Neka toplinska obilježja lokalnih klimatskih zona grada Zagreba

Žgela, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:759703

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Geografski odsjek

Matej Žgela

Neka toplinska obilježja lokalnih klimatskih zona grada Zagreba

Prvostupnički rad

-

Mentor: doc.dr.sc. Mladen Maradin

Ocjena:_____

Potpis:_____

Zagreb, 2018.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Prvostupnički rad

Neka toplinska obilježja lokalnih klimatskih zona grada Zagreba

Matej Žgela

Izvadak: Urbana klimatologija brzo je rastuće polje znanosti, a analize klima gradova daju najkvalitetnije dokaze o ljudskim aktivnostima koji utječu na klimu. Bitno je poznavati klime gradova kao mjesta okupljanja velikog broja stanovnika na maloj površini. Na primjeru Zagreba proučavana su toplinska i morfološka obilježja devet odabranih mjernih postaja DHMZ-a i mreže Pljuska. Analizirane su temperature u 7, 14 i 21 sat u petogodišnjem razdoblju od 2013. do 2017. Temeljem analize mjerne postaje su pridružene odgovarajućim tipovima lokalnih klimatskih zona.

33 stranica, 10 grafičkih priloga, 6 tablica, 20 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: urbana klimatologija, lokalne klimatske zone, temperature, Zagreb

Voditelj: doc. dr. sc. Mladen Maradin

Tema prihvaćena: 10. 5. 2018.

Datum obrane: 7. 9. 2018.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Undergraduate Thesis

Some heat features of local climate zones in the city of Zagreb

Matej Žgela

Abstract: Urban climatology is a growing field of science, and cities climate analysis are giving the best proofs about human activities which impact the climate. It is important to research climates of the cities as an areas with a large number of people on a small surface. On example of Zagreb, heat and morfological features were observed on nine selected measurment sites of CMHS and Pljusak network. Temperatures at 7, 14 and 21 o`clock were analysed in a five year time from 2013. until 2017. According to the analysis, measurment sites were joined to corresponding types of local climate zones.

33 pages, 10 figures, 6 tables, 20 references; original in Croatian

Keywords: urban climatology, local climate zones, temperatures, Zagreb

Supervisor: Mladen Maradin, PhD, Assistant Professor

Undergraduate Thesis title accepted: 10/05/2018

Undergraduate Thesis defense: 07/09/2018

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia

SADRŽAJ

1. Uvod 1

1.1. Predmet istraživanja 1

1.2. Prethodna istraživanja o urbanoj klimatologiji 2

1.3. Prostor istraživanja 4

1.4. Podaci i metode 6

1.4.1. Odabrane meteorološke postaje 7

2. Utjecaj grada na klimu 9

2.1. Osnove teorije urbanog toplinskog otoka 9

2.2. Uvod u koncept lokalnih klimatskih zona 12

3. Rezultati 15

3.1. Provjera pouzdanosti temperaturnih podataka 15

3.2. Toplinska obilježja postaja korištenih u radu 18

3.3. Toplinski otok grada Zagreba 23

3.4. Intenzitet urbanog toplinskog otoka grada Zagreba 26

3.5. Lokalne klimatske zone postaja korištenih u radu 28

4. Zaključak 31

5. Literatura i izvori 31

1. Uvod

1.1.Predmet istraživanja

Predmet istraživanja ovog rada jest urbana klima grada Zagreba te temperaturne razlike koje se očituju u izdvajanju različitih lokalnih klimatskih zona unutar gradskog prostora. Kako bi se one mogle analizirati potrebno je istaknuti kako je rapidna urbanizacija svijeta dovela do toga da danas preko polovice stanovništva Zemlje živi u urbano izgrađenim područjima. Urbana površina je 2010. godine zauzimala 3 629 312 milijuna km^2 tj. 2,44 % ukupne kopnene površine. U isto vrijeme je na navedenih 2,44 % površine živjelo 51,45 % stanovništva (Svjetska banka, 2010). S obzirom na dosadašnji trend porasta broja stanovnika u gradovima danas, 2018. godine, taj je udio još i veći. Predviđa se kako će udio gradskog stanovništva do 2050. godine narasti na čak 66 % (United Nations, 2012).

Urbana klima je lokalna klima koja je modificirana utjecajem izgrađene površine na regionalnu klimu, stoga se radi promjena u urbanoj formi i funkcijama javlja potreba za istraživanjem klime gradova (WMO, 1983). Unutar gradova klimatski ekstremi i nagle promjene vremena mogu ugroziti veliki broj ljudi na relativno malom prostoru, što dodatno jača potrebu za istraživanjima. Ona se odvijaju unutar urbane klimatologije, koja je brzo rastuća znanstvena disciplina u zadnjih nekoliko desetljeća. Tijekom procesa urbane izgradnje, prirodne površine su zamjenjivane izgrađenim zemljištem čime se kratkovalna i dugovalna radijacija zarobljava između zgrada, mijenja se apsorpcija i emisija energije, vlažnost zraka, turbulencija vjetra, emisija antropogene topline, itd. (Oke, 1976). Iako razvoj gradova donosi brojne pogodnosti poput povećanja životnog standarda ljudi, također se javljaju i nepovoljne ekološke, društvene i ekonomske posljedice (Zhao, 2018). Fenomen o kojem je riječ nosi naziv urbani toplinski otok (UHI, eng. Urban Heat Island) te je riječ o višoj temperaturi grada u odnosu na okolni ruralni prostor (Landsberg, 1981). Otkriven je već početkom 19. stoljeća, kada ga je u Londonu zabilježio Luke Howard. Glavni faktori koji utječu na urbani toplinski otok su: veličina grada, morfologija, korištenje zemljišta te geografske odrednice kao što su: reljef, nadmorska visina i regionalna klima (Brazel i Quatrocchi, 2005). Sukladno tome, bitno je reći kako bi se studije o urbanom toplinskom otoku trebale provoditi isključivo na gradovima smještenima na relativno ravnoj površini jer tako najbolje dolazi do izražaja klimatski utjecaj grada. Takve primjere teško je pronaći te stoga niti Zagreb ovdje nije iznimka.

Jedan od glavnih suvremenih koncepata unutar urbane klimatologije jest koncept lokalnih klimatskih zona (LKZ). Prema Stewart i Okeu (2012), glavnim teoretičarima LKZ-a, LKZ su područja uniformnog pokrova zemljišta, površinske strukture, građevnog materijala i ljudske aktivnosti koja se protežu od nekoliko stotina metara do kilometara u horizontalnoj skali. Glavna funkcija određivanja LKZ-a jest olakšavanje tipizacije lokalnog okruženja mjernih postaja (Unger i dr., 2014).

Ovaj rad nastojat će na temelju dobivenih podataka za devet temperaturnih mjernih postaja odrediti pripadnost pojedine postaje određenoj LKZ. Određivanje će se vršiti na analizi temperaturnih podataka te morfološke strukture grada tj., morfologije u okolini postaja. Glavni razlog odabira ove teme rada jest doprinos istraživanjima o toplinskim otocima gradova kako u Hrvatskoj, tako i u Zagrebu. Cilj ovog istraživanja jest proučiti ponuđenu literaturu, iskoristiti dostupne temperaturne podatke te potvrditi važnost urbane klimatologije kao znanstvene discipline ne samo za istraživanje klime megagradova već i gradova srednje i niže veličine, poput Zagreba.

Hipoteze koje se postavljaju ovim radom su:

a) Unutar Zagreba postoje toplinske razlike koje uvjetuju nastanak LKZ-a
b) Unutar Zagreba postoji više vrsta LKZ
c) U Zagrebu postoji toplinski otok grada

Toplinski otok Zagreba nije bio glavna tema istraživanja u puno znanstvenih radova u Hrvatskoj. Povećanje u broju istraživanja urbane klime Zagreba bilo bi pozitivno te korisno zbog veličine, broja stanovnika te klimatskih uvjeta grada Zagreba. Svrha ovog rada je upravo dati doprinos istraživanjima urbane klime u Hrvatskoj.

1.2. Prethodna istraživanja o urbanoj klimatologiji

Istraživanja o urbanim klimama počela su prije više od 200 godina. Iako nije bio prvi koji je primijetio povišenu temperaturu gradova u odnosu na njihovu okolicu, kao pionir istraživanja urbane klime smatra se Luke Howard. Njegovo djelo *The Climate of London* iz 1833. godine uzima se kao prvi opsežan rad o urbanoj klimi. Naime, on je 26 godina bilježio temperature na svojoj „ruralnoj“ postaji u okolici Londona te ih usporedio sa podacima *Royal Society-a,* koji su službeni. Svoje zaključke iznio je u navedenom djelu te time načeo istraživanja o urbanoj

klimi (Mills, 2014). Unatoč ovakvom pozitivnom početku, sve do početka 20. stoljeća nije bilo značajnijih proučavanja urbanih klima (Mills, 2014).

Prvo razdoblje od početka 20. st. do 1970-ih bilo je usmjereno na deskriptivnu klimatologiju, praćenje meteoroloških elemenata, poput temperature zraka i vlažnosti te istraživanje lokalnih varijacija klimatskih obilježja. Geiger (1927) godine napisao je djelo na njemačkom o klimi prizemnog sloja koje je objavljeno tek 1965. godine na engleskom jeziku. Slično Geigeru, Kratzer (1937) godine objavljuje istraživanje *Stadtklima* koje je tek 1956. godine objavljeno na engleskom. U ovom je razdoblju centar istraživanja bio u središnjoj Europi, dok se drugdje istraživanja pojavljuju tek kasnih 1940-ih. Također su ustanovljene brojne metode prepoznavanja lokalnih klima. Veliki broj tih metoda upotrijebio je Chandler (1965) koji iznosi nove metode analize velikog broja podataka. Period deskriptivne klimatologije zatvara Tim Oke[1] sa radom *City size and the urban heat island* (1967) gdje smanjuje teoretsku orijentaciju teoretičara koji su usredotočeni na samo određene zakonitosti te ju zamjenjuje sa generalnom dajući teoriju o urbanim toplinskim otocima u općim uvjetima uzimajući kao glavnu varijablu broj stanovnika grada.

U drugoj fazi istraživanja – orijentiranu na fizičku meteorologiju – istraživanja se baziraju na razumijevanju procesa koji dovode do utjecaja grada na klimu (Oke, 1969). Terjung (1976) je jedan od glavnih zagovaratelja uvođenja fizičke meteorologije u urbanu klimu. Također, Oke (1984) preporuča smjernice za kvalitetan urbani dizajn koji pomaže smanjenju utjecaja urbanog toplinskog otoka. U 1990-ima najbitniji rad je Grimmonda i Okea (1995) koji dublje proučava geometriju, materijale i urbane funkcije na stvaranje urbanog toplinskog efekta. U 21. stoljeću sve veći je broj radova u ovom polju znanosti te se stvara novi koncept u sklopu urbane klimatologije, a to je koncept lokalnih klimatskih zona. Glavnu klasifikaciju LKZ-a donosi rad Stewarta i Okea (2012): *Local Climate Zones for Urban Temperature Studies*. Ovim radom napravljena je klasifikacija sa 17 tipova LKZ-a koja se danas uvelike koristi među stručnjacima ove znanstvene discipline. Ona je nastala kao nadopuna na prethodnu klasifikaciju Stewarta i Okea (2009). Ovaj se rad također temelji na navedenoj klasifikaciji.

Od domaće literature postoji diplomski rad Filipa Križanića (2014) s Geodetskog fakulteta u Zagrebu na temu: *Urbani toplinski otoci Grada Zagreba*. Maradin i Filipčić (2015) imali su priopćenje n*a 6. hrvatskom geografskom kongresu* na temu*: Neka obilježja toplinskog otoka*

[1] Dobitnik nagrade *Luke Howard* 2004. godine te iste godine proglašen jednim od utemeljitelja urbane klime kao znanstvene discipline od *strane Međunarodnog udruženja za urbanu klimu (IAUC, 2004).*

grada Zagreba. Također tu je i rad Gordane Hrabak-Tumpe (1988) s temom: *Neke klimatske karakteristike toplinskog otoka Zagreba.* Značajni su radovi Tomislava Šegote: *Srednja temperatura zraka u Zagrebu* (1986), *Maksimalne temperature zraka u Zagrebu* (1987) i *Minimalne temperature zraka u Zagrebu* (1988), u kojima se detaljno dotiče temperatura u Zagrebu te ističe postojanje toplinskog otoka Zagreba.

Pozitivan primjer je trenutno aktualan projekt Geofizičkog odsjeka PMF-a u Zagrebu *CroClimGoGreen* koji je usmjeren na istraživanje urbanog toplinskog otoka grada Zagreba na temelju izmjerenih podataka i numeričkih simulacija u uvjetima sadašnje i buduće klime.

