

UDK: UDK: 911.375.1(497.711)

DOI: 10.5379/urbani-izziv-2019-30-02-004

Prejeto: 17. 7. 2019

Sprejeto: 5. 10. 2019

Gordana KAPLAN

Presoja vloge zelenih in pozidanih površin pri zmanjševanju učinkov površinskega mestnega toplotnega otoka na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja

Hitra urbanizacija ima številne negativne vplive na okolje in zdravje ljudi ter pomembno prispeva h globalnemu segrevanju. Eden izmed teh vplivov so tudi mestni toplotni otoki, ki jih povzročata človekova dejavnost in so opredeljeni kot temperaturne razlike med mestnimi in okoliškimi območji. Zaradi hitre urbanizacije v zadnjih desetletjih se Skopje spoprijema z izjemno močnimi učinki mestnih toplotnih otokov. Za proučevanje vloge pozidanih in zelenih površin pri nastanku površinskega mestnega toplotnega otoka je avtorica uporabila satelitske podatke Landsat ETM+, na podlagi katerih je analizirala temperaturo tal, in posnetke satelita Planet Scope DOVE visoke ločljivosti, na podlagi katerih je analizirala pozidane in zelene površine. Za geostatistične analize je uporabila 17 naključno izbranih podobmočij v Skopju. Izsledki raziskave kažejo pomembno povezavo med mest-

nim toplotnim otokom in pozidanimi površinami ter močno povezavo med zelenimi površinami in območji, na katerih ni mestnega toplotnega otoka, kar kaže, da se lahko učinek mestnih toplotnih otokov pomembno zmanjša z dodatnimi zelenimi površinami. Eden izmed pomembnih izsledkov raziskave je, da idealno razmerje med deležem pozidanih in zelenih površin, pri katerem je učinek mestnega toplotnega otoka šibek, v nekaterih primerih pa ga celo ni, znaša 40 : 60. Nadaljnje raziskave bi se morale osredotočati še na druge dejavnike, ki lahko vplivajo na nastanek mestnega toplotnega otoka.

Ključne besede: površinski mestni toplotni otok, daljinsko zaznavanje, satelitski posnetki, urbanizacija, temperatura tal

1 Uvod

V zadnjih desetletjih je hitra rast prebivalstva povzročila intenzivno urbanizacijo v večjem delu sveta. Čeprav je urbanizacija za države v razvoju pozitivna, lahko negativno vpliva na okolje in zdravje ljudi, če ne poteka pravilno (Morefield idr., 2018). Eden izmed stranskih učinkov urbanizacije – poleg zgoščanja pozidave, večanja nepropustnih površin in pomanjkanja zelenih prostorov – je pojav mestnih toplotnih otokov (ang. *urban heat islands*, v nadaljevanju: UHI). Navedeni izraz je bil prvič uporabljen leta 1818 (Bristow idr., 2012). Od začetka 20. stoletja je bila jakost teh otokov proučena že na stotinah pozidanih območij po svetu (Stewart in Oke, 2009), navedeno področje pa ostaja eno najbolj raziskovanih področij urbane klimatologije (Souch in Grimmond, 2006). Toplotni otok je opredeljen kot pojav, pri katerem se zaradi človekove dejavnosti zviša temperatura na pozidanih mestnih območjih v primerjavi z okoliškimi podeželskimi območji (Kaplan idr., 2018). Glavni dejavnik, ki vpliva na višje temperature zraka in tal na mestnih območjih (zlasti v okolici cest ter trgovskih in industrijskih območij) v primerjavi s povprečnimi temperaturami na zelenih površinah in stanovanjskih območjih, je močnejše segrevanje mestnih območij zaradi sončnega sevanja (Santamouris idr., 2011; Leal Filho idr., 2018). Čeprav na pojav teh otokov vplivajo mnogi dejavniki, je nadomeščanje naravnih zelenih površin s površinami, ki vpijajo toploto, eden največjih vzrokov za njegov nastanek (Leal Filho idr., 2018). Glede na to, kako so nastali, kako jih merimo in blažimo ter kakšen vpliv imajo, ločimo atmosferske in površinske mestne toplotne otoke (Munn, 2002).

Atmosferski mestni toplotni otoki se nanašajo na razlike v temperaturi zraka med mestnimi in podeželskimi (zelenimi) območji, površinske mestne toplotne otoke (angl. *surface urban heat islands*, v nadaljevanju: SUHI) pa lahko opredelimo na podlagi temperature površja, in sicer njegovega celotnega 3D-ovoja (Fernando idr., 2001). SUHI se običajno pojavljajo tako podnevi kot ponoči, običajno pa so močnejši podnevi, ko sije sonce in se toplota kopiči v mestu. Ponoči pozidane površine to toploto oddajajo in ker so prvotne zelene površine zamenjali grajeni objekti, naravnega hlajenja ni več. Zaradi sprememb v jakosti sončnega sevanja in pokrovnosti tal se jakost UHI spreminja z letnimi časi, učinek SUHI je tako običajno najmočnejši poleti. Najpogostejša metoda določanja SUHI so posredna merjenja, na primer z daljinskim zaznavanjem.

