

Mikroklimatska obilježja Botaničkog vrta PMF-a u Zagrebu

Barun, Vlade

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:217:180869>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Vlade Barun

**Mikroklimatska obilježja Botaničkog vrta PMF-a u
Zagrebu**

Diplomski rad

**Zagreb
2019.**

Vlade Barun

**Mikroklimatska obilježja Botaničkog vrta PMF-a u
Zagrebu**

Diplomski rad

predan na ocjenu Geografskom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog zvanja
magistra geografije

**Zagreb
2019.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Geografija*; smjer: *istraživački (Fizička geografija s geoekologijom)* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Mladena Maradina.

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Diplomski rad

Mikroklimatska obilježja Botaničkog vrta PMF-a u Zagrebu

Vlade Barun

Izvadak: Rad se bavi mikroklimom Botaničkog vrta u Zagrebu i toplinskim otokom grada. Proučavane su razlike u temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka između Vrtu i okolice, ali i unutar samoga Vrtu. U radu su prikazani faktori koji utječu na mikroklimu parkova. To su veličina parka, gustoća vegetacije u parku i sl.

54 stranice, 27 grafičkih priloga, 12 tablica, 24 bibliografske reference; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: toplinski otok grada, Botanički vrt, temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, klima parkova

Voditelj: doc. dr. sc. Mladen Maradin

Povjerenstvo: izv. prof. dr. sc. Anita Filipčić
izv. prof. dr. sc. Nenad Buzjak
izv. prof. dr. sc. Danijel Orešić

Tema prihvaćena: 6. 12. 2018.

Rad prihvaćen: 12. 9. 2019.

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

Master Thesis

The Microclimate Features of the Botanical Garden of FoS in Zagreb

Vlade Barun

Abstract: This paper deals with the microclimate of the Botanical Garden in Zagreb and the urban heat island. Differences in temperature and relative humidity between the Botanical garden and the surrounding area, as well as within the Botanical garden itself, have been studied. The paper examines the microclimate of parks and factors that impact it, as park size, vegetation density, etc.

54 pages, 27 figures, 12 tables, 24 references; original in Croatian

Keywords: Urban heat island, Botanical garden, air temperature, relative humidity, city parks climate

Supervisor: Mladen Maradin, PhD, Assistant Professor

Reviewers: Anita Filipčić, PhD, Associate Professor
Nenad Buzjak, PhD, Associate Professor
Danijel Orešić, PhD, Associate Professor

Thesis title accepted: 06/12/2018

Thesis accepted: 12/09/2019

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

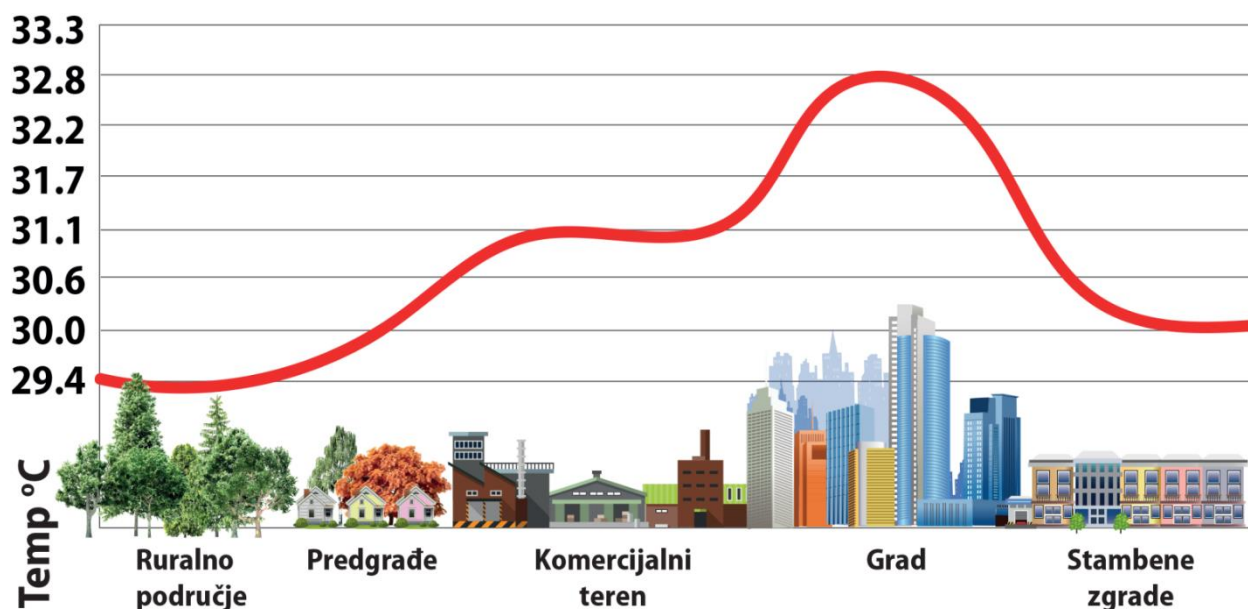
SADRŽAJ:

1. Uvod	1
1.1. Važnost parkova za klimu grada	4
1.2. Lokalne klimatske zone.....	5
1.3. Ciljevi rada	7
2. Pregled dosadašnjih istraživanja	7
3. Podatci i metodologija.....	8
4. Rezultati	14
4.1. Godišnji hod temperature i relativne vlažnosti zraka u Botaničkom vrtu i okolici.....	14
4.2. Dnevni hod temperature i relativne vlažnosti zraka u Botaničkom vrtu i okolici.....	19
4.3. Utjecaj gustoće vegetacije i vrste stabla na temperaturu i relativnu vlažnost zraka	30
4.4. Neki dodatni pokazatelji o mikroklimatskim obilježjima Botaničkog vrta i okolice	31
4.5. Usporedba klimatskih obilježja Botaničkog vrta i postaja DHMZ-a	33
4.6. Toplinski otok grada ljeti i zimi	39
5. Usporedba sa sličnim istraživanjima	43
6. Uloga parkova u smanjenje intenziteta toplinskog otoka Zagreba	49
7. Zaključak	54
8. Literatura i izvori.....	55

1. Uvod

Urbanizacija značajno mijenja prirodnu površinu i klimu područja gdje se nalaze gradovi. Više od polovice stanovništva Zemlje danas živi u gradovima, a predviđa se da će udio gradskog stanovništva 2050. biti 66 % (UN, 2012).

Posljedica urbanizacije jest pojava posebnog tipa klime, a to je urbana klima ili klima grada. Klima grada razlikuje se od klime ruralne okoline. Grad je topliji od svoje okoline, pogotovo noću, jer otpušta više topline (dugovalnom radijacijom) koju je preko dana akumulirao. Ta pojava poznata je pod nazivom toplinski otok grada (sl. 1). Postoji više razloga koji ga uzrokuju. Zelene površine zamjenjuju se zgradama i asfaltom, a ti umjetni materijali apsorbiraju puno više topline tijekom dana nego prirodni materijali, odnosno zelene površine. Koncentracija aerosola veća je u gradu nego u njegovoj okolici, što smanjuje ohlađivanje dugovalnom radijacijom tijekom noći. Zgrade u gradu sprječavaju prirodno strujanje zraka. Kratkovalna i dugovalna radijacija zarobljava se između zgrada, mijenja se apsorpcija i emisija energije, vlažnost zraka, turbulencija vjeta, emisija antropogene topline itd. (Yague i dr., 1991).



Sl. 1. Toplinski otok grada

Izvor: [Više od betonskih ploča, n.d.](#)

Toplinski otok grada prvi put istražen je u Londonu 1820. godine. Luke Howard primijetio je da je grad noću topliji za 2,1 °C od ruralne okoline (Bonan, 2002). Glavni čimbenici koji

utječu na obilježja urbanog toplinskog otoka su veličina grada, morfologija, korištenje zemljišta te geografska obilježja kao što su reljef, nadmorska visina i regionalna klima. Istraživanja o toplinskom otoku grada najbolje je provoditi u gradovima koji se nalaze na relativno ravnoj površini jer tako najviše do izražaja dolazi klimatski utjecaj grada (Brazel i Quatrocchi, 2005). Toplinski otok javlja se u svim naseljima.

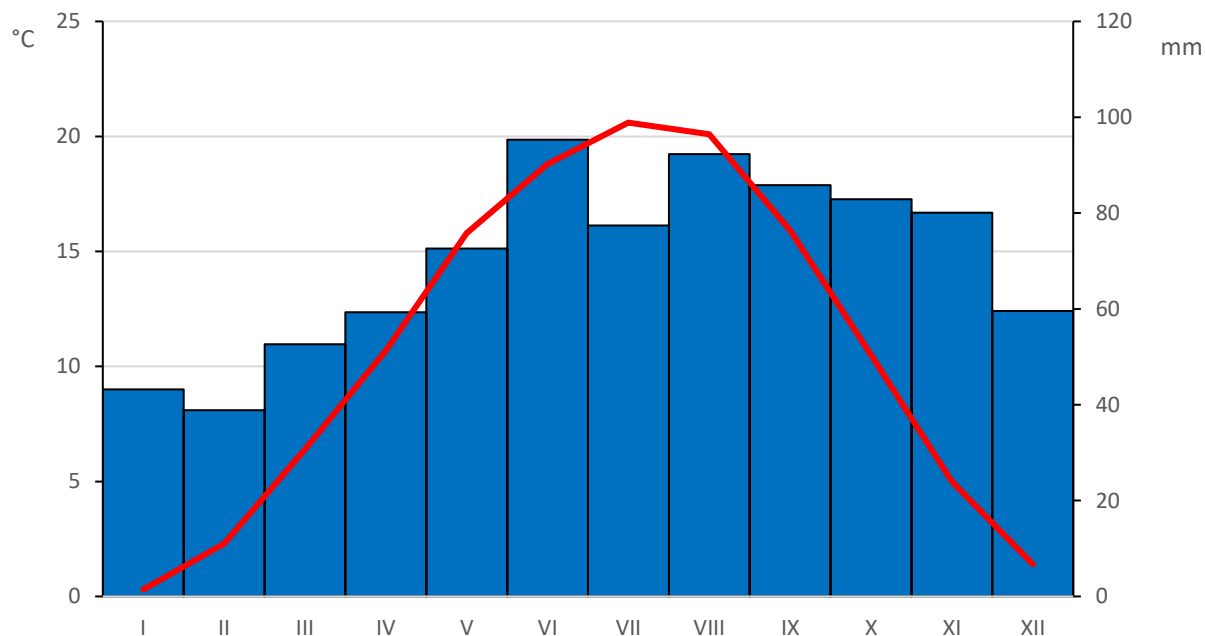
Intenzitet toplinskog otoka definira se kao razlika prosječne temperature zraka grada i ruralne okolice. U pravilu što je grad veći to je intenzitet toplinskog otoka veći. Intenzitet toplinskog otoka kreće se od 0,1 do 12 °C, što ovisi o broju stanovnika, veličini grada, dobu dana, geografskoj širini i lokaciji mjerenja. Intenzitet je često „umanjen“ jer se mjerenja u gradu, u meteorološkim postajama, izvode na prirodnim površinama, a ne na asfaltu. Razlika između najtoplijih dijelova grada i ruralne okolice u umjerenim širinama može biti jako izražena, jer su najtopliji dijelovi grada iznad asfaltiranih i izgrađenih površina (Chang i Li, 2014). Intenzitet toplinskog otoka ovisi o sinoptičkoj situaciji i dobu godine. Tijekom vedrih i mirnih dana intenzitet toplinskog otoka je veći, a tijekom oblačnih, kišovitih i vjetrovitih dana on je manji. Anticiklone povećavaju intenzitet toplinskog otoka, a ciklone ga smanjuju (Maradin i Filipčić, 2018).

Intenzitet toplinskog otoka mnogih gradova postaje sve veći zbog povećanja broja stanovnika i ubrzane izgradnje, ali i zbog globalnih klimatskih utjecaja. Rast temperature gradova bit će veći nego u ruralnoj okolini pa će porasti i intenzitet toplinskog otoka (Oliver, 2008).

Toplinski otok grada samo je jedna od brojnih nepovoljnih ekoloških, društvenih i ekonomskih posljedica razvoja gradova. Zbog toplinskog otoka dolazi do smanjenja kvalitete vode i negativnog utjecaja na ljudsko zdravlje. Ljeti dolazi do povećane potrošnje energije. Trebale bi se planirati mjere urbanog razvoja koje bi spriječile daljnje povećanje intenziteta toplinskog otoka grada, a zatim i dovele do njegova smanjenja. Važan je razvoj zelene i plave infrastrukture. Parkovi su važne zelene površine u oblikovanju klime grada, jer imaju rashlađujući utjecaj. Parkovi mogu smanjiti temperaturu zraka u svojoj okolini i tako smanjiti nepovoljne ekološke, društvene i ekonomske posljedice razvoja toplinskog otoka grada.

U radu se analiziraju klimatska i mikroklimatska obilježja Zagreba i Botaničkog vrta. Zagreb se nalazi u umjerenim geografskim širinama (45°49'N, 15°59'E) na nadmorskoj visini od oko 125 metara. Sjeverno od grada nalazi se planina Medvednica koja se proteže u smjeru SI-JZ. Kroz južni dio grada protječe rijeka Sava. Klima u Zagrebu je umjereno topla vlažna klima s toplim ljetima (Cfb, prema Köppenovoj klasifikaciji klime). Ljeta su suha s

prosječnim temperaturama od oko 20 °C, dok su zime hladne s prosječnim temperaturama od oko 1 °C. Prosječna godišnja temperatura zraka za razdoblje 1971.-2000. je 10,6 °C, a godišnja količina padalina 840 mm (sl. 2).



Sl. 2. Godišnji hod temperature zraka i količine padalina u Zagrebu (Zagreb-Maksimir) za razdoblje 1971.-2000.

Izvor: prema podacima Klimatskog atlasa DHMZ-a izradio autor

U Zagrebu živi oko 800 000 stanovnika na površini od oko 641 km². Botanički vrt jedan je od parkova u središtu Zagrebu. Nalazi se na nadmorskoj visini od oko 120 metara. Na površini od gotovo 0,05 km² nalazi se više od 5000 biljaka. Botanički vrtovi razlikuju se od ostalih parkova po heterogenosti biljnih vrsta u njima. U vrtu se nalaze brojna drveća različitih vrsta, manje vodene površine i sl. Botanički vrt ima rashlađujući utjecaj na svoju okolicu. Advekcijom hladi okolicu koja apsorbira više topline od samog Vrta. Vrt je dio tzv. Zelene potkove, urbanističke cjeline koja se sastoji od niza trgova-perivoja i parkova u Donjem gradu u Zagrebu. U najužem središtu Zagreba Botanički vrt jedna je od većih zelenih površina (sl. 3). Osim parkova za ohlađivanje se mogu koristiti i vodene površine kao što su rijeke, jezera i sl.



Sl. 3. Zelena (Lenucijeva) potkova

Izvor: [Zagreb hoteli - putovanje u Zagreb, 2014](#)

1.1. Važnost parkova za klimu grada

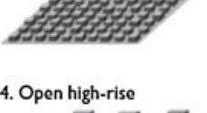
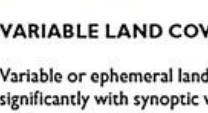
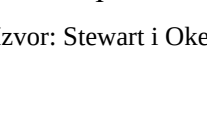
Važnost parkova za klimu grada jest u tome što oni imaju rashlađujući utjecaj. Vegetacija u gradu ublažava intenzitet toplinskog otoka. Drveće stvara sjenu koja smanjuje apsorpciju direktne Sunčeve radijacije od podloge. Evapotranspiracijom se također smanjuje intenzitet toplinskog otoka grada, a biljke troše dio Sunčevog zračenja za transpiraciju i fotosintezu. Drveće posađeno u blizini zgrada značajno smanjuje količinu direktne Sunčeve radijacije na zidovima zgrada, kao i zagrijanost površine ceste. Smanjuje i temperaturu u prostorijama zgrada što dovodi do uštede energije tijekom ljeta. Drveće je teško posaditi posvuda po gradu, uza sve zgrade, stoga je važno postojanje većih parkova u svim dijelovima grada. Parkovi bi trebali biti što veći i raspoređeni u svim dijelovima grada. Ako ima puno malih raštrkanih parkova njihov utjecaj neće biti toliko izražen (Chang i Li, 2014). Rashlađujući utjecaj parka ovisi o vrsti parka. Parkovi bez drveća imaju određeni rashlađujući utjecaj jer livada apsorbira manje topline od asfalta i ostalih izgrađenih površina. Parkovi s drvećem bolji su za smanjenje intenziteta toplinskog otoka grada, jer osim što apsorbiraju manje topline tu je i drveće koje stvara sjenu. Istraživanja su pokazala da se povećanjem zasjenjenih

površina od drveća s 25 na 40 % može značajno povećati rashlađujući utjecaj parka, a time i smanjiti intenzitet toplinskog otoka. Važno je da parkovi nemaju asfaltirane staze. Parkovi s asfaltiranim stazama mogu biti jednako topli kao i grad. Drveća koja su posađena na zelenim površinama bolje provode evapotranspiraciju od drveća posađenih u blizini asfalta. Parkovi s odgovarajućim pokrovom i vegetacijom su tzv. hladni otoci u gradu, a temperatura u parkovima umjerenih širina može biti od 1 do 7 °C niža od okolice. Dobar prostorni plan grada može omogućiti da se parkovi koriste za učinkovito ohlađivanje svih dijelova grada (Chang i Li, 2014).

1.2. Lokalne klimatske zone

Unutar grada postoje područja koja imaju različitu mikroklimu. Do razlika unutar grada dolazi zbog toga što su različiti dijelovi grada izgrađeni na različit način. Područja u gradu koja imaju različitu mikroklimu nazivaju se lokalne klimatske zone (sl. 4). To su područja jednolikog pokrova zemljišta, površinske strukture, građevnog materijala i ljudske aktivnosti koja se horizontalno protežu od nekoliko stotina metara do više kilometara. Glavna funkcija određivanja tih zona jest olakšavanje tipizacije lokalnog okruženja mjernih postaja (Unger i dr., 2014).

Često se javlja problem kako razgraničiti lokalne klimatske zone. Uobičajeno se izdvajaju gušće izgrađeni dijelovi grada s neboderima, predgrađa, dijelovi grada s nekom specifičnom cjelinom kao npr. Jarun u Zagrebu, dijelovi grada na višoj nadmorskoj visini i sl.

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	
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.
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.	s. snow cover	Snow cover >10 cm in depth. Low admittance. High albedo.
		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. 4. Tipovi lokalnih klimatskih zona i njihova obilježja

Izvor: Stewart i Oke, 2012

Botanički vrt u Zagrebu pripada lokalnoj klimatskoj zoni *Scattered trees*. To je zona u koju spadaju gradski parkovi. Ta zona opisuje se kao mjesto s listopadnim ili zimzelenim stablima koja nisu toliko gusta kao u pravoj šumi (zona *Dense trees*), podloga je prohodna, prekrivena

nižim biljkama. Marulićev trg pripada lokalnoj klimatskoj zoni *Compact midrise*. Engleski nazivi lokalnih klimatskih zona zadržani su zato što ne postoji službeni hrvatski prijevod.

1.3. Ciljevi rada

Cilj rada jest analizirati mikroklimu Botaničkog vrta i okolice; istražiti kakve su razlike temperature i vlažnosti zraka između Botaničkog vrta i grada, ali i unutar samog Botaničkog vrta; istražiti može li se smanjiti intenzitet toplinskog otoka u Zagrebu. Možemo pretpostaviti da Botanički vrt ima rashlađujući utjecaj na grad. Potrebno je vidjeti koliko je taj utjecaj izražen i što sve na njega utječe. U Zagrebu je potrebno smanjiti intenzitet toplinskog otoka. On još nije toliko izražen, ali uslijed globalnih klimatskih promjena mogao bi porasti (Žgela, 2018). Unutar gradova klimatski ekstremi i nagle promjene vremena mogle bi ugroziti veliki broj ljudi na relativno malom prostoru. Ciljevi rada ostvarit će se analizom izmjerenih podataka s mjernih uređaja u Botaničkom vrtu, na Marulićevom trgu i mjernih postaja Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir te analizom dostupne literature.

