

# URBANA KLIMATOLOGIJA

## – PRIMJER TOPLINSKOG OTOKA GRADA ZAGREBA

STRUČNI ČLANAK

MATEJ ŽGELA

Urbana klimatologija znanstvena je disciplina klimatologije koja danas doživljava veliki razvoj, što je posljedica značenja koje gradovi imaju u suvremenom društvu. Kako su gradovi mjesta okupljanja velikog broja ljudi za njihovu optimalnu organizaciju potrebno je dobro poznavati sve elemente okoliša gradova, što uključuje i klimu. U ovom radu ukratko će se prikazati razvoj primijenjene klimatologije, njezino područje interesa, te neka obilježja klime gradova, od kojih je urbani toplinski otok najprepoznatljiviji. Provedena je i analiza toplinskog otoka grada Zagreba koristeći podatke devet mjernih postaja DHMZ-a i mreže Pljuska u razdoblju od 2013. do 2017. godine.

**Ključne riječi:** urbana klimatologija, toplinski otok, lokalne klimatske zone, Zagreb

### Uvod

Brzi procesi urbanizacije doveli su do porasta udjela gradskog stanovništva. Danas više od polovice stanovništva svijeta živi u gradovima. Ukupna površina gradova 2010. godine zauzimala je 3 629 312 milijuna km<sup>2</sup> tj. 2,44 % površine kopna, a na njoj je živjelo 51,45 % stanovništva svijeta (Svjetska banka, 2010). S obzirom na dosadašnje trendove porasta udjela gradskog stanovništva te urbanih površina može se pretpostaviti kako su danas navedeni udjeli još i veći. Tom porastu odgovara i sve veći interes za istraživanja urbane klimatologije, tj. istraživanja utjecaja koji urbana područja

imaju na klimu na svim razinama, od lokalne do globalne. Jednostavnije, gradovi modificiraju klimu područja gdje se nalaze. Modifikatorski utjecaj grada očituje se u promjenama intenziteta kratkovalne i dugovalne radijacije zbog aeropolucije; promjeni albeda podloge; izmjeni termičkih svojstava podloge izgradnjom zgrada, ulica i drugih urbanih objekata koji su zamijenili izvorna polja, šume i livade; manjem gubitku topline za evaporaciju vode; bržem uklanjanju snijega; oslobađanju velike količine topline zbog industrijskih postrojenja, velikog broja vozila, grijanja kućanstava itd. Tome treba dodati i utjecaj zgrada na brzinu vjetra, kao i brojne druge utjecaje (Šegota,

1986). Klimatski ekstremi i nagle promjene vremena mogu ugroziti veliki broj ljudi koji žive na relativno malom prostoru gradova te time izazvati veći broj žrtava, što dodatno stvara potrebu za istraživanjima u okviru urbane klimatologije.

