

VPLIV URBANIH ZELENIH POVRŠIN NA POJAV MESTNEGA TOPLOTNEGA OTOKA

NATAŠA PIPENBAHER,¹ DANIJEL IVAJNSIČ,^{1,2}

DAŠA DONŠA,¹ VENO JAŠA GRUJIĆ,^{1,3} SONJA ŠKORNIK¹

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor, Slovenija
natas.pipenbahr@um.si, dani.ivajnsic@um.si, dasa.donsa1@um.si,
veno.grujic@um.si, sonja.skornik@um.si

² Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Maribor, Slovenija
dani.ivajnsic@um.si

³ Univerza v Mariboru, Pedagoška fakulteta, Maribor, Slovenija
veno.grujic@um.si

Sinopsis Urbane zelene površine so izpostavljene vzajemnemu vplivu pojava mestnega toplotnega otoka (MTO) in višjim temperaturam zraka zaradi podnebnih sprememb, kar spreminja rastne parametre rastlin, po drugi strani pa lahko delujejo kot blažilec toplotnega stresa zaradi povečanega toka latentne toplote (posledica evapotranspiracije). Da bi ocenili jakost hladilnega učinka zelenih površin v urbanih sistemih (Maribor, Murska Sobota, Ljutomer) smo v devetih zelenih površinah (trije mestni gozdovi in šest mestnih parkov) popisali lesne vrste na 94 popisnih ploskvah. Zbrali smo podatke o številu/gostoti osebkov lesnih vrst, povprečni vrednosti morfološko funkcionalnih potez za vsebnost suhe snovi v listih (CWM_LDMC) in specifično listno površino (CWM_SLA). Izračunali smo intenzivnost hlajenja, obseg hlajenja in stopnjo hlajenja v in izven popisnih ploskev. Mestni gozdovi imajo večji hladilni učinek od mestnih parkov. Sicer pa pravilo večja zelena površina – večji hladilni učinek ne velja povsod. Analiza dejavnikov vpliva hladilnega učinka urbanih zelenih površin je razkrila značilen vpliv: (1) velikosti zelene površine, (2) števila/gostote lesnih vrst in vezanih povprečnih vrednosti morfološko funkcionalnih potez (predvsem CWM_SLA), (3) tipa zelene površine in pokritosti tal neposredne okolice. Dobro umeščene zelene površine lahko razčlenijo sicer homogeno temperaturno polje nad pozidanimi površinami mest, še zlasti ob nastopu vročinskih valov.

Ključne besede
podnebne
spremembe,
hladilni učinek,
lesne vrste,
urbani sistemi,
lokalne podnebne
cone

THE COOLING EFFECT OF URBAN GREEN SPACES FROM THE URBAN HEAT ISLAND PERSPECTIVE

NATAŠA PIPENBAHER,¹ DANIJEL IVAJNSIČ,^{1,2}

DAŠA DONŠA,¹ VENO JAŠA GRUJIĆ,^{1,3} SONJA ŠKORNIK¹

¹ University of Maribor, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Maribor, Slovenia
natas.pipenbaher@um.si, dani.ivajnsic@um.si, dasa.donsa1@um.si,
veno.grujic@um.si, sonja.skornik@um.si

² University of Maribor, Faculty of Arts, Maribor, Slovenia
dani.ivajnsic@um.si

³ University of Maribor, Faculty of Education, Maribor, Slovenia
veno.grujic@um.si

Abstract Urban green areas are exposed to the urban heat island-climate change interaction, a combination which affects plant growth parameters, but which, can act as a heat stress buffer, owing to increased latent heat flux (evapotranspiration). To estimate the cooling intensity of green areas in urban systems (Maribor, Murska Sobota, and Ljutomer), we sampled wood species in 94 census plots in nine green areas (three urban forests and six urban parks). The number/density of wood species, the average value of morphologically functional traits for leaf dry matter content (CWM_LDMC) and specific leaf area (CWM_SLA) were collected. The cooling intensity, cooling extent and cooling lapse estimates within, and outside the census plots were calculated. Urban forests have a greater cooling effect than urban parks. However, the rule that larger green areas have a greater cooling effect does not always apply. The urban green space cooling effect analysis revealed a significant impact from: (1) green area size, (2) number/density of wood species and associated average value of morphological functional traits (CWM_SLA), (3) type of green area and ground cover of the surroundings. Well located green areas can break down otherwise homogeneous air temperature fields above built-up areas in cities, especially during heat waves.

Keywords:

climate change,
cooling effect,
wood species,
urban systems,
local climate zones

1 Uvod

Šesto poročilo Medvladnega panela za podnebne spremembe (IPCC AR6) [1] opozarja, da so posledice podnebnih sprememb že zaznavne v vsaki regiji sveta. Vse številčnejši in intenzivnejši vremenski ekstremi, kot posledica podnebnih sprememb v urbanih sistemih, povzročajo nastanek še izrazitejših mestnih toplotnih otokov (MTO) [2]. V zadnjih letih v mestih posledično beležimo vse več negativnih učinkov na zdravje ljudi, hkrati pa se znižuje kakovost človekovega bivalnega okolja. Ekstremne vremenske razmere na območjih z večjo pozidanostjo in pokritostjo tal z umetnimi materiali bolj vplivajo na zdravje ranljivih skupin ljudi, kot so starejši, otroci, bolniki s srčno-žilnimi obolenji, diabetiki, bolniki z duševnimi motanji itd. Na njihovo ogroženost lahko dodatno vplivajo nizek socialno-ekonomski status, socialna izoliranost, slabša dostopnost do zdravstvenih storitev in nasploh slabši bivalni pogoji [3], [4].

Pričakujemo, da bo do leta 2050 60 % svetovnega prebivalstva živelo v urbanih naseljih [5]. Naselja tvorijo specifična okolja, ki so edinstvena po svojih značilnostih. Vsako naselje je sestavljeno iz mozaika številnih habitatov različnih velikosti. Heterogenost znotraj naselij odraža različne dejavnosti ljudi, človekovo zgodovino in različne lokalne razmere [6]. Znano je, da učinke MTO poslabšajo vročinski valovi [7]. Zaradi večje intenzitete pojava MTO v času vročinskih valov v letih od 2006 do 2010 se je povečala umrljivost v ZDA za 1,1 milijona ljudi [8]. Heaviside idr. (2017) [9] pripisujejo toplotnemu stresu zaradi pojava MTO v okolici mesta Birmingham (Velika Britanija) tekom vročinskega vala leta 2003 kar 50 % umrljivost.

MTO nastane predvsem kot posledica odstranitve zelenih površin, uvajanja umetnih materialov (npr. betona, asfalta, tlakovcev itd.) in onesnaženosti s smogom [10], [11]. S tem se drastično spremenijo tamkajšnje sevalne, termične in vlažnostne razmere in hkrati sama fiziognomija površja [2], [12], [13]. Do sedaj uveljavljeni ukrepi za omilitev podnebnih učinkov v urbanih sistemih se osredotočajo predvsem na infrastrukturne in tehnične rešitve, in ne posvečajo dovoljšne skrbi naravnim virom, kot so zemlja in voda [14]. V ekstremnih vremenskih razmerah voda ne more pronicati v tla, ampak večini odteče bodisi skozi kanalizacijske sisteme ali kot površinska meteorna voda [15]. Nedavna študija EEA [14] priporoča kombinacijo različnih ukrepov – »sivi« ukrepi, kot so tehnološki in inženirski projekti, »mehki«

ukrepi, kot je ozaveščenost prebivalstva, in »zeleni« ukrepi, kot so zelene strehe, parkovne površine.

