POVRŠINSKI MESTNI TOPLOTNI OTOK V VARAŽDINU

SURFACE URBAN HEAT ISLAND IN VARAŽDIN

Igor ŽIBERNA
Oddelek za geografijo
Filozofska fakulteta
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor, Slovenija
igor.ziberna@um.si

Received / Primljeno: 16. 4. 2026.
Accepted / Prihvaćeno: 30. 5. 2026.
Original scientific paper / Izvorni znanstveni rad
UDK / UDC: [591.543:551.524] (497.523Varaždin)
613.646(497.523Varaždin)

POVZETEK

V članku obravnavamo površinski mestni topolotni otok na območju Varaždina. Pri tem smo se osredotočili na intenzivnost, obliko in sezonski režim površinskega mestnega toplotnega otoka. Analizirali smo podatke pridobljene s pomočjo daljinskega zaznavanja satelita Landsat 8. V članku smo obravnavali spremembe površinskega mestnega toplotnega otoka po letnih časih in vpliv rabe tal na intenzivnost mestnega toplotnega otoka v Varaždinu. Izpostavili smo tudi območja v Varaždinu, ki se močneje pregrevajo in opozorili na blažilne učinke zelenih površin znotraj naselja.

SAŽETAK

U članku analiziramo površinski urbani toplinski otok na području Varaždina. Pritom smo se usredotočili na intenzitet, oblik i sezonski režim površinskog urbanog toplinskog otoka. Analizirali smo podatke dobivene daljinskim istraživanjem pomoću satelita Landsat 8. U članku razmatramo promjene površinskog urbanog toplinskog otoka prema godišnjim dobima te utjecaj načina korištenja zemljišta na intenzitet urbanog toplinskog otoka u Varaždinu. Izdvojili smo i područja Varaždina koja se jače pregrijavaju te upozorili na ublažavajući učinak zelenih površina unutar naselja.

Ključne riječi: urbana klima, površinski urbani toplinski otok, toplinsko opterećenje, Varaždin
Ključne besede: Mestno podnebje, površinski mestni toplotni otok, toplotna obremenitev, Varaždin
Key words: Urban climate, surface urban heat island, heat load, Varaždin

1. UVOD

Danes nad 50 % svetovnega prebivalstva živi v urbanih okoljih, demografske napovedi pa kažejo, da se bo ta delež do sredine 21. stoletja povišal na 68 %. Projekcije kažejo, da bo do leta 2030 na svetu 43 megamest z več kot 10 milijoni prebivalcev, večinoma v regijah v razvoju, najhitreje rastoča urbana strnjena mesta pa bodo tista z manj kot 1 milijonom prebivalcev (Medmrežje 1).

Urbani ekosistemi so ena od oblik antropogenih ekosistemov. Zanje 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).

Urbani ekosistemi s spremembami snovno-energijskih vnosov in iznosov ter preoblikovanjem snovno-energijske bilance vplivajo na vse podsisteme geografskega okolja v naseljih. Spremembe lokalnega podnebja so ena od izrazitejših sprememb, kar vodi v oblikovanje t.i. mestnega podnebja. V okviru tega se v mestih razvije mestni toplotni otok, za katerega so značile višje temperature površja in zraka v primerjavi z okolico naselja (Douglas, James, 2015; Žiberna, 1996). Vzroki za oblikovanje mestnega

toplotnega otoka tičijo v spremenjeni rabi tal, pojavu antropogenih vnosov eneregije, nižjega deleža vegetacije in v spremenjeni naravi površja zaradi stavb. Spremenjena raba tal z večjim deležem asfaltnih, betonskih in opečnatih površin spreminja fizikalne lastnosti površja. Gradbeni material ima lastnost, da čez dan učinkoviteje absorbira kratkovalovno sevanje Sonca, ga akumulira in ga nato ponoči oddaja v obliki dolgovalovnega sevanja. Z vegetacijo porasla okolica takega generatorja energije nima, kar vodi v višje temperature površja v mestih. V naseljih energijsko bilanco modificirajo tudi antropogeni viri energije v obliki proizvodne dejavnosti, prometa ter slabo izoliranih stavb v kurilni sezoni in uporabe klimatskih naprav poleti. K antropogenim virom energije v mestih prispeva tudi gostejši promet oziroma motorji z notranjim izgorevanjem. Nižji delež vegetacije v mestih pomeni manj porabljene latentne energije zaradi izhlapevanja/transpiracije. Ob izhlapevanju se namreč za vsak liter izhlapele vode porabi 2,5 MJ energije (Petkovšek, Hočevar, 1995, 50), kar hladi zrak v mestih. Intenzivnost mestnega toplotnega otoka višajo tudi vedno pogostejši vročinski valovi kot posledica globalnega segrevanja. To znižuje kakovost bivalnega okolja v mestih in vodi celo v pojav povišane mortalitete in povišane obremenilne učinke zlasti pri ranljivejših skupinah prebivalstva (Parsons, 2014, 323; Medmrežje 2; Robine et al., 2008). 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).

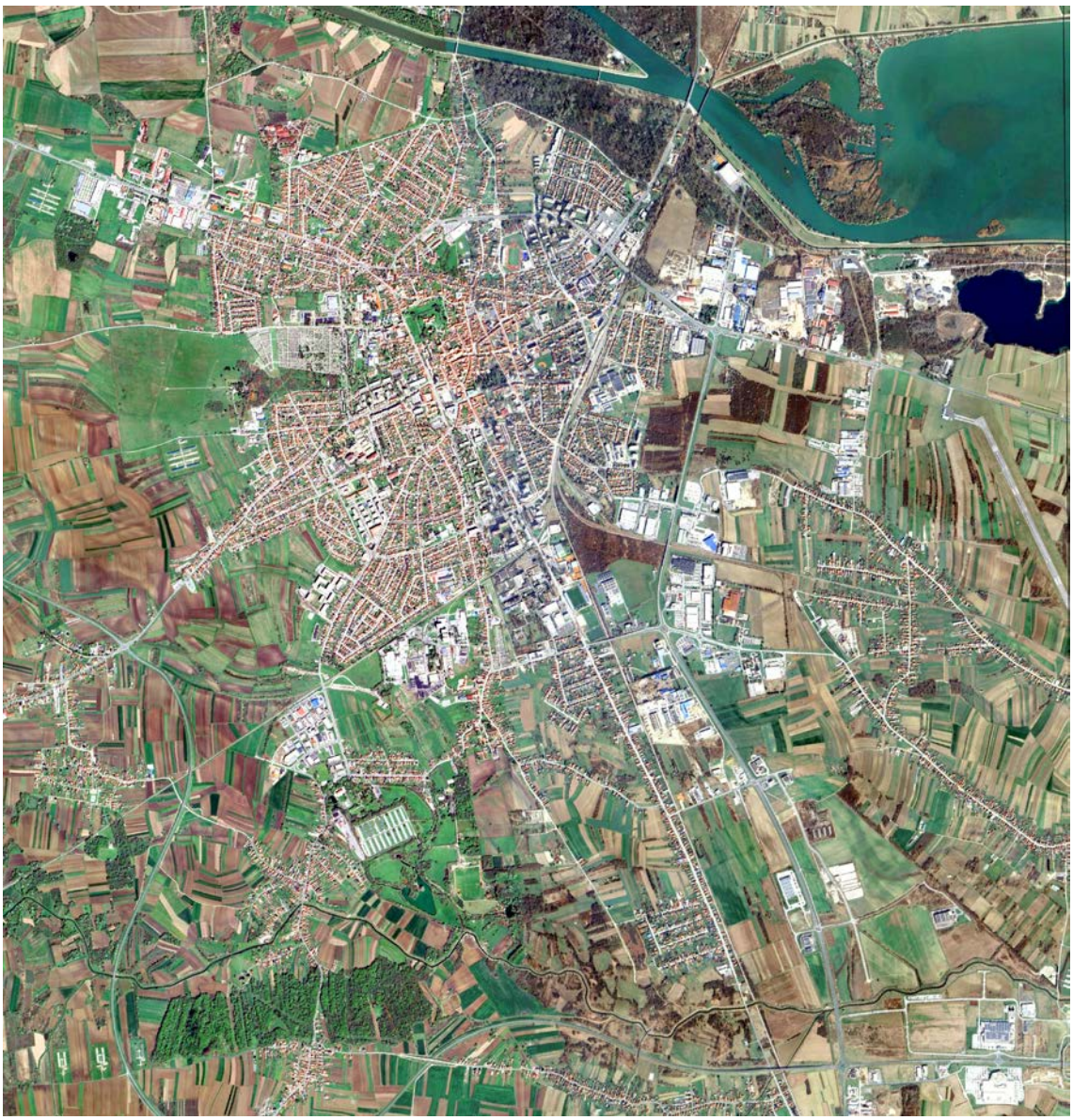
Pojav mestnega toplotnega otoka ni značilen le za večja mesta, pač pa se lahko pojavlja tudi v srednje velikih naseljih. Vsako gručasto naselje z nad 1000 prebivalci lahko že oblikuje viden toplotni otok (Bonan, 2008, 522). V Republiki Hrvaški je bilo po podatkih Državnega zavoda za statistiko Republike Hrvaške leta 2021 med 6783 naselij 481 naselij (7,1 %) takih z nad 1000 prebivalci. V teh naseljih je živelo skupaj 2.753.039 prebivalcev ali 71,1 % vseh prebivalcev na Hrvaškem. Naselje Varaždin je leta 2021 imelo 36187 prebivalcev (Medmrežje 3). To je Varaždin med naselji v Republiki Hrvaški uvrščalo na 10. mesto. Število prebivalcev in morfologija naselja, ki je sestavljeno iz starega mestnega jedra in gosteje pozidanih novejših območij, predvsem s storitveno dejavnostjo daje slutiti, da Varaždin prav tako oblikuje viden površinski mestni toplotni otok.