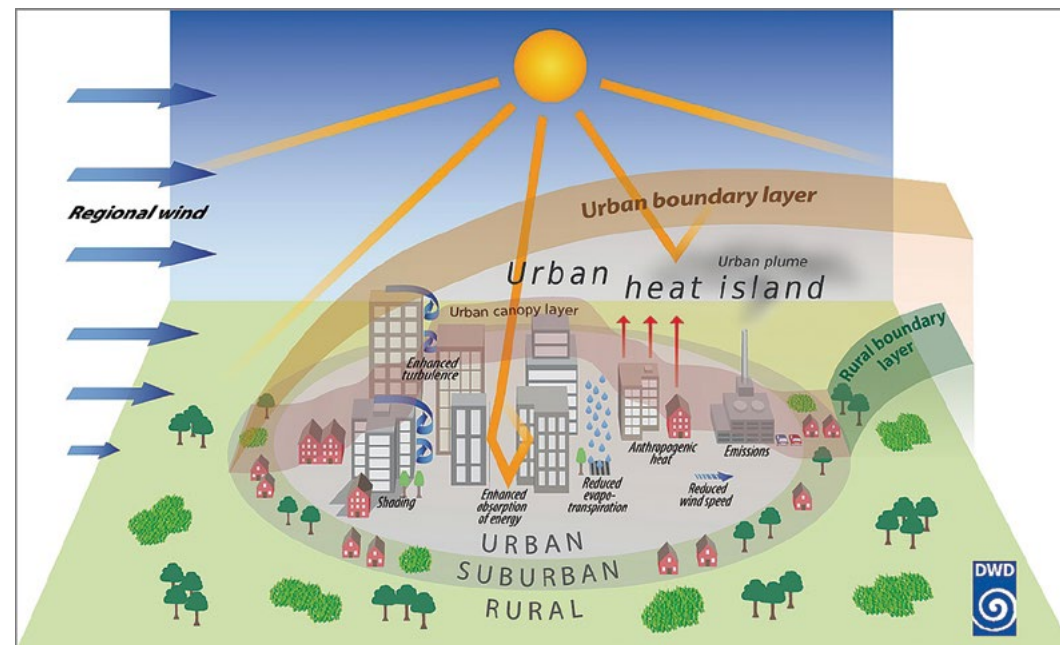
Prvo istraživanje za koje se smatra da pripada u područje urbane klimatologije veže se za Luke Howarda, koji je rezultate svojih istraživanja objavio u djelu *The Climate of London*, 1833. godine (Mills, 2014). On je 26 godina bilježio vrijednosti klimatskih elemenata na svojoj meteorološkoj postaji u ruralnoj okolini Londona te ih usporedio sa podacima *Royal Society-a* iz centra Londona. Iako je Howard vrlo rano dao temeljne pretpostavke urbane klimatologije, dolazi do stanke u istraživanjima sve do početka 20. stoljeća kada se gradovi koji u tom razdoblju intenzivno rastu počinju istraživati iz različitih aspekata. U tom razdoblju prevladavaju opisi utjecaja gradova na klimu područja gdje se nalaze. Poslije 2. svjetskog rata zbog postratne urbanizacije i ubrzane industrijalizacije izrazito raste broj istraživanja, koja su manje deskriptivna, a više se orijentiraju na kvantitativne i teorijske modele te imaju integrirani i interdisciplinarni pristup.

Danas je urbana klimatologija priznata disciplina klimatologije u kojoj prevladava interdisciplinarni pristup te je povezana s drugim disciplinama kao što su ekologija, znanosti o okolišu i meteorologija (Brazel i Quatrocchi, 2005). Prema Svjetskoj meteorološkoj organizaciji urbana klima je lokalna klima koja je modificirana pod utjecajem izgrađene površine, stoga se radi njezinog utjecaja na urbanu formu i funkcije javlja potreba za istraživanjem klima gradova.

## URBANI TOPLINSKI OTOK

Najočitija klimatska posljedica urbanizacije je viša temperatura zraka koja je prisutna u prostoru kao urbani toplinski otok (Landsberg, 1981). Prvi je put opisan u prvoj polovici 19. stoljeća kada ga je u Londonu zabilježio Luke Howard. Za njegovo je proučavanje bitna usporedba temperature zraka unutar grada s njegovom ruralnom okolicom (Balchin and Pye, 1947). Toplinski se otok pojavljuje u gotovo svim urbanim područjima, bez obzira na veličinu grada i tip klime (Stewart i Oke, 2012). Čimbenici postanka urbanih toplinskih otoka kompleksne su naravi, no glavni su uzrok razlike u zemljišnom pokrovu urbanih i ruralnih područja, kao i njihovim termičkim svojstvima, tj. u razlici materijala koji pokrivaju urbane površine naspram materijala koji pokrivaju prirodna područja. Kako se gradovi šire u okolne šume, travnjake i druge neizgrađene prostore tako je prirodni krajolik zamijenjen cestama, zgradama i drugim umjetnim površinama pa u nekim slučajevima vegetacijski pokrov i zelene površine potpuno nestaju. Također, materijali koji se koriste u izgradnji te same zgrade koje se izdižu visoko iznad površine tla apsorbiraju Sunčevu radijaciju, smanjuju evapotranspiraciju i pridonose povećavanju temperature te stvaranju urbanog toplinskog otoka (Rizwan i dr., 2008).