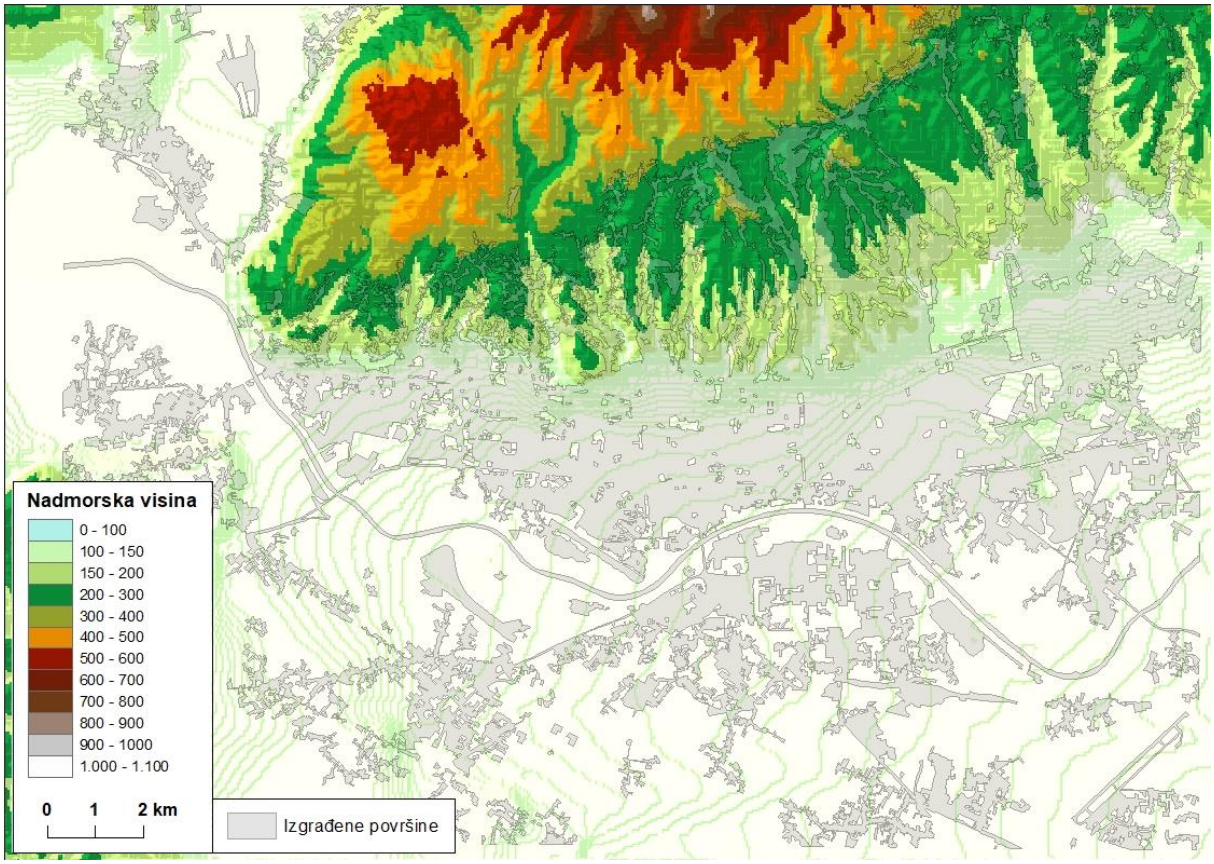
1.3. Prostor istraživanja

Zagreb je europski grad srednje veličine koji bez svoje urbanizirane okolice ima više od 700 000 stanovnika. Leži u peripanonskom prostoru na optimalnom pravcu komuniciranja s Mediteranom. Proteže se od južnih obronaka Medvednice, s brojnim udolinama u smjeru sjever-jug, do niskih dolina uz rijeku Savu. Južno od Medvednice u gradu i njegovoj široj okolici dominiraju nizinski krajevi do 200 metara nadmorske visine s otvorenim krajolicima (sl.1.). Ovakav smještaj predstavlja poseban problem u proučavanju lokalne klime.

Naime, fizička obilježja terena na kojem se grad nalazi vrlo su raznolike, pa uvjetuju i različite mikroklimatske karakteristike (Pleško, 1974).

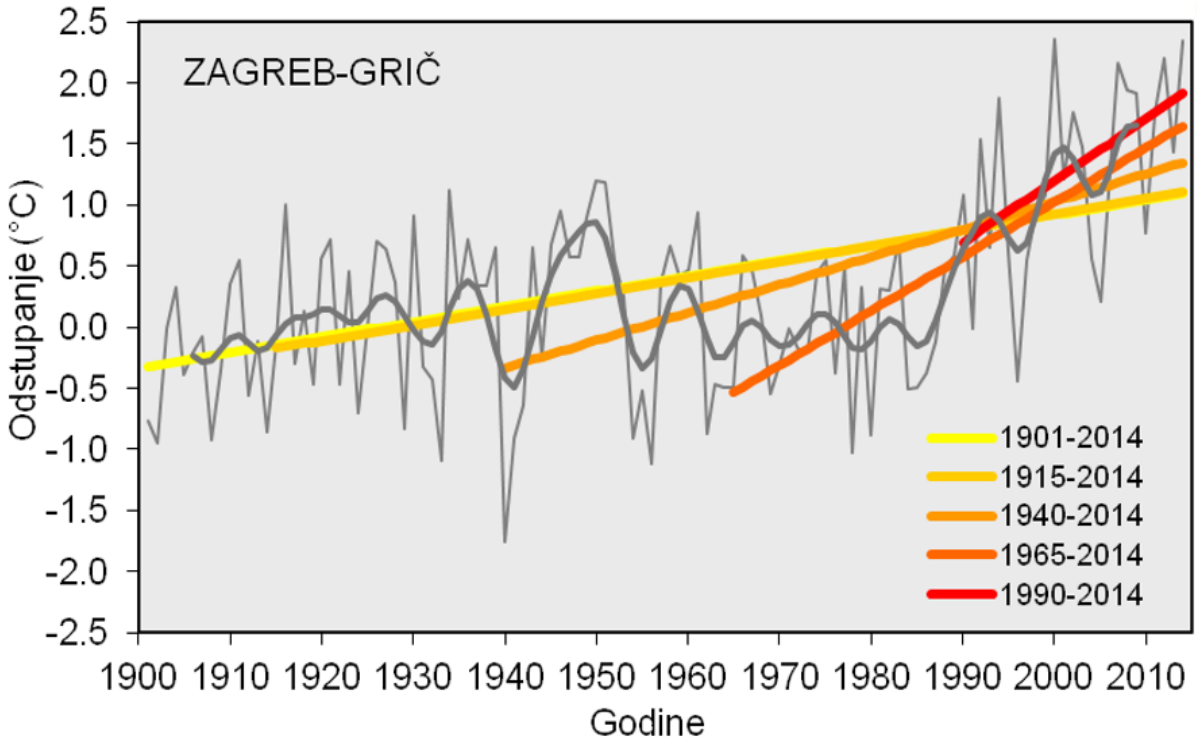
Na prostoru istraživanja reljef nije zaravnjen, što bi bilo najpovoljnije za rad, već su prisutna i pobrđa po kojima se prostire Zagreb. Na karti su prikazane i izgrađene površine grada gdje se vidi prostiranje grada u smjeru Z-I, kao optimalniji pravac širenja obzirom na planinsku prepreku Medvednice (sl.1.). Uočljivo je kako se grad paralelno širi prema višim dijelovima Medvednice te kako je veliki dio izgrađenosti zastupljen u visinskim razredima i do 300 metara, gdje se nalaze i neke odabrane mjerne postaje korištene u radu.
Zagreb je grad koji se iznimno proširio te je postao grad i u dolini Save i na povišenom dijelu gdje se nalaze pobrđa na prijelazu prema Medvednici. Medvednica je planina koja se pruža u smjeru JZ-SI te je njezin modifikatorski utjecaj na Zagreb iznimno velik. Jedan takav je fenski efekt koji nastaje kada se zrak „prebacuje“ preko Medvednice te se zagrijava (Šegota, 1986). Ipak, dominantna strujanja zraka na zagrebačkom području dolaze iz smjerova SI i ZJZ. Stoga je Medvednica strujanju vjetra izrazita barijera pa su vjetrovi iz SZ smjera rijetki. Također, uzevši u obzir nisku dolinu Save, te Medvednicu, u hladnom dijeli godine stvaraju se uvjeti za

inverziju temperature te se tada događa akumulacija hladnog zraka u dolini, gdje se nalazi veliki dio Zagreba, pa temperature budu i niže nego li na Sljemenu.



Sl. 1. Hipsometrijska karta šireg područja grada Zagreba
Izvor: 5 i 6

Prema geografskom smještaju, područje Grada Zagreba spada u umjerene širine u kojima su razvijena sva četiri godišnja doba. Također, prema Köpennovoj klasifikacija klime, Zagreb spada u Cfb klimatski tip, tj. umjereno toplo vlažnu klimu s toplim ljetom (Filipčić, 1998).
Također je bitno za reći kako je u posljednjih 25 godina zabilježen najveći porast srednje godišnje temperature zraka (sl.2.). Utjecaj recentnih klimatskih promjena s tendencijom povišenja temperatura izgledan je, što svjedoči efektu toplinskog otoka.



Sl. 2. Trendovi srednje temperature zraka u razdoblju 1901.-2014.
Izvor: Ivančan-Picek, 2017

1.4. Podaci i metode

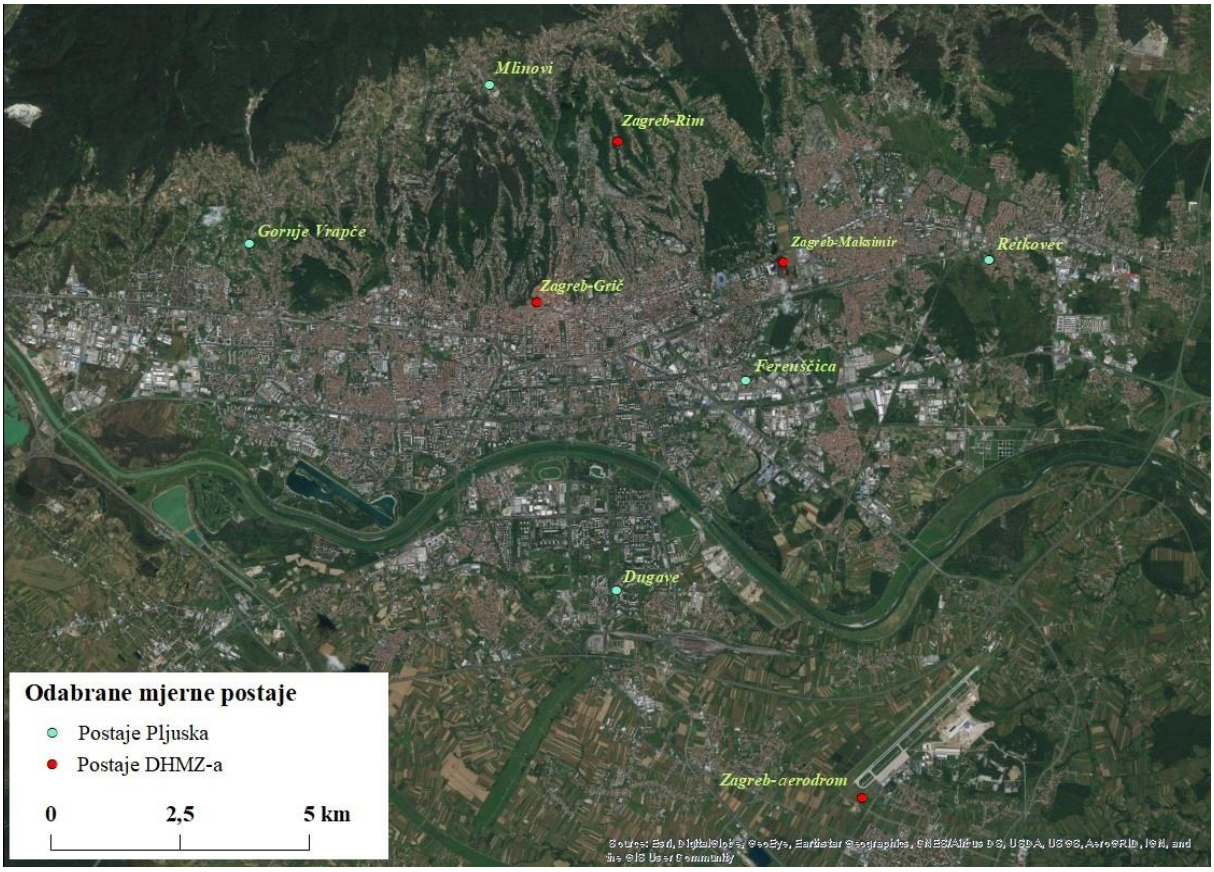
Podaci koji su korišteni u radu dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda Hrvatske (DHMZ) te Pljuska, mreže automatskih te amaterskih meteoroloških postaja. Rad analizira toplinska obilježja u pet godina, tj. od početka 2013. godine do kraja 2017. Podaci DHMZ-a prikupljaju se prema uputama WMO-a (Svjetske meteorološke organizacije), dok se u slučaju Pljuska podaci prikupljaju na amaterskoj osnovi. Svatko tko posjeduje mjernu postaju koja zadovoljava uvjete Pljuska može se uključiti u mrežu. Time je upitna informiranosti pojedinačnih osoba o pravilima mjerenja temperaturnih podataka, iako se može očekivati veća informiranost o meteorologiji i klimatologiji pojedinaca koji se bave amaterskim prikupljanjem podataka o vremenu. Stoga je moguće kako se pojedina postaja može nalaziti cijeli dan izložena Sunčevom zračenju, bez adekvatnog zaklona ili je zbog nekog drugog razloga loše pozicijski smještena. Time, prikupljeni podaci o temperaturama zraka mogu predočavati krivo stanje. Stoga su u ovom radu uključene i postaje DHMZ-a kako bi se mogla provjeriti vjerodostojnost podataka prikupljenih na mjernim postajama Pljuska, tj. na amaterskim mjernim postajama.