2. Pregled dosadašnjih istraživanja

Problemom toplinskog otoka i rashlađujućim utjecajem parka bavili su se mnogi znanstvenici. Proučavana je urbana klima, te je prikazan intenzitet toplinskog otoka brojnih gradova. Yague i dr. (1991) proučavali su toplinski otok grada Madrida. Spronken-Smith i Oke (1998) proučavali su utjecaj parkova na klimu grada. Chang i Li (2014) navode kako park u Mexico Cityju površine 5 km² ima ohlađujući utjecaj u radijusu od 2 km; park površine 0,6 km² u gradu Tama zapadno od Tokyja smanjio je temperaturu zraka u poslovnoj četvrti za 1,5 °C u podne; 20 manjih parkova površine od 0,02 do 0,5 km² u Vancouveru i Sacramentu imali su sličan utjecaj kao jedan veći park; manji parkovi u Tel Avivu imali su utjecaj u radijusu od samo 100 metara. Navedena istraživanja pokazuju da veći parkovi imaju širi utjecaj i ohlađuju veće dijelove grada. Radi se o gradovima u različitim geografskim širinama i s različitim klimama pa treba biti oprezan sa zaključcima i usporedbama. Uvijek treba uzeti u obzir posebnosti geografskih obilježja grada, a posebno klime koju grad ima. Proučavana je klima brojnih gradova u Europi koji su geografski, ali i po klimatskim obilježjima sličniji Zagrebu. Toplinski otok Novog Sada proučavali su Savić i dr. (2016), Błażejczyk i dr. (2014) proučavali su klimu Varšave u Poljskoj. Zbog sve više izraženog utjecaja toplinskog otoka grada, postoji sve više istraživanja o toplinskom otoku brojnih

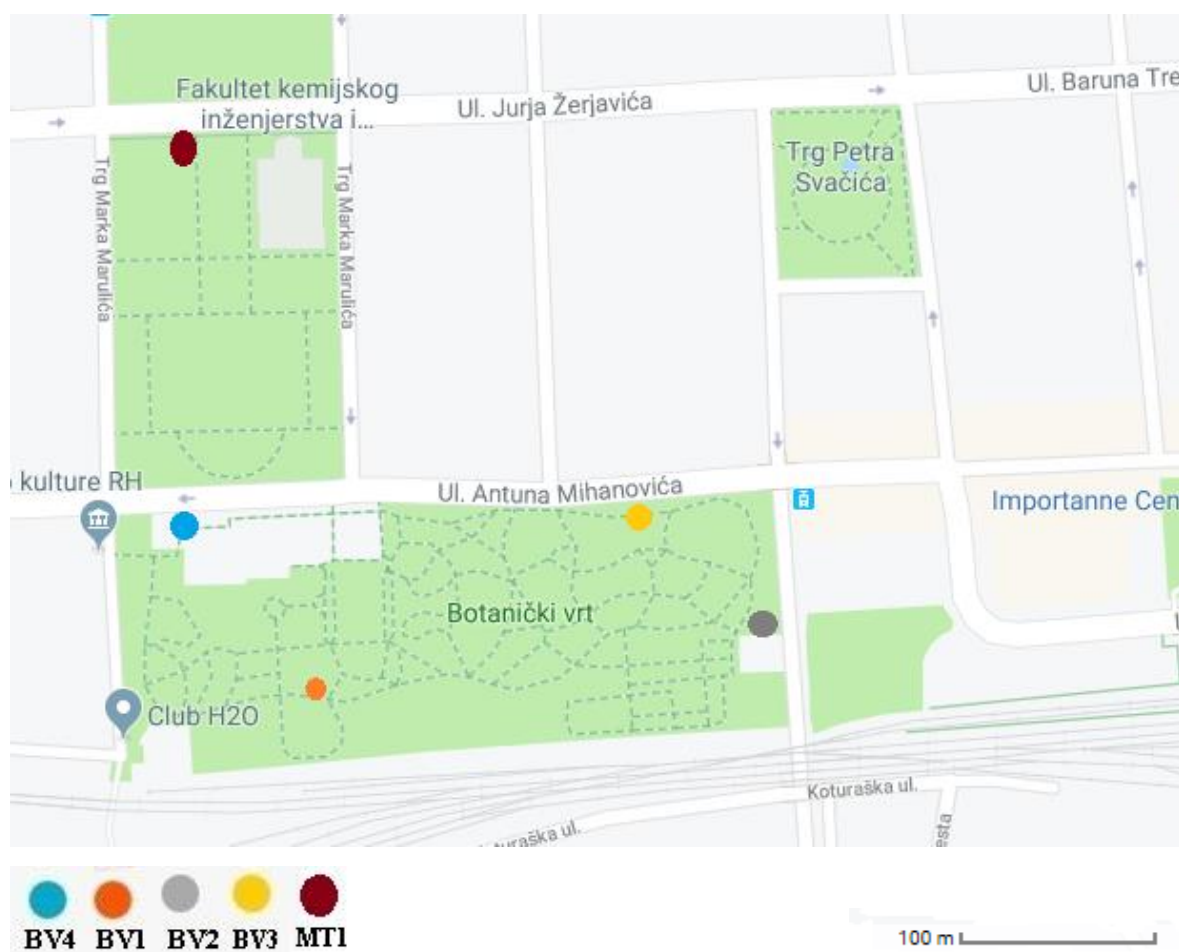
gradova. Šegota (1986) navodi da u Zagrebu postoji toplinski otok. Središte grada toplije je od okolice. Usporedio je srednje temperature zraka postaje Zagreb-Grič s postajom koja se nalazila u Botaničkom vrtu, za sedmogodišnje razdoblje 1953.-1959. Srednja godišnja temperatura zraka na postaji Zagreb-Grič bila je viša za 0,3 °C od one u Botaničkom vrtu. Botanički vrt bio je hladniji u zimskim mjesecima zbog temperaturne inverzije. U ljetnim mjesecima u Botaničkom vrtu zabilježene su više temperature od onih na postaji Zagreb-Grič, to se pripisuje tadašnjoj intenzivnoj izgradnji u okolini Botaničkog vrta. Usporedio je postaju Zagreb-Grič i s ostalim postajama u okolini Zagreba. Zaključio je da je gušće izgrađeno gradsko područje u godišnjem prosjeku do 1 °C toplije od periferije; srednja siječanjska temperatura je u središnjem dijelu Zagreba do 1,1 °C viša nego na periferiji; srednja srpanjska temperatura je u središtu grada do 0,9 °C viša nego na periferiji.

3. Podatci i metodologija

Podatci korišteni u ovom radu prikupljeni su pomoću mjernih uređaja koji su postavljeni u Botaničkom vrtu i na zgradi na Marulićevom trgu. Radi se o uređaju HOBO MX2301. To je data logger koji mjeri temperaturu i relativnu vlažnost zraka. Njegova točnost je +/- 0,2 °C i +/- 2,5 % za relativnu vlažnost zraka. Uređaji su automatski bilježili vrijednost temperature i relativne vlažnosti zraka svakih pola sata. Analizirani su podatci od 1.5.2018 do 30.4.2019., to je razdoblje od jedne godine. Za uređaj na Marulićevom trgu postoje podatci od 1.5.2018. do 16.1.2019., stoga će se za tu lokaciju analizirati podatci od 1.5.2018 do 16.1.2019. U Botaničkom vrtu postavljena su 4 mjerna uređaja (sl. 5). Svi mjerni uređaji u Vrtu nalaze se 3 metra iznad podloge i sa sjeverne strane. Prvi uređaj u Botaničkom vrtu (BV1) nalazi se u unutrašnjosti parka, u sjeni krošnje stabla (sl. 6). Tijekom zime moguć je utjecaj radijacije jer nema lišća. Utjecaj radijacije gotovo je sveden na minimum i zimi jer je uređaj na sjevernoj strani stabla, a zimi je Sunce bliže horizontu. Ispod stabla su prskalice koje povremeno rade i povećavaju relativnu vlažnost zraka, a vjerojatno utječu i na temperaturu zraka. Drugi mjerni uređaj u Vrtu (BV2) nalazi se na paviljonu Botaničkog vrta (sl. 7). U sjeni je i nema utjecaja direktne Sunčeve radijacije. Istočno od toga uređaja nalazi se cesta. Treći mjerni uređaj u Vrtu (BV3) nalazi se na zimzelenom stablu (sl. 8) i čitave godine je u dubokoj sjeni. Nalazi se u blizini ceste. Četvrti mjerni uređaj u Vrtu (BV4) nalazi se na Upravnoj zgradi Botaničkog vrta u zapadnom dijelu Vrta, nalazi se 3 metra iznad poda balkona, a od razine zemlje je udaljen i nešto više (sl. 9). Nalazi se u blizini ceste. Mjerni uređaj na Marulićevom trgu (MT1) nalazi se na balkonu 2 metra iznad poda balkona (sl. 10).

U blizini uređaja je prometna cesta. Mjerni uređaj nalazi se oko 800 metara južno od najužeg središta grada, a oko 250 metara sjeverno od Botaničkog vrta.

Osim podataka s data loggera bit će korišteni i podatci iz službenih mjernih postaja u Zagrebu, Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir. Za te postaje postoje podatci za isto razdoblje kao u Vrtu i na Marulićevom trgu. Osim toga postoje i podatci za tridesetogodišnje razdoblje, od 1981. do 2010. Podatci sa službenih postaja DHMZ-a reprezentativniji su od onih prikupljenih uređajima u Vrtu. Promatrat će se temperatura i relativna vlažnost zraka izmjerene u 7, 14 i 21 sat. Tijekom ljetnog računanja vremena u obzir će se uzeti temperatura i relativna vlažnost zraka izmjerene u 8, 15 i 22 sata kako bi se mogle uspoređivati s podacima iz postaja DHMZ-a u istom razdoblju budući da data logger nije automatski „promijenio“ vrijeme. U radu će se odrediti srednja dnevna, srednja mjesečna i srednja godišnja temperatura i relativna vlažnost zraka. Za intenzitet toplinskog otoka ljeti uzet će se tri ljetna mjeseca (lipanj, srpanj i kolovoz), a za zimu tri zimska mjeseca (prosinac, siječanj i veljača). Kako bi se bolje uočile razlike u vrijednostima prikazanim na slikama (sl. 13, sl. 16, sl. 17 i sl. 22) vrijednosti na osi y ne počinju s nulom. Prednosti ovakvog načina mjerenja su što mjerni uređaj mjeri podatke svakih pola sata i što su uređaji dosta praktični i precizni. Nedostatci ovakvog načina mjerenja su što automatski mjerni uređaj ponekad može prestati raditi, netko može oštetiti uređaj, tijekom duljih razdoblja može doći do promjene u okolini mjernog uređaja pa niz neće biti homogen i sl. Za Vrt postoje podatci samo za razdoblje od godinu dana pa se ne može vidjeti koliko oni odstupaju od nekog višegodišnjeg prosjeka za tu lokaciju.

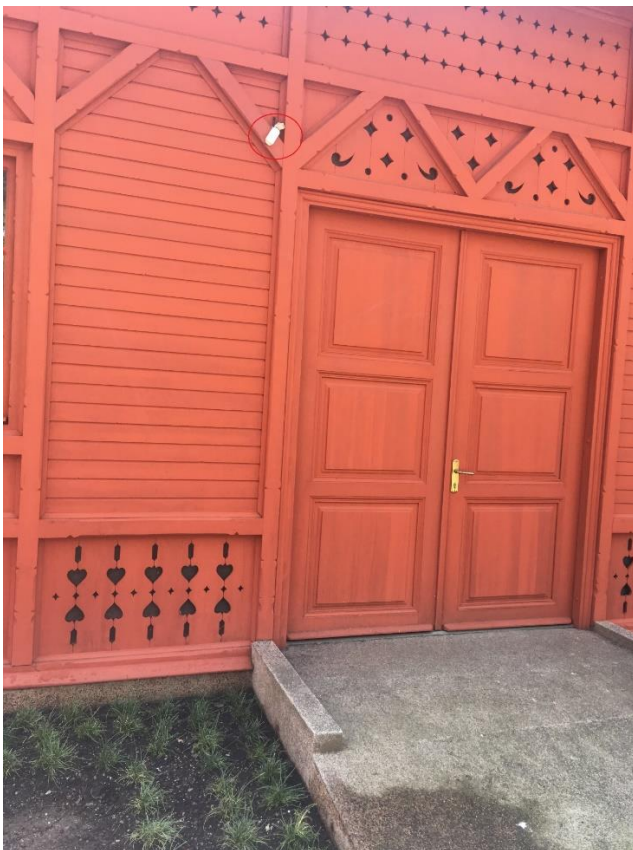


Sl. 5. Položaj mjernih uređaja BV1, BV2, BV3 i BV4 u Botaničkom vrtu i uređaja MT1

Izvor: Google maps



Sl. 6. Mjerni uređaj BV1 u Botaničkom vrtu



Sl. 7. Mjerni uređaj BV2 u Botaničkom vrtu



Sl. 8. Mjerni uređaj BV3 u Botaničkom vrtu



Sl. 9. Mjerni uređaj BV4 u Botaničkom vrtu



Sl. 10. Mjerni uređaj MT1 na Marulićevom trgu

Na temelju dosadašnjih istraživanja možemo postaviti hipoteze u ovome radu:

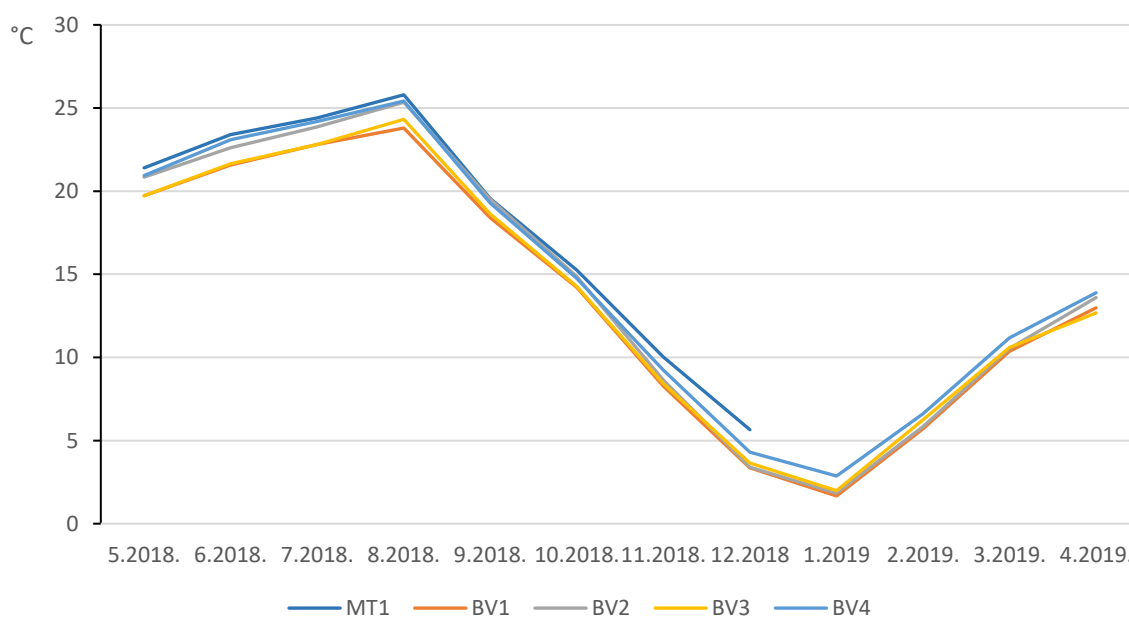
- a) Zimi je veća razlika između temperature izmjerene u Vrtu i izvan Vrta nego ljeti.
- b) Temperature izmjerene bliže ulici više su od onih u unutrašnjosti Vrta.
- c) Veće su razlike u temperaturi na određenim mjestima u Vrtu u 7 sati nego u 21 sat.
- d) Rashlađujući utjecaj Botaničkog vrta nije toliko izražen u okolici zbog male površine Vrta

4. Rezultati

4.1. Godišnji hod temperature i relativne vlažnosti zraka u Botaničkom vrtu i okolici

Godišnji hod temperature zraka najviše ovisi o geografskoj širini i klimatskim modifikatorima. U Zagrebu postoji godišnji hod temperature zraka koji je karakterističan za klime umjerenih geografskih širina. Izražen je maksimum tijekom ljeta i minimum tijekom zime. Proljeće i jesen dva su prijelazna razdoblja s umjerenijim temperaturama. Vlažnost zraka je količina vodene pare koja se nalazi u atmosferi. Vodena para u atmosferu dolazi evaporacijom i transpiracijom. Postoje apsolutna i relativna vlažnost zraka, a u ovom radu analizirat će se relativna vlažnost zraka. Relativna vlažnost zraka pokazuje koliko se vodene pare nalazi u zraku u odnosu na maksimalnu količinu koju bi zrak mogao sadržavati uz istu temperaturu. Relativna vlažnost zraka od 25 % znači da se u zraku nalazi samo četvrtina količine vodene pare koju bi zrak uz istu temperaturu mogao sadržavati. Relativna vlažnost zraka u Zagrebu veća je tijekom zime, a manja tijekom ljeta (Šegota i Filipčić, 1996).

Lokacije u Botaničkom vrtu na koje su postavljeni mjerni uređaji zasigurno imaju različite vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka, zbog različitog okruženja. Temperature su ljeti najviše, a zimi najniže na svim lokacijama. Kao što je već rečeno analizirat će se temperatura i relativna vlažnost zraka u 7, 14 i 21 sat. Na svim je lokacijama sličan godišnji hod temperature zraka (sl. 11 i tab. 1).



Sl. 11. Mjesečne temperature zraka na mjernim uređajima u Vrtu od svibnja 2018. do travnja 2019. godine i na uređaju MT1 od svibnja do prosinca 2018. godine

Tab. 1. Mjesečne temperature zraka na mjernim uređajima u Botaničkom vrtu od svibnja 2018. do travnja 2019. godine i na uređaju MT1 od svibnja do prosinca 2018. godine (°C)

	MT1	BV1	BV2	BV3	BV4
5. mj. 2018.	21,4	19,7	20,8	19,7	20,9
6. mj. 2018.	23,4	21,6	22,6	21,7	23,1
7. mj. 2018.	24,4	22,8	23,9	22,8	24,2
8. mj. 2018.	25,8	23,8	25,4	24,3	25,4
9. mj. 2018.	19,6	18,4	19,5	18,6	19,3
10. mj. 2018.	15,3	14,2	14,9	14,3	14,8
11. mj. 2018.	10	8,3	8,6	8,4	9,2
12. mj. 2018.	5,7	3,4	3,4	3,7	4,3
1. mj. 2019.	-	1,7	1,8	2,0	2,9
2. mj. 2019.	-	5,7	5,9	6,2	6,6
3. mj. 2019.	-	10,4	10,6	10,6	11,2
4. mj. 2019.	-	13,0	13,6	12,7	13,9
PROSJEK	-	13,6	14,2	13,8	14,7

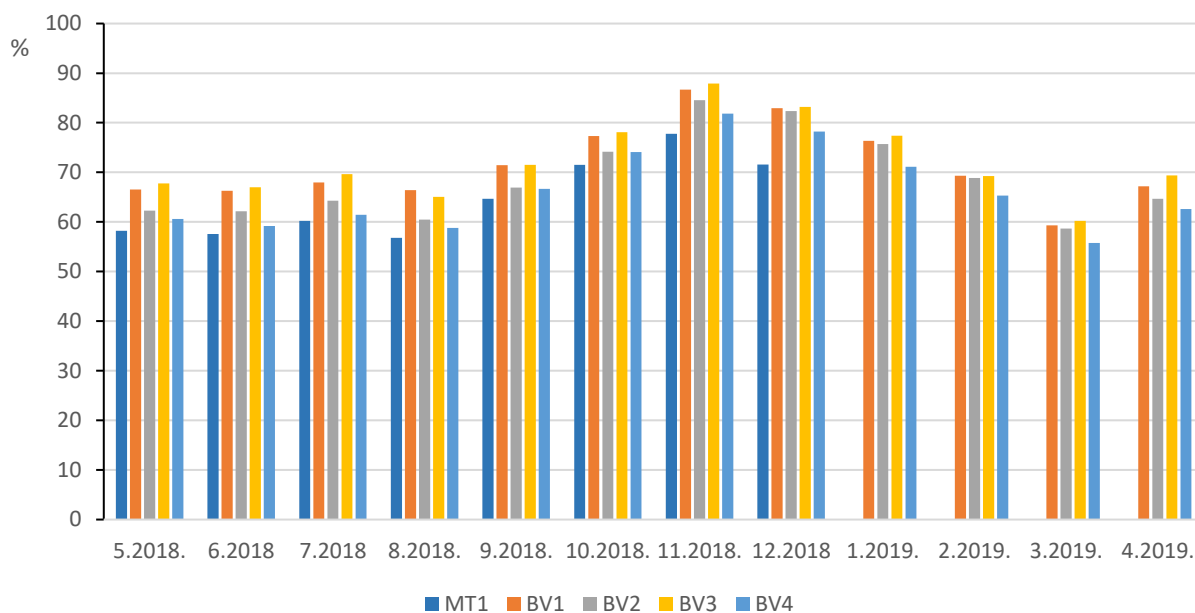
Prikazano je kretanje temperature zraka tijekom razdoblja od 8 mjeseci na lokaciji MT1 i od 12 mjeseci na lokacijama u Vrtu. Na lokaciji MT1 zabilježene su najviše vrijednosti temperature zraka tijekom prvih osam mjeseci mjerenja (tab. 1). Vjerojatno su na toj lokaciji temperature zraka bile najviše i u prva 4 mjeseca 2019. godine, ali to nije zabilježeno jer je uređaj prestao raditi. Lokacija MT1 nalazi se izvan parka i toplinski utjecaj grada najizraženiji je na toj lokaciji. Vrt je od tog uređaja udaljen oko 250 metara. Vrijednosti koje je izmjerio uređaj BV4 najbliže su vrijednostima izmjerenim na uređaju MT1. Lokacija BV4 hladnija je u promatranim mjesecima. Uređaj BV4 nalazi se na rubnom dijelu Botaničkog vrta, blizu ceste. Otvoren je utjecajima toplog zraka s obližnjih prometnica. Ohlađujući utjecaj parka nije toliko izražen u tome dijelu Vrta zbog blizine ceste. Uređaj BV4 u toplijem dijelu godine bilježi slične temperature zraka kao i uređaj MT1, a u hladnijem dijelu godine kada je intenzitet toplinskog otoka veći veće su i razlike u temperaturi zraka na tim lokacijama. Srednja mjesečna temperatura zraka u srpnju 2018. godine na tim lokacijama razlikuje se za 0,2 °C, a u prosincu 2018. godine za 1,4 °C. Uređaj BV1 najudaljeniji je od ceste i izgrađenih površina grada. Nalazi se oko 85 metara od ceste koja je sa sjeverne strane Vrta. Željeznička pruga koja se nalazi južno od Vrta udaljena je od uređaja BV1 oko 80

metara (sl. 5.). Lokacija BV1 hladnija je od lokacije MT1 u promatranim mjesecima. Najveća razlika između tih lokacija je u prosincu 2018. i iznosi 2,3 °C. Najmanja razlika između tih lokacija iznosi 1,1 °C, a zabilježena je u listopadu 2018. Uređaj BV1 bilježi najniže temperature zraka tijekom cijelog promatranog razdoblja. Lokacija BV1 u prosjeku je hladnija za 0,2 °C od lokacije BV3. U pojedinim mjesecima te dvije lokacije imaju vrlo slične temperature zraka. Uređaj BV1 zimi je vjerojatno pod većim utjecajem ukupne Sunčeve radijacije od uređaja BV3. Uređaj BV3 nalazi se na zimzelenom stablu i nije pod utjecajem direktne Sunčeve radijacije. Bilježi relativno niske temperature zraka s obzirom na to da je udaljen od ceste svega par metara. Ovaj je uređaj postavljen na dobro mjesto za mjerenje jer je mjerni uređaj čitave godine u dubokoj sjeni zimzelenog stabla. Utjecaj ukupne Sunčeve radijacije i strujanja zraka sveden je na minimum. Lokacija BV3 druga je najhladnija, od lokacije BV2 toplija je samo u zimskom dijelu godine. Hladnija je i od lokacije MT1 u promatranim mjesecima. Mjesečne temperature zraka izmjerene na uređaju BV2 niže su od temperatura zraka izmjerenih na uređajima MT1 i BV4, a više od temperatura zraka izmjerenih na uređajima BV1 i BV3. Lokacija BV2 hladnija je od lokacije MT1, a toplija za 0,6 °C od lokacije BV1. Prosječna temperatura zraka lokacija u Vrtu u razdoblju mjerenja od 12 mjeseci prikazana je na tab. 1. Razlika u prosječnoj temperaturi zraka toga razdoblja između najtoplije (BV4) i najhladnije (BV1) lokacije iznosi 1,1 °C. Razlike u temperaturi zraka unutar samoga Vrta nisu toliko velike. Botanički vrt nije toliko velik park, utjecaj grada izraženiji je u dijelovima Vrta koji su bliži cesti, a unutrašnjost Vrta je pod većim ohlađujućim utjecajem samoga Vrta. Zbog različitih utjecaja dolazi do razlika unutar samoga Vrta, ali zbog malene površine Vrta te razlike nisu toliko izražene.

