

# Povezanost globalnog fenomena urbanih toplinskih otoka s povećanjem populacije insekata u gradskim centrima

---

Dadić, Marija

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:828183>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-26**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Marija Dadić

**Povezanost globalnog fenomena urbanih  
toplinskih otoka s povećanjem populacije  
insekata u gradskim centrima**

Završni rad

Zagreb, 2022.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Marija Dadić

**The association of the global phenomenon  
of urban heat islands with the increase in  
insect populations in urban centers**

Bachelor thesis

Zagreb, 2022.

Ovaj rad izrađen je u sklopu Preddiplomskog sveučilišnog studija Znanosti o okolišu na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Perice Mustafića.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu

Završni rad

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

## Povezanost globalnog fenomena urbanih toplinskih otoka s povećanjem populacije insekata u gradskim centrima

Marija Dadić

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

**Sažetak:** Proces urbanizacije dovodi do fenomena zvanog „Urbani toplinski otoci“. Urbani toplinski otoci područja su čija je prosječna temperatura zraka viša u odnosu na suburbana i ruralna područja. Porast urbane temperature ima najizraženije učinke na ektotermne organizme – životinje čiju tjelesnu temperatura uvjetuje okolina. Budući da su insekti vitalna komponenta kopnene biološke raznolikosti, od presudne je važnosti spoznati skup uvjeta koje nameće urbanizacija (klimatske promjene, dostupnost hrane, prisutnost grabežljivaca, smanjenje staništa i dr.) te odgovor insekata na novonastale promjene. Gradovi odražavaju uvjete za koje se smatra da će uslijed globalnog zagrijavanja, biti uvjeti većine staništa. Zbog toga gradovi nude svojevrsnu mogućnost uvida u buduća zbivanja. Do sada je poznato da su gradska područja obilježena smanjenom raznolikošću insekata, posebno dvokrilca (*Diptera*) i leptira (*Lepidoptera*). U povoljnijem položaju su opnokrilci (*Hymenoptera*), posebice pčele (*Anthophila*). One su u gradskim sredinama učinkovitije u vidu oprašivanja cvjetnica – napose u botaničkim i stambenim vrtovima te parkovima. Urbani toplinski otoci dovode i do tzv. „buđenja spavača“ odnosno do razvoja prilagodbi koje pojedine vrste pretvaraju u invazivne štetnike. Povećanje topline u gradovima rezultiralo je porastom broja biljojednog štetnika *P. quercifex*. Budući da je širenje gradova u nepokolebljivom zamahu, rad nastoji predvidjeti promjene koje će se događati s populacijama insekata.

**Ključne riječi:** spavajuće vrste, oprašivači, ektotermi, invazivne vrste

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

(24 stranice, 15 slika, 1 tablica, 47 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Perica Mustafić

## BASIC DOKUMENTATION CARD

---

University of Zagreb

BSc Thesis

Faculty of Science

Department of biology

# The association of the global phenomenon of urban heat islands with the increase in insect populations in urban centers

Marija Dadić

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

**Summary:** The process of urbanization has led to a phenomenon referred to as "urban heat islands". Urban heat islands are areas whose average air temperature is higher than the temperature in suburban and rural areas. The increase in urban temperature has the most pronounced effects on ectothermic organisms – animals whose body temperature depends on the environment. Since insects are a vital component of terrestrial biodiversity, it is essential to identify the set of conditions imposed by urbanization (climate change, food availability, presence of predators, habitat reduction, etc.) and the response of insects to new changes. Cities reflect the conditions which are expected to become the conditions of most habitats due to global warming. As a result of this, cities provide insight into future events. Until the present day, urban areas have been considered to contain a reduced diversity of insects, especially two-winged insects (Diptera) and butterflies (Lepidoptera). Membrane-winged insects (Hymenoptera), especially Anthophila bees, are in a more favorable position. They are more effective in urban areas in terms of pollination of flowering plants – especially in botanical and residential gardens and parks. Urban heat islands also lead to the so-called "awakening of sleeper species", i.e., to the development of adaptations that turn certain species into invasive pests. The increase of heat in cities has resulted in an increase in the herbivorous pest *P. quercifex*. Due to the burgeoning expansion of cities, the paper aims to predict the changes that will occur to insect populations.

**Keywords:** sleeper species, pollinators, ectotherms, invasive species

Thesis is deposited in Central Biological Library.

(24 pages, 15 figures, 1 tables, 47 references, original in: croatian)

**Supervisor:** Associate Professor Perica Mustafić, PhD

## SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. UZROCI NASTAJANJA TOPLINSKIH OTOKA.....	2
3. UTJECAJ TOPLINSKIH OTOKA NA VRIJEME, KLIMU I KOPNENE VODE.....	4
3.1. Utjecaj toplinskih otoka na vrijeme i klimu.....	4
3.2. Utjecaj toplinskih otoka na kopnene vode.....	5
4. UTJECAJ TOPLINSKIH OTOKA NA POPULACIJU INSEKATA .....	5
5. SPAVAJUĆE VRSTE.....	11
6. URBANA PODRUČJA KAO ŽARIŠTA PČELA I OPRAŠIVAČA .....	16
7. ZAKLJUČAK.....	19
8. LITERATURA.....	20
ŽIVOTOPIS	

# 1. UVOD

Urbanizacija vodi prema sve većoj i bržoj izgradnji, koja je često neplanska, što je jedna od karakteristika modernog doba. Danas je broj ljudi koji živi u gradovima premašio 50% svjetske populacije. U nekim slučajevima urbanizacija može u potpunosti ukloniti vegetacijski pokrov i zelene površine, čime se postavlja pitanje: „utječe li grad na „svoju“ klimu?“ (Šegota 1986).

Kao što samo ime kaže, urbani toplinski otoci područja su vezana uz urbana naselja, čija je prosječna temperatura zraka viša od okolnih ruralnih područja. S obzirom na to da su toplinski otoci neovisni o sezonskim gibanjima Zemlje, oni su prisutni i ljeti i zimi. Enormna gustoća stambenih objekata, oslobađanje topline izgaranjem fosilnih goriva (poglavito u prometu) te smanjenje mogućnosti prirodne ventilacije jedni su od glavnih uzroka nastanka toplinskih otoka. Posljedica svih tih čimbenika i njihovog međudjelovanja stvaranje je loših socijalno-ekoloških uvjeta u urbanom području (Žgela 2019).

Toplinski otoci imaju utjecaj i na povećanje potrošnje energije, a samim time doprinose efektu stakleničkih plinova, te na koncu uzrokuju i globalno zatopljenje. Iako nisu vezani isključivo za urbana središta, veći su izgledi za njihovu pojavu u gradu zbog nabrane reljefne strukture uzrokovane izgradnjom urbanih područja, čije su površine sklone zadržavanju velike količine topline.

Međutim, nemaju svi gradovi jednako izražen toplinski otok, ponajprije zbog pozadinske klime područja u kojem se grad nalazi, jednog od glavnih parametara za određivanje karakteristike toplinskog otoka (Grdenić 2014).

U zadnjih nekoliko godina sve se češće govori o temama gubitka staništa i biološke raznolikosti. Posebno je zabrinjavajuće drastično opadanje brojnosti kukaca koje su zabilježili entomolozi iz različitih dijelova svijeta, a pogotovo u Europi (podaci o gubitcima su između 30 i 76% biomase). Iako se točni uzroci još ne znaju, glavni krivci su klimatske promjene, gubitak staništa i široka upotreba pesticida i herbicida u poljoprivredi.