Metode statističke obrade koje su se koristile su: medijan, varijanca, srednje mjesečne i godišnjih vrijednosti i dr. Podaci su prikazani pomoću tablica i dijagrama u programu MS Excel

i MS Word. Također, kartografski prilozi u radu nastali su korištenjem programa ArcGIS. ArcGIS shapefileovi preuzeti su iz Digitalnog atlasa RH te internetske stranica Europske agencije za okoliš.

1.4.1. Odabrane meteorološke postaje

Iako je u mrežu Pljuska uključeno 20-ak postaja u Zagrebu i okolici, niti jedna nije smještena u samom centru Zagreba. Stoga su odabrane one postaje koje bi mogle dati najveći doprinos radu. Poznato je da DHMZ na području grada Zagreba nema veliki broj meteoroloških postaja, no ipak postaja *Zagreb-Grič* blizu je središta grada (sl.3.), ali se nalazi na povišenom dijelu Gornjeg grada zbog čega ne prikazuje toplinska obilježja samog središta grada.



Sl. 3. Odabrane mjerne postaje DHMZ-a i Pljuska
Izvor: 7,8 i 10, obradio autor

Od postojećih postaja DHMZ-a odabrane su postaje: *Zagreb-Grič, Zagreb-Maksimir, Zagreb-Rim i Zagreb-aerodrom* (sl.3.). S druge strane, na području grada Zagreba postoji veći broj postaja mreže Pljusak. Kod odabira ovih postaja unaprijed se vodilo računa o morfološkim obilježjima grada u okolici postaja kako bi se obuhvatilo što više različitih tipova LKZ-a. Npr.

pretpostavka je da će postaja *Gornje Vrapče* pripadati različitom tipu LKZ od primjerice postaje *Dugave*. Odabrane postaje mreže Pljusak su: *Dugave, Ferenščica, Gornje Vrapče, Mlinovi* i *Retkovec* (sl.3.). Iako je za samu kvalitetu rada tj. bolji uvid u prisutnost toplinskog otoka i različitih LKZ-a u Zagrebu poželjno imati podatke barem jedne postaje u najgušće izgrađenom dijelu grada, centru, to nije bilo moguće provesti jer takva postaja ne postoji. Odabrane postaje prisutne su u različitim visinskim razredima što je posljedica širokog rasprostiranja grada Zagreba (tab.1.). Radi usporedbe temperatura gradskih postaja s temperaturom ruralnog predjela okolice Zagreba pokušala se pronaći odgovarajuća postaja. Glavni uvjeti bili su da podaci postaje zadovoljavaju razdoblje mjerenja od 2013. do 2017., kao i kod svih drugih postaja, te da budu smješteni u ruralnoj okolici Zagreba. Drugi uvjet zadovoljavao je veći broj postaja, no prvi niti jedna. Stoga su te postaje otpisane te se za referentnu postaju ruralne okolice izabrala postaja *Zagreb-aerodrom*. Iako se u radovima često provlači pitanje određivanja „urbanih" i „ruralnih" postaja smatra se kako je postaja *Zagreb-aerodrom* dovoljno udaljena od Zagreba kako ne bi bila pod njegovim termičkim utjecajem, a dovoljno „ruralna" kako bi se uvidjela razlika u odnosu na središte grada.

Za odabrane mjerne postaje dobiveni su podaci od DHMZ-a i Pljuska za 7, 14 i 21 sat. Pomoću njih određene su srednje dnevne i srednje mjesečne temperature na osnovu kojih su izračunavani ostali statistički pokazatelji u radu.

Tab. 1. Odabrane mjerne postaje s odgovarajućim nadmorskim visinama i geografskim koordinatama

Naziv postaje	Nadmorska visina (m)	Geografske koordinate
Dugave	130	G. širina: 45° 45' N G. dužina: 15° 59' E
Gornje Vrapče	204	G. širina: 45° 49' N G. dužina: 15° 54' E
Retkovec	119	G. širina: 45° 49' N G. dužina: 16° 05' E
Ferenščica	111	G. širina: 45° 48' N G. dužina: 16° 01' E
Mlinovi	242	G. širina: 45° 51' N G. dužina: 15° 57' E
Zagreb-Grič	157	G. širina: 45° 49' N G. dužina: 15° 59' E
Zagreb-Maksimir	123	G. širina: 45° 49' N G. dužina: 16° 02' E
Zagreb-Rim	220	G. širina: 45° 50' N G. dužina: 16° 00' E
Zagreb-aerodrom	106	G. širina: 45° 44' N G. dužina: 16° 04' E

Izvor: 8 i 10, obradio autor

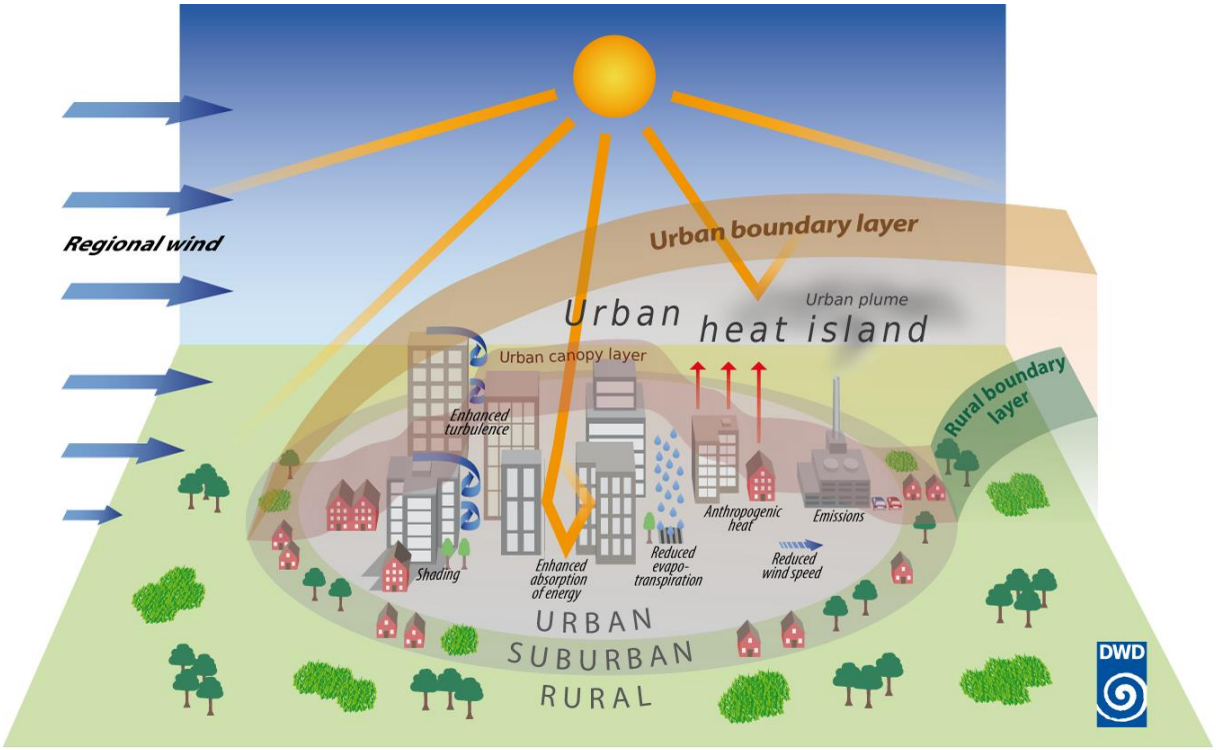
2. Utjecaj grada na klimu

2.1. Osnove teorije urbanog toplinskog otoka

Najočitija klimatska manifestacija urbanizacije je viša temperatura zraka koja je prisutna u urbanim područjima kao urbani toplinski otok (Landsberg, 1981). Urbani toplinski otok je prvi put spomenut u 1940-ima kao usporedba topline atmosfere iznad grada s njegovim ruralnim predjelima (Balchin and Pye, 1947). Toplinski otoci se pojavljuju u gotovo svim urbanim područjima, velikim ili malim, u hladnim ili toplim klimama (Stewart i Oke, 2012).

Fizički uvjeti koji uvjetuju nastanak urbanog toplinskog otoka su kompleksne naravi, no glavni uzrok su razlike u zemljišnom pokrovu urbanih i ruralnih područja, kao i njihovim termičkim svojstvima, što se očituje u razlici materijala koji pokriva urbanu površinu naspram „prirodnog“ materijala u okolici poput šuma, travnjaka i sl. Urbani razvoj vodi k promjeni u zemljišnom pokrovu. Kako se gradovi šire u okolne šume, travnjake i druge neizgrađene prostore tako je prirodni krajolik zamijenjen s cestama, zgradama, parkovima, itd., te se u nekim slučajevima u potpunosti uklanjaju vegetacijski pokrov i zelene površine. Također, materijali koji se koriste u urbanoj izgradnji te same zgrade koje se izdižu visoko iznad površine tla apsorbiraju Sunčevu radijaciju, smanjuju evapotranspiraciju i pridonose povećavanju temperatura te stvaranju urbanog toplinskog otoka (Rizwan i dr., 2008). Još jedan vrlo značajan aspekt jest antropogeni utjecaj (Oke, 1982). Mnoštvo ljudi na jednoj relativno maloj površini ispušta dodatnu toplinu i vlažnost te svojim aktivnostima stvara jači efekt urbanog toplinskog otoka. Zbog svega navedenog, urbana područja iskaču kao „otoci“ topline koji su okruženi hladnijom ruralnom okolicom (sl.4.). Na primjer, ako se tijekom ljeta u Zagrebu te preko dana mjere nesnosne vrućine, noću se svejedno može mjeriti 20 – 25 °C. Gradske prometnice, pločnici i zgrade tijekom dana apsorbiraju dolazno Sunčevo zračenje pa još dugo u noć ostaju topli i emitiraju toplinu. Zato je urbani toplinski otok najizraženiji u hladnom dijelu godine te noću.

Urbani toplinski otok se može promatrati kao jedna sveobuhvatna cjelinu, ali on djeluje i na nižim vremenskim i prostornim skalama. Na najnižim razinama, pojedini auti, drveća i kuće formiraju toplinske „mikro otoke“ koji su izrazito dinamični te u kratkom vremenskom razdoblju izmijenjuju toplinske uvjete. S druge strane, na najvišoj razini, veliki gradovi modificiraju regionalnu klimu i utječu na pojedine klimatske elemente mnogo kilometara u svojoj zavjetrini (Oke, 1976).