Godišnjih hod temperature zraka pokazuje da je intenzitet toplinskog otoka grada u odnosu na Vrt veći u zimskim mjesecima. Pokazuje da su lokacije u unutrašnjosti Vrta hladnije od onih bliže cesti. Iznimka je uređaj BV3 koji se nalazi blizu ceste, ali zbog bujne vegetacije bilježi nešto niže vrijednosti temperature zraka.

O utjecaju grada i parkova na temperaturu zraka postoji mnogo istraživanja, a o utjecaju na relativnu vlažnost zraka ne toliko. U gradovima je relativna vlažnost zraka manja i do 6 % nego u okolici, ali to ovisi o dobu godine, klimatskim modifikatorima i geografskom smještaju grada. Vlažnost zraka u gradu ovisi o temperaturi, brzini vjetra i ostalim klimatskim elementima. Istraživanja (Unger, 1999) su pokazala da je grad Leicester u jesen vlažniji noću od okolice, a da je okolica vlažnija danju. U Londonu je tijekom ljeta zabilježena veća vlažnost zraka od okolice tijekom noći, a manja tijekom dana. Zimi je zabilježena veća vlažnost zraka u gradu nego u okolici tijekom čitava dana.

Godišnji hod relativne vlažnosti zraka sličan je na svim lokacijama (sl. 12 i tab. 2). Vlažnost zraka manja je na Marulićevom trgu nego u Botaničkom vrtu. Zbog vegetacije i isparavanja relativna vlažnost zraka obično je veća u parkovima nego u drugim dijelovima grada. Uređaj MT1 nije na otvorenom pa ni ondje zabilježena relativna vlažnost zraka nije toliko niska. Relativna vlažnost zraka manja je u toplijem nego u hladnijem dijelu godine. Topliji zrak može sadržavati više vodene pare nego hladniji zrak te se pri višim temperaturama mogu očekivati niže vrijednosti relativne vlažnosti zraka. Na uređajima iz Botaničkog vrta minimum je zabilježen u ožujku 2019. godine. Na uređaju MT1 minimum je zabilježen u kolovozu 2018. godine. Maksimalne vrijednosti na svim uređajima zabilježene su u studenom 2018. Najvlažnija lokacija je BV3. Uređaj BV3 nalazi se u sjeni zimzelenih stabala. Prosječna relativna vlažnost zraka na lokaciji BV3 u razdoblju od godinu dana iznosi 72,2 %. Lokacija BV3 najvlažnija je u svim mjesecima osim u kolovozu 2018. i veljači 2019. U tim dvama mjesecima lokacija BV1, druga najvlažnija lokacija, vlažnija je za 1,3 % odnosno za 0,1 %. Relativnu vlažnost zraka na lokaciji BV1 povremeno su povećavale prskalice koje se nalaze ispod stabla na kojem se nalazi uređaj. Prosječna relativna vlažnost zraka na lokaciji BV1 u razdoblju od godinu dana iznosi 71,5 %. Treća najvlažnija lokacija je BV2. Prosječna relativna vlažnost zraka na toj lokaciji iznosi 68,8 %. Dvije najmanje vlažne lokacije su BV4 s prosječnom relativnom vlažnošću zraka u godinu dana od 66,3 % i MT1 za koju ne postoji niz od godinu dana. Ove dvije lokacije pod većim su toplinskim utjecajem grada i zato imaju manju relativnu vlažnost zraka. Primjetno je da su uređaji sa zabilježenom nižom temperaturom zraka i uređaji sa zabilježenom većom relativnom vlažnošću zraka. Razlika u vlažnosti zraka između lokacija mijenja se tijekom godine. Razlika između najvlažnije lokacije u Vrtu (BV3) i lokacije MT1 kreće se od 6,6 % u listopadu, do 11,6 % u prosincu.



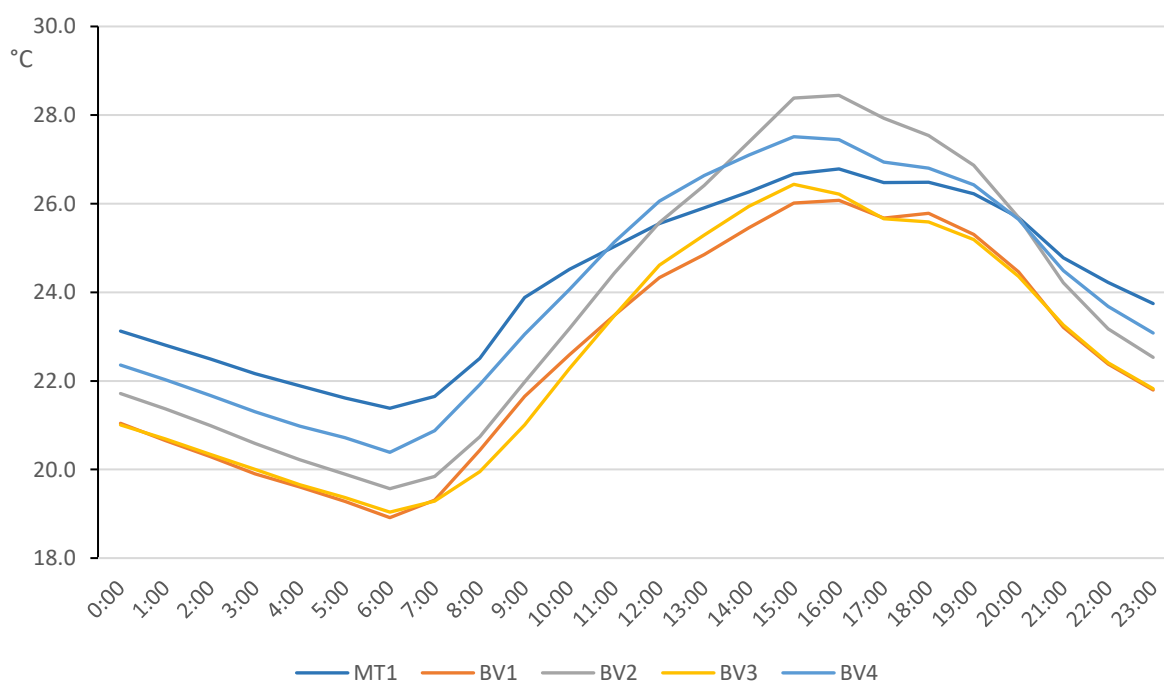
Sl. 12. Mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u Vrtu od svibnja 2018. do travnja 2019. godine i na uređaju MT1 od svibnja do prosinca 2018. godine

Tab. 2. Mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u Botaničkom vrtu od svibnja 2018. do travnja 2019. godine i na uređaju MT1 od svibnja do prosinca 2018. godine (%)

	MT1	BV1	BV2	BV3	BV4
5. mj. 2018.	58,2	66,5	62,3	67,8	60,6
6. mj. 2018.	57,6	66,3	62,2	67,0	59,2
7. mj. 2018.	60,2	68,0	64,3	69,7	61,4
8. mj. 2018.	56,8	66,4	60,5	65,1	58,8
9. mj. 2018.	64,7	71,4	66,9	71,5	66,7
10. mj. 2018.	71,5	77,3	74,2	78,1	74,1
11. mj. 2018.	77,8	86,7	84,5	87,9	81,9
12. mj. 2018.	71,6	82,9	82,3	83,2	78,2
1. mj. 2019.	-	76,4	75,7	77,4	71,1
2. mj. 2019.	-	69,3	68,9	69,2	65,3
3. mj. 2019.	-	59,3	58,7	60,2	55,7
4. mj. 2019.	-	67,2	64,7	69,4	62,6
PROSJEK	-	71,5	68,8	72,2	66,3

4.2. Dnevni hod temperature i relativne vlažnosti zraka u Botaničkom vrtu i okolici

Dnevni hod temperature zraka jest promjena temperature zraka tijekom dana. Posljedica je primljene i izgubljene topline. Temperatura zraka najniža je nešto poslije izlaska Sunca, kada još uvijek prevladava ohlađivanje dugovalnom radijacijom. Temperatura zraka najviša je poslije Sunčeva najvišeg položaja. Sunce u Zagrebu nikada nije u potpunom zenitu zato što se Zagreb nalazi u umjerenom pojasu. Sunce je u Zagrebu u najvišem položaju oko podneva tijekom zimskog računanja vremena, a oko 13 sati tijekom ljetnog računanja vremena. Dnevni hod temperature zraka ovisi o geografskom položaju mjernog mjesta, nadmorskoj visini, godišnjem dobu, naoblaci, padalinama, vjetru i sl. Na dnevni hod mogu utjecati i prolasci velikih sustava poput anticiklona, ciklona i fronti, odnosno nagle promjene vremena. Dnevni hod temperature zraka razlikuje se iz dana u dan jer je svaki dan različito vrijeme, ponekad oko podneva može biti hladnije nego ujutro zbog dolaska fronte i sl. (Šegota i Filipčić, 1996). Stoga je najbolje prikazati srednji dnevni hod temperature zraka za razdoblje od više dana ili za 1 mjesec. Srednji dnevni hod temperature zraka u srpnju 2018. godine (sl. 13 i tab. 3) prikazuje nam razlike u zabilježenoj temperaturi zraka na mjernim uređajima u pojedinom dijelu dana.



Sl. 13. Srednji dnevni hod temperature zraka na mjernim uređajima u srpnju 2018. godine

Tab. 3. Srednji dnevni hod temperature zraka na mjernim uređajima u srpnju 2018. godine (°C)

	MT1	BV1	BV2	BV3	BV4
0:00	23,1	21,0	21,7	21,0	22,4
1:00	22,8	20,7	21,4	20,7	22,0
2:00	22,5	20,3	21,0	20,3	21,7
3:00	22,2	19,9	20,6	20,0	21,3
4:00	21,9	19,6	20,2	19,7	21,0
5:00	21,6	19,3	19,9	19,4	20,7
6:00	21,4	18,9	19,6	19,0	20,4
7:00	21,6	19,3	19,8	19,3	20,9
8:00	22,5	20,4	20,7	20,0	21,9
9:00	23,9	21,7	22,0	21,0	23,1
10:00	24,5	22,6	23,2	22,3	24,1
11:00	25,0	23,5	24,4	23,5	25,1
12:00	25,5	24,3	25,6	24,6	26,1
13:00	25,9	24,9	26,4	25,3	26,6
14:00	26,3	25,5	27,4	25,9	27,1
15:00	26,7	26,0	28,4	26,4	27,5
16:00	26,8	26,1	28,4	26,2	27,4
17:00	26,5	25,7	27,9	25,7	26,9
18:00	26,5	25,8	27,5	25,6	26,8
19:00	26,2	25,3	26,9	25,2	26,4
20:00	25,7	24,5	25,7	24,4	25,6
21:00	24,8	23,2	24,2	23,3	24,5
22:00	24,2	22,4	23,2	22,4	23,7
23:00	23,7	21,8	22,5	21,8	23,1
PROSJEK	24,4	22,8	23,9	22,8	24,2

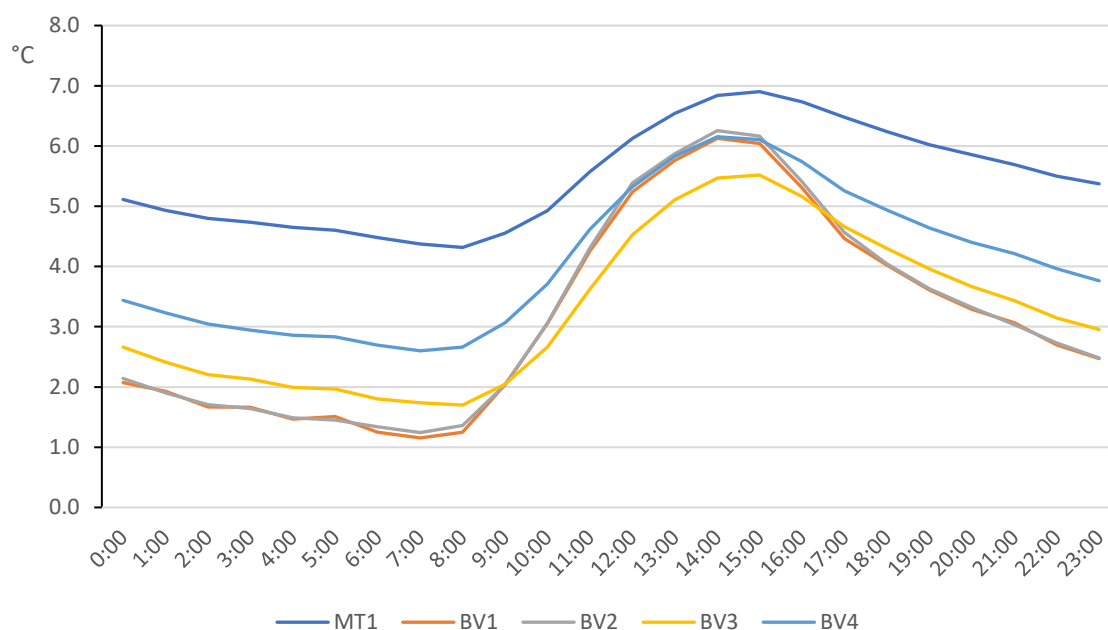
Dnevni hod temperature zraka sličan je na svim lokacijama. Najviše temperature zraka zabilježene su na lokaciji MT1. Srednja dnevna temperatura zraka u srpnju na lokaciji MT1 iznosi 24,4 °C. Najveće razlike između lokacije MT1 i onih u Botaničkom vrtu zabilježene su tijekom noći i jutra. Tada je intenzitet toplinskog otoka izraženiji pa su razlike između

Vrta i područja izvan Vrta veće. Najveće razlike između lokacije MT1 i onih u Vrtu bilježe se u 6 sati, nešto nakon izlaska Sunca. To je najhladniji dio dana. Razlika između lokacija MT1 i BV1 tada je 2,5 °C. Najmanja razlika između lokacija MT1 i BV1 zabilježena je u 15 sati, iznosi 0,7 °C. To je najtopliji dio dana. Od 14 do 20 sati razlike srednje dnevne temperature zraka na tim dvama lokacijama manje su od 1 °C. Prema srednjem dnevnom hodu temperature zraka u srpnju lokacije su poredane slično kao i po godišnjem hodu temperature zraka. Nakon lokacije MT1 po visini temperature slijede redom lokacije BV4, BV2, BV1 i BV3 (tab. 3). Na sl. 13 je vidljivo da su lokacije BV2 i BV4 u određenom dijelu dana toplije od lokacije MT1. Visina u odnosu na podlogu puno je veća na lokaciji MT1 nego na lokacijama u Vrtu. Uređaj BV2 nalazi se na Paviljonu Vrta. Oko Paviljona je betonirana podloga i podloga posuta šljunkom, a i cesta je blizu. Vjerojatno su ti čimbenici uzrokovali da se zrak kod tog uređaja zagrije nešto jače u popodnevnim satima. Lokacija BV2 je u 15 sati toplija čak za 1,7 °C, a u 6 sati je hladnija za 1,8 °C od lokacije MT1. Uređaj BV4 nalazi se blizu ceste i vjerojatno je tijekom vrućih dana u najtoplijem dijelu dana bio pod nešto većim toplinskim utjecajem ceste i grada. Uređaj BV4 bilježi vrijednosti najbližnje uređaju MT1, razlike u temperaturi zraka u srpnju između tih lokacija ne prelaze 1 °C ni u jednom dijelu dana. Najveća razlika je u 6 sati kada je lokacija MT1 toplija za 1 °C. U 15 sati lokacija BV4 toplija je za 0,8 °C od lokacije MT1. Lokacija BV3 je u određenim dijelovima dana najhladnija, taj uređaj se nalazi bliže cesti od uređaja BV1, ali je pod manjim utjecajem ukupne radijacije pa bilježi niže temperature zraka. Razlike u srednjem dnevnom hodu temperature zraka u srpnju pokazuju da je intenzitet toplinskog otoka grada veći tijekom noći i jutra. Razlike u temperaturi zraka na određenim mjestima u Vrtu veće su u 7 nego u 21 sat. Pokazuje i da su uređaji u unutrašnjosti Vrta zabilježili niže temperature od onih bliže cesti i asfaltu. Iznimka je uređaj BV3 koji je dosta blizu ceste, ali bilježi relativno niske temperature zraka. Lokacija MT1 pod većim je toplinskim utjecajem grada.

Dnevni hod temperature zraka razlikuje se zimi i ljeti. Srednji dnevni hod zimi nešto je drugačiji, razlike između lokacija u Vrtu i lokacije MT1 su veće (tab. 4 i sl. 14).

