

# Evolucija populacija životinja u urbanim sredinama

---

**Pahor, Ela**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*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:217:738531>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-17**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Biološki odsjek

Ela Pahor

**Evolucija populacija životinja u urbanim  
sredinama**

**Evolution of animal populations in urban  
environments**

Završni rad

Zagreb, 2021.

Ovaj rad je izrađen na Zoologijskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod voditeljstvom izv. prof. dr. sc. Anamarije Štambuk

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. UTJECAJ URBANIZACIJE NA OKOLIŠ I MEHANIZME EVOLUCIJE .....	2
2.1. Utjecaj urbanizacije na okoliš.....	2
2.2. Utjecaj urbanizacije na genski drift.....	4
2.3. Utjecaj urbanizacije na protok gena.....	6
2.4. Utjecaj urbanizacije na mutacije i prirodni odabir.....	8
3. ZAKLJUČAK.....	11
4. LITERATURA.....	13
5. SAŽETAK.....	17
6. SUMMARY.....	17
7. ŽIVOTOPIS.....	19

## 1) UVOD

Ovaj je rad zamišljen kao uvod u temu utjecaja urbanizacije na evoluciju populacija životinja koje žive u gradovima i ostalim staništima s visokom prisutnošću ljudi. U ovom radu utjecaj na evoluciju promatran je i kod elemenata infrastrukture koji prate gradove, a ne pružaju nužno ljudima dom, na primjer ceste ili brane. Urbane sredine na koje se rad uglavnom osvrće su gradovi. Opisani su mehanizmi adaptivne (prirodni odabir) i nadaptivne evolucije (protok gena i genski drift) te kako djeluju na promjenu frekvencije alela između generacija populacija životinja raznih vrsta, kako se određuje jačina njihova utjecaja na populaciju te kako urbanizacija pokreće ili utječe na te mehanizme.

Urbanizacija ima veliki utjecaj na okoliš koji zahvaća. Taj utjecaj uključuje povećanu emisiju ugljikova dioksida, zvučno i svjetlosno zagađenje, fragmentaciju staništa (Hung, Ascher i Holway, 2017), uvođenje alohtonih vrsta koje mogu postati invazivne, poput ribe *Poecilia reticulata* Peters, 1859 (Marques i sur., 2020) i slično. Urbanizacija djeluje na mehanizme adaptivne i neadaptivne evolucije (Johnson i Munshi-South, 2017).

U brojnim je istraživanjima otkriveno da fragmentacija staništa utječe na protok gena i migraciju životinja. Na primjer, Buskirk (2012) istražio je kako razne površine između pojedinih mjesta za parenje djeluju na migraciju kod jedne vrste žabe i jedne vrste vodenjaka. Zaključio je da su otvorena polja i urbani prostori, kao i razni tipovi cesta, donekle otežavali migraciju, ali protok gena nije bio znatno smanjen u usporedbi sa šumom. U nekim slučajevima urbanizacija olakšava migraciju vrsta. Na primjer, kod vrsta koje su nametnici na čovjeku (Multini i sur., 2016). Smanjenje populacija i naročito izolacija u brojnim je slučajevima povećala učinak genskog drifta u nekoj populaciji (Benjamin i sur., 2016).

Harris (2017) je proučavao vrstu miševa *Peromyscus leucopus* (Rafinesque, 1818) čije su populacije nastanjivale razne parkove New York-a i uspoređivao njihove gene s genima populacija iste vrste iz ruralnih područja. Otkrio je niz mutacija koje su bile visokofrekventne u populacijama miševa iz uzorkovanih parkova, a izostajale su kod miševa iz ruralnih područja. Iako je potrebno više proučavanja da bi se zaključilo da su ove mutacije adaptacije na urbane uvjete kojima se frekvencija povećala utjecajem prirodne selekcije, pretpostavlja se da je to slučaj. Ipak, ove mutacije omogućuju miševima razne fiziološke funkcije korisne za život u

gradu, kao prepoznavanje patogena i pokretanje imunološkog odgovora protiv njih, ili detoksikaciju od raznih otrovnih spojeva.

## **2) UTJECAJ URBANIZACIJE NA OKOLIŠ I MEHANIZME EVOLUCIJE**

### **2.1) Utjecaj urbanizacije na okoliš**

Da urbanizacija utječe na okoliš može se zaključiti i u običnoj šetnji gradom. Na primjer, jasno je da izgradnjom cesta i gradskih ulica čovjek mijenja površinu nekog staništa, a podizanjem raznih objekata njegov sveukupni izgled (Grimm i sur., 2008). Istraživanja se vrše da bi se utvrdio intenzitet vidljivih promjena i njihovog utjecaja ili da bi se otkrile posljedice urbanizacije koji nisu lako uočljive (na primjer, u dijelovima grada Palmasa u Brazilu koji su se znatnije promijenili tijekom urbanizacije tog područja, u jednom je istraživanju utvrđeno manje bogatstvo vrsta ptica nego u dijelovima koji su bili manje zahvaćeni antropološkim utjecajem (Reis, Lopez-Iborra i Pinheiro, 2012)).