2. METODOLOGIJA

V članku obravnavamo površinski mestni toplotni otok (razporeditev temperatur površja) v Varaždinu. Za naše potrebe smo uporabili metodo daljinskega zaznavanja. Uporabili smo posnetke satelita Landsat 8 v 10. in 11. kanalu, ki beležita sevanje v infrardečem delu spektra. Na osnovi teh informacij lahko pridobimo prostorske 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. V primeru, da 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 x 100 m, vendar so kasneje podatki prevzorčeni na prostorsko resolucijo 30m x 30m. Posnetki so bili narejeni okoli 11. ure po srednjeevropskem času (Jensen, 2014; Medmrežje 4). Temperature v obeh kanalih smo povprečili. Pri izračunu temperature površja smo upoštevali tudi atmosfersko korekcijo. V analizi smo uporabili 22 satelitskih posnetkov za dneve, v katerih je bilo nad Varaždinom popolnoma jasno vreme. Uporabljeni posnetki zajemajo časovno okno med med leti 2019 in 2024. 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, pri čemer so 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.

Obravnavano območje zajema mesto Varaždin in njegovo okolico. V članku smo namreč želeli prikazati razlike v površinskem mestnem toplotnem otoku znotraj mesta ter med mestom in okolico (Slika 1).

Podatke o temperaturah površja smo primerjali z rabo tal, predvsem s stopnjo pozidanosti. Za analizo rabe tal smo uporabili podatke Corrine Land Cover (Medmrežje 5) za območje Varaždina in njego-



Slika 1: Obravnavano območje Varaždina. Vir: Google Earth, 2026.
Figure 1: Varaždin area under consideration. Source: Google Earth, 2026.

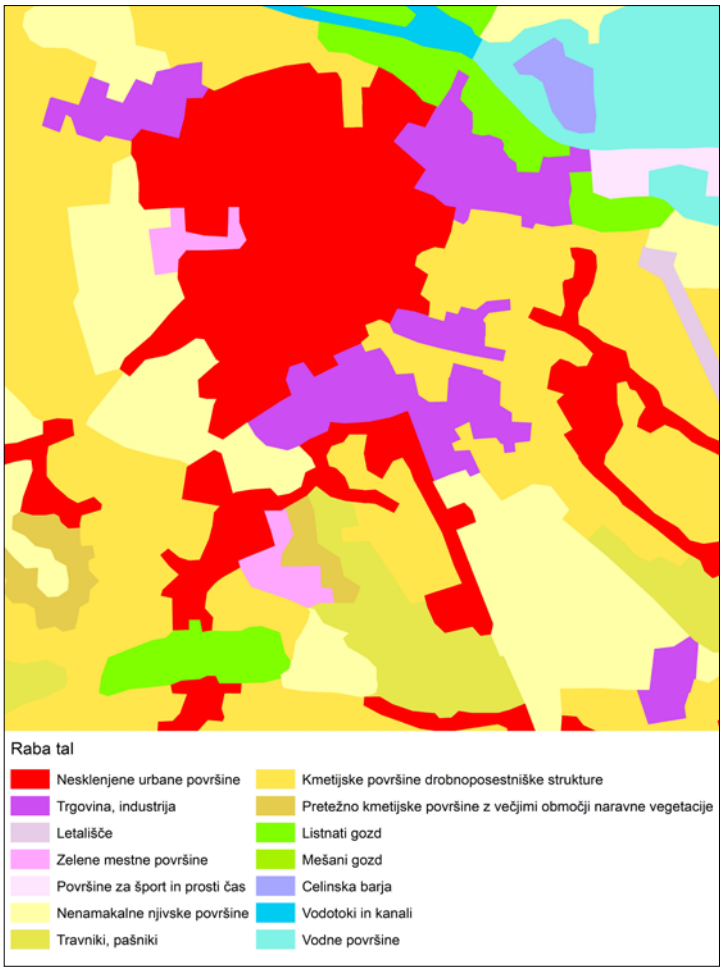
ve okolice za leto 2018. V analizi smo izračunali povprečne sezonske temperature površja po posameznih kategorijah Corine Land Cover. Intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka smo določali tako, da smo kot referenčno temperaturo površja v vsaki sezoni privzeli tisto na travnikih, nato pa le-te 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 nad travno površino, ki kot tako predstavlja referenčno obliko rabe tal (WMO, 2008). Rezultate smo prikazali tudi prostorsko. Za nazornejši prikaz razlik v temperaturah površja med posameznimi deli Varaždina in vpliv rabe tal na intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka smo čez temperaturno polje na območju Varaždina izdelali tudi dva tipična temperaturna profila in rezultate prikazali v obliki grafikonov ter jih interpretirali. Za potrebe analize deležev neprepustnega površja smo uporabili podatke, ki so bili izdelani v okviru projekta Copernicus (Medmrežje 6).

3. RABA TAL IN DELEŽ NEPREPUSTNEGA POVRŠJA NA OBMOČJU VARAŽDINA

Mesto Varaždin se je razvilo na pomembnem prometnem križišču poti med Jadranskim morjem, Zagrebom in Madžarsko ter t.i. »dravskim koridorjem«, ki povezuje Maribor s Podravino oziroma alpski svet s Panonsko nižino. Naselje je nastalo na Varaždinskem polju na stičišču odrastkov Hrvaškega Zagorja in ravnine ob reki Dravi. V 16. in 17. stoletju je bilo naselje pomembna vojaška utrdba v povezavi z napadi Turkov, v 18. stoletju pa je bil nekaj časa celo središče hrvaške vlade (Krznarič, 2025). Razvoj v 19. stoletju je zaznamovala industrializacija, posebej pa kaže izpostaviti izgradnjo železniške proge leta 1886, ki je še ojačala povezavo s širšo okolico. V 20. stoletju se mesto začne intenzivneje širiti navzven, kar se manifestira v procesu suburbanizacije in transformacije nekoč popolnoma agrarnih naselij v tipična obmestna naselja, gostota pozidanosti pa v teh območjih ni tako velika kot v starem mestnem jedru (Huzjan, Obadić, 2012). Razvoj starega mestnega jedra je do 20. stoletja zaznamovalo tudi več zelenih površin v obliki parkov, sprehajališč, na trgih, ob sakralnih objektih in ob večjih prometnicah. V ožjem mestnem jedru na različne oblike zelenih površin odpade okoli petina površja. Upravno-kulturne dejavnosti so skoncentrirane v starem mestnem jedru, kjer so tudi cona za pešce in dejavnosti, namenjene turizmu. Trgovska območja z nakupovalnimi središči se nahajajo na obrobju mesta, kjer je lažja dostopnost z avtomobili. Industrijska cona se nahaja pretežno v vzhodnem in jugovzhodnem delu mesta (nekdanji Varteks, Vindija), kjer so tudi železniška proga in nekatere pomembne prometnice. Območja rekreacije so v severnem delu mesta ob reki Dravi in Varaždinskem jezeru ter v mestnih parkih (Čačić, 2006).

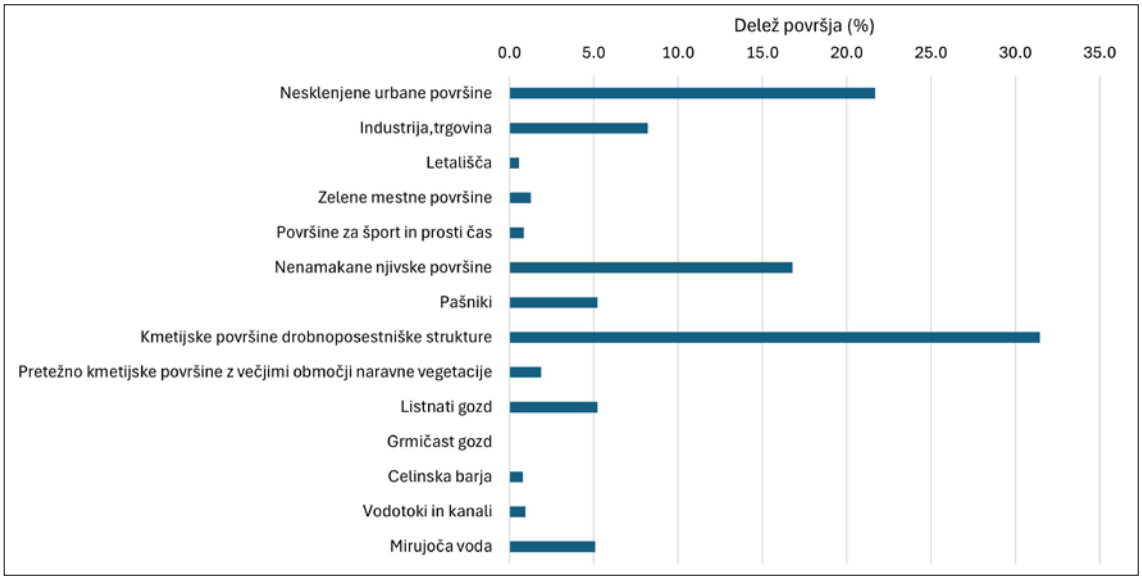
V uvodnem poglavju smo navedli pomen rabe tal za intenzivnost površinskega toplotnega otoka. V ta namen smo analizirali strukturo rabe tal na obravnavanem območju. Med kategorijami rabe tal prevladujejo kmetijske površine drobnoposestniške strukture (31,5 %), ki koncentrično obdajajo mesto. Nesklenjene urbane površine pokrivajo 21,7 % in se v bolj zgoščeni obliki nahajajo na območju središča Varaždina, v nekoliko bolj razdrobljeni obliki pa na območju naselij Nedeljanec, Gojanec, Jalkovec, Poljana Biškupečka, Biškupec, Črnec Biškupečki, Gornji Kućan in Kućan Marof. Nenamakalne njivske površine pokrivajo 16,8 % površja in se nahajajo na zahodnem delu mesta ter v dveh večjih območjih v južnem in jugozahodnem delu obravnavanega območja. Območja industrije in trgovine pokrivajo 8,2 % površja in se nahajajo na obrobju mesta v severovzhodnem, severovzhodnem in južnem do jugovzhodnem delu Varaždina (Slika 2 in 3).