Tab. 4. Srednji dnevni hod temperature zraka na mjernim uređajima u prosincu 2018. godine (°C)

	MT1	BV1	BV2	BV3	BV4
0:00	5,1	2,1	2,1	2,7	3,4
1:00	4,9	1,9	1,9	2,4	3,2
2:00	4,8	1,7	1,7	2,2	3,0
3:00	4,7	1,7	1,6	2,1	2,9
4:00	4,6	1,5	1,5	2,0	2,9
5:00	4,6	1,5	1,4	2,0	2,8
6:00	4,5	1,2	1,3	1,8	2,7
7:00	4,4	1,2	1,2	1,7	2,6
8:00	4,3	1,2	1,4	1,7	2,7
9:00	4,6	2,0	2,0	2,0	3,1
10:00	4,9	3,0	3,1	2,7	3,7
11:00	5,6	4,3	4,3	3,6	4,6
12:00	6,1	5,2	5,4	4,5	5,3
13:00	6,5	5,8	5,9	5,1	5,8
14:00	6,8	6,1	6,3	5,5	6,2
15:00	6,9	6,0	6,2	5,5	6,1
16:00	6,7	5,3	5,4	5,2	5,7
17:00	6,5	4,5	4,6	4,7	5,3
18:00	6,2	4,0	4,0	4,3	4,9
19:00	6,0	3,6	3,6	4,0	4,6
20:00	5,9	3,3	3,3	3,7	4,4
21:00	5,7	3,1	3,0	3,4	4,2
22:00	5,5	2,7	2,7	3,1	4,0
23:00	5,4	2,5	2,5	3,0	3,8
PROSJEK	5,6	3,3	3,4	3,5	4,3

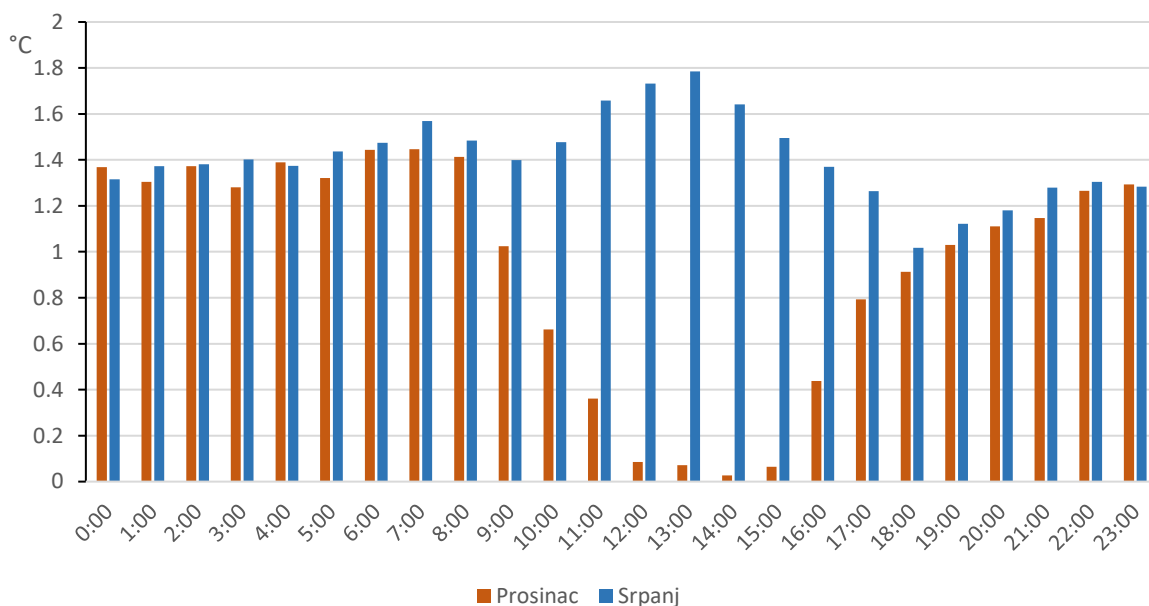


Sl. 14. Srednji dnevni hod temperature zraka na mjernim uređajima u prosincu 2018. godine

Razlike u temperaturi zraka između lokacija u Vrtu i lokacije MT1 veće su zimi nego ljeti. Lokacija MT1 toplija je od Vrta jer na lokacije u Vrtu utjecaj ima vegetacija koja ima rashlađujući učinak. Raspon temperatura u prosincu je manji od onih u srpnju, ali su razlike između Vrta i Marulićevog trga veće. Srednji dnevni hod temperature zraka za siječanj nije prikazan, iako su tada temperature zraka najniže, zato što uređaj MT1 nije prikupio podatke za cijeli siječanj. Srednja dnevna temperatura zraka u prosincu najviša je na lokaciji MT1, a zatim prema visini temperature slijede redom lokacije BV4, BV3, BV2 i BV1 (tab. 4). Razlika između najtoplije (MT1) i najhladnije (BV1) lokacije u srednjoj dnevnoj temperaturi u prosincu iznosi 2,3 °C, a u srpnju 1,6 °C. Zimi su, kao i ljeti, najveće razlike između lokacija zabilježene tijekom noći i ujutro. Razlika između lokacija MT1 i BV1 u 6 sati u prosincu iznosi čak 3,3 °C, što je za 0,8 °C veća razlika nego u srpnju. To nam pokazuje da je intenzitet toplinskog otoka veći zimi. Najmanja razlika između lokacija MT1 i BV1 zimi se bilježi u 14 sati i tada je razlika 0,7 °C. Po toplini lokacije su poredane jednako kao u srpnju. Lokacija BV4 u 6 sati je hladnija za 1,8 °C od lokacije MT1, što je veća razlika nego ljeti. Lokacija BV4 zimi nije toplija ni u jednom dijelu dana od lokacije MT1, za razliku od ljeti. Toplinski utjecaj grada manje je izražen zimi nego ljeti na područja koja se nalaze na rubnom dijelu Vrta, uz cestu. Razlike između lokacija u Vrtu slične su kao ljeti, a u najtoplijem dijelu dana razlike su veće ljeti nego zimi.

Razlike između lokacija BV4 i BV1 veće su ljeti nego zimi (sl. 15). Uspoređene su te dvije

lokacije jer se jedna nalazi na rubu, a druga u unutrašnjosti Vrtu.



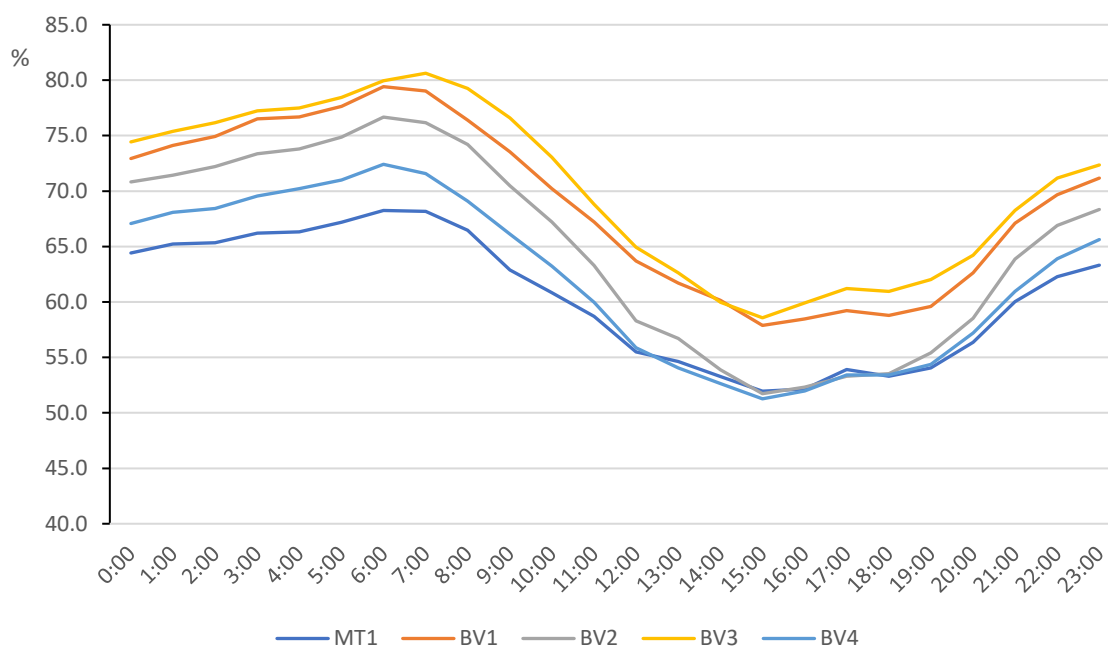
Sl. 15. Razlike u temperaturi zraka lokacija BV4 i BV1 u srpnju i prosincu 2018. godine

Temperature zraka su slične na lokacijama BV4 i BV1, a usred dana razlike su puno veće ljeti nego zimi. To nam pokazuje da su mjesta u Vrtu koja su bliže cesti ljeti pod puno većim toplinskim utjecajem ceste i grada nego zimi. Zimi je rashlađujući utjecaj parka izraženiji u čitavom parku, ljeti je izražen na lokacijama u unutrašnjosti parka. Dnevni hod temperature zraka u prosincu pokazuje da je intenzitet toplinskog otoka najveći ujutro i tijekom noći, ali i da je intenzitet toplinskog otoka veći zimi nego ljeti.

Dnevni hod relativne vlažnosti zraka je promjena vlažnosti zraka tijekom dana. Srednji dnevni hod relativne vlažnosti zraka na Marulićevom trgu i mjernim mjestima u Vrtu je sličan (tab. 5, tab. 6, sl. 16 i sl. 17).

Tab. 5. Srednji dnevni hod relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u srpnju 2018. godine (%)

	MT1	BV1	BV2	BV3	BV4
0:00	64,4	72,9	70,8	74,4	67,1
1:00	65,2	74,1	71,4	75,4	68,1
2:00	65,3	74,9	72,2	76,2	68,4
3:00	66,2	76,5	73,4	77,2	69,6
4:00	66,3	76,7	73,8	77,5	70,2
5:00	67,2	77,6	74,9	78,5	71,0
6:00	68,3	79,4	76,7	80,0	72,4
7:00	68,2	79,0	76,2	80,6	71,6
8:00	66,5	76,4	74,2	79,3	69,1
9:00	62,9	73,5	70,5	76,6	66,1
10:00	60,8	70,2	67,2	73,0	63,2
11:00	58,7	67,2	63,3	68,8	60,0
12:00	55,5	63,7	58,3	64,9	55,9
13:00	54,6	61,7	56,7	62,6	54,1
14:00	53,3	60,1	53,9	60,0	52,6
15:00	52,0	57,9	51,7	58,6	51,3
16:00	52,2	58,5	52,3	59,9	52,0
17:00	53,9	59,2	53,3	61,2	53,4
18:00	53,3	58,8	53,5	60,9	53,4
19:00	54,0	59,6	55,4	62,0	54,4
20:00	56,4	62,6	58,5	64,2	57,2
21:00	60,0	67,1	63,9	68,3	61,0
22:00	62,3	69,7	66,9	71,2	63,9
23:00	63,3	71,2	68,3	72,4	65,6
PROSJEK	60,2	68,0	64,3	69,7	61,4



Sl. 16. Srednji dnevni hod relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u srpnju 2018. godine

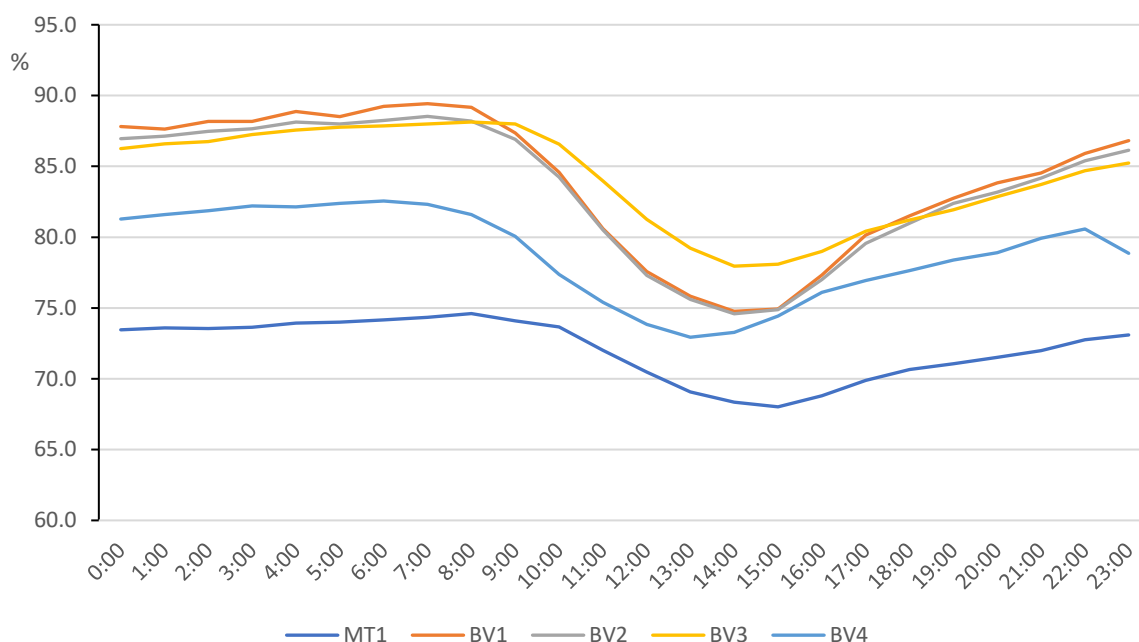
Vlažnost zraka najveća je tijekom noći i ujutro. Razlike između Vrta i Marulićevog trga veće su noću i ujutro nego tijekom dana. Maksimum relativne vlažnosti zraka zabilježen je u 6 sati na svim lokacijama osim na lokaciji BV3. Na lokaciji BV3 maksimum je zabilježen u 7 sati. Izlaskom Sunca i porastom temperature zraka dolazi do pada relativne vlažnosti zraka. Minimum je zabilježen u 15 sati na svim lokacijama. Razlika između maksimalne i minimalne srednje dnevne relativne vlažnosti zraka iznosi 16,3 % na lokaciji MT1, 21,5 % na lokaciji BV1, 25 % na lokaciji BV2, 22 % na lokaciji BV3 i 21,1 % na lokaciji BV4. Srednji dnevni hod relativne vlažnosti zraka u srpnju nam pokazuje da je najmanja vlažnost zraka na lokaciji MT1. Lokacije BV4 i BV2 su po relativnoj vlažnosti zraka u srpnju odmah iza nje. Na lokacijama BV4 i BV2 dolazi do značajnijeg pada relativne vlažnosti zraka u istom dijelu dana u kojem dolazi do porasta temperature zraka. Uređaj BV2 u 15 i 17 sati bilježi manju relativnu vlažnost zraka od uređaja MT1. BV4 od 13 do 17 sati bilježi manju relativnu vlažnost zraka od uređaja MT1. Lokacije BV1 i BV3 imaju veću vlažnost od ostalih, a uređaji na tim lokacijama zabilježili su i niže temperature zraka. Srednja dnevna relativna vlažnost zraka u srpnju najmanja je na lokaciji MT1, a zatim prema stupnju vlažnosti slijede redom lokacije BV4, BV2, BV1 i BV3 (tab. 5). Veću relativnu vlažnost zraka imaju mjesta u unutrašnjosti parka i ona koja su okružena bujnijom vegetacijom.

Mjesta bliže cesti su pod većim toplinskim utjecajem grada i imaju manju relativnu vlažnost zraka.

Relativna vlažnost zraka u prosincu (tab. 6 i sl. 17) veća je nego u srpnju.

Tab. 6. Srednji dnevni hod relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u prosincu 2018. godine (%)

	MT1	BV1	BV2	BV3	BV4
0:00	73,5	87,8	86,9	86,2	81,3
1:00	73,6	87,6	87,1	86,6	81,6
2:00	73,5	88,2	87,5	86,7	81,9
3:00	73,6	88,2	87,6	87,2	82,2
4:00	73,9	88,9	88,1	87,6	82,1
5:00	74,0	88,5	88,0	87,8	82,4
6:00	74,2	89,2	88,2	87,8	82,6
7:00	74,3	89,4	88,5	88,0	82,3
8:00	74,6	89,2	88,2	88,1	81,6
9:00	74,1	87,4	86,9	88,0	80,1
10:00	73,7	84,6	84,3	86,6	77,4
11:00	72,0	80,6	80,5	84,0	75,4
12:00	70,5	77,6	77,3	81,2	73,8
13:00	69,1	75,8	75,6	79,2	72,9
14:00	68,4	74,8	74,6	78,0	73,3
15:00	68,0	74,9	74,9	78,1	74,4
16:00	68,8	77,3	77,0	79,0	76,1
17:00	69,9	80,1	79,6	80,4	76,9
18:00	70,7	81,5	81,0	81,2	77,6
19:00	71,1	82,7	82,4	81,9	78,4
20:00	71,5	83,8	83,2	82,9	78,9
21:00	72,0	84,5	84,2	83,7	79,9
22:00	72,8	85,9	85,4	84,7	80,6
23:00	73,1	86,8	86,1	85,2	78,9
PROSJEK	71,6	82,9	82,4	83,2	78,5



Sl. 17. Srednji dnevni hod relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u prosincu 2018. godine

U prosincu je, kao i u srpnju, najveća vlažnost zraka zabilježena tijekom noći i ujutro. Razlike između Vrta i Marulićevog trga opet su veće noću i ujutro nego danju. Na uređajima MT1 i BV3 maksimum je zabilježen u 8 sati, na uređajima BV1 i BV2 u 7 sati, a na uređaju BV4 u 6 sati. Minimum je zabilježen u 15 sati na uređaju MT1, na uređajima BV1, BV2 i BV3 u 14 sati, a na uređaju BV4 u 13 sati. Na uređajima na kojima se ranije bilježi maksimum ranije se bilježi i minimum u srednjem dnevnom hod. Razlika između maksimalne i minimalne srednje dnevne vlažnosti zraka iznosi 6,6 % na lokaciji MT1, 14,6 % na lokaciji BV1, 13,9 % na lokaciji BV2, 10,1 % na lokaciji BV3 i 9,7 % na lokaciji BV4. Razlike između srednje maksimalne i minimalne relativne vlažnosti zraka bile su veće u toplijem dijelu godine nego u hladnijem djelu godine. Zato što su ljeti bile veće dnevne amplitude temperature zraka. Lokacije su po vlažnosti zraka poredane jednako kao u srpnju. Najmanje je vlažna lokacija MT1, a zatim prema stupnju vlažnosti zraka slijede redom lokacije BV4, BV2, BV1 i BV3 (tab. 6). Veća je razlika u relativnoj vlažnosti zraka između lokacije MT1 i onih u Vrta u prosincu nego u srpnju. Razlike između lokacija u Vrta manje su u prosincu nego u srpnju. Zimi je povećan intenzitet toplinskog otoka. Razlike u temperaturi zraka između parka i okolice su veće pa je veća i razlika u relativnoj vlažnosti zraka. Srednji dnevni hod temperature i relativne vlažnosti zraka za topliji i hladniji dio

godine pokazao je da su temperatura zraka i relativna vlažnost zraka povezane. Zimi su veće razlike između lokacije MT1 i onih u Vrtu, ali su razlike između lokacija u Vrtu manje.

U jednom istraživanju (Barradas, 1991) analizirana je temperatura i relativna vlažnost zraka u nekoliko parkova u Mexico Cityju. Uspoređivani su parkovi međusobno, ali i s okolicom. Zaključeno je da temperatura zraka u parkovima najviše ovisi o veličini parka, gustoći i vrsti vegetacije te podlozi u parku. Broj vozila koja se kreću oko parka može imati utjecaj na povećanje temperature zraka. Primijećeno je da se okolica parka dosta zagrije u satima kada je najveći protok vozila. To dovodi do toga da se tada povećaju razlike u temperaturi zraka između parka i zagrijane okolice. Može čak doći i do zagrijavanja rubnih dijelova parka. Analizirane su vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka tijekom kišne sezone te nisu zabilježene velike razlike u relativnoj vlažnosti zraka između parkova i okolice, ali navodi se kako bi one tijekom suhog razdoblja trebale postojati, kada bi vlažnost trebala biti veća u parkovima. Zabilježene su razlike u tlaku pare u parkovima i okolici. Tlak pare veći je u parkovima nego u okolici. To znači da čestice vode teže prijeći u plinovito stanje, tj. ispariti. Zbog toga dolazi i do veće relativne vlažnosti zraka u parkovima i područjima s vegetacijom.

U istraživanju koje su proveli Potchter i dr. (2006) analizirana je temperatura i relativna vlažnost zraka parkova u Tel Avivu u suhom ljetnom razdoblju. Analizirana su tri različita parka, prvi je bio s livadom i malo drveća, drugi s nešto više drveća, a treći s puno drveća i gustim krošnjama. Najniže temperature zabilježene su u parku s gustim krošnjama, a najviše u parku s livadom i malo drveća. Najviše temperature zraka tijekom noći, od svih parkova, zabilježene su u parku s gustim krošnjama. Mjerenja relativne vlažnosti zraka pokazala su da su svi tipovi parkova bili vlažniji od izgrađene okolice. Najviše vrijednosti relativne vlažnosti zraka zabilježene su u parku s najviše drveća, a najmanje u onom s livadom i malo drveća. Vrijednosti relativne vlažnosti zraka u parkovima s puno drveća i gustim krošnjama više su za 8-10 % tijekom dana, a za 5 % tijekom noći od izgrađene okolice. U parkovima s nešto manje drveća vrijednosti relativne vlažnosti zraka više su za 5-7 % tijekom noći, a za 2-5 % tijekom dana od izgrađene okolice. Parkovi s livadom i bez drveća mogu biti i manje vlažni od okolice, pogotovo ako se ne zalijevaju. U parkovima u Tel Avivu veće razlike u relativnoj vlažnosti zraka između parkova i izgrađene okolice zabilježene su danju. U Botaničkom vrtu veće razlike zabilježene su noću. U Tel Avivu je sredozemna klima s vrućim ljetima pa su razlike parkova i izgrađene okolice drugačije nego u Zagrebu gdje je umjerena vlažna klima.

4.3. Utjecaj gustoće vegetacije i vrste stabla na temperaturu i relativnu vlažnost zraka

Uređaj BV3 zabilježio je dosta niske vrijednosti temperature zraka i visoke vrijednosti relativne vlažnosti zraka s obzirom na to da se nalazi svega par metara od ceste. Nalazi se u sjeni zimzelenog stabla. Oko njega se nalazi nekoliko zimzelenih stabala s bujnim krošnjama. Postoji nekoliko razloga zašto je povezanost vegetacijske strukture stabla i mikroklima velika. Krošnje stabala apsorbiraju, raspršuju i reflektiraju upadno Sunčevo zračenje, čime se smanjuje količina toplinske energije koja prodire do tla i zraka pod krošnjom. Količina sunčevog zračenja koju apsorbira krošnja stabla ovisi o površini i gustoći lišća. Često se koristi indeks površine lišća (*eng. Leaf Area Index, LAI*), koji pokazuje omjer površine listova i površine tla. Guste krošnje, s visokim LAI-em, mogu spriječiti preko 95% vidljive svjetlosti da dođe do Zemljine površine, zbog čega su zrak i tlo ispod krošnje hladniji tijekom dana. Krošnje stabala smanjuju brzinu vjetra, brzina vjetra smanjuje se na mjestima ispod krošnja. Turbulentno miješanje zraka smanjeno je pod utjecajem stabala s gustim krošnjama. Kada se zrak na vrhu krošnje zagrijava tijekom dana, turbulentno miješanje djeluje tako da se dio vrućeg zraka spušta prema tlu, povećavajući temperaturu zraka blizu tla. Gušće krošnje utječu na to da je ispod krošnje hladniji zrak i da ima manje turbulentnog miješanja zraka. Krošnja stabla utječe na temperaturu zraka, a time i na relativnu vlažnost zraka (Hardwick i dr., 2014).