Jedna od posljedica koju svakodnevno zanemarujemo jer se ne zamjećuje neposredno je mnogo veća emisija stakleničkih plinova u gradovima nego u ruralnim područjima. Djelatnosti poput prometa, industrije, izgradnje, proizvodnje topline i struje, uz neke dodatne izvore stakleničkih plinova, su u 2018. godini činile 76% svjetske emisije stakleničkih plinova (World Resources Institute, 2021). Kako su ove gospodarske djelatnosti centrirane u gradovima, možemo reći da su oni glavni izvor emisije stakleničkih plinova. Ta centralizacija dovodi do masovnog naseljavanja urbanih područja. Prema procjenama Tajništva UN-a, 55.3 % ljudske populacije 2018. godine živjelo je u gradovima (Ujedinjeni narodi, 2018). Veliki broj ljudi izaziva povećani intenzitet obavljanja ovih aktivnosti. Centralizacijom i masovnim naseljavanjem gradova stvara se zatvoreni krug rasta urbanih centara i potrošnje koji rezultira sve većim utjecajem urbanizacije na okoliš. Tajništvo UN-a 2018. godine procijenilo je da će do 2050. godine oko 68% posto ljudi živjeti u urbanim sredinama, a za samo se nekoliko država predviđa da će do tada postotak stanovništva u ruralnim sredinama biti veći od onog u urbanim sredinama. Neke od njih su Niger, Čad, Kenija, Etiopija, Afganistan, Nepal, Kambodža, Gvajana, Papua Nova Gvineja i tako dalje (Ujedinjeni narodi, 2018). S povećanjem broja i veličine gradova, rast će i njihov utjecaj na okoliš.

Osim emisije CO<sub>2</sub> i mijenjanja površine Zemlje, urbanizacija utječe i na povišenje temperature u područjima koja zahvaća. Istraživanjem iz 2010. godine otkriveno je da je godišnji prosjek temperature za koju su urbana područja toplija od ruralnih 2.9 °C (Imhoff i sur., 2010).

Urbanizacija dovodi do svjetlosnog zagađenja. Svjetlosno zagađenje je promjena intenziteta osvijetljenja okoliša kao posljedica korištenja umjetnih izvora svjetla (Cinzano i sur., 2000). Izvori umjetnog osvijetljenja su ulično osvijetljenje, osvijetljenje u stanovima i stambenim zgradama, poslovnim prostorima, na stadionima, u tvornicama, svjetlosne reklame i slično (International Dark-Sky Association, 2021). Kako se ti izvori u najvećem broju nalaze u gradovima, može se zaključiti da su gradovi glavni čimbenici svjetlosnog zagađenja. Veliki postotak osvijetljenja u gradovima je nepotrebno, netočno usmjereno ili nedovoljno ograničeno i prejako (International Dark-Sky Association, 2021). Prema istraživanju rađenom 2016. godine, više od 80% svjetske populacije živi pod svjetlosnim zagađenjem, a čak 99% građana u Europi i SAD-u živi pod noćnim nebom na kojem je prisutno neprirodno osvijetljenje (Falchi i sur., 2016)

Prema izvještaju Europske okolišne agencije iz 2020. godine, zvuk koji izaziva zvučno zagađenje definiran je kao bilo koji neželjeni ili štetni zvuk na otvorenom prostoru proizveden ljudskom aktivnošću, pogotovo u prometu ili industriji (European Environment Agency, 2019). Gradovi su mjesta u kojima se centraliziraju aktivnosti koje su izvori takvog zvuka. Zvučno zagađenje važna je i česta tema istraživanja jer mijenja zvučnu komponentu zahvaćenog staništa. Tako je pojavljivanje zvuka jakog intenziteta češće nego u normalnim uvjetima, a pozadinski zvuk postaje glasniji i homogeniziraniji (Shannon i sur., 2015). Proučavanjem brojnih radova objavljenih na temu zvučnog zagađenja, znanstvenici su došli do zaključka da kopnene životinje reagiraju na zvuk veći od 40 dB (Shannon i sur., 2015). Kao što sam prethodno spomenula, urbanizaciju nekog područja prati povećanje transportne i industrijske djelatnost, kao i pristizanje sve većeg broja ljudi na područje koje zahvaća. Tako nastaju sve brojniji izvori štetnog zvuka.

Zagađenje zvukom često se pojavljuje uz druga promjene u staništu (Shannon i sur., 2015). Tako je na primjer izgradnja parkirališta ili zgrade popraćena, osim novonastalim izvorom buke, promjenom struktura površine staništa, fragmentacijom životnog prostora određenih organizama, uklanjanjem vegetacije i sličnim. Iz tog se razloga postavlja pitanje

može li okolišni zvuk sam utjecati na promjene u ekosustavu. U šumama Novog Meksika u SAD-u promatrala su se gnijezda ptica gnjezdarica na staništima na kojima je zvuk proizveden ekstrakcijom i transportom plina bio prisutan i na staništima na kojima nije. Sve su ostale varijable na tim mjestima bile jednake. Primjećeno je da su zvukovi koji su nastali ekstrakcijom i transportom prirodnog plina na područjima do kojih su dopirali smanjili brojnost vrsta nekih ptica gnjezdarica što je dokazalo da sam zvuk svakako može utjecati na ekosustav. U istom je istraživanju otkriveno da zvučno zagađenje, zbog kojeg neke vrste ptica napuštaju svoja staništa, može imati i pozitivan učinak na brojnost jedinki drugih vrsta koje su tolerantne na novonastali zvuk. Naime, neke od ptica koje su napustile staništa bile su predatori ptica koje su ostale i zato imale uspješniju sezonu parenja (Francis, Ortega i Cruz, 2009).

## **2.2) Učinak urbanizacije na genski drift**

Prema pregledu radova na temu evolucije u urbanim sredinama, jedan od najistraženijih mehanizama koji ju pokreću je genski drift (Johnson i Munshi – South, 2017). U velikim panmiksičnim populacijama, koje izmjenjuju gene s drugim populacijama, utjecaj genskog drifta u pravilu je mnogo manji. U manjim populacijama povećava se vjerojatnost da će genski drift znatno promijeniti frekvenciju alela (Allendorf i Luikart, 2007). Isto vrijedi i za izolirane populacije, u kojima je protok gena prekinut pa se frekvencija nekog alela smanjena genskim driftom ne može se povećati njegovim unosom iz druge populacije.