Još jedan vrlo značajan aspekt zagrijavanja jest antropogeni utjecaj (Oke, 1982). Mnoštvo ljudi na relativno maloj površini ispušta dodatnu toplinu i vlažnost te svojim aktivnostima stvara jači efekt urbanog toplinskog otoka, primjerice zagrijavanjem zgrada te ispuštanjem topline nastale radom vozila. Zbog svega navedenog, urbana područja čine svojevrstne otoke koji su okruženi hladnijom ruralnom okolicom (sl. 1). Gradske prometnice, pločnici i zgrade tijekom dana apsorbiraju Sunčevo zračenje pa



Sl. 1. Učinak toplinskog otoka grada

Izvor: [https://www.dwd.de/EN/research/climateenvironment/climate\\_impact/urbanism/urban\\_heat\\_island/urbanheatisland\\_node.html](https://www.dwd.de/EN/research/climateenvironment/climate_impact/urbanism/urban_heat_island/urbanheatisland_node.html)

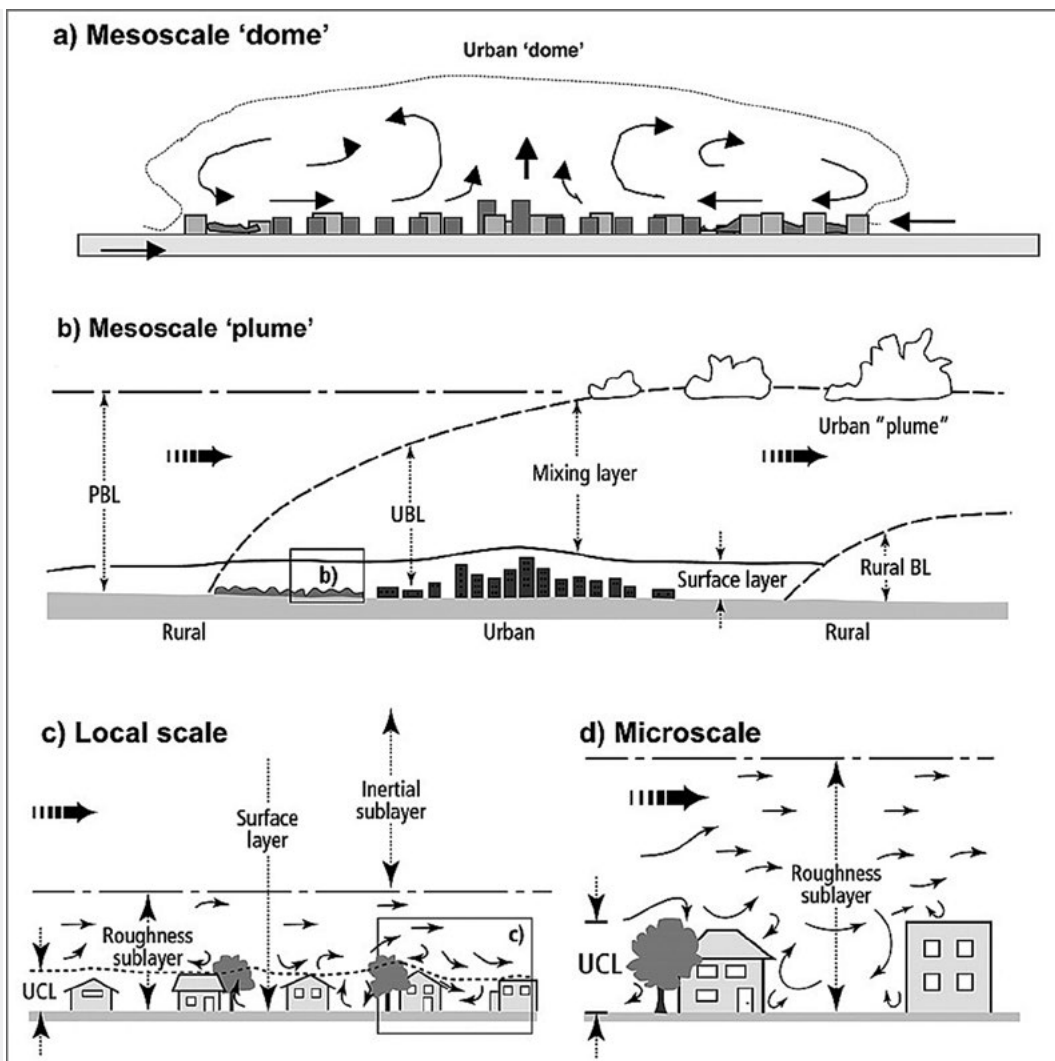
još dugo u noć ostaju topli i emitiraju toplinu. Zato je urbani toplinski otok najizraženiji u hladnom dijelu godine te noću.