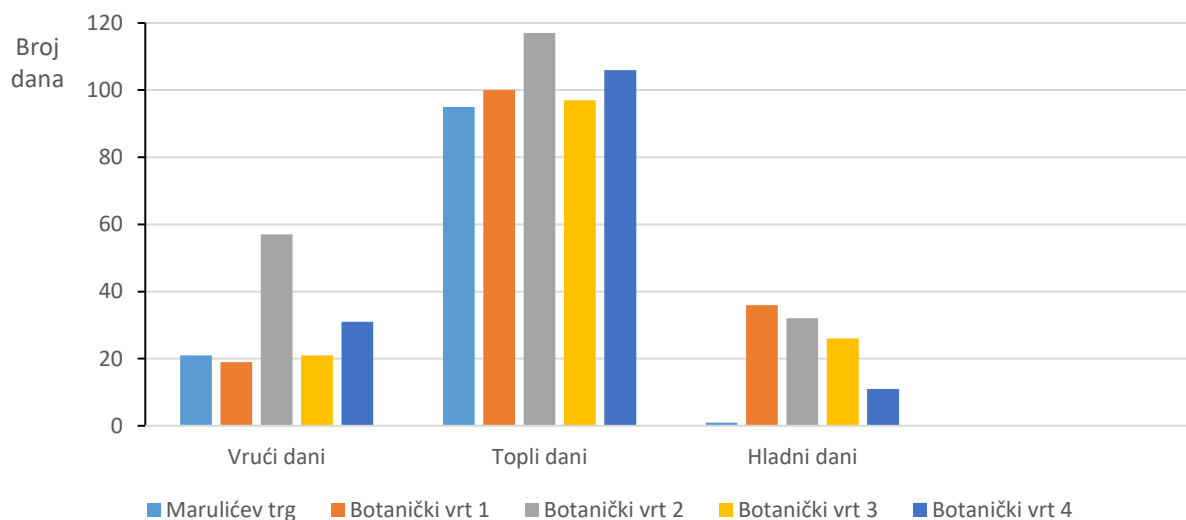
Souch i Souch (1993) proučavali su utjecaj različitih vrsta stabala na temperaturu i relativnu vlažnost zraka u gradu Bloomingtonu u Indiani. Oni su proučavali utjecaj više vrsta stabala u različitom okolišu, iznad livade i iznad asfalta. Stabla su utjecala na smanjenje temperature i povećanje relativne vlažnosti zraka. Stabla iznad asfalta imala su manji utjecaj na temperaturu i relativnu vlažnost zraka. Njihovi rezultati pokazali su da temperatura i relativna vlažnost zraka ne ovise o vrsti stabla toliko koliko ovise o broju, gustoći stabala i sl. Zimzelena stabla i listopadna stabla imala su gotovo jednak utjecaj na temperaturu i relativnu vlažnost zraka. Pokazali su i da okoliš u kojem stabla rastu više utječe na to koliko će stablo mijenjati temperaturu i relativnu vlažnost zraka nego sama vrsta stabla.

Stabla različitih vrsta koja rastu u Botaničkom vrtu trebala bi imati sličniji utjecaj na temperaturu i relativnu vlažnost zraka nego stabla iste vrste na različitim lokacijama u gradu. Spomenuta istraživanja nam pokazuju da razlike u temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka najviše ovise o gustoći krošnje i broju stabala koja se nalaze oko nekog mjesta. Uređaj BV3 bilježi dosta niske vrijednosti temperature zraka i veće vrijednosti relativne vlažnosti zraka zato što se nalazi u gustoj krošnji zimzelenog stabla. Vjerojatno bi bilježio slične vrijednosti

i da se nalazi u jednako bujnoj krošnji listopadnog stabla, samo što bi tada utjecaj krošnje bio smanjen tijekom zime. Uređaj BV1 nalazi se u krošnji jednog stabla, dok je oko uređaja BV3 više stabala i zasjenjenost je veća. BV1 se nalazi dublje u parku pa je manji toplinski utjecaj grada. Ti faktori utječu na to da uređaji BV1 i BV3 bilježe slične vrijednosti temperature zraka.

4.4. Neki dodatni pokazatelji o mikroklimatskim obilježjima Botaničkog vrta i okolice

U klimatologiji se pomoću minimalne i maksimalne dnevne temperature zraka mogu odrediti još neki podatci, npr. broj vrućih, toplih, hladnih i studenih dana. Uređaj MT1 i oni u Vrtu zabilježili su različit broj takvih dana (sl. 18). Uređaji nisu bilježili minimalnu i maksimalnu dnevnu temperaturu zraka, već su mjerili temperaturu zraka svakih pola sata pa stvarne minimalne i maksimalne vrijednosti temperature zraka vjerojatno ne odstupaju puno od zabilježenih vrijednosti.



Sl. 18. Broj vrućih i toplih dana na uređajima u razdoblju od 1.5.2018 do 31.12.2018. te broj hladnih dana od 1.5.2018. do 16.1.2019.

Vrući dani su oni u kojima je maksimalna dnevna temperatura bila veća od ili jednaka 30 °C. Najviše vrućih dana od 1.5. do 31.12.2018. zabilježeno je na uređaju BV2, čak njih 57. Od 24.7. do 10.8. 2018. godine na toj je lokaciji svaki dan bio vrući dan, što je niz od 18

dana. Najviša maksimalna dnevna temperatura zabilježena je 9.8.2018. u 16:30, iznosila je 35,6 °C. Dva vruća dana zabilježena su u rujnu, a u svibnju njih pet. Nakon uređaja BV2, po broju zabilježenih vrućih dana, slijedi uređaj BV4. Na njemu je zabilježen 31 vrući dan. Niz vrućih dana koji je na uređaju BV2 počeo 24.7. ovdje je počeo 29.7., a završio je isto 10.8.2018. Uređaji BV2 i BV4 u srpnju bilježe nešto više maksimalne dnevne temperature zraka od ostalih uređaja pa stoga imaju i više zabilježenih vrućih dana (sl. 13). Ti uređaji nalaze se na rubnom dijelu Vrta, tijekom ljetnih vrućina dosta se zagriju od blizine asfalta, ceste i automobila. Ostali uređaji zabilježili su nešto manji broj vrućih dana. Na uređaju MT1 zabilježen je 21 vrući dan, iako se taj uređaj nalazi izvan Vrta i očekivano bi bilo da je zabilježio najveći broj vrućih dana, ipak nije. On se nalazi dosta visoko od podloge pa su maksimalne dnevne temperature nešto niže. Srednja mjesečna temperatura zraka u ljetnim mjesecima 2018. godine najviša je na lokaciji MT1 (tab. 1), ali maksimalne dnevne temperature manje su od onih na lokacijama BV2 i BV4 pa je zabilježen i manji broj vrućih dana. Na uređaju BV3 također je zabilježen 21 vrući dan, a na uređaju BV1 19 vrućih dana. Većina vrućih dana na svim uređajima zabilježena je u kolovozu. U 2018. godini to je bio najtopliji mjesec. Po višegodišnjim prosjecima za Zagreb najtopliji je srpanj, ali 2018. godine kolovoz je bio topliji.

Topli dani su oni u kojima je maksimalna dnevna temperatura bila jednaka ili veća od 25 °C. Najviše toplih dana od 1.5. do 31.12. 2018. zabilježeno je na uređaju BV2, njih 117. Na uređaju BV4 zabilježeno je 106 toplih dana, na uređaju BV1 100, na uređaju BV3 97, a na uređaju MT1 95 toplih dana. Niz vrućih dana koji se javio u kolovozu dio je niza toplih dana koji je, naravno, bio još i duži. Niz toplih dana u koji je počeo krajem srpnja i trajao do kraja kolovoza trajao je 32 dana na lokacijama MT1, BV1 i BV3, a 33 dana na lokacijama BV2 i BV4. Zanimljivo je da je izvan Vrta zabilježeno manje toplih dana. Najveća razlika je u rujnu kada je na lokaciji MT1 zabilježeno dosta manje toplih dana nego u Vrtu, uređaj MT1 nalazi se na većoj visini. Na lokaciji MT1 u rujnu je zabilježeno 9 toplih dana, a na lokacijama u Vrtu: 16 na lokaciji BV3, 17 na lokacijama BV1 i BV2 te 18 na lokaciji BV4.

Hladni dani su oni u kojima je minimalna dnevna temperatura zraka bila manja od 0 °C. Na uređaju MT1 postoje podatci samo od 1.5.2018. do 16.1.2019. U navedenom razdoblju na Marulićevom trgu zabilježen je samo jedan hladni dan. To je bilo 30.11.2018. Neobično je da u prosincu i prvoj polovici siječnja nije bilo hladnih dana, to je dijelom i posljedica smještaja mjernog uređaja. Postoji mogućnost da je to još jedan od pokazatelja klimatskih promjena i povećanja intenziteta toplinskog otoka grada. Na uređajima u Vrtu hladni dani zabilježeni su od studenog do veljače. Na uređaju BV1 zabilježeno je 55 hladnih dana, od

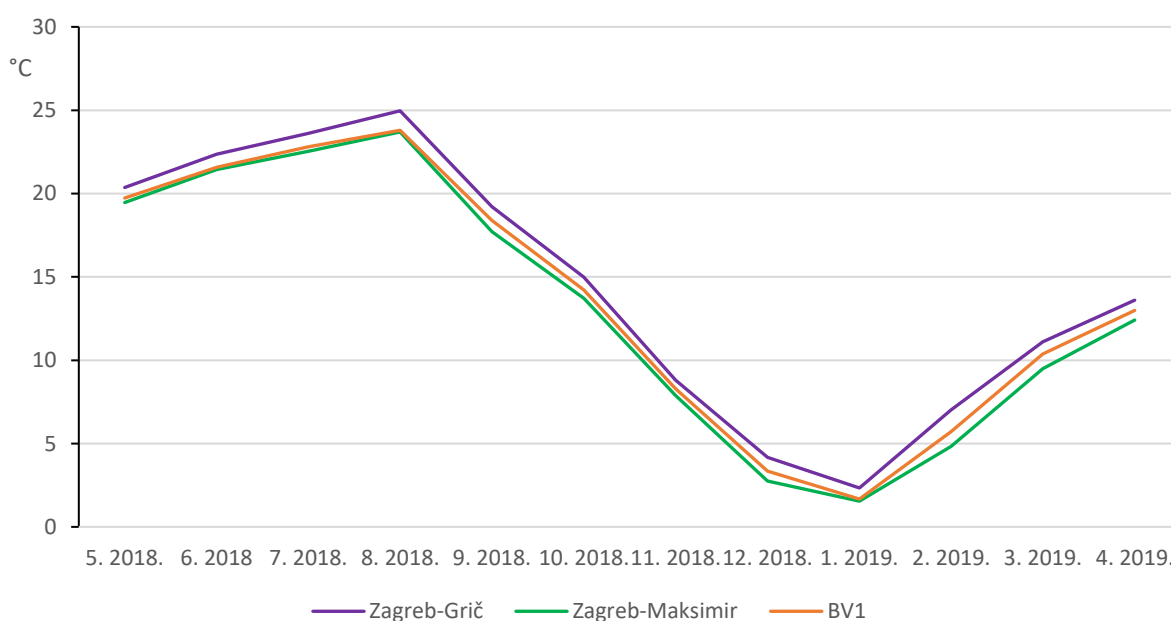
toga njih 36 u razdoblju do 16.1.2019., to je više od svih uređaja. BV1 nalazi se najdublje u parku i zbog manjeg utjecaja grada ima najviše zabilježenih hladnih dana. Najviše ih je zabilježeno u prosincu 2018. godine, njih 20, i u siječnju 2019. godine, 21 dan. Dan s najnižom minimalnom dnevnom temperaturom bio je 26.1.2019., temperatura zraka iznosila je -6,4 °C. Na uređaju BV2 zabilježeno je dosta hladnih dana, njih 48, od toga njih 32 u razdoblju do 16.1.2019. Iako se nalazi blizu ceste, i ljeti bilježi dosta vrućih dana, zimi je zabilježeno dosta hladnih dana. Kao i na uređaju BV1 najviše hladnih dana zabilježeno je u prosincu i siječnju. Dan s najnižom minimalnom dnevnom temperaturom također je bio 26. siječnja. Zabilježena temperatura je nešto niža od one na uređaju BV1, a iznosila je -6,6 °C. Na uređaju BV3 zabilježeno je 38, a na uređaju BV4 20 hladnih dana, od toga 26 odnosno 11 njih do 16.1.2019. BV4 ima dosta manje hladnih dana od ostalih uređaja u Vrtu. Nalazi se na rubnom dijelu Vrta, toplinski utjecaj grada prisutan je zimi i zato je zabilježeno manje hladnih dana nego na uređajima dublje u Vrtu i oko kojih je više vegetacije. Ni na jednom uređaju nije zabilježen niz duži od 10 hladnih dana. Neki od hladnih dana imali su dosta visoke maksimalne dnevne temperature, zbog čega je dnevna amplituda bila visoka. Tome je uzrok vedro i mirno vrijeme pa je ohlađivanje tijekom noći bilo veliko kao i zagrijavanje tijekom dana. Takvih je dana bilo u veljači. Uređaj MT1 se izdvaja od ostalih po broju zabilježenih hladnih dana, ima ih najmanje. Ljeti je imao najmanje toplih dana. To nam pokazuje da je toplinski utjecaj grada izraženiji zimi nego ljeti u samome gradu i da ne utječe toliko na Vrt. Ljeti je utjecaj grada takav da se i dijelovi Vrta bliže cesti dosta zagriju. Mjerni uređaj MT1 nalazi se dosta visoko od podloge pa je i to imalo utjecaj na broj vrućih i toplih dana.

Studeni dani su oni u kojima je maksimalna dnevna temperatura bila manja od 0 °C, studeni dani znaju se javljati tijekom zime kada je izražen utjecaj visokog tlaka zraka nad istočnom Europom koje pripada sibirskom maksimumu. Na uređajima MT1, BV2 i BV4 nisu zabilježeni studeni dani. Na uređaju BV3 zabilježen je jedan studeni dan, 23.1.2019, maksimalna dnevna temperatura zraka tada je bila -1,1 °C. Na uređaju BV1 zabilježena su dva studena dana, 30.11.2018. i 23.1.2019, maksimalna dnevna temperatura zraka iznosila je -0,1 °C odnosno -0,9 °C. Uređaji sa zabilježenim studenim danima su dva uređaja na kojima su zabilježene najniže temperature zraka.

4.5. Usporedba klimatskih obilježja Botaničkog vrta i postaja DHMZ-a

Uređaji u Vrtu i na Marulićevom trgu bilježili su temperaturu i relativnu vlažnost zraka u

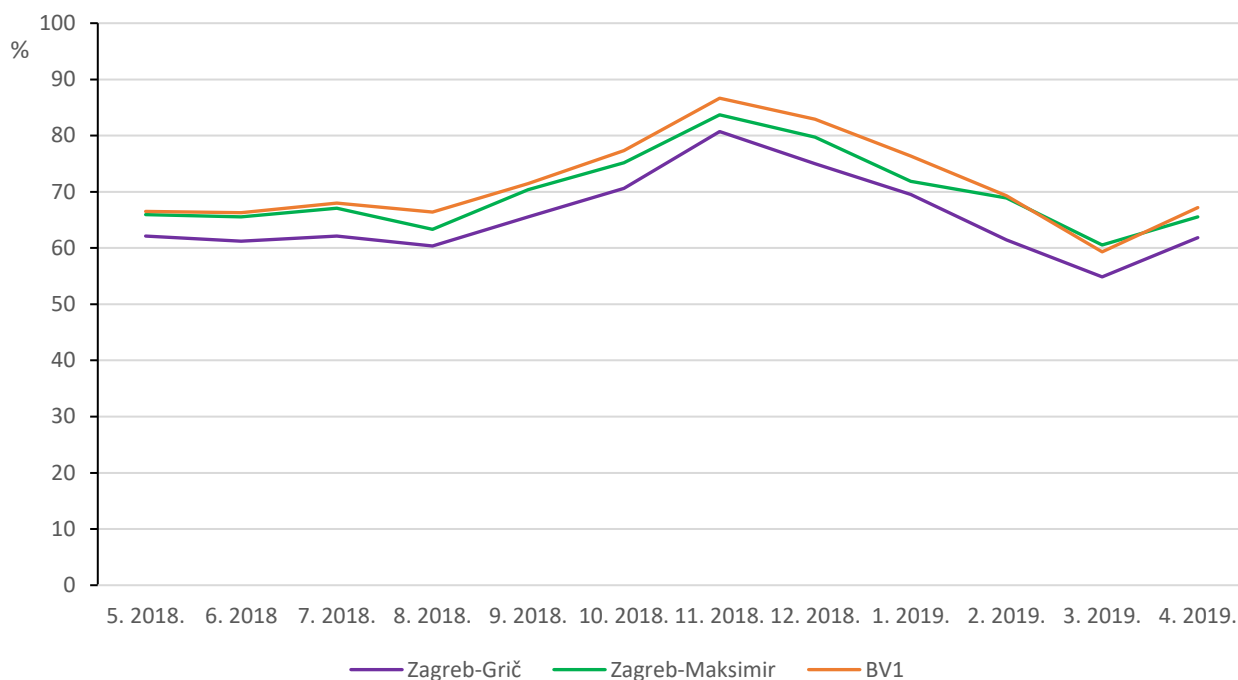
razdoblju od samo godinu dana. Ne mogu se usporediti s višegodišnjim srednjacima, jer ne postoje višegodišnja mjerenja u Botaničkom vrtu ni na Marulićevom trgu. Višegodišnji srednjaci omogućili bi analizu odstupanja od srednjih vrijednosti. Meteorološki podatci sa službenih mjernih postaja DHMZ-a su reprezentativni. Za mjerne postaje Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir postoje podatci za razdoblje od 30 godina (1981.-2010.) kao i podatci za 2018. godinu i prva 4 mjeseca 2019. godine. Tridesetogodišnji srednjaci temperature zraka niži su od temperatura zraka u 2018. godini. To je u skladu s klimatskim promjenama, iako je teško prema podacima samo jedne godine govoriti o klimatskim promjenama. Postaja Zagreb-Grič nalazi se u centru grada na 157 metara nadmorske visine. Toplinski utjecaj grada ovdje bi trebao biti najveći zato što se postaja nalazi u najužem središtu grada koje je gusto izgrađeno. Postaja Zagreb-Grič od Botaničkog vrta udaljena je oko 1 km. Postaja Zagreb-Maksimir nalazi se u predgrađu na istoku grada, u blizini parka Maksimir. Sjeverno od postaje nalaze se poljoprivredne površine Agronomskog fakulteta, istočno od postaje nalaze se gradski vrtovi, jugozapadno od nje teniski tereni, a jugoistočno je spremište tramvaja. Nadmorska visina postaje je 123 metra. Na ovu postaju utjecaj ima park Maksimir koji je udaljen oko 1 km od nje. Postaja Zagreb-Maksimir nalazi se izvan središta grada i toplinski utjecaj grada znatno je manji nego u središtu grada. Razlike u temperaturi zraka između postaje u središtu grada, u predgrađu i parka u središtu grada nisu toliko velike (sl. 19).



Sl. 19. Mjesečne temperature zraka na postajama Zagreb-Grič, Zagreb-Maksimir i na mjernom uređaju BV1 od svibnja 2018. do travnja 2019. godine

Srednje mjesečne vrijednosti temperature zraka najviše su na postaji Zagreb-Grič, zatim na mjernom uređaju BV1 pa na postaji Zagreb-Maksimir. Od svih uređaja iz Vrtu za analizu je odabran uređaj BV1 zato što je ta lokacija pod najvećim ohlađujućim utjecajem Vrtu. Prosječna temperatura zraka u ovom razdoblju iznosi 14,4 °C na postaji Zagreb-Grič, 13,1 °C na postaji Zagreb-Maksimir i 13,6 °C na mjernom uređaju BV1. Prosječna temperatura zraka u razdoblju od 1981. do 2010. iznosi 12,3 °C na postaji Zagreb-Grič i 11,2 °C na postaji Zagreb-Maksimir. Prosječna temperatura zraka za razdoblje od svibnja 2018. do travnja 2019. viša je od tridesetogodišnjeg prosjeka. Viša je za 2,1 °C na postaji Zagreb-Grič i za 2,4 °C na postaji Zagreb-Maksimir. Veće je odstupanje na postaji Zagreb-Maksimir, vjerojatno zato što je došlo do više promjena u okolišu u tome dijelu grada u posljednjih četrdesetak godina. Kada bi postojali podatci za razdoblje od 1981. do 2010. za uređaj BV1 u Vrtu vjerojatno bi i on pokazivao da je temperatura u razdoblju od svibnja 2018. do travnja 2019. veća od višegodišnjeg prosjeka. To je u skladu s globalnim porastom temperature. U razdoblju od svibnja 2018. do travnja 2019. uređaj BV1 topliji je za 0,4 °C od postaje Zagreb-Maksimir, godišnji hod temperature zraka je sličan. Razlika u srednjoj mjesečnoj temperaturi između tih dviju lokacija kreće se od 0,1 °C u siječnju 2019. do 0,9 °C u veljači i ožujku 2019. godine. Ne opaža se pravilnost u razlikama u temperaturi zraka između toplijeg i hladnijeg dijela godine. Vrijednosti u Vrtu slične su onima u predgrađu. To nam pokazuje da parkovi ohlađuju središte grada i izjednačuju svoju okolicu s temperaturom na mjestima udaljenijima od središta grada. Ipak, Botanički vrt kao manji park nema toliko izražen rashlađujući utjecaj na okolicu. Temperatura zraka u središtu Vrtu i dalje je veća od onih na rubnom dijelu grada. Stoga bi u središtu grada trebalo urediti još više zelenih površina kako bi se smanjio toplinski utjecaj grada, ali pitanje je koliko je to izvedivo. Lokacija BV1 hladnija je od postaje Zagreb-Grič. Najveća razlika u temperaturi zraka između postaje Zagreb-Grič i lokacije BV1 zabilježena je u veljači 2019. kada je iznosila 1,3 °C, zatim u kolovozu 2018. kada je iznosila 1,2 °C. Najmanja razlika, od 0,5 °C, zabilježena je u studenom 2018. Ni kod ovih dviju lokacija se ne opaža pravilnost u razlikama u temperaturi zraka između toplijeg i hladnijeg dijela godine. Lokacije su bile pod različitim utjecajima i temperature zraka su ovisile o brojnim faktorima. Promjena tijekom godine nije jednaka. Ne postoji očita razlika između hladnijeg i toplijeg dijela godine. Vjerojatno su razlike u srednjoj mjesečnoj temperaturi zraka ovisile više o vremenu u pojedinom mjesecu nego o samome dobu godine. Veljača 2019. godine bila je dosta sunčana i bez puno padalina, te je zato razlika između Vrtu i postaje Zagreb-Grič bila nešto veća.