U brojnim je istraživanjima navedenima u prethodno spomenutom pregledu utvrđeno da urbanizacija povećava učinak genskog drifta (Johnson i Munshi-South, 2017). Na primjer, kao što sam objasnila ranije, urbanizacija uzrokuje fragmentaciju staništa različitih vrsta, a ujedno ga često i smanjuje. Fragmentacija i smanjenje staništa dovodi i do smanjenja te odvajanja populacija, a, kako sam prethodno objasnila, malene (Allendorf i Luikart, 2007) i izolirane populacije imaju veću vjerojatnost da će genski drift snažnije utjecati na njihove frekvencije alela.

Genetska raznolikost unutar populacije važna je jer razlike u genima omogućuju prirodnu selekciju. Drugim riječima, veća je vjerojatnost da će neka jedinka populacije biti nositelj specifičnog alela koji će joj omogućiti prevladavanje selekcijskog pritiska i preživljavanje ako su jedinke te populacije međusobno genetički raznolike i ako su razni aleli koji nose različita svojstva zastupljeni u što većem broju i s većom homogenijom. Pregledom



brojnih radova izdanih od 1980. do 2018. godine, koji su proučavali utjecaj urbanizacije na genetsku raznolikost unutar zahvaćenih populacija raznih vrsta biljaka i životinja, Miles i sur. (2019) došli su do zaključka da je u većini (67%) fragmentacija staništa izazvana urbanizacijom, praćena fragmentacijom i izolacijom populacija, dovela do smanjene genetske raznolikosti unutar zahvaćenih populacija, najvjerojatnije zbog povećanog učinka genskog drifta.

Jedan primjer smanjenja genetske raznolikosti unutar populacija izazvanog urbanizacijom su kosovi (*Turdus merula* Linnaeus, 1758). Kosovi su od šumskih vrsta postali jedne od ptica najčešće viđenih u gradovima, a prva zabilježena migracija u predgrađa Bromberga u Njemačkoj dogodila se 1820-ih godina (Luniak, Mulsow i Walasz, 1990). Evans i sur. (2009) mjerili su raznolikost gena unutar urbanih i ruralnih populacija preko nekoliko pokazatelja, na primjer, ukupnog broja alela, prosječnog broja alela na lokusu, očekivane heterozigotnosti. Te su pokazatelje odredili analizom 22 mikrosatelita. Uzorci krvi su izvađeni iz otprilike 30 jedinki na svakoj od 25 lokacija diljem Europe (na 12 lokacija uzorkovane su ruralne i urbane populacije u parovima, a na jednoj lokaciji samo ruralna). U istraživanju je zaključeno urbane populacije imaju manju genetsku raznolikost od ruralnih populacija. Smatra se da je manjoj genetskoj raznolikosti urbanih populacija doprinio učinak osnivača i činjenica da jedinke u njima rijeđe migriraju od onih u ruralnim (Partecke, Gwinner i Bensch, 2006). Utjecaj genskog drifta snažniji je u izoliranijim populacijama pa je moguće da je i to pridonijelo manjoj genetskoj raznolikosti.

S druge strane, čak u trećini (32%) radova koje su Miles i sur. (2015) proučili zaključeno je da je urbanizacija smanjila utjecaj genskog drifta između populacija tako da je olakšala njihovu migraciju i protok gena ili stvaranjem novih staništa.

Genski drift, zajedno sa smanjenim ili spriječenim protokom gena, može povećati genetsku diferenciranost između populacija. Neke se populacije mogu međusobno razlikovati i u slučaju kada na jednu ili samo neke djeluje prirodna selekcija za neko svojstvo, a na drugu ili ostale ne. Zbog ovih mehanizama evolucije, populacije u prirodi uvijek se genetski razlikuju. Ako između dvije populacije postoji veća migracija, one će više međusobno ličiti. Jedna od mjera za genetsku diferenciranost između populacija je  $F_{st}$  vrijednost. Ta je vrijednost povezana s razlikama u frekvencijama alela između populacija. Što populacije imaju sličnije frekvencije alela koji se istražuju, to su one sličnije i niža im je  $F_{st}$  vrijednost, kao i obrnuto (Holsinger i Weir, 2009).

U istraživanju provedenom na jednoj slatkovodnoj vrsti ribe iz reda šaranki, *Gila orcuttii* (Eigenmann i Eigenmann, 1890), analizirano je 10 mikrosatelita na uzorcima iz 8 populacija koje nastanjuju 4 različite rijeke i 2 potoka u Kaliforniji. Jedan od ciljeva istraživanja bio odrediti genetske strukture između parova tih populacija te rezultate povezati s učinkom urbanizacije na prostor u kojem je ova vrsta autohtona. Otkrivena su dva para populacija (jedan u rječnom kompleksu Los Angeles, a jedan u rječnom kompleksu San Gabriel) koji su nekada, prije izgradnje umjetnih brana, mogli stupiti u kontakt (svaki od parova međusobno) i izmjenjivati genetički materijal migracijom i parenjem. Izgradnja brana na rijekama uzrokovala je fragmentaciju staništa i odijelila te parove. Zaključeno je da među svakim parom postoji genetska diferenciranost. Ovo se objašnjava prekidom protoka gena i utjecajem genskog drifta koji postaje mnogo veći sa smanjenjem i izolacijom populacije (Benjamin i sur., 2016).