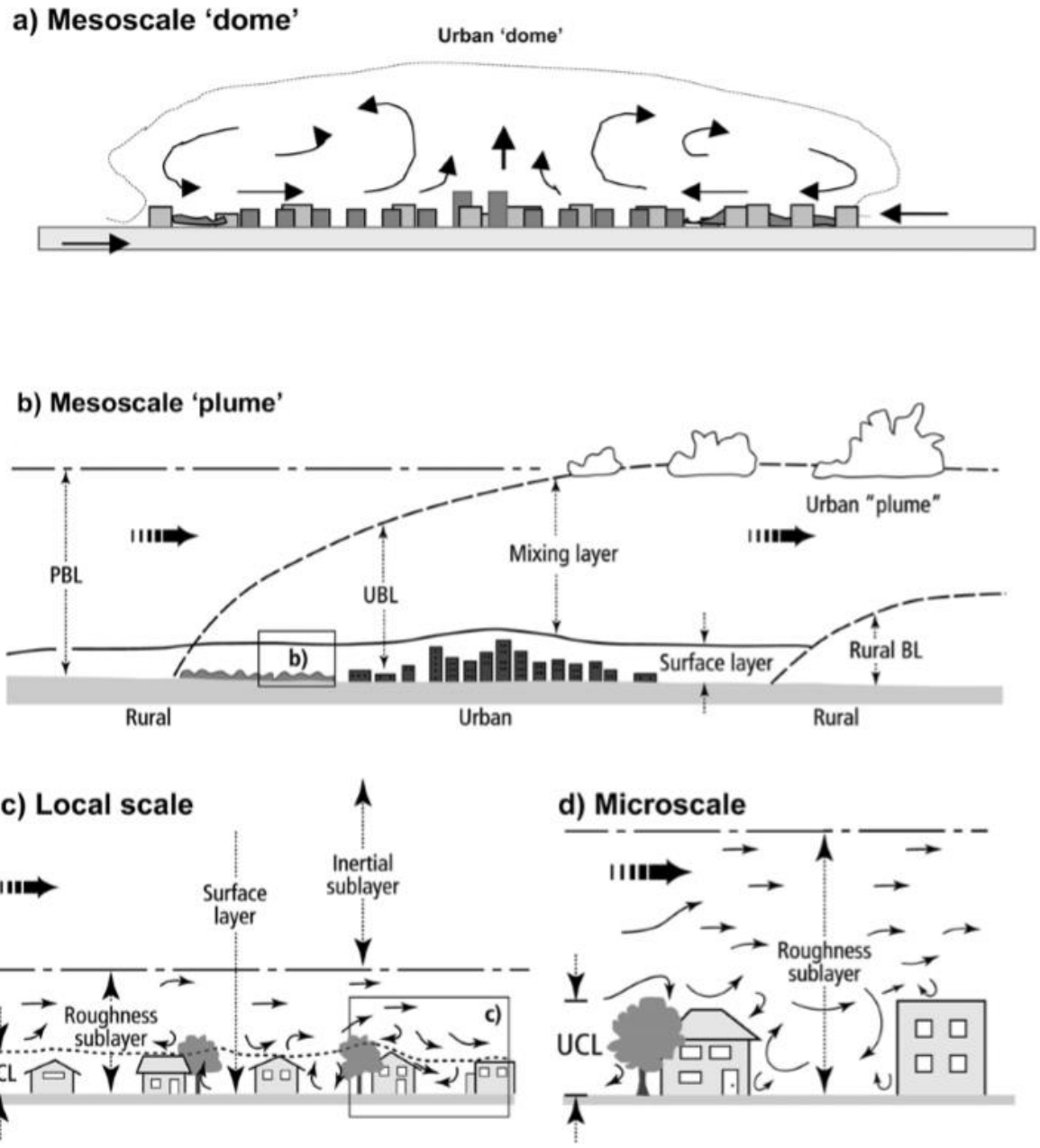


Sl. 4. Efekt toplinskog otoka grada
Izvor: 11

Oke (1976) je također definirao dva glavna tipa utjecaja urbanog toplinskog otoka na slojeve atmosfere (sl.5.). Postoje urbani granični sloj *(UBL, eng. urban boundary layer)* te sloj urbanog pokrivača *(UCL, eng. urban canopy layer).* Sloj urbanog pokrivača je sloj atmosfere ispod razine krovova, dok je urbani granični sloj atmosfere iznad razine krovova sve do visine na kojoj nema urbanog toplinskog utjecaja (Oke, u Cermak i dr., 1995). Od dva navedena, za istraživanja je od veće važnosti sloj urbanog pokrivača jer upravo on ima direktan utjecaj na svakodnevne ljudske aktivnosti. Time je sloj urbanog pokrivača imao – i još uvijek ima - veliku važnost kroz istraživanja geografa i klimatologa zbog važnosti varijabilnosti klimatskih uvjeta u urbanim okolišima (Brazel i Quatrocchi, 2005). Ukupnim utjecajem svih mikroklimatskih uvjeta formira se lokalna klima tj. lokalne klimatske zone unutar jednog grada koje kasnije čine klimu određenog grada u cjelini. Primjerice, ukoliko se usporedi užareni asfalt Savske ulice u Zagrebu u sredini srpnja, s temperaturama u parku Maksimir u isto vrijeme može se sa popriličnom sigurnošću reći kako su u parku Maksimir toplinski uvjeti bili pogodniji, tj. temperatura je bila niža. Razlog su upravo mikro toplinske razlike unutar grada koje odlikuje dinamičnost što može biti povezano s prisutnošću vodene površine ili šume.

Klimatske karakteristike urbanog graničnog sloja su određene gradom ispod njega tj. zbrojem svih lokalnih i mikroklimatskih uvjeta koji kao posljedicu imaju emisiju aerosola i dio topline

u urbani granični sloj. U njemu imamo *top-down* procese koji dovode toplinu u urbani granični sloj gdje se zbog velike koncentracije aerosola više topline reflektira nazad prema gradu te time više topline ostane zadržano u urbanom graničnom sloju. Predmet interesa je kroz istraživanja pretežito bio na sloju urbanog pokrivača, jer su ljudi prisutni u tom sloju, no velika je važnost istraživanja i urbanog graničnog sloja. Naime, toplinski otok grada može imati utjecaj na toplinska obilježja okolice gradova. Utjecaj toplinskog otoka grada izražen je kao „perjanica“ u višim slojevima zraka (sl.5.).



Sl. 5. Utjecaj grada na vertikalnu cirkulaciju zraka u: uvjetima slabog strujanja zraka (a), jakog strujanja zraka (b), na lokalnoj skali (c), mikroskali (d)
Izvor: Oke, 1997

2.2. Uvod u koncept lokalnih klimatskih zona

Zbog antropogene aktivnosti, klima gradova razlikuje se obzirom na razlike u izgrađenosti pojedinih dijelova (zona) grada, čija obilježja mogu biti kvantificirana različitim metodama. Jedna od tih metoda je klasifikacijski sistem LKZ-a koji opisuje fizička obilježja pojedinih dijelova grada. Ovaj princip je moguće primijeniti u cijelom svijetu te relativno jednostavno temeljeći se na geometriji prostora te radijacijskim i termičkim obilježjima podloge (Oke, 2006).

Principi klasifikacije oduvijek su bili problematični. Takav problem, postojao je i sa LKZ gdje je manjkalo kvalitetnih ideja kako razgraničiti određene lokalne zone unutar urbanog toplinskog otoka. Veliki problem predstavljao je odabir parametara kojima bi se nakon kvantificiranja razgraničile određene zone sličnih klimatskih obilježja. Oke (2006) je predstavio model urbanih klimatskih zona gdje je postavio klasifikaciju sedam zona koje se mogu pojavljivati unutar grada. Njegova teorije temeljila se na radovima Chandlera (1965) koji je klasificirao četiri urbane zone Londona na osnovi klime, topografije i oblika zgrada. Auer (1978) je odredio dvanaest tipova urbanih zona na osnovi vegetacije i korištenja urbanog zemljišta. Prvi koji je u svoju klasifikaciju uveo strukturu grada i građevne materijale bio je Ellafsen (1991) koji je formirao 17 „urbanih zemljišnih zona“ za deset gradova SAD-a. Klasifikacija Oke-a ponudila je širu sliku u mogućnostima klasificiranja. On je u svoju klasifikaciju uključio: urbanu strukturu, zemljišni pokrov, gradbene materijale, ljudsku aktivnost te klimatske sposobnosti vegetacije na mijenjanje klime.

Najaktualniji je rad Stewarta i Okea (2012) na čijim se saznanjima temelji današnji koncept LKZ-a. Njihova klasifikacija je orijentirana na probleme metoda i komunikacije u istraživanjima toplinskih otoka, kojima bi rješenje trebala biti data klasifikacija (Stewart i dr., 2013). Također iznešene su operativne smjernice i preporučena primjena LKZ-a. Postoje brojna fizička obilježja prema kojima Stewart i Oke izdvajaju pojedine tipove LKZ-a (tab.2.). Geometrijska obilježja odnose se na površinska obilježja zone, a s druge strane određuju se i termički parametri LKZ-a. Ono što iznimno naglašavaju Stewart i Oke (2012) jest problematičnost određivanja *urbanih* i *ruralnih* mjernih postaja.

Tab. 2. Pokazatelji za tipologiju lokalnih klimatskih zona

TIP OBILJEŽJA	
Geometrijski, pokrov zemljišta	**Termički, radijacijski, metabolički**
Faktor pogleda neba (sky view factor)	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

Na tome počiva početak svakog istraživanja toplinskog otoka grada jer bez referentne *ruralne* postaje istraživanje gubi na kvaliteti. Stoga je vrlo bitno točno smjestiti mjerne postaje kako bi vjerno prikazivale obilježja LKZ-a. Iz potrebe za univerzalnom klasifikacijom na kojoj se mogu temeljiti sva daljnja istraživanja napravljena je klasifikacija Stewart i Okea. Sam naziv *lokalne klimatske zone* koristi se jer su klase unutar klasifikacije *lokalne* – prema skali, *klimatske* – prema obilježjima te *zonalne* – u prostornoj reprezentaciji. LKZ su definirane kao područja homogene podloge, površinske strukture, građevnog materijala i ljudske aktivnosti koje se protežu od nekoliko stotina metara do kilometara u horizontalnoj skali (Stewart i Oke, 2009). Ovom klasifikacijom određeno je sedam tipova prirodnog pokrova te deset tipova izgrađenog zemljišta (sl.6.). Njihovi nazivi su na engleskom jeziku te su povezani s tipovima izgrađenosti koje pronalazimo u gradovima američkog, odnosno britanskog tipa. Oni su uglavnom pravilnog rasporeda, jednakih visina i sl., npr. planski izgrađena naselja. Stoga nazivi odgovaraju morfološkoj strukturi, što nije slučaj na primjeru Zagreba. Ipak, u nedostatku službenog hrvatskog prijevoda naziva LKZ-a, u ovom su radu zadržani engleski nazivi. Različite klimatske zone imaju jedinstveni skup obilježja povezanih s visinom, gustoćom i funkcijom objekata te zemljišnim pokrovom. Svaka LKZ ima karakteristično kretanje temperature koje se najbolje uviđa za vrijeme suhih i vedrih noći te u područjima što ravnog reljefa. Kretanje temperature ima svoj specifičan godišnji ciklus te je povezan s homogenim okolišima koji se nalaze unutar urbanih sustava, npr. šumska područja (park Maksimir), industrijske zone (Žitnjak), stambene zone (Dugave) i dr. Ipak, potpuna homogenost unutar LKZ-a teško je moguća, osim u planirano izgrađenim prostorima. Također, granice pojedinih LKZ-a mogu biti konkretne tako da se na zračnim snimkama gradova one mogu okvirno linijski razgraničiti.

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

Sl. 6. Klasifikacija i opisi tipova LKZ-a
Izvor: Stewart i Oke, 2012

Jedna od najvažnijih prednosti ove klasifikacije upravo je njezina jednostavnost te mogućnost primjene na bilo kojoj urbanoj površini u svijetu zbog velikog raspona parametara koji se mogu koristiti prilikom određivanja LKZ-a u istraživanjima. Stoga se i u ovom radu koristi upravo ova klasifikacija zbog jednostavnosti, kvalitete i trenutne zastupljenosti istraživanja ovom metodom. Ipak, glavni parametri kojima će se pokušati odrediti pripadnost pojedine postaje određenoj LKZ bit će geometrijski tj. morfološki te statistička obrada temperaturnih podataka.

3. Rezultati

3.1. Provjera pouzdanosti temperaturnih podataka

Velika količina klimatoloških podataka zahtijeva statističku obradu. Time se razni nizovi podataka mogu usporediti te se mogu utvrditi eventualne nepravilnosti u nizovima podataka.

Svako korištenje meteoroloških podataka koji nisu dobiveni u uvjetima koje određuje Svjetska meteorološka organizacija, treba uzeti s dozom opreza. Stoga su u ovom radu uspoređivana određena obilježja nizova podataka postaja Pljuska i DHMZ-a. Temeljem usporedbe provjerila se pouzdanost temperaturnih podataka.