Urbani toplinski otok može se promatrati kao jedan jedinstveni fenomen, ali on se očituje i na nižim vremenskim i prostornim razinama. Na najnižim razinama, pojedini automobili, drveća i kuće formiraju toplinske mikrootoke koji su izrazito dinamični te u kratkom vremenskom razdoblju mijenjaju toplinske uvjete. S druge strane, na najvišoj razini, veliki gradovi modificiraju regionalnu klimu i utječu na vrijednosti pojedinih klimatskih elemenata mnogo kilometara u svojoj zavjetrini (Oke, 1976).

Oke (1976) je definirao dva sloja atmosfere iznad grada s obzirom na utjecaj urbanog toplinskog otoka. To su: urbani granični sloj (eng. *urban boundary layer*) te sloj urbanog pokrivača (eng. *urban canopy layer*) (sl. 2). Sloj urbanog

pokrivača je sloj atmosfere ispod visine krova i krošnja drveća, dok se urbani granični sloj prostire iznad sloja urbanog pokrivača sve do visine na kojoj više ne postoji toplinski utjecaj grada. Načelno, veću važnost u istraživanjima ima sloj urbanog pokrivača jer je to onaj u kojemu čovjek živi i djeluje.

Klimatska obilježja urbanog graničnog sloja određena su obilježjima grada ispod njega tj. zbrojem svih lokalnih i mikroklimatskih uvjeta u sloju urbanog pokrivača iz kojeg se prenose aerosoli i dio topline u urbani granični sloj. Velika koncentracija aerosola uvjetuje veći udio reflektirane topline nazad prema gradu pa se samim time više topline zadržava neposredno iznad grada. Bitan je i utjecaj toplinskog otoka na obilježja okolice gradova. Takav utjecaj toplinskog otoka grada izražen je kao „perjanica“ (eng. *plume*) u višim slojevima atmosfere (sl. 2).



Sl. 2. Utjecaj grada na vertikalnu cirkulaciju zraka: (a) u uvjetima slabog strujanja zraka, (b) pri jakom strujanju zraka, (c) na lokalnoj razini i (d) na mikrorazini.

Izvor: Oke, 1997

## LOKALNE KLIMATSKE ZONE

Jedna od metoda koja opisuje toplinska obilježja pojedinih dijelova grada je klasifikacijski sustav lokalnih klimatskih zona. Principi klasifikacije oduvijek su problematični, a takav problem postojao je i s lokalnim klimatskim zonama gdje je manjkalo kvalitetnih ideja kako izdvojiti određene lokalne zone unutar gradova koje su nastale kao posljedica razlika u izgrađenosti pojedinih dijelova (zona) grada. Bitan je bio odabir parametara kojima bi se nakon kvantificiranja izdvojile određene zone sličnih klimatskih obilježja. U ranijim istraživanjima korištene su brojne klasifikacije (Chandler, 1965; Auer, 1978; Ellafsen, 1991; Oke, 2006), no danas je najraširenija i najdetaljnije opisana ona koju su predložili Oke i Stewart (2012). Njihova klasifikacija nastala je kao odgovor na probleme u metodama i komunikaciji između znanstvenika u istraživanjima toplinskih otoka. Ona daje operativne smjernice i preporučenu primjenu lokalnih klimatskih zona te opisuje fizička obilježja prema kojima se izdvajaju pojedini tipovi lokalnih klimatskih zona (tab. 1). Geometrijska obilježja odnose se na obilježja podloge određene


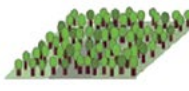

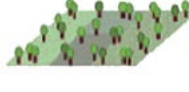


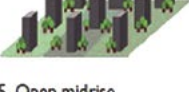


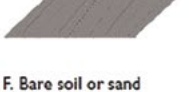
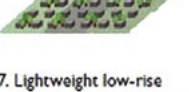
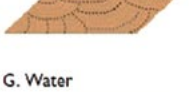
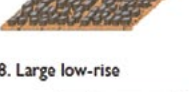

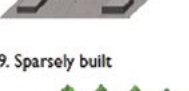

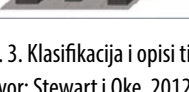
zone, a također se određuju termička i radijacijska obilježja lokalnih klimatskih zona. Jedna od najvažnijih prednosti ove klasifikacije njezina je jednostavnost te mogućnost primjene na bilo kojoj urbanoj površini u svijetu zbog velikog raspona parametara koji se mogu koristiti prilikom određivanja lokalnih klimatskih zona.

