

Analiza utjecaja prometa na zagađenje bukom u urbanim sredinama

Konjevod, Kristian

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:902798>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**UTJECAJ PROMETA NA ZAGAĐENJE BUKOM U URBANIM
SREDINAMA**

**TRAFFIC IMPACT ON NOISE POLLUTION IN URBAN
AREAS**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Marijan Jakovljević

Komentor: Marko Švajda mag. ing. traff.

Student: Kristian Konjevod

JMBAG: 0135264154

Zagreb, rujan 2024.

Zagreb, 11. lipnja 2024.

Zavod: **Zavod za prometno planiranje**
Predmet: **Ekologija u prometu**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7651

Pristupnik: **Kristian Konjevod (0135264154)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

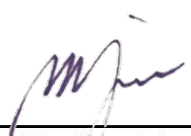
Zadatak: **Analiza utjecaja prometa na zagađenje bukom u urbanim sredinama**

Opis zadatka:


U radu je potrebno analizirati štetan utjecaj buke u urbanim sredinama te zakonsku regulativu zaštite od buke u Republici Hrvatskoj te Europskoj uniji. Isto tako potrebno je analizirati mjere za smanjenje buke u urbanim sredinama kroz zakonsku regulativu, adekvatnim upravljanjem prometnim sustavom te infrastrukturna rješenja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



doc. dr. sc. Marijan Jakovljević



Marko Švajda, mag. ing. traff. (komentor)

SAŽETAK

Rad istražuje problem zagađenja bukom uzrokovanom cestovnim prometom, s naglaskom na urbane sredine. Istraživanje se fokusira na izvore buke kao i njezine negativne učinke na ljudsko zdravlje, okoliš i ekosustave. Rad iznosi postojeće zakonske mjere, upravljanje prometom i infrastrukturna rješenja za smanjenje buke. Svrha rada je istražiti problematiku zagađenja bukom uzrokovano prometom te njegove negativne posljedice na ljudsko zdravlje, okoliš i ekosustave. Cilj je istražiti problem zagađenja bukom te ponuditi učinkovite strategije za smanjenje zagađenja. Rad donosi primjere uspješnih mjera iz prakse. Na temelju istraženih podataka, rad donosi preporuke za daljnje aktivnosti u cilju smanjenja zagađenja bukom, uključujući jačanje regulative, poticanje inovacija u prometnom sektoru i edukaciju javnosti o utjecajima buke.

KLJUČNE RIJEČI: buka; zagađenje; cestovni promet; Direktiva o okolišnoj buci (2002/49/EC)

SUMMARY

The paper investigates the problem of noise pollution caused by road traffic, with an emphasis on urban environments. The research focuses on the sources of noise as well as its negative effects on human health, the environment and ecosystems. The paper presents existing legal measures, traffic management and infrastructure solutions for noise reduction. The purpose of the work is to investigate the problem of noise pollution caused by traffic and its negative consequences on human health, the environment and ecosystems. The goal is to investigate the problem of noise pollution and offer effective strategies for reducing pollution. The paper provides examples of successful measures from practice. Based on the researched data, the paper makes recommendations for further activities aimed at reducing noise pollution, including strengthening regulations, encouraging innovations in the transport sector and educating the public about the effects of noise.

KEYWORDS: noise; pollution; road traffic; Environmental Noise Directive (2002/49/EC)

SADRŽAJ

1.	UVOD	5
2.	UTJECAJ PROMETA NA ZAGAĐENJE BUKOM	8
2.1	Definicija buke i njenih izvora	8
2.2	Problematika zagađenja bukom u gradovima.....	12
2.2.1	Buka cestovnog prometa	13
2.2.2	Buka u zračnom prometu	15
2.3	Posljedice zagađenja bukom na ljudsko zdravlje i okoliš	17
2.3.1	Fiziološki i psihološki utjecaji buke na ljude	17
2.3.2	Utjecaj buke na ekosustave i divlje životinje	20
2.3.3	Ekonomski troškovi povezani sa zagađenjem bukom.....	22
3.	MJERE ZA SMANJENJE ZAGAĐENJA BUKOM.....	24
3.1	Zakonska regulativa.....	25
3.2	Upravljanje prometnim sustavom.....	28
3.3	Infrastrukturna rješenja.....	29
4.	PRIMJERI DOBRE PRAKSE	33
5.	ZAKLJUČAK	35
	LITERATURA.....	36
	POPIS ILUSTRACIJA.....	42

1. UVOD

Predmet rada je analiza zagađenja bukom uzrokovanog prometom, s posebnim naglaskom na utjecaj buke na ljudsko zdravlje, okoliš i ekosustave. Rad također obuhvaća pregled mjera za smanjenje zagađenja bukom, uključujući zakonske regulative, upravljanje prometnim sustavom i infrastrukturna rješenja, kao i primjere dobre prakse u smanjenju buke u urbanim sredinama. Cilj rada je pružiti sveobuhvatan uvid u problematiku buke te predložiti učinkovitije pristupe za njeno ublažavanje.

Svrha ovog rada je istražiti i razumjeti problematiku zagađenja bukom uzrokovanog prometom te njegove negativne posljedice na ljudsko zdravlje, okoliš i ekosustave. Rad ima za cilj identificirati izvore buke, analizirati njene učinke te predložiti učinkovite mjere i strategije za smanjenje zagađenja bukom u urbanim sredinama. Također, rad nastoji istaknuti važnost zakonskih regulativa, infrastrukturnih rješenja i primjera dobre prakse u rješavanju problema buke, s ciljem poboljšanja kvalitete života i zaštite okoliša.

Ciljevi rada su:

1. Objasniti što se smatra bukom u kontekstu zagađenja te razmotriti glavne izvore buke, posebice u urbanim sredinama (cestovni i zračni promet).
2. Istražiti različite vrste buke u prometu, kako cestovni i zračni promet doprinose zagađenju bukom u urbanim sredinama, te kako to utječe na životne uvjete u gradovima.
3. Razmotriti kako buka utječe na fizičko i psihološko zdravlje ljudi, utjecaj na ekosustave i divlje životinje, te analizirati ekonomske troškove povezane sa zagađenjem bukom.
4. Istražiti i opisati različite mjere za smanjenje zagađenja bukom, uključujući zakonsku regulativu, upravljanje prometnim sustavima i infrastrukturna rješenja.
5. Prikazati primjere uspješnih mjera ili strategija koje su provedene u drugim gradovima ili zemljama kako bi se smanjilo zagađenje bukom.

Rad pruža sveobuhvatan pregled kako različiti oblici prometa doprinose zagađenju bukom, što može pomoći u boljem razumijevanju ove problematike. Rad doprinosi osvješćivanju o negativnim utjecajima buke na stanovnike urbanih sredina, uključujući fiziološke, psihološke i ekološke aspekte. Kroz analizu postojećih mjera za smanjenje buke, rad pomaže identificirati najučinkovitije pristupe. Ovi doprinosi čine rad važnim izvorom informacija i smjernica za

istraživače, urbaniste, zakonodavce i druge stručnjake koji se bave problematikom zagađenja bukom u gradovima.

Rad je temeljen na kompilaciji postojećih radova, odnosno na kompilaciji do sad poznatih spoznaja o zagađenju bukom. Izvori i metode prikupljanja podataka uključuju analizu stručne literature, prikupljanje podataka sekundarnih podataka, kao što su baze podataka i ostali dokumenti i izvještaja. Kombinacija ovih metoda omogućava detaljnu analizu i pruža temelj za zaključke i preporuke iznesene u radu.

S ciljem ostvarivanja ciljeva ovog istraživanja, primijenjene su metode prikupljanja podataka, metode analize i sinteze, metoda deskripcije, metoda komparacije, kompilacije i metoda dedukcije kao i metoda anketiranja. Metoda prikupljanja podataka vezana je uz prikupljanje dostupne literarne građe. Metoda analize se koristi za raščlanjivanje općih ideja i sudova na pojedine elemente u odnosu na cjelinu, a rezultati se metodom sinteze ponovno stvaraju u novu cjelinu. Metoda deskripcije se odnosi na teoretske analize i opisivanje dok se metodom kompilacije preuzimaju tuđi rezultati i zaključci. Deduktivna metoda se koristi za donošenje pojedinačnih zaključaka koji proizlaze iz općih sudova.

Rad je koncipiran kroz 4 glavnih poglavlja, a koja su:

1. Uvod
2. Utjecaj prometa na zagađenje bukom
3. Mjere za smanjenje zagađenja bukom
4. Primjeri dobre prakse
5. Zaključak.

Struktura rada je organizirana kroz pet glavna poglavlja, koja omogućuju sistematsko istraživanje problema zagađenja bukom u urbanim sredinama, s posebnim naglaskom na cestovni promet. U prvom poglavlju, "Uvod," postavljeni su temelji rada. Ovo poglavlje opisuje problematiku buke u urbanim sredinama i ističe njezin značaj kao jednog od glavnih ekoloških rizika za zdravlje. Također, objašnjava svrhu i ciljeve istraživanja te daje pregled metodologije korištene u analizi. Utjecaj prometa na zagađenje bukom kao drugo poglavlje fokusira se na specifične izvore buke u cestovnom prometu, uključujući motore, gume i interakciju vozila s površinom ceste. Također, obrađuje se i buka u zračnom prometu. Detaljno su razmotreni različiti aspekti zagađenja bukom koje proizvodi promet te su analizirani njegovi štetni učinci na zdravlje i dobrobit ljudi. Ovo poglavlje također uključuje pregled postojećih istraživanja i

znanstvenih članaka koji potvrđuju vezu između izloženosti buci i negativnih zdravstvenih ishoda. Treće poglavlje daje pregled mogućih mjera za smanjenje zagađenja bukom. Navodi se zakonski okvir i regulativa za kontrolu buke. Prikazuju se mjere koje se odnose na upravljanje prometom kako bi se smanjilo zagađenje bukom, te se u konačnici iznose infrastrukturna rješenja koja mogu pomoći u smanjenju buke. Posljednje poglavlje prikazuje primjere dobre prakse iz različitih europskih gradova koriste se kako bi se ilustriralo kako ove mjere mogu biti uspješno implementirane. Također su obuhvaćene preporuke za daljnja istraživanja i poboljšanja. U završnom poglavlju, "Zaključak," sumiraju se ključni nalazi istraživanja i naglašava važnost integriranog pristupa u borbi protiv zagađenja bukom.