Za kartiranje in spremljanje SUHI raziskovalci uporabljajo satelitske instrumente daljinskega zaznavanja, opremljene s termičnimi senzorji, kot so MODIS (Miao idr., 2009; Schwarz idr., 2011; Tomlinson idr., 2012), Landsat TM,

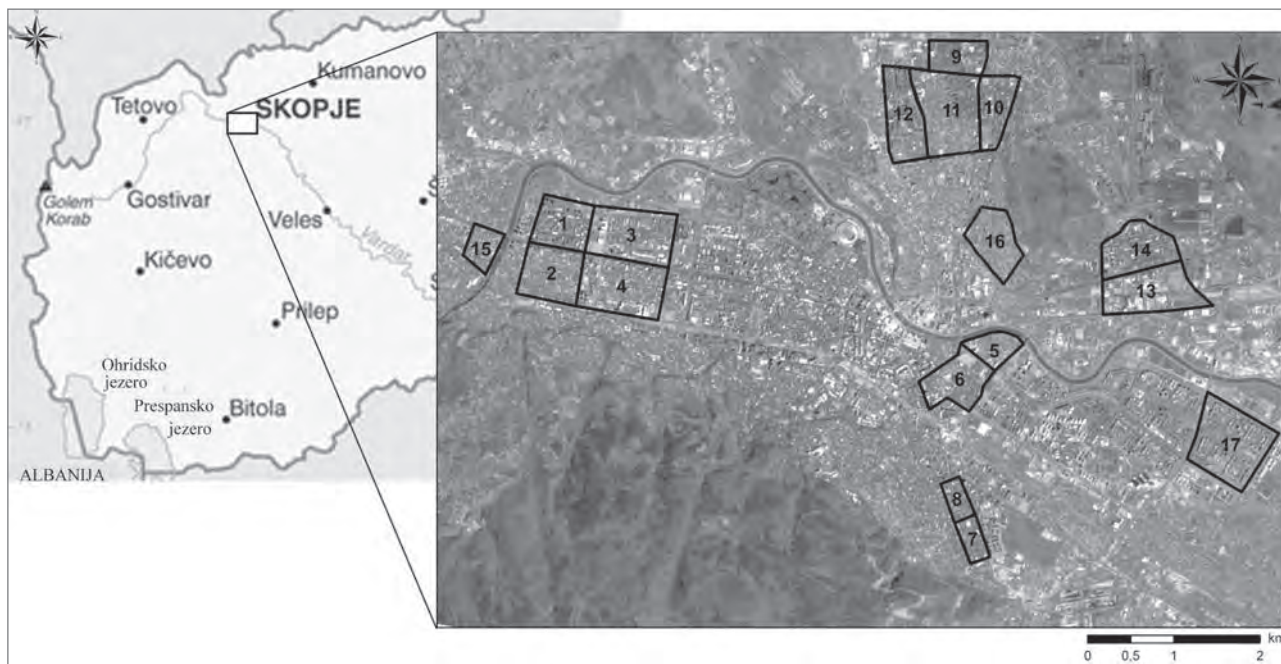
ETM+ in OLI/TIRS (Zha idr., 2003; Chen idr., 2006; Van der Hoeven in Wandl, 2018) ter ASTER (Liu in Zhang, 2011), ali kombinacijo vseh naštetih, kar je uporabno predvsem za analizo temperature tal (ang. *land surface temperature* ali LST). Za obsežna območja se uporabljajo senzorji nizke prostorske ločljivosti, kot je MODIS, za opazovanje posameznih mest ali manjših območij pa so primernejši senzorji srednje ločljivosti, kot sta Landsat in ASTER. Raziskave temperature tal in UHI so pokazale, da na temperaturo tal vpliva njihova pokrovnost (Owen idr., 1998), kar je spodbudilo proučevanje povezav med temperaturo in pokrovnostjo tal, zlasti prisotnostjo vegetacije (Gallo in Owen, 1999; Weng, 2001; Weng idr., 2004; Chen idr., 2006).

Pri proučevanju vloge pozidanih in zelenih površin pri nastanku SUHI na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja srednje in visoke prostorske ločljivosti se je avtorica osredotočila na naslednja raziskovalna vprašanja:

- V katerih predelih Skopje se pojavlja UHI?
- Kakšna je povezava med SUHI, pozidanimi območji in zelenimi površinami?
- Kakšno je idealno razmerje pozidanih in zelenih površin na posameznem podobmočju, ki preprečuje nastanek pojava SUHI?