Naziv *lokalne klimatske zone* koristi se jer su tipovi zona unutar klasifikacije *lokalni* – prema prostornom obuhvatu, *klimatski* – prema obilježjima te *zonalni* – u prostornoj reprezentaciji. Lokalne klimatske zone su definirane kao područja homogene podloge, površinske strukture, građevnog materijala i ljudske aktivnosti koje se horizontalno protežu od nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara (Stewart i Oke, 2012). Ovom klasifikacijom određeno je sedam tipova prirodnog pokrova te deset tipova izgrađenog zemljišta (sl. 3). Oni su uglavnom pravilnog rasporeda, jednakih visina, istog zemljišnog pokrova i sl. Stoga nazivi odgovaraju morfološkoj strukturi pojedinih zona. Također, granice pojedinih lokalnih klimatskih zona mogu biti konkretne te se na zračnim snimkama gradova one u većini slučajeva mogu relativno jasno razgraničiti.

Tab. 1: Pokazatelji za tipologiju lokalnih klimatskih zona

TIP OBILJEŽJA	
Geometrijski, pokrov zemljišta	Termički, radijacijski
Faktor vidljivosti neba ( <i>sky view factor</i> )	Površinska apsorpcija topline
Površina zgrada	Površinski albedo
Prohodne površine	Antropogena emisija topline
Neprohodne površine	
Visina objekata na podlozi	
Neravnost terena	

Izvor: Stewart i Oke, 2012

Built types	Definition	Land cover types	Definition
 <p>1. Compact high-rise</p>	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>A. Dense trees</p>	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
 <p>2. Compact midrise</p>	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	 <p>B. Scattered trees</p>	Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
 <p>3. Compact low-rise</p>	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	 <p>C. Bush, scrub</p>	Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.
 <p>4. Open high-rise</p>	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>D. Low plants</p>	Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.
 <p>5. Open midrise</p>	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>E. Bare rock or paved</p>	Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.
 <p>6. Open low-rise</p>	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.	 <p>F. Bare soil or sand</p>	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.
 <p>7. Lightweight low-rise</p>	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).	 <p>G. Water</p>	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.
 <p>8. Large low-rise</p>	Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.	<b>VARIABLE LAND COVER PROPERTIES</b>	
 <p>9. Sparsely built</p>	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	<p>b. bare trees</p>	Leafless deciduous trees (e.g., winter). Increased sky view factor. Reduced albedo.
 <p>10. Heavy industry</p>	Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.	<p>s. snow cover</p>	Snow cover >10 cm in depth. Low admittance. High albedo.
		<p>d. dry ground</p>	Parched soil. Low admittance. Large Bowen ratio. Increased albedo.
		<p>w. wet ground</p>	Waterlogged soil. High admittance. Small Bowen ratio. Reduced albedo.

Sl. 3. Klasifikacija i opisi tipova lokalnih klimatskih zona  
Izvor: Stewart i Oke, 2012

## NEKA OBILJEŽJA TOPLINSKOG OTOKA GRADA ZAGREBA

Pri provedbi analize toplinskog otoka grada potrebno je voditi računa o mnogim faktorima. Primjerice, važno je kvalitetno odabrati mjerne postaje, pogotovo referentnu ruralnu postaju, provesti provjeru pouzdanosti korištenih nizova podataka, odraditi morfološku analizu okoline postaja, te na kraju jasno prezentirati dobivene rezultate.

Slijedi analiza nekih obilježja urbanog toplinskog otoka provedena na mjernim postajama grada Zagreba pri čemu su korišteni podacima o temperaturi Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) i Pljuska, amaterske mreže automatskih meteoroloških postaja.

### ODABIR POSTAJA I PODACI

Jedan od čestih problema koji se javlja pri istraživanju toplinskog otoka je nedovoljan broj službenih mjernih postaja na prostoru grada. Premda je za klimatološka istraživanja povoljnije imati duge nizove podataka, često se istraživanja toplinskog otoka provode i na temelju kraćih nizova podataka prikupljenih automatskim mjernim instrumentima, koji daju uvid u trenutno stanje u nekom kraćem razdoblju.