2. UTJECAJ PROMETA NA ZAGAĐENJE BUKOM

2.1 Definicija buke i njenih izvora

Buka, koja se definira kao svaki neželjeni i štetni vanjski zvuk uzrokovan ljudskim aktivnostima poput prijevoza (uključujući cestovni, željeznički i zračni promet) te industrije, predstavlja značajan problem. Promet je glavni izvor buke u okolišu, a buka prometa je u zapadnoj Europi prepoznata kao drugi najvažniji ekološki uzrok štetnih zdravstvenih ishoda, odmah nakon čestica. [1]

Izraz "zagađenje bukom" odnosi se na bilo koju vrstu zvuka koja negativno utječe na zdravlje i dobrobit ljudi i divljih životinja, a jačina takvog zagađenja mjeri se u decibelima. Trenutno je zagađenje bukom ozbiljan problem, posebno u urbanim sredinama, pri čemu je promet glavni izvor buke u gradovima. Veliki broj automobila i drugih cestovnih vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem čini cestovni promet vodećim uzrokom zagađenja bukom. Iako električni i hibridni automobili, koji sve više zamjenjuju tradicionalna vozila, uzrokuju nižu razinu buke zbog svojih tihih motora, smanjenje razine buke u urbanim sredinama ne može se postići samo eliminacijom motora s unutarnjim izgaranjem. [1]

Buka se može klasificirati prema mjestu nastanka na nekoliko glavnih kategorija: industrijska buka, prometna buka, urbana buka i prirodna buka. Svaka od tih kategorija ima specifične izvore buke i karakteristike. Industrijska buka dolazi iz različitih industrijskih pogona, uključujući tvornice, građevinske radove, rudnike i energetska postrojenja. Ova vrsta buke obično je konstantna i ima visoku razinu decibela, što može negativno utjecati na zdravlje radnika i okolnih stanovnika. [2]

Prometna buka uključuje zvukove koji nastaju zbog prometa vozila na cestama, vlakova, zrakoplova i brodova. Ova buka je najčešće prisutna u urbanim sredinama i može značajno utjecati na kvalitetu života ljudi koji žive u blizini prometnica [3]. Urbana buka odnosi se na zvukove koji se javljaju u gradskim sredinama i uključuje zvukove iz uličnih aktivnosti, glasne razgovore, zvona, sirene i ostale gradske zvukove. Ova buka je često nepredvidiva i može varirati u intenzitetu [4]. Prirodna buka dolazi iz prirodnih izvora kao što su vjetar, kiša, grmljavina ili životinjski zvukovi. Iako prirodna buka obično nije problematična, može postati smetnja u određenim situacijama, poput jakih oluja ili u područjima blizu divljine [5].

Ne može se svaki zvuk smatrati zagađenjem bukom. Zagađenje bukom ovisi o jačini, trajanju i učestalosti zvuka, kao i o njegovom utjecaju na zdravlje i dobrobit pojedinaca i zajednica.

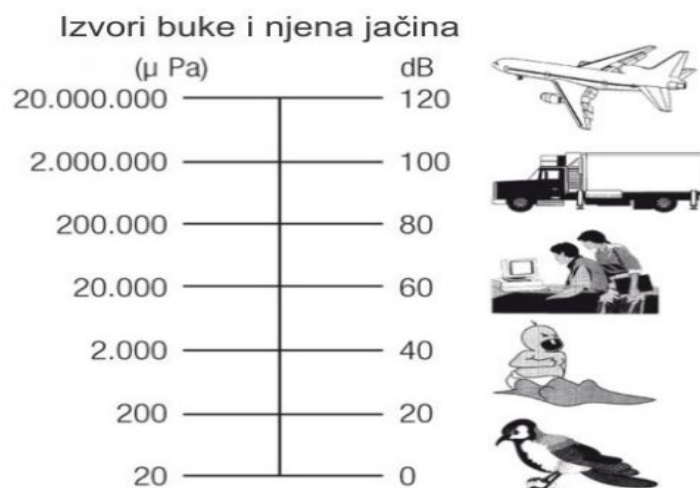
Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO), buka iznad 65 decibela (dB) definira se kao zagađenje bukom. Buka postaje štetna za zdravlje kada prelazi 75 dB, a postaje bolna kada prelazi 120 dB. Dugotrajna izloženost buci iznad 85 dB može dovesti do trajnog oštećenja sluha. Zbog potencijalnih zdravstvenih rizika, WHO preporučuje održavanje razine buke ispod 65 dB tijekom dana kako bi se smanjili negativni učinci na zdravlje, poput stresa, povišenog krvnog tlaka i poremećaja spavanja. Također, WHO naglašava važnost održavanja noćne razine okolne buke ispod 30 dB kako bi se omogućio miran i neometan san, koji je ključan za oporavak tijela i održavanje općeg zdravlja. [6]

Percepcija buke je izrazito subjektivna i može varirati među pojedincima. Faktori kao što su amplituda, trajanje, frekvencijski sastav i učestalost pojavljivanja značajno utječu na subjektivni doživljaj buke. Na primjer, zvukovi visoke frekvencije ili zvukovi koji se ponavljaju s velikom amplitudom mogu se percipirati kao posebno neugodni ili uznemirujući. Također, kulturni i socijalni konteksti mogu oblikovati percepciju buke, pa se isti zvuk može različito doživjeti ovisno o okolnostima u kojima se čuje. [7]

Istraživanja su pokazala da izloženost buci može imati ozbiljne posljedice na fizičko i mentalno zdravlje, uključujući povećani rizik od kardiovaskularnih bolesti, poremećaja spavanja, smanjenje kognitivnih funkcija i povećanje razine stresa. O tome će se više reći u nastavku rada [8], [9].

Na autocesti buka iznosi otprilike 80 dB, dok izvan prigušivača oko 55 dB. Neprimjerena razina buke u dužem trajanju naziva se zagađenje bukom, što utječe na fizičke i psihičke karakteristike ljudi izloženih takvoj glasnoći [3]. Provedena su različita istraživanja u pogledu zagađenja bukom, a u tijeku su istraživanja o njezinim učincima na ljudsko zdravlje [3].

Sljedeća Slika 1. daje prikaz razine buke kod određenih izvora.



Slika 1. Prikaz razine buke kod određenih zvukova

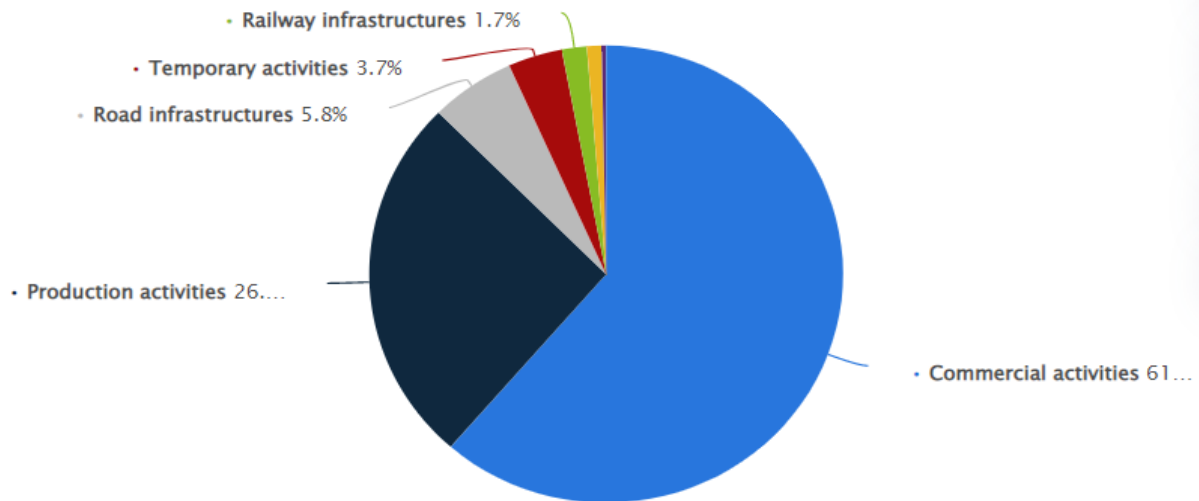
Izvor: [16]

Najveći izvori buke predstavljaju avionski i cestovni prijevoz, kao i sve vrste prijevoznih sredstava općenito. U usporedbi s tim, izvori buke kao što su rad računala, dječji plač i cvrčanje ptica imaju značajno manji utjecaj. Istraženi su razni čimbenici koji utječu na razine prometne buke na 40 signaliziranih raskrižja, prikupljanjem podataka o razinama buke i izvorima za koje se očekuje da će utjecati na buku [11]. Utvrđeno je da ekvivalentne razine buke uglavnom ovise o količini prometa. Maksimalne razine buke ovise o broju teških vozila koja prolaze kroz raskrižje i učincima sirena. Minimalne razine buke, s druge strane, ovise o teksturi površine kolnika [12].

Prema podacima, više od 100 milijuna Europljana izloženo je štetnim razinama prometne buke (iznad 55 dB Lden) u urbanim područjima. Oko 20 % stanovništva Europske unije izloženo je buci od cestovnog prometa većoj od 65 dB(A). Cestovni promet je glavni izvor buke u Europi, odgovoran za oko 90 % ukupne razine onečišćenja bukom od prometa. [13]

Više od 4,1 milijuna ljudi u Europi izloženo je buci iznad 55 dB tijekom noći u blizini velikih zračnih luka [14]. Oko 14 milijuna ljudi u Europskoj uniji izloženo je buci od željezničkog prometa iznad 55 dB(A) Lden [13]. Industrijska postrojenja i radovi u urbanim područjima doprinose buci kojoj je izloženo oko 9 milijuna ljudi u Europi, pri čemu razina buke prelazi 55 dB(A) [15]. Više od 22 milijuna ljudi u Europi izloženo je visokoj razini buke od različitih izvora u urbanim područjima (npr. glasna glazba, sirene, ulične aktivnosti) [4].

Sljedeći Grafikon 1. prikazuje kontrolirane izvore onečišćenja bukom u Italiji u cilju dobivanja uvida u najučestalije izvore zagađenja bukom.