Na intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka vpliva



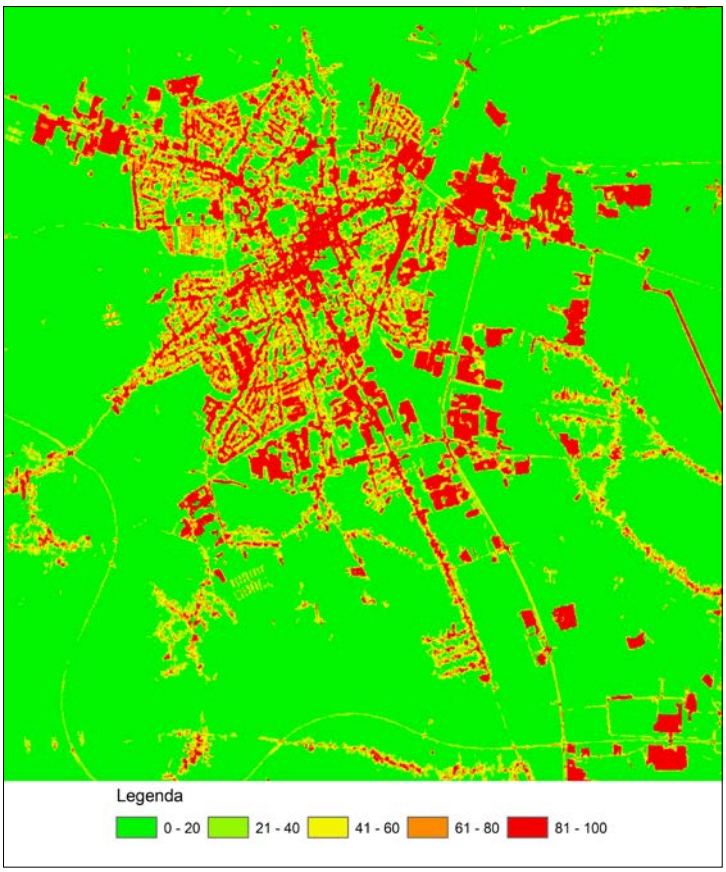
Slika 2: Raba tal na območju Varaždina in njegove ožje okolice.
Vir: Medmrežje 5.

Figure 2: Land use in the Varaždin area and its immediate surroundings.
Source: Internet 5.



Slika 3: Struktura rabe tal na območju Varaždina in njegove ožje okolice. Vir: Medmrežje; Lastni izračuni, 2026.

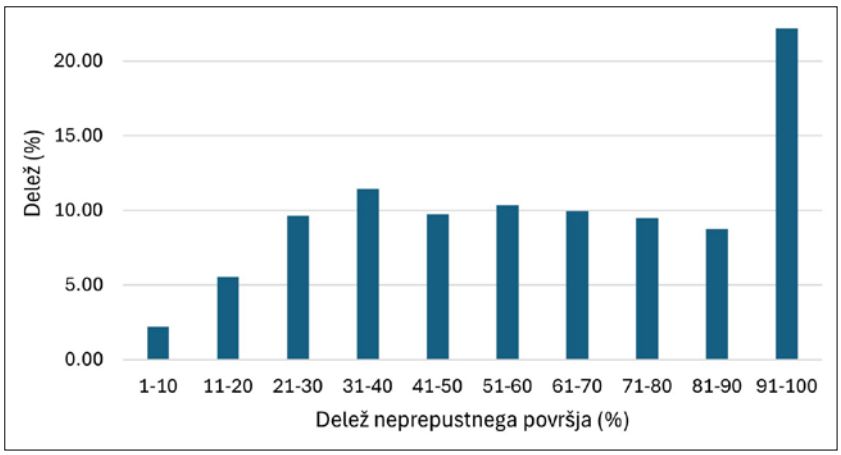
Figure 3: Land use structure in the Varaždin area and its immediate surroundings. Source: Internet; Own calculations, 2026.



Slika 4: Delež neprepustnega površja na območju Varaždina in njegove ožje okolice. Vir: Medmrežje 6.

Figure 4: Share of impervious surface in the area of Varaždin and its immediate surroundings. Source: Internet 6.

tudi delež neprepustnega površja oziroma gostota pozidanosti. Večji delež neprepustnega površja pomeni večjo prisotnost gradbenih materialov kot so asfalt, beton in opeka, ki imajo drugačne fizikalne lastnosti od golih ali z vegetacijo poraslih tal. Gradbeni materiali zaradi drugačne specifične toplote teh medijev čez dan akumulirajo več energije kratkovalovnega sevanja, ki ga nato ponoči oddajajo v obliki dolgovalovnega sevanja površja in s tem zmanjšujejo intenzivnejše ohlajanje. Po drugi strani pa večji delež neprepustnega površja pomeni manj vegetacije in s tem nižje izgube latentne energije, saj je na pozidanih območjih evapotranspiracija močno zmanjšana. Slika 4 prikazuje spreminjanje deleža neprepustnega površja na obravnavanem območju. Hkrati nam prikazuje, da je v mestnem jedru sorazmerno veliko nepozidanih oziroma zelenih površin, kar lahko z vidika možnega zniževanja kakovosti bivalnega okolja zaradi toplotne obremenitve v obdobju vročinskih valov označujemo kot ugoden dejavnik. Kljub temu na obravnavanem območju prevladujejo območja z deležem nepre-



Slika 5: Struktura deležev neprepustnega površja na obravnavanem območju Varaždina. Vir: Medmrežje 6.

Figure 5: Structure of impervious surface shares in the Varaždin area. Source: Internet 6.

pustnega površja nad 91 %, ki pokrivajo 22,2 % obravnavanega območja. Na obravnavanem območju je 38,55 % površja z deležem neprepustosti pod 30 % in 40,4 % površja z deležem neprepustnosti nad 70 %. V ožjem mestnem jedru z deležem neprepustnega površja pod 20 % izstopa območje parka okoli starega gradu ob Ulici Vladimira Nazora in Ulici Stanka Vraza. Izpostavili bi še zeleni trikotnik med Ulico Baruna Trenka, Zavojno ulico in Ulico Frana Kurelca. Izrazita zajeda z njivskimi površinami se nahaja še v severnem delu mesta med Koprivničko ulico na jugu in Bombellesovo cesto na severu. Z urbanizacijo je mesto na srečo ohranilo še nekaj zelenih površin (Park Šetalište Vatroslava Jagića, območje vzhodno od Fakulteta organizacije i informatike, območje ob stadionu Sloboda itd.), kar kaže v prihodnje zaradi že navedenih razlogov ohraniti.

4. REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1. Površinski mestni toplotni otok v Varaždinu-letno povprečje

V letnem povprečju površinskega mestnega toplotnega otoka na območju Varaždina temperature površja nihajo med 11,1 °C in 24,1 °C. Zanimivo je, da se najtoplejši piksel na obravnavanem območju ne nahaja v starem mestnem jedru, pač pa na območju nakupovalnega središča Lumini v jugovzhodnem delu. Tudi ostala območja z najvišjimi temperaturami površja se nahajajo na območjih trgovskih in storitvenih dejavnosti. Izstopajo območje nakupovalnega središča severno od Gospodarske ulice, območje kompleksa Varteks S-Park zahodno od Zagrebačke ulice, območje nakupovalnega središča Supernova Varaždin južno od Optujske ulice in kompleks metalske industrije Varaždin. Najnižje temperature površja se pojavljajo na območju Varaždinskega jezera, znotraj pozidanega dela pa z nizkimi temperaturami površja izstopa južni del stavb podjetja Comet d.o.o., parkovne površine (Stari grad, park vzhodno od Ulice Ratimira Hercega skupaj z mestnim pokopališčem, Šetalište Vatroslava Jagića) in nekateri zeleni deli, ki jih sestavljajo njive in travniki in ki v vzhodnem in severnem delu Varaždina v obliki pomolov segajo v gosteje pozidani del.

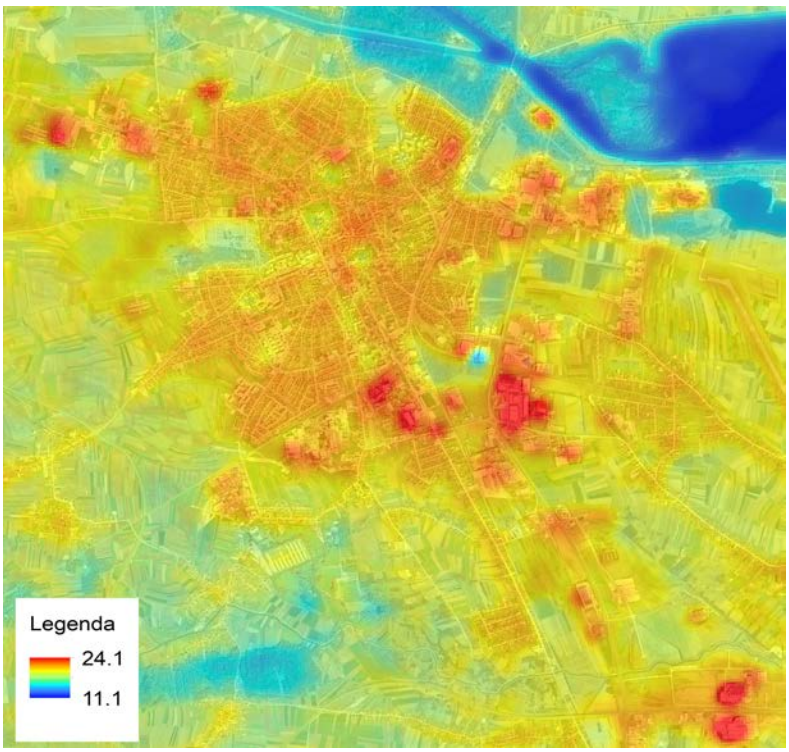
Med tipi rabe tal po metodologiji Corrine Land Cover najvišje povprečne letne temperature površja beležijo območja z industrijsko in trgovsko dejavnostjo (18,8 °C) ter nesklenjene urbane površine (18,2 °C). Najnižje povprečne letne temperature površja se nahajajo na območju vodnih površin (12,7 °C), barij (14,2 °C), vodotokov in kanalov ter gozdnih površin (14,3 °C).

Že pri pregledu povprečnih letnih temperatur površja na območju Varaždina lahko izpostavimo naslednje ugotovitve:

- najvišje temperature se nahajajo na območju nakupovalnih središč, ob katerih se nahajajo praviloma večje asfaltne parkirne površine,
- ta območja se nahajajo na obrobju mesta, zato se najvišje temperature površja ne nahajajo v starem mestnem jedru, kot je najpogosteje veljalo še nekaj desetletij nazaj,
- Varaždin je na srečo v starem mestnem jedru ohranil nekaj zelenih območij, ki vidno nižajo temperature površja, kar deluje blažilno zlasti v času vročinskih valov.