Rešitve, ki temeljijo na »zelenih« ukrepih, obravnavajo več urbano-okoljskih izzivov. Urbane zelene površine zagotavljajo vrsto ekosistemskih koristi, med drugim zadrževanje vode, obnovo tal, habitate za živali, območja za rekreacijo in sprostitvev [16]. Druge pomembne koristi zelenih površin so tudi hlajenje neposredne grajene okolice. Natančneje, rastline prispevajo k hladnejšemu okolju s pretvorbo sevalne toplote v latentno na osnovi evapotranspiracije. Rastline imajo višji albedo in nižjo toplotno kapaciteto kot mnogi umetni materiali, ki se uporabljajo za zaščito pred soncem [17]. Zelene površine igrajo ključno vlogo pri uravnavanju površinske temperature zlasti v prisotnost visoke ravni vlage, celo bolj kot katerekoli druge odbojne površine [13], [18].

Hladilni učinki zelenih površin so v zadnjem obdobju pogosta tarča raziskav [19], [20]. Številne prostorske analize proučujejo učinke hlajenja rastlin na okolico kot razlike v temperaturi zraka ali tal med pozidanimi in zelenimi površinami [21]. V Singapurju so nedavne raziskave pokazale hladilni učinek zelenih površin za 1,7 °C [22]. Ponekod beležijo zniževanje temperature zraka zaradi senčenja z drevesi tudi do 9 °C [23], [24]. Tan idr. (2021) [18] poročajo, da so lahko zelene površine hladnejše za ~ 11 °C glede na umetne materiale v sodobnih mestih.

Rastline različnih habitatov imajo različne strategije, ki jim omogočajo uravnavanje temperaturnega in vodnega režima [25]. Te se izražajo v različnih fizičnih in fizioloških prilagoditvah posameznih rastlinskih vrst oziroma v t. i. morfološko funkcionalnih potezah (MFP). Tako imajo na primer nekatere rastline toplejših in sušnejših habitatov liste pogosto z dobro razvitimi opornimi tkivi, poraslimi z dlavicami, debelo kutikulo in manjšo površino [26]. Ker lahko prilagoditve na nivoju MFP rastlinskih vrst izražajo značilne razlike v hladilnem učinku zelenih površin, so takšne raziskave zelo pomembne.

Slovenska mesta niso izjema, nasprotno zaradi historične strnjene zazidave je pojav MTO tudi v majhnih mestih zelo intenziven [27], [28]. Sicer je proučevanje vpliva zelenih površin na pojav MTO v Sloveniji bolj izjema kot pravilo. Da bi premostili to vrzel, smo v raziskavi proučevali zvezo med intenzivnostjo (intenzitetjo) hlajenja in velikostjo zelenih površin (1), tipom zelenih površin (2), številom vrst v zelenih

površinah (3) izbranimi morfološko-funkcionalnimi potezami vrst zelenih površin (4) in pokritostjo tal (5).

2 Materiali in metode

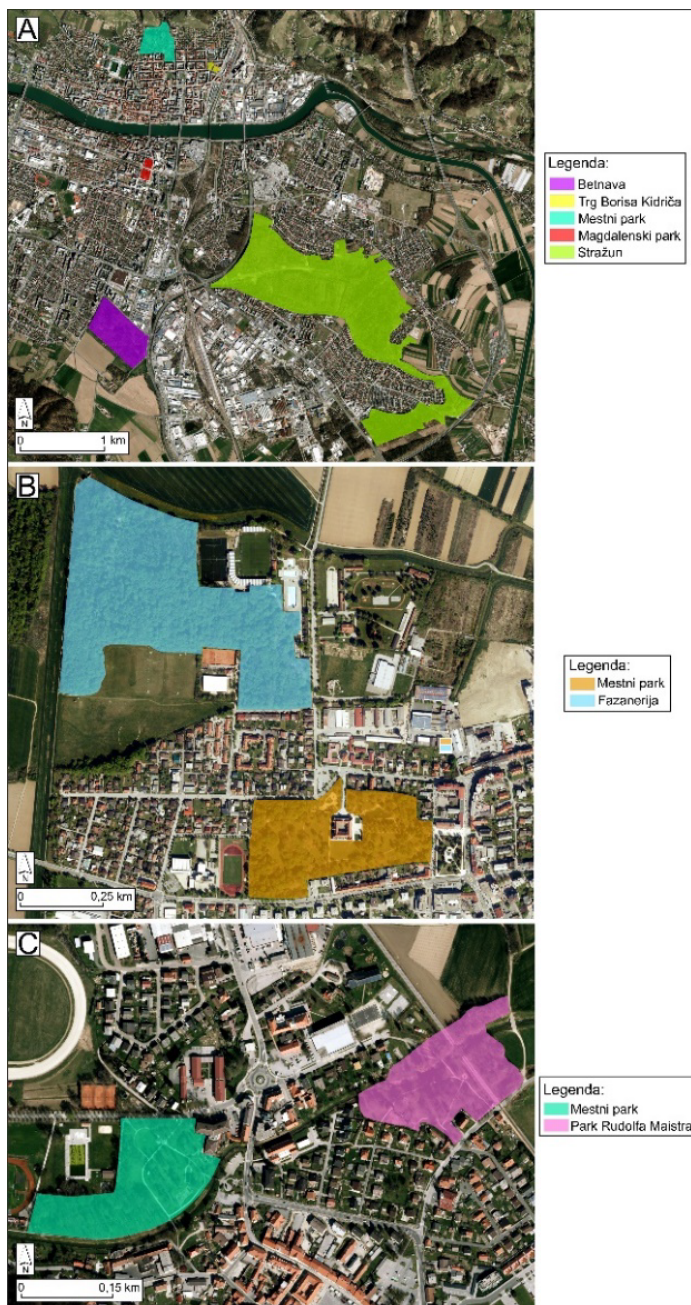
2.1 Opis območja raziskave

Vpliv zelenih površin na pojav MTO smo proučevali v mestih Maribor, Murska Sobota in Ljutomer. V urbani strukturi Maribora smo obravnavali pet zelenih površin (Betnava, Trg Borisa Kidriča, Mestni park, Magdalenski park in gozd Stražun). Po dve zeleni površini smo obravnavali v Murski Soboti (Mestni park in Fazanerija) in Ljutomeru (Mestni park in Park Rudolfa Maistra) (Slika 1). Velikost raziskovalnih površin so prikazane v Preglednici 2.

Raziskovalno območje Maribor zajema dva mestna gozdova. Gozd Stražun je v urbanem prostoru Maribora in ima od leta 1996 status naravnega spomenika. Tvori ga mešani gozd navadne bukve (*Fagus sylvatica*), belega gabra (*Carpinus betulus*) in hrasta doba (*Quercus robur*). Predstavlja enega od ostankov nekdanjih nižinskih gozdov, značilnih za Dravsko polje. Park služi kot prostor za sprostitev in rekreacijo [29]. Po večini meji na mestne ulice, ponekod pa tudi na travniške in njivske površine. Druga obravnavana zelena površina je mestni gozd Betnava, ki leži na skrajnem severnem delu Dravskega polja, na ravnini med Pohorjem in južnim delom Maribora. Znotraj mesta Maribor smo proučevali tudi tri mestne parkovne površine, umeščene v mestno jedro. Vse tri omejujejo predvsem ulice.