Grafikon 1. Distribucija kontroliranih izvora onečišćenja bukom u Italiji u 2019., prema vrsti

Izvor: [16]

Grafikon ilustrira različite izvore buke prema njihovom postotku u ukupnom zagađenju bukom. Svaki dio grafikona predstavlja jedan izvor buke, a postotci pokazuju koliki udio u ukupnom zagađenju bukom taj izvor zauzima. Komercijalne aktivnosti čine najveći udio sa 61 %, što ukazuje na to da komercijalne aktivnosti, poput trgovina, restorana i drugih poslovnih objekata, dominiraju u stvaranju buke. Proizvodne aktivnosti predstavljaju 26 % ukupne buke, što znači da industrijske i proizvodne aktivnosti također značajno doprinose zagađenju bukom. Cestovna infrastruktura čini 5,8 % ukupne buke. Ovdje se radi o buci koja dolazi od cestovnog prometa i sličnih aktivnosti povezanih s cestama. Privremene aktivnosti sudjeluju sa 3,7 % u ukupnoj buci. To mogu biti povremene aktivnosti poput gradilišta, događaja ili drugih kratkotrajnih izvora buke. Željeznička infrastruktura ima najmanji udio sa 1,7 %, što pokazuje da željeznički promet i infrastruktura pridonose buci, ali u manjoj mjeri u usporedbi s ostalim izvorima. Ovaj grafikon pokazuje da su komercijalne aktivnosti glavni izvor buke, dok drugi izvori, poput industrije i cestovne infrastrukture, također imaju značajan, ali manji utjecaj. [16]

Prema podacima iz izvještaja Ministarstva zaštite okoliša i energetike Republike Hrvatske, cestovni promet je glavni izvor buke u urbanim područjima Hrvatske [17]. U Zagrebu i drugim većim gradovima, više od 60 % stanovništva izloženo je buci iznad 55 dB(A) zbog cestovnog

prometa [17]. Industrijska buka u Hrvatskoj prvenstveno dolazi iz industrijskih zona poput onih u Rijeci, Sisku i Slavonskom Brodu. U tim područjima, stanovnici su izloženi značajnim razinama buke, posebno tijekom radnih sati. Razine buke u industrijskim zonama često prelaze 70 dB(A), što premašuje preporučene granice za izloženost buci [18].

Zračna buka, osobito u blizini glavnih zračnih luka (Zagreb, Split, Dubrovnik), predstavlja problem za lokalno stanovništvo. U ovim područjima, buka tijekom noći često prelazi 50 dB(A). Željeznička buka je manji problem u Hrvatskoj, ali u gradovima kroz koje prolaze glavne željezničke pruge, stanovnici su izloženi buci između 55 i 65 dB(A). [19]

U većim gradovima poput Zagreba, Splita, Rijeke i Osijeka, urbana buka, uključujući buku iz ugostiteljskih objekata, prometa, i drugih izvora, često prelazi preporučene granice, osobito tijekom noćnih sati. U Zagrebu, prema istraživanjima, više od 40 % stanovništva izloženo je buci iznad 55 dB(A) u noćnim satima. [20]

2.2 Problematika zagađenja bukom u gradovima

Zagađenje bukom u urbanim sredinama predstavlja rastući problem s ozbiljnim posljedicama za zdravlje i kvalitetu života stanovnika. Gradovi, kao guste urbane sredine s visokom koncentracijom stanovništva i intenzivnim gospodarskim aktivnostima, generiraju velike količine buke. Glavni izvori buke u gradovima uključuju cestovni promet, industrijske aktivnosti, građevinske radove, javni prijevoz te društvene aktivnosti poput noćnih izlazaka i okupljanja. Prema istraživanjima, čak 80 % stanovnika europskih gradova izloženo je razinama buke koje premašuju preporučene granice. [14]

Zagađenje bukom u gradovima nije samo neugodno, već ima i značajan utjecaj na ljudsko zdravlje. WHO identificira buku kao važan ekološki stresor koji doprinosi različitim zdravstvenim problemima. Dugotrajna izloženost buci može izazvati kardiovaskularne bolesti, uključujući povišeni krvni tlak, srčane udare i moždane udare. Osim toga, buka može negativno utjecati na mentalno zdravlje, uzrokujući povećanu razinu stresa, anksioznost i poremećaje spavanja. Istraživanja pokazuju da su problemi sa snom osobito prisutni u bučnim urbanim sredinama, gdje je noćna buka često iznad preporučenih razina. [21]

Posebno su ugroženi djeca i ranjive skupine, poput starijih osoba i ljudi s kroničnim bolestima. Djeca izložena dugotrajnoj buci pokazuju smanjenje kognitivnih sposobnosti, poteškoće u učenju, te smanjenu koncentraciju i akademski uspjeh. Starije osobe i ljudi s već postojećim

zdravstvenim problemima također su podložniji štetnim učincima buke, što može dodatno narušiti njihovo zdravlje. [22]

Zagađenje bukom također ima značajne socijalne i ekonomske posljedice. Smanjena produktivnost na radnom mjestu, povećani zdravstveni troškovi i smanjenje vrijednosti nekretnina u bučnim područjima samo su neki od problema povezanih s bukom u urbanim sredinama. Nadalje, kontinuirana izloženost buci može narušiti društvenu koheziju i smanjiti kvalitetu života u zajednicama. [23] Naime, buka može stvoriti osjećaj nelagode, stresa i nesigurnosti među stanovnicima, što dugoročno dovodi do fragmentacije zajednica i smanjenja socijalne povezanosti. Ljudi koji žive u bučnim područjima često se povlače iz društvenih aktivnosti, što može dovesti do smanjenja socijalne interakcije i solidarnosti unutar zajednice.

Povećani zdravstveni troškovi rezultat su viših stopa bolesti povezanih s bukom, uključujući kardiovaskularne bolesti i mentalne poremećaje. Zbog toga se javni zdravstveni sustavi suočavaju s većim opterećenjem, što dodatno opterećuje resurse i smanjuje dostupnost zdravstvenih usluga za druge potrebe stanovništva. S obzirom na ove izazove, potrebno je hitno i sveobuhvatno djelovanje kako bi se smanjio utjecaj buke na društvo i gospodarstvo, uključujući implementaciju učinkovitih mjera za kontrolu i upravljanje bukom u urbanim sredinama. [23]

Različite strategije mogu se primijeniti kako bi se smanjilo zagađenje bukom u gradovima. Te mjere uključuju urbanističko planiranje koje podrazumijeva zoniranje i izgradnju zaštitnih barijera, promicanje javnog prijevoza i biciklizma kako bi se smanjila upotreba osobnih automobila, te regulaciju radnog vremena za industrijske i građevinske aktivnosti. Tehnološka unapređenja, poput tiših motora i boljih sustava izolacije, također su važna za smanjenje razina buke. [24]

Zagađenje bukom u gradovima predstavlja ozbiljan problem koji zahtijeva integrirane pristupe i učinkovite politike kako bi se zaštitilo zdravlje stanovnika i poboljšala kvaliteta života. Sve veći broj istraživanja naglašava potrebu za hitnim djelovanjem kako bi se umanjili negativni utjecaji buke na urbane populacije. Upravljanje bukom u urbanim sredinama ključno je za osiguravanje održivog razvoja gradova i unapređenje dobrobiti njihovih stanovnika.

2.2.1 Buka cestovnog prometa

Cestovni promet predstavlja najrasprostranjeniji izvor zagađenja bukom u urbanim sredinama, osobito u zemljama u razvoju, i glavni je uzročnik štetnih učinaka na zdravlje stanovništva.

Svakodnevna putovanja u gradovima, koja se često smatraju dominantnom dnevnom aktivnošću, dovode do izloženosti vrlo visokim razinama buke. [25]

Buka cestovnog prometa predstavlja značajan problem za zdravlje i okoliš, posebno u urbanim sredinama. Prema najnovijim podacima, najmanje 20 % Europljana, odnosno preko 100 milijuna ljudi, izloženo je dugotrajnoj buci iz cestovnog prometa na razinama koje se smatraju štetnima za zdravlje. U većini europskih gradova, više od polovice stanovnika izloženo je buci većoj od 55 decibela tijekom dana i noći, što može imati ozbiljne posljedice na zdravlje, uključujući ishemijsku bolest srca i poremećaje sna. [21]

Izloženost buci ima niz negativnih učinaka, uključujući povećanje broja slučajeva ishemijske bolesti srca, prerane smrti, poremećaje sna i kognitivna oštećenja kod djece. Procjenjuje se da buka u Europi godišnje uzrokuje 48.000 novih slučajeva ishemijske bolesti srca i doprinosi 12.000 preranih smrti. [26]

Direktiva EU-a o buci iz okoliša zahtijeva od država članica izradu karata buke i akcijskih planova, ali postoje problemi u njihovoj provedbi, što otežava preciznu procjenu i upravljanje ovim problemom. Također, buka ima negativne učinke na biljni i životinjski svijet, utječući na komunikaciju i ponašanje životinja, što dodatno naglašava potrebu za djelotvornim mjerama smanjenja buke. [13]

Buka vozila nastaje uslijed vibracija karoserije vozila i zvuka rada motora, a može se podijeliti na nekoliko vrsta, uključujući impulzivnu, kontinuiranu, isprekidanu i niskofrekventnu buku. Najveći dio buke vozila dolazi od trenja između guma i kolnika te otpora zraka. Uz to, loše održavana vozila mogu dodatno pojačati razinu buke. Buka vozila potječe iz dva glavna izvora: pogonskog sklopa ili motora, te guma. U automobilima srednje klase koristi se oko 50 kilograma akustičnog materijala, smještenog u krovu, podu, gumama, pogonskom sklopu, kućištu motora i vratima, s ciljem smanjenja buke.

Motorna buka nastaje tijekom procesa kompresije i ekspanzije u motoru, pri čemu se stvaraju vibracije koje emitiraju zvuk. Intenzitet ove buke ovisi o volumenu, brzini i kapacitetu motora. Buka usisnog sustava proizlazi iz otvaranja i zatvaranja usisnih ventila, a njezin intenzitet varira s brojem okretaja motora i tipom filtera zraka. Buka iz ispušnog sustava javlja se pri naglom ispuštanju plinova kroz ispušni ventil, dok buka ventilatora nastaje zbog rada ventilatora u vozilu, pri čemu ventilatori općenito proizvode širokopoljasnu buku. Buka guma je rezultat

kontakta između guma i površine ceste, a njezin intenzitet ovisi o vrsti kolnika, konstrukciji gume te brzini i stilu vožnje.

Zvuk koji nastaje zbog interakcije između gume i vrste ceste također pridonosi prometnoj buci. Karakteristike površine kolnika glavni su čimbenici buke koja nastaje zbog interakcije gume i kolnika [13]. Istraživana je vremenska i prostorna varijabilnost prometne buke u Torontu i uočeno je da je varijabilnost buke pretežno prostorne prirode (a ne vremenske) [12, 27]. Neovisne varijable, kao što su obujam prometa, duljina glavne ceste i industrijsko područje, objašnjavaju većinu prostorne varijabilnosti buke. Buka koja nastaje uslijed prometa povezana je s parametrima kao što su vrsta kolnika, brzina vozila i sastav prometa [28].