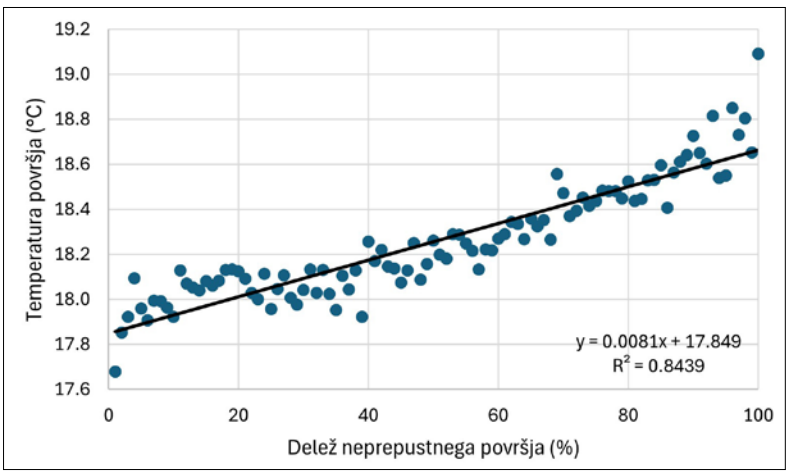
Raba tal vpliva na razlike v temperaturah površja na letnem nivoju. To je razvidno v regresijski povezavi med deležem neprepustnega površja in temperaturo površja. Regresijska povezava v vrednostih obeh parametrov na obravnavanem območju pokaže, da lahko na letnem nivoju kar 84,4 % razlik v temperaturah površja pojasnimo z razlikami v deležu neoprepustnega površja (korelacijski koeficient med obema spremeljivkama znaša 0,9186) (Slika 7).

V nadaljevanju bomo letni površinski toplotni otok v Varaždinu predstavili še v luči njegove intenzivnosti oziroma glede na razlike temperatur posamezne slikovne točke (piksla) od povprečne temperature površja na travnati površini, ki po merilih Svetovne meteorološke organizacije predstavlja referenčno površje za meteorološke meritve (Slika 8). Ugotovitve so podobne kot pri analizi povprečnih letnih temperatur površja, temperaturne razlike med najhladnejšimi in najtoplejšimi deli pa presegajo 10°C. Temperature površja na območjih s trgovsko in industrijsko dejavnostjo so na letnem nivoju v povprečju za 1,8 °C, temperature na območjih nesklenjenih urbanih površin pa za 1,2 °C višje od tistih na travniških površinah. Po drugi strani so vodne površine za 4,3 °C, gozdne površine pa za 2,7 °C hladnejše od travniških površin.



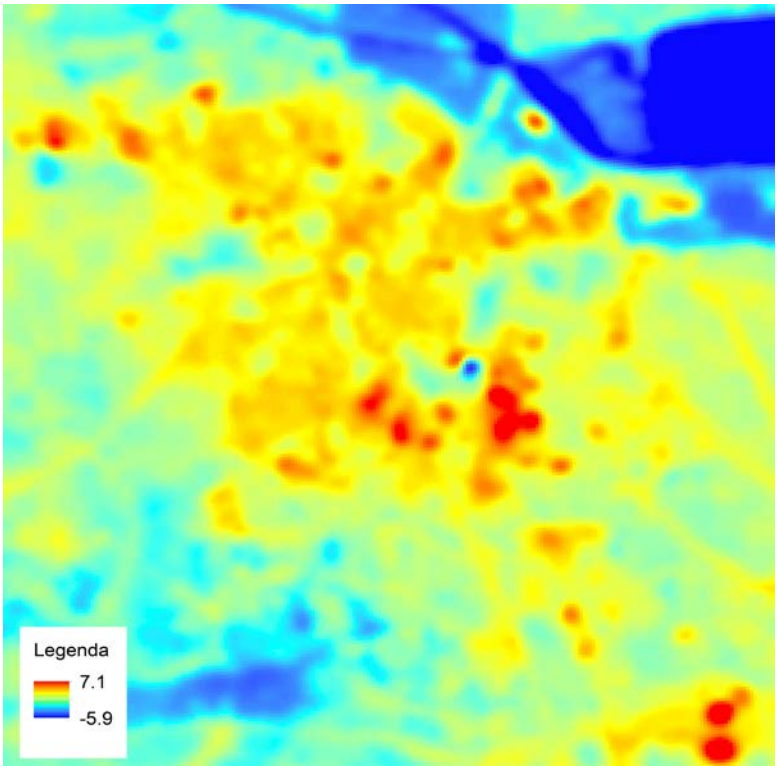
Slika 6: Povprečne letne temperature površja v °C na območju Varaždina in njegove ožje okolice. Vir: Medmrežje 4.

Figure 6: Average annual surface temperatures in °C in the Varaždin area and its immediate surroundings. Source: Internet 4.



Slika 7: Povezava med deležem neprepustnega površja in povprečno letno temperaturo površja na območju Varaždina po slikovnih točkah (pikslih). Vir: Lastni izračuni, 2026.

Figure 7: Relationship between the share of impervious surface and the average annual surface temperature in the Varaždin area by pixels. Source: Own calculations, 2026.



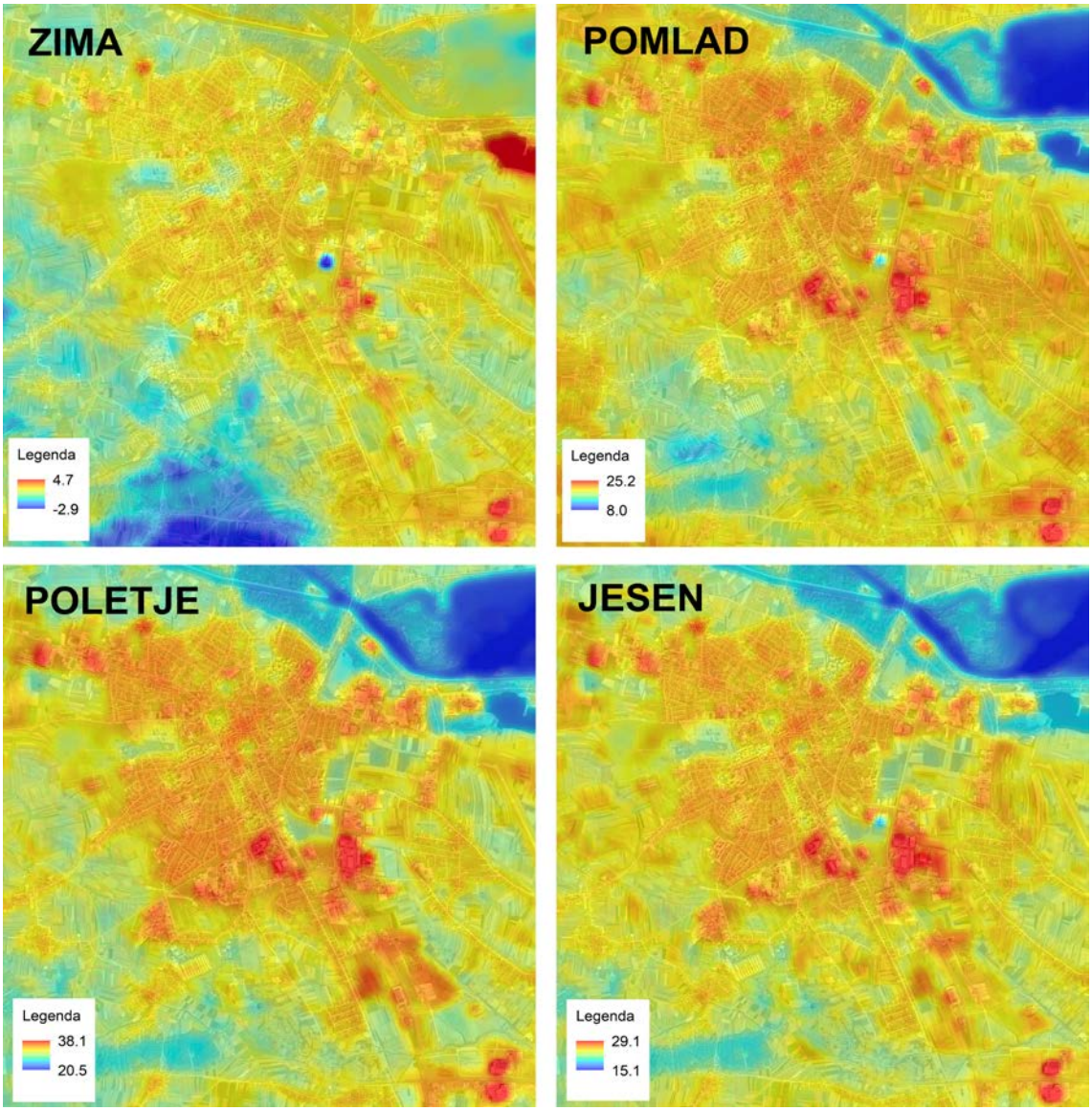
Slika 8: Intenzivnost letnega površinskega mestnega toplotnega otoka v Varaždinu (razlike temperatur posamezne slikovne točke od povprečnih temperatur na travniških površinah v °C). Vir: Medmrežje 4; Lastni izračuni, 2026.

Figure 8: Intensity of the annual surface urban heat island in Varaždin (differences in temperature of individual image points from average temperatures on grassland surfaces in °C). Source: Internet 4; Own calculations, 2026.