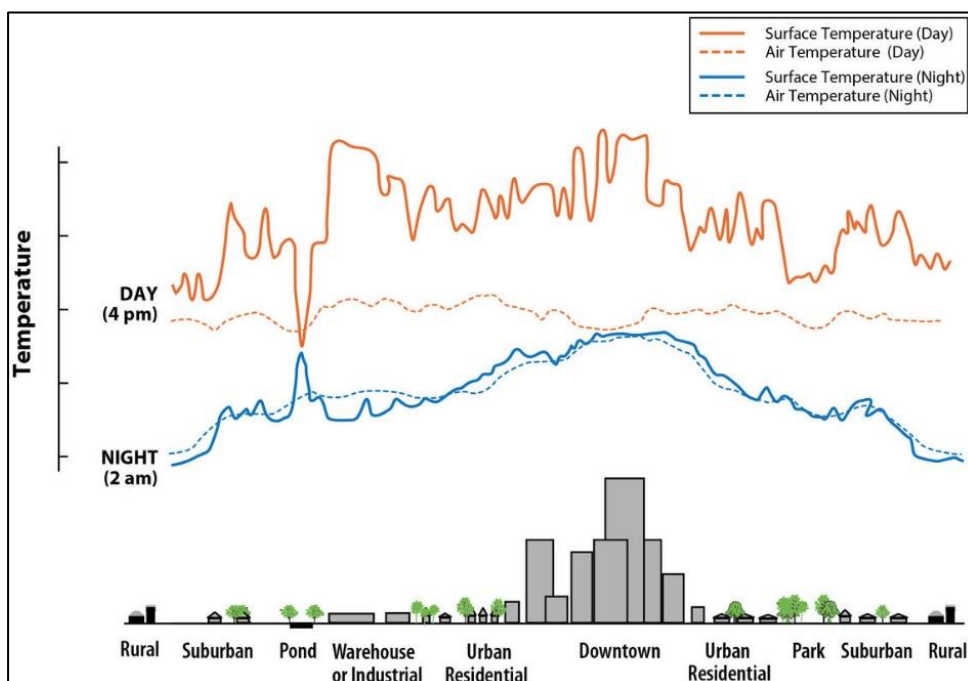
Kako urbanizirana područja zauzimaju sve veće površine, problematika bioraznolikosti u gradovima sve je važnija tema u brojnim diskusijama.



## 2. UZROCI NASTAJANJA TOPLINSKIH OTOKA

Kada bi se skicirao profil temperature u urbanim i ruralnim područjima, međusobnim uspoređivanjem utvrdilo bi se da je temperatura zraka u gradu općenito viša od one u okolnim područjima, tj. grad je ‘toplinski otok’ u odnosu na hladniju ruralnu okolinu (Žgela 2019). Ovakve temperaturne razlike posljedica su različitih čimbenika koje je u prirodu prvenstveno unio čovjek.

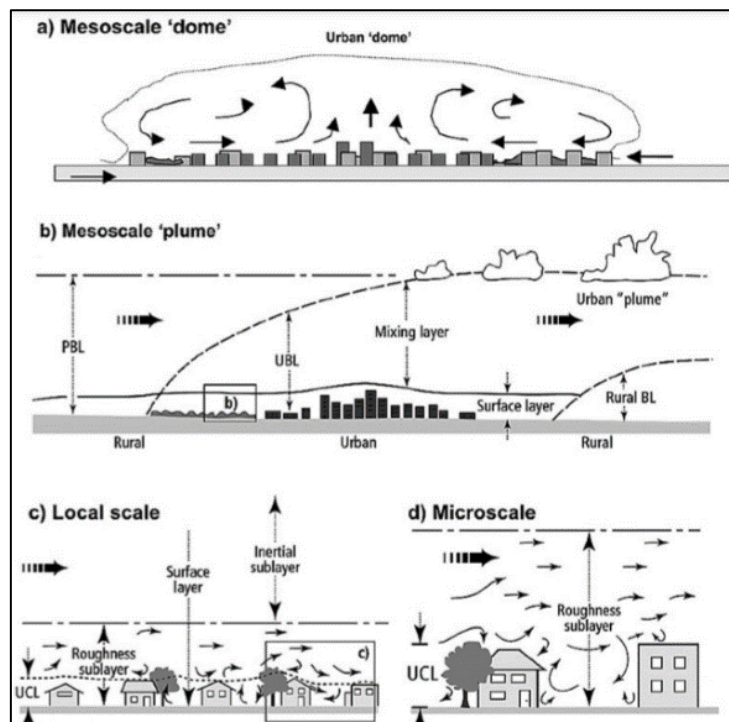
Velik doprinos daje toplina koju, zbog svojeg velikog toplinskog kapaciteta, tijekom dana apsorbiraju umjetni materijali, u prvom redu asfalt i beton. Noću se ta akumulirana toplina otpušta u okolinu i time povećava njezinu temperaturu, čime dovodi do promjene u energetskej ravnoteži urbanih područja. Materijali koji se obično koriste u urbanim područjima pri izradi kolnika i krovova imaju značajno različit toplinski kapacitet, toplinsku vodljivost te površinsko zračenje (albedo) od okolnih ruralnih područja (Henry i sur. 1989). Spomenuta svojstva uzrokuju promjenu u energetskej bilanci grada, što često dovodi do viših temperatura zraka u odnosu na rubna gradska područja. Asfaltirani kolnici zbog svojeg tamnog obojenja upijaju više sunčevog zračenja što uzrokuje više temperature u gradovima nego što je slučaj u područjima gdje je stupanj urbanizacije niži (Slika 1.).



Slika 1. Profil urbanog toplinskog otoka

Izvor: [https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/styles/full\\_width/public/thumbnails/image/EPA%20Heat%20Island-illustration\\_v03.jpg](https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/styles/full_width/public/thumbnails/image/EPA%20Heat%20Island-illustration_v03.jpg)

Uzrok nastanka toplinskih otoka može se pronaći i u geometriji stambenih objekata. S obzirom na to da visoke stambene zgrade u urbanim područjima tijekom dana apsorbiraju značajne količine topline, povećava se i zagrijavanje gradskih područja. Termin „efekt kanjona“ podrazumijeva uske gradske ulice omeđene visokim zgradama koje stvaraju izgled kanjona i kao takve reflektiraju i apsorbiraju veliku količinu Sunčeve energije (Aniello i sur. 1995). Uz to i kanaliziraju strujanje pa sprječavaju vjetar da „otpuše“ višak topline. Zgrade sagrađene vrlo blizu jedna drugoj onemogućuju strujanje vjetra, čime značajno smanjuju hlađenje konvekcijom. Onemogućeno strujanje vjetra za posljedicu ima i nagomilavanje onečišćujućih čestica pri tlu (Slika 2.).



Slika 2. Utjecaj grada na vertikalnu cirkulaciju zraka:

(a) u uvjetima slabog strujanja zraka, (b) pri jakom strujanju zraka, (c) na lokalnoj razini i (d) na mikrorazini.  
Izvor: Oke 1997

Visoka razina onečišćenja u urbanim područjima također može povećati urbani toplinski otok jer mnogi oblici onečišćenja mijenjaju zračna svojstva atmosfere. Urbani otok ne samo da povećava gradsku temperaturu, već i povećava koncentracije ozona ( $O_3$ ) - stakleničkog plina, čije se stvaranje ubrzava porastom temperature (Rosenfeld i sur. 1993).

Proces širenja gradskog centra na sve veće površine rezultat je povećanja broja stanovnika i u ruralnim područjima, zbog čega se povišena temperatura grada prenosi na sve više teritorijalnih jedinica. Porast broja stanovnika u gradskom području dovodi i do povećane

potrebe za potrošnjom energije u svrhu klimatizacije ili pak grijanja, čime se još više topline otpušta u urbanu okolinu. Nadalje, širenjem gradova smanjuje se količina vegetacije u suburbanom području, što također utječe na porast temperature. Opaženo je da je temperatura zraka niža u području s više vegetacije zbog jače evapotranspiracije bilja. Američka služba za šume, 2018. godine utvrdila je da gradovi u Sjedinjenim Američkim Državama svake godine gube 36 milijuna stabala. Sa smanjenom količinom vegetacije, gradovi gube hladovinu i učinak hlađenja stabala (Nowak i sur. 2018).