2.2.2 Buka u zračnom prometu

Zračni promet predstavlja jedan od značajnijih izvora zagađenja bukom, posebno u područjima u blizini aerodroma i duž zračnih ruta. Zvuk koji stvaraju zrakoplovi tijekom uzlijetanja, slijetanja i leta može imati ozbiljan utjecaj na zdravlje i dobrobit ljudi, kao i na okoliš. Buka uzrokovana zračnim prometom može dovesti do problema sa spavanjem, povećanog stresa, kardiovaskularnih bolesti i drugih zdravstvenih problema kod ljudi koji žive u blizini aerodroma [21].

Osim toga, zračni promet može utjecati i na mentalno zdravlje. Kronična izloženost buci zrakoplova povezana je s povećanom razinom anksioznosti i depresije. Značajan problem predstavlja i narušavanje obrazovnog procesa kod djece, s obzirom na to da buka zrakoplova može ometati koncentraciju i sposobnost učenja, što dugoročno može imati negativne posljedice na obrazovni uspjeh djece. Ekološki gledano, buka uzrokovana zračnim prometom može ometati migracijske rute ptica i druge životinjske vrste, čime se ugrožava biološka raznolikost. Također, zračni promet može poremetiti prirodne obrasce ponašanja životinja, poput komunikacije i traženja hrane, što može dovesti do smanjenja populacija određenih vrsta. [13]

Buka u zračnom prometu postala je značajan problem s razvojem komercijalne avijacije, posebno nakon Drugog svjetskog rata. Tijekom povijesti, statistika o buci u zračnom prometu pokazuje promjene u percepciji buke, tehničkom napretku i regulatornim mjerama.

Povijesna statistika i trendovi [29], [30]:

1950. i 1960.:

- Razvoj mlaznih motora u 1950. doveo je do znatno većih razina buke u usporedbi s prethodnim generacijama zrakoplova s klipnim motorima.
- Boeing 707 i Douglas DC-8, prvi komercijalni mlazni avioni, izazvali su pritužbe zbog buke u blizini zračnih luka diljem svijeta.
- Više od 7 milijuna ljudi bilo je izloženo razinama buke iznad 65 dB u blizini velikih američkih zračnih luka.

1970.:

- Uvođenjem tehnoloških poboljšanja, kao što su "high bypass" turboventilatorski motori, buka je smanjena, ali još uvijek je bila značajan problem.
- Prema izvješću Međunarodne organizacije civilnog zrakoplovstva (ICAO) iz 1971. godine, uvedeni su prvi standardi buke za zrakoplove (Annex 16).
- Unatoč tome, 1970., više od 25 % stanovništva u blizini velikih europskih zračnih luka bilo je izloženo buci većoj od 55 dB.

1980. i 1990.:

- Uvođenje tiših zrakoplova kao što su Boeing 757 i Airbus A320 značajno je smanjilo razinu buke.
- U 1990., broj ljudi izloženih buci iznad 65 dB u SAD-u smanjio se na manje od 500.000, prema FAA.
- Europska unija uvela je direktive o buci u okolišu (Direktiva 2002/49/EC) koje su obavezivale zemlje članice na praćenje i smanjenje buke u zračnom prometu.

2000. i dalje:

- Napredak u tehnologiji zrakoplova, poput Boeing 787 i Airbus A350, dodatno je smanjio buku.
- Prema podacima iz 2019. godine, broj ljudi izloženih buci iznad 55 dB u Europskoj uniji smanjen je za oko 20 % u odnosu na 2000. godinu.
- Globalno, Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (ICAO) izvijestila je da su zrakoplovi proizvedeni nakon 2010. godine u prosjeku 50 % tiši u usporedbi s onima iz 1960.

2.3 Posljedice zagađenja bukom na ljudsko zdravlje i okoliš

Zagađenje bukom kao kategorija zagađenja životne sredine često je u drugom planu kao promatrana kategorija u odnosu na zagađenje tla, vode ili zraka. Utjecaji motornih vozila na okoliš u obliku onečišćenja zraka i buke na okoliš privlače sve veći interes posljednjih godina. [31]

2.3.1 Fiziološki i psihološki utjecaji buke na ljude

Prema podacima, buka je drugi najvažniji čimbenik, odmah nakon onečišćenja zraka, koji negativno utječe na zdravlje ljudi. Prometna buka je jedan od najraširenijih ekoloških problema u Europskoj uniji, a njezini negativni učinci su sveprisutni. Buka ometa svakodnevne aktivnosti ljudi u školi, na poslu, kod kuće, pa čak i tijekom slobodnog vremena, uzrokujući niz ozbiljnih zdravstvenih problema. [21]

Nije samo gubitak sluha posljedica dugotrajne izloženosti buci; buka također povećava rizik od razvoja bolesti srca, otežava učenje kod djece i dovodi do poremećaja spavanja. Buka cestovnog prometa može značajno poremetiti ljudski ciklus spavanja, uzrokujući kratkoročne smetnje poput produljene latencije spavanja, plitkog sna i smanjenja ukupnog trajanja sna [3]. Dugotrajna izloženost buci može rezultirati bihevioralnim, psihološkim i fiziološkim stresom [32]. Također, postoji mogućnost nepovratnog gubitka sluha zbog stalne izloženosti buci visokog intenziteta [33]. Dokazi potvrđuju uzročnu vezu između izloženosti buci i oštećenja sluha, hipertenzije, ishemijske bolesti srca, osjećaja uznemirenosti i poremećaja sna, kako je navedeno u preglednom članku [11].

Osim toga, izloženost buci ima izrazito negativan učinak na zdravlje djece. Djeca koja su dugotrajno izložena buci cestovnog prometa suočena su s većim rizikom od razvoja kroničnih poremećaja u regulaciji hormona stresa [34]. Studije su također pokazale značajnu povezanost između izloženosti buci i prevalencije hipertenzije, što su potvrdili autori koristeći logističku regresiju [35].

Utvrđena su značajna otkrića o odnosu buke i kardiovaskularnih bolesti, te produljena izloženost buci može pridonijeti prevalenciji kardiovaskularnih bolesti [35]. Dakle, buka uzrokuje poremećaj sna, oštećenje sluha, čak i kardiovaskularne bolesti te otežava učinak na poslu i učenje kod djece. Ipak, buka od prometa mogla bi se lako prepoloviti uz postojeću tehnologiju ako se usvoje stroža ograničenja.

Gotovo 60 milijuna odraslih osoba koje žive u europskim gradovima izloženo je nezdravim razinama buke koju proizvode vozila, a koja može biti izrazito štetna za njihovo zdravlje. Istraživači s Barcelonskog instituta za globalno zdravlje procijenili su razine buke uzrokovane cestovnim prometom i analizirali njezin utjecaj na zdravlje u 749 europskih gradova. Prema njihovim rezultatima, usklađenost sa smjernicama WHO o razini buke mogla bi spriječiti čak 3.600 smrtnih slučajeva godišnje, samo od srčanih bolesti. [36]

Cestovni promet predstavlja glavni izvor buke u urbanim sredinama, a brojna istraživanja su potvrdila da je buka povezana s nizom ozbiljnih zdravstvenih problema.

1. **Poremećaji spavanja:** Istraživanje je pokazalo je da buka uzrokovana cestovnim prometom može značajno poremetiti kvalitetu sna, dovodeći do kratkotrajnog i plitkog sna, što na kraju smanjuje ukupno trajanje sna [14].
2. **Povećana razina stresa:** Dugotrajna izloženost buci može uzrokovati kronični stres. Oni su otkrili da kontinuirana izloženost buci uzrokuje oslobađanje hormona stresa, povećanje broja otkucaja srca i krvnog tlaka, što može dovesti do ozbiljnih kardiovaskularnih bolesti [37].
3. **Kardiovaskularne i metaboličke bolesti:** Znanstveni pregled u časopisu *Journal of the American College of Cardiology* zaključio je da je buka iz okoliša, osobito ona povezana s prometom, značajan čimbenik rizika za razvoj kardiovaskularnih bolesti i metaboličkih poremećaja [37].
4. **Nepovoljni ishodi trudnoća:** Istraživanja sugeriraju da je buka povezana s povećanim rizikom od nepovoljnih ishoda trudnoće, uključujući prijevremeni porod i nisku porođajnu težinu. U radu autori su identificirali vezu između izloženosti buci i komplikacija u trudnoći [24].
5. **Kognitivna oštećenja i mentalno zdravlje:** U istraživanju koje je objavljeno u časopisu *Lancet Public Health* 2017., istaknuto je da izloženost buci iz cestovnog prometa može utjecati na kognitivne funkcije, posebice kod djece, te može pridonijeti razvoju depresije i anksioznih poremećaja [24].