2 Metodologija

Skopje je glavno mesto Severne Makedonije na Balkanskem polotoku. Država ima približno 2,1 milijona prebivalcev, od katerih jih več kot 800.000 živi v glavnem mestu. Skopje se je razvilo v dolini, in sicer od vzhoda proti zahodu vzdolž Vardarja, ki se izliva v Egejsko morje. Leži približno 245 m nad morjem in pokriva približno 572 km². Širjenje mesta omejujejo gorovja proti severu in jugu, zaradi česar se je razvilo vzdolž Vardarja in Serave, majhne reke, ki priteka s severa. V zadnjih treh desetletjih se je Skopje temeljito spremenilo, te spremembe so vplivale na urbanistične procese (Stefanovska in Koželj, 2012). V zadnjem stoletju, v katerem se je število prebivalcev v mestu povečalo za več kot desetkrat, družbene spremembe niso vplivale samo na načrtovalske procese, ampak tudi na grajeno tkivo mesta, ki se je zato preobrazilo na podlagi najrazličnejših dejavnikov. Skopje je eno izmed mnogih mest, ki so jih prizadele stranske posledice hitre urbanizacije. Temperaturne razlike med mestom in njegovo okolico so bile v okviru mestne strategije reševanja vplivov podnebnih sprememb proučevane na podlagi meteoroloških meritev in termičnega snemanja (City of Skopje, 2017). Izsledki meteoroloških meritev so pokazali, da temperaturne razlike med različnimi deli mesta znašajo do 5 °C, rezultati termičnega snemanja pa so razkrili, da je temperatura v mestnem središču za 12 °C višja kot na okoliškem podeželskem območju. Kaplan idr. (2018) so potr-



Slika 1: Območje in podobmočja raziskave v Skopju, posneta s senzorjem satelita DOVE (RGB, 4, 3, 2; izdelala: Gordana Kaplan)

dili prisotnost UHI v Skopju na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja, poleg tega so ugotovili povezavo med pozidanimi območji in UHI. Analiza meteoroloških podatkov med letoma 2009 in 2019 kaže tudi temeljite spremembe v temperaturi. Avgusta 2009 je bila najnižja izmerjena temperatura 14 °C, leta 2018 je narasla na 17 °C, leta 2019 pa že na 19 °C. Podobno je s povprečnimi in najvišjimi temperaturami, pri čemer je povprečna temperatura z 20 °C narasla na 30 °C, najvišja pa s 27 °C na 32 °C (WorldWeather, 2019).

Za analizo SUHI v Skopju je avtorica uporabila toplotni zemljevid, posneto s senzorjem Landsat ETM+ srednje prostorske ločljivosti, za določitev pozidanih in zelenih površin na proučevanih podobmočjih pa je uporabila podatke satelita Planet Scope DOVE. Na posnetkih satelita Landsat 7 se od leta 2003 pojavljajo napake zaradi okvarjenega korektorja snemalnih vrstic, pri čemer izgube podatkov ni samo v osrednjem delu posameznega posnetka (v velikosti približno 23 km). Ker ta del v celoti pokriva proučevano območje, dodatni popravki niso bili potrebni. Podatki satelita Planet Scope DOVE so bili pridobljeni s spletne strani družbe Planet, ki uporablja več kot 175 satelitov, ki snemajo večspektralne posnetke v štirih kanalih, pri čemer lahko na dan posnamejo več kot 300 milijonov kvadratnih kilometrov. Senzor, uporabljen v tej raziskavi, ima štiri večspektralne kanale (NIR in RGB) s prostorsko ločljivostjo 3 m. Pozidane in zelene površine na podobmočjih so bile iz podatkov visoke ločljivosti izluščene na podlagi normiranega diferencialnega vegetacijskega indeksa NDVI (enačba 1):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1),$$

pri čemer sta NIR in Red vrednosti odboja bližnje infrardeče in rdeče svetlobe.

Ker ima Skopje kombinacijo celinskega in submediteranskega podnebja, kar pomeni, da so temperature poleti visoke, so bili v raziskavi uporabljeni satelitski posnetki, posneti konec avgusta 2017.

Podatki satelita Landsat ETM+ in posnetki satelita Planet Scope DOVE so bili pridobljeni poleti (24. avgusta 2018), ko naj bi bil učinek SUHI najmočnejši. Za primerjavo temperatur tal in zraka so bili uporabljeni podatki o temperaturi zraka, ki so bili istega dne pridobljeni na več lokacijah v Skopju (slika 2). Kot je razvidno s slike 2, je najvišja temperatura zraka na isti dan, kot je območje preletel satelit, znašala približno 33 °C.

Kot že omenjeno, lahko učinek SUHI najbolj opazujemo s termičnimi satelitskimi senzorji in pridobljenimi podatki o temperaturi tal, ki se lahko izračuna iz termičnega kanala satelita Landsat. O tej temi je bilo objavljenih že več raziskav (Ekercin idr., 2016). V raziskavi, predstavljeni v tem članku, je avtorica uporabila algoritem, ki sta ga razvila Avdan in Jovanovska (2016), pri čemer ga je ustrezno prilagodila, da je lahko na podlagi podatkov satelita Landsat ETM+ izdelala zemljevid temperature tal. Pri tem je posodobila koeficiente termičnega kanala, ki so na voljo med metapodatki posameznega satelitskega posnetka.

$$K1_{kanal\ 6} = 666,09\ Wm^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1} \quad (2)$$

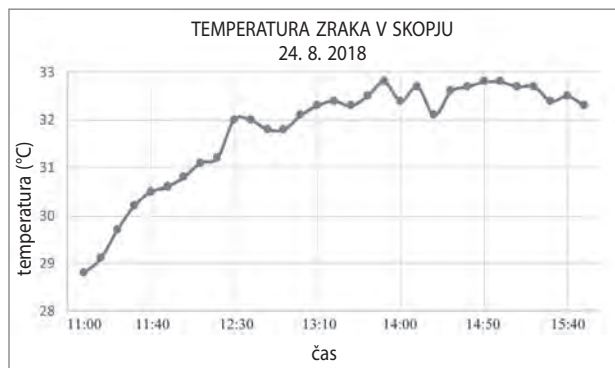
$$K2_{kanal\ 6} = 1,282,71\ K \quad (3)$$