### **3. UTJECAJ TOPLINSKIH OTOKA NA VRIJEME, KLIMU I KOPNENE VODE**

Povišene temperature uzrokovane urbanim toplinskim otocima, posebice ljeti, mogu utjecati na zajednicu, okoliš i kvalitetu života u njemu. Iako postoji nekolicina pozitivnih utjecaja toplinskih otoka, većina utjecaja dugoročno je štetna. Pozitivan primjer je što će uz uvjet postojanja umjerene klime, urbani toplinski otoci produžiti vegetacijsku sezonu mijenjajući na taj način i uzgojne strategije zasađene vrste. Negativnosti koje donosi postojanje toplinskih otoka su: povećana potrošnja energije, povišenje emisije onečišćivača zraka i stakleničkih plinova, ugrožavanje zdravlja ljudi te smanjena kvaliteta vode (Ferguson i sur. 2008).

#### **3.1. Utjecaj toplinskih otoka na vrijeme i klimu**

Osim mjestimičnog povišenja temperature uslijed postojanja urbanog toplinskog utoka, oni za posljedicu imaju i neke sekundarne učinke. Naime, mogu dovesti do izmjene u jakosti, učestalosti i smjeru puhanja lokalnog vjetera, mijenjaju intenzitet razvoja oblaka te na sebi svojstven način reguliraju stvaranje magle, vlage i količinu oborina. Dodatna toplina koju osigurava urbani toplinski otok dovodi do većeg kretanja zagrijanog zraka u visinu, što može potaknuti dodatnu aktivnost kiše i grmljavine. Osim toga, urbani toplinski otok, tijekom dana stvara lokalno područje niskog tlaka u kojem se relativno vlažan zrak iz ruralnog okruženja konvergira, što može dovesti do povoljnijih uvjeta za stvaranje oblaka (Ferguson i sur. 2008).

Zamijećeno je i povećanje oborina u gradovima, ali i u područjima koja su smještena niz vjetar. Uzrok obilnijih oborina je povećan broj kondenzacijskih jezgara u gradskim područjima kao i povećana konvekcija (uzlazno gibanje) jer je grad topliji od okolice.

### **3.2. Utjecaj toplinskih otoka na kopnene vode**

Efekt toplinskog otoka smanjuje kakvoću vode. Vrući pločnici i krovovi prenose svoju suvišnu toplinu u vodu koja oborinama dopijeva na tlo, a ta se voda zatim ulijeva u kanalizaciju i povećava temperaturu vode koja odlazi u potoke i rijeke te gradske vode stajaćice. Brze promjene temperature u vodenim sustavima su iznimno opasne za vodeni svijet.

Povišena temperatura vode u gradskim oborinskim vodama može dovesti do smanjenja raznolikosti vodenih ekosustava. U kolovozu 2001. godine, oborine iznad grada Cedar Rapidsa, SAD, dovele su do zagrijavanja vode u rijeci Cedar za 10.5 °C. Toliki porast temperature zabilježen je u svega sat vremena te je uzrokovao masovan pomor ribe. Naknadno provedena istraživanja utvrdila su da je temperatura kiše bila relativno niska, ali se je voda u kontaktu s asfaltiranim ulicama uvelike zagrijala. Naime, toplina u kontaktu dvaju tijela prelazi s toplijeg na hladnije, stoga su ulice veliku količinu kinetičke energije prenijele na molekule vode. Takva izrazito zagrijana voda je kroz gradsku kanalizaciju dospjela u vodotok, gdje je drastično povisila dotadašnju temperaturu riječnog ekosustava. Ovo povećanje temperature uzrokovalo je da ribe koje nastanjuju vodni sustav budu podvrgnute termičkom stresu. Slični događaji dokumentirani su i na američkom srednjem zapadu, Oregonu i u Kaliforniji (Smith i sur. 2008).

Povećanje toplinskog onečišćenja može dovesti do povećanja temperature vode za 2 do 4°C (Ferguson i sur. 2008). Kao rješenje problema zagrijavanja kopnenih voda predlaže se izgradnja propusnih kolnika. Oni bi omogućili probijanje vode kroz cestu u podzemna skladišta, gdje bi se voda mogla rashladiti u doticaju s unutrašnjosti zemlje i ondje prisutnim geološkim elementima znatno niže temperature.

## **4. UTJECAJ TOPLINSKIH OTOKA NA POPULACIJU INSEKATA**

Gradovi su, sami po sebi, izmijenili postupak prirodne selekcije. Selektivni pritisci nametnuti postojanjem urbanih toplinskih otoka te njihovih direktnih manifestacija kao što su klimatske promjene, dostupnost hrane, prisutnost grabežljivaca i smanjenje staništa izazivaju novi skup uvjeta po kojima se vrši selekcija vrsta.

Gradovi duboko mijenjaju biološke zajednice favorizirajući neke vrste nad drugima. Iako značajni, upravljački mehanizmi ovih promjena uglavnom su nepoznati. Biljojedni štetočinački člankonošci često su obilniji u urbanim nego u ruralnim područjima. To se pripisuje smanjenoj kontroli predatora i parazitoida te povećanoj osjetljivosti urbanih biljaka.

Međutim, ove hipoteze ostavljaju mnoge pojave neobjašnjivima i ne uspijevaju predvidjeti razlike u insektima unutar gradova (Meineke i sur. 2013.).

Insekti su vitalna komponenta kopnene biološke raznolikosti, podupiru važne usluge ekosustava kao što su oprašivanje, stvaranje tla i suzbijanje biljnih štetnika (Wilson 1992). Njihovo očuvanje predstavlja značajan izazov zbog znakovitog smanjenja biomase letećih insekata. U posljednjih 27 godina u njemačkim rezervatima prirode (Hallmann i sur. 2017) zabilježen je 78-postotni pad brojnosti člankonožaca, a između 2008. i 2017. godine na travnjacima (Seibold i sur. 2019) zabilježeno je 34-postotno smanjenje bogatstva vrsta člankonožaca. U periodu između 1980. i 2013. u Britaniji (Powney i sur. 2019) bilježe smanjenje broja pčela i lebdećih muha za 33%.

Visoke urbane temperature imaju najizraženije učinke na ektoterme, jer povišena temperatura pokreće razvoj kod mnogih ektotermičnih vrsta (Briere i sur. 1999). Insekti su posebno interesantni zbog svoje ekološke i ekonomske važnosti kao oprašivači (Losey i Vaughan 2006), vektori bolesti (Lounibos 2002) i biljni štetnici (Aukema i sur. 2011). Biljojednih štetnika više je u urbanim nego u ruralnim područjima. Predloženi mehanizmi za ovaj obrazac promjene u kvaliteti biljke domaćina (Cregg i Dix 2001) i djelotvornost prirodnog neprijatelja (Hanks i Denno 1993) - nedosljedno objašnjavaju veću brojnost štetočina biljojednih insekata (Raupp i sur. 2010). Pretpostavljamo da je učinak urbanog toplinskog otoka najvažniji pokretač veće brojnosti insekata u gradovima.

Da bi se provjerila vjerodostojnost navedenih tvrdnji Meineke E.K. i suradnici (2013) proveli su istraživanje na kukcu *Parthenolecanium quercifex* (Slike 3. i 4.). Budući da su i urbana i šumska drveća staništa spomenutih kukaca, oni su kao takvi, u punini podložni učinku gradskog zagrijavanja te time mjerodavni za istraživanje.

*P. quercifex* kukac je reda *Hemiptera*. Autohtona je vrsta u SAD-u. Ovisno o životnoj fazi hrani se floemom lišća ili grana različitih vrsta hrasta (Johnson i Lyon 1976), ali je primarni štetnik vrbolikog hrasta, *Quercus phellos*.

Da bi zadovoljile svoje potrebe za proteinima, štitaste uši stiletom - posebnim usnim aparatom sišu velike količine biljnoga soka, a višak ugljikohidrata oslobađaju preko zadka u obliku medne rose, medljike. Medna rosa slatka je i ljepljiva izlučevina navedenih uši koje žive na vrbolikom hrastu (Sudarić Bogojević 2016).

Ozbiljne zaraze *P. quercifex* mogu smanjiti rast drveća, posebno u kombinaciji s drugim izvorima stresa poput nedostatka vode (Meineke i Frank 2018).