Za istraživanje toplinskog otoka potrebno je dobro poznavanje okoline samih mjernih postaja. Primjerice, homogeniji tip okoline mjerne postaje rezultat će pouzdanijim izlaznim podacima mjerenog klimatskog elementa za određeni dio grada. Za to vrlo dobro može poslužiti koncept lokalnih klimatskih zona, na čijem se području nalaze pojedine mjerne postaje. Najpovoljnije je kada se mjerna postaja nalazi u točno određenoj lokalnoj klimatskoj zoni, a ako to nije slučaj teže je analizirati utjecaj lokalnih klimatskih uvjeta na toplinski otok. Kako bi se provela pouzdanija analiza utjecaja lokalnih kli-

matkih uvjeta na toplinski otok grada, često se na odabranim lokacijama u gradu postavljaju automatski mjerni instrumenti. Za to je potrebno izdvojiti više financijskih sredstava, a i prikupljeni su nizovi podataka kraći. Iz tog su razloga u ovom radu kao dopuna službenih podataka DHMZ-a korišteni i podaci Pljuska.

Podaci o temperaturi dobiveni su s četiri postaje DHMZ-a (*Zagreb-Grič*, *Zagreb-Maksimir*, *Zagreb-Rim* i *Zagreb-aerodrom*) te pet postaja Pljuska (*Gornje Vrapče*, *Mlinovi*, *Ferenščica*, *Retkovec* i *Dugave*) u razdoblju od 2013. do 2017. godine. Kao što je prije navedeno, i u Zagrebu postoji problem prostorne raspodjele mjernih postaja na gradskom prostoru. Jedino se postaja *Zagreb-Grič* nalazi u samom centru grada, dok se ostale postaje DHMZ-a nalaze na rubu i izvan grada. Iz tog su razloga u analizu uključene i postaje iz mreže Pljuska, kao svojevrsna nadopuna mjernih postaja na gradskom području, ali i u različitim oblicima lokalnih klimatskih zona.

### STATISTIČKI POKAZATELJI

Pri provjeri podataka prikupljenih na mjernim postajama korištene su osnovne metode statističke obrade temperaturnih nizova. Pažnja je posvećena pouzdanosti dobivenih podataka za istraživanje koje se provodi. Naime, postaje DHMZ-a temperaturu mjere prema uputama *Svjetske meteorološke organizacije*, dok se kod mjernih postaja Pljuska mogu očekivati manja ili veća odstupanja od tih načela. Stoga je potrebno provesti statističku provjeru pouzdanosti nizova podataka, koja se u ovom slučaju provela usporedbom osnovnih statističkih pokazatelja nizova podataka (tab. 2). Vrijednosti standardne devijacije ne odstupaju značajno jedna od drugih, kako kod postaja DHMZ-a, tako i kod Pljuska.

Vrijednosti koeficijenta varijacije kod postaja DHMZ-a kreću se od 43 do 51 %, dok se

Tab. 2. Osnovni statistički pokazatelji srednjih mjesečnih temperature za odabrane postaje u razdoblju od 2013. do 2017. godine.

Postaja	Medijan	Minimum	Maksimum	Srednja amplituda	Srednja temperatura	Varijanca	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije
Dugave	18,7	-3,7	36,6	40,3	18,3	72,57	8,52	0,47
Gornje Vrapče	18,0	-4,1	34,0	38,1	17,7	74,11	8,61	0,49
Retkovec	17,1	-4,4	32,8	37,2	17,2	66,03	8,13	0,47
Ferenščica	18,4	-3,4	34,1	37,5	17,7	70,09	8,37	0,47
Mlinovi	17,5	-3,7	32,6	36,3	17,2	61,07	7,81	0,45
Zagreb-Grič	18,1	-3,0	33,8	36,8	17,9	60,20	7,76	0,43
Zagreb-Maksimir	16,9	-4,3	32,1	36,4	16,6	64,45	8,03	0,48
Zagreb-Rim	17,4	-4,1	32,6	36,7	16,9	60,41	7,77	0,46
Zagreb-aerodrom	16,5	-5,2	32,8	38	16,2	68,81	8,30	0,51

kod Pljuska kreću od 45 do 49 % te su relativno slični za sve nizove, što ukazuje da su korišteni podaci dovoljno pouzdani za daljnju analizu. Usporedbom dobivenih rezultata statističke analize i prostorne raspodjele mjernih postaja može se zaključiti kako mjerne postaje u gušće izgrađenim dijelovima grada imaju više vrijednosti srednje temperature od postaja na rubu grada. Primjerice postaja *Zagreb-Grič* smještena je u središtu grada i ima visoke srednje temperature, dok postaja *Zagreb-aerodrom* kao mjerena postaja najudaljenija od središta grada ima najniže vrijednosti srednje temperature (tab. 2).