### **2.3) Učinak urbanizacije na protok gena**

Protok gena još je jedan važan mehanizam evolucije na koji urbanizacija dakako utječe, što ću dokazati primjerima u nastavku. Izgradnjom infrastrukture staništa na zahvaćenom prostoru postaju fragmentirana i smanjena. To za većinu populacija rezultira podjeljenjem jedne populacije u određeni broj manjih i njihovom međusobnom izolacijom, zbog nastajanja raznih prepreka (na primjer, cesta ili blokova zgrada) koje onemogućuju migraciju. Onemogućavanjem ili otežavanjem migracije dolazi do smanjenja ili nestajanja protoka gen (Holdgger i De Gulio, 2010).

Protok gena ima veliki učinak na neku vrstu jer djeluje kao homogenizirajuća sila između populacija te vrste, to jest smanjuje učinak genskog drifta i održava frekvencije alela podjednakima među njima. Ta homogenizacija sprječava da se populacije diferenciraju u druge vrste. Protok gena također može rezultirati ponovnim uvođenjem nekog gena koji je nestao u populaciji (na primjer, učinkom genskog drifta, smanjenjem populacije zbog nekog događaja ili odvajanjem dijela populacije) iz druge populacije, što je važno zbog održavanja genetske raznolikosti u populaciji. Kada je protok gena potpuno spriječen, u populaciji dolazi do učinka inbreeding-a koji rezultira smanjenom genetskom raznolikošću unutar populacije (Allendorf i Luikart, 2007).

Miles i sur. (2010) proučavanjem su brojnih radova na temu populacijske genetike i utjecaja urbanizacije na nju zaključili da ona ne smanjuje nužno protok gena između

zahvaćenih populacija. Pretpostavili su da postoje tri moguća scenarija prema kojima urbanizacija može utjecati na protok gena među populacijama. Urbanizacija može otežati protok gena stvaranjem barijera, olakšati ga ili ne utjecati na njega. Genetska raznolikost između populacija u prvom slučaju postaje veća, u drugom manja, a u trećem se ne mijenja. U nastavku ću navesti primjere za neke od navedenih slučajeva.

U jednom istraživanju analizirani su i uspoređivani dijelovi genoma jedinki u populacijama losova (*Alces alces* Linnaeus, 1758) na području grada Anchorage-a (uzorkovane su jedinke populacije na suprotnim stranama autoceste) i na ruralnom području na poluotoku Kenai u Aljasci (populacija udaljena od mogućih umjetnih barijera koje bi sprječavale migraciju jedinki unutar nje). Urbane sredine populacijama losova pružaju brojne izvore hrane i mjesta za skrivanje, a losovi migriraju u gradove i zbog zaštite od vukova (Garrett i Conway, 1999) (Slika 1.).



Slika 1. Los u urbanoj sredini. Losovi često traže hranu ili zaklon od vukova u urbanim sredinama (Garrett i Conway, 1999).

(izvor slike: <https://northernexposure.fandom.com/wiki/Moose>)

U istraživanju se otkrilo da na poluotoku Kenai nije došlo do podjele populacije na subpopulacije. S druge strane, na području Anchorage-a otkrivene su dvije genetski difrencirane subpopulacije. Pretpostavlja se da je autocesta djelovala kao fizička barijera, a i buka koja nastaje prolaskom automobila može tjerati losove podalje od nje (Wilson i sur.,

2015). Tako se smanjio protok gena i povećala diferenciranost između razdvojenih strana populacije.

U istraživanju provedenom na vrsti komarca *Aedes fluviatilis* (Lutz i Bourroul, 1904) u gradu São Paulu u Brazilu, analiziralo se osam mikrosatelita u genomima komaraca uzorkovanih u devet parkova unutar grada. Otkriveno je da je genetska struktura između populacija spomenutih parkova veoma malena, što znači da nema velike genetske diferenciranosti između njih (osim za dvije populacije koje se razlikuju od ostalih više od uspostavljenog trenda) te da je protok gena među njima veoma visok. Zaključeno je i da su se populacije nedavno povećale. Postoje dva objašnjenja. Prvo objašnjenje glasi temelji se na činjenici da je São Paulo relativno mladi grad (intenzivna urbanizacija započela je tek u 1960-ima (Tauil, 2001)) pa još nije prošlo dovoljno vremena da se razviju znatnije promjene između odvojenih populacija, osim između dvije navedene i ostalih. Drugo je objašnjenje da je protok gena olakšan urbanizacijom. Ono što protok gena čini lakšim, a povećanje populacija mogućim je velika gustoća stanovnika koji mogu biti izvor hrane za komarce ili prenositelji, manjak prirodnih predatora... (Multini i sur., 2016)

## **2.4) Učinak urbanizacije na mutacije i prirodni odabir**

U genetske mutacije spadaju zamjena jednog nukleotida drugim, nestajanje, duplikacija, mijenjanje položaja nekih dijelova sekvence DNA i tako dalje. Mutacije mogu uključivati samo jedan nukleotid, nekoliko nukleotida, cijeli gen ili više gena, čak se i cijeli kromosomi mogu raspadati ili spajati. Mutacije su izvor sve genetske varijabilnosti. To znači da su sve razlike između sekvenci DNA jedinki neke vrste proizašle iz mutacija pa tako i različiti aleli. Mutacije mogu i ne moraju imati učinak na fenotip organizma. Ako ga nemaju, nazivamo ih neutralnim, a ako ga imaju, njihov utjecaj može biti štetan ili koristan (Loewe, 2003).

Svi mehanizmi evolucije koje sam dosad spominjala (protok gena i genski drift) bili su mehanizmi neadaptivne evolucije (Johnson i Munshi – South, 2017). Neadaptivna evolucija je ona u kojoj dolazi do slučajne promjene frekvencije alela u populaciji, tj. promjene u genskoj zalih populacije, između dvije ili više generacija.