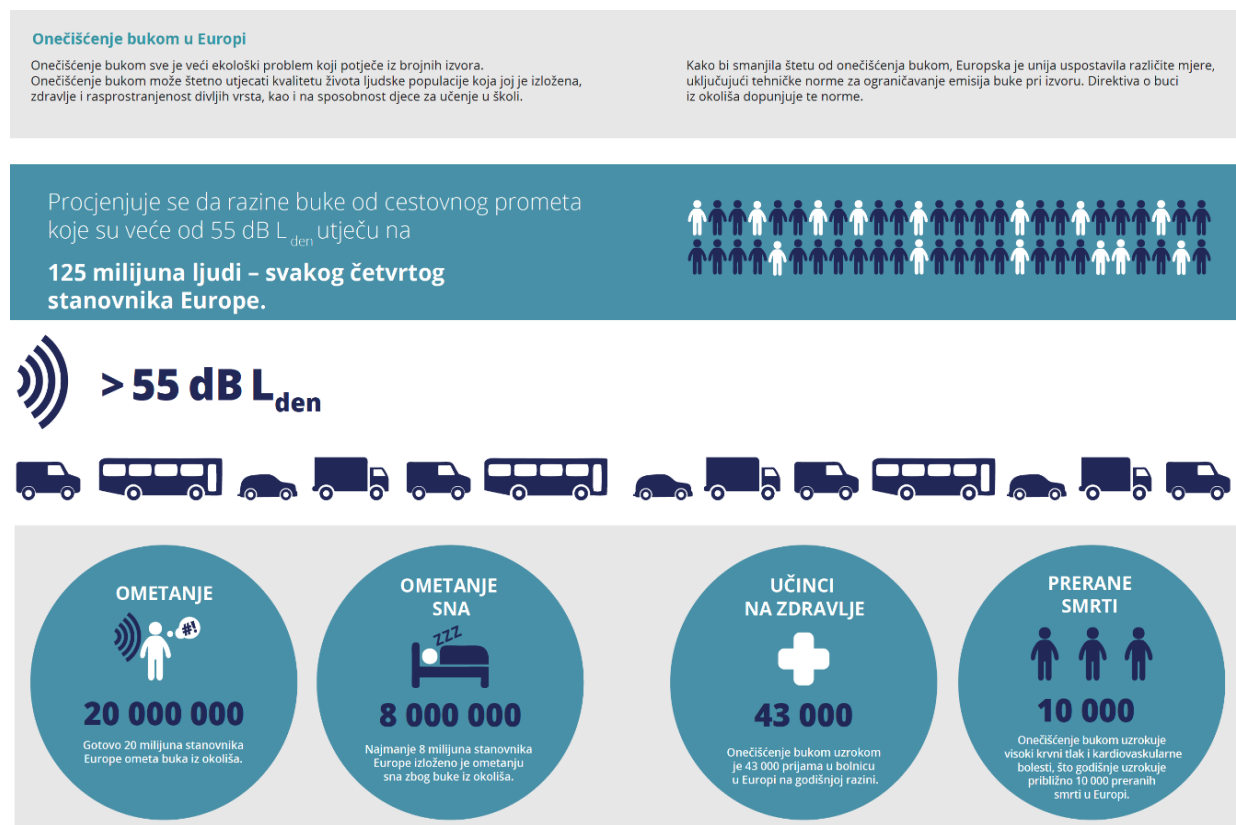
Podaci korišteni za ovu studiju preuzeti su iz skupa podataka Urban Audit 2018, a izloženost buci cestovnog prometa procijenjena je korištenjem karata buke koje su izradile zemlje i gradovi prema važećem europskom zakonodavnom okviru ili koje su dostupne iz lokalnih izvora. Rezultati su pokazali da je više od 48 posto od 123 milijuna odraslih osoba (u dobi od

20 godina ili starijih) uključenih u studiju bilo izloženo razinama buke koje premašuju pragove preporučene od strane WHO-a. [36]

Postotak stanovništva izloženog razinama buke višim od preporučenih u europskim glavnim gradovima kreće se od 29,8 % u Berlinu do 86,5 % u Beču, uključujući 43,8 % u Madridu i 60,5 % u Rimu. Studija je također otkrila da je više od 11 milijuna odraslih osoba izrazito iritirano bukom cestovnog prometa, što se manifestira kroz često ometanje svakodnevnih aktivnosti poput komunikacije, čitanja, rada i spavanja. [36]

Izloženost buci iznad preporučenih razina u europskim glavnim gradovima varira: 29,8 % stanovnika u Berlinu, 43,8 % u Madridu, 60,5 % u Rimu, te čak 86,5 % u Beču. Osim toga, studija je pokazala da je više od 11 milijuna odraslih osoba izrazito iritirano bukom cestovnog prometa, što se očituje u čestom ometanju svakodnevnih aktivnosti poput komunikacije, čitanja, rada i spavanja. [13]

Slika 2. prikazuje određene ključne informacije o zagađenju bukom u Europi. Ono predstavlja sve veći ekološki problem koji potječe iz niza izvora.



Slika 2. Onečišćenje bukom u EU

Izvor: [36]

Ova slika prikazuje infografiku koja se odnosi na problem zagađenja bukom u Europi. Slika naglašava koliko je zagađenje bukom postalo značajan ekološki problem koji utječe na zdravlje i kvalitetu života stanovnika. Ključni podaci prikazani su kroz različite elemente infografike. U gornjem dijelu infografike ističe se da zagađenje bukom ima značajan negativan utjecaj na kvalitetu života, zdravlje stanovništva, kao i na životinjske vrste. Europska unija je zbog toga uvela različite mjere kako bi smanjila štetu od buke, uključujući tehničke norme za ograničavanje emisija buke i dodatne propise u vezi s bukom iz okoliša. Prikazano je da razina buke od cestovnog prometa veća od 55 dB L_{den} utječe na 125 milijuna ljudi u Europi, što je ekvivalent svakom četvrtom stanovniku kontinenta.

Oko 20 milijuna stanovnika Europe doživljava ometanje zbog buke iz okoliša. Najmanje 8 milijuna ljudi u Europi pati od ometanja sna zbog zagađenja bukom, što može imati dugoročne negativne posljedice na zdravlje. Zagađenje bukom uzrokuje 43.000 hospitalizacija godišnje zbog problema povezanih s bukom, poput kardiovaskularnih bolesti i drugih zdravstvenih tegoba. Zagađenje bukom dovodi do otprilike 10.000 preranih smrti godišnje u Europi, uglavnom zbog kardiovaskularnih bolesti izazvanih dugotrajnom izloženošću visokoj razini buke. Ova infografika jasno pokazuje da je zagađenje bukom ozbiljan problem u Europi koji utječe na zdravlje velikog broja ljudi. Podaci prikazani u infografici sugeriraju potrebu za daljnjim mjerama i regulacijama kako bi se smanjio negativan utjecaj buke na stanovništvo i okoliš.

2.3.2 Utjecaj buke na ekosustave i divlje životinje

Mnoge vrste zvukova koje proizvode ljudske aktivnosti predstavljaju zagađenje bukom koje ima značajan utjecaj na biološku raznolikost. Ovaj oblik onečišćenja može uzrokovati stres kod divljih životinja, ometati njihovu komunikaciju, navigaciju i parenje te smanjiti njihove šanse za preživljavanje. Zvučna zagađenja proizlaze iz raznih izvora, uključujući cestovna vozila [38], brodove [39], zrakoplove [40], kao i industrijske aktivnosti [16]. Istraživanja su pokazala da buka iz cestovnog prometa može smanjiti broj ptica u urbanim područjima, dok buka iz brodskog prometa može ozbiljno poremetiti navigacijske sposobnosti morskih sisavaca poput kitova. Zrakoplovni promet također ima širok spektar učinaka, od uznemiravanja ptica u njihovim gnijezdilištima do ometanja komunikacije kod šišmiša. Industrijski zvukovi, uključujući rad teške mehanizacije i postrojenja, mogu imati ozbiljne posljedice na lokalnu faunu, uključujući promjene u obrascima ponašanja i fiziološkim odgovorima životinja [41], [42].

Prirodni zvukovi u krajoliku izrazito su važni za funkcioniranje ekosustava jer omogućuju normalnu interakciju među vrstama i njihovo prilagođavanje na okolišne uvjete. Akustični okoliš igra ključnu ulogu u životu životinja, omogućujući im uspješno korištenje staništa. Sluh je životinjama potreban za komunikaciju unutar vrsta, obilježavanje teritorija, pronalaženje i procjenu kvalitete staništa, udvaranje i parenje, brigu i zaštitu mladih, te pri lovu i izbjegavanju predatora. Na primjer, ptice koriste pjev za obranu teritorija i privlačenje partnera, dok šišmiši koriste eholokaciju za navigaciju i lov na plijen. U tom kontekstu, važno je razlikovati prirodne zvukove od buke. Buka se odnosi na zvukove koji negativno utječu na okoliš, remeteći prirodne procese i interakcije, te je kao takva nepoželjna u ekosustavima. [43]

Mnoga istraživanja pokazala su da zvukovi koje stvaraju ljudske aktivnosti mogu imati značajan utjecaj na životinje. Međutim, zvuk sam po sebi nije problematičan. Većina vrsta koristi, čuje i emitira zvukove u svrhu preživljavanja. Zvukovi su često ključni za komunikaciju između partnera ili srodnika, kao i za otkrivanje plijena ili grabežljivaca [44]. Problem nastaje kada se zvukovi pretvore u "buku", tj. u smetnju ili oblik onečišćenja. U tom slučaju, zvukovi koje stvara čovjek mogu prikriti i spriječiti prirodne zvukove životinja, kao i ometati životinjsku audiciju, što se pokazalo štetnim za komunikaciju [45], korištenje prostora [46] i reprodukciju [47].

Intruzivni zvukovi, tj. buka, uzrokuju fiziološke promjene i promjene u ponašanju kod životinja. Istraživanja pokazuju da određene karakteristike buke mogu povećati razinu hormona stresa u organizmima. Buka kod životinja izaziva stres, što rezultira većom potrošnjom energije, čineći ih manje otpornima na bolesti i negativno utječući na razmnožavanje. Mnoge divlje životinje izbjegavaju bučna područja, što ograničava broj njihovih staništa, a time i brojnost populacija. [43]

Ptice koje žive u bučnom okolišu prisiljene su pjevati glasnije kako bi nadvladale buku. Ovo glasnije pjevanje zahtijeva više energije, što smanjuje vrijeme i energiju dostupnu za hranjenje i brigu o mladima. Često se događa da ptice izložene kroničnoj buci imaju smanjenu sposobnost razmnožavanja, budući da im buka ometa gniježđenje. Poznato je da buka uznemiruje ptice gnjezdarice, prisiljavajući ih da napuste gnijezda, ostavljajući jaja i mlade izložene predatorima. [43]

Ovaj problem nije ograničen samo na kopnena staništa. Sve veća buka ne utječe samo na životinje na kopnu, već postaje i sve veći problem za one koje žive u oceanu. Brodovi, naftne bušotine, sonari i seizmička ispitivanja pretvorili su nekoć mirno morsko okruženje u glasno i

kaotično područje. Kitovi i dupini, koji se oslanjaju na eholokaciju za komunikaciju, navigaciju, hranjenje i pronalaženje partnera, posebno su pogođeni bukom. Prekomjerna buka ometa njihovu sposobnost učinkovite eholokacije, što može rezultirati dezorijentacijom, povećanom stopom stradanja i smanjenom reproduktivnom uspješnošću. [48], [49]

Primjer problema zagađenja bukom može se vidjeti u Nacionalnom parku Big Bend u SAD-u, gdje su zrakoplovi s obližnje vojne baze nadlijetali područje parka, što je negativno utjecalo na uspješnost gniježđenja sokola. Problem je riješen preusmjeravanjem zrakoplova sa zračnog prostora Nacionalnog parka. Nažalost, slične probleme teže je riješiti u priobalju, gdje su brodovi glavni uzrok uznemiravanja ptica. Buka ne ugrožava samo ptice; mnoge druge životinje, poput velikih mačaka koje se oslanjaju na sluh pri lovu, također su ugrožene zbog buke, što smanjuje njihovu uspješnost lova. [43]

2.3.3 Ekonomski troškovi povezani sa zagađenjem bukom

Ekonomski troškovi povezani sa zagađenjem bukom u urbanim sredinama su značajni i uključuju različite aspekte, kao što su povećani zdravstveni troškovi, smanjena produktivnost, pad vrijednosti nekretnina i dodatni troškovi za smanjenje buke.