Analiza svih osnovnih statističkih pokazatelja potvrdila je pouzdanost korištenih podataka koji nemaju neočekivane vrijednosti te se izmjerene vrijednosti temperature na svim postajama mogu koristiti za daljnju analizu. Prvenstveno to vrijedni za podatke postaje Pljuska u odnosu na mjerenja na postajama DHMZ-a.

#### INTENZITET URBANOG TOPLINSKOG OTOKA GRADA ZAGREBA

Kao jedna od metoda analize toplinskog otoka grada upotrebljava se intenzitet urbanog toplinskog otoka. On se određuje usporedbom temperature zraka u gradu i njegovoj ruralnoj okolini (Stewart i Oke, 2012). Pretpostavka je kako će zimi i noću utjecaj urbanog toplinskog otoka biti izraženiji.

Za postaju na osnovu koje će se odrediti intenzitet toplinskog otoka odabrana je postaja *Zagreb-aerodrom*. U odnosu na ostale postaje okolina ove postaje ima najviše ruralnih obilježja. Intenzitet toplinskog otoka određen je tako što su od temperature mjernih postaja na području grada oduzimate temperature mjerne postaje *Zagreb-aerodrom*. Te razlike određene su za srednje zimske, srednje ljetne, srednje siječanjske i srednje godišnje temperature. Osim

Tab. 3. Intenzitet urbanog toplinskog otoka mjernih postaja zimi, ljeti, u siječnju te srednjih godišnjih vrijednosti za razdoblje od 2013. do 2017.

Postaja	Zima (°C)	Ljeto (°C)	Siječanj (°C)	Srednje godišnje (°C)
Dugave	1,5	2,8	1,5	2,1
Gornje Vrapče	0,9	1,9	1,1	1,5
Retkovec	0,8	0,9	0,9	1,0
Ferenščica	1,2	1,6	1,3	1,5
Mlinovi	1,5	0,1	2,0	1,1
Zagreb-Grič	2,0	1,2	2,1	1,7
Zagreb-Maksimir	0,6	0,0	0,6	0,4
Zagreb-Rim	1,0	0,1	1,0	0,7

toga, bilo bi dobro promatrati razlike minimalnih temperatura, ali kako one nisu mjerene na postajama *Pljuska* to nije bilo moguće učiniti.

Analiza intenziteta urbanog toplinskog otoka pokazala je da je on u Zagrebu najizraženiji tijekom zimskih mjeseci te u siječnju (tab. 3), što odgovara početnoj pretpostavci. Intenzitet toplinskog otoka zimi i u siječnju najviši je u oba slučaja za postaju *Zagreb-Grič*. Tada je razlika u srednjoj sezonskoj, odnosno srednjoj mjesečnoj

#### ZAKLJUČAK

Urbana klimatologija danas je dobro razvijena disciplina klimatologije te je broj istraživanja klima gradova u porastu. S obzirom na porast broja gradskog stanovništva i sve veće značenje gradova u suvremenom društvu zanimanje za klimu gradova će rasti. U budućnosti istraživanja unutar urbane klimatologije trebala bi pomoći u predlaganju pametnih rješenja za ublažavanje posljedica koje toplinski otoci imaju na stanovništvo gradova, poput izrazito visokih ljetnih temperatura.

temperaturi 2,0 °C, odnosno 2,1 °C. Postaje poput *Zagreb-Maksimira* i *Retkovca* imaju najmanji intenzitet toplinskog otoka, što još jednom potvrđuje da lokalni klimatski uvjeti utječu na niže temperature ovih postaja. Postaja *Gornje Vrapče* se također ističe nižom vrijednosti intenziteta. Postaja *Mlinovi* ima visoku vrijednost intenziteta u odnosu na druge postaje, što se očituje u nešto višim zimskim temperaturama. To se može povezati s lokalnim uvjetima te postaje poput prisojne orijentacije padine te činjenicom da se postaja nalazi na višoj nadmorskoj visini od ostalih. Naime, zimi je na višim nadmorskim visinama vedrije nego u dolini, u ovom slučaju, rijeke Save. Ako se to uspoređi s temperaturama postaja *Gornje Vrapče* i *Zagreb-Rim*, koje su smještene u morfološki sličnim zonama, postoji mogućnost da na postaju *Mlinovi* utječe i neki drugi faktor zbog koga su zimske temperature u toj postaji više nego što se očekivalo.