Srednje mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka na postajama Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir niže su od onih na mjernom uređaju BV1 (sl. 20).



Sl. 20. Mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka na postajama Zagreb-Grič, Zagreb-Maksimir i na mjernom uređaju BV1 od svibnja 2018. do travnja 2019. godine.

Prosječna relativna vlažnost zraka u ovom razdoblju iznosi 65,5 % na mjernoj postaji Zagreb-Grič, 69,8 % na mjernoj postaji Zagreb-Maksimir i 71,5 % na mjernom uređaju BV1. Prosječna relativna vlažnost zraka u razdoblju od 1981. do 2010. na mjernim postajama Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir iznosi 69,1 % odnosno 74,1 %. Relativna vlažnost zraka u razdoblju od svibnja 2018. do travnja 2019. ne odstupa znatno od tridesetogodišnjeg prosjeka. Odstupanje je veće na mjernoj postaji Zagreb-Maksimir, tridesetogodišnji prosjek manji je za 2,6 %. Na postaji Zagreb-Grič tridesetogodišnji prosjek viši je za 0,7 %. Na postajama Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir crta trenda pokazuje da je došlo do pada relativne vlažnosti zraka od 1981. do 2010.

U razdoblju od svibnja 2018. do travnja 2019. relativna vlažnost zraka najviša je u Botaničkom vrtu. Lokacije u Vrtu bile su vlažnije i od lokacije MT1. Botanički vrt ima veću vlažnost zraka od grada i svoje okolice. Jedini mjesec kada lokacija BV1 nije bila najvlažnija je ožujak 2019. godine, tada je mjerna postaja Zagreb-Maksimir bila vlažnija za 1,2 %. Lokacija BV1 u prosjeku je vlažnija od postaje Zagreb-Grič za 6 %, a od postaje Zagreb-

Maksimir za 1,7 %. Najveća razlika između lokacije BV1 i postaje Zagreb-Grič zabilježena je u prosincu, iznosila je 7,9 %. Najveća razlika između lokacije BV1 i postaje Zagreb-Maksimir zabilježena je u siječnju i iznosila je 4,5 %. Najmanja razlika u relativnoj vlažnosti zraka između lokacije BV1 i postaje Zagreb-Grič zabilježena je u svibnju, iznosila je 4,4 %. Između lokacije BV1 i postaje Zagreb-Maksimir najmanja razlika zabilježena je u veljači, iznosila je 0,4 %. To je iznimka, tri ostala mjeseca u kojima je zabilježena najmanja razlika su svibanj, lipanj i srpanj, mjeseci u toplijem dijelu godine. Vjerojatno je vrijeme u veljači 2019. godine utjecalo na to da razlika u relativnoj vlažnosti zraka između lokacije BV1 i postaje Zagreb-Maksimir bude tako niska, razlika višegodišnjih prosjeka vjerojatno bi bila veća. Veće razlike u relativnoj vlažnosti zraka između Vrtu i postaja DHMZ-a zabilježene su zimi.

Srednje mjesečne vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka u Vrtu i mjernim postajama DHMZ-a pokazale su nam da je Vrt hladniji i vlažniji od središta grada. Vlažnost zraka u Vrtu na lokaciji BV1 povremeno su povećavale prskalice. Mjerni uređaj na Marulićevom trgu zabilježio je više vrijednosti temperature zraka i niže vrijednosti srednje mjesečne relativne vlažnosti zraka od postaja DHMZ-a u razdoblju od svibnja do prosinca 2018. Vrijednosti temperature zraka više su u svim mjesecima. Vrijednosti relativne vlažnosti zraka više su od postaje Zagreb-Maksimir u svim, a od postaje Zagreb-Grič u svim, osim u mjesecu studenom. To nam pokazuje da je središte toplinskog otoka grada bliže Marulićevom trgu nego postaji Zagreb-Grič.

Srednji dnevni hod temperature zraka za uređaje u Vrtu prikazan je za svaki sat (sl. 13. i sl. 14.). Za postaje DHMZ-a u obzir možemo uzeti vrijednosti u 7, 14 i 21 sat. Možemo usporediti srednje dnevne vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka u srpnju i prosincu 2018. godine na postajama DHMZ-a s već prikazanim srednjim dnevnim vrijednostima temperature i relativne vlažnosti zraka u ta dva mjeseca (sl. 13, sl. 14, sl. 16 i sl. 17). Srednja dnevna temperatura zraka u srpnju i prosincu viša je na postaji Zagreb-Grič, a manja na postaji Zagreb-Maksimir nego na odabranim lokacijama u Vrtu (tab. 7 i tab. 8). Odabrani su uređaji BV1 i BV3 zato što su lokacije na koje su postavljeni ti uređaji pod najvećim ohlađujućim utjecajem Vrtu.

Tab. 7. Srednja dnevna temperatura zraka u postajama DHMZ-a i uređajima u Vrtu u srpnju 2018. godine u 7, 14 i 21 sat (°C)

	Zagreb-Grič	Zagreb-Maksimir	BV1	BV3
7h	20,6	20,9	20,4	19,9
14h	27,5	26,9	26,0	26,4
21h	23,2	21,2	22,4	22,4
Srednja dnevna temp. zraka	23,6	22,5	22,8	22,8

Tab. 8. Srednja dnevna temperatura zraka u postajama DHMZ-a i uređajima u Vrtu u prosincu 2018. godine u 7, 14 i 21 sat (°C)

	Zagreb-Grič	Zagreb-Maksimir	BV1	BV3
7h	2,2	0,5	1,1	1,7
14h	6,2	6,0	6,1	5,5
21h	4,1	2,3	3,1	3,4
Srednja dnevna temp. zraka	4,2	2,8	3,3	3,5

Srednja dnevna temperatura zraka u srpnju na postaji Zagreb-Grič viša je za 0,8 °C od temperature na lokacijama u Vrtu. U prosincu je viša za 0,9 °C od one na lokaciji BV1, a za 0,7 °C od one na lokaciji BV3. Temperature na postaji Zagreb-Maksimir niže su od onih u Vrtu. U srpnju je razlika između postaje Zagreb-Grič i lokacija BV1 i BV3 veća u 14 sati nego u 7 i 21 sat, a u 7 je najmanja. Postaja Zagreb-Grič pod utjecajem se grada zagrijala u najtoplijem dijelu dana za razliku od Vrta, pa je razlika veća nego ujutro. U prosincu je razlika u temperaturi zraka između postaje Zagreb-Grič i lokacije BV1 najviša u 7, a najmanja u 14 sati. Između postaje Zagreb-Grič i lokacije BV1 u prosincu je najveća razlika u 21, a najmanja u 7 sati.

Prosječna srednja dnevna relativna vlažnost zraka u srpnju i prosincu manja je na obje DHMZ postaje od odabranih uređaja u Vrtu (tab. 9 i tab. 10).

Tab. 9. Srednja dnevna relativna vlažnost zraka u postajama DHMZ-a i uređajima u Vrtu u srpnju 2018. godine u 7, 14 i 21 sat (%)

	Zagreb-Grič	Zagreb-Maksimir	BV1	BV3
7h	73,9	73,0	76,4	79,3
14h	47,8	51,2	57,9	58,6
21h	64,7	77,0	69,7	71,2
Srednja dnevna rel. vl. zraka	62,1	67,1	68,0	69,7

Tab. 10. Srednja dnevna relativna vlažnost zraka u postajama DHMZ-a i uređajima u Vrtu u prosincu 2018. godine u 7, 14 i 21 sat (%)

	Zagreb-Grič	Zagreb-Maksimir	BV1	BV3
7h	82,5	89,3	89,4	88,0
14h	66,6	67,3	74,8	77,9
21h	75,8	82,4	84,5	83,7
Srednja dnevna rel. vl. zraka	75,0	79,7	82,9	83,2

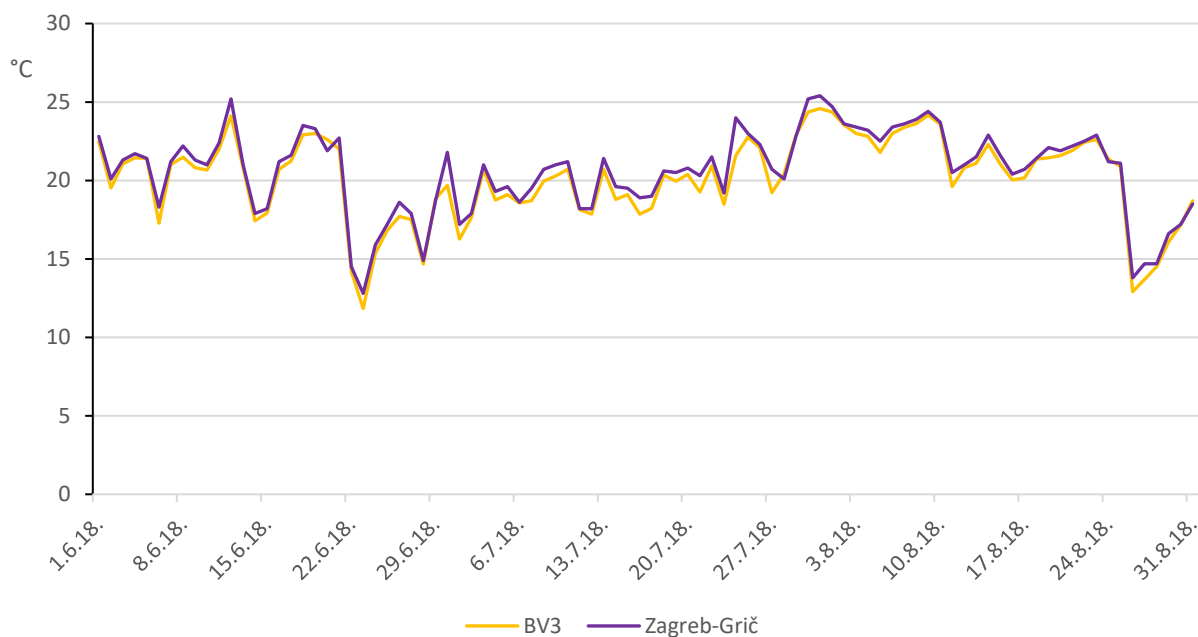
Srednja dnevna relativna vlažnost zraka u Vrtu dosta je viša od one na postaji Zagreb-Grič. Najveće razlike između postaje Zagreb-Grič i lokacija u Vrtu bilježe se u 14 sati u srpnju, a u 21 sat u prosincu. Relativna vlažnost zraka u Vrtu viša je i od one na postaji Zagreb-Maksimir. Postaja Zagreb-Maksimir dosta je vlažnija od ostalih u 21 sat u srpnju. Vjerojatno je to posljedica povećanja vlažnosti zbog zalijevanja teniskih terena i gradskih vrtova koji se nalaze kraj postaje.

4.6. Toplinski otok grada ljeti i zimi

Razlike u temperaturi zraka između lokacija u Vrtu i izvan njega različite su tijekom zime i ljeta. To se već moglo primijetiti iz srednjih mjesečnih vrijednosti temperature zraka i srednjeg dnevnog hoda temperature zraka u srpnju i prosincu. Razlike u temperaturi zraka veće su zimi nego ljeti. Klimatološko ljeto počinje 1. lipnja, a završava 31. kolovoza. Klimatološka zima počinje 1. prosinca., a završava 28. veljače, odnosno 29. veljače u

prijestupnoj godini. Bit će prikazan toplinski otok grada ljeti (lipanj, srpanj i kolovoz) i zimi (prosinac, siječanj i veljača). S obzirom na to da za uređaj na lokaciji MT1 ne postoje podatci za sve zimske mjesece uzet će se postaja Zagreb-Grič kao primjer postaje u središtu grada i usporediti s lokacijom BV3 iz Vrta. Oko njega se nalazi zimzelena vegetacija pa je utjecaj ukupne radijacije čitave godine ujednačen. Odabran je uređaj BV3 jer je na toj lokaciji, kao i na lokaciji BV1, izražen ohlađujući utjecaj Vrta. Za klimatološka istraživanja najbolje je imati duge nizove podataka. Kraći nizovi podataka, poput nizova iz Vrta, nisu toliko pouzdani.

Intenzitet toplinskog otoka grada obično je veći zimi nego ljeti. Srednja ljetna temperatura u 2018. godini na mjernoj postaji Zagreb-Grič iznosi 23,6 °C, a na uređaju BV3 iznosi 22,9 °C, na mjernom uređaju MT1 srednja ljetna temperatura iznosi 24,5 °C. Srednja zimska temperatura iznosi 4,5 °C na mjernoj postaji Zagreb-Grič, a na mjernom uređaju BV3 4 °C. Razlika između srednjih ljetnih temperatura zraka mjerne postaje Zagreb-Grič i uređaja BV3 iznosi 0,7 °C, a između srednjih zimskih 0,5 °C. Na temelju ovih rezultata mogli bismo reći da je intenzitet toplinskog otoka veći ljeti nego zimi, tj. da su razlike između Vrta i grada veće ljeti nego zimi, no ne treba odmah izvoditi takav zaključak. Ovdje se radi samo o jednoj godini i vrijeme kakvo je prevladavalo te godine utjecalo je na intenzitet toplinskog otoka grada. Da je niz podataka iz Vrta duži mogao bi se usporediti s višegodišnjim prosjecima mjerne postaje Zagreb-Grič te bi usporedba bila vjerodostojnija. Intenzitet toplinskog otoka grada najbolje je prikazati pomoću temperature zraka u 7 sati zato što su tada razlike temperature zraka između grada i okolice najveće. Ljetne temperature zraka u 7 sati vrlo su slične (sl. 21).

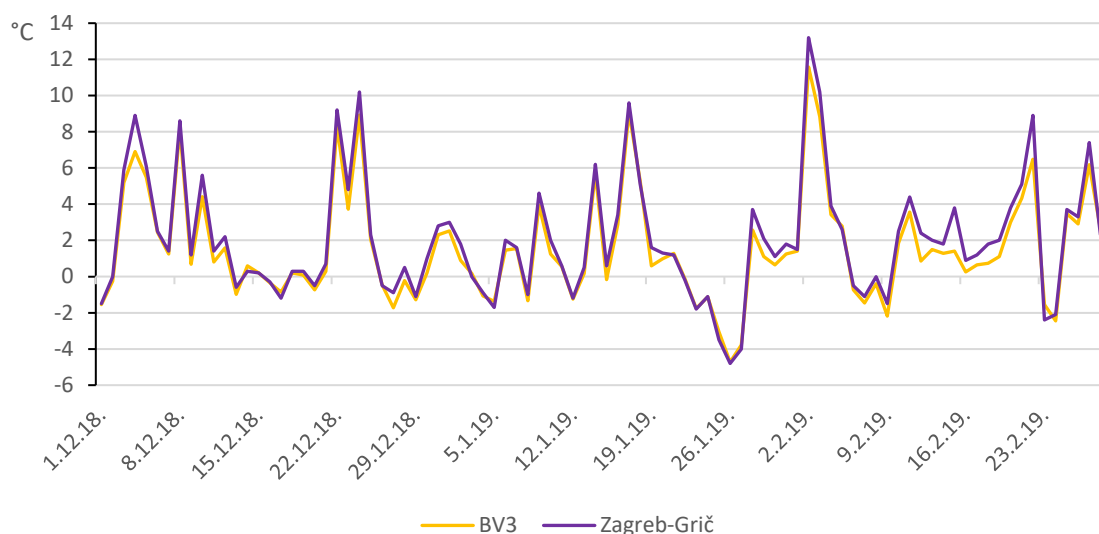


Sl. 21. Temperature zraka u 7 sati tijekom ljeta 2018. na mjernoj postaji Zagreb-Grič i uređaju BV3

Srednja ljetna temperatura zraka u 7 sati iznosi 20,1 °C na uređaju BV3, a 20,6 °C na mjernoj postaji Zagreb-Grič. Temperatura zraka niža je u Vrtu za 0,5 °C. Ni Vrt se nije hladio značajno tijekom noći, to je zbog toga što je ohlađivanje tijekom noći bilo manje zbog vegetacije. Srednja temperatura zraka u 7 sati na uređaju BV3 iznosi 19,6 °C u lipnju, 19,9 °C u srpnju i 20,8 °C u kolovozu. Srednja temperatura zraka u 7 sati na mjernoj postaji Zagreb-Grič iznosi 20,1 °C u lipnju, 20,6 °C u srpnju i 21,2 °C u kolovozu. Najveća razlika zabilježena je u srpnju koji je bio drugi najtopliji mjesec toga ljeta, razlika iznosi 0,6 °C.

Zimi su razlike između temperatura zraka u 7 sati postaje Zagreb-Grič i uređaja BV3 nešto veće (sl. 22). Srednja zimska temperatura zraka u 7 sati iznosi 1,6 °C na uređaju BV3, a 2,1 °C na mjernoj postaji Zagreb-Grič. Lokacija BV3 hladnija je za 0,5 °C. Srednja temperatura zraka u 7 sati na uređaju BV3 iznosi 1,8 °C u prosincu, 0,8 °C u siječnju i 2,2 °C u veljači. Srednja temperatura zraka u 7 sati na mjernoj postaji Zagreb-Grič iznosi 2,3 °C u prosincu, 1,1 °C u siječnju i 2,9 °C u veljači. Intenzitet toplinskog otoka grada zimi u odnosu na Vrt iznosi 0,53 °C, a ljeti iznosi 0,47 °C. Najveća razlika zabilježena je u veljači, iznosila je 0,7 °C. Intenzitet je nešto malo veći zimi što je u skladu s činjenicom da je toplinski otok izraženiji zimi. Kada se temperature zraka u gradu uspoređuju s Vrtom razlike nisu toliko velike. Vrt se nalazi u središtu grada pa ne pokazuje zapravo koliki je intenzitet toplinskog otoka u odnosu na ruralnu okolicu. Vrt nije toliko velik, nalazi se u središtu grada, ali je ipak

zimi nešto hladniji od grada nego ljeti. Za jasnije zaključke bi niz podataka iz Vrta trebao biti duži.



Sl. 22. Temperature zraka u 7 sati tijekom zime 2018./19. na mjernoj postaji Zagreb-Grič i uređaju BV3

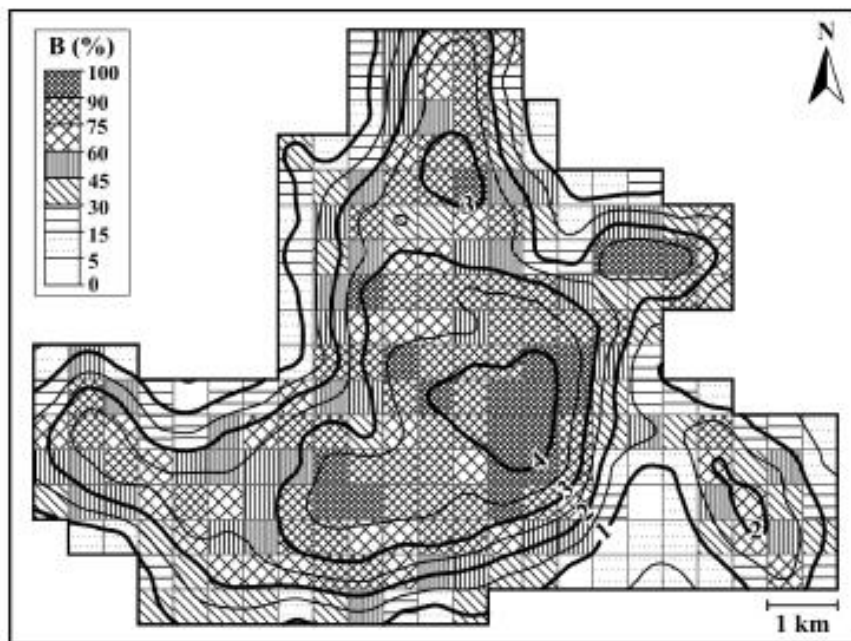
Istraživanje o toplinskom otoku Zagreba (Žgela, 2018) koje je koristilo nešto duže nizove podataka i usporedilo mjernu postaju Zagreb-Grič s postajom Zagreb-aerodrom pokazalo je da je razlika između tih dviju postaja 2 °C zimi, a 1,2 °C ljeti. Razlike između postaje Zagreb-Grič i ruralne okolice veće su od onih između postaje Zagreb-Grič i parka u središtu grada. Unatoč tome što je niz podataka iz Vrta dosta kratak pokazuje nam da postoji toplinski utjecaj grada koji je izraženiji zimi. To nam je pokazala i usporedba postaje Zagreb-Grič s postajom Zagreb-aerodrom iz ranije spomenutog rada. Intenzitet toplinskog otoka grada Zagreba trebalo bi još detaljnije istražiti kako bi se mogle predložiti konkretne mjere za njegovo smanjenje.