Primerjava uporabljenih podatkov je temeljila na rezultatih za posamezna območja. Po oblikovanju zemljevida temperature tal je bil izdelan tudi zemljevid območij SUHI. Ker je SUHI opredeljen kot razlika v temperaturi podeželskih in mestnih območij, se lahko izračuna s preprostimi enačbami. Ma idr. (2010) so predlagali naslednjo enačbo za izračun SUHI, ki je bila uspešno uporabljena v mnogih raziskavah (Kaplan idr., 2018):

$$SUHI = \mu + \frac{\sigma}{2} \quad (4),$$

pri čemer je μ povprečna vrednost temperature tal na proučevanem območju, σ pa je standardni odklon temperature tal. Območja, ki imajo višje temperature kot območja SUHI, so območja, na katerih je opazen močan učinek UHI.

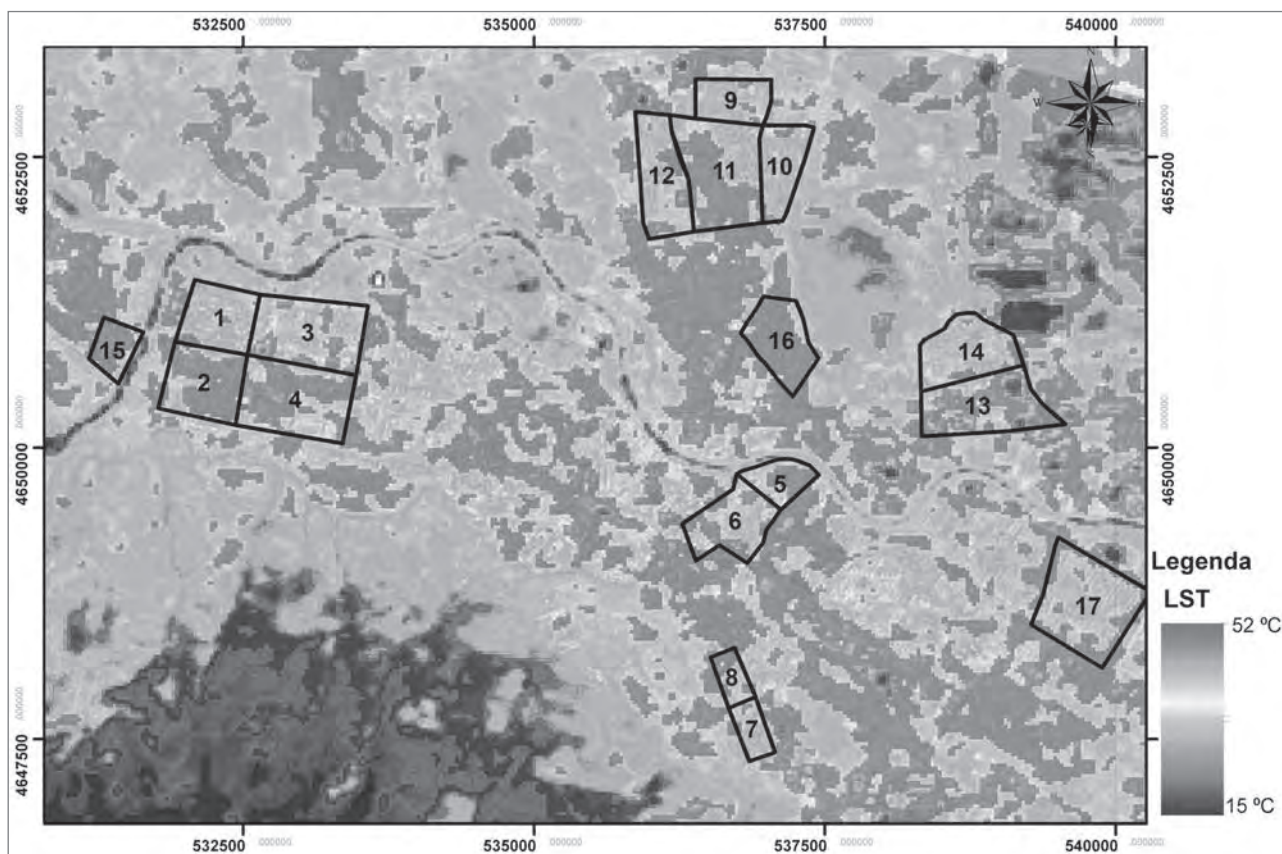
Nato je avtorica opravila statistično analizo območja SUHI ter pozidanih in zelenih območij na podlagi posnetkov, ki jih je prerazporedila v skladu z rezultati analiz temperatur tal in