Prirodni odabir mehanizam je adaptivne evolucije (Johnson i Munshi – South, 2017). Aleli nastaju mutacijama na genomu. Veća je vjerojatnost da će prirodni odabir djelovati na već postojeće alele, to jest alele koji su prisutni u populaciji prije nastupanja selekcijskog

pritiska u određenim frekvencijama. Zbog te već postojeće frekvencije vjerojatnost da će se alel izgubiti u procesu genskog drifta, efekta osnivača ili efekta uskog grla prije moguće fiksacije znatno je manja od vjerojatnosti da će se to dogoditi novostvorenom alelu nastalom u jednoj jedinoj jedinci. Novostvorenim alelom smatra se onaj koji je nastao iz mutacije koja se pojavila nakon što je neka promjena u okolišu rezultirala novim selekcijskim pritiscima. Postojeći aleli u populaciji nose svojstva koja se u fenotipu ispoljavaju na štetan način ili su neutralna, a frekvencija im je određena i održavana pomoću genskog drifta ili selekcije. Pojavom selekcijskog pritiska, ta svojstva mogu postati korisna za jedinku i povećati joj fitness pa je moguće da će se frekvencije alela koji ih nose postati više, a ti se aleli mogu i fiksirati, to jest postati prisutni u svim jedinkama populacije (Barrett i Schluter, 2007).

Kako promjena uvjeta u okolišu izazvana urbanizacijom pokreće prirodni odabir, objasnit ću na vjerojatno široj javnosti najpoznatijem primjeru evolucije, nakon razvoja čovjeka. Nakon Prve industrijske revolucije, čijim početkom smatramo drugu polovicu 18. stoljeća, ugljen se počeo pojačano koristiti. Ugljen se koristio kao izvor energije u domovima i automobilima, tvornicama i slično. Porastom industrije rastao je i broj stanovnika u njezinim centrima. Tako se broj stanovnika u 80 godina između 1770. i 1850. godine u Manchesteru uvećao za 10 puta. Zrak je u gradovima postao bogat dimom i plinovima (Cook, 2003). U takvim su uvjetima svijetli lišajevi koji su pokrivali koru drveća u okolici gradova nestali pa se čađa počela nakupljati na njoj i kora je postala tamnija (Weis, 2001), kao i boja zidova zgrada.

Brezova grbica (*Biston betularia* (Linnaeus, 1758)), noćni leptir čiji je divlji tip (ili *typica*) svijetle boje pa danju boravi na korama drveća i zidovima koji su također svijetle boje (Weis, 2001). Crni tip (*carbonaria*) brezove grbice primjećen je 1848. godine (Hof i sur., 2016). Svojstvo koje je taj tip imao omogućio mu je bolju mimikriju na tamno obojenoj kori i *carbonaria* tip počeo se pojavljivati u sve većoj frekvenciji, a povećanje frekvencije jedinki prati i povećanje frekvencije njihovih alela koji im omogućuju nadvladavanje selekcijskog pritiska, u ovom slučaju, predatorstva.

Oko šezdesetih godina 20. stoljeća, nafta i struja postaju glavni izvori energije i zrak postaje čišći. U sedamdesetim godinama 20. stoljeća, frekvencije brezove grbice počinju opadati. U industrijaliziranim djelovima sjeverne Engleske do 1999. crni tip čini oko 18% posto zabilježenih brezovih grbica, a u ruralnim područjima postaju vrlo rijetki (oko 1%) (Cook, Riley i Woiwod, 2003).

U istraživanju objavljenom 2016. godine, opisana je mutacija koja omogućuje *carbonaria* tipu brezove grbice crno obojenje. Riječ je o transpozonu koji se ugradio u genu *cortexu*. Sastoji se od otprilike dvije cijele i jedne trećine kopije sekvence DNA od oko 9000 baza nukleotida koje se međusobno veoma malo razlikuju. Genu *cortexu*, na još ne potpuno dokučen način, ovaj transpозон omogućuje da se češće eksprimira. Smatra se da je ova mutacija nastala oko 1819. godine, što je čini mutacijom stvorenom nakon nastanka novog selekcijskog pritiska (Hof i sur., 2016).

Winchell i sur. (2016) objavili su istraživanje o pripadniku skupine guštera anola *Anolis cristatellus* Duméril i Bibron, 1837. *Anolis cristatellus* obitava na tlu ili na donjim dijelovima debala, a autohtona je i česta vrsta u Puerto Ricu. Cilj istraživanja bio je odrediti koje površine i u kojem postotku koriste urbane i ruralne populacije ovih anola za mirovanje te koje su morfološke razlike među tim populacijama. Morfološke razlike i ponašanje promatrali su se kod mužjaka tri para ruralnih i urbanih populacija iz okolice ili unutrašnjosti tri najveća grada (Mayagüez, Ponce i San Juan). Također se proveo i test „zajedničkog okoliša“ u svrhu utvrđivanja jesu li primjećene morfološke razlike između urbanih i ruralnih populacija posljedica plastičnosti fenotipa ili razlike u genomu. Primjećene morfološke razlike uključuju duljinu stražnjih i prednjih udova koje su bile veće kod jedinki iz urbanih populacija te broj ljuški koje se nalaze pod prstima guštera, a nazivaju se lamele, kojih su jedinke iz urbanih sredina imale više. U testu „zajedničkog okoliša“ zabilježene su ove iste morfološke razlike između potomaka urbanih i potomaka ruralnih populacija te su sve, osim duljine stražnjih udova, dokazane statistički značajnima. To znači da je moguće da na ove guštere u urbanim sredinama djeluju drugačiji selekcijski pritisci nego na one u ruralnim sredinama koji izazivaju promjenu u njihovoj morfologiji. Winchell i sur. smatraju da su ovi selekcijski pritisci izazvani urbanizacijom. To su, na primjer, korištenje umjetnih površina za mirovanje u mnogo većem postotku u urbanim populacijama nego u ruralnim. Umjetne površine koristilo je čak 46% guštera iz urbanih sredina, dok su u ruralnim populacijama koristili isključivo prirodne površine. Površine u gradovima koje anoli koriste su šire od onih u prirodi, na primjer zidovi ili ukrasna stabla sa širim deblom. Ovo bi mogao biti razlog zašto su udovi anola urbanih populacija dulji. Naime, u prijašnjim je istraživanjima otkrivena korelacija između češćeg kretanja po širim površinama i duljih udova (Losos, 1990a). S druge strane, u istraživanju je zabilježena manja prosječna pokrivenost urbanih područja krošnjama, što gušterima nudi