U provedenim istraživanjima, bilježena je gustoća populacije tijekom cijele godine kako bi se procijenila gustoća u različitim životnim fazama: ovisac u proljeće, stagnacija na lišću ljeti

te na grančicama u jesen. Gustoća svakog životnog stadija bila je 8-12 puta veća na toplom drveću nego što je slučaj bio na hladnom drveću (Meineke i sur. 2013). Gustoća *P. quercifex* je, dakle, veća na urbanim vrboolikim hrastovima nego na istoj vrsti drveća u šumama.



Slika 3. Grana vrboolikog hrasta (*Quercus phellos*) zaražena hrastovim *Parthenolecanium quercifex*



Slika 4 . *Parthenolecanium quercifex*

Izvor slike 3.: Clyde Sorenson, Državno sveučilište Sjeverne Karoline. (Frank i sur. 2020)

Izvor slike 4.: <https://www.ipmimages.org/browse/subthumb.cfm?sub=2378>

Istraživanje je provedeno u gradu Raleighu, Sjeverna Karolina, SAD. Prema podacima NCDC-a klima u spomenutom području je vlažna suptropska s prosječnom zimskom temperaturom od 5,8 °C te prosječnom ljetnom od 25,6 °C. Godišnja količina padalina iznosi 1169 mm.

Za pronalaženje mjesta za proučavanje korištene su termalne karte presvučene kartama lokacije hrasta vrbe. Identificirano je 20 najtoplijih i 20 najhladnijih područja s najmanje dva stabla hrasta vrbe. Sva su mjesta bila smještena na urbaniziranim mjestima kako bi se minimalizirale stanišne razlike u prirodnim neprijateljskim zajednicama i kvaliteti biljaka domaćina.

Početne hipoteze na kojima je bazirano istraživanje bile su:

**Hipoteza 1** - Urbano zagrijavanje povećava brojnost *P. quercifex*

Izračunata je srednja brojnost insekata po grani na svakom drvetu. Zatim su zbrojili te vrijednosti i podijelili ih s brojem stabla na svakom mjestu.

Odabrali su stabla koja su prvotno bila podjednako nastanjena *P. quercifex* kako bi se osiguralo da je dobivena promjena posljedica razlika u porastu broja jedinki, a ne razlike u kolonizaciji između vrućih i hladnih mjesta.

Utvdili su da je prezimljavanje druge generacije bilo 13 puta obilnije na vrućem nego na hladnom drveću (Meineke i sur. 2013).

**Hipoteza 2** - Zagrijavanje gradova povećava brojnost *P. quercifex* jer uzrokuje smanjenje parazitoida

Za ispitivanje utjecaja zagrijavanja na parazitoide i naknadnih učinaka parazitizma na brojnost *P. quercifex*, u istraživanju je obrađena jedna grana s 20 ili više jedinki *P. quercifex*. Uzorci su se prikupljali tijekom pet dana, u različitim stadijima razvoja. (7. ožujka, 22. travnja, 29. travnja, 20. svibnja i 27. svibnja 2011.).

Izračunat je srednji postotak parazitizma na svakom mjestu svakog datuma kako bi se usporedili prosječni postotci parazitizma između toplih i hladnih mjesta.

Da bi se identificirali parazitoidi koji napadaju *P. quercifex* u Raleighu, s odabranih grana, uklonjeni su svi ostali člankonošci i stavljeni u bočice s pamučnim čepom. Uzgajali su se parazitoide od ožujka do kolovoza 2012. u inkubatoru na 23 °C, 50% vlažnosti i svjetlosnom ciklusu 12 sati svjetlo/12 sati mrak. Svaki prisutni parazitoid determiniran je. Uzgojeno je šest parazitoidnih vrsta *P. quercifex* *Coccophagus lycimnia* Walker (Hymenoptera: Aphelinidae), *Pachyneuron altiscutum* Howard (Hymenoptera: Pteromalidae), *Eunotus lividus* Ashmead (Hymenoptera: Pteromalidae), *Encyrtus fuscus* Howard (Hymenoptera: Encyrtidae), *Blastothrix* sp. Mayr (Hymenoptera: Encyrtidae), i *Metaphycus* sp. Mercet (Hymenoptera: Encyrtidae).

Postotak parazitoida nije se razlikovao između *P. quercifex* na toplim i hladnim mjestima. (Meineke i sur. 2013).



**Hipoteza 3.** - Urbano zagrijavanje povećava brojnost *P. quercifex* jer povećava njegovu plodnost

Kako bi se utvrdilo razlikuje li se plodnost *P. quercifex* između kukaca na vrućim i hladnim mjestima, 29. travnja, 2011. prikupila su se 2 oviska s istog drveća. Iz svakog su ispraznili jaja u zasebnu Petrijevu zdjelicu napunjenu s 10 ml 80% etanola. Slikali su svaku Petrijevu zdjelicu koja sadrži jaja fotoaparatom s makroobjektivom. Koristili su ImageJ software za brojanje jaja na svakoj slici i izračun ukupne površine tih jaja. Izračunat je srednji broj jaja za svaki ovisac na svakom mjestu. Zatim je izračunat srednji broj jaja po stablu.

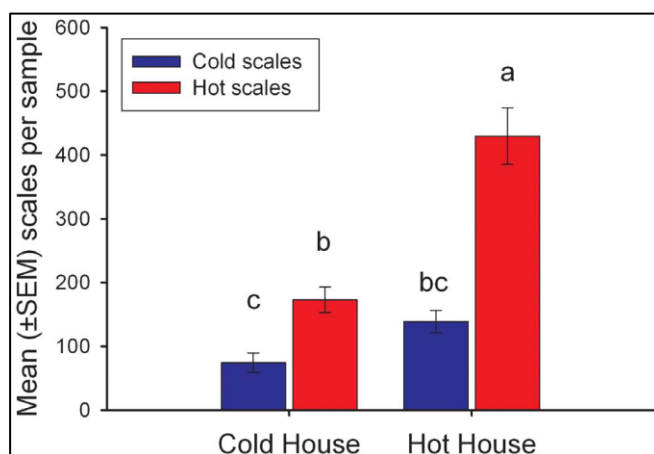
Broj jaja u oviscima s vrućih i hladnih mjesta se nije razlikovao (Meineke i sur. 2013).

**Hipoteza 4** - Odgovor *P. quercifex*-a na zagrijavanje ovisi o njegovom toplinskom podrijetlu

Za ispitivanje kako podrijetlo *P. quercifex* utječe na prilagodbu kukca na promjenu temperature, proveden je uobičajeni vrtni eksperiment s 2 x 2 faktorskim dizajnom, pri čemu su jedinke *P. quercifex* koje potječu s toplih i hladnih staništa premjestili u vruće (36 °C dan – 18:00–6:00 sati / 32 °C noć –6:00–18:00 sati ) i hladne (32 °C dan – 18:00–6:00 sati /28 °C noć – 6:00–18:00 sati) staklenike.

Učinak temperature staklenika na brojnost *P. quercifex* ovisi o podrijetlu kukca, tako da je *P. quercifex* prikupljenog sa drveća, koje je raslo na zagrijanom području, bilo dvostruko više. U hladnom stakleniku *P. quercifex* s vrućih stabala bio je znatno brojniji od *P. quercifex* s hladnog drveća; ipak, bilo ih je upola manje nego u vrućem stakleniku (Slika 5.).

U istraživanju je utvrđeno da gradsko zagrijavanje izravno dovodi do većeg broja jedinki *P. quercifex* (Meineke i sur. 2013).



Slika 5. Prilagodba *P. quercifex* u ovisnosti o njegovom toplinskom podrijetlu, (Meineke i sur. 2013)



Po završetku istraživanja zaključeno je da za dvije najčešće hipoteze, koje objašnjavaju povišenu brojnost štetnika u gradovima promjenom u kvaliteti biljaka domaćina i prirodne neprijateljske učinkovitosti (Raupp i sur. 2010) ne postoje dokazi.