Oke i Maxwell (1974) istraživali su toplinski otok Vancouvera i Montreala tijekom ljeta i zime. Uočeno je da oba grada imaju slična obilježja, postoje razlike između ljeta i zime u brzini ohlađivanja. Tijekom ljeta ruralna okolica intenzivno se hladi odmah nakon zalaska Sunca. To je zato što se visoka temperatura zraka ljeti ne može održavati kada prestane zagrijavanje Sunčevom radijacijom, pa nastupa brzo ohlađivanje. Zimi ohlađivanje nastupa i nešto prije zalaska Sunca i postupnije je. Ohlađivanje koje se ljeti u gradu događa nakon zalaska Sunca zimi je znatno manje. Zaključili su da se zimi zalazak Sunca događa tijekom doba dana u kojem je dosta gust promet i da ta antropogena emisija topline održava grad

toplim. Antropogeno zagrijavanje u Montrealu tri je puta veće zimi nego ljeti. Zimi je porast temperature zraka pod utjecajem antropogenog zagrijavanja veći nego ljeti. Ljeti i zimi razlika između grada i okolice intenzivno se povećava nakon zalaska Sunca, a maksimum dostiže nekoliko sati nakon zalaska Sunca. Navedeno je da parkovi u gradu imaju slična obilježja kao ruralna okolica. U Zagrebu je veće antropogeno zagrijavanje tijekom zime pa je i u Zagrebu intenzitet toplinskog otoka veći zimi nego ljeti. Obilježja toplinskog otoka grada Zagreba slična su kao i u mnogim drugim gradovima. Montreal i Vancouver su veći gradovi pa je razlika između grada i okolice puno veća nego u Zagrebu.

5. Usporedba sa sličnim istraživanjima

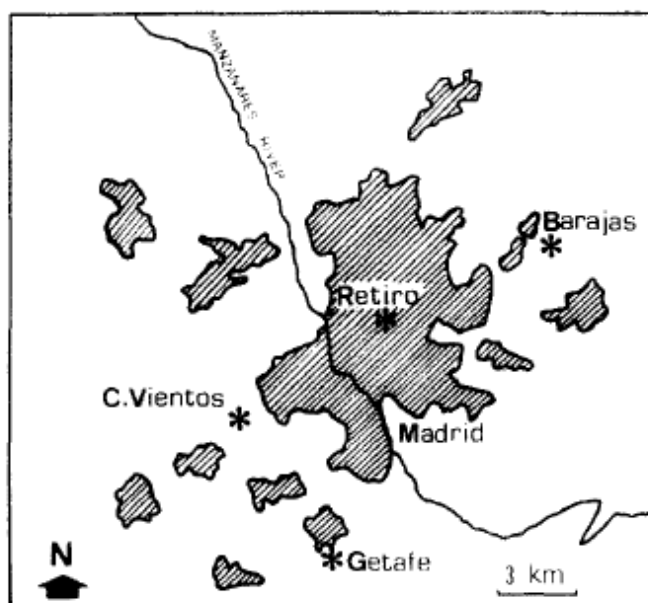
Toplinski otok Zagreba i utjecaj parka najbolje je uspoređivati s toplinskim otocima gradova koji se nalaze u sličnim geografskim širinama, na sličnoj nadmorskoj visini i gdje su klimatska obilježja slična. S obzirom na to da se ovaj rad bavio Botaničkim vrtom koji nije površinom velik park treba uzeti u obzir istraživanja koja su proučavala manje parkove. Istraživana su klimatska obilježja mnogih europskih gradova, njihovi toplinski otoci, te utjecaj parkova u tim gradovima. U Srbiji su proučavana toplinska obilježja Novog Sada (Savić i dr., 2016). Novi Sad je grad koji je nešto manji od Zagreba, a klimatska obilježja Novog Sada slična su klimatskim obilježjima Zagreba. Pokazalo se da gustoća izgrađenosti utječe na raspored izotermi u gradu, grad je najzagrijaniji u gusto izgrađenim područjima (sl. 23). Gusto izgrađeni dijelovi grada topliji su i za 4 °C od ruralne okolice. U Novom Sadu intenzitet toplinskog otoka najveći je tijekom noći i ujutro. Parkovi utječu na njegovo smanjenje.



Sl. 23. Stupanj izgrađenosti i intenzitet zagrijavanja grada u Novom Sadu

Izvor: Savić i dr., 2016

Istraživanje (Yague i dr., 1991) provedeno 1986. na području grada Madrida u Španjolskoj, analiziralo je toplinski otok grada Madrida. Uspoređivano je nekoliko mjernih postaja koje se nalaze na različitim lokacijama u gradu (sl. 24). U ovom radu promatrane su dnevne minimalne temperature zraka.

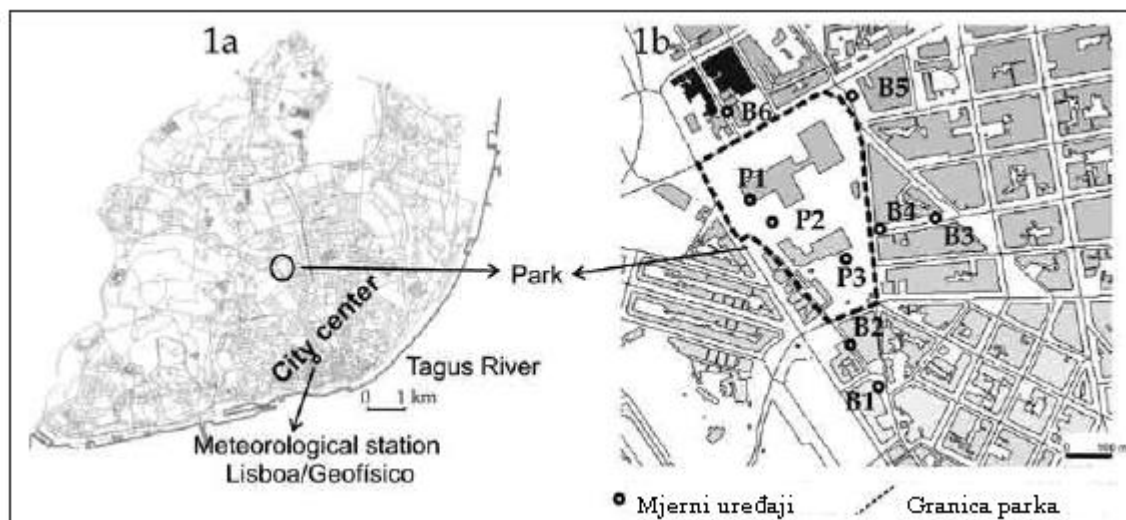


Sl. 24. Mjerne postaje u Madridu

Izvor: Yague i dr., 1991

Postaja Retiro nalazi se u centru grada, ali i u blizini parka. Postaja Barajas je u ruralnoj okolini. Postaje C. Vientos i Getafe su u okolini grada i mogu se promatrati kao ruralna okolica, ali imaju i obilježja predgrađa. Uočeno je da ne postoje tolike razlike u temperaturama ovih postaja. Širenjem grada došlo je do porasta temperature u postajama u okolini. U Zagrebu se daljnjim širenjem grada može očekivati porast temperature u okolini. Npr. ako se na livadama i poljoprivrednim površinama oko postaje Zagreb-Maksimir izgrade građevine poput zgrada i sl. može doći do porasta temperature zraka zbog smanjenja zelenih površina. Ono što je uočeno jest da postaja Retiro iako se nalazi u središtu grada bilježi nešto niže temperature. Nalazi se kraj većeg parka. To nam pokazuje da bi se u Zagrebu temperature zraka u užem središtu mogle smanjiti povećanjem zelenih površina postojećih parkova.

Andrade i Vieira (2007) analizirali su mikroklimu jednoga parka u Lisabonu. Analizirano je nekoliko klimatskih elemenata u parku u središtu grada. Htjeli su odrediti razlike u temperaturi zraka i drugim elementima između parka i izgrađene okolice, ali i unutar samoga parka. Površina parka jest 0,085 km², te je nešto veći od Botaničkog vrta. Ovo istraživanje slično je primjeru Botaničkog vrta jer se park nalazi u središtu grada i slične je veličine kao Botanički vrt. Postavljena su 3 uređaja u park i 6 njih izvan njega, a korištena je i jedna službena postaja (sl. 25).



Sl. 25. Lokacija parka u Lisabonu i mreža mjernih uređaja postavljenih u njemu i okolini

Izvor: Andrade i Vieira, 2007

Klima Lisabona i Zagreba se razlikuje. Lisabon ima sredozemnu klimu (Csa, prema

Köppenovoj klasifikaciji klime) s blagim zimama i toplim ili vrućim ljetima. Među svim europskim metropolama, ima najtoplije zime, s prosječnim dnevnim temperaturama iznad 15,2 °C i noćnim iznad 8,9 °C od prosinca do veljače. Temperature iznad 20 °C bilježe se tijekom šest mjeseci, od svibnja do listopada, premda su i u studenome, ožujku i travnju srednje mjesečne temperature ponekad iznad 20 °C. Analiza je pokazala da je park hladniji od okolice tijekom čitave godine i u svako doba dana. Najveće razlike zabilježene su ljeti tijekom dana. U istraživanju je najviše podataka bilo za ljeto pa se taj dio godine mogao najpouzdanije analizirati. Ono što je primijećeno jest da su najveće razlike između parka i okolice bile tijekom najtoplijih dana. Nisu svi dijelovi parka bili toliko hladniji od okolice. Dijelovi parka u kojima nema puno stabala bili su ponekad jednako topli kao i okolica. Razlike u temperaturi zraka postavljenih uređaja bile su čvrsto povezane s time koliko su uređaji bili izloženi direktnoj Sunčevoj radijaciji. U istraživanju uređaji su postavljeni i u sjenovite lokacije i na lokacije izložene Suncu. Uređaji u parku na Suncu bili su topliji od onih izvan parka u sjeni. Uređaji u parku koji su u sjeni bili su i do 5 °C hladniji od onih izvan parka. Zaključeno je da je vegetacija u parku jako važna i da bujna vegetacija i što više drveća utječe na to da temperature budu niže, spominje se i da veličina parka utječe na to koliko će park ohlađivati okolicu. Time je potvrđeno ono što se navodi u većini sličnih istraživanja. Razlike unutar parka određene su gustoćom vegetacije na nekom mjestu, a park je kao cjelina hladniji od okolice.

Istraživanje koje je proveo Makhelouf (2008) prikazalo je utjecaj parkova na klimu u Parizu. Proučavana su dva parka. Jedan je dosta veći od Botaničkog vrta. Radi se o parku Bulonjska šuma (fr. Bois de Boulogne) površine 8,55 km². Drugi park je Luksemburški vrt (fr. Le Jardin du Luxembourg), to je park koji je obilježjima sličniji Botaničkom vrtu u Zagrebu. Manji je od Bulonjske šume, ali je ipak dosta veći od Botaničkog vrta u Zagrebu, površina mu je 0,225 km². Zaključeno je da je park hladniji od izgrađene okolice, izgrađeni dijelovi u blizini parka ohlađivani su advekcijom zraka iz parka. Mjerili su klimatske elemente tijekom ljeta i zime i uočili razlike (tab. 11 i tab. 12). Mjerenja su vršena pomoću automatskih uređaja, a brojke u tablicama dobivene su kao prosjek vrijednosti koje su se bilježile svakih 20 sekundi.

Tab. 11. Temperatura i relativna vlažnost zraka u Parizu na odabranim mjestima tijekom ljeta

LJETO	Mjesto mjerenja		T(°C)	RH (%)
Luksemburški vrt	Ulica Assas	Ispred vrta	29.5	29
	Vrt	Unutar vrta	28	33
	Vrt	Središte vrta	27	35
	Bulevar St. Michel	Ispred vrta	30	30
	Ulica St. Jacques	Udaljeno od Vrta	32	27
Bulonjska šuma	Ulica Mirabeau	Ulica između zgrada	31	39
	Ulica Auteuil	Ulica uz šumu	29	44
	Šuma	Središte Bulonjske šume	27	47

Izvor: Makhelouf, 2008

Tab. 12. Temperatura i relativna vlažnost zraka u Parizu na odabranim mjestima tijekom zime

ZIMA	Mjesto mjerenja		T(°C)	RH (%)
Luksemburški vrt	Ulica Assas	Ispred vrta	8.8	66.9
	Vrt	Unutar vrta	7.8	69.9
	Vrt	Središte vrta	7.5	71
	Bulevar St. Michel	Ispred vrta	8.5	67.5
	Ulica St. Jacques	Udaljeno od Vrta	9.2	66
Bulonjska šuma	Ulica Mirabeau	Ulica između zgrada	6.1	94
	Ulica Auteuil	Ulica uz šumu	5.3	97
	Šuma	Središte Bulonjske šume	4	100

Izvor: Makhelouf, 2008

Rezultati prikazani u tablicama 11. i 12. jasno nam pokazuju da su lokacije u parku i vrtu hladnije od okolice. Lokacije u središtu parkova najhladnije su, a one u gradu najudaljenije od parka najtoplije su. Relativna vlažnost zraka veća je zimi nego ljeti. Razlike između relativne vlažnosti u parkova i okolice veće su ljeti nego zimi. Ljeti je središte Luksemburškog vrta hladnije za 5 °C, a zimi za 1.8 °C od ulice St. Jacques, udaljene od Vrta

200 metara. Središte Bulonjske šume ljeti je hladnije za 2 °C, a zimi za 1.3 °C od ulice pokraj šume. Ljeti se grad dosta zagrijava, a Vrt i Šuma ne toliko jer su dosta veliki i bogati vegetacijom pa dolazi do većih razlika. Razlike između relativne vlažnosti zraka slične su ljeti i zimi. Primijećeno je da iz Šume i Vrta struji povjetarac koji hladi ulice u blizini. Ovo istraživanje pokazalo je i da parkovi smanjuju zagađenje zraka i povećavaju količinu padalina. Zbog povećane vlažnosti zraka ima više padalina, što je izraženije kod većih parkova. Ta dva elementa nisu proučavana za Botanički vrt, a Botanički vrt kao manji park vjerojatno ne utječe značajno na količinu padalina, iako je moguće da smanjuje zagađenje zraka.

Istraživanje (Beranová i Huth, 2005) promjena u toplinskom otoku grada Praga u Češkoj i njegovim obilježjima u različitim sinoptičkim uvjetima pokazalo je da je intenzitet toplinskog otoka veći tijekom anticiklonalnih situacija. U obzir su uzete dnevne minimalne temperature zraka. To istraživanje proučavalo je promjene u toplinskom otoku od 1961. do 1990. Tijekom proljeća razlika između intenziteta toplinskog otoka tijekom anticiklona i ciklona nije bila izražena kao u drugim dijelovima godine. Grad se najviše zagrijavao kad su dominantni smjerovi strujanja zraka bili sjevernog, sjeveroistočnog, južnog i jugozapadnog smjera. U radu o Botaničkom vrtu nisu istraženi utjecaji smjera strujanja zraka na temperature u Vrtu i intenzitet toplinskog otoka. Vjerojatno i u Zagrebu strujanje zraka i smjer vjetra ima utjecaj na intenzitet toplinskog otoka. Primijećeno je da je intenzitet toplinskog otoka Praga od 1992. značajno porastao u svim godišnjim dobima osim ljeti. Za Zagreb ne postoje znanstveni radovi koji bi jasno mogli reći od kada dolazi do značajnijeg porasta intenziteta toplinskog otoka. Zagreb se nalazi u istom dijelu Europe kao i Prag, te je vjerojatno i u Zagrebu od sredine 20. stoljeća došlo do određenog porasta intenziteta toplinskog otoka.

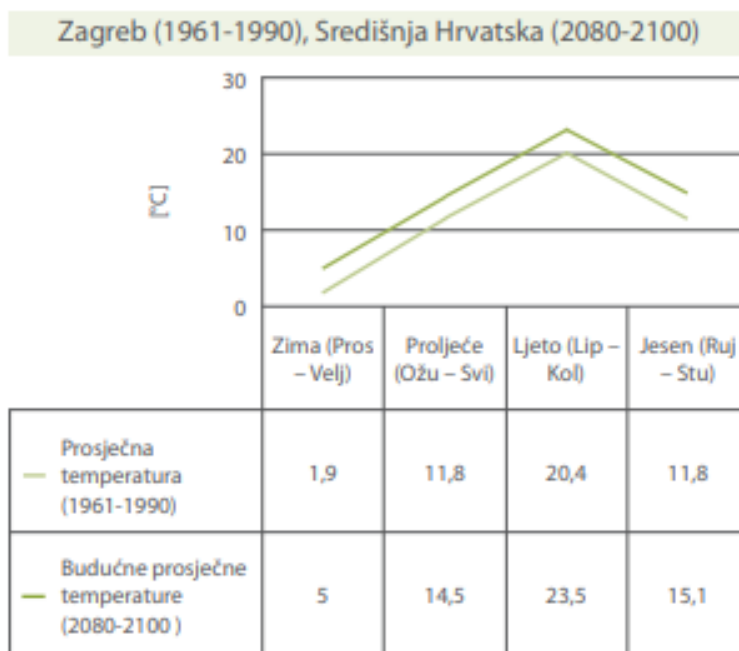
Navedena istraživanja nemaju iste rezultate i zaključke. U nekim gradovima je intenzitet toplinskog otoka i razlika u temperaturi parka i okolice veća tijekom zime, a u nekim tijekom ljeta. To ovisi o tipu klime koju grad ima, ali i o brojnim drugim čimbenicima. Ono što su sva istraživanja pokazala jest da se intenzitet toplinskog otoka gradova povećava. Pokazala su da su parkovi hladni otoci u gradovima i da ih je potrebno što više kako bi njihov učinak bio što izraženiji. Veći parkovi su imali širi utjecaj i to nam ukazuje na važnost očuvanja postojećih parkova. Problem je što se u većini gradova parkovi ne mogu proširiti jer su površine oko njih naseljene i izgrađene. Urbana klimatologija relativno je mlada disciplina. Klima gradova počela se proučavati u novije vrijeme, kada je uočeno da su klimatski elementi u gradovima različiti od onih u okolici. Potrebno je još mnogo istraživanja kako bi

se uočilo što sve utječe na klimu gradova i kako bi se bolje mogle predvidjeti buduće promjene. Istraživanja su potrebna kako bi se lakše moglo prilagoditi klimatskim promjenama i svemu onome što će one donijeti.

6. Uloga parkova u smanjenje intenziteta toplinskog otoka Zagreba

Postoji mogućnost da je u Zagrebu došlo do porasta temperature pod utjecajem klimatskih promjena (Žgela, 2018), kao što je zamijećeno i u nekim drugim gradovima u svijetu. Predviđa se da će doći do daljnjeg porasta temperature. Klimatski modeli DHMZ-a za razdoblje od 2040. do 2070. godine imaju različita predviđanja za godišnja doba. Zimi će temperatura u sjevernoj Hrvatskoj porasti za 2,5 °C, a moguć je i blagi porast količine padalina. Može doći do smanjenja trajanja snježnog pokrivača. Očekuje se da će proljetne temperature biti za 1,5 °C više i to diljem Hrvatske. Padaline se na području Zagreba ne bi trebale značajno mijenjati tijekom proljetnih mjeseci. Ljetne temperature u području Zagreba porasti će za 3 do 3,5 °C. Doći će i do smanjenja količine padalina ljeti. Toplinski valovi bit će izraženiji. Jesenske temperature porasti će za 2,5 °C, a količina padalina će se smanjiti ((Landau i dr., 2008).

Prema projekcijama doći će do porasta temperature i smanjenja količine padalina što može negativno utjecati na grad jer bi ljeti vrućine bile pojačane i trošilo bi se više vode. Zimi bi pozitivan utjecaj bio taj što bi se manje energije trošilo na grijanje. Prosječne temperature će u budućnosti biti puno veće od prosječnih temperatura razdoblja 1961.-1990. (sl. 26).



Sl. 26. Projicirane promjene u temperaturi zraka za Središnju Hrvatsku

Izvor: Landau i dr., 2008

Ako se projekcije ostvare temperatura će u prosjeku porasti za oko 3 °C, što će imati utjecaj na grad i njegovo stanovništvo. Prognoze za klimu u budućnosti temelje se na globalnim i regionalnim klimatskim modelima, te su one podložne promjenama. Treba obratiti pozornost na različite projekcije i planirati u skladu s njihovim prognozama.

Kako bi se prilagodilo klimatskim promjenama treba smanjiti emisiju stakleničkih plinova. Energetski sektor je najveći izvor emisija stakleničkih plinova u Hrvatskoj. Potrebno je donijeti zakone koji utječu na smanjenje emisije, a stanovništvo se treba educirati i informirati. U Zagrebu kao velikom gradu moraju se poduzimati dodatne mjere. Trebalo bi se voditi računa o načinu gradnje, a nove građevine trebaju biti energetski učinkovite. U obzir treba uzeti međusobno djelovanje naselja i okolne atmosfere. U Zagrebu se trebaju održati postojeće zelene i vodene površine. Trebaju se zasaditi dodatna stabla na zelene površine kako bi ohlađivanje bilo veće. Zgrade koje se tek grade trebale bi biti moderne i izgrađene u skladu s pravilima urbane klimatologije. Značajnu ulogu imaju parkovi koje treba sve više uređivati tako da pozitivno utječu na klimu i osjećaj ugođe stanovništva.