4.2. Letni režim površinskega mestnega toplotnega otoka v Varaždinu

Razlike v fizikalnih značilnostih površja, predvsem tistih, ki izvirajo iz deleža pozidanih, z vegetacijo poraslih ali vodnih površin in pojav snežne odeje v zimskem času pomembno modificirajo velikost, obliko in intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka. Ta je najmanj razvit v zimskem času, ko pojav snežne odeje ustvari bolj homogeno površje, čeprav je snežni pokrov s cestišč hitro odstranjen. Drugi razlog za manjše zimske razlike v temperaturah površja je majhen višinski kot Sonca oziroma manjši vpadni kot Sončevih žarkov. Ob zimskem solsticiju je višinski kot Sonca v času zgornje kulminacije Sonca v Varaždinu le 20,2° (v času poletnega solsticija in zgornji kulminaciji Sonca je ta 67,2°), zaradi česar je absorbcija kratkovalovnega Sončevega sevanja precej manjša, posledica tega pa je nižja intenzivnost segrevanja površja, četudi to ne bi bilo pokrito s snežno odejo. Pozimi v Varaždinu nastopajo najmanjše razlike v temperaturah površja med kategorijami rabe tal. Temperaturna razlika med najvišjimi in najnižjimi povprečnimi temperaturami povšja po posameznih kategorijah rabe tal pozimi znaša 1,6 °C, pri čemer najvišje temperature nastopajo na območju športnega letališča (2,2 °C), na površinah za šport in prosti čas (2,2 °C) in na območjih s trgovsko in industrijsko dejavnostjo (2,0 °C). Na naštetih površinah je zaradi narave dejavnosti snežni pokrov pogosto odstranjen, kar kljub nizkemu višinskemu kotu Sonca v zimskem času nekoliko viša temperature površja. Najnižje temperature se pojavljajo na območju grmičastega gozda (0,6 °C) in na območju pretežno kmetijskih površin z večjimi območji naravne vegetacije. Na karti zimskega površinskega toplotnega otoka z nizkimi temperaturami izstopa tudi območje južnega dela stavb podjetja Comet d.o.o. Vodne površine in celinska barja pozimi ne izstopajo z nizkimi temperaturami. Voda ima zaradi višje specifične toplote lastnost, da se ne ohlaja (a tudi ne segreva) tako hitro kot kopno. V tem smislu najmočneje izstopa umetno jezero Motičnjak v severovzhodnem delu obravnavanega območja. Da so temperature površja v Motičnjaku višje od tistih na površju Drave in Varaždinskega jezera prispeva dejstvo, da gre za mirujočo vodo brez mešanja (Slika 9).

Pomladanski površinski mestni toplotni otok kaže na povečevanje razlik: temperaturne razlike med povprečnimi temperaturami površja narastejo z zimskih 1,6 °C na 8,3 °C. Pomladanske temperature površja so najvišje na območjih s trgovsko dejavnostjo (18,3 °C), na območju letališča (17,8 °C) in na nesklenjenih urbanih površinah (17,4 °C), medtem ko se najnižje temperature površja pojavljajo na

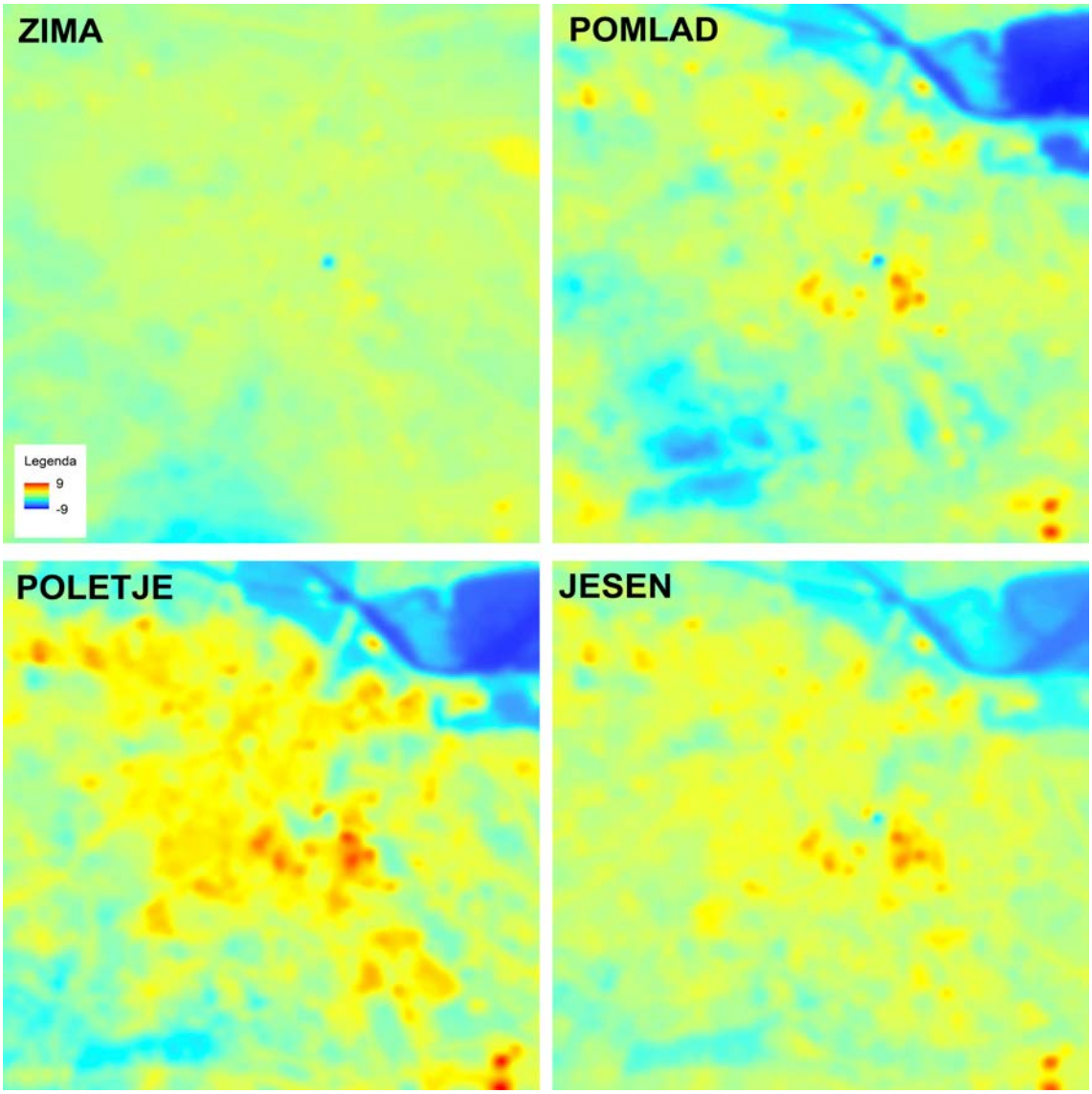


Slika 9: Površinski mestni toplotni otok po letnih časih. Temperature površja so izražene v °C. Vir: Medmrežje 4; Lastni izračuni, 2026.

Figure 9: Surface urban heat island by season. Surface temperatures are expressed in °C. Source: Internet 4; Own calculations, 2026.

območjih mirujočih voda (Motičnjak, 10,0 °C), na območju vodotokov (Drava, 12,8 °C) in na območju celinskih barij (območje v zahodnem delu Varaždinskega jezera, 12,9 °C). Spomladi je vpadni kot Sončevih žarkov že višji, posledično je segrevanje kopnega, predvsem pozidanih površin, intenzivnejše razlike v fizikalnih lastnostih površja pa prihajajo bolj do izraza.

Poleti je površinski toplotni otok v Varaždinu najbolj razvit in tudi najbolj strukturiran. Temperaturne razlike povprečnih temperatur po kategorijah rabe tal narastejo na 13,3 °C. Najvišje temperature nastopajo na območjih trgovskih in industrijskih dejavnosti (31,6 °C), na nesklenjenih urbanih površinah (31,0 °C) in na območju letališča (30,0 °C). Najnižje temperature se ponovno pojavljajo na območjih mirujočih voda (22,5 °C), celinskih barij (24,3 °C) in vodotokov (24,5 °C). Poletnim visokim temperaturam površja v veliki meri botruje gostota pozidanih površin: analiza korelacijskih koeficientov med deležem neprepustnega površja in temperaturami površja je najvišji poleti (0,9120), nižji pa je jeseni (0,8915), spomladi (0,8833) in pozimi (0,8491).



Slika 10: Intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka po letnih časih. Vrednosti predstavljajo razlike temperatur površja na posameznih slikovnih točkah (pikslih) od povprečnih temperatur na travniških površinah v °C. Vir: Medmrežje 4; Lastni izračuni, 2026.

Figure 10: Intensity of the surface urban heat island by season. The values represent the differences in surface temperatures at individual pixels from the average temperatures on grassland surfaces in °C. Source: Internet 4; Own calculations, 2026.

Jeseni je površinski mestni toplotni otok v Varaždinu manj razvit in strukturiran kot poleti, a bolj kot spomladi. Temperaturne razlike povprečnih temperatur po kategorijah rabe tal so 10,8 °C. Tudi jeseni najvišje temperature nastopajo na območjih s trgovsko in industrijsko dejavnostjo (29,1 °C), na nesklenjenih urbanih površinah (23,0 °C) in na letališču (22,3 °C). Najnižje temperature so na območjih mirujočih voda (17,0 °C) in vodotokov (18,2 °C). Višje jesenske temperature od spomladanskih si lahko razlagamo z dejstvom, da se mesto z velikim deležem površin, pokritih z asfaltom, betonom in opeko ohlajajo počasneje kot gola ali z vegetacijo porasla tla. Gradbeni elementi imajo namreč lastnost nekoliko učinkovitejšega akumuliranja toplote kot naravno površje, zato se čez poletje segrete pozidane površine ohlajajo počasneje in delujejo kot nekakšna termoakumulacijska peč.