Moguće je da drveće toplog područja troši više energije na crpljenje vode iz tla te je time narušena kvaliteta života biljke. Naime, gradsko je drveće često pod stresom zbog nedostatka vode i hranjive tvari (Wiersum i Harmanny 1983) što ih potencijalno pretvara u nametnicima lakše osvojiva stabla u odnosu na stabla u ruralnim staništima. Takva pretpostavka je međutim neosnovana, budući da je studija obuhvaćala samo mjesta na urbanim staništima. Osim toga, u vrtnom eksperimentu drveće je svakodnevno zalijevano i prehranjivano s jednakom količinom hranjive tvari kako bi se minimizirale bilo kakve posljedice stresa zbog vode ili hranjivih tvari. Sukladno s navedenim, malo je vjerojatno da takve razlike u naprezanju ili kvaliteti stabla objašnjavaju razliku u brojnosti ljuskavaca između toplih i hladnih mjesta.

Umjesto toga, pronađeni su dokazi da se populacije *P. quercifex* mogu lokalno prilagoditi ili se jedinke mogu aklimatizirati na temperaturu gradskih staništa u kojima borave. Vrtni eksperiment pokazuje da je *P. quercifex* bolje lokalno prilagođen urbanim toplinskim uvjetima i da je to izravno dovodi do povećanja brojnosti vrste. Populacija *P. quercifex* iz vrućeg urbanog područja postala je gotovo 4 puta obilnija od one stavljene iz hladnih područja u vruće staklenike. Ovaj je učinak vjerojatniji zbog razlika u preživljavanju, jer nisu pronađene razlike u plodnost između *P. quercifex* s toplih i hladnih mjesta (Meineke i sur. 2013).

Smatra se da se *P. quercifex* može lokalno prilagoditi kao odgovor na zatopljenje u gradovima. Životni ciklus kukaca, koji je često partenogenetski i visoko lokaliziran, inhibira protok gena (Gullan i Kosztarab 1997), a dokazi sugeriraju da bi to moglo dovesti do diferencijacije na malim prostornim jedinicama (Alstad i Corbin 1990). Istraženoj prilagodbi *P. quercifex-a* vjerojatniji je uzrok majčinski učinak (Gibbs i sur. 2010) i fenotipska plastičnost potomstva koja dovodi do aklimatizacije (Hodkinson i Bird 2006), nego genetska razlika između *P. quercifex* koji potječu iz toplijih i hladnijih područja (Rank i Dahlhoff 2022). Iako je za utvrđivanje specifičnog mehanizma kojim zagrijavanje povećava brojnost *P. quercifex* potrebno provesti još istraživanja, dosadašnja otkrića pokazuju da je *P. quercifex* dobro pripremljen za opstanak u slučaju zagrijavanja.

Više od jednog stoljeća znanstvenici bilježe veći broj štetnika člankonožaca, na stablima u urbanim nego u ruralnim područjima (Putnam 1880). Postoje dokazi prema kojima se ovaj učinak može objasniti vrućinom u urbanim regijama te je utvrđeno da male temperaturne razlike predviđaju promjenu magnitude brojnosti kukaca.

Ovaj je učinak promatran na temperaturnom gradijentu uobičajenom za mnoge gradske toplinske otoke (Oke 1973), što ukazuje na to da urbano zagrijavanje predstavlja široku i neposrednu prijetnju za urbano drveće i prednosti koje pružaju, uključujući hlađenje i zbrinjavanje ugljika (Jenerette i sur. 2001). Prilagodba ili aklimacija biljojednih štetnika toplom okruženju može predstavljati ekološku prekretnicu nakon koje štetnici člankonožaca mogu svladati biljnu zaštitu i umaknuti prirodnoj neprijateljskoj kontroli. Nadalje, povećanja temperature sličnog raspona predviđaju se i na globalnoj klimatskoj skali (Solomon i sur. 2007). Ako porast globalnih temperatura potakne odgovor biljojeda sličan onome koji je primijećen u gradu, urbano i ruralno drveće u budućnosti može biti ugroženo.

## 5. SPAVAJUĆE VRSTE

Spavajuće vrste bezazlene su autohtone ili naturalizirane vrste koje pokazuju invazivne karakteristike i kao odgovor na promjene u okolišu postaju štetnici. Očekuje se da će klimatsko zagrijavanje povećati štetu od *Arthropoda* u šumama, pretvaranjem neškodljivih biljojeda u ozbiljne štetočine. Takav slijed događaja obuhvaćen je pojmom „buđenje usnulih vrsta“.

Već su neke vrste izvornih biljojednih kukaca postale invazivni šumo - štetnici. Na primjer, planinska borova buba, *Dendroctonus ponderosae*, (Slika 6.) koja je povremeno izazivala enormne štete, zagrijavanjem je transformirana u konstantno invazivnog štetnika s povećanom sposobnosti toleriranja temperaturnih varijacija, voltinizma i varijacija u zemljopisnoj širini i visini te nadmorskoj visini (Cudmore i sur. 2010).



Slika 6. *Dendroctonus ponderosae*.

A - Odrasla jedinka B- odrasla jedinka i larva

Izvor: Images by Dion Manastyrski, copyright British Columbia Ministry of Natural Resource Operations.  
<https://www.researchgate.net/profile/James-Haggart/publication/237169483/figure/fig4/AS:668623307829248@1536423627026/Dendroctonus-ponderosae-the-mountain-pine-beetle-A-Adult-stage-beetle-12-B.png>

Na novonaseljenim planinskim područjima, *D. ponderosae* su se susrele s borovim zlasticama te su ih, budući da su zlatice već bile pod stresom uzrokovanim klimatskim promjenama, netremice istrijebile s domaćinskih stabala (Rosenberger i sur. 2017).

Južna borova buba, *Dendroctonus frontalis*, (Slike 7. i 8.) porijeklom s juga SAD-a, i borov četnjak, *Thaumetopoea pityocampa*, (Slike 9. - 12.) porijeklom iz Sredozemlja, također su se proširili (slika 8) i postali štetni jer su im tople zime dozvoljavale preživljavanje na višim geografskim širinama (Lesk i sur. 2017).



Slika 7. *Dendroctonus frontalis*



Slika 8. Invazija vrste *D. frontalis* u šumi

Izvor slike 7: <https://bugguide.net/images/cache/RSB/OJ0/RSBQJ0VQ108K6K7KOKGKCK5KCK4K304KVKZK9K5QV0GQT01QBK7K30WQV0KKPKQKEKEQPKKKEKZKA0EQ10QKTKAQY08K.jpg>

Izvor slike 8: <https://jgi.doe.gov/why-sequence-dendroctonus-frontalis/>



Slika 9.



Slika 10.





Slika 11.



Slika 12.

Slike 9, 10, 11 i 12 Stadiji razvoja *Thaumetopoea pityocampa*,

Izvor slike 9. [https://www.forestresearch.gov.uk/media/images/PPM\\_-\\_pupae.width-800.jpg](https://www.forestresearch.gov.uk/media/images/PPM_-_pupae.width-800.jpg)

Izvor slike 10. [https://www.forestresearch.gov.uk/media/images/PPM\\_cluster.width-800.jpg](https://www.forestresearch.gov.uk/media/images/PPM_cluster.width-800.jpg)

Izvor slike 11. <https://www.monaconatureencyclopedia.com/wp-content/uploads/201/04/1-MASCHIO-Philippe-Mothiron.jpg>

Izvor slike 12. <https://www.monaconatureencyclopedia.com/thaumetopoea-pityocampa/?lang=en>

Porast temperature od 2,5 °C može dovesti do povećanje populacije *Melanaspis tenebricosa* (Slike 13. i 14.) za čak 300 puta na gradskom crvenom javoru. Povećana gustoća rezultat je izravnog učinaka više temperatura na preživljavanje i plodnost, ali *M. tenebricosa* također ima koristi od stresa prouzročenog sušom na urbanom drvećem. Ti se učinci kombiniraju kako bi se povećala gustoća *M. tenebricosa* u šumama te na gradskim stablima na geografskim širinama višim od njegovog izvornog staništa. Gradovi pružaju jedinstvenu priliku za proučavanje složenih učinaka zagrijavanja na insekte biljojede. Proučavanje spavajućih vrsta moglo bi ponuditi pragmatičan odgovor na izazove koji će uslijediti uslijed globalnog zagrijavanja (Frank i Just 2020).



Slika 13.



Slika 14.