Raziskovalno območje Murska Sobota zajema mestni gozd Fazanerija, ki leži na SZ strani mesta. Mestni gozd Fazanerija po večini meji na travnike in njive. Fazanerija služi kot prostor za rekreacijo. Na severni strani ga omejuje reka Ledava. Sestava mestnega gozda je mešani gozd s prevladujočimi drevesnimi vrstami beli gaber (*Carpinus betulus*), hrast dob (*Quercus robur*) in veliki jesen (*Fraxinus excelsior*). Park v središču mesta (nekdanji Szapáryjev) meji na mestne ulice. Park sestavljajo mogočni dvestoletni hrasti (*Quercus robur*), gabri (*Carpinus betulus*), jeseni (*Fraxinus excelsior*), lipe (*Tilia* sp.) in velike zelenice [30].

V mestu Ljutomer sta obe obravnavani zeleni površini mestna parka, ki po večini mejita na ulični sistem, ponekod pa na travniške in njivske površine.



Slika 1: Območja raziskave – Maribor (A), Murska sobota (B) in Ljutomer (C). Podlaga: ArcMap World Imagery Basemap [31]

2.2 Terensko delo in zbiranje podatkov

V letih 2021 in 2022 smo v devetih zelenih površinah popisali 94 popisnih ploskev: v Mariboru v petih zelenih površinah (Betnava, Trg Borisa Kidriča, Mestni park, Magdalenski park in Stražunski gozd) 69 popisnih ploskev; v Murski Soboti v dveh zelenih površinah (Mestni park in Fazanerija) 21 popisnih ploskev ter v Ljutomeru na dveh zelenih površinah (Mestni park in Park Rudolfa Maistra) 4 popisne ploskve. Število popisnih ploskev je sorazmerno z velikostjo območja. Popisne ploskve so bile načrtovane od zunanjega roba zelene površine v notranjost in obsegajo v dolžino 100 m ter v širino 10 m. Razdalja med popisnimi ploskvami znotraj posamezne zelene površine je bila 100 m. Na popisnih ploskvah smo vzorčili lesne vrste in pri tem zbrali podatke o številu/gostoti osebkov lesnih vrst (GOLV). Za nadalje analize smo obravnavali le lesne vrste s številom (frekvenco) več kot pet ($n = 27$ lesnih vrst). Za vse popisane lesne vrste smo v bazi LEDA [32] pridobili podatke o dveh morfološko-funkcionalnih potezah (MFP): specifična listna površina - SLA (mm^2/mg) in vsebnost suhe snovi v listih - LDMC (mg/g). Vsaki popisni ploskvi smo pripisali: tip zelene površine (TZP); povprečno vrednost MFP za vsebnost suhe snovi v listih (CWM_LDMC) in specifično listno površino (CWM_SLA); povprečno temperaturo tal popisne ploskve ($^{\circ}\text{C}$) (T) in velikost zelene površine (m^2) (površina). Zelene površine smo kategorizirali bodisi v tip mestni gozd (1) ali mestni parki (2). Velikost zelenih površin smo izračunali s pomočjo satelitskih podob v programskem okolju ArcGIS [33]. Za izračun povprečne temperature tal za 94 popisnih ploskev smo iz spletne baze EarthExplorer [34] pridobili brezoblačno podobo satelita Landsat 8 za dan 24. 6. 2021. Na podlagi termičnih spektralnih kanalov satelitske podobe (10 in 11) smo v programu TerrSet [35] pripravili termogram, iz katerega smo nato v programu ArcGIS [33], z uporabo orodja Zonal Statistics, izračunali povprečno vrednost temperature tal za vsako popisno ploskev.

Da bi ocenili intenziteto hladilnega učinka zelenih površin v obravnavanih urbanih sistemih, smo v nadaljevanju izračunali tudi povprečno vrednost temperature tal izven 94 popisnih ploskev, in sicer v osmih 30-metrskih pasovih v smeri urbane strukture. V omenjenih pasovih smo določili tudi lokalne podnebne cone (*ang. Local Climate Zones* [LCZ], povzeto po Stewart in Oke (2012) [36]). Lokalna podnebna območja obsegajo po Stewartu in Okeju (2012) [36] 17 kategorij, ki so razdeljene na tipe zazidave in pokritost tal. Od desetih (10) kategorij tipa zazidave so se v našem

primeru pojavile naslednje kategorije: odprte površine s srednje visokimi stavbami (3–9 nadstropij) (TZ1); odprte površine s srednje nizkimi stavbami (do 3 nadstropja) (TZ2); strnjene srednje visoke stavbe (3–9 nadstropij) (TZ3); strnjena naselja s stanovanjskimi hišami (TZ4) in kategorija, kjer ni prisotnih stavb (TZ5). Pokritost tal smo kategorizirali v: gozd (GZ1); zelenice/travniki (GZ2); gole ali asfaltne površine (GZ3); mozaik zelenic in golih ali asfaltnih površin (GZ4).

2.3 Analiza podatkov

S pomočjo izračunanih povprečnih vrednosti temperature tal v in izven popisnih ploskev smo (po vzoru Du idr. (2016) [37] ter Yan idr. (2021) [38]) izračunali naslednje indekse: intenzivnost hlajenja (*ang. Cooling Intensity*, IntH), obseg hlajenja (*ang. Cooling Extent*, ObsegH) in stopnjo hlajenja (*ang. Cooling Lapse*, StopnjaH). Intenzivnost hlajenja smo izračunali tako, da smo zabeleženi maksimalni vrednosti temperature tal v osmih pasovih izven zelene površine odšteli od povprečne temperature tal pripadajoče popisne ploskve znotraj zelene površine. Obseg hlajenja predstavlja razdaljo od zelene površine, kjer je bila zabeležena najvišja temperatura tal. Stopnjo hlajenja smo izračunali kot smerni koeficient linearnega trenda spremenljivke temperature tal vseh osmih odsekov skupaj s povprečno temperaturo tal obravnavane zelene površine, in tako dobili spremembo temperature tal na vsakih 100 m.

Za MFP SLA in LDMC smo izračunali srednje vrednosti MFP za posamezno popisno ploskev. Najprej smo izračunali delež pojavljanja posamezne lesne vrste na popisno ploskev. Nato smo zmnožili dve matriki (matrika 1: popisna ploskev in deleži lesnih vrst; matrika 2: SLA in LDMC posamezne lesne vrste) in oblikovali rezultat (matriko) s 94 popisnimi ploskvami in pripadajočimi srednjimi vrednostmi posamezne MFP (CWM_SLA in CWM_LDMC).

Parametre opisne statistike vrstne sestave za posamezno zeleno površino smo izračunali s programsko opremo Microsoft Office Excel [39]. Preostale, kompleksnejše statistične analize smo opravili v programskem okolju R [40]. Tako smo povezanost prediktorskih (neodvisnih) spremenljivk (GOLV; GZ, TZ, CWM_LDMC, CWM_SLA, TZP, površina) preverili s Spermanovim koeficientom korelacije. S t-preizkusom smo ugotavljali ali so razlike med tipom zelenih površin glede na kazalec intenzivnost hlajenja. Potencialne razlike med kategorijami

pokritosti tal in intenzivnostjo hlajenja smo preverjali z analizo variance (ANOVA) ter pripadajočim post-hoc preizkusom (Tukey). V nadaljevanju smo vpliv prediktorskih spremenljivk (tip zelene površine (mestni gozd, mestni park)), površina zelene površine (povrsina_log); število/gostota osebkov lesnih vrst (GOLV); CWM_SLA in CWM_LDMC in pokritost tal (GZ)) na intenzivnost hlajenja analizirali s pomočjo posplošenih linearnih modelov. Ustreznost in kakovost modela smo preverili tudi z gradnjo posplošenega aditivnega modela z enakimi karakteristikami in preizkusom napredka ob upoštevanju nelinearnih zvez med odvisno (IntH) in neodvisnimi spremenljivkami (povrsina_log, GOLV, CWM_SLA, CWM_LDMC, tip zelene površine in GZ).