Tudi v analizi sezonskega režima površinskega mestnega toplotnega otoka smo obravnavali njegovo intenzivnost. Temperature površja na posameznih kategorijah rabe tal smo odšteli od od povprečnih

temperatur na travniških površinah za vsak letni čas. Na ta način smo dobili normirane sloje površinskega mestnega toplotnega otoka po letnih časih, s katerimi je lažje analizirati površino, obliko in intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka po letnih časih (Slika 10). Površinski otok je najmanj razvit v zimskem času. Snežni pokrov v času zime je eden od razlogov za manjše razlike v temperaturah površja. Drug vzrok izhaja iz manjšega višinskega kota Sonca, zaradi česar je aborpcija kratkovalovnega sevanja Sonca manjša, s tem pa razlike v fizikalnih lastnostih podlage, ki vplivajo na intenzivnost segrevanja ne pridejo do izraza v tako veliki meri. Posledica tega je dejstvo, da so temperaturne razlike med kategorijami rabe tal pozimi najnižje. Najtoplejša so območja letališke piste, kjer snežni pokrov najbrž hitreje odstranijo (temperature so tukaj za 1,0 °C višje od tistih na travnikih), območja s trgovsko in industrijsko dejavnostjo, površine za šport in rekreacijo, nesklenjene urbane površine in mirujoče vode. Slednje ne preseneča: gre za umetno jezero Motičnjak v severovzhodnem delu obravnavanega območja, kjer se voda zaradi višje specifične toplote pozimi ne ohladi tako močno, kot kopno. Z nižjimi temperaturami površja izstopa območje južnega dela stavb podjetja Comet d.o.o. med Ulico Braće Krajanski in železniško progo.

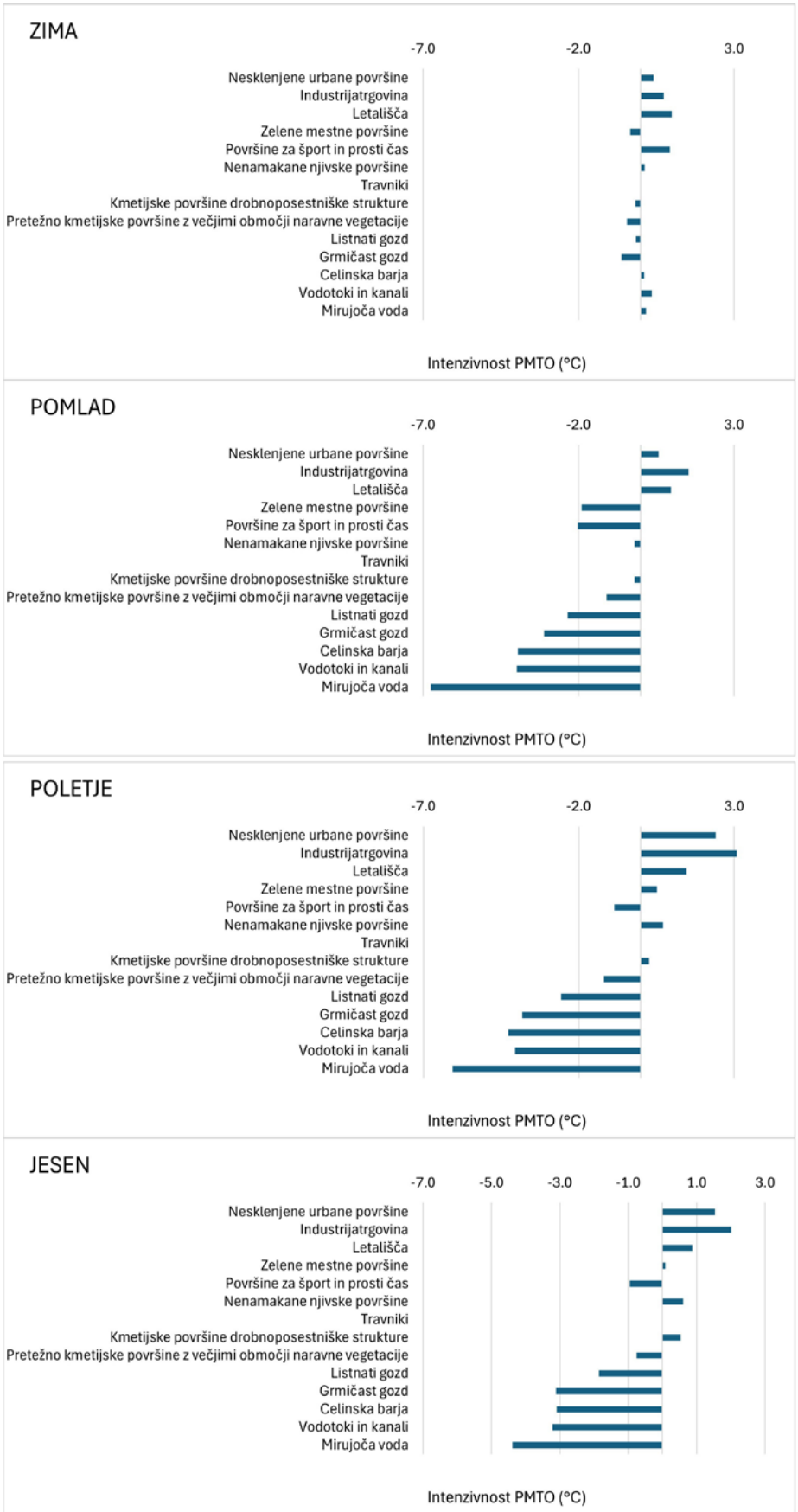
Spomladi se površinski mestni toplotni otok začne intenzivirati. Vodne in vlažnejše površine pričnozaostajati v intenzivnosti segrevanja, vedno bolj pa prihajajo do izraza razlike v deležu neprepustnega površja. V spomladanskem površinskem mestnem toplotnem otoku z višjimi temperaturami površja izstopajo nakupovalno središče med železniško progo in Gospodarsko ulico, kompleks Varteks/S-Park in nakupovalni središči ob Grada Lipika in Ulici grada Verone v jugovzhodnem delu obravnavanega območja. Površinski mestni toplotni otok spomladi postaja bolj strukturiran, razlike v temperaturah površja med posameznimi deli obravnavanega območja se povečajo. Območja s trgovsko in industrijsko dejavnostjo so za 1,0 °C, območja nesklenjenih urbanih površin pa za 0,6 °C toplejša od travniških površin. Območja mirujočih voda so za 6,8 °C, območja vodotokov in kanalov pa za 4,0 °C hladnejša od travniških površin.

V poletnih mesecih je površinski mestni toplotni otok v Varaždinu najbolj razvit in tudi najbolj strukturiran. Razlike v intenzivnosti segrevanja površja, tudi zaradi visokega višinskega kota Sonca, prihajajo najbolj do izraza. Najtoplejša območja so podobna tistim v spomladanskem času. Za razliko od spomladanskega časa se bolj segrevajo tudi nekatere njivske površine vzhodno in zahodno od Ulice Katarine Zrinski (Slika 10). Območja s trgovsko in industrijsko dejavnostjo so v poletnih mesecih v povprečju za 3,1 °C, nesklenjene urbane površine pa za 2,4 °C toplejše od travnikov. Območja z mirujočo vodo so za 6,1 °C, območja celinskih barij za 4,3 °C in območja vodotokov in kanalov za 4,1 °C hladnejša od travniških površin. Na območju grmičastega gozda so temperature površja za 3,8 °C, na območjih listnatih gozdov pa za 2,6 °C nižje od tistih na travnikih (Slika 11). V poletnih mesecih imajo torej vodne in zelene površine viden blažilni učinek pred vplivom toplotnih obremenitev.

Intenzivnost površinskega mestnega toplotnega otoka se v jesenskih mesecih zmanjšuje. Od poletja pregreto površje se jeseni ohlaja, vendar manj izrazito na gosteje pozidanih površinah, zato ne preseneča, da so jeseni območja s trgovsko in industrijsko dejavnostjo še vedno za 2,0 °C toplejša od travniških površin, območja nesklenjenih urbanih površin pa za 1,5 °C. Primerjava intenzivnosti površinskega mestnega toplotnega otoka spomladi in jeseni kaže, da se pozidane površine jeseni ohlajajo počasneje kot nepozidane površine. Po drugi strani pa je spomladi površinski mestni toplotni otok bolj strukturiran kot jeseni: spomladi znašajo temperaturne razlike med najtoplejšim in najhladnejšim pikslom na obravnavanem območju 17,2 °C, jeseni pa le 14,0 °C.

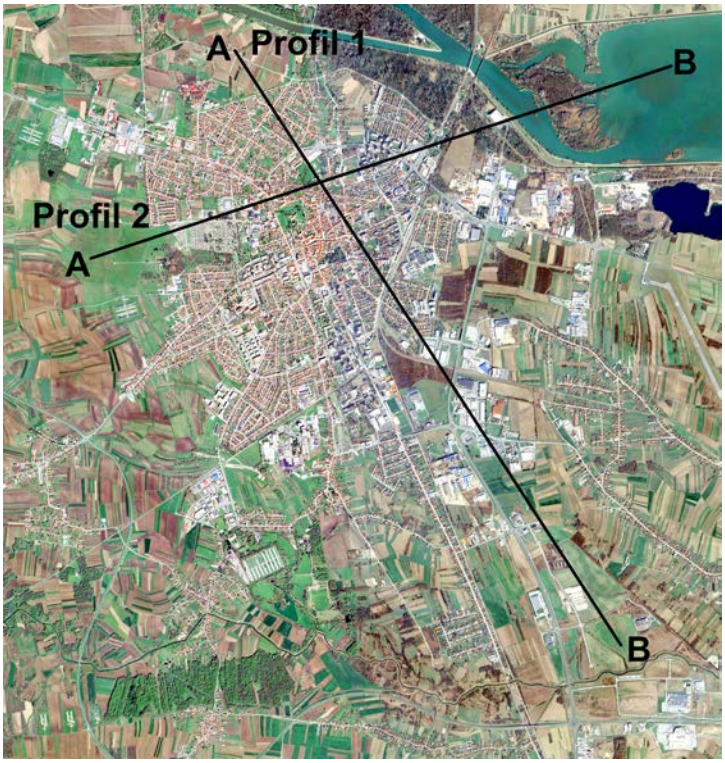
Površinski mestni toplotni otok na obravnavanem območju smo prikazali še z dvema tipičnima profiloma preko mesta. Z obema smo želeli prikazati ne le razlike med mestom in okolico, pač pa opozoriti tudi na razlike v temperaturah površja znotraj mesta. Temperaturne profile smo prikazali na nivoju celega leta kakor tudi na nivoju posameznih letnih časov. Potek obeh profilov je prikazan na Sliki 12.