Prema klasifikaciji koju su predložili Stewart i Oke (2012) mjernim su postajama dodijeljene pripadajuće lokalne klimatske zone (sl. 3). Njihovi nazivi bit će na engleskom jeziku jer u hrvatskom jeziku ne postoje opće prihvaćeni stručni termini za pojedine tipove lokalnih klimatskih zona. *Sparingly built* tipu lokalnih klimatskih zona pripadaju mjerne postaje *Gornje Vrapče*, *Mlinovi* i *Zagreb-Rim*. *Low plants* tipu pripadaju postaje *Zagreb-Maksimir* i *Zagreb-aerodrom*. *Dugave* pripadaju *Open midrise* tipu, a *Retkovec* *Open lowrise*. *Large lowrise* tip pripada *Ferenščici*, dok je *Zagreb-Grič* jedina postaja *Compact midrise* tipa.

Unatoč malom broju službenih mjernih postaja na gradskom području, kratka analiza toplinskih obilježja grada Zagreba potvrdila je postojanje toplinskog otoka u gradu Zagrebu, koristeći se postajama DHMZ-a te mreže Pljuska. Mreža Pljusak pokazala se kao relativno dobar izvor temperaturnih podataka te kao dobra nadopuna službenih mjerenja pri analizi toplinskih obilježja grada Zagreba. Intenzitet toplinskog otoka grada Zagreba pokazao se najizraženijim tijekom zimskih mjeseci, a najmanje tijekom ljetnih. Najhladnija postaja je *Zagreb-aerodrom* sa srednjom godišnjom temperaturom od 16,2 °C, a najtoplije postaje su *Dugave* i *Zagreb-Grič* s 18,3, odnosno 17,9 °C.

Ovom analizom dokazan je termički utjecaj grada Zagreba. Srednje siječanjske temperature izmjerene na postaji *Zagreb-Grič* za više od 2 °C veće od temperatura izmjerenih na postaji *Zagreb-aerodrom*. Daljnja istraživanja su nužna kako bi se detaljnije analizirao toplinski otok grada Zagreba. Potrebno je prezentirati problem u široj znanstvenoj javnosti te potaknuti potrebu za multidisciplinarnošću koja je vrlo bitna za nalaženje rješenja koja bi pomogla ublažavanju toplinskog otoka grada.

## LITERATURA

- BALCHIN, W. G. V., PYE, N., 1947: A Micro-Climatological Investigation Of Bath And The Surrounding District, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 73 (1), 297–323.
- BRAZEL, J. A., QUATROCCHI D., 2005: Urban Climatology, u: *Encyclopedia Of World Climatology*, (ur. Oliver, J. E.), Springer, Dordrecht, 766-779.
- LANDSBERG, H. E., 1981: The Urban Climate, *International Geophysics Series*, University of Maryland, Academic Press Inc., New York
- MILLS, G., 2014: Urban Climate: History, Status And Prospects, *Urban Climate* 10 (3), 479-489.
- OKE, T. R., 1976: The Distinction between Canopy and Boundary Layer Urban Heat Islands, *Atmosphere* 14 (4), 268-277.
- OKE, T. R., 1982: Energetic Basis Of Urban Heat Island, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 108 (455), 1-24.
- OKE, T. R., 1997: Urban Environments, u: *The Surface Climates of Canada* (ur. Bailey, W. G., Oke, T. R. i Rouse, W. R.), McGill-Queen's University Press, Montreal, 303-327.
- RIZWAN, A. M., LEUNG, Y. C., LIU, C. A., 2008: Review on the Generation, Determination and Mitigation of Urban Heat Island, *Journal of Environmental Sciences* 20 (1), 120–128.
- STEWART, I. D., Oke, T. R., 2012: Local Climate Zones For Urban Temperature Studies, *Bulletin Of The American Meteorological Society* 93 (1), 1879–1900.
- ŠEGOTA, T., 1986: Srednja temperatura zraka u Zagrebu, *Geografski glasnik* 48 (1), 13-24.

## IZVORI

Svjetska banka - urbana populacija: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS> (1.3.2019.)

Svjetska banka - urbana površina: <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.TOTL.UR.K2> (1.3.2019.)



PRIMLJENO: 4. 3. 2019.

PRIHVACENO: 4. 4. 2019.

MATEJ ŽGELA, univ.bacc.geogr.  
V. Nazora 15, 10370 Dugo Selo, Hrvatska, e-mail: [matej.zgela@student.geog.pmf.hr](mailto:matej.zgela@student.geog.pmf.hr)