Slike 13. i 14. *Melanaspis tenebricosa*

Izvor slike 13. <https://i2.wp.com/entomologytoday.org/wpcontent/uploads/2021/01/gloomy-scale-melanaspis-tenebricosa.jpg?resize=630%2C380&ssl=1>

Izvor slike 14. <https://i2.wp.com/entomologytoday.org/wp-content/uploads/2014/07/gloomy-scale-insect.jpg?resize=410%2C286&ssl=1>

Efekti urbanog zagrijavanja posebno su dobro proučeni za gradske štetnike drveća – *M. tenebricosa* i *Parthenolecanium quercifex* (Tablica 1.). Te vrste razvijaju invazivne osobine, razmnožavaju se i postaju kronični urbani štetnici stabala zbog efekta urbanih toplinskih otoka (Meineke i sur. 2014).

Osobine invazivnih vrsta su:

- fiziološke prilagodbe na uvjete u novom okolišu
- veoma brzo uspostavljanje stabilne populacije
- kratak generativni period
- velik broj potomaka
- velika gustoća i pokrovnost
- neograničeno rasprostranjivanje
- mijenjanje uvjeta na novom staništu
- uništenje ili smanjenje populacija autohtone vrste (oduzimanje hrane i staništa, prijenos bolesti)
- izlučivanje tvari koje negativno utječu na rast i razvoj drugih biljaka

Invazivne vrste ne predstavljaju opasnost samo za prirodu i okoliš već se njihova invazivnost ogleda i u nepovoljnom utjecaju na društvo i ekonomiju. Implementacija invazivnih vrsta na nova staništa dovodi do smanjenja te posljedično i do gubitka plodnog zemljišta, smanjenja prinosa. Invazivne vrste oštećuju infrastrukturu i štetno djeluju na zdravlje ljudi i životinja.

Urbani centri, zbog efekta urbanih toplinskih otoka imaju povišenu temperaturu u odnosu na suburbana i ruralna područja. Kao takvi odražavaju uvjete, za koje se smatra da će kroz izvjesno vrijeme uslijed globalnog zagrijavanja, biti uvjeti većine staništa. Zbog navedenog gradovi nude svojevrsnu mogućnost uvida u buduća zbivanja. Smatra se da su vrste člankonožaca koje postaju štetnici urbanih stabala one koje imaju najveću korist od zagrijavanja. Oni će potencijalno razvit najbolje prilagodbe, postati tzv. „probuđeni spavači“ te zavladatai ekosustavom.

**Tablica 1.** Sažetak učinaka gradskog zagrijavanja na razmjere invazivnosti *Melanaspis tenebricosa* i *Parthenolecanium quercifex* (preuzeto i prilagođeno na temelju Frank i Just 2020)

Invazivna osobina	<i>Melanaspis tenebricosa</i>	<i>Parthenolecanium quercifex</i>
Povećana stopa razmnožavanja	- veća proizvodnja zametaka na toplijem drveću	-veća gustoća ovisaca na toplijem drveću
Povećana gustoća	- učestalost je 200 puta veća na gradskom području na kojem je drveće toplije za 2,5 °C - pet puta obilnije na gradskom drveću nego šumskom - veće nakupljanje	- učestalost 8–12 puta veća na gradskom području na kojem je drveće toplije za 2,5 °C - sedam puta obilnije na gradskom drveću nego na šumskom drveću
Genetska adaptacija / fenotipska promjena	- učestalost je 30% veća u toplijim urbanim područjima - veće preživljavanje	- preživljavanje za 20% veće na višim temperaturama - tri puta veća gustoća
Prirodni neprijatelji	- nema povećanja gustoće populacije prirodnog neprijatelja ili gustoće parazitoida s urbanim zagrijavanjem	- fenološka neusklađenost brojnosti P. quercifex i parazitoida na toplim gradskim stablima

## 6. URBANA PODRUČJA KAO ŽARIŠTA PČELA I OPRAŠIVAČA

Gradska područja obilježena su smanjenom raznolikošću insekata, posebno dvokrilca (*Diptera*) i leptira (*Lepidoptera*), što nije slučaj u ruralnim područjima. Suprotno tome, red Opnokrilci *Hymenoptera*, posebice pčele *Anthophila*, u gradskim je sredinama zastupljen s većim bogatstvom vrsta i s većom učinkovitošću u vidu oprašivanja cvjetnica.

Oprašivanje je ključna usluga ekosustava. Procijenjeno je da 87,5% vrsta kritosjemenjača ovisi o životinjskim oprašivačima i rasprostranjivačima sjemena (Ollerton i sur. 2011). Zabrinjavajuće je stoga što, urbanizacija, definirana kao antropogena promjena namjene zemljišta, dovodi do smanjenja biološke raznolikosti oprašivača (Vanbergen 2013) i njihove uloge u ekosustavima (Foley 2005), te je time direktna prijetnja globalnoj biološkoj raznolikosti (Seto i sur. 2012). U ruralnim područjima Europe, upotreba poljoprivrednog zemljišta dovela je do smanjenja broja insekata i bioraznolikosti te uzrokovala smanjen rast i reproduksijski uspjeh oprašivača zemnog bumbara *Bombus terrestris* (Samuelson i sur. 2018), a samim je time smanjen i udio prirodno oprašenih biljaka (Theodorou i sur. 2017).

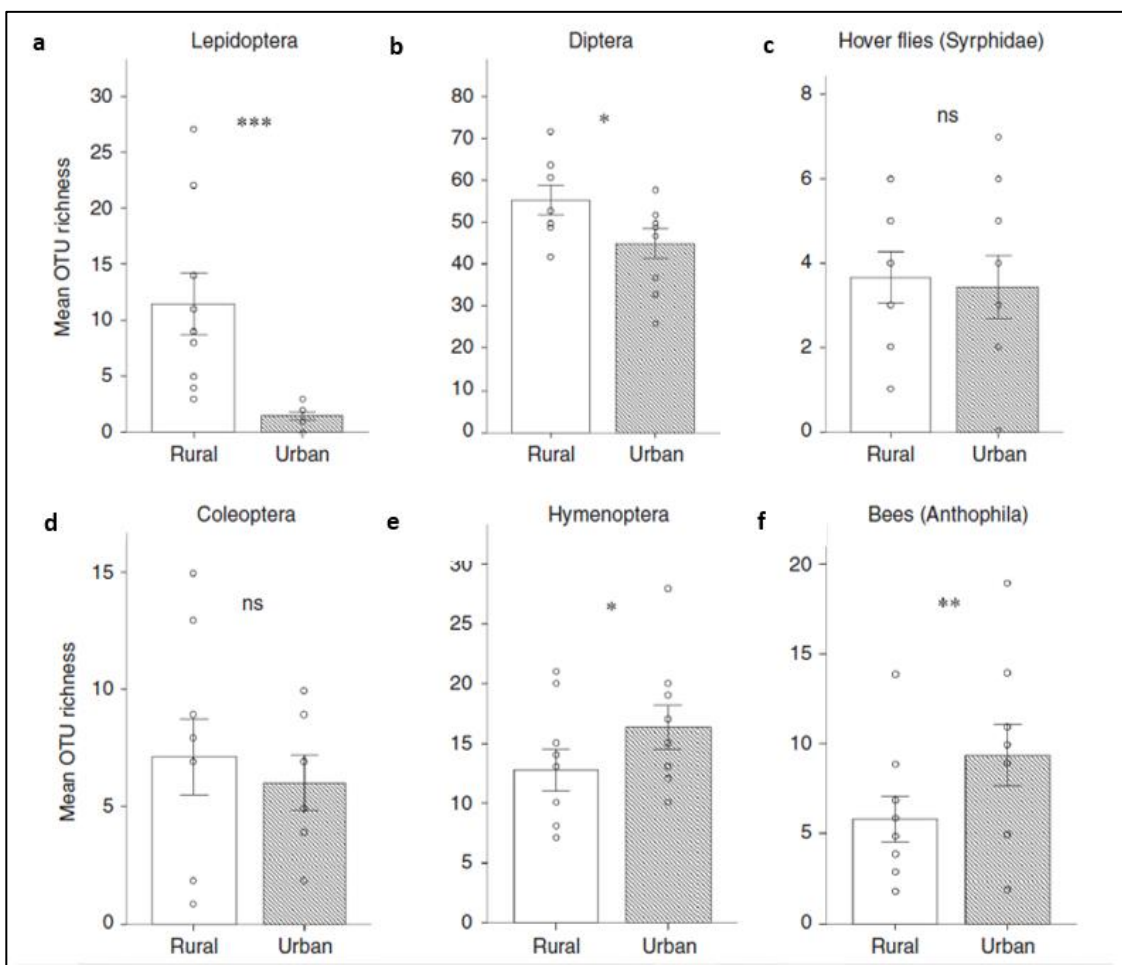
Nadalje, vrsta *Bombus sylvicola* doživjela je određene fenotipske promjene uslijed naglih promjena u uvjetima na staništu. Naime, *B. sylvicola* je specijaliziran za oprašivanje cvijeće centralnog gorja Stjenjak (*Rocky Mountains*). Cvijet ima specifične duboke cjevčice zbog čega su ovi bumbari tijekom tisuća godina razvijali duge jezike. Budući da je populacije ove vrste cvijeća u opadanju uslijed povišenja temperature i smanjenja oborinama primijećeno je kako se bumbarima jezici skraćuju. Još od 1970.-ih, jezici ovih vrsta su se skratili za gotovo 25% (Miller-Struttman 2015).