Profil 1 na letnem nivoju sicer nakazuje splošno znan potek temperatur površja preko mesta: okolica je hladnejša, mestno jedro pa je toplejše. Vendar v našem primeru obstajajo pomembne modifikacije. Temperature površja niso najvišje v starem mestnem jedru, pač pa na območju nakupovalnih središč (npr. nakupovalno središče severno od Gospodarske ulice, Kaufland ob Koprivnički ulici). Naslednja ugotovitev je, da so jesenske temperature višje od spomladanskih. To si lahko razlagamo z akumulacijo



Slika 11: Razlike v temperaturah površja med travniškimi površinami in ostalimi kategorijami rabe tal na obravnavanem območju Varaždina po letnih časih. Vir: Medmrežje 4; Lastni izračuni, 2026.

Figure 11: Differences in surface temperatures between grasslands and other land use categories in the Varaždin area by season. Source: Internet 4; Own calculations, 2026.

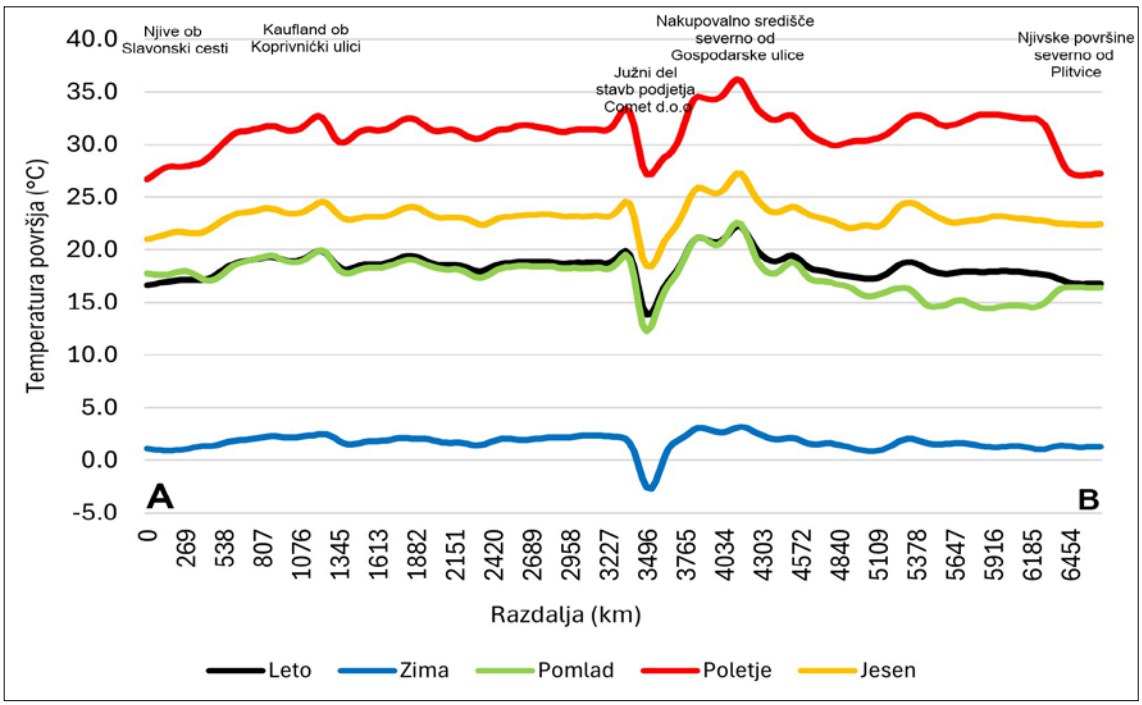


Slika 12: Potek Profila 1 in Profila 2 preko Varaždina. Vir: Medmrežje 7.

Figure 12: Route of Profile 1 and Profile 2 through Varaždin. Source: Internet 7.

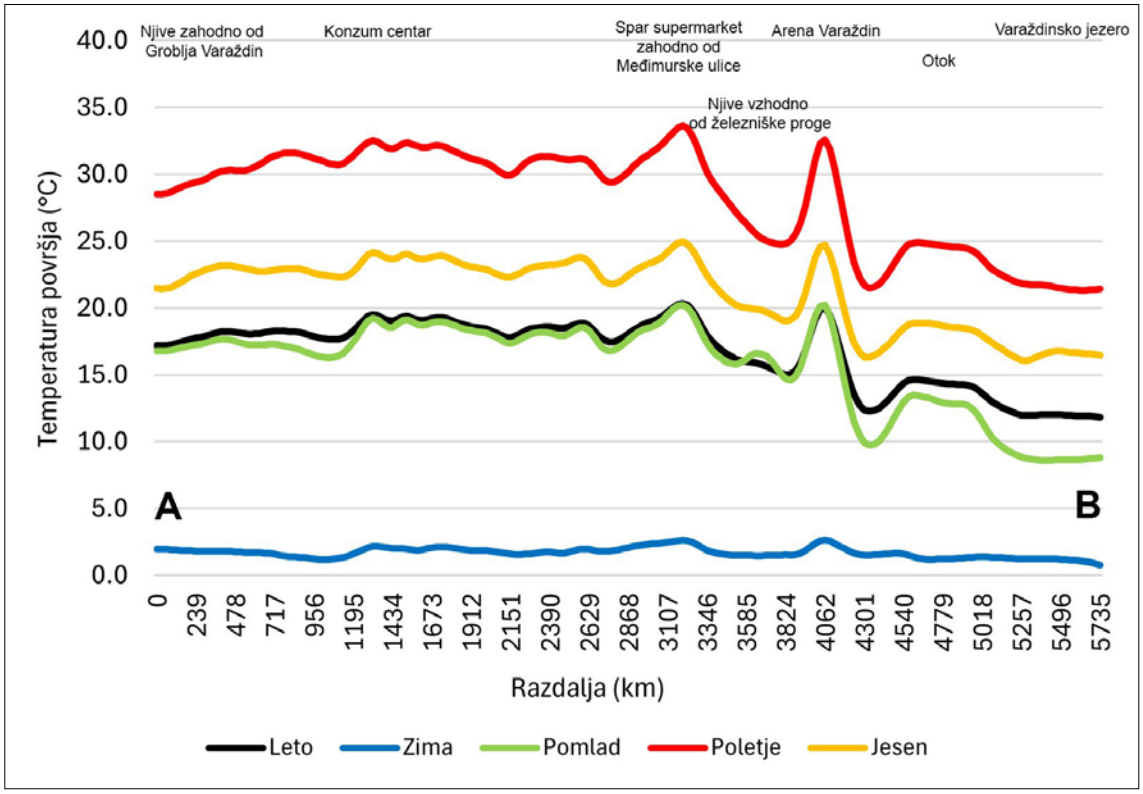
toplote na pozidanih površinah, ki imajo nekoliko višjo toplotno kapaciteto preko poletja. Ta toplota se z dolgovalovnim sevanjem sprošča še vsaj v prvi polovici jeseni in tako blaži pretirano ohlajanje. Efekt je podoben učinku vodnih površin v svetovnem morju, ki so sposobne preko poletja akumulirati veliko energije, ki jo nato v hladni polovici leta oddajajo in s tem preprečujejo tako hitro in intenzivno ohlajanje, kot ga lahko zasledimo v notranjosti celin.

Najmanjše temperaturne razlike vzdolž Profila 1 nastopajo pozimi (o vzrokih za to smo že govorili), zanimivo pa je, da so najvišje temperaturne razlike med posameznimi piksli na profilu zabeležene spomladi (10,3 °C), medtem ko poleti znašajo 9,5 °C, jeseni pa še vedno 8,9 °C (Slika 13). Očitno je poleti in deloma tudi jeseni prisotno pregrevanje



Slika 13: Profil 1 čez polje temperatur površja na obravnavanem območju Varaždina po letnih časih. Vir: Vir: Medmrežje 4; Lastni izračuni, 2026.

Figure 13: Profile 1 across the surface temperature field in the Varaždin area by season. Source: Source: Internet 4; Own calculations, 2026.



Slika 14: Profil 2 čez polje temperatur površja na obravnavanem območju Varaždina po letnih časih. Vir: Medmrežje 4; Lastni izračuni, 2026.

Figure 14: Profile 2 across the surface temperature field in the Varaždin area by season. Source: Internet 4; Own calculations, 2026.

površin z nekoliko manjšim deležem neprepustnega površja, kar v obeh letnih časih znižuje temperaturne razlike vzdolž Profila 1.

Podobne zakonitosti bi lahko ugotovili tudi glede poteka temperatur površja na Profilu 2. V ta profil je zajeta tudi vodna površina Varaždinskega jezera, kjer so -razen pozimi- temperature površja občutno nižje od ostalih delov profila. Še vedno se najvišje temperature pojavljajo na območju nakupovalnih središč (npr. Spar supermarket zahodno od Međimurske ceste, Konzum centar), visoke temperature površja pa nastopajo tudi na območju dvorane Arena Varaždin, ki zaradi nepozidane okolice (v severovzhodnem delu jo obdaja tudi Varaždinsko jezero) precej izstopa iz okolice. Na Profilu 2 so temperaturne razlike med piksli na profilu najvišje poleti (12,3 °C) in spomladi (11,6 °C), nekoliko manjše pa jeseni (8,9 °C), čeprav so zaradi pregretosti jesenske temperature na Profilu 2 višje od spomladanskih (Slika 2).

Površinski mestni toplotno otok v Varaždinu kaže viden sezonski režim, pri čemer je najbolj razvit in strukturiran poleti, spomladi pa bolj kot jeseni, čeprav so v splošnem jesenske temperature površja višje od pomladanskih, kar si lahko razlagamo z nekoliko počasnejšim ohlajanjem pozidanih površin na prehodu iz poletja v zimo. Pozimi je zaradi nižjega višinskega kota Sonca absorbcija kratkovalovnega sevanja Sonca nižja, snežna odeja pa dodatno povzroča večjo homogenost površja, čeprav je ta na cestah s pluženjem hitro odstranjena. Ugotovimo lahko tudi, da je zaradi ustreznega pristopa k urbanističnem razvoju Varaždina v mestu kljub vsemu ostalo nekaj zelenih površin, ki pomembno blažijo pretirano pregrevanje zlasti v poletnih mesecih. Toplotne obremenitve v poletnih mesecih znižuje tudi vodna površina Varaždinskega jezera. Pri načrtovanju morebitnih bodočih nakupovalnih središč v Varaždinu in njegovem obrobju pa bi bilo dobro razmišljati o uporabi svetlih površin na strehah in parkirnih površinah in uporabi čim več zelenih površin v obliki dreves, ki bi s krošnjami zasenčila okolico in zaradi povečane porabe latetntne energije ob transpiraciji blažila pregrevanje.