dodatan zaklon, kao i veća udaljenost između mjesta za mirovanje. Iz ovoga razloga anoli iz urbanih sredina moraju biti brži nego oni iz ruralnih sredina, a to im također mogu omogućivati dulji udovi (Losos, 1990b). Dokazano je da povećani broj lamela s ventralne strane prstiju omogućuje gušterima bolje prijanjanje na glatkim površinama (Zani, 2000).

### 3) ZAKLJUČAK

Urbanizacija ima veliki učinak na okoliš mijenjajući niz njegovih čimbenika, kao što su količina emisije stakleničkih plinova. Gradovi su središta industrijskih djelatnosti koje najviše ispuštaju stakleničke plinove u atmosferu. Urbanizacija mijenja i površinu te sveukupan izgled zahvaćenog prostora, a čak je i prosječna godišnja temperatura u urbanim sredinama viša nego u ruralnim. Urbanizacija također fragmentira i reducira staništa i populacije, smanjuje bogatstvo vrsta, a često rezultira i uvođenjem alohtonih vrsta u neki prostor. Uzrokuje svjetlosno i zvučno zagađenje koje može na žive jedinke utjecati samostalno ili u kombinaciji s drugim pratiteljima urbanizacije (na primjer, prodiranjem u stanište).

Urbanizacija djeluje i na mehanizme evolucije, to jest može im povećati ili smanjiti utjecaj, a može utjecati i na nastanak novih mutacija koje pokreću prirodni odabir, tj. adaptivnu evoluciju. Miles i sur. (2019) proučavali su veliki broj radova u kojima je istražen utjecaj urbanizacije na genetsku raznolikost unutar populacija raznih vrsta biljaka i životinja ili genetsku diferenciranost između populacija. Zaključili su da je u većini radova o utjecaju na genetsku diferenciranost urbanizacija bila popraćena smanjenim protokom gena što je uzrokovalo povećanu genetsku diferenciranost između populacija. Smanjena migracija i protok gena između populacija dovode do izolacije tih populacija. Vjerojatnost da će se zbog genskog drifta značajnije promijeniti frekvencije alela između generacija neke populacije veća je kada je ona izolirana. Proučavajući spomenute radove, Miles i sur. (2019) došli su do zaključka da u većini radova urbanizaciju, zbog izolacije brojnih populacija, prati i potencijalno jači utjecaj genskog drifta na populacije te utvrđena smanjena genetska raznolikost unutar njih. Ipak, Miles i sur. spominju i slučajeve u kojima je urbanizacija povećala genetsku raznolikost, a smanjila genetsku diferenciranost, kao i slučajeve u kojima nije utjecala na njih.

Život u urbanim sredinama može izazvati povećanje frekvencije određenih mutacija, poput onih u miševa koji nastanjuju parkove New York-a. Te mutacije mogu omogućiti preživljavanje, a nova svojstva koja zbog njih jedinka može dobiti mogu poprimiti višu

frekvenciju u populaciji putem prirodnog odabira. Primjer za ovaj slučaj je pojava novog tipa brezove grbice u Engleskoj u 19. stoljeću ili nastanak morfoloških promjena u gušterima iz urbanih sredina. Češće prirodna selekcija djeluje na mutacije koje su postojale prije pojavljivanja selekcijskog pritiska.

Urbanizacija svakako ima utjecaj na evoluciju, na razne načine. Hoće li pomoći nekoj vrsti u preživljavanju ili će joj odmoći, ovisi o biologiji te vrste, kao i o tome na koji način će urbanizacija djelovati na mehanizme evolucije koji mijenjaju genotipove jedinki te vrste, gensku zalihu populacije ili genetsku diferenciranost između populacija. Teško je predvidjeti učinak urbanizacije na evoluciju jer su mehanizmi evolucije jako kompleksni i na njih utječe istovremeno mnogo čimbenika.



## 4) LITERATURA

Allendorf F.W. i Luikart, G. (2007) *Conservation and the genetics of populations*. Prvo izdanje. Oxford: Blackwell Pub.

Barrett, R. i Schluter, D. (2008) „Adaptation from standing genetic variation“ *Trends in Ecology & Evolution*, 23(1), str.38–44.

Benjamin, A., May, B., O'Brien, J. i Finger, A.J. (2016) „Conservation Genetics of an Urban Desert Fish, the Arroyo Chub“ *Transactions of the American Fisheries Society*, 145(2), str. 277–286.

Buskirk, J.V. (2012) „Permeability of the landscape matrix between amphibian breeding sites“, *Ecology and Evolution*, str. 3160–3167.