3 Rezultati

3.1 Vrstna sestava

Na 94 popisnih ploskvah smo določili skupaj 44 različnih lesnih vrst, od teh smo za analize uporabili le vrste s frekvenco več kot pet osebkov ($n = 27$ lesnih vrst). Te pripadajo 11 družinam. Največ lesnih vrst ($n = 5$) pripada družini javorovk (*Aceraceae*), sledita družini bukovke (*Fagaceae*) in borovke (*Pinaceae*) ($n = 4$). Družina oljkovke (*Oleaceae*) je bila prisotna v dveh popisnih ploskvah. Pojavljajo se tudi družine s po eno lesno vrsto (divje kostanjevke, platanovke, vrbovke, bezgovke, cipresovke, lipovke in brestovke). Med 27 lesnimi vrstami smo popisali 20 listopadnih dreves in 7 iglavcev.

Najpogostejše drevesne vrste, zabeležene na popisnih ploskvah ($n = 94$ popisnih ploskvah), so bile: navadni gaber (*Carpinus betulus*) (37 %), navadna bukev (*Fagus sylvatica*) (16 %), hrast dob (*Quercus robur*) (13 %), rdeči bor (*Pinus sylvestris*) (11 %). V nadaljevanju smo se osredotočili na primerjavo vrstne sestave obeh tipov zelenih površin (mestni gozd in mestni park). V popisnih ploskvah zelenih površin – mestni gozd smo zabeležili 25 vrst, med njimi prevladujejo: navadni gaber (*Carpinus betulus*) (37 %), navadna bukev (*Fagus sylvatica*) (18 %), hrast dob (*Quercus robur*) (14 %), rdeči bor (*Pinus sylvestris*) (13 %). Medtem ko v popisnih ploskvah zelenih površin – mestni park ($n = 24$ lesnih vrst) prevladujejo naslednje vrste: navadni gaber (*Carpinus betulus*) (23 %), hrast dob (*Quercus robur*) (11 %), poljski javor (*Acer campestre*) (9 %), divji kostanj (*Aesculus hippocastanum*) (8 %). Rezultati najpogostejših drevesnih vrst (GOLV) sovpadajo tudi s pogostostjo pojavljanja posamezne rastlinske vrste znotraj

popisnih ploskev, kar pomeni, da so vrste enakomerno razporejene v popisnih ploskvah (Preglednica 1). Izjema so zelene površine v mestnem parku, kjer se poljski javor (40 %) pojavi v več popisih kot hrast dob (25 %).

Preglednica 1: Najpogostejše vrste v vseh popisnih ploskvah (n = 94) in ločeno glede na tip zelene površine ter pogostost pojavljanja posamezne rastlinske vrste glede na število popisnih ploskev

Vse popisne ploskve (n = 94) (število popisov/ % popisov)	Mestni gozd (n = 73) (število popisov/ % popisov)	Mestni park (n = 20) (število popisov/ % popisov)
<i>Carpinus betulus</i> (71/76)	<i>Carpinus betulus</i> (58/79)	<i>Carpinus betulus</i> (12/60)
<i>Fagus sylvatica</i> (47/50)	<i>Fagus sylvatica</i> (45/62)	<i>Quercus robur</i> (5/25)
<i>Quercus robur</i> (47/50)	<i>Quercus robur</i> (42/57)	<i>Acer campestre</i> (8/40)
<i>Pinus sylvestris</i> (44/47)	<i>Pinus sylvestris</i> (41/56)	<i>Aesculus hippocastanum</i> (4/20)

3.2 Lastnosti zelenih površin

Raziskovana območja zajemajo skupno 302 ha urbane zelene površine. Od tega mestnim gozdovom pripada 272 ha in mestnim parkom 30 ha. Intenzivnost hlajenja je največja v mestnem gozdu Stražun (4,1 °C), sledita mestna gozdova Betnava (3,9 °C) in Fazanerija (2,0 °C). Zaporedje je (z nekaj izjemami – predvsem v mestu Ljutomer) praviloma premosorazmerno z velikostjo zelene površine. To trditev potrjujeta tudi kazalca obseg hlajenja (ObsegH) in stopnja hlajenja (StopnjaH) (Preglednica 2). Največji povprečni obseg hlajenja beležimo v Mestnem parku Maribor, ki je primerljiv z obema mestnima gozdovoma (Stražun in Betnava). Pri nobeni od obravnavanih urbanih zelenih površin nismo zabeležili večjega obsega hlajenja od skupne dolžine osmih 30-merskih pasov. V mestu Ljutomer dokaj majhne zelene površine kljub temu dosegajo visoko intenziteto hlajenja, ki v povprečju sega 180 m v urbano okolico. Največjo stopnjo hlajenja na 100 metrov beležimo v največjih dveh zelenih površinah (Stražun in Betnava) v Mariboru. Sledijo Mestni park Maribor, Mestni park Ljutomer in mestni gozd Fazanerija v Murski Soboti.

Preglednica 2: Tip zelenih površin ter intenzivnost, obseg in stopnja hlajenja

Tip zelene površine	Poligon	Površina (ha)	IntH (ΔLST v $^{\circ}C$)	ObsegH (m)	StopnjaH ($^{\circ}C/100$ m)
Mestni gozd	Maribor – Stražun	221,26	4,08	213,82	0,71
	Maribor – Betnava	30,54	3,91	221,67	0,70
	Murska Sobota – Fazanarija	20,18	2,01	145,71	0,36
Mestni park	Maribor – Mestni park	11,36	2,83	225,00	0,58
	Murska Sobota – Park	9,07	2,98	199,29	0,17
	Ljutomer – Park	3,13	2,90	180,00	0,41
	Ljutomer – Park Rudolf Maister	2,99	2,51	180,00	0,33
	Maribor – Magdalenski park	2,24	1,44	165,00	0,27
	Maribor – Trg Boris Kidrič	0,96	0,78	45,00	-0,31

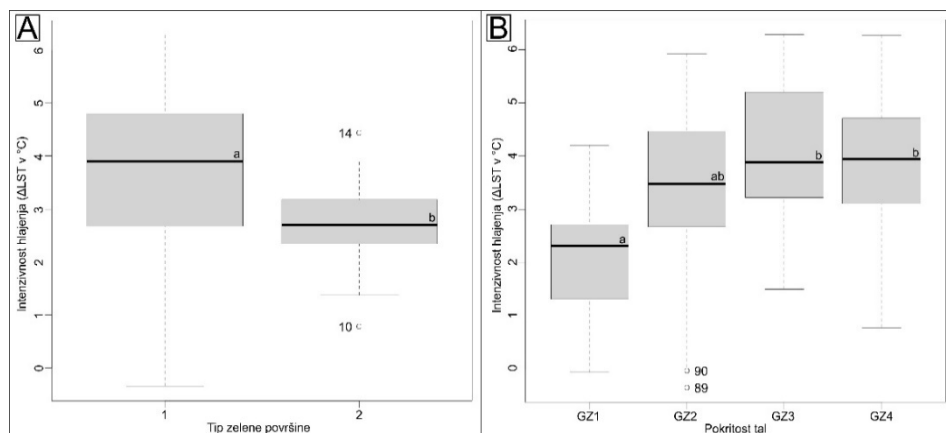
Na podlagi srednje vrednosti morfološko-funkcionalne poteze SLA se zelene površine ločijo po bodisi nižji CWM_SLA (Stražun – 14,95; Park Rudolfa Maistra – 14,95 in Magdalenski park – 12,98) ali višji CWM_SLA (Betnava – 21,52; Fazanarija – 21,26)). Nižje vrednosti so posledica prisotnosti vrst: jelke (*Abies alba*), malega jesena (*Fraxinus ornus*), rdečega bora (*Pinus sylvestris*), smreke (*Picea abies*) in kleka (*Thuja sp.*).