Naime, meteorološke postaje DHMZ-a temperature mjere po uputama Svjetske meteorološke organizacije, dok se kod postaja Pljuska može očekivati doza improvizacije i neupućenosti u ispravno mjerenje metoroloških elemenata. Stoga je potrebno pripaziti na ispravnost dobivenih podataka.

Pri provjeri podataka prikupljenih na mjernim mjestima *Pljuska* korištene su osnovne metode statističke obrade vremenskih nizova (tab.3.). Prvi pokazatelj je medijan. To je vrijednost koja niz uređen po veličini dijeli na dva jednakobrojna dijela. Ovdje se za obradu koristio niz podataka srednjih mjesečnih vrijednosti kroz pet godina mjerenja. Niža vrijednost medijana, kao jedna od srednjih vrijednosti, ukazuje i na općenito nižu temperaturu same postaje, ali i obratno, viša vrijednost – nizom vladaju više temperature. Na primjer, postaja *Zagreb-aerodrom* jedna je od hladnijih postaja zbog svoje lokacije na otvorenoj površini u odnosu na ostale postaje te širokoj travnatoj podlozi na kojoj se nalazi, iako izvjestan je veliki termički utjecaj aerodroma (tab.3.). Minimalne i maksimalne srednje mjesečne temperature ukazuju na to koje su postaje toplije i hladnije. Npr. postaja *Zagreb-Grič* ima visoku minimalnu i maksimalnu srednju mjesečnu temperaturu. S druge strane, postaja *Zagreb-Maksimir* ima nisku

minimalnu i maksimalnu srednju mjesečnu temperaturu u odnosu na druge postaje. Ovo govori kako su toplinske prilike ovih dviju postaja drukčije, tj. kod *Zagreb-Grič* utjecaj okoliša se očituje u visokim temperaturama, a kod *Zagreb-Maksimir* u niskim. Još jedan pokazatelj jest amplituda temperature koja se dobiva kroz podatke srednjih maksimalnih i srednjih minimalnih mjesečnih temperatura u danom periodu.

Tab. 3. 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

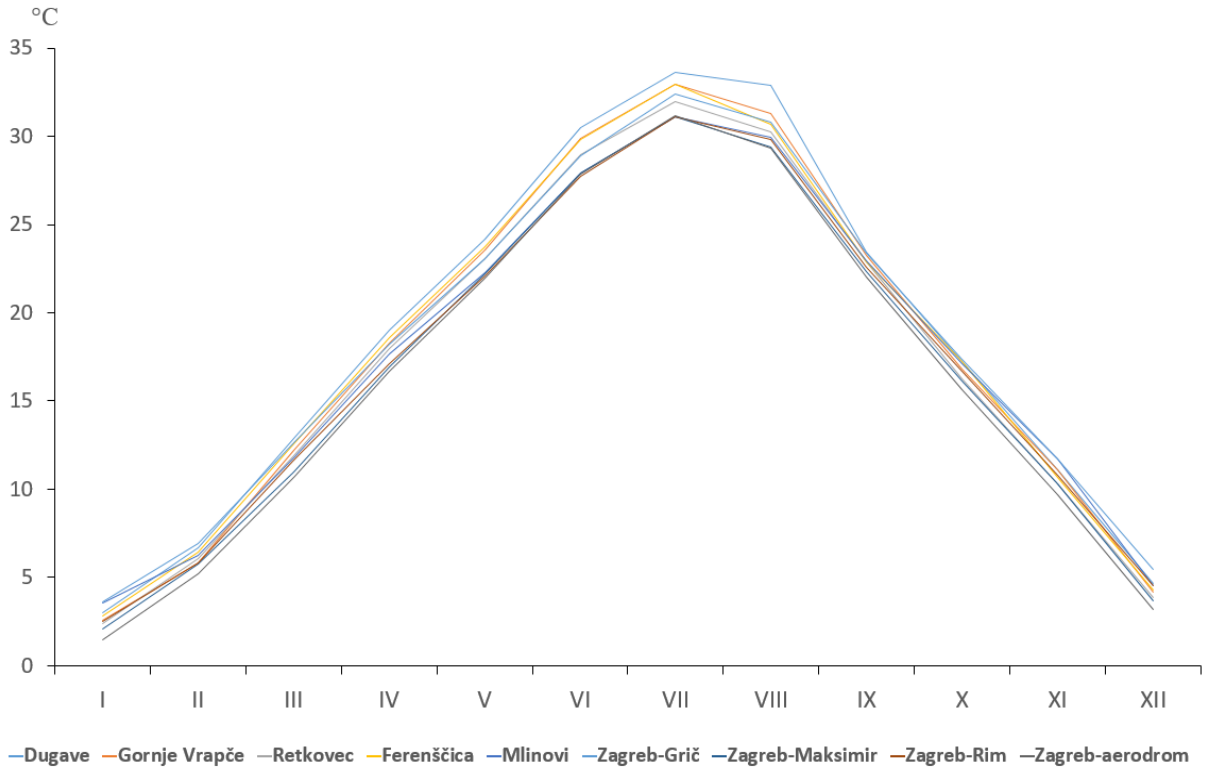
Izvor: 9 i 10, obradio autor

Amplitude temperature su većinski ujednačene osim nešto više amplitude kod postaje *Dugave* (tab.3.). Vrlo bitan pokazatelj je i sama srednja mjesečna temperatura zraka kroz zadani petogodišnji period. Određene postaje odskaču podacima od drugih. Postaje *Dugave i Zagreb-Grič* imaju najvišu srednju mjesečnu temperaturu. Najviše su temperature prisutne kod postaja koje su smještene u najizgrađenijem dijelu grada. S druge strane, postaja *Zagreb-aerodrom* pokazuje najnižu vrijednost podataka.

Pokazatelji čijom se usporedbom ukazuje na postojanje ili nepostojanje velikih razlika između nizovia su: varijanca, standardna devijacije te koeficijent varijacije. Varijanca je srednje kvadratno odstupanje varijable od aritmetičke sredine, dok je standardna devijacija drugi korijen varijance. Vrijednosti standardne devijacije ne odstupaju značajno jedna od drugih,

kako kod postaja DHMZ-a, tako i kod Pljuska. Zadnji pokazatelj je koeficijent varijacije koji je standardna devijacija izražena u postocima srednjaka. Vrijednosti koeficijenta varijacije kod postaja DHMZ-a kreću se od 0,43 do 0,51 (max razlika 0,08), dok se kod Pljuska kreću od 0,45 do 0,49 (max razlika 0,04). Obzirom kako su klimatološki podaci vrlo varijabilni, dobiveni rezultati koji variraju od 0,43 do 0,51 ukazuju nam na vjerodostojnost korištenih podataka. Niti jedna postaja statistički ne odstupa od drugih, što je iznimno bitno za postaje Pljuska, koje ne odstupaju od postaja DHMZ-a, jer se tako provjerila vjerodostojnost njihovih nizova podataka.

Još jedna provjera eventualnih grešaka u samim podacima može se očitati iz grafičkog prikaza godišnjeg hoda za srednje mjesečne temperature u petogodišnjem razdoblju (sl.7.). Ni jedna postaja značajno ne odstupa od općeg kretanja temperature u analiziranim postajama, tj. može se zaključiti kako su temperaturne prilike koje su vladale u Zagrebu u razdoblju od 2013. do 2017. većinski bile prisutni u cijelom Zagrebu, tj. u područjima gdje se nalaze odabrane mjerne postaje (sl.7.). Pojedina odstupanja su ipak uočena. Jedno se odnosi na postaju *Dugave*. Iznimno visoke ljetne temperature upućuju na moguć neodgovarajući smještaj postaje, npr. na balkonu zgrade, čime podaci sa postaje odaju nereprezentativne temperature. To se odnosi ne samo na ljetne, već i na proljetne temperature kada su temperature postaje *Dugave* najviše u odnosu na druge postaje (sl.7.).



Sl. 7. Godišnji hod temperatura na istraživanim postajama za razdoblje 2013. – 2017.
Izvor: 9 i 10

Najveće razlike među linijama postaja događaju se ljeti. Stoga neke postaje koje nisu u središnjem dijelu grada ipak imaju vrlo visoke temperature, npr. *Ferenščica i Gornje Vrapče* u odnosu na *Zagreb-Grič*. Ono što se moglo i pretpostaviti, postaje *Zagreb-Maksimir* i *Zagreb-aerodrom* imaju najniže ljetne srednje mjesečne temperature uspoređujući s drugim postajama, sukladno s njihovim smještajem te svojstvima podloge.

Prikazani statistički pokazatelji, kao i dijagram petogodišnjih srednjaka mjesečnih temperatura načelno potvrđuju vjerodostojnost podataka Pljuska uspoređujući s podacima DHMZ postaja. Određene nepravilnosti ipak postoje, no može se pretpostaviti kako one nisu tolike da značajno utječu na rezultate ovog rada.

3.2. Toplinska obilježja postaja korištenih u radu

Kako bi se analizirao utjecaj okoliša na maksimalne, minimalne i srednje temperature u razdoblju od 2013. do 2017. izmjerene u odabranim postajama odabrani su neki pokazatelji poput: morfoloških obilježja u kojima se postaje nalaze, svojstva podloge, zemljišni pokrov.

Postaja *Zagreb-Grič* smještena je u samom centru grada (sl.8.). Na temperature izmjerene u toj postaji utjecaj može imati obližnji park, kao i nadmorska visina koja iznosi 157 metara (tab.1.). Morfološki, okolina postaje predstavlja povijesni centar grada te je to područje gusto izgrađeno zgradama srednje visine. Stoga postaja *Zagreb-Grič* u periodu od 2013. do 2017. bilježi drugu najvišu srednju godišnju temperaturu (17,9 °C) u odnosu na ostale odabrane postaje. Visoki udio pokrivenosti podloge materijalima poput betona i asfalta omogućuje dulje zadržavanje topline u samim materijalima te time i više izmjerene temperature. Utjecaj izgrađenosti očituje se u višim izmjerenim temperaturama u odnosu na druge postaje udaljenije od centra.

Postaja *Zagreb-Maksimir* jedna je od postaja koja bilježi niske temperature koje ne bismo očekivali za gradsko područje. Glavna svrha postaje *Zagreb-Maksimir* je prognoza vremena, kao i svih postaja DHMZ-a. Stoga je ona smještena na otvorenom polju (sl.8.) čime odaje značajno niže temperature koje su najsličnije postaji *Zagreb-aerodrom*. U neposrednoj blizini postaje nalazi se tvornica Kraš, sportski kompleks te Maksimirska cesta kao izgrađena površina, no niska srednja temperatura daje nam naznake da navedeno nema veliki utjecaj na zagrijavanje postaje. S druge strane, veći utjecaj na niže temperature ima šumsko-travnjačko područje izduženo u smjeru sjever-jug koje uključuje i park Maksimir. Sukladno ovome bilježi se niska minimalna srednja mjesečna temperatura (-4,3 °C). Sa srednjom godišnjom temperaturom od 16,6 °C druga je najhladnija postaja.

Postaja *Zagreb-aerodrom* smještena je neposredno uz aerodrom (sl.8.), nalazi se unutar grada, no udaljena od gradskih površina te na otvorenoj travnatoj podlozi čime se stvaraju uvjeti za niske temperature. Sa srednjom godišnjom temperaturom od 16,2 °C ova postaja je najhladnija od svih analiziranih postaja. Također bilježi najvišu minimalnu srednju mjesečnu temperaturu od -5,2 °C, ali i visoku maksimalnu srednju mjesečnu temperaturu od 32,8 °C, što je za samo 1,0 °C niže od postaje *Zagreb-Grič*. Razlog tomu je blizina površine prekrivene asfaltom (što uključuje uzletno-sletnu stazu, parkiralište i aerodromske zgrade) koja ljeti stvara iznimno visoke temperature. U blizini postaje nalazi se nekoliko cesta koje vode do aerodroma, no one s obzirom na malu površinu imaju zanemariv toplinski utjecaj u odnosu na utjecaj samog aerodroma. Prve stambene kuće nalaze se 600 metara od postaje.

Postaja *Zagreb-Rim* smještena je na obroncima Medvednice (sl.8.) te je druga najviša od analiziranih postaja (tab.1.). Smještena je na travnatoj podlozi u blizini slabije izgrađenog područja u odnosu na npr. *Zagreb-Grič* ili *Zagreb-aerodrom*. Morfološki, okolinu postaje čine šume na padinama Medvednice kroz koje prolaze prometnice uz koje su smještene kuće. Površina pod šumama veća je nego izgrađena površina. Navedeno se očituje i u nižoj srednjoj godišnjoj temperaturi od 16,9 °C.

