Siedlungen mit über 1000 Einwohnern. Der Großteil der Bevölkerung Sloweniens ist daher auf die eine oder andere Weise von höheren Temperaturen aufgrund der Erwärmung in Ballungsgebieten betroffen. Die Sommermonate mit ihren immer häufiger auftretenden Hitzewellen führen auch in kleineren Siedlungen zu Hitzestress und beeinträchtigen so die Gesundheit und Produktivität der Bevölkerung. Ältere Menschen, Kinder und Patienten mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Atemwegserkrankungen, Diabetiker, Patienten mit Nierenerkrankungen, Patienten mit psychischen Störungen und Menschen mit eingeschränkter Mobilität sind einem höheren Risiko ausgesetzt. Ihre Verletzlichkeit kann noch weiter verstärkt werden durch einen niedrigen sozioökonomischen Status, soziale Isolation, einen schlechteren Zugang zu Gesundheitsdiensten und allgemein schlechtere Lebensbedingungen.

Gerade deshalb ist die Untersuchung der Eigenschaften der städtischen Wärmeinsel in mittelgroßen und kleineren Siedlungen von großer Bedeutung, denn sie erleichtert die Identifizierung kritischer Bereiche in Siedlungen und ermöglicht eine entsprechende Planung der Siedlungsentwicklung, um die belastenden Klimaauswirkungen auf Gesundheit und Lebensbedingungen zu mildern.

In diesem Artikel haben wir die städtische Oberflächenwärmeinsel (surface urban heat island oder SUHI) in Slovenska Bistrica und ihr Jahresregime erörtert. Wir haben die Verteilung der Oberflächentemperaturen analysiert, die sich auch auf die Lufttemperaturen auswirken. Wir haben die Methode der Fernerkundung verwendet, nämlich Bilder des Satelliten Landsat 8 in den Kanälen 10 und 11 (beide zeichnen Strahlung im infraroten Teil des Spektrums auf), auf deren Grundlage wir Daten zu Oberflächentemperaturen erhalten können. Für unsere Analyse haben wir 22 Satellitenbilder von Tagen verwendet, an denen das Wetter über Slovenska Bistrica völlig klar war. Die verwendeten Bilder umfassen ein Zeitfenster zwischen dem 31. März 2019 und dem 11. August 2024. Wir verglichen die Daten mit der Landnutzung und nutzten hierfür die Datenbank des Urban Atlas, derjenige im Rahmen des Copernicus-Projekts erstellt wurde und für derartige Analysen sehr nützlich ist, da sie nicht nur die Verteilung bebauter und anderer Flächen ausreichend genau darstellt, sondern auch Daten zum Grad der Bebauung liefert, der ein wichtiges Element ist, das die Intensität der städtischen Wärmeinsel an der Oberfläche beeinflusst.

Slovenska Bistrica ist mit 8292 Einwohnern eine der größeren Siedlungen Sloweniens. Unter den 6035 Siedlungen in Slowenien liegt sie hinsichtlich der Bevölkerungszahl auf Platz 20. Aufgrund veränderter Flächennutzungen, insbesondere einer relativ dichten Bebauung, bildet sich eine oberflächlich deutlich sichtbare städtische Oberflächenwärmeinsel. Die Intensität der städtischen Oberflächenwärmeinsel in Slovenska Bistrica wird am stärksten von geschlossenen, dicht bebauten Gebieten mit einem Anteil versiegelter Flächen von über 80% sowie von Bereichen für Sport und Erholung (vor allem aufgrund des dunklen Spielplatzes und der hohen Fähigkeit zur Absorption von Sonnenstrahlung im Bereich entlang der Straße Ob stadionu) sowie Industrie-, Gewerbe-, öffentliche und Militärgelände (vor allem im Bereich der Gewerbe- und Geschäftszone „Bistrica“, die sich nach dem Jahr 2000 entlang der Autobahn Maribor – Ljubljana zu entwickeln begann). In Wald- und Gewässergebieten sowie in städtischen Grünräumen herrschen niedrigere Temperaturen, die die belastenden Auswirkungen der immer häufiger auftretenden Hitzewellen, insbesondere in den Sommermonaten, deutlich abmildern. Das saisonale Regime der städtischen Wärmeinsel an der Erdoberfläche in Slovenska Bistrica zeigt, dass sie in den Wintermonaten am wenigsten ausgeprägt ist, wenn die durchschnittlichen Temperaturunterschiede zwischen einzelnen Stadtteilen lediglich 1,8 °C betragen. Die oberflächliche städtische Wärmeinsel ist in den Sommermonaten am stärksten ausgeprägt, wenn die Temperaturamplitude 6,5 °C beträgt. Das saisonale Regime der städtischen Oberflächenwärmeinsel in Slovenska Bistrica zeigt, dass sie in den Wintermonaten am wenigsten ausgeprägt ist, wenn die durchschnittlichen Temperaturunterschiede zwischen einzelnen Teilen der Stadt nur 1,8°C betragen. Die städtische Oberflächenwärmeinsel ist in den Sommermonaten am stärksten ausgeprägt, wenn die Temperaturamplitude 6,5°C beträgt. In den Übergangsjahreszeiten ist die Temperaturamplitude etwas geringer als im Sommer: 5,6°C im Frühjahr und 5,2°C im Herbst. Eine der wichtigsten Ursachen für geringere Unterschiede der Oberflächentemperaturen im Winter ist das Auftreten einer Schneedecke.

Aufgrund der globalen Erwärmung ist mit einer Verschärfung der Stresseffekte durch immer häufigere Hitzewellen in städtischen Gebieten zu rechnen. Auch in mittleren und kleineren Siedlungsgebieten muss künftig über die Berücksichtigung von Grün- und Wasserflächen im Siedlungsraum im Rahmen der Raumplanung nachgedacht werden, um die negativen Auswirkungen des Klimawandels abzumildern.