Glede na lokalne podnebne cone (tip zazidave) se v okolici mestnih gozdov največkrat pojavljajo odprte površine s srednje nizkimi stavbami (do 3 nadstropja) (TZ2) (43 %) in strnjene srednje visoke stavbe (3–9 nadstropij) (TZ3) (42 %). Ostale kategorije so zastopane v manj kot 10 %. Medtem ko mestni parki po večini mejijo na strnjene srednje visoke stavbe (35 %) (TZ3), jim sledijo odprte površine s srednje nizkimi stavbami (30 %) (TZ2) ter odprte površine s srednje visokimi stavbami (25 %) (TZ1).

3.3 Dejavniki intenzivnosti hlajenja

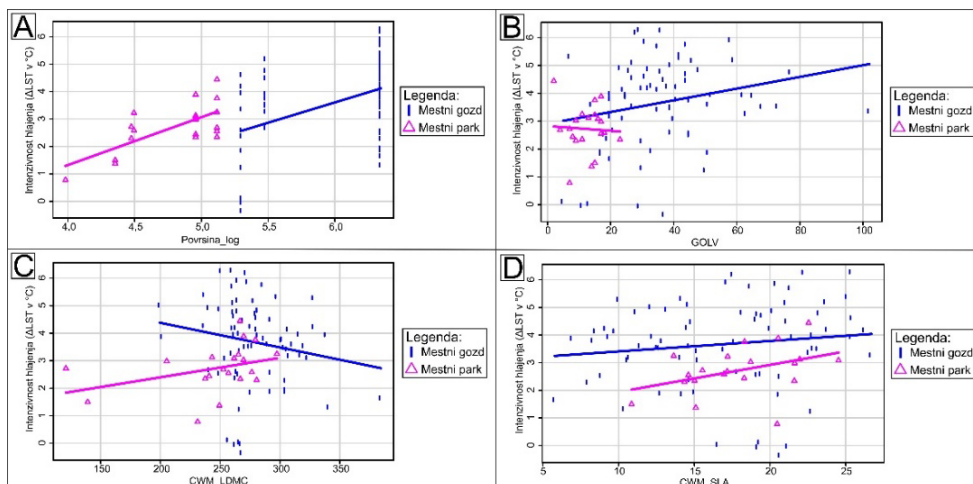
Intenzivnost hlajenja je značilno različna glede na tip zelenih površin (mestni gozd, mestni park) ($p > \alpha$; $\alpha = 0,05$). Večji hladilni učinek imajo mestni gozdovi. Hkrati je pomembno, kašna je okolica v neposredni bližini zelenih površin. V kolikor gre za zelene površine (gozd [GZ1], travnik [GZ2]), je učinek hlajenja manjši, v primeru golih ali asfaltnih površin (GZ3) ter mozaiku zelenic in golih ali asfaltnih površin

(GZ4) pa beležimo večji učinek hlajenja obravnavanih urbanih zelenih površin. Med kategorijam GZ1 in GZ2 ni značilnih razlik. Enako velja za kategoriji GZ3 in GZ4. So pa zaznavne značilne razlike med GZ1 in ostalimi kategorijami pokritosti tal po Stewartu in Okeju (2012) [36] (Slika 2).



Slika 2: Vpliv intenzivnosti hlajenja (IntH) glede na tip zelene površine (mestni gozd (1) in mestni park (2)) (A) ali pokritost tal (B). Pokritost tal: gozd (GZ1); zelenice/travniki (GZ2); gole ali asfaltne površine (GZ3); mozaik zelenic in golih ali asfaltnih površin (GZ4)

Faktor tip zelenih površin smo v nadaljevanju povezali tudi s preostalimi številskimi spremenljivkami (logaritem površine zelene površine, število/gostota vrst (GOLV), CWM_LDMC in CWM_SLA) s pomočjo razsevnih diagramov (Sliki 3A, B, C in D). Velikost zelene površine pozitivno vpliva na intenzivnost hlajenja ne glede na tip. Tudi večje število/gostota vrst v mestnih gozdovih pozitivno vpliva na intenzivnost hlajenja. Slednje ne velja v primeru mestnih parkov, kjer beležimo celo nekoliko večjo intenzivnost hlajenja pri nižjem številu/gostoti lesnih vrst. Razlike med obema tipoma zelenih površin so zaznavne tudi v zvezi CWM_LDMC-intenzivnost hlajenja. Pri parkovnih površinah je zveza pozitivna, pri mestnih gozdovih pa negativna. Tudi srednja vrednost specifične listne površine (CWM_SLA) vpliva na intenzivnost hlajenja pozitivno ne glede na tip zelene površine.



Slika 3: Razsevni diagrami intenzivnosti hlajenja (IntH) glede na prediktorske spremenljivke (površino, število/gostota vrst (GOLV), CWM_LDMC in CWM_SLA)

Ali predstavljene zveze (v kombinaciji z obema faktorjema (tip zelenih površin in pokritost tal)) značilno doprinesejo oziroma razlagajo intenzivnost hlajenja zelenih površin na raziskovanem območju smo preverili s posplošenim linearnim modelom. Številski povzetek slednjega v Preglednici 3 nakazuje, da na intenzivnost hlajenja značilno vpliva večina prediktorskih spremenljivk (površina (povrsina_log); število/gostota vrst (GOLV); CWM_SLA in CWM_LDMC; sestoj; pokritost tal (GZ)). Najbolj vpliva velikost zelene površine, CWM_SLA in tip zelene površine. Na intenzivnost hlajenja ne vplivata srednja vrednost vsebnosti suhe snovi v listih (CWM_LDMC) (sicer blizu mejno značilnemu vplivu, $p = 0,11$, $\alpha = 0,05$) in kategorija pokritosti tal – zelenice/travniki (GZ2) (Preglednica 3). Model tudi ob upoštevanju nelinearnih zvez med odvisno spremenljivko (IntH) in zveznimi prediktorji (GOLV, CWM_SLA in CWM_LDMC) ne daje boljših rezultatov (napredek v vrednosti AIC ob uporabi posplošenih aditivnih modelov je neznačilen).

Preglednica 3: Povzetek posplošenega linearnega modela z odvisno spremenljivko intenzivnost hlajena (IntH) ter neodvisnimi spremenljivkami (površina (površina_log); število/gostota vrst (GOLV); CWM_SLA in CWM_LDMC; tip zelene površina (TPZ); pokritost tal (GZf))

Model: glm(formula = IntH ~ površina_log +GOLV + CWM_SLA + CWM_LDMC + Sestoj_f + GZf, family = gaussian(identity), data = uhi)

Opisna statistika ostankov:

Minimum	1Q	Povprečje	3Q	Maksimum
-2,74	- 0,67	0,05	0,74	2,03

Koeficienti:

	Obeti	Std. napaka	t vrednost	Pr (> z)	
Ostanki	-10,08	2,12	-4,75	0,00	***
Površina_log	2,02	0,30	6,60	0,00	***
Število/gostota vrst	0,02	0,01	2,43	0,02	*
CWM_SLA	0,10	0,03	3,94	0,00	***
CWM_LDMC	-0,01	0,00	-1,61	0,11	
TPZ	1,69	0,49	3,42	0,00	***
GZ_2	0,39	0,39	1,02	0,32	
GZ_3	1,07	0,43	2,52	0,01	*
GZ_4	1,01	0,34	2,96	0,00	**

Signif. kode: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 '.''