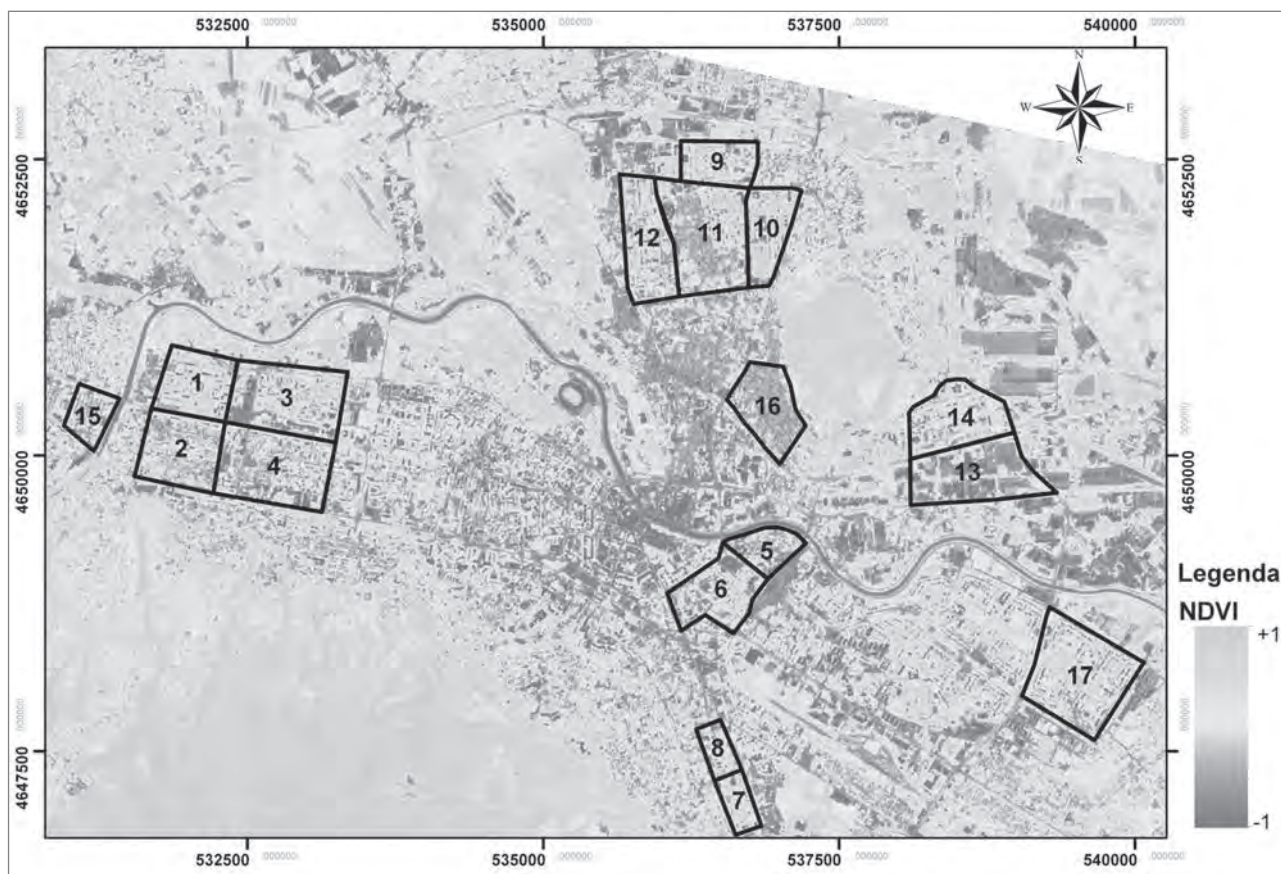
Slika 2: Temperatura zraka v Skopju 24. avgusta 2018 (izdelala: Gordana Kaplan)

Preglednica 1: Podrobnosti uporabljenih satelitskih podatkov

Podrobnost	Satelit		
	Landsat ETM+	Planet DOVE	Scope
Ločljivost	30 m	3 m	
Kanali	8	4	
Datum pridobitve	24. 8. 2018	24. 8. 2018	
Uporabljeni podatki	temperatura tal	NDVI	



Slika 3: Zemljevid temperature tal (LST) in učinka SUHI v Skopju, izdelana na podlagi podatkov satelita Landsat ETM+ (izdelala: Gordana Kaplan)



Slika 4: Zemljevid NDVI za Skopje (izdelala: Gordana Kaplan)

SUHI. Tako je na posnetku satelita Planet Scope DOVE (Planet Team, 2017) najprej določila zelene in pozidane površine, nato pa še temperaturo tal ter površino območij SUHI in območij, na katerih se UHI ne pojavlja, izraženo v kvadratnih metrih, ki jih je statistično in vizualno primerjala. Podrobnosti o podatkih so razvidne v preglednici 1.