Međutim, studija Theodorou i sur. (2020) pokazala je da spomenute negativne posljedice nisu karakteristične za sve vrste oprašivača. Rezultati otkrivaju da njemački gradovi, u odnosu na ruralna područja, imaju manje vrsta insekata (smanjena bioraznolikost) posebno za *Diptera* i *Lepidoptera*.

Nasuprot tome, urbana područja imaju neutralne ili pak pozitivne učinke na biološku raznolikost pojedinih skupina insekata u prvom redu vrste divljih pčela (Theodorou i sur. 2017). Utvrđeno je veće bogatstvo vrsta *Hymenoptera* i stope oprašenog cvijeća od strane pčela u urbanim područjima – botaničkim i stambenim vrtovima, parkovima te sličnim urbanim parcelama. Veću raznolikost pčela u gradovima, u usporedbi s ruralnim mjestima, omogućuju različiti resursi za gniježđenje primjerice izloženo tlo za fosorijalne pčele, mrtvo drvo za zidane pčele, a osobito šupljine u zidovima zgrada. Gradsko okruženje često je vrlo dinamično, a pčele

sa svojim sofisticiranim neurosenzornim sposobnostima, koje uključuje i dobro razvijeno učenje i pamćenje, mogu biti bolje prilagođeni gradskom životu nego *Coleoptera*, *Diptera* i *Lepidoptera*.

S druge strane, smanjenje brojnosti pčela u ruralnim područjima potencijalno je uzrokovano znatnijom osjetljivošću pčela na ruralno okruženje u kojem dominira poljoprivredno zemljište. Veća osjetljivost *Hymenoptera* nego *Coleoptera*, *Diptera* i *Lepidoptera* na poljoprivredne pesticide, potencijalno dovodi do veće relativne raznolikosti i obilja *Hymenoptera* u urbanoj sredini (Slika 15.).



Slika 15. Grafikoni bioraznolikosti urbanih i ruralnih područja za redove:

a – Leptiri, Lepidoptera; b – Dvokrilci, Diptera; c – Pršilice, Hoverflies; d – Kornjaši, Coleoptera; e – Opnokrilci, Hymenoptera; f – Pčele (Anthophila iz reda Hymenoptera) Izvor: Theodorou i sur. 2020



Istraživanje provedeno u svrhu uviđanja razlika u oprašivanju među gradskim i ruralnim cvjetnicama pokazalo je da je stopa oprašivanja veća u urbanim nego u ruralnim mjestima. Ova razlika u stopi oprašivanja tumači se većom prisutnošću bumbara *Bombus spp.* u urbanim staništima te povećanom bioraznolikošću *Hymenoptera*. Njihova veća prisutnost u gradovima, vidljiva u povećanoj biomasi te taksonomskoj raznolikosti, prouzrokovana je povećanjem rubnog efekta, dok je populacija bumbara u ruralnim sredinama smanjena zbog antropogenih poljoprivrednih djelatnosti. U neskladu s tim, *Lepidoptera* i *Diptera* su manje zastupljene u gradovima. Podaci, dobiveni u istraživanju, upućuju na to da bi *Hymenoptera* mogle biti otpornije na urbanizaciju u usporedbi s tri glavna reda letećih insekata - *Diptera*, *Lepidoptera* i *Coleoptera*.

Rezultati također ukazuju na to da će ekotoni (rubna područja), bogati cvijećem i resursima za gniježđenje postati vrijedna staništa različitih oprašivača (Theodorou i sur. 2020).

## 7. ZAKLJUČAK

Toplinski otoci nastaju kada se zelene površine zamijene cestama i zgradama koje su građene od materijala čija se svojstva razlikuju od okoliša, najčešće asfalt i beton. Takvi građevni materijali imaju veću moć apsorpcije od refleksije sunčevog zračenja, zbog čega se ono zadržava i zagrijava površinu i okolni zrak.

Efekti vezani uz razvoj urbanih toplinskih otoka predstavljaju jedan od najznačajnijih ekoloških problema u gradovima jer su povezani s višestrukim negativnim posljedicama, kao što je prekomjerno zagrijavanje podloge, nepovoljni klimatski uvjeti kojima su izloženi građani, povećan zdravstveni rizik zbog visokih temperatura, povećane potrebe za vodom te povećana potrošnja energije.

Urbani toplinski otoci također mogu pogoršati utjecaj toplinskih valova. S obzirom na to da gradska populacija intenzivno raste, javljaju se značajne posljedice koje treba uzeti u obzir. Gradovi postaju sve veći, čime se pojačava njihov utjecaj na urbanu klimu.

Visoke urbane temperature imaju najizraženije učinke na ektoterme, jer temperatura njihovog staništa uvjetuje njihov razvoj. Insekti su od posebnog interesa zbog svoje ekološke i ekonomske važnosti kao oprašivača, prenositelja bolesti i biljnih nametnika. Očekuje se da će klimatsko zagrijavanje djelomično povećati štetu od *Arthropoda* u šumama, pretvaranjem neškodljivih vrsta u invazivne.

Povećanje topline u gradovima rezultiralo je porastom broja biljojednog štetnika *P. quercifex-a* u urbanim područjima. Utvrđeno je da je prezimljavanje druge generacije bilo 13 puta obilnije na vrućem nego na hladnom drveću. *P. quercifex* se može lokalno aklimatizirati na temperaturu gradskih staništa u kojima borave. Utvrđeno je i veće bogatstvo vrsta *Hymenoptera* i stope oprašenog cvijeća od strane pčela u urbanim područjima. U neskladu s tim, *Lepidoptera* i *Diptera* su manje zastupljene u gradovima.

Budući da je širenje gradova u nepokolebljivom zamahu, nužno je pri tom procesu paziti na očuvanje bioraznolikosti i dobrobit cjelokupnog ekosustava. Takav proces, nesumnjivo dovodi do promjena te za sobom vuče niz pozitivnih i negativnih posljedica. Svjesni činjenice da urbanizacija neće prestati, nužno je integrirati određene kukce, poput *Hymenoptera* u funkcioniranje grada i tako urbane centre pretvoriti u žarišna mjesta za oprašivače. Time bi se osigurao opstanak oprašivanja kao vitalne funkcije ekosustava.