4 Diskusija

Kljub dejstvu, da so v Sloveniji mesta sicer manjša, lahko razvijejo intenziven MTO [27], [28], [41]. Pri tem so raziskave spremljanja sezonskega režima pojava MTO v izbranih mestih (Maribor, Murska Sobota in Ljutomer) razkrile premik največje intenzivnosti tega atmosferskega pojava iz zimskega v poletno obdobje, kar je sicer značilnost (sub)mediteranskih mest [41]. Ker stroka izpostavlja predvsem vlogo modro-zelene infrastrukture (zelenih in vodnih površin), ki lahko delujejo kot blažilec lokalno povišanih temperaturnih razmer [42], [43], postaja tako tudi v Sloveniji načrtovanje razmerja med pozidanimi in modro-zelenimi površinami vedno bolj pomemben vidik pri urbanem prostorskem načrtovanju [44], [45].

Rezultati naše raziskave potrjujejo večstranski pozitiven učinek urbanih zelenih površin pri blaženju toplotnega stresa, ki je posledica vzajemnega delovanja MTO in posledic podnebnih sprememb. Na prvem mestu ugotovljamo, da imajo mestni gozdovi večji hladilni učinek od mestnih parkov, kar lahko v naši raziskavi povežemo z dejstvom, da obsegajo obravnavani mestni gozdovi v primerjavi s parki večje površine (Preglednica 2). Sicer pa pravilo večja zelena površina – večji hladilni učinek

ne velja povsod. Tako npr. avtorji Jaganmahon idr. (2016) [19] v Leipzigu (Nemčija) ugotavljajo, da to pravilo drži za mestne gozdove, ne pa za mestne parke. Interakcije na nivoju zelene površine-toplotni stres so namreč zelo kompleksne in vključujejo tudi dejavnike, kot je struktura zelene površine, tako zastopanost posameznih rastlinskih vrst in/ali posameznih funkcionalnih tipov rastlinskih vrst in njihove lastnosti, kot so morfološke, anatomske, ekofiziološke, fenološke inp. [25]. Analiza števila/gostote lesnih vrst v obeh tipih urbanih zelenih površin, ki smo jih zajeli v raziskavo, je pokazala značilne razlike. Sicer oba tipa zelenih površin, tako mestni gozdovi kot mestni parki predstavljajo habitate z gozdno vegetacijo, ki ima ohranjeno vrstno sestavo, tipično za nižinska hrastovo belogabrovja, gozdove z dominantnimi vrstami hrastom dob (*Quercus robur*) in belim gabrom (*Carpinus betulus*). Pri tem imajo pričakovano bolj naravne sestoje površine mestnih gozdov, kjer se lesne vrste pojavljajo z večjo frekvenco, medtem ko se v mestnih parkih pojavlja večje število neavtohtonih parkovnih vrst, kot so divji kostanj (*Aesculus hippocastanum*), platana (*Platanus sp.*), klek (*Thuja sp.*) ... Pokazalo se je, da se z večanjem števila/gostote vrst v mestnih gozdovih povečuje pozitiven vpliv na intenzivnost hlajenja. Število/gostota vrst povezujemo s stopnjo ohranjenosti ugodnega stanja teh pol naravnih gozdnih habitatov, ki so v osnovi bogati s številom vrst. Slednje ne velja v primeru mestnih parkov, kjer beležimo celo nekoliko večjo intenzivnost hlajenja pri nižjem številu/gostoti drevesnih vrst. Prav to dejstvo nas je motiviralo, da smo v raziskavo vključili tudi vidik primerjave vrste na funkcionalnem nivoju in pri tem skušali ugotoviti, ali bi se lahko izkazalo, da je pri načrtovanju zasaditev zelenih površin v vlogi blažitve toplotnega stresa pomembno upoštevati tudi morfološko-funkcionalni potezi, povezani z lastnostmi listov rastlin, to sta specifična listna površina (SLA) in vsebnost suhe snovi v listih (LDMC). Upoštevati moramo dva vidika, ki sta si lahko tudi nasprotna. Prvi je povezan s prilagoditvijo same rastlinske vrste na razmere povečanega toplotnega stresa. Specifična listna površina je indikator debeline listov (SLA, mm²/mg, je v negativni korelaciji z debelino lista), ki je pogosto zmanjšana ob sušnih razmerah [46]. Zmanjšanje SLA v sušnih pogojih je lahko posledica odziva fotosinteze in površine listov na sušo. Predvidevamo, da suša bolj vpliva na velikost listov kot na fotosintetsko učinkovitost. Prav tako ugotavljajo, da so nižje vrednosti CWM_SLA prilagoditev (v našem primeru Stražun – 14,95; Park Rudolfa Maistra – 14,95 in Magdalenski park – 12,98) rastlin na bolj racionalno izrabo vode, to pa zato, ker imajo debelejši listi običajno večjo gostoto klorofila in beljakovin na enoto listne površine. Posledično imajo večjo fotosintetično učinkovitost, kot tanjši listi [47]. V naši raziskavi je višje

vrednosti za SLA (vrednosti nad 20 mm²/mg) zavzel navadni gaber (*Carpinus betulus*), ki je hkrati tudi med najbolj pogostimi vrstami na naših raziskovanih zelenih površinah. Takšne značilnosti v zgradbi listov, tipične za vrste, ki se ne spopadajo s sušnim stresom so pričakovane, če upoštevamo, da so njegov naravni habitat gozdovi na svežih in zmerno vlažnih tleh, najdemo ga tudi na poplavnih tleh. Nasprotno so nižje vrednosti za SLA (pod 10 mm²/mg) pripadale jelki (*Abies alba*), malemu jesenu (*Fraxinus ornus*), rdečemu boru (*Pinus sylvestris*), smreki (*Picea abies*) in kleku (*Thuja* sp.), ki so vse vrste, tipične za habitate, v katerih rastline doživljajo sušni stres bodisi v zimskem bodisi v poletnem obdobju. Drugi vidik naše primerjave na nivoju MFP je v povezavi z intenzivnostjo hlajenja zelenih površin, kjer se je pokazala pozitivna korelacija med naraščanjem CWM_SLA in intenzivnostjo hlajenja ne glede na tip zelene površine. Rezultati so primerljivi z ugotovitvami avtorjev Rahman idr. (2020) o učinkovitejši evapotranspiraciji pri rastlinah z višjimi vrednostmi SLA, ki imajo tanjše liste enostavnejše oblike. Naša raziskava sugerira, da v kolikor in dokler na obravnavanih površinah in v mestih abiotiski dejavniki okolja še omogočajo uspevanje dreves, ki so prisotna tudi v naravnem okolju (beli gaber, navadna bukev), naj se v čim večjem deležu ohranjajo in dodatno sadijo v zelene površine, saj zvišujejo njihov hladilni učinek. Na drugi strani bo v prihodnje in v primeru, da bodo te drevesne vrste pričele propadati zaradi izpostavljenosti povečanemu temperaturnemu in sušnemu stresu, potrebno razmišljati o večjem deležu lesnih vrst, ki so bolj prilagojene. Zhu idr. (2020) [48] že poročajo o strategijah rastlin v urbanih okoljih, ki se na segrevanja prilagajajo z zmanjšanjem SLA, velikosti listnih rež, porusa v listni reži ter povečajo vsebnost klorofila, gostoto listnih rež in LDMC. Slednjo, vsebnost suhe snovi v listih, smo analizirali tudi v naši raziskavi. Rastline z višjimi vrednostmi LDMC so po zgradbi močnejše, kar pomeni, da so listi debelejši in z več sklerenhima, posledično so bolj prilagojene abiotiskim (npr. veter, suša) in biotskim dejavnikom [49]. LDMC vrednosti pogosto povežujemo s SLA, s katero je običajno v negativni korelaciji. To se je pokazalo tudi v našem primeru, ko smo ugotovili visoke vrednosti za LDMC (nad 200 mg/g) pri iglavcih, kot so jelka, rdeči bor in smreka. Medtem ko se vrste z nižjimi vrednostmi LDMC nahajajo v produktivnem in zelo motenem okolju [50]. Nižje vrednosti (pod 200 mg/g) imata bezeg in lipovec.