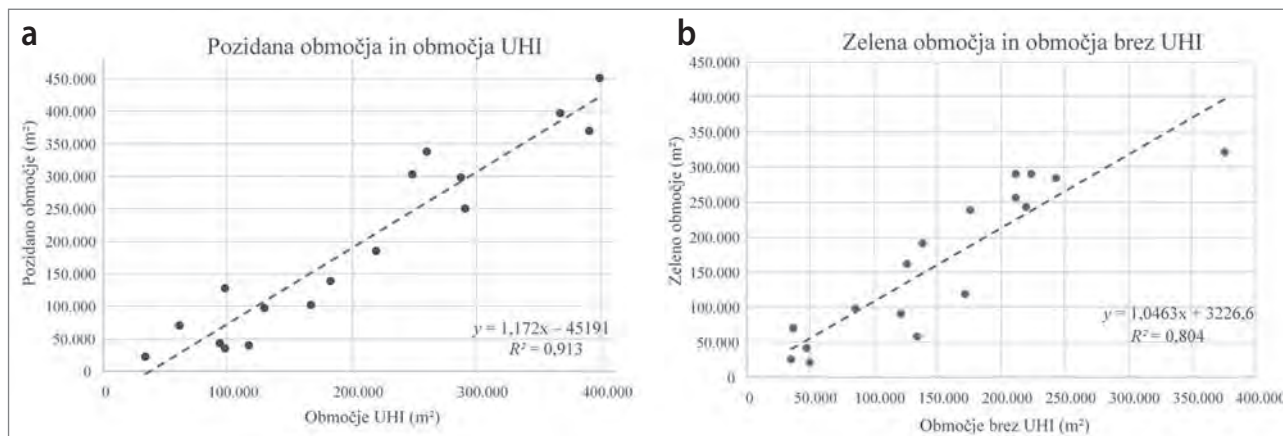
3 Izsledki in razprava

Podobno kot izsledki ene izmed prejšnjih raziskav je tudi ta raziskava potrdila prisotnost SUHI v več delih Skopja. Analize so pokazale, da se SUHI pojavlja na tistih območjih, na katerih je temperatura tal višja od 34 °C (slika 3). Učinek SUHI je običajno najmočnejši na gosto pozidanih območjih, kar potrjujejo tudi rezultati analiz NDVI, razvidni na sliki 4.

Za vsako podobmočje Skopja so bili določeni štiri parametri: pozidana in zelena območja, območja, na katerih se pojavlja SUHI, in območja, na katerih se ne pojavlja (Preglednica 2). Izsledki so pokazali pomembno povezavo med pozidanimi območji in SUHI ($r = 0,92$) ter močno povezavo med območji, poraslimi z drevesi, in območji, na katerih se SUHI ne pojavlja ($r = 0,95$). Koeficienta determinacije za omenjeni primerjavi sta tudi precej visoka in kažeta, da lahko več ko 84 % območij

Preglednica 2: Rezultati geostatističnih analiz (v %)

Id. št.	Pozidana območja	Zelena območja	SUHI
1	35,64	64,36	7,82
2	65,96	34,04	71,14
3	54,40	45,60	24,87
4	69,89	30,11	57,49
5	77,96	22,04	45,96
6	63,54	36,46	39,21
7	28,61	71,39	8,58
8	56,38	43,62	44,65
9	40,35	59,65	9,81
10	35,66	64,34	8,12
11	63,82	36,18	51,26
12	46,39	53,61	21,53
13	75,16	24,84	73,32
14	42,71	57,29	12,41
15	66,47	33,53	76,14
16	89,10	10,90	85,89
17	39,56	60,44	31,79



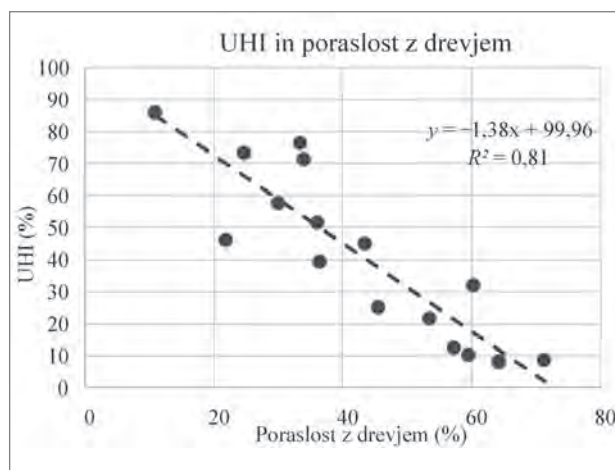
Slika 5: Povezava med pozidanimi območji in UHI (a) ter povezava med območji, poraslimi z drevesi, in območji brez UHI (b) (izdelala: Gordana Kaplan)

SUHI pojasnimo z linearno povezavo s pozidanimi površinami (slika 5), 90 % območij, na katerih se SUHI ne pojavlja, pa z linearno povezavo z območji, poraslimi z drevesi (slika 5).

Kot kažejo izsledki, je pojav UHI močno povezan s pozidanimi površinami v posamezni soseski. Zato je treba določiti idealno razmerje, pri katerem pozidane površine ne povzročajo pojavnosti UHI ali ga vsaj ublažijo. V ta namen so bili rezultati pretvorjeni v odstotke, na podlagi katerih so bile opravljene statistične analize. Na večini območij, na katerih je bil delež pozidanih površin večji od 40 %, je bil močan vpliv SUHI (slika 6). Vizualna primerjava pa je pokazala, da mora biti teh 40 % enakovredno porazdeljenih po območju, da je učinek SUHI še vedno močan.