1. **Zdravstveni troškovi:** Buka uzrokovana prometom može dovesti do zdravstvenih problema kao što su stres, poremećaji spavanja, hipertenzija i kardiovaskularne bolesti, što povećava troškove zdravstvene zaštite. WHO procjenjuje da zagađenje bukom doprinosi značajnom gubitku zdravih godina života u Europi. Buka prometa značajno doprinosi povećanju zdravstvenih troškova [50].
2. **Smanjena produktivnost:** Visoka razina buke može ometati koncentraciju i radnu sposobnost, što rezultira smanjenjem produktivnosti. Buka značajno utječe na produktivnost radnika, što u konačnici može uzrokovati ekonomske gubitke [51].
3. **Pad vrijednosti nekretnina:** Nekretnine smještene u bučnim područjima, poput onih u blizini prometnica ili zračnih luka, često imaju nižu tržišnu vrijednost. Svaki porast buke za 1 decibel može smanjiti vrijednost nekretnine za 0,62 % [52].
4. **Troškovi smanjenja buke:** Vlade i privatni sektor često ulažu značajna sredstva u smanjenje zagađenja bukom, uključujući postavljanje zvučnih barijera, poboljšanje infrastrukture i zamjenu vozila manje bučnim alternativama. Ovi troškovi su znatni i predstavljaju dodatno financijsko opterećenje [53].

Procjenjuje se da ukupni ekonomski troškovi zagađenja bukom u Europskoj uniji dosežu desetke milijardi eura godišnje. Na primjer, ekonomski troškovi povezani sa zdravstvenim posljedicama zagađenja bukom u EU procjenjuju se na 40 milijardi eura godišnje. Ovi troškovi čine zagađenje bukom ne samo ekološkim i zdravstvenim, već i ozbiljnim ekonomskim problemom koji zahtijeva pažnju i djelovanje [13].

3. MJERE ZA SMANJENJE ZAGAĐENJA BUKOM

Zbog ubrzane urbanizacije i značajnog porasta prometa, s godišnjom stopom rasta od preko 7,5 %, sve više gradova suočava se s negativnim učincima zagađenja bukom [13]. Prema WHO-u, svijest o opasnostima buke ključna je za suzbijanje ovog nevidljivog, ali vrlo prisutnog problema. WHO procjenjuje da buka iz okoliša predstavlja drugi najveći ekološki rizik za javno zdravlje u Europi, odmah nakon zagađenja zraka [13].

Europska unija u svojoj borbi protiv zagađenja bukom koristi dvostruku strategiju koja uključuje mjere za smanjenje (mitigaciju) buke, kao i mjere prilagodbe. Dok je smanjenje prometa moguće kroz unapređenje urbanističkog planiranja i promicanje održivog prijevoza, motorni promet i dalje će biti značajan izvor buke. Ključni izazov je pronaći učinkovite načine za smanjenje njegovog negativnog utjecaja na stanovništvo, uključujući razvoj tiših vozila, zvučnih barijera i poboljšanje infrastrukture.

Znanstvena istraživanja potvrđuju da dugotrajna izloženost buci može dovesti do brojnih zdravstvenih problema, uključujući poremećaje spavanja, kardiovaskularne bolesti, te povećan rizik od mentalnih poremećaja poput anksioznosti i depresije. Stoga, svijest o važnosti smanjenja zagađenja bukom i kontinuirana implementacija učinkovitih mjera postaju ključne komponente za poboljšanje kvalitete života u urbanim sredinama. [54]

Regulacije vezane uz razinu buke u urbanim sredinama ključne su za zaštitu zdravlja stanovnika i očuvanje kvalitete okoliša. Standardi obično postavljaju maksimalno dopuštene razine buke u različitim vrstama područja (stambena, komercijalna, industrijska) te definiraju metode mjerenja i kontrolu buke. WHO je postavila smjernice za okolišnu buku koje preporučuju maksimalne razine buke kako bi se smanjili rizici za zdravlje. Prema WHO-u, preporučena razina buke tijekom noći ne bi trebala prelaziti 40 dB(A) kako bi se spriječili poremećaji spavanja, dok dnevne razine buke u stambenim područjima ne bi smjele prelaziti 55 dB(A). [21]

Mnoge zemlje imaju svoje specifične zakone i regulacije koje se temelje na međunarodnim smjernicama i preporukama. Na primjer, Njemačka ima stroge propise koji postavljaju maksimalne dopuštene razine buke za različite tipove područja, dok Ujedinjeno Kraljevstvo koristi smjernice Nacionalnog plana za okolišnu buku (eng. *Noise Policy Statement for England*, NPSE) za regulaciju buke i zaštitu stanovništva [55]. Osim nacionalnih i međunarodnih standarda, mnogi gradovi i općine razvijaju vlastite regulacije za kontrolu buke.

Primjerice, Pariz je donio Plan za borbu protiv buke u kojem se identificiraju najbučnija područja i predlažu specifične mjere za smanjenje buke, poput uvođenja zona smanjenja brzine i postavljanja zvučnih barijera [56]. Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO) također pruža smjernice kroz seriju ISO 1996, koja definira metode za mjerenje, prikazivanje i procjenu buke u okolišu. Ovi standardi su temelj za mnoge nacionalne regulative o buci i koriste se za osiguranje konzistentnosti u mjerenju buke na globalnom nivou [57].

3.1 Zakonska regulativa

U Republici Hrvatskoj zagađenje bukom regulirano je kroz nekoliko zakona, pravilnika i odluka, čime se nastoji osigurati zaštita stanovništva od prekomjerne izloženosti buci koja može narušiti zdravlje i kvalitetu života. Ključni propisi uključuju [58], [59], [60].

1. **Zakon o zaštiti od buke** (NN 30/09, 55/13, 153/13) - Ovaj zakon je temeljni propis koji definira mjere za sprječavanje i smanjenje štetnih učinaka buke na zdravlje ljudi. Njime se propisuje način i uvjeti mjerenja razina buke, dopuštene razine buke u različitim okruženjima (npr. stambena područja, industrijske zone), kao i obveze lokalne samouprave i pravnih subjekata u pogledu zaštite od buke. Također, zakon predviđa kazne za prekoračenje dopuštenih razina buke.
2. **Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave** (NN 145/04) - Ovim pravilnikom detaljno se određuju najviše dopuštene razine buke za različite vrste okoliša, kao što su stambena područja, škole, bolnice i industrijske zone. Također, pravilnik specificira metode za mjerenje buke i periodičnost provjere razina buke.
3. **Zakon o zaštiti okoliša** (NN 80/13, 153/13, 78/15, 12/18) - Ovaj zakon postavlja širi okvir za zaštitu okoliša, unutar kojeg se zagađenje bukom tretira kao jedan od oblika zagađenja. Zakon predviđa izradu strateških karata buke i akcijskih planova za upravljanje bukom na nacionalnoj i lokalnoj razini, posebno u urbanim sredinama i uz glavne prometnice.
4. **Odluke i propisi lokalnih samouprava** - Osim nacionalnih zakona, lokalne jedinice samouprave (gradovi i općine) donose svoje odluke kojima detaljnije reguliraju pitanja buke na svom području, često u kontekstu komunalnog reda, radnog vremena ugostiteljskih objekata, te organizacije događanja na otvorenom.

U praksi, provođenje zakonskih odredbi osigurava inspekcija zaštite okoliša, dok su lokalne jedinice odgovorne za provedbu i praćenje specifičnih mjera zaštite od buke unutar svojih granica.

Zagađenje bukom u Europskoj uniji regulirano je kroz niz direktiva i preporuka, koje države članice, uključujući Hrvatsku, moraju transponirati u svoje nacionalno zakonodavstvo. EU regulira buku kroz Direktivu o okolišnoj buci (2002/49/EC), koja obvezuje države članice da izrade karte buke za glavne ceste, željeznice, zračne luke i veće aglomeracije. Ova direktiva također zahtijeva izradu planova djelovanja za smanjenje buke gdje je to potrebno. Cilj je osigurati da razina buke u okolišu ne prelazi vrijednosti koje mogu štetno utjecati na zdravlje stanovnika. Izvještaji Europske agencije za okoliš (EEA) redovito procjenjuju provedbu ovih regulativa i njihovu učinkovitost u smanjenju zagađenja bukom. [61]

Ključni propisi na razini EU su:

1. **Direktiva 2002/49/EC (Direktiva o buci u okolišu)** - Ova direktiva je ključni propis EU koji postavlja okvir za ocjenjivanje i upravljanje bukom u okolišu. Cilj je smanjiti izloženost stanovništva buci u urbanim sredinama, uz glavne prometnice, željeznice i oko velikih zračnih luka. Direktiva zahtijeva od država članica da izrade **strateške karte buke** za određena područja te da na temelju tih karata izrade **akcijske planove** za smanjenje buke. Također, direktiva propisuje obvezu informiranja javnosti o razinama buke i mjerama koje se poduzimaju.
2. **Direktiva 2000/14/EC** - Ova direktiva odnosi se na emisiju buke u okoliš opreme za korištenje na otvorenom. Propisuje maksimalne dopuštene razine buke za različite vrste opreme (npr. kosilice, građevinske strojeve), te uvjete za označavanje i certifikaciju proizvoda koji moraju zadovoljiti zadane standarde prije stavljanja na tržište.
3. **Direktiva 2003/10/EC (Direktiva o zaštiti radnika od rizika povezanih s izloženošću buci)** - Ova direktiva postavlja minimalne zahtjeve za zaštitu radnika od opasnosti povezanih s izloženošću buci na radnom mjestu. Propisuje granice izloženosti buci, obveze poslodavaca u pogledu provođenja mjerenja i procjene rizika, te mjere zaštite i prevencije.
4. **Europska politika zaštite okoliša** - Osim specifičnih direktiva, zagađenje bukom je obuhvaćeno i širim okvirom politike zaštite okoliša EU, koja uključuje ciljeve smanjenja zagađenja, očuvanja zdravlja i kvalitete života građana. Europska komisija

redovito prati i izvještava o provedbi ovih direktiva te pruža smjernice za njihovo unapređenje.