Chaolin G. (2020). „Urbanization“ u Kobayashi A. (ur.) *International Encyclopedia of Human Geography*. Drugo izdanje. Elsevier, str. 141-153.

Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C.D. i Baugh, K.E. (2000) „The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements“, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 318(3), str. 641–657.

Cook, L. (2003) „The Rise and Fall of the Carbonaria Form of the Peppered Moth“ *The Quarterly Review of Biology*, 78(4), str.399–417.

Cook, L. M., Riley, A.M. i Woiwod, I.P. (2002). „Melanic frequencies in three species of moths in post industrial Britain“ *Biological Journal of the Linnean Society*, 75(4), str.475–482.

European Environment Agency. (2019) „Environmental noise in Europe – 2020“, *European Environment Agency Report*, 22

Evans, K.L., Gaston, K.J., Frantz, A.C., Simeoni, M., Sharp, S.P., McGowan, A., Dawson, D.A., Walasz, K., Partecke, J., Burke, T. i Hatchwell, B.J. (2009) „Independent colonization of multiple urban centres by a formerly forest specialist bird species“ *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1666), str. 2403 – 2410.

Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C.C.M., Elvidge, C.D., Baugh, K., Portnov, B.A., Rybnikova, N.A. i Furgoni, R. (2016) „The new world atlas of artificial night sky brightness“, *Science Advances*, 2(6).

Francis, C.D., Ortega, C.P. i Cruz, A. (2009) „Noise Pollution Changes Avian Communities and Species Interactions“, *Current Biology*, 19(16), str. 1415–1419

Garrett, L.C. i Conway, G.A. (1999) „Characteristics of Moose-vehicle Collisions in Anchorage, Alaska, 1991–1995“ *Journal of Safety Research*, 30(4), str. 219–223.

Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X. i Briggs, J.M. (2008) „Global Change and the Ecology of Cities“ *Science*, 319(5864), str. 756–760.

Harris, S.E. i Munshi-South, J. (2017) „Signatures of positive selection and local adaptation to urbanization in white-footed mice (*Peromyscus leucopus*)“ *Molecular Ecology*, 26(22), str. 6336–6350.

Hildebrand, J. (2009) „Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean“, *Marine Ecology Progress Series*, 395, str. 5–20.

Hof, A.E. van't, Campagne, P., Rigden, D.J., Yung, C.J., Lingley, J., Quail, M.A., Hall, N., Darby, A.C. i Saccheri, I.J. (2016) „The industrial melanism mutation in British peppered moths is a transposable element“, *Nature*, 534(7605), str. 102–105.

Holderegger, R. i Di Giulio, M. (2010). „The genetic effects of roads: A review of empirical evidence“. *Basic and Applied Ecology*, 11(6), str.522–531.

Holsinger, K.E. i Weir, B.S. (2009) „Genetics in geographically structured populations: defining, estimating and interpreting  $F_{ST}$ “, *Nature Reviews Genetics*, 10(9), str.639–650.

Honnay, O. (2008). „Genetic drift“ u B. Faith (ur.) *Encyclopedia of Ecology*. Drugo izdanje. Elsevier, str. 114–117.

Hung, K.-L.J., Ascher, J.S. i Holway, D.A. (2017) „Urbanization-induced habitat fragmentation erodes multiple components of temporal diversity in a Southern California native bee assemblage“, *PLoS ONE*, 12(8).

Imhoff, M.L., Zhang, P., Wolfe, R.E. i Bounoua, L. (2010) „Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA“, *Remote Sensing of Environment*, 114(3), str. 504–513.

International Dark-Sky Association. *Light Pollution* [Online]. International Dark-Sky Association. Dostupno na: <https://www.darksky.org/light-pollution/> (pristupljeno: 21. 9. 2021.)

Johnson, M.T.J. i Munshi-South, J. (2017) „Evolution of life in urban environments“ *Science*, 358(6363).

Kivisild, T. (2013). „Founder Effect“ u S. Maloy i K. Hughes (ur.), *Brenner's Encyclopedia of Genetics*. Drugo izdanje. Elsevier, str. 100–101.

Loewe, L. (2008) „Genetic mutation“, *Nature Education*, 1(1):113

Losos, J.B. (1990) „Ecomorphology, Performance Capability, and Scaling of West Indian Anolis Lizards: An Evolutionary Analysis“, *Ecological Monographs*, 60(3), str.369–388

Losos, J.B. (1990) „The Evolution of Form and Function: Morphology and Locomotor Performance in West Indian Anolis Lizards“, *Evolution*, 44(5), str. 1189 – 1203

Luniak, M., Mulsow, R. i Walasz, K. (1990) „Urbanization of the european blackbird - expansion and adaptations of urban populations“, *Urban Ecological Studies*, str.187–200.

Miles, L.S., Rivkin, L.R., Johnson, M.T.J., Munshi-South, J. i Verrelli, B.C. (2019) „Gene flow and genetic drift in urban environments“, *Molecular Ecology*, 28(18), str. 4138–4151.

Mitton, J.B. (2002). „Adaptation and Natural Selection: Overview“ u *Encyclopedia of Life Sciences*. Wiley.

Multini, L.C., Wilke, A.B.B., Suesdek, L. i Marrelli, M.T. (2016) „Population Genetic Structure of *Aedes fluviatilis* (Diptera: Culicidae)“, *PLOS ONE*, 11(9).

Partecke, J., Gwinner, E. i Bensch, S. (2006) „Is urbanisation of European blackbirds (*Turdus merula*) associated with genetic differentiation?“, *Journal of Ornithology*, 147(4), str. 549–552.