Kot je razvidno s slike 6, sta pojav UHI in poraslost z drevjem obratno sorazmerna. To pomeni, da se pojav UHI zmanjšuje z večanjem zelenih površin. To velja za 81 % proučevanih območij, kar pomeni, da na pojav UHI vplivajo tudi drugi dejavniki. Kot je pokazala vizualna primerjava, je eden izmed teh dejavnikov gostota pozidanega območja. Podobnočiji 6 in 11 imata na primer približno enaka deleža pozidanih površin (tj. 63,5 oziroma 63,8 %), vendar je na podobnočju 11 zaradi goste pozidave približno 11 % več površin pod vplivom UHI. Najboljše rezultate so imela podobnočja 1, 7, 9 in 10, na katerih je bil delež površin, na katerih se pojavlja UHI, manjši od 10 %, delež pozidanih površin pa ni bil večji od 40 %.

Izsledki raziskave potrjujejo trenutno stanje v Skopju, kjer temperaturne razlike med mestom in njegovo okolico znašajo do 12 °C. Pojav UHI je razviden tudi iz meteoroloških podatkov za obdobje 2009 – 2019, v katerem se je povprečna temperatura povišala za 10 °C. Navedene spremembe so opazile tudi oblasti in od leta 2016 se to področje podrobno proučuje. Konec leta 2018 so oblasti na podlagi smernic ameriške agencije za varovanje okolja, ki je odgovorna za blaženje



Slika 6: Povezava med UHI in poraslostjo z drevjem (izdelala: Gordana Kaplan)

vplivov UHI v ZDA, objavile akcijski načrt za ublažitev učinkov UHI v Skopju. Glavne strategije zmanjševanja pojavnosti UHI vključujejo povečanje zelenih površin, ureditev zelenih streh, hladnih streh in hladnih tlakov ter uresničevanje načel pametne rasti. V okviru akcijskega načrta je poleg tega predvidena zasaditev milijon dreves. Izsledki predstavljene raziskave bi bili lahko uporabni za vnaprejšnje določanje območij za zasaditev dreves in ureditev drugih zelenih površin.

4 Sklep

V članku je avtorica na podlagi posnetkov satelita Landsat ETM+ proučevala pojav SUHI v Skopju ter analizirala vlogo pozidanih in zelenih površin pri jakosti učinka SUHI na podlagi posnetkov satelita Planet Scope DOVE visoke ločljivosti. Ker je bila prisotnosti UHI v Skopju že potrjena v eni izmed prejšnjih raziskav (Kaplan idr., 2018), je avtorica analizirala sedemnajst naključno izbranih podobnočij v mestu, na podlagi česar je iskala odgovore na več zastavljenih razis-

kovalnih vprašanj. Obravnavana podobmočja so se razlikovala po velikosti, lokaciji in učinku UHI. Da bi proučila povezavo med pozidanimi površinami, zelenimi območji in območji, na katerih se pojavlja UHI, je opravila več geostatističnih analiz. Izsledki raziskave kažejo, da se UHI pojavlja v več predelih Skopja.

Kot je bilo pričakovano, so rezultati analiz pokazali močno povezavo med pojavom SUHI in pozidanimi površinami ($R^2 = 84$), kar kaže, da so SUHI posledica človekove dejavnosti. Močna povezava obstaja tudi med zelenimi površinami in območji, na katerih se UHI ne pojavlja ($R^2 = 90$), kar kaže, da lahko poraslost z drevjem močno ublaži učinek UHI ali SUHI. Primerjava z meteorološkimi podatki, ki jih je istega dne zbral satelit, opremljen s termičnim senzorjem, je pokazala, da se SUHI pojavlja na območjih, na katerih je temperatura tal višja od izmerjene temperature zraka.

Izsledki raziskave kažejo, da se v 81 % primerov UHI v Skopju pojavljajo zaradi človekove dejavnosti ali pozidanih površin. Dodatni dejavnik, ki vpliva na pojav UHI, je gostota pozidanih in zelenih površin. Izsledki so pokazali še, da je idealno razmerje med pozidanimi in zelenimi površinami, ki preprečuje nastanek UHI ali močno ublaži njegov učinek, 40 : 60. Da bi se izognili nastanku UHI, morajo biti pozidane površine med seboj ločene in obdane z drevesi. Navedeni izsledki lahko urbanistom in okoljskim inženirjem pomagajo pri izbiri najustreznejših ukrepov blaženja učinkov UHI, ki so lahko škodljivi tako za okolje kot zdravje ljudi. V nadaljnjih raziskavah bi bilo treba proučiti še druge dejavnike, ki lahko vplivajo na nastanek UHI na pozidanih območjih, in določiti razmerje med zelenimi in pozidanimi površinami, ki omogoča blaženje učinka UHI, tudi na drugih proučevanih območjih.

.....
Gordana Kaplan

Eskisehir Technical University, Earth and Space Sciences Institute,
Eskisehir, Turčija
E-naslov: kaplangorde@gmail.com

Zahvala

Avtorica se zahvaljuje družbi Planet Labs, Inc., za visokoločljivostne posnetke Skopja (tj. posnetke satelita Planet Scope).