Provedba ovih propisa u državama članicama nadzire se kroz mehanizme izvješćivanja i inspekcije, a države su obvezne osigurati da njihovi nacionalni propisi budu u skladu s europskim direktivama te da se učinkovito primjenjuju na terenu.

Europska unija (EU) provodi rigoroznu politiku regulacije buke u okolišu kroz Direktivu o okolišnoj buci (2002/49/EC). Ova direktiva predstavlja ključni instrument za procjenu i upravljanje bukom u državama članicama EU. Osnovni cilj Direktive je zaštita zdravlja stanovništva od štetnih učinaka buke iz okoliša, kao i poboljšanje kvalitete života u urbanim sredinama.

Prema Direktivi, sve države članice EU-a obvezne su izraditi karte buke za glavne izvore buke, uključujući velike ceste, željezničke pruge, zračne luke i aglomeracije s više od 100.000 stanovnika. Karte buke omogućuju identifikaciju područja s visokom razinom buke i pomažu u procjeni izloženosti stanovništva buci. [30]

Direktiva također zahtijeva izradu akcijskih planova za smanjenje razina buke u područjima gdje su prekoračene granične vrijednosti koje mogu negativno utjecati na zdravlje ljudi. Ovi planovi djelovanja usmjereni su na ublažavanje buke kroz različite mjere, kao što su poboljšanje infrastrukture, primjena zvučnih barijera i smanjenje brzine prometa u urbanim područjima. [62]

Europska agencija za okoliš (EEA) redovito prati provedbu ove direktive i objavljuje izvještaje o njezinoj učinkovitosti. Izvještaji EEA pokazuju da su, unatoč značajnom napretku, mnoge europske države još uvijek suočene s izazovima u smanjenju zagađenja bukom. Prema posljednjim podacima, više od 100 milijuna ljudi u EU i dalje je izloženo razinama buke koje premašuju preporuke WHO. Prema znanstvenim istraživanjima, izloženost buci može dovesti do ozbiljnih zdravstvenih problema, uključujući kardiovaskularne bolesti, poremećaje spavanja i kognitivna oštećenja. Iz tih razloga, implementacija Direktive o okolišnoj buci ima ključnu ulogu u smanjenju ovih zdravstvenih rizika i poboljšanju općeg blagostanja stanovništva. [52]

3.2 Upravljanje prometnim sustavom

Različite mjere mogu se primijeniti kako bi se smanjila buka u gradovima, a one uključuju sljedeće strategije [21], [13]:

1. Uvođenje zona smanjenog prometa:

- **Pješačke zone i zone smirenog prometa:** Pješačke zone i zone smirenog prometa (npr. zone s ograničenom brzinom do 30 km/h) mogu značajno smanjiti razinu buke u središtima gradova. Uvođenjem ovakvih zona smanjuje se broj vozila, a time i buka koju proizvode. Osim toga, ograničavanje brzine smanjuje intenzitet buke koju stvaraju vozila.
- **Prometne regulacije:** Ograničavanje pristupa vozilima u određene dijelove grada ili u određeno vrijeme može također pridonijeti smanjenju buke, primjerice, zabrana ulaska teških teretnih vozila u središte grada tijekom noći.

2. Promicanje javnog prijevoza:

- **Poboljšanje kvalitete i dostupnosti javnog prijevoza:** Uvođenje učinkovitih i ekološki prihvatljivih sustava javnog prijevoza, poput tramvaja, autobusa na električni pogon ili metroa, može smanjiti potrebu za korištenjem osobnih automobila, što će posljedično smanjiti razinu buke.
- **Poticanje korištenja bicikala i pješaćenja:** Gradovi mogu poticati korištenje bicikala i pješaćenja izgradnjom biciklističkih staza i pješačkih zona, što također smanjuje promet automobilima i buku.

3. Prometna regulacija i inteligentni sustavi upravljanja prometom (ITS):

- **Sinkronizacija semafora i optimizacija protoka prometa:** Inteligentni sustavi upravljanja prometom mogu pomoći u optimizaciji protoka prometa, smanjenju gužvi i zastoja, što smanjuje buku uzrokovanu čestim zaustavljanjima i kretanjem vozila.
- **Praćenje i upravljanje prometnim tokovima u stvarnom vremenu:** Upotreba tehnologija za praćenje prometa omogućuje upravljanje prometnim tokovima u stvarnom vremenu, što može pomoći u smanjenju zastoja i buke u najprometnijim dijelovima grada.

4. Promicanje održive urbane mobilnosti:

- **Razvoj koncepta "zelenih" prometnih koridora:** Uvođenjem zelenih prometnih koridora, koji su dizajnirani za minimalizaciju emisija i buke, može se stvoriti tiše i zdravije urbano okruženje.
- **Integracija urbanističkog planiranja i prometne politike:** Dobar urbanistički plan može pomoći u smanjenju potrebe za putovanjem automobilom, promicanjem mješovite upotrebe zemljišta i osiguranjem da su ključne usluge dostupne pješacom ili biciklističkom udaljenošću.

3.3 Infrastrukturna rješenja

Infrastrukturna rješenja predstavljaju ključan element u smanjenju buke u gradovima, omogućujući dugoročne i održive načine za smanjenje izloženosti građana prekomjernoj buci. Različite vrste infrastrukture, od prometnih površina do zgrada i zelenih površina, mogu biti dizajnirane i prilagođene kako bi apsorbirale, reflektirale ili prigušile zvukove, čime se stvara ugodnije životno okruženje. Neke od najvažnijih mjera koje se koriste su [63], [64], [65]:

1. Izgradnja zvučnih barijera:

- **Zvučne barijere uz prometnice:** Postavljanje zvučnih barijera uz glavne ceste, željezničke pruge ili zračne luke učinkovito smanjuje razinu buke koja se širi prema okolnim stambenim područjima. Ove barijere mogu biti izrađene od različitih materijala poput betona, drveta, stakla ili specijalnih kompozitnih materijala, a njihov dizajn može biti prilagođen estetskim zahtjevima urbanog prostora.
- **Zelene zvučne barijere:** Korištenje vegetacijskih barijera, poput visokih grmova ili drveća, uz prometne rute može smanjiti buku, a istovremeno pridonosi estetskom poboljšanju i poboljšanju kvalitete zraka.

2. Optimizacija cestovnih površina:

- **Tihi asfalt:** Primjena asfalta i drugih materijala za cestovne površine koji smanjuju buku kotrljanja vozila može značajno smanjiti razinu buke u urbanim područjima. Tihi asfalt smanjuje trenje između guma i ceste, čime se smanjuje buka uzrokovana vožnjom vozila.
- **Redovno održavanje cesta:** Održavanje prometnica u dobrom stanju (poput sanacije rupa i neravnina) smanjuje buku uzrokovanu vibracijama i udarcima vozila prilikom prelaska preko oštećenja.

3. **Akustički dizajn zgrada i građevina:**

- **Izolacija fasada:** Korištenje materijala s dobrim zvučnoizolacijskim svojstvima u izgradnji ili renoviranju zgrada može smanjiti prijenos vanjske buke u unutrašnje prostore. To uključuje upotrebu specijalnih prozora, vrata i izolacijskih materijala u zidovima.
- **Akustične barijere na fasadama:** Ugradnja akustičkih panela na fasade zgrada okrenutih prema prometnim cestama ili željeznicama može dodatno smanjiti razinu buke unutar zgrada.

4. **Zeleni infrastrukturni projekti:**

- **Zeleni krovovi i vertikalni vrtovi:** Krovovi prekriveni vegetacijom i vertikalni vrtovi na zidovima zgrada ne samo da poboljšavaju estetski izgled zgrada i smanjuju efekat urbanih toplinskih otoka, već i apsorbiraju buku. Biljni pokrovi djeluju kao prirodni zvučni izolatori, smanjujući prijenos buke unutar i izvan zgrade.
- **Parkovi i zeleni prostori:** Stvaranje i održavanje parkova, urbanih šuma i zelenih površina između stambenih zona i prometnica djeluje kao tampon zona koja apsorbira i prigušuje buku. Zeleni prostori također nude fizičku barijeru koja smanjuje širenje buke s prometnica.

5. **Tuneli i potopljene prometnice:**

- **Izgradnja prometnih tunela:** Preusmjeravanje prometa ispod zemlje putem tunela može dramatično smanjiti razinu buke u gusto naseljenim urbanim područjima. Tuneli potpuno uklanjaju buku s površine, čime se smanjuje izloženost stanovnika buci.
- **Potopljene ceste:** Prometne ceste koje su izgrađene ispod razine tla, okružene zidovima, smanjuju širenje buke prema okolnim područjima. Ovakve strukture omogućuju veću kontrolu nad širenjem buke i često su estetski prilagođene urbanom okolišu.

6. **Akustično dizajnirani mostovi i vijadukti:**

- **Zvučna izolacija na mostovima i vijaduktima:** Mostovi i vijadukti često su izvori visoke razine buke zbog povećane brzine vozila i vibracija. Korištenje zvučno izoliranih materijala i dizajna koji minimizira vibracije može smanjiti prijenos buke na okolna područja.

- **Uvođenje zvučnih barijera na mostovima:** Postavljanje specijalnih zvučnih barijera na mostovima, koje reflektiraju ili apsorbiraju zvuk, može smanjiti razinu buke koja se širi prema dolinama ili naseljenim područjima ispod mostova.