Postaja *Dugave* smještena je u kompleksu stambenih zgrada srednje visine (sl.9.). Srednja godišnja temperatura ove postaje viša je nego što bi se moglo očekivati s obzirom na njezin okoliš, što se može pripisati neodgovarajućem smještaju postaje, npr. u ovom slučaju moguć je smještaj na balkonu zgrade. Sa srednjom godišnjom temperaturom od 18,3 °C ujedno je najtoplija postaja. Između zgrada puno je zelenih površina, kao što se u blizini nalaze površine s drvećem i otvorene livade. Prilikom određivanja LKZ ove postaje potreban je oprez te svakako uzeti u obzir smještaj postaje.

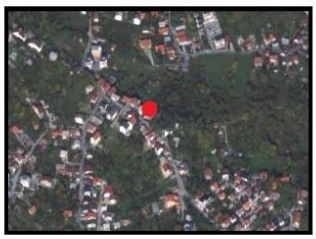
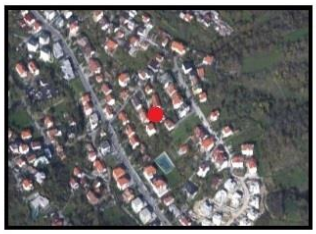
Postaja *Ferenščica* smještena je u nizu niskih kuća koje su okružene trgovačkim i industrijskim kompleksima te bitnim prometnim cestama Zagreba (sl.9.). Iako je sama postaja smještena na rubu niza kuća i malog prostora s drvećem, svejedno ima visoku srednju godišnju temperaturu kroz istraživani period, što je posljedica utjecaja okoline, tj. navedenih kompleksa i tvornica koji predstavljaju veliku površinu asfalta, betona i materijala od kojih su zgrade izgrađene. Srednja godišnja temperatura iznosi 17,7 °C te je među višima o odnosu na druge postaje.

Postaja *Retkovec* je smještena u skupini niskih kuća, od kojih se sjeverno i sjeveroistočno nalazi izgrađeno područje, dok južno i jugozapadno prevladava veliko područje šumaraka i travnjaka (sl.9.) koje ima značajan utjecaj na temperature ove postaje.

U odnosu na ostale mjerne postaje ima niže srednje godišnje temperature (17,2 °C). Minimalna srednja mjesečna temperatura od -4,4 °C ukazuje kako je riječ o postaji udaljenijoj od grada te bliže potpuno prirodnim prostorima, npr. isključivo travnjačkom ili šumskom prostoru. Ovakvi uvjeti omogućuju stvaranje niskih temperatura. Maksimalna srednja mjesečna temperatura bila je 32,8 °C što je među nižima u odnosu na druge postaje. Postaja *Retkovec* dio je prijelaznog područja između izgrađenog i prirodnog prostora.

Naziv postaje	Satelitska slika	Prizemna fotografija	Obilježja
Zagreb - Grič			MAX: 33,8 °C MIN: -3,0 °C SR.TEMP: 17,9 °C
Zagreb - Maksimir			MAX: 32,1 °C MIN: - 4,3 °C SR.TEMP: 16,6 °C
Zagreb - aerodrom			MAX: 32,8 °C MIN: - 5,2 °C SR.TEMP: 16,2 °C
Zagreb - Rim			MAX: 32,6 °C MIN: - 4,1 °C SR.TEMP: 16,9 °C

Sl. 8. Morfološka i temperaturna obilježja postaja DHMZ-a (Maksimalne, minimalne i srednje mjesečne temperature u istraživanom razdoblju)
Izvor: 9 i 12, izradio autor

Naziv postaje	Satelitska slika	Prizemna fotografija	Obilježja
Dugave			MAX: 36,6 °C MIN: -3,7 °C SR.TEMP: 18,3 °C
Ferenščica			MAX: 34,1 °C MIN: - 3,4 °C SR.TEMP: 17,7 °C
Retkovec			MAX: 32,8 °C MIN: - 4,4 °C SR.TEMP: 17,2 °C
Gornje Vrapče			MAX: 34,0 °C MIN: - 4,1 °C SR.TEMP: 17,7 °C
Mlinovi			MAX: 32,6 °C MIN: -3,7 °C SR.TEMP: 17,2 °C

Sl. 9. Morfološka i temperaturna obilježja postaja Pljuska (Maksimalne, minimalne i srednje mjesečne temperature u istraživanom razdoblju)
Izvor: 10 i 12, izradio autor

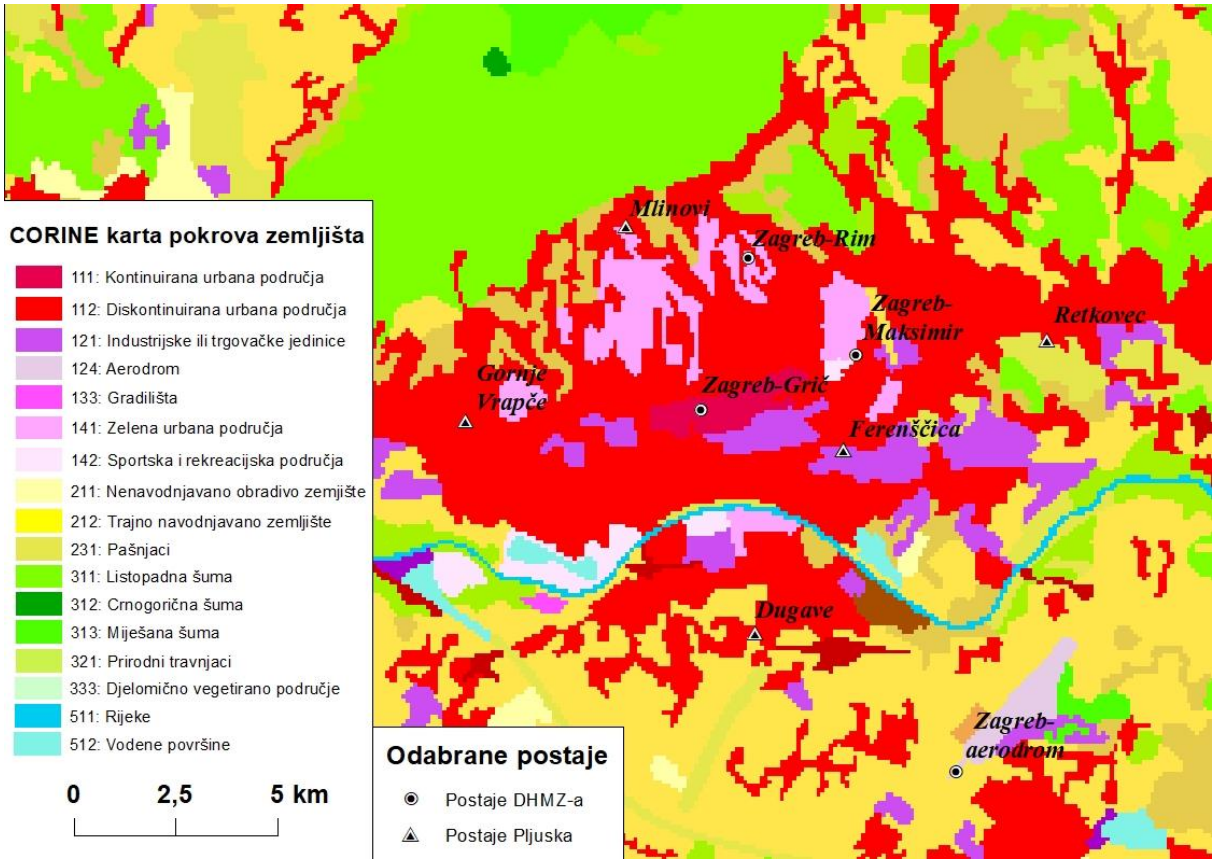
Okoliš postaje *Gornje Vrapče* sličan je onom postaje *Zagreb-Rim* gdje su kuće smještene uz prometnice koje prolaze kroz mozaik šumaraka i zelenih površina na padinama Medvednice (sl.9.). Širi okoliš postaje također je sličan morfološki te ne bi trebalo biti drugih termičkih utjecaja na samu postaju, osim samog smještaja postaje na kući. Srednja godišnja temperatura od 17,7 °C viša je od očekivane, ako se u obzir uzme da istu temperaturu ima i postaja *Ferenščica* koja je smještena u izgrađenijem dijelu grada.

Postaja *Mlinovi* pripada morfološki sličnom prostoru kao *Zagreb-Rim i Gornje Vrapče*, gdje se na padinama Medvednice izmijenjuje izgrađeno područje i prirodni krajolici (sl.9.). Ova postaja najbliža je homogenom području šuma koje se prostiru Medvednicom. Navedeno se očituje u srednjoj godišnjoj temperaturi od 17,2 °C. Iako se kuće u ovom području nalaze relativno blizu, gustoća izgrađenosti je rjeđa zbog velikih okućnica koje vlasnici posjeduju.

Podaci o pokrovu zemljišta mogu se iskoristiti za analizu okoliša postaja. Naime, tipizacija pokrova zemljišta radi se i na prostoru gradova gdje se grad ne homogenizira kao urbano područje već se unutar njega javljaju različiti tipovi pokrova zemljišta. Stoga se u ovom radu koriste podaci o pokrovu zemljišta *Europske agencije za okoliš* iz 2012. godine pod nazivom *CORINE Land Cover*. To je zadnje utvrđeno stanje, a ujedno odgovara ovom radu pošto se podaci o temperaturi odnose na razdoblje od 2013. do 2017. godine.

U razdoblju od sljedećih pet godina moguće je da su se dogodile promjene u pokrovu zemljišta tj. moguće je da se negdje izgradio npr. neboder koji je utjecao na daljnja očitavanja na toj postaji. Što se tiče mjernih postaja u ovom radu, putem alata *Google Earth Pro* nisu uočene značajne promjene u pokrovu zemljišta u razdoblju od 2013. do 2017., odnosno mjerenja su se odvijala u istim ili sličnim uvjetima.

Prema metodologiji *CORINE Land Cover-a* (sl.10.) većina se postaja nalazi u diskontinuiranim urbanim područjima ili na prijelazu iz jednog tipa klasifikacije u drugi. Postaje *Zagreb-Rim, Zagreb-Maksimir i Mlinovi* nalaze se na prijelazu diskontinuiranih urbanih područja i zelenih gradskih područja. Postaje *Retkovec i Dugave* nalaze se na prijelazu diskontinuiranih urbanih područja i pašnjaka. Postaja *Ferenščica* nalazi se na kontaktu diskontinuiranih urbanih područja i industrijskih i trgovačkih područja. Postaja *Gornje Vrapče* nalazi se u diskontinuiranom urbanom području, dok je postaja *Zagreb-Grič* jedina prisutna u kontinuiranom urbanom području. *Zagreb-aerodrom* pripada pašnjačkom tipu pokrova zemljišta.



Sl. 10. Pokrov zemljišta grada Zagreba 2012. godine
Izvor: 13, izradio autor

3.3. Toplinski otok grada Zagreba

Kako bi se utvrdilo postojanje toplinskog otoka Zagreba analizirat će se temperaturna obilježja postaja. Analizirat će se sezonske, odnosno srednje ljetne ili zimske temperature te s posebnim osvrtom na mjesece u kojima se javljaju srednje minimalne i maksimalne temperature, tj. siječanj i srpanj. Srednje ljetne temperature određene su korištenjem temperatura mjeseca lipnja, srpnja i kolovoza, a zimske na temelju prosinca, siječnja i veljače. Toplinski otok grada najbolje se vidi upravo tijekom zimskih mjeseci, tada je najjasnija razlika pojedinih dijelova grada tj. udaljavanjem od središta grada temperatura se smanjuje. Razlog leži u velikom antropogenom utjecaju tijekom zime. U ljetnim mjesecima toplinski otok uglavnom je određen albedom, smanjenom evaporacijom te visokom apsorpcijom Sunčeve radijacije (Landsberg, 1981). Zimi zbog niskih temperatura i smanjene Sunčeve radijacije urbani toplinski otok nije određen istim uvjetima kao ljeti, već poglavito ispuštanjem

antropogene topline. Ona se odnosi na ukupnu ljudsku aktivnost, što uključuje grijanje kućanstava, korištenje vozila, ali i samu toplinu ljudskih tijela.

Srednje zimske i siječanjske temperature postaja imaju očekivane vrijednosti. Najvišu srednju zimsku i ujedno siječanjsku temperaturu ima postaja *Zagreb-Grič*, smještena u samom središtu grada (tab.4.). Time je potvđen toplinski otok u gradu Zagrebu. Unatoč tome, srednja godišnja vijednost postaje *Zagreb-Grič* nije najviša (sl.9). Kada bi urbana struktura bila pravilna, bez lokalnih klimatskih utjecaja, tada bi se udaljavanjem od središta grada temperatura pravilno snižavala. Odabrane su postaje u ovom radu pod utjecajem određenih mikroklimatskih uvjeta te ne postoji pravilno smanjivanje prilikom udaljavanja od središta grada. To je vidljivo na primjeru postaje *Zagreb-Maksimir* koja je smještena u zelenom gradskom području te su temperature niže i od postaja udaljenijih od središta grada poput *Zagreb-Rim ili Retkovec*.