Viri in literatura

Avdan, U., in Jovanovska, G. (2016): Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016, Article ID 1480307. DOI: 10.1155/2016/1480307

Bristow, R. S., Blackie, R., in Brown, N. (2012): Parks and the urban heat island: A longitudinal study in Westfield, Massachusetts. V: Fisher, C. L., in Watts, C. E., Jr. (ur.): *Proceedings of the 2010 Northeastern Recreation Research Symposium. Gen. Tech. Rep. NRS-P-94*, str. 224–230. Newtown Square, PA, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. DOI: 10.1007/s10980-010-9515-9

Chen, X.-L., Zhao, H.-M., Li, P.-X., in Yin, Z.-Y. (2006): Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), str. 133–146. DOI: 10.1016/j.rse.2005.11.016

City of Skopje (2017): *Resilient Skopje, Climate change strategy report*. Skopje.

Ekerin, S., Orhan, O., in Dadaser-Celik, F. (2016): Investigating land surface temperature changes using Landsat-5 data and real-time infrared thermometer measurements at Konya closed basin in Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(1), str. 16–27. DOI: 10.26833/ijeg.417151

Fernando, H., Lee, S., Anderson, J., Princevac, M., Pardyjak, E., in Grosman-Clarke, S. (2001): Urban fluid mechanics: Air circulation and contaminant dispersion in cities. *Environmental Fluid Mechanics*, 1(1), str. 107–164. DOI: 10.1023/a:1011504001479

Gallo, K. P., in Owen, T. W. (1999): Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias. *Journal of Applied Meteorology*, 38(6), str. 806–813. DOI: 10.1175/1520-0450(1999)038<0806:sbaftu>2.0.co;2

Kaplan, G., Avdan, U., in Avdan, Z. Y. (2018): *Urban heat island analysis using the Landsat 8 satellite data: A case study in Skopje, Macedonia*. Skopje, Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings. DOI: 10.3390/ecrs-2-05171

Leal Filho, W., Icaza, L. E., Neht, A., Klavins, M., in Morgan, E. A. (2018): Coping with the impacts of urban heat islands. A literature based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. *Journal of Cleaner Production*, 171, str. 1140–1149. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.086

Liu, L., in Zhang, Y. (2011): Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), str. 1535–1552. DOI: 10.3390/rs3071535

Ma, Y., Kuang, Y., in Huang, N. (2010): Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(2), str. 110–118. DOI: 10.1016/j.jag.2009.12.002

Miao, S., Chen, F., LeMone, M. A., Tewari, M., Li, Q., in Wang, Y. (2009): An observational and modeling study of characteristics of urban heat island and boundary layer structures in Beijing. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(3), str. 484–501. DOI: 10.1175/2008jamc1909.1

Morefield, P., Fann, N., Grambsch, A., Raich, W., in Weaver, C. (2018): Heat-related health impacts under scenarios of climate and population change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), str. 2438. DOI: 10.3390/ijerph15112438

Munn, T. (2002): *Encyclopedia of global environmental change*. Chichester, VB, Wiley.

Owen, T., Carlson, T., in Gillies, R. (1998): An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing*, 19(9), str. 1663–1681. DOI: 10.1080/014311698215171

Planet Team (2017): *Planet application program interface: In space for life on Earth*. San Francisco, CA. Dostopno na: <https://api.planet.com> (sneto 21. 9. 2019).

Santamouris, M., Synnefa, A., in Karlessi, T. (2011): Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, 85(12), str. 3085–3102. DOI: 10.1016/j.solener.2010.12.023

Schwarz, N., Lautenbach, S., in Seppelt, R. (2011): Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), str. 3175–3186. DOI: 10.1016/j.rse.2011.07.003

Souch, C., in Grimmond, S. (2006): Applied climatology: Urban climate. *Progress in Physical Geography*, 30(2), str. 270–279. DOI: 10.1191/0309133306pp484pr

Stefanovska, J., in Koželj, J. (2012): Urban planning and transitional development issues: The case of Skopje, Macedonia. *Urbani izziv*, 23(1), str. 91–100. DOI: 10.5379/urbani-izziv-en-2012-23-01-002

Stewart, I., in Oke, T. (2009): *Newly developed "thermal climate zones" for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer*. Prispevek je bil predstavljen na konferenci z naslovom Eighth Symposium on Urban Environment, ki je potekala od 11. do 15. januarja v Phoenixu v Arizoni. Tipkopis.

Tomlinson, C., Chapman, L., Thornes, J., in Baker, C. (2012): Derivation of Birmingham's summer surface urban heat island from MODIS satellite images. *International Journal of Climatology*, 32(2), str. 214–224. DOI: 10.1002/joc.2261

Van der Hoeven, F., in Wandl, A. (2018): Hotterdam: Mapping the social, morphological, and land-use dimensions of the Rotterdam urban heat island. *Urbani izziv*, 29(1), str. 58–72. DOI: 10.5379/urbani-izziv-en-2018-29-01-001

Weng, Q. (2001): A remote sensing? GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, 22(10), str. 1999–2014. DOI: 10.1080/01431160152043676

Weng, Q., Lu, D., in Schubring, J. (2004): Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), str. 467–483. DOI: 10.1016/j.rse.2003.11.005

WorldWeather (2019): *Skopje monthly climate averages*. Dostopno na: <https://www.worldweatheronline.com/skopje-weather-averages/karpos/mk.aspx> (sneto 21. 9. 2019).

Zha, Y., Gao, J., in Ni, S. (2003): Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), str. 583–594. DOI: 10.1080/01431160304987