## 8. LITERATURA

1. Alstad, D., Corbin, K. (1990): Scale insect allozyme differentiation within and between host trees. *Evol. Ecol.* 4: 43–56.
2. Aniello, C., Morgan, K., Busbey A., Newland L. (1995): Mapping micro-urban heat islands using LANDSAT TM and a GIS, *Computers & Geosciences*, 21, 8, 965-967, 969.
3. Aukema, J.E., Leung, B., Kovacs, K., Chivers, C., Britton, K.O. et al. (2011): Economic impacts of non-native forest insects in the continental united states. *Plos One* 6: e24587.
4. Briere, J., Pracros, P., Le Roux, A., Pierre, J. (1999): A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. *Environ. Entomol.* 28: 22–29.
5. Cregg, B.M., Dix, M.E. (2001): Tree moisture stress and insect damage in urban trees in relation to heat island effects. *J. arboric.* 27: 8–17.
6. Cudmore, T.J., Björklund, N., Carroll, A.L., Staffan Lindgren, B. (2010): Climate change and range expansion of an aggressive bark beetle: Evidence of higher beetle reproduction in naïve host tree populations. *J. Appl. Ecol.* 47: 1036–1043.
7. Suggested Citation: U.S. Environmental Protection Agency. 2012. "Cool Pavements." In: *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Draft. 37 str
8. Foley, J. A. et al. (2005): Global consequences of land use. *Sci.* 309: 570–574 .
9. Frank, S.D., Just, M.G. (2020): Can Cities Activate Sleeper Species and Predict Future Forest Pests? A Case Study of Scale Insects, Just Department of Entomology and Plant Pathology, Campus Box 7613, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695, USA.
10. Gibbs, M., Van Dyck, H., Karlsson, B. (2010): Reproductive plasticity, ovarian dynamics and maternal effects in response to temperature and flight in pararge aegeria. *J. Insect Physiol.* 56: 1275–1283.
11. Grdenić, G. (2014): Obnovljivi izvori energije i druge energetske tehnologije kao mjera za smanjivanje utjecaja gradskih toplinskih otoka, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:925484>
12. Gullan, P.J., Kosztarab, M. (1997): Adaptations in scale insects. *Annu. Rev. Entomol.* 42: 23-50.
13. Hallmann, C. A. et al. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12, e0185809

14. Hanks, L., Denno, R. (1993): Natural enemies and plant water relations influence the distribution of an armored scale insect. *Ecology* 74: 1081–1091.
15. Hodkinson, I.D., Bird, J.M. (2006): Flexible responses of insects to changing environmental temperature – early season development of craspedolepta species on fireweed. *Glob Chang Biol.* 12: 1308–1314.
16. Jenerette, G.D., Harlan, S.L., Stefanov, W.L., Martin, CA. (2011): Ecosystem services and urban heat riskscape moderation: Water, green spaces, and social inequality in phoenix, USA. *Ecol Appl* 21: 2637–2651.
17. Johnson, W., Lyon, H. (1976): *Insects That Feed on Trees and Shrubs*; Cornell University Press: London, UK, ISBN 19760346329.
18. Lesk, C., Coffel, E., D’Amato, A.W., Dodds, K., Horton, R. (2017): Threats to North American forests from southern pine beetle with warming winters. *Nat. Clim. Chang.* 7: 713–717.
19. Losey, J., Vaughan, M. (2006): The economic value of ecological services provided by insects. *J. Biosci.* 56: 311–323.
20. Lounibos, L. (2002): Invasions by insect vectors of human disease. *Annu. Rev. Entomol.* 47: 233–266.
21. Meineke, E.K., Frank, S.D. (2018): Water availability drives urban tree growth responses to herbivory and warming. *J. Appl. Ecol.* 55: 1701–1713.
22. Meineke, E.K., Dunn, R.R., Frank, S.D. (2014): Early pest development and loss of biological control are associated with urban warming. *Biol. Lett.* 10: 10–13.
23. Meineke, E.K., Dunn, R.R., Sexton, J.O., Frank, S.D. (2013): Urban Warming Drives Insect Pest Abundance on Street Trees, Nort Carolina State University
24. Meineke, E.K., Dunn, R.R., Sexton, J.O., Frank, S.D. (2013): Urban warming drives insect pest abundance on street trees. *PLoS ONE*, 8: e59687.
25. Miller-Struttman, N.E., J.C. Geib, J.D. Franklin, P.G. Kevan, R.M. Holdo, D. Ebert-May, A.M. Lynn, J.A. Kettenbach, E. Hedrick, and C. Galen (2015) Functional mismatch in a bumble bee pollination mutualism under climate change. *Sci.* 349: 1541-1544.
26. Nowak, J. D., Greenfield, J. E. ( 2018): Declining urban and community tree cover in the United States, *URBAN FOR URBAN GREE* 32: 32-55.
27. Oke, T. (1973): City size and urban heat island. *Atmos. Environ.* 7: 769–779.
28. Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S. (2011): How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120: 321–326.

29. Powney, G. D. et al. (2019): Widespread losses of pollinating insects in Britain. *Nat. Commun.* 10: 1018.
30. Putnam, J.D., (1880): Biological and other notes on coccidae. *Proc. Acad. Nat. Sci. Phila.* 2: 293.
31. Rank, N., Dahloff, E. (2002): Allele frequency shifts in response to climate change and physiological consequences of allozyme variation in a montane insect. *Evol.* 56: 2278–2289.
32. Raupp, M.J., Shrewsbury, P.M., Herms, D.A. (2010): Ecology of herbivorous arthropods in urban landscapes. *Annu. Rev. Entomol.* 55: 19–38.
33. Rosenberger, D.W., Venette, R.C., Maddox, M.P., Aukema, B.H. (2017): Colonization behaviors of mountain pine beetle on novel hosts: Implications for range expansion into northeastern North America. *PLoS ONE* 12: e0176269.
34. Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B. L., Kurn, M. D., Sailor, D., Taha, H. (1995): Mitigation of Urban Heat Islands: Materials, Utility Programs, Updates, 22: *Energy build.* 3: 255-265.
35. Samuelson, A. E., Gill, R. J., Brown, M. J. F., Leadbeater, E. (2018): Lower bumblebee colony reproductive success in agricultural compared with urban environments. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 285: 20180807.
36. Seibold, S. et al. (2019): Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature* 574: 671–674.
37. Seto, K. C., Guneralp, B., Hutyra, L. R. (2012); Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 109: 16083–16088.
38. Smith, A. J., Abele, L. E., Heitzman, D. L., Duffy, B. (2008). Streams tributary to Onondaga Lake biological assessment. Albany, New York: New York State Department of Environmental Conservation 71 str.
39. Solomon, S, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (2007): *Climate Change 2007*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 434-497 str.
40. Sudarić Bogojević, M. (2016): Biologija lisnih i štitastih uši. Polazna osnova poznavanja proizvodnje meduna. Zbornik sažetaka Šeste nacionalne konferencije o sigurnosti i kakvoći pčelinjih proizvoda - novi horizonti Rijeka: Medicinski fakultet Sveučilište u Rijeci, str. 28-29.
41. Šegota, T., (1986): Srednja temperatura u Zagrebu, *HGG* 48: 1, 13-24.

42. Theodorou, P. et al. (2017): The structure of flower visitor networks in relation to pollination across an agricultural to urban gradient. *Funct. Ecol.* 31: 838–847.
43. Theodorou, P., Radzevičiūtė, R., Lentendu, G., Kahnt, B., Husemann, M., Bleidorn, C., Settele, J., Schweiger, O., Grosse, I., Wubet T., Murray, T.E., Paxton, R.J. (2020): Urban areas as hotspots for bees and pollination but not a panacea for all insects. *Nat. Commun.* 11: 576.
44. Vanbergen, A. (2013): The Insect Pollinators Initiative. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Front. Ecol. Environ.* 11: 251–259.
45. Wiersum, L., Harmanny, K. (1983): Changes in the water-permeability of roots of some trees during drought stress and recovery, as related to problems of growth in urban-environment. *Plant Soil* 75: 443–448.
46. Wilson, E. O. (1992): *The Diversity of Life*. (Harvard University Press,).
47. Žgela, M. (2018): Urbana klimatologija - primjer toplinskog otoka grada Zagreba, *Geografski horizont* 64: 2, 31-40.

## ŽIVOTOPIS

Rođena sam 28. srpnja 1999. godine u Sinju. Pohađala sam Franjevačku klasičnu gimnaziju u Sinju s pravom javnosti – jezični smjer. Maturirala sam 2018. godine. Akademske godine 2018./2019. upisala sam preddiplomski studij Znanosti o okolišu na Prirodoslovno – matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.