Tab. 4. Srednje ljetne i zimske te srednje siječanjske i srpanjske temperature (°C) za mjerne postaje u Zagrebu za razdoblje od 2013.-2017.

Postaja	ljetne temperature	zimske temperature	siječanjske temperature	srpanjske temperature
Dugave	32,3	4,8	3,0	33,6
Gornje Vrapče	31,4	4,2	2,6	32,9
Retkovec	30,4	4,1	2,4	32,0
Ferenščica	31,1	4,5	2,8	32,9
Mlinovi	29,6	4,8	3,5	31,1
Zagreb-Grič	30,7	5,3	3,6	32,4
Zagreb-Maksimir	29,5	3,9	2,1	31,1
Zagreb-Rim	29,6	4,3	2,5	31,1
Zagreb-aerodrom	29,5	3,3	1,5	31,2

Izvor: 9 i 10, obradio autor

Postaja *Zagreb-aerodrom* najudaljenija je postaja od središta grada. Također, smještena je na otvorenom području te u dolini rijeke Save gdje se stvaraju uvjeti za veliko ohlađivanje u hladnom dijelu godine. Sa srednjom zimskom temperaturom od 3,3 °C i srednjom siječanjskom od tek 1,5 °C to je najhladnija postaja. Okoliš postaja *Gornje Vrapče i Zagreb-Rim* sličan je, što utječe i na slična temperaturna obilježja. Razlika u srednjim zimskim temperaturama, kao i srednjim siječanjskim iznosi 0,1 °C. S druge strane, okoliš postaje *Mlinovi* morfološki je sličan postajama *Gornje Vrapče* i *Zagreb-Rim*, no ima visoke temperature zimi i u siječnju (tab.4.)

Takve temperature mogu se pripisati vjerojatnom smještaju postaje na kući. Postaja *Dugave* također je jedna od onih koja ima više srednje zimske temperature u odnosu na druge postaje. Cijele zime je visoka temperatura u odnosu s drugim postajama. Postaja *Mlinovi* je najtoplija postaja nakon *Zagreb-Griča*. Srednja siječanjska temperatura nije tako visoka da bi ukazivala na pogreške pri mjerenju temperature. Kod postaje *Ferenščica* temperature su u skladu s morfološkim obilježjima okoliša postaje, gdje veliki utjecaj zimi ima antropogeni utjecaj lokalnih tvornica te industrijskih i trgovačkih kompleksa. Postaja *Retkovec* nalazi se na kontaktnom području izgrađenog dijela grada te velike prirodne površine. Zbog toga postaja *Retkovec* ima najniže srednje zimske i siječanjske temperature nakon postaja *Zagreb-Maksimir* i *Zagreb aerodrom* (tab. 4.).

Ljetne temperature su, kao što je već rečeno, manje pogodne za određivanje razlika unutar toplinskog otoka grada. Razlog tomu jest nepostojanje jednog dominantnog čimbenika, kao što je kod zimskih mjeseci antropogeni utjecaj. Ljeti više faktora utječe na temperature te su stoga lokalni klimatski uvjeti jače izraženi pa se kod postaja pojavljuju i neuobičajeno visoke temperature. Ono što također podupire navedeno jest jača izraženost toplinskog otoka u fazi hlađenja. Materijali u gradu apsorbiraju puno više topline u odnosu na prirodne materijale u okolici te se tijekom hlađenja više topline osolobodi u gradu nego u okolici, time je središte grada toplije. Sukladno tome, ljeti je zbog kratkih noći i vrijeme ohlađivanje kratko pa razlike u temperaturi središta grada i okolice nisu izražene kao što su preko zime.

Navedena zakonitost očituje se i u temperaturama mjernih postaja (tab.4.). Stoga, najtoplija postaja nije *Zagreb-Grič,* iako ima srednju ljetnu temperaturu od 30,7 °C, a srednju srpanjsku od 32,4 °C. Postaje *Dugave, Ferenščica i Gornje Vrapče* imaju više srednje ljetne temperature iako su smještene u rubnim dijelovima Zagreba. Postaja *Zagreb-aerodrom* ima srednju srpanjsku temperaturu 31,1 °C, iako su srednje zimske temperature u toj postaji vrlo niske. Razlog tomu je već spomenuta blizina aerodroma zbog kojeg su temperature ljeti vrlo visoke. Sličan je primjer postaje *Ferenščica,* gdje su visoke temperature uvjetovane prisutnošću velikih površina pod industrijskim i trgovačkim objektima. U postaji *Zagreb-Maksimir* temperature su slične temperaturama postaje *Zagreb-aerodrom*. Dakle, čak i ljeti se osjeća utjecaj zelenih površina u gradu, što je još jedna od potvrda lokalnih klimatskih uvjeta u urbanim područjima. Postaja *Zagreb-Maksimir*, sa srednjom ljetnom temperaturom od 29,5 °C, je uz postaju *Zagreb-aerodrom,* najhladnija mjerna postaja. *Zagreb-Rim i Mlinovi* sa srednjim temperaturama od 29,6 °C ljeti i 31,1 °C u srpnju pokazuju utjecaj okoliša u kojem se nalaze, odnosno termički utjecaj koji je određen morfologijom grada i svojstvima materijala od kojih je grad uzgrađen, a

u ovom slučaju rjeđom urbanom izgrađenošću te više otvorenog prostora i zelenih površina. Postaja *Gornje Vrapče* ima srednju temperaturu od 31,4 °C ljeti i 32,9 °C u srpnju, što je drugo najviše u oba slučaja. Ova je postaja ljeti relativno toplija od ostalih, što nam ponovno ukazuje na potrebnu pažnju prilikom analize podataka. Sličan je primjer postaje *Dugave*, koja je već navedena kao najtoplija postaja, vrlo vjerojatno zahvaljujući svom smještaju na jednom od balkona zgrade i potencijalnoj izloženosti direktnoj Sunčevoj radijaciji. To se očituje u najvišoj srednjoj ljetnoj i srednjoj srpanjskoj temperaturi u odnosu na ostale postaje (tab.4.).

3.4. Intenzitet urbanog toplinskog otoka grada Zagreba

Kao jedna od metoda usporedbe različitih klimatskih uvjeta u različitim dijelovima gradova koristi se intenzitet urbanog toplinskog otoka. On se koristi kako bi se izmjerio efekt urbanog toplinskog otoka putem jednostavne usporedbe „urbane“ i „ruralne“ temperature zraka (Stewart i Oke, 2012). Intenzitet se određuje oduzimanjem temperature zraka odabrane postaje i postaje koja je „ruralna“. Pretpostavka je kako će zimi i noću utjecaj urbanog toplinskog otoka biti izražen.

U ovom dijelu rada za referentnu postaju odabrana je postaja *Zagreb-aerodrom*. Kroz dosadašnji dio rada ona je definirana kao najhladnija postaja te je time najpovoljnija za ovaj dio rada. Nije ruralna, ali u odnosu na ostale postaje ima najviše ruralnih obilježja i zato je najpovoljnija za mjerenje intenziteta urbanog toplinskog otoka.

Iako bi bilo dobro mjeriti intenzitet u razlici noćnih temperatura, to nije moguće jer je najkasniji termin mjerenja temperature u 21h, što je prerano za mjerenje noćnog utjecaja urbanog toplinskog otoka. Temperature za koje je izračunat intenzitet su: srednje zimske, srednje ljetne, srednje siječanjske i srednje godišnje temperature za razdoblje od 2013. do 2017. Temperature mjernih postaja oduzimane su od temperatura referentne postaje (Zagreb-aerodrom) te su se iz dobivenih rezultata dobili zaključci o lokalnim klimatskih uvjetima mjernih postaja.

Analiza intenziteta urbanog toplinskog otoka pokazala je da je on u Zagrebu najizraženiji tijekom zimskih mjeseci, a još više u siječnju (tab.5.). Razlog tomu je uvjetovanost jedino lokalnim klimatskim faktorima, tj. izgrađenosti grada. Intenzitet toplinskog otoka zimi i u siječnju najviši je u oba slučaja za postaju *Zagreb-Grič*. Tada je viši za čak 2,0 °C te 2,1 °C, što je prosječno, u odnosu sa drugim postajama, više za 0,93 °C. Postaje poput *Zagreb-Maksimira i Retkovca* imaju najmanji intenzitet, 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 što se može povezati s prisojnom orijentacijom padine te činjenicom da je zimi na višim nadmorskim visinama vedrije nego u dolini, u ovom slučaju, rijeke Save. Ukoliko se to usporedi s temperaturama postaja *Gornje Vrapče i Zagreb-Rim*, koje su smještene u morfološki sličnim okolišima, očit je utjecaj nekog drugog faktora koji zagrijava postaju *Mlinovi* tijekom zime.

Tab. 5. Intenzitet urbanog toplinskog otoka mjernih postaja zimi, ljeti, u siječnju te 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
Ferenščica	1,2	1,6	1,3	1,5
Mlinovi	1,5	0,1	2	1,1
Zagreb-Grič	2	1,2	2,1	1,7
Zagreb-Maksimir	0,6	0	0,6	0,4
Zagreb-Rim	1	0,1	1	0,7

Izvor: 9 i 10, obradio autor

Intenzitet srednjih godišnjih vrijednosti predstavlja određenu srednju vrijednosti između zimskih i ljetnih uvjeta. Vrijednost intenziteta toplinskog otoka postaje *Zagreb-aerodrom* je 16,2 °C. Stoga postaja *Dugave* ima najviši intenzitet od 2,1 °C, što je posljedica visokih ljetnih temperaturama (tab.5.). *Zagreb-Grič,* druga je postaja s najvećim intenzitet, gdje utjecaj ima smještaj u središtu grada. Postaje *Zagreb-Rim, Retkovec i Mlinovi* imaju slične intenzitete srednjih godišnjih vrijednosti. *Zagreb-Maksimir* sa najnižim intenzitetom od 0,4 °C potvrđuje veliki utjecaj zelenih gradskih površina. Visoki intenzitet postaje *Ferenščica* posljedica je smještaja u blizini industrijskih i trgovačkih kompleksa.

Intenzitet toplinskog otoka ljeti razlikuje se od intentziteta zimi. Ljeti za postaju *Zagreb-aerodrom* srednja temperatura iznosi 29,5 °C. Odstupanja koja su se vezale za postaje *Dugave* i *Gornje Vrapče* sada se najbolje uočavaju (tab.5.). Vrijednost intenziteta postaja *Dugave* (2,8 °C) i *Gornje Vrapče* s (1,9 °C) ljeti dodatno nam potvrđuje nepovoljan smještaj samih mjernih instrumenata tih postaja čime se ljeti zbog jake Sunčeve radijacije jako zagrijavaju. Ujedno, *Zagreb-Grič* ima intenzitet od „samo" 1,2 °C što je manje od postaja *Dugave i Gornje Vrapče,* a također i od *Ferenščice* kod koje utjecaj ima veliko zagrijavanje uvjetovano industrijskim i trgovačkim kompleksima u blizini postaje. Postaje *Zagreb-Maksimir, Zagreb-Rim i Mlinovi* imaju gotovo iste srednje ljetne temperature kao i postaja *Zagreb-aerodrom*. To se može pripisati utjecaju zelenih gradskih površina u kojima su ove postaje smještene.

Analiza intenziteta urbanog toplinskog otoka dala je zanimljive rezultate u vidu definiranja lokalnih klimatskih uvjeta okoliša u kojim se mjerne postaje nalaze. Također, dala je uvid u eventualne nepravilnosti u korištenim podacima, kao kod visokih ljetnih temperatura postaja *Gornje Vrapče i Dugave* te visokih zimskih temperatura postaje *Mlinovi.*

3.5. Lokalne klimatske zone postaja korištenih u radu

U završnom poglavlju na temelju svih dosadašnjih saznanja o lokalnim klimatskim uvjetima mjernih postaja, nastojat će se za njih dati klasifikacija koja će se provoditi prema klasifikaciji Stewart i Okea (2012). Jedan tip klasifikacije LKZ je tip izgrađenog zemljišta, a drugi prirodni pokrov. Oba mogu nastati radom čovjeka jer prirodni pokrov može biti i šumska površina, ali i polje koje obrađuje čovjek. Tipovi izgrađenog zemljišta imaju veliki broj varijateta koji se pronalaze u urbanim područjima, stoga će se pojedinim LKZ pripisati dodatna morfološka obilježja koja ih karakteriziraju.