Intenzivnost hlajenja, ki smo jo ugotavljali, je značilno različna tudi glede na okolico v neposredni bližini zelenih površin oziroma od tipa pokritosti okolice zelene površine. Večja stopnja zazidave v neposredni bližini pomeni tudi večjo intenzivnost hlajenja, in tako smo največji učinek izmerili v primeru golih ali asfaltnih površin. Sicer so lastnosti samih zelenih površin pomembnejše od lastnosti neposredne okolice, kar sovpada z ugotovitvami Jaganmahon idr. (2016) [19].

Povzamemo lahko, da je podrobnejša analiza dejavnikov vpliva hladilnega učinka urbanih zelenih površin v naši raziskavi razkrila značilen vpliv: (1) velikosti zelene površine, (2) števila/gostote lesnih vrst in vezanih morfološko-funkcionalnih potez (predvsem SLA) (3), tipa zelene površine in pokritosti tal neposredne okolice. Pogostejši, intenzivnejši in dlje trajajoči vročinski valovi so nova realnost v vse toplejši atmosferi [51], [52]. Še več, po napovedih klimatologov se bomo v prihodnje soočali z bistveno večjo variabilnostjo ekstremnih vremenskih pojavov [1]. Ker sočasno narašča tudi število prebivalcev [53], ki so po večini vezani na urbane sisteme [53], ni presenetljivo, da so v naraščanju tudi raziskave na tematiko toplotne obremenitve urbanih okolij, kot jo obravnavamo v pričujoči študiji. Dobro umeščene zelene površine lahko razčlenijo sicer homogeno temperaturno polje nad pozidanimi površinami mest, še slasti ob nastopu vročinskih valov. Pri tem pa načrtovanje novih zelenih površin v strnjeni strukturi evropskih mest vsekakor ni enostavna naloga. Pri implementaciji slednjega je potrebno sodelovanje številnih strok in deležnikov s skupnim interesom, usmerjenim k zagotavljanju čim večje kakovosti bivalnega okolja in trajnostnega razvoja v urbanih sistemih.

Zahvale

Študijo so omogočili: Projekt »RAZVOJ RAZISKOVALNE INFRASTRUKTURE ZA MEDNARODNO KONKURENČNOST SLOVENSKEGA RRI PROSTORA – RI-SI-LifeWatch« (projekt sofinancirata Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport Republike Slovenije in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj), programska skupina P1-0403 (»Računsko intenzivni kompleksni sistemi«) in programska skupina P6-0372 (»Slovenska identiteta in kulturna zavest v jezikovno in etnično stičnih prostorih v preteklosti in sedanjosti«).

Literatura

- [1] IPCC, „AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis“, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Synthesis Report, 2021. Pridobljeno: 27. februar 2022. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- [2] J. Li, X. Wang, X. Wang, W. Ma, in H. Zhang, „Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai metropolitan area, China“, *Ecological Complexity*, let. 6, št. 4, Art. št. 4, 2009.
- [3] G. P. Kenny in A. D. Flouris, „The human thermoregulatory system and its response to thermal stress“, v *Protective clothing: managing thermal stress*, F. Wang in C. Gao, Ur. Elsevier, 2014, str. 319–365.
- [4] P. J. Landrigan *idr.*, „The Lancet Commission on pollution and health“, *The Lancet*, let. 391, št. 10119, Art. št. 10119, feb. 2018, doi: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0.
- [5] Y. Zhou, A. C. G. Varquez, in M. Kanda, „High-resolution global urban growth projection based on multiple applications of the SLEUTH urban growth model“, *Sci Data*, let. 6, št. 1, Art. št. 1, dec. 2019, doi: 10.1038/s41597-019-0048-z.
- [6] N. Čeplová, V. Kalusová, in Z. Lososová, „Effects of settlement size, urban heat island and habitat type on urban plant biodiversity“, *Landscape and Urban Planning*, let. 159, str. 15–22, 2017.
- [7] C. Heaviside, H. Macintyre, in S. Vardoulakis, „The urban heat island: implications for health in a changing environment“, *Curr. Environ. Health Rep.*, let. 4, št. 3, Art. št. 3, 2017.
- [8] S. A. Lowe, „An energy and mortality impact assessment of the urban heat island in the US“, *US Environ. Impact Assess. Rev.*, let. 56, str. 139–144, jan. 2016, doi: 10.1016/j.ciar.2015.10.004.
- [9] C. Heaviside, S. Vardoulakis, in X.-M. Cai, „Attribution of mortality to the urban heat island during heatwaves in the West Midlands, UK“, *Environmental health*, let. 15, št. 1, Art. št. 1, 2016, doi: <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0100-9>.
- [10] T. R. Oke, „The energetic basis of the urban heat island“, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, let. 108, str. 1–24, 1982.
- [11] N. B. Grimm *idr.*, „Global Change and the Ecology of Cities“, *Science*, let. 319, št. 5864, Art. št. 5864, feb. 2008, doi: 10.1126/science.1150195.
- [12] M. Roth, „Effects of cities on local climates“, Kitakyushu, Japan, 2002, let. 33, str. 23–25.
- [13] N. Shishegar, „The impact of green areas on mitigating urban heat island effect: A review“, *International journal of environmental sustainability*, let. 9, št. 1, Art. št. 1, 2014.
- [14] EEA (European Environment Agency), „Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies“, *EEA Report, No. 2/2012*, 2012.
- [15] G. Prokop, H. Jobstmann, in A. Schonbauer, „Overview of best practices for limiting soil sealing or mitigating its effects in EU-27“, Environment Agency Austria, 2011.
- [16] N. Frantzeskaki, „Seven lessons for planning nature-based solutions in cities“, *Environ. Sci. Policy*, let. 93, str. 101–111, mar. 2019, doi: 10.1016/j.envsci.2018.12.033.
- [17] M. Taleghani, „Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies-A review“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, let. 81, str. 2011–2018, 2018.
- [18] J. K. N. Tan, R. N. Belcher, H. T. W. Tan, S. Menz, in T. Schroepfer, „The urban heat island mitigation potential of vegetation depends on local surface type and shade“, *Urban Forestry & Urban Greening*, let. 62, str. 127128, 2021.
- [19] M. Jaganmohan, S. Knapp, C. M. Buchmann, in N. Schwarz, „The Bigger, the Better? The Influence of Urban Green Space Design on Cooling Effects for Residential Areas“, *J. Environ. Qual.*, let. 45, št. 1, Art. št. 1, jan. 2016, doi: 10.2134/jeq2015.01.0062.
- [20] X. D. Xiao, L. Dong, H. Yan, N. Yang, in Y. Xiong, „The influence of the spatial characteristics of urban green space on the urban heat island effect in Suzhou Industrial Park“, *Sustainable Cities and Society*, let. 40, str. 428–439, jul. 2018, doi: 10.1016/j.scs.2018.04.002.