5. ZAKLJUČEK

Urbani ekosistemi danes predstavljajo prevladujoče okolje za večino svetovnega prebivalstva. Za urbane ekosisteme so značilni pretežno antropogeni viri energije in višja energijska gostota. Posledica tega je antropogeno spremenjeni »metabolizem«, ki je rezultat spremenjene rabe tal in umetnih, s človekovo dejavnostjo ustvarjenih virov energije. To se v mestih odraža tudi v spremenjenih lokalnih podnebnih značilnostih, še najbolj pa v oblikovanju mestnega toplotnega otoka. Oblikovanje mestnega toplotnega otoka v pogojih globalnega segrevanja povzroča še dodatno toplotno obremenitev za prebivalce teh mest, kar znižuje kakovost bivalnega okolja. Študije primerov mestnih toplotnih otokov nam tako lahko pokažejo na vroče točke v mestih in predstavljajo osnovo za načrtovanje blaženja posledic lokalnih in globalnih podnebnih sprememb s ciljem izboljšanja ali vsaj ohranjanja kakovosti bivalnega okolja. Naselje Varaždin je leta 2021 imelo 36187 prebivalcev. To je Varaždin med naselji v Republiki Hrvaški uvrščalo na 10. mesto.

V našem primeru smo analizirali temperature površja na širšem območju Varaždina. Za analizo površinskega mestnega toplotnega otoka smo uporabili metodo daljinskega zaznavanja in sicer posnetke satelita Landsat 8 v 10. in 11. kanalu, ki beležita sevanje v infrardečem delu spektra. V analizi smo uporabili 22 satelitskih posnetkov za dneve, v katerih je bilo nad Varaždinom popolnoma jasno vreme. Uporabljeni posnetki zajemajo časovno okno med leti 2019 in 2024. Posnetki so enakomerno razporejeni po podnebnih letnih časih (po pet posnetkov pozimi, spomladi, poleti in jeseni).

Povprečne letne temperature površinskega mestnega toplotnega otoka na območju Varaždina nihajo med 11,1 °C in 24,1 °C. Najtoplejši piksel na obravnavanem območju se ne nahaja v starem mestnem jedru, pač pa na območju nakupovalnega središča Lumini v jugovzhodnem delu. Tudi ostala območja z najvišjimi temperaturami površja se nahajajo na območjih trgovskih in storitvenih dejavnosti. Izstopajo območje nakupovalnega središča severno od Gospodarske ulice, območje kompleksa Varteks S-Park zahodno od Zagrebačke ulice, območje nakupovalnega središča Supernova Varaždin južno od Optujske ulice in kompleks metalske industrije Varaždin. Najnižje temperature površja se pojavljajo na območju Varaždinskega jezera, znotraj pozidanega dela pa z nizkimi temperaturami površja izstopa južni del stavb podjetja Comet d.o.o., parkovne površine (Stari grad, park vzhodno od Ulice Ratimira Hercega skupaj z mestnim pokopališčem, Šetalište Vatroslava Jagića) in nekateri zeleni deli, ki jih sestavljajo njive in travniki in ki v vzhodnem in severnem delu Varaždina v obliki pomolov segajo v gosteje pozidani del.

Površinski mestni toplotni otok na obravnavanem območju kaže izrazit sezonski režim. Najbolj razvit in strukturiran je poleti, najmanj pa pozimi. Spomladi je toplotni otok bolj strukturiran, čeprav so jeseni v splošnem temperature površja višje kot spomladi, saj je mesto še pregreto od poletja.

Ugotovimo lahko tudi, da je zaradi ustreznega pristopa k urbanističnem razvoju Varaždina v mestu kljub vsemu ostalo nekaj zelenih površin, ki pomembno blažijo pretirano pregrevanje zlasti v poletnih mesecih. Toplotne obremenitve v poletnih mesecih znižuje tudi vodna površina Varaždinskega jezera. Pri načrtovanju morebitnih bodočih nakupovalnih središč v Varaždinu in njegovem obrobju pa bi bilo dobro razmišljati o uporabi svetlih površin na strehah in parkirnih površinah in uporabi čim več zelenih površin v obliki dreves, ki bi s krošnjami zasenčila okolico in zaradi povečane porabe latetntne energije ob transpiraciji blažila pregrevanje.

LITERATURA

1. Bonan, G., (2008): Ecological Climatology. Concepts and Applications. Cambridge University Press. Cambridge.
2. Čačić, B., (2006): Urbanistićki plan uređenja povijesne jezgre grada Varaždina. Tekstualni dio plana. Coning - Inženjering d.d. Varaždin.
3. Douglas, I., (1983): The Urban Environment. Edward Arnold. Baltimore.
4. Douglas, I., James, P., (2015): Urban Ecology. An Introduction. Routledge. London and New York.
5. Erell, E., Pearlmutter, D., Williamson, T., (2015): Urban Microclimate. Designing the Spaces Between Buildings. Earthscan. New York.
6. Forman, R.T.T., (2014): Urban Ecology. Science of Cities. Cambridge University Press. Cambridge.

7. Google Earth, Posnetek Varaždina in okolice, 2026.
8. Huzjan, V., Obadić, I., (2012): Historiografija varaždinskog kraja u 20.stoljeću. Historia Varasdiensis. Časopis za varaždinsku povjesnicu, Vol. 2 No. 1, 2012.
9. Jensen, J.R., (2014): Remote Sensing of the Environment. An Earth Resource Perspective. Pearson. Harlow.
10. Krznarič, B., (2025): Gradska regija Varaždina. Diplomski rad. Geografski odsjek. Prirodoslovno-
11. matematički fakultet. Sveučilište u Zagrebu. Zagreb
12. Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J.A., (2017): Urban Climates. Cambridge University Press. Cambridge.
13. Parsons, K., (2014): Human Thermal Environments. CRC Press. New York.
14. Petkovšek, Z., Hočevar, A., (1995): Meteorologija. Osnove on nekatere aplikacija. Biotehniška fakulteta. Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
15. 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).
16. Žiberna, I., (1996): Mestna klima Maribora. Doktorska disertacija. Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
17. WMO, (2008): Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8.
18. Medmrežje 1: https://www.un.org/uk/desa/68-world-population-projected-live-urban-areas-2050-says-un (6.11.2024).
19. Medmrežje 2: https://www.metoffice.gov.uk/learning/learn-about-the-weather/weather-phenomena/case-studies/russian-heatwave (7.11.2024).
20. Medmrežje 3: https://dzs.gov.hr/vijesti/objavljeni-konacni-rezultati-popisa-2021/1270 (3.1.2026)
21. Medmrežje 4: https://earthexplorer.usgs.gov/ (8.9.2024).
22. Medmrežje 5: https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018 (3.1.2026).
23. Medmrežje 6: https://www.copernicus.eu/en/website-search?search_api_fulltext=impermeable&page=1 (3.1.2026)
24. Medmrežje 7: https://earth.google.com/web (2.2.2026)

SUMMARY

Urban ecosystems today represent the dominant environment for the majority of the world‘s population. Urban ecosystems are characterized by predominantly anthropogenic energy sources and higher energy density. The result is an anthropogenically altered “metabolism”, which is the result of changed land use and artificial energy sources created by human activity. This is also reflected in cities in changed local climatic characteristics, and most notably in the formation of the urban heat island. The formation of the urban heat island in conditions of global warming causes additional heat stress for the inhabitants of these cities, which reduces the quality of the living environment. Case studies of urban heat islands can thus show us hot spots in cities and can represent the basis for planning to mitigate the consequences of local and global climate change with the aim of improving or at least maintaining the quality of the living environment. The settlement of Varaždin had a population of 36187 in 2021. This ranked Varaždin in 10th place among settlements in the Republic of Croatia.

In our case, we analyzed surface temperatures in the wider Varaždin area. To analyze the surface urban heat island, we used the remote sensing method, namely images from the Landsat 8 satellite in the 10th and 11th channels, which record radiation in the infrared part of the spectrum. In the analysis, we used 22 satellite images for days when the weather was completely clear over Varaždin. The images used cover the time window between 2019 and 2024. The images are evenly distributed across the climatic seasons (five images each in winter, spring, summer and autumn).

The average annual temperatures of the surface urban heat island in the Varaždin area fluctuate between 11,1 °C and 24,1 °C. The warmest pixel in the area under consideration is not located in the old city centre, but in the area of the Lumini shopping centre in the south-eastern part. Other areas with the highest surface temperatures are also located in areas of trade and service activities. The area of the shopping centre north of Gospodarska ulica stands out, the area of the Varteks S-Park complex west of Zagrebačka ulica, the area of the Supernova Varaždin shopping centre south of Optujska ulica and the

Varaždin metal industry complex. The lowest surface temperatures occur in the area of Varaždin Lake, and within the built-up area, the southern part of the buildings of the Comet d.o.o. company, park areas (Stari grad, the park east of Ulica Ratimir Hercega together with the city cemetery, Šetalište Vatroslava Jagića) and some green areas consisting of fields and meadows and which in the eastern and northern parts of Varaždin extend into the denser built-up area in the form of piers.

The surface urban heat island in the area under consideration shows a pronounced seasonal regime. It is most developed and structured in summer, and least in winter. In spring, the heat island is more structured, although in autumn the surface temperatures are generally higher than in spring, as the city is still overheated from summer.

We can also conclude that due to the appropriate approach to urban development of Varaždin, there are still some green areas left in the city, which significantly mitigate excessive overheating, especially in the summer months. The water surface of Varaždin Lake also reduces heat loads in the summer months. When planning possible future shopping centers in Varaždin and its outskirts, it would be a good idea to consider the use of light surfaces on roofs and parking areas and the use of as many green areas as possible in the form of trees, which would shade the surroundings with their canopies and mitigate overheating due to the increased consumption of latent energy during transpiration.