Engleski nazivi lokalnih klimatskih zona zadržani iz razloga što ne postoji službeni hrvatski prijevod. U radu se nije pristupilo prevođenju naziva na hrvatski jezik, premda za to postoji potreba u daljnim istraživanjima ovog tipa.

Dugave pripadaju *Open midrise* tipu LKZ čije su osnovno obilježje zgrade 3-9 katova visine izgrađene od betona. Između zgrada prisutna su raštrkana drveća te travnati pokrovi. Rezidencijalne je funkcije sa slabim prometom. Smještena je na periferiji grada. Temperaturna obilježja ove postaje su specifična te se nisu uzela kao bitan faktor u određivanju LKZ. Razlog

tomu je potencijalna nepravilnost u smještaju postaje. Stoga se određivanju LKZ ove postaje pristupilo s oprezom te su se pretežno koristila morfološka obilježja.

Postaja *Gornje Vrapče* pripada *Sparsely built* tipu LKZ koji je definiran malim ili zgradama srednje veličine koje se nalaze u prirodnom krajoliku koji se sastoji od gušćih skupina drveća. Građevni materijal je različit te uključuje i druge materijale osim betona. Funkcija je također rezidencijalna. Iako su ljetne temperature nešto više u odnosu prema drugim postajama, tijekom zime je ovaj prostor dosta hladniji od postaja bližih središtu grada.

Tab.6. Lokalne klimatske zone mjernih postaja u Zagrebu

Tip lokalne klimatske zone	**Postaja**	**Dodatna morfološka obilježja**
Sparsely built	Gornje Vrapče	Gušće skupine drveća
	Mlinovi	
	Zagreb-Rim	
Low plants	Zagreb-Maksimir	Poljoprivredno zemljište
	Zagreb-aerodrom	Aerodrom/travnjaci
Open midrise	Dugave	Raštrkana drveća
Open lowrise	Retkovec	Velike prirodne površine
Large lowrise	Ferenščica	Zelene površine između zgrada
Compact midrise	Zagreb-Grič	Zelena urbana područja Gornjeg grada

Izvor: Stewart i Oke (2012), obradio autor

Postaja *Retkovec* primjer je *Open lowrise* LKZ. Male zgrade, tj. stambene kuće, visine 1-3 kata smještene su u blokovima kuća. Razmještaj je slabije pravilnosti kao posljedica brze suburbane izgradnje. Također, rezidencijalne je funkcije sa slabim prometom. Postaja je smještena na prijelazu kuća prema otvorenom prostoru šumaraka i travnjaka, što najviše i utječe na niske temperature koje su se bilježile u istraživanom razdoblju. Ova postaja primjer je postaje u prijelaznom području izgrađenog dijela grada i otvorenog prirodnog prostora.

Postaja *Ferenščica* je smještena u *Large lowrise* LKZ. Prije svega, u ovoj LKZ zgrade su relativno niske, 1-5 katova visine, s dominantnim smjerom pružanja u širinu, a ne visinu. Razlog tomu je industrijska i trgovačka funkcija ovog područja. Između zgrada podloga je većinski

asfaltirana. Specifičan je umjeren promet industrijskih vozila, poput kamiona. Iako sama postaja *Ferenščica* nije smještena točno između kompleksa zgrada, već oko 200 metara dalje, njezina temperaturna obilježja su pod velikim termičkim utjecajem kompleksa industrijskih i trgovačkih zgrada te se klasifikacija provela kombinirajući termička obilježja nizova podataka i okoliša postaje .

Postaja *Mlinovi* je smještena u *Sparsely built* LKZ. Morfološki je vrlo slična postaji *Gornje Vrapče*, gdje su niske kuće raštrkane po šumovitim padinama Medvednice.

Postaja *Zagreb-Grič*, jedina je postaja smještena u središtu grada te pripada *Compact midrise* LKZ. Kroz rad je dokazano kako ova postaja ima visoke temperature te kako je od svih analiziranih najtoplija. Ovu LKZ čine zgrade 3-9 katova visine koje su gotove spojene. Razdvojene su uskim ulicama te unutrašnjim dvorištima. Građevni materijal je beton, a gotovo cijeli prostor je asfaltiran. Komercijalne je i rezidencijalne funkcije, a promet je slabiji. Ova LKZ je kompaktno izgrađena, no u slučaju Zagreba postoji isprekidanost koja se odnosi na zelena urbana područja, poput parka Zrinjevca.

Postaja *Zagreb-Maksimir* pripada *Low plants* LKZ. Smještena je u zelenom urbanom području te su temperature najniže poslije postaje *Zagreb-aerodrom*. Razlog iz kojeg je postaja dodijeljena ovom tipu LKZ je taj što LKZ mogu biti i mali prostori od nekoliko stotina metara. Temperaturna obilježja postaje ukazala su na veliku povezanost podloge postaje s izmjerenim temperaturama. Stoga se za ovu postaju zaključuje kako pripada *Low plants* LKZ. Uključuje veliku livadu istočno od tvornice Kraš i poljoprivredno zemljište Agronomskog fakulteta u blizini. U smjeru S-J ova LKZ prostire se i nekoliko kilometara, a u širini nekoliko stotina metara.

Postaja *Zagreb-Rim* još je jedna postaja smještena u *Sparsely built* tipu LKZ. Temperaturna obilježja u odnosu prema drugim postajama pokazuju nešto niže temperature. Morfološki, postaja također pripada ovoj LKZ.

Postaja *Zagreb-aerodrom* također pripada *Low plants* tipu LKZ. Iako je termički utjecaj postaje zagrebačkog aerodroma neupitan – pogotovo ljeti – logičnije je bilo postaju smjestiti u ovaj tip LKZ uzevši u obzir i temperaturna obilježja, pogotovo zimi. *Zagreb-aerodrom* obilježavaju najniže temperature od svih mjernih postaja. Osim aerodroma okolinu postaje čini mozaik poljoprivrednog zemljišta koje se uklapa u jedinstvenu LKZ.

4. Zaključak

Zagreb je grad na čijem se području zbog njegove veličine nalazi veći broj lokalnih klimatskih zona. Na temelju analize toplinskih i morfoloških obilježja mjernih postaja ovim je radom utvrđeno šest lokalnih klimatskih zona koje su raspoređene diljem grada. Iako je izgledno kako u gradu Zagrebu postoji više tipova lokalnih klimatskih zona, oni ovim radom nisu utvrđene iz razloga ograničenog broja mjernih postaja.

Toplinske razlike pojedinih dijelova grada su utvrđene te je dokazan njihov utjecaj na nastanak lokalnih klimatskih zona. Također, toplinski otok Zagreba relativno je jednostavno uočen i dokazana je njegova prisutnost. Prostorni obuhvat središta toplinskog otoka teže je odrediti ukoliko ne postoji veći broj mjernih postaja u središtu grada. Ovim radom, podaci o temperaturi postaje *Zagreb-Grič* ukazuju na okvirnu pozicinranost središta toplinskog otoka u području oko glavnog trga grada.

Utvrđena je i problematičnost amaterski prikupljenih podataka gdje greška prilikom početnog smještaja mjerne postaje može utjecati na neispravne podatke u cijelom razdoblju prikupljanja podataka, pogotovo sezonski, kao što su se u ovom radu pojavile neočekivane ljetne ili zimske temperature. Ipak, pozitivna je činjenica kako se i takvi podaci mogu pokazati korisnima za istraživanje klime gradova, kao svojevrsna nadopuna nizova podataka mjernih postaja nadležnih institucija.

Urbana klimatologija je u Hrvatskoj još mlada znanstvena disciplina te su potrebna daljnja istraživanja, kao i razvijanje stručne terminologije, kako bi se razvila i sama disciplina.

5. Literatura i izvori

A) Literatura

1. Anthony, J. B., Quatrocchi D., 2005: Urban Climatology, u *Encyclopedia Of World Climatology*, (ur. Oliver, J.E.), Springer, Dordrecht, 766-779.

2. 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.

3. Filipčić, A., 1998: Klimatska regionalizacija Hrvatske po W. Köppenu za standardno razdoblje 1961.-1990. u odnosu na razdoblje 1931.-1960., *Acta Geographica Croatica* 33 (1), 7 – 15.

4. Ivančan-Picek, B., 2017: Projekcije klimatskih promjena na području grada Zagreba – *Konferencija Sigurnost Gradova,* prezentacija

5. Landsberg, H.E., 1981: The Urban Climate, *International Geophysics Series* vol. 28, University of Maryland, Academic Press Inc., New York

6. Mills, G., 2014: Urban Climate: History, Status And Prospects, *Urban Climate* 10(3), 479-489.

7. Oke, T.R., 1969: Toward a more Rational Understanding of the Urban Heat Island, *Mcgill Climate Bulletin* 3 (1), 1-20.

8. Oke, T.R., 1976: The Distinction between Canopy and Boundary Layer Urban Heat Islands, *Atmosphere* 14 (4), 268-277.

9. Oke, T. R., 1982: Energetic Basis Of Urban Heat Island, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 108 (455), 1-24.

10. Oke, T.R., 1995: The Heat Island Of The Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes And Effect, u *Wind Climate In Cities* (ur. Cermak, E.*)*, Kluwer Academic Publishers, 81-107.

11. Oke, T.R., 1997: Urban Environments, u *The Surface Climates of Canada* (ur. Bailey, W.G., T.R. Oke, i W.R. Rouse), McGill-Queen's University Press, Montreal, 303-327.

12. Oke, T.R., 2006: Towards better Scientific Communication in Urban Climate, *Theoretical and Applied Climatology* 84 (1), 179-190.

13. Pleško, N., 1974: Ovisnost zagađenosti zraka u Zagrebu o meteorološkim faktorima**,** *Hrvatski meteorološki časopis* 11 (11), 57-64.

14. 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.

15. Stewart, I.D., Oke, T.R., 2009: A New Classification System For Urban Climate Sites, *Bulletin Of The American Meteorologial Society* 90 (1), 922–923.

16. Stewart, I.D., Oke, T.R., 2012: Local Climate Zones For Urban Temperature Studies, *Bulletin Of The American Meteorological Society* 93 (1), 1879–1900.

17. Svjetska meteorološka organizacija, 1983: Abridged Final Report, 8th Session, Geneva, *Commission For Climatology And Applications Of Meteorology*

18. Šegota, T., 1986: Srednja temperatura zraka u Zagrebu, *Geografski glasnik* 48 (1), 13-24.

19. Unger, J., Lelovics, E., i Gál1, T., 2014: Local Climate Zone Mapping Using GIS Methods In Szeged, *Hungarian Geographical Bulletin* 63 (1), 29–41.

20. Zhao, C., 2018: Linking the Local Climate Zones and Land Surface Temperature to investigate the Surface Urban Heat Island, A Case Study of San Antonio, Texas, U.S., *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 4 (3), 277-283.

B) Izvori

1. Svjetska banka - urbana populacija: https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS (15.7.2018.)

2. Svjetska banka - urbana površina: https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.TOTL.UR.K2 (15.7.2018.)

3. United Nations – urbanizacija: http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/WUP2011_Report.pdf (17.7.2018)

4. International Association for Urban Climate, 2004: The Luke Howard Award. IAUC Newsletter 8, www.urbanclimate.org (17.7.2018.)

5. GIS Data, 2005: Digitalni atlas RH (GIS Shapefileovi), Zagreb (2.8.2018.)

6. Kranjec, K. (2014): Projekt *Digitalizacija Zagreba* - Shapefileovi izgrađenog područja (24.8.2018.)

7. Esri, Digital Globe - podloge ArcMap programa (25.7.2018.)

8. Državni hidrometeorološki zavod Hrvatske, raspored meteoroloških postaja: http://prognoza.hr/karte_postaja.php?id=glavne (3.7.2018.)

9. Državni hidrometeorološki zavod Hrvatske, temperaturni podaci 2013. – 2017.

10. Arhiva Pljuska - temperaturni podaci 2013. – 2017., raspored mjernih postaja: https://pljusak.com/karta.php (3.7.2018.)

11. Njemački meteorološki zavod - Urbani toplinski otoci: https://www.dwd.de/EN/research/climateenvironment/climate_impact/urbanism/urban_heat_island/urbanheatisland_node.html (21.7.2018.)

12. Google Maps, 2018, prostor grada Zagreba: https://www.google.com/maps/@45.8111029,15.9690873,7506m/data=!3m1!1e3 (12.8.2018.)

13. European Environmental Agency, 2012: CORINE Land Cover shapefiles: https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012/view (10.8.2018.)