- [21] N. Schwarz, U. Schlink, U. Franck, in K. Großmann, „Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators—An application for the city of Leipzig (Germany)“, *Ecol. Indic.*, let. 18, str. 693–704, 2012.
- [22] D. Richards, T. Fung, R. Belcher, in P. Edwards, „Differential air temperature cooling performance of urban vegetation types in the tropics“, *Urban For. Urban Green.*, let. 50, str. 126651, apr. 2020, doi: 10.1016/j.ufug.2020.126651.
- [23] R. Berry, S. J. Livesley, in L. Aye, „Tree canopy shade impacts on solar irradiance received by building walls and their surface temperature“, *Build. Environ.*, let. 69, str. 91–100, nov. 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.07.009.
- [24] L. Shashua-Bar, D. Pearlmutter, in E. Erell, „The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment: influence of trees and grass on outdoor thermal comfort“, *Int. J. Climatol.*, let. 31, št. 10, Art. št. 10, avg. 2011, doi: 10.1002/joc.2177.
- [25] Y.-H. Lin in K.-T. Tsai, „Screening of tree species for improving outdoor human thermal comfort in a Taiwanese city“, *Sustainability*, let. 9, št. 3, Art. št. 3, 2017.
- [26] M. J. Yates, G. Anthony Verboom, A. G. Rebelo, in M. D. Cramer, „Ecophysiological significance of leaf size variation in Proteaceae from the Cape Floristic Region: *Leaf size variation in Proteaceae*“, *Functional Ecology*, let. 24, št. 3, Art. št. 3, jun. 2010, doi: 10.1111/j.1365-2435.2009.01678.x.
- [27] D. Ivajnsič, M. Kaligarič, in I. Žiberna, „Geographically weighted regression of the urban heat island of a small city“, *Applied Geography*, let. 53, str. 341–353, sep. 2014, doi: 10.1016/j.apgeog.2014.07.001.
- [28] D. Ivajnsič in I. Žiberna, „The effect of weather patterns on winter small city urban heat islands“, *Meteorol Appl.*, let. 26, št. 2, Art. št. 2, 2019, doi: <https://doi.org/10.1002/met.1752>.
- [29] Medobčinski uradni vestnik, „Odlok o razglasitvi naravnih znamenitosti občine Maribor“. Medobčinski uradni vestnik, 1992.
- [30] B. Sever, *Pomurje A-Ž: priručnik za popotnika in poslovnega človeka*. Pomurska založba, 1993.
- [31] ESRI, „World Imagery“, 2022. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9> (pridobljeno 3. februar 2022).
- [32] M. Kleyer *idr.*, „The LEDA Traitbase: a database of life-history traits of the Northwest European flora“, *Journal of Ecology*, let. 96, št. 6, Art. št. 6, nov. 2008, doi: 10.1111/j.1365-2745.2008.01430.x.
- [33] ESRI, *ArcGIS Desktop: Release 10.8*. Redlands, Californija: Environmental Systems Research Institute, 2020.
- [34] USGS, „EarthExplorer“, 2022. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- [35] J. R. Eastman, *TerrSet*. Worcester: Clark University, 2020.
- [36] I. D. Stewart in T. R. Oke, „Local climate zones for urban temperature studies“, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, let. 93, št. 12, Art. št. 12, 2012.
- [37] H. Du, X. Song, H. Jiang, Z. Kan, Z. Wang, in Y. Cai, „Research on the cooling island effects of water body: A case study of Shanghai, China“, *Ecol. Indic.*, let. 67, str. 31–38, 2016.
- [38] L. Yan, W. Jia, in S. Zhao, „The Cooling Effect of Urban Green Spaces in Metacities: A Case Study of Beijing, China’s Capital“, *Remote Sensing*, let. 13, št. 22, Art. št. 22, nov. 2021, doi: 10.3390/rs13224601.
- [39] Microsoft, *Microsoft Office Excel*. Washington: Microsoft, 2016.
- [40] R Core Team, *R: A language and environment for statistical computing*. Dunaj, Avstrija: R Foundation for Statistical Computing, 2021. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.R-project.org>
- [41] I. Žiberna *idr.*, „The Impact of Climate Change on Urban Thermal Environment Dynamics“, *Atmosphere*, let. 12, št. 9, Art. št. 9, 2021.
- [42] R. Spronken-Smith in T. Oke, „The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates“, *Int. J. Remote Sens.*, let. 19, št. 11, str. 2085–2104, 1998.
- [43] H.-A. Choi, W.-K. Lee, in W.-H. Byun, „Determining the effect of green spaces on urban heat distribution using satellite imagery“, *Asian J. Atmos. Environ.*, let. 6, št. 2, str. 127–135, 2012.

- [44] H. Upmanis, I. Eliasson, in S. Lindqvist, „The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden)“, *Int. J. Climatol.*, let. 18, št. 6, str. 681–700, 1998.
- [45] G. L. Feyisa, K. Dons, in H. Meilby, „Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa“, *Landsch. Urban Plan.*, let. 123, str. 87–95, 2014.
- [46] L. F. M. Marcelis, E. Heuvelink, in J. Goudriaan, „Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review“, *Sci. Hort.*, let. 74, št. 1–2, Art. št. 1–2, 1998.
- [47] P. Q. Craufurd, T. R. Wheeler, R. H. Ellis, R. J. Summerfield, in J. H. Williams, „Effect of temperature and water deficit on water-use efficiency, carbon isotope discrimination, and specific leaf area in peanut“, *Crop Sci.*, let. 39, št. 1, Art. št. 1, 1999.
- [48] J. Zhu *idr.*, „Effect of simulated warming on leaf functional traits of urban greening plants“, *BMC Plant Biology*, let. 20, št. 1, Art. št. 1, dec. 2020, doi: 10.1186/s12870-020-02359-7.
- [49] S. Škornik in N. Pipenbaher, „Primerjava funkcionalnih potez dominantnih in podrejenih rastlinskih vrst v suhih travniških asociacijah Scabioso hladnikianae-Caricetum humilis v Sloveniji“, *Hladnikia*, let. 41, str. 26–41, 2018.
- [50] J. Cornelissen *idr.*, „A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide“, *Australian journal of Botany*, let. 51, št. 4, str. 335–380, 2003.
- [51] I. Žiberna, „Trendi vodne bilance v severovzhodni Sloveniji v obdobju 1961–2016“, *V: Geografije Podravja. Prostori. Univerzitetna založba. Univerza v Mariboru. Maribor*, 2017.
- [52] T. Pogačar, M. Zalar, in L. Kajfež Bogataj, „Vročinski valovi v povezavi z zdravjem in produktivnostjo“, *Univ. J. Math*, let. 30, str. 151–160, 2016.
- [53] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, „Population Division (2018). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, Online Edition“, 2018. <https://population.un.org/wup/Download/> (pridobljeno 15. februar 2021).