U Zagrebu ima zelenih površina, mnoge od tih površina nalaze se u sjevernom dijelu grada i nije riječ o uređenim parkovima, već o privatnim zelenim površinama ili park-šumama i šumama. Mnoge površine mogle bi se prenamijeniti u zelene. U Beču se prenamjenom industrijskih površina udio zelenih površina popeo na čak 53 % što je dovelo do brojnih

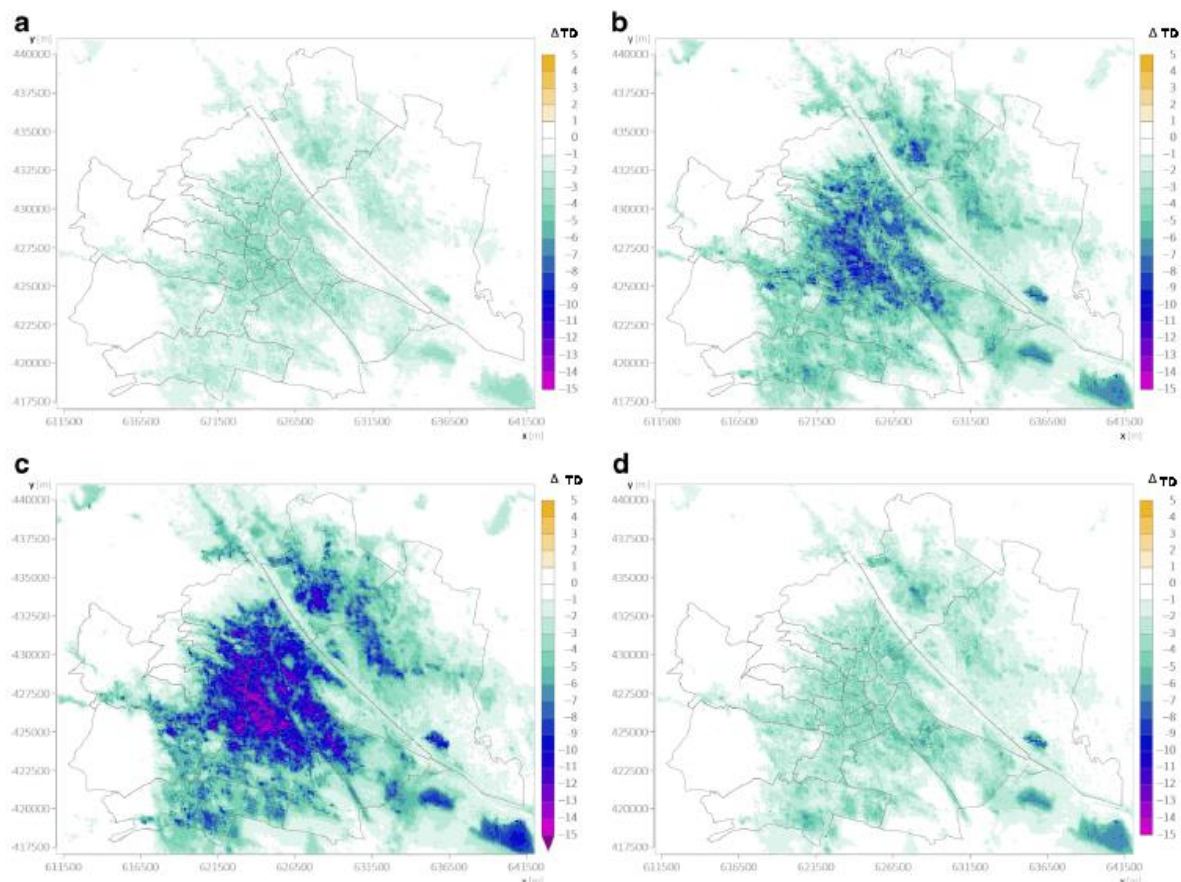
pozitivnih rezultata u samome gradu, ponajprije do smanjenja intenziteta toplinskog otoka (Žuvela-Aloise i dr., 2017). U Zagrebu postoji mogućnost povećanja zelenih površina, te bi trebalo raditi na tome.

Botanički vrt dio je zelene potkove, ona bi se mogla dodatno urediti. Neki od parkova u zelenoj potkovi nemaju toliko drveća. Sadnjom više stabala s bujnijim krošnjama cijela zona južno od najužeg središta grada mogla bi postati hladnija i tako bi mogla hladiti i svoju okolicu. Stabla bi se u gradu mogla posaditi i u svim ulicama gdje je to moguće, što bi utjecalo na smanjenje toplinskog otoka grada. U Zagrebu ne postoji neka velika zelena površina u najužem središtu grada. Uz zelenu potkovu veličinom se još izdvaja park Ribnjak, a ima još nekoliko manjih parkova. Iako je većina središta grada izgrađena, postoje neki objekti koji bi se mogli prenamijeniti u zelene površine, to bi se npr. moglo učiniti na mjestu stare zgrade u Paromlinskoj ulici, no ta je zgrada zaštićena zakonom.

S obzirom na to da nema previše slobodnih površina, a ima dosta zgrada, udio zelenila mogao bi se povećati zelenim krovovima. Zeleni krovovi imaju mnoge prednosti pred običnim krovovima. Djeluju kao toplinska izolacija, te tako smanjuju troškove grijanja i hlađenja u zgradama za oko 20 %, produljuju životni vijek krova štiteći ga od ultraljubičastog zračenja, velikih temperaturnih promjena i mehaničkih oštećenja (npr. tuča). Također upijaju zvuk i smanjuju utjecaj buke, te filtriraju zrak i stvaraju kvalitetniju mikroklimu. Iako su troškovi pri postavljanju zelenog krova dva do tri puta veći od troškova za klasični krov, ovo ulaganje se vraća kroz uštede na energiji za grijanje, odnosno hlađenje. Problem su troškovi održavanja zelenih krovova koji su dosta visoki. Osim mogućnosti štednje energije, ravni zeleni krovovi u urbanim sredinama mogu postati oaze zelenila, mjesta za odmor i opuštanje na dohvat ruke, istovremeno pružajući stanište i utočište raznim životinjskim vrstama. Pitanje je koliko je zgrada i krovova u središtu Zagreba pogodno za izgradnju zelenih krovova s obzirom na to da se radi o starijim zgradama, a dosta zgrada u središtu grada je zaštićeno i mnogi zahvati na njima ne bi bili prihvatljivi. Zelene krovove lakše je urediti na zgradama s ravnim krovom. Mnogi zahvati bili bi izvediviji u gusto izgrađenim gradskim četvrtima izvan središta grada.

Istraživanje o zelenim krovovima na primjeru Beča (Žuvela-Aloise i dr., 2017) pokazalo je da zeleni krovovi imaju velik potencijal u smanjivanju temperature zraka. Maleni porast albeda krovova, od 0,45, može smanjiti prosječne ljetne temperature zraka za 0,2 °C. Porast albeda na krovovima za 0,7 smanjio bi temperature zraka i za 0,5 °C. Oko 45 % krovova zgrada u Beču pogodno je za postavljanje zelenih krovova, samo 2-3 % tih krovova pretvoreno je u zelene. U Beču središte grada nije pogodno za izgradnju zelenih krovova, a

tako je i u Zagrebu. No umjesto zelenih krovova mogu se koristiti materijali koji dobro reflektiraju Sunčevu svjetlost. U istraživanju su prikazane promjene temperature zraka ljeti i broj toplih dana pod različitim uvjetima u odnosu na referentni albedo 0 (sl. 27). Simulacija (a) i simulacija (b) u kojima se albedo krovova povećava od referentne vrijednosti 0 za 0,25 odnosno 0,5 pokazuju smanjenje temperature zraka iznad velikog područje Beča. Simulacije (a) i (b) pretpostavljaju povećanje albeda krovova tako što bi se izradili bijeli krovovi ili bi se koristili materijali koji bolje reflektiraju Sunčeve zrake. Broj toplih dana manji je za 1 na 52 % gradskog područja ako se albedo poveća za 0,25, a na 72 % gradskog područja ako se poveća za 0,5. Povećanjem albeda krovova za 0,5 u određenim dijelovima grada broj toplih dana smanjit će se čak za 12. Do najvećih bi promjena došlo u najužem središtu grada jer tamo ima najviše krovova. Simulacija (c), koja uzima u obzir promjene koje bi nastale kada bi se u cijelom gradu napravili zeleni krovovi, pokazuje da bi došlo do najvećih promjena, broj toplih dana značajno bi se smanjio u čitavom gradu. Simulacija (d), koja prikazuje promjene koje bi nastale kada bi se zeleni krovovi napravili samo na onim zgradama na kojima je to moguće, pokazuje da promjene ne bi bilo toliko izražene kao da su zeleni krovovi na svim zgradama.



Sl. 27. Razlika u broju toplih dana (ΔTD) u Beču između referentnog albeda 0 i: povećanog za 0.25(a), povećanog za 0.50(b), povećanog albeda stavljanjem zelenih krovova na sve zgrade(c) i povećanog albeda stavljanjem zelenih krovova na krovove prikladne za to
Izvor: Žuvela-Aloise i dr., 2017

Zeleni krovovi ne mogu se postaviti na sve zgrade u Beču jer bi to narušilo tradicionalni izgled grada. U Zagrebu bi vjerojatno došlo do sličnih promjena kao i u Beču postavljanjem krovova s višim albedom ili zelenih krovova. Zeleni krovovi ne mogu se napraviti na mnogim zgradama u Zagrebu jer one nisu prikladne za to, ipak do određenog povećanja moglo bi doći. Bijeli krovovi su druga opcija. Neka istraživanja su pokazala da su oni jednako učinkoviti kao zeleni krovovi. Teško ih je održavati jer bi se zbog gradske prljavštine brzo gubila bijela boja. U Zagrebu bi trebalo povećati broj parkova, a određen iskorak trebao bi se napraviti i u uređenju zgrada, ipak mogućnosti su ograničene pa je pitanje koliko će se udio zelenih površina povećati i hoće li uopće.

7. Zaključak

Rad se bavi mikroklimatskim obilježjima Botaničkog vrta i središta Zagreba. Većina hipoteza je potvrđena. Zimi je veća razlika između temperature izmjerene u Vrtu i izvan Vrtu nego ljeti. Intenzitet toplinskog otoka je veći zimi nego ljeti pa su i razlike u temperaturi zraka veće. Temperature zraka izmjerene bliže ulici više su od onih u unutrašnjosti Vrtu. Mjerni uređaji u Vrtu bliže ulici zabilježili su više temperature od onih u unutrašnjosti vrta. Iznimka je uređaj BV3 koji se nalazi blizu ulice, ali zbog bujne vegetacije bilježi niže temperature. To nam pokazuje da je vegetacija važna za učinkovitije ohlađivanje parka. Veće su razlike u temperaturi (na određenim mjestima u Vrtu) u 7 sati nego u 21 sat. Rashlađujući utjecaj Botaničkog vrta nije toliko izražen zbog toga što je površina Vrtu samo 0,05 km². Botanički vrt nema izražen utjecaj na svoju okolicu, temperatura je niža u Vrtu, ali zbog male površine nema širok utjecaj. Vlažnost zraka veća je u Vrtu nego u okolici. Lokacije u unutrašnjosti Vrtu i one oko kojih ima više vegetacije su vlažnije. Intenzitet toplinskog otoka grada mogao bi porasti zbog klimatskih promjena stoga je važno očuvati postojeće zelene površine i urediti nove.

8. Literatura i izvori

Literatura

Andrade, H., Vieira, R., 2007: A Climatic Study of an Urban Green Space: The Gulbenkian Park in Lisbon (Portugal), *Finisterra*, XLII, 84, 27-46

Barradas, L.V., 1991: Air Temperature and Humidity and Human Comfort Index of Some City Parks of Mexico City, *International Journal of Biometeorology* 35, 24-28

Beranová, R., Huth, R., 2005: Long-term Changes in the Heat Island of Prague Under Different Synoptic Conditions, *Theoretical and Applied Climatology* 82, 113–118

Błażejczyk, K., Kuchcik, M., Błażejczyk, A., Milewski, P., Szmyd, J., 2014: Assessment of Urban Thermal Stress by UTCI – experimental and Modelling Studies: an Example From Poland, *DIE ERDE*, 145 · 1-2.

Bonan, G., 2002: Ecological Climatology, u Chapter 14 Urban Ecosystems, Cambridge University Press, Cambridge, 547-582

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

Chang, C., Li, M., 2014: Effects of Urban Parks on the Local Urban Thermal Environment, *Urban Forestry & Urban Greening* 13, 672-681

Hardwick, S., R., Toumi, R., Pfeifer, M., Turner, E.C., Nilus, R., 2014: The Relationship Between Leaf Area Index and Microclimate in Tropical Forest and Oil Palm Plantation: *Forest Disturbance Drives Changes in Microclimate*, *Agricultural and Forest Meteorology* 201, 187–195

Makhelouf, A., 2008: The Effect of Green Spaces on Urban Climate and Pollution, Iran, *Journal of Environmental Health Science & Engineering* 6, 1, 35-40

Maradin, M., Filipčić, A., 2018: Urban Heat Island Intensity of Zagreb in Summer and Winter Season, u Proceedings Geobalcanica 2018 / Radevski, Ivan et al. – Skopje: *Geobalcanica Society*, 3-13

Oke, T.R., Maxwell, G.B., 1974: Urban Heat Island Dynamics in Montreal and Vancouver, *Atmospheric Environment* 9, 191-200

Oliver, J.E., 2008: *Encyclopedia of World Climatology*, u Urban Climatology 766-779

Potchter, O., Cohen, P., Bitan, A., 2006: Climatic Behavior of Various Urban Parks During Hot and Humid Summer in the Mediterranean City of Tel Aviv, Israel, *International Journal of Climatology* 26, 1695–1711

Savić, S., Milošević, D., Arsenović, D., Marković, V., Bajšanski, I., Šećerov, I., 2016: Urban Climate Issues in Complex Urbanized Environments: a Review of the Literature for Novi Sad (Serbia), *ACTA CLIMATOLOGICA ET CHOROLOGICA* 49-50, 63-80

Souch, C.A., Souch, C., 1993: The Effect of Trees on Summertime Below Canopy Urban Climates: A Case Study Bloomington, Indiana, *Journal of Arboriculture* 19(5)

Spronken-Smith, R.A., Oke, T.R., 1998: The Thermal Regime of Urban Parks in Two Cities with Different Summer Climates, *International Journal of Remote Sensing* 19:11, 2085-2104

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

Šegota, T., 1986: Srednja temperatura zraka u Zagrebu, *Geografski glasnik* 48, 13-25

Šegota, T., Filipčić, A., 1996: *Klimatologija za geografe*, III. prerađeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb

Unger, J., 1999: Urban–rural Air Humidity Differences in Szeged, Hungary, *International Journal of Climatology* 19, 1509–1515

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

Yague, C., Zurita, E., Martinez, A., 1991: Statistical Analysis of the Madrid Urban Heat
Island, *Atmospheric Environment* 25B, 3, 327-332

Žgela, M., 2018: Urbana klimatologija – Primjer toplinskog otoka grada Zagreba,
Geografski Horizont 2/2018, 31-40

Žuvela-Aloise, M., Andre, K., Schwaiger, H., Bird, D.N., Gallaum, H., 2017: Modelling
Reduction of Urban Heat Load in Vienna by Modifying Surface Properties of Roofs,
Theoretical and Applied Climatology 131, 3-4, 1005-1018

Izvori

Toplinski otok grada, Više od betonskih ploča, n.d.: <https://www.samoborka.hr/vise-od-betonskih-ploca> (20.3.2019.)

Zagreb hoteli – putujte u Zagreb, 2014: <http://putujte.blogspot.com/2014/03/lenucijeva-potkova-perivojni-okvir.html> (15.7.2019.)

Google maps: <https://www.google.hr/maps/@45.8058278,15.9722656,17z> (16.7.2019.)

United Nations-urbanizacija:

http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/WUP2011_Report.pdf (17.7.2019)

DHMZ, Klimatski podatci od 1981. do 2010. te 2018. i 2019. godinu za postaju Zagreb-Grič; od 1971. do 2010. te za 2018. i 2019. godinu za postaju Zagreb-Maksimir

Landau, S., Legro, S., Vlašić, S., (ur.): 2008: Dobra klima za promjene - Klimatske promjene i njihove posljedice na društvo i gospodarstvo u Hrvatskoj, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, 272 str.

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katušin, Z., Kaučić, D., Likso, T., Lončar, E., Lončar, T., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnec, L., Vučetić, V., 2008: Klimatski atlas Hrvatske 1961-1990., 1971-2000., Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod.

Popis slika i tablica

Slika 1. Toplinski otok grada, samoborka.hr

Slika 2. Godišnji hod temperature zraka i količine padalina u Zagrebu (Zagreb-Maksimir) za razdoblje 1971.-2000., Klimatski atlas DHMZ-a

Slika 3. Zelena (Lenucijeva) potkova, putujte.blogspot.com

Slika 4. Tipovi lokalnih klimatskih zona i njihova obilježja, Stewart i Oke, 2012

Slika 5. Položaj mjernih uređaja BV1, BV2, BV3 i BV4 u Botaničkom vrtu, Google maps

Slika 6. Mjerni uređaj BV1 u Botaničkom vrtu

Slika 7. Mjerni uređaj BV2 u Botaničkom vrtu

Slika 8. Mjerni uređaj BV3 u Botaničkom vrtu

Slika 9. Mjerni uređaj BV4 u Botaničkom vrtu

Slika 10. Mjerni uređaj MT1 na Marulićevom trgu

Slika 11. Mjesečne temperature zraka na mjernim uređajima u Vrtu od svibnja 2018. do travnja 2019. godine i na uređaju MT1 od svibnja do prosinca 2018. godine

Slika 12. Mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u Vrtu od svibnja 2018. do travnja 2019. godine i na uređaju MT1 od svibnja do prosinca 2018. godine

Slika 13. Srednji dnevni hod temperature zraka na mjernim uređajima u srpnju 2018. godine

Slika 14. Srednji dnevni hod temperature zraka na mjernim uređajima u prosincu 2018. godine

Slika 15. Razlike u temperaturi zraka lokacija BV4 i BV1 u srpnju i prosincu 2018. godine

Slika 16. Srednji dnevni hod relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u srpnju 2018. godine

Slika 17. Srednji dnevni hod relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u prosincu 2018. godine

Slika 18. Broj vrućih i toplih dana na uređajima u razdoblju od 1.5.2018 do 31.12.2018. te broj hladnih dana od 1.5.2018. do 16.1.2019.

Slika 19. Mjesečne temperature zraka na postajama Zagreb-Grič, Zagreb-Maksimir i na mjernom uređaju BV1 od svibnja 2018. do travnja 2019. godine

Slika 20. Mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka na postajama Zagreb-Grič, Zagreb-Maksimir i na mjernom uređaju BV1 od svibnja 2018. do travnja 2019. godine.

Slika 21. Temperature zraka u 7 sati tijekom ljeta 2018. na mjernoj postaji Zagreb-Grič i uređaju BV3

Slika 22. Temperature zraka u 7 sati tijekom zime 2018./19. na mjernoj postaji Zagreb-Grič i uređaju BV3

Slika 23. Stupanj izgrađenosti i intenzitet zagrijavanja grada u Novom Sadu, Savić i dr., 2016

Slika 24. Mjerne postaje u Madridu, Yague i dr., 1991

Slika 25. Lokacija parka u Lisabonu i mreža mjernih uređaja postavljenih u njemu i okolici, Andrade i Vieira, 2007

Slika 26. Projicirane promjene u temperaturi zraka za Središnju Hrvatsku, Dobra klima za promjene, 2008

Slika 27. Razlika u broju toplih dana (ΔTD) u Beču između referentnog albeda 0 i: povećanog za 0.25(a), povećanog za 0.50(b), povećanog albeda stavljanjem zelenih krovova na sve zgrade(c) i povećanog albeda stavljanjem zelenih krovova na krovove prikladne za to, Žuvela-Aloise i dr., 2017

Tablica 1. Mjesečne temperature zraka na mjernim uređajima u Botaničkom vrtu od svibnja 2018. do travnja 2019. godine i na uređaju MT1 od svibnja do prosinca 2018. godine (°C)

Tablica 2. Mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u Botaničkom vrtu od svibnja 2018. do travnja 2019. godine i na uređaju MT1 od svibnja do prosinca 2018. godine (%)

Tablica 3. Srednji dnevni hod temperature zraka na mjernim uređajima u srpnju 2018. godine (°C)

Tablica 4. Srednji dnevni hod temperature zraka na mjernim uređajima u prosincu 2018. godine (°C)

Tablica 5. Srednji dnevni hod relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u srpnju 2018. godine (%)

Tablica 6. Srednji dnevni hod relativne vlažnosti zraka na mjernim uređajima u prosincu 2018. godine (%)

Tablica 7. Srednja dnevna temperatura zraka u postajama DHMZ-a i uređajima u Vrtu u srpnju 2018. godine u 7, 14 i 21 sat (°C)

Tablica 8. Srednja dnevna temperatura zraka u postajama DHMZ-a i uređajima u Vrtu u prosincu 2018. godine u 7, 14 i 21 sat (°C)

Tablica 9. Srednja dnevna relativna vlažnost zraka u postajama DHMZ-a i uređajima u Vrtu u srpnju 2018. godine u 7, 14 i 21 sat (%)

Tablica 10. Srednja dnevna relativna vlažnost zraka u postajama DHMZ-a i uređajima u

Vrtu u prosincu 2018. godine u 7, 14 i 21 sat (%)

Tablica 11. Temperatura i relativna vlažnost zraka u Parizu na odabranim mjestima tijekom ljeta

Tablica 12. Temperatura i relativna vlažnost zraka u Parizu na odabranim mjestima tijekom zime