Reis, E., López-Iborra, G.M. i Pinheiro, R.T. (2012) "Changes in bird species richness through different levels of urbanization: Implications for biodiversity conservation and garden design in Central Brazil", *Landscape and Urban Planning*, 107(1), str. 31–42.

Santana Marques, P., Resende Manna, L., Clara Frauendorf, T., Zandonà, E., Mazzoni, R. El-Sabaawi, R. (2020) „Urbanization can increase the invasive potential of alien species“, *Journal of Animal Ecology*, 89(10), str. 2345–2355.

Shannon, G., McKenna, M.F., Angeloni, L.M., Crooks, K.R., Fristrup, K.M., Brown, E., Warner, K.A., Nelson, M.D., White, C., Briggs, J., McFarland, S. i Wittemyer, G. (2015) „A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife“, *Biological Reviews*, 91(4), str. 982–1005.

Tauil, P.L. (2001) „Urbanização e ecologia do dengue“, *Cadernos de Saúde Pública*, 17, str.S99–S102.

Ujedinjeni narodi, Department of Economic and Social Affairs World, Population Division. (2018). *Urbanization Prospects: The 2018 Revision*.

Weis, A.E. (2001). „Predator–Prey and Parasite–Host Interactions“ u S. Brenner i J.H. Miller (ur.) *Encyclopedia of Genetics*. Academic Press, str.1533–1536.

Wilson, R.E., Farley, S.D., McDonough, T.J., Talbot, S.L. i Barboza, P.S. (2015) „A genetic discontinuity in moose (*Alces alces*) in Alaska corresponds with fenced transportation infrastructure“, *Conservation Genetics*, 16(4), str.791–800.

Winchell, K.M., Reynolds, R.G., Prado-Irwin, S.R., Puente-Rolón, A.R. i Revell, L.J. (2016) „Phenotypic shifts in urban areas in the tropical lizard *Anolis cristatellus*“, *Evolution*, 70(5), str.1009–1022.

World Resource Institute. (2021). *Historical GHG Emissions* [Online]. ClimateWatch. Dostupno na: [https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end\\_year=2018&sectors=energy&start\\_year=1990](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2018&sectors=energy&start_year=1990) (pristupljeno 21. 9. 2021.)

Zani (2000) „The comparative evolution of lizard claw and toe morphology and clinging performance“, *Journal of Evolutionary Biology*, 13(2), str.316–325.

## 5) SAŽETAK

Osim promjena u staništu, koje uključuju njegovu redukciju i fragmentaciju, urbanizacija uzrokuje svjetlosno i zvučno zagađenje, kao i zagađenje zraka. Populacije se na zahvaćenom području često smanjuju i dijele u izolirane skupine. Posljedice urbanizacije mijenjaju i pokreću mehanizme adaptivne (prirodni odabir) i neadaptivne evolucije (genski drift i protok gena). Urbanizacija može smanjiti protok gena između populacija, a povećati učinak genskog drifta unutar populacija, što najčešće rezultira manjom genetskom raznolikošću unutar populacija, a većom genetskom diferenciranošću između populacija. Otkriveni su i slučajevi u kojima je protok gena olakšan, a učinak genskog drifta smanjen urbanizacijom, kao i slučajevi u kojima se njihova rata ne mijenja. Utjecaj urbanizacije na prirodan odabir opisan je na klasičnom primjeru evolucije donekle poznatom većini, na pojavi crnog tipa brezove grbice u industrijaliziranoj Engleskoj u 18.st., kao i na morfološkim promjenama koje se javljaju u urbanim populacijama guštera. Hoće li urbanizacija olakšati ili otežati preživljavanje neke vrste, ovisi o toj vrsti i promjenama koje urbanizacija donosi.

**Ključne riječi:** urbanizacija, genski drift, genetska raznolikost, protok gena, genetska diferenciranost, prirodni odabir.

## 6) SUMMARY

Except for the changes in the habitat, which include its fragmentation and reduction of its size, urbanization can cause light, air or sound pollution. Populations that live in the areas affected by urbanization often get separated and reduced in size. The changes in an ecosystem brought about by urbanization alter and initiate mechanisms of adaptive or unadaptive evolution. Urbanization can reduce the amount of gene flow among populations and increase the influence of gene drift within populations, which usually results in reduced genetic diversity and increased genetic differentiation. However, some cases report that urbanization facilitated gene flow and reduced influence of gene drift or that it had no effect on these mechanisms. The effect of urbanization on natural selection was described on the appearance of the black morphotype of *Biston betularia* in industrialized England of the 18<sup>th</sup> century and some morphological differences between urban and rural populations of lizards. Will urbanization help or disrupt the survival of a species depends on said species and on the changes it causes.

**Key words:** urbanization, gene drift, genetic diversity, gene flow, genetic differentiation, natural selection.

## 7) ŽIVOTOPIS

Moje je ime Ela Pahor, rođena sam 14. 9. 1999. u Rijeci. U Buzetu sam pohađala Osnovnu školu "Vazmoslav Gržalja" od 2006. do 2014. godine. Zatim sam, 2014. godine, upisala smjer opće gimnazije u Srednjoj školi Buzet koji sam pohađala do 2018. godine, kada sam upisala preddiplomski studij Biologije na Prirodoslovno – matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Od 2020. godine vodim Sekciju za sisavce u Udruzi studenata biologije ili BIUS-u. Volontirala sam u Prirodoslovnom muzeju Rijeka i na kampu "Učka 360° - Vratimo livade leptirima!" 2018. godine, a 2021. godine na edukativno – volonterskom kampu "Dinara back to LIFE". Godine 2018. dobila sam Pohvalnicu grada Buzeta.