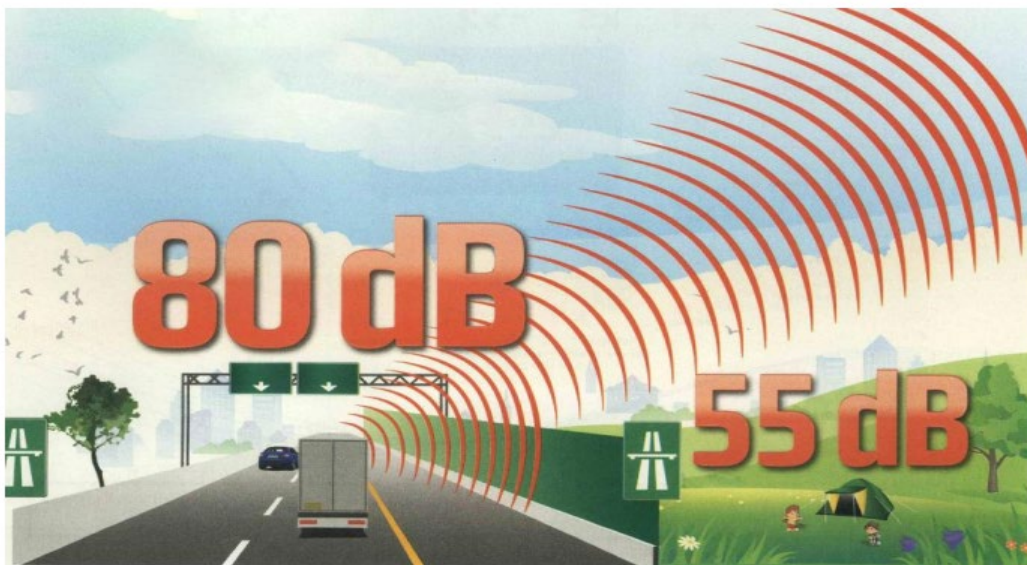
7. Pametna urbana infrastruktura:

- **Primjena akustičnih materijala u gradskom namještaju:** Korištenje zvučno-apsorbirajućih materijala u dizajnu gradskog namještaja, poput klupa, nadstrešnica za autobuse i ograde, može smanjiti buku u urbanim sredinama.
- **Kombinacija zvučnih i estetskih rješenja:** Integracija zvučnih barijera i drugih infrastrukturnih rješenja s estetskim elementima (poput umjetničkih instalacija) može stvoriti ugodniji vizualni i akustični okoliš u gradu.

Različite zemlje, regije i gradovi provode niz mjera za ublažavanje problema buke u urbanim sredinama. Primjerice, uvođenje asfalta niske razine buke na prometnim cestama može značajno smanjiti buku koju proizvode vozila. Također, upotreba tiših guma na vozilima javnog prijevoza doprinosi smanjenju razine buke u gradskim područjima. Proširenje infrastrukture za električna vozila, koja su tiša u usporedbi s vozilima s unutarnjim izgaranjem, dodatno pomaže u smanjenju zagađenja bukom. Promicanje aktivnih načina putovanja, kao što su hodanje i vožnja bicikla, te pretvaranje određenih ulica u pješačke zone, smanjuje potrebu za korištenjem motornih vozila, čime se izravno smanjuje buka u urbanim sredinama. [13] Osim toga, mnogi gradovi i regije stvaraju tzv. "tiha područja" unutar svojih granica, gdje stanovnici mogu pobjeći od gradske buke i uživati u mirnijem okruženju. Ova tiha područja obično uključuju zelene površine poput parkova, vrtova i prirodnih rezervata, koji ne samo da pružaju akustički zaklon, već i poboljšavaju kvalitetu života i zdravlje stanovnika. [66]

Tehnološke inovacije, poput razvoja tiših guma, naprednih sustava izolacije buke i električnih vozila, mogu značajno smanjiti razine buke. No, same po sebi neće biti dovoljne. Potrebne su ambiciozne politike koje će osigurati provedbu ovih tehnoloških rješenja, kao i integrirano urbanističko planiranje koje će uzeti u obzir utjecaj buke na zdravlje i dobrobit građana. Promjene u ponašanju stanovnika, poput veće upotrebe javnog prijevoza, pješačenja ili biciklizma, također su ključne za dugoročno smanjenje izloženosti buci. [67]

Sljedeća Slika 3. prikazuje prigušivač na autocesti kako bi se dao uvid u određene mjere prevencije zagađenja bukom. Na autocesti se uglavnom postavljaju prigušivači.



Slika 3. Prigušivač buke za autocestu

Izvor: [10]

Takva rješenja, koja kombiniraju tehnološke inovacije s promjenama u urbanističkom planiranju, postaju sve važnija u borbi protiv zagađenja bukom, posebno u rastućim urbanim područjima. Mnoge od tih mjera pokazale su se korisnima i za smanjenje onečišćenja zraka. Jasno je da bi poboljšanje učinaka mjera za smanjenje buke, uz istodobnu optimizaciju troškova i napora, moglo biti postignuto osmišljavanjem kombiniranih strategija za smanjenje buke i onečišćenja zraka iz prometa.

Ako se ne poduzmu odgovarajuće mjere za rješavanje problema povezanih s bukom, broj ljudi izloženih štetnim razinama buke vjerojatno će nastaviti rasti zbog kontinuirane urbanizacije i povećane potražnje za mobilnošću. Urbanizacija, praćena rastom broja vozila i drugih izvora buke, stvara uvjete u kojima će izloženost buci postati sve veći problem. Prema studijama, učinkovito smanjenje broja ljudi izloženih štetnim razinama buke zahtijeva sveobuhvatan pristup koji kombinira različite mjere, uključujući tehnološka poboljšanja, ambiciozne politike za kontrolu buke, bolje planiranje urbanih područja i infrastrukture te promjene u ponašanju stanovništva. [13]

4. PRIMJERI DOBRE PRAKSE

Primjeri dobre prakse u smanjenju zagađenja bukom diljem svijeta uključuju inovativne pristupe koji kombiniraju tehnologiju, infrastrukturu, i regulaciju kako bi se smanjila izloženost ljudi štetnim razinama buke. Neki od najučinkovitijih primjera uključuju:

1. **Stockholm, Švedska; "Tihi tramvaji":** Grad Stockholm uveo je tzv. "tihih tramvaja", opremljenih posebnim ovjesom i kotačima koji smanjuju buku nastalu trenjem između kotača i tračnica. Ovaj projekt je dio šire inicijative za smanjenje zagađenja bukom u gradu. Ovi tramvaji smanjuju buku za 7 do 10 dB(A), što značajno doprinosi smanjenju ukupne buke u urbanim područjima [68].
2. **Pariz, Francuska; Plan za borbu protiv buke:** Pariz je razvio sveobuhvatan Plan za borbu protiv buke, koji uključuje identificiranje najbučnijih područja u gradu i provođenje specifičnih mjera poput smanjenja brzine prometa, uvođenja zona smanjenog prometa, i postavljanja zvučnih barijera. Ovaj plan omogućio je smanjenje razine buke u kritičnim područjima grada za 3-5 dB(A), što značajno poboljšava kvalitetu života građana [69].
3. **Hamburg, Njemačka; "Tiha zona":** Hamburg je stvorio "tihe zone" u gradskim parkovima i zelenim površinama, gdje je zabranjen promet, a ulaz motornih vozila je ograničen. Cilj je omogućiti građanima prostor za opuštanje daleko od gradske buke. Ove tihe zone značajno su smanjile izloženost stanovnika buci, a istraživanja pokazuju poboljšanja u mentalnom zdravlju i općem blagostanju posjetitelja ovih područja [70].
4. **Barcelona, Španjolska; "Superblokovi":** Barcelona je implementirala koncept "superblokova" (španj. *superilles*), gdje se više ulica kombinira u jedan blok, a promet vozila se preusmjerava izvan tih blokova. Unutar superblokova, brzina je ograničena, a prostor je namijenjen za pješake i bicikliste. Ovaj pristup smanjuje promet i buku unutar blokova, poboljšavajući kvalitetu zraka i smanjujući razine buke za 5-8 dB(A) [71].
5. **Kopenhagen, Danska; Proširenje infrastrukture za bicikliste:** Kopenhagen, jedan od najpoznatijih biciklističkih gradova na svijetu, neprestano proširuje svoju biciklističku infrastrukturu, smanjujući time potrebu za motoriziranim prometom. Povećanje broja biciklista rezultiralo je smanjenjem ukupne razine buke u gradu. Zbog povećanog korištenja bicikala i smanjenja automobilske prometa, buka u određenim dijelovima Kopenhagena smanjena je za 4-6 dB(A) [72].

Ovi primjeri pokazuju kako različite strategije mogu učinkovito smanjiti razinu buke u urbanim sredinama, poboljšavajući kvalitetu života i zdravlje stanovnika. Iz primjera dobre prakse u borbi protiv zagađenja bukom mogu se izvući sljedeći zaključci. Primjeri kao što su "superblokovi" u Barceloni ili "tihe zone" u Hamburgu pokazuju da kombinacija različitih mjera – od preusmjeravanja prometa do stvaranja zelenih zona – može značajno smanjiti razinu buke. Ovaj holistički pristup je učinkovitiji od izoliranih mjera jer se bavi problemom s više strana, smanjujući tako sveukupnu izloženost stanovništva buci. Uvođenje "tihih tramvaja" u Stockholmu i poboljšana biciklistička infrastruktura u Kopenhagenu naglašavaju važnost tehnologije i infrastrukture u smanjenju buke. Korištenje naprednih materijala i dizajna može značajno smanjiti razinu buke bez potrebe za drastičnim promjenama u načinu života stanovništva.

Svaki grad ima svoje specifične izazove i stoga zahtijeva prilagođena rješenja. Parizov Plan za borbu protiv buke i Hamburške "tihe zone" pokazuju kako lokalni uvjeti i potrebe mogu oblikovati učinkovite strategije. Ove prilagodbe često uključuju specifične regulacije i infrastrukturne projekte koji odgovaraju jedinstvenim karakteristikama pojedinog grada. Istraživanja pokazuju da smanjenje buke ne samo da poboljšava kvalitetu života, već također ima konkretne zdravstvene prednosti, uključujući smanjenje stresa, poboljšanje mentalnog zdravlja i smanjenje rizika od kardiovaskularnih bolesti. Ove koristi su vidljive u svim primjerima, što dodatno naglašava važnost provođenja mjera protiv zagađenja bukom.

Uspjeh ovih projekata također pokazuje potrebu za kontinuiranim praćenjem i evaluacijom provedenih mjera. Na primjer, gradovi poput Pariza redovito procjenjuju učinkovitost svojih planova i prilagođavaju ih na temelju novih podataka i tehnologija, što osigurava dugoročnu održivost i učinkovitost mjera.

5. ZAKLJUČAK

Cestovni promet predstavlja primarni izvor buke u urbanim sredinama diljem Europe, i jedan je od ključnih ekoloških rizika za zdravlje i kvalitetu života stanovništva. Ogroman broj automobila i drugih cestovnih vozila opremljenih motorima s unutarnjim izgaranjem čini buku cestovnog prometa vodećim uzrokom zagađenja bukom u gradovima. Zvučna energija koja potječe s kolnika rezultat je kombinacije različitih faktora, uključujući interakciju između površine ceste i guma, rada motora i mjenjača, te aerodinamičkih i kočionih elemenata. Sve ove komponente doprinose kompleksnoj strukturi buke koja značajno utječe na okoliš i zdravlje ljudi. Buka iz cestovnog prometa može imati ozbiljne posljedice na zdravlje, uključujući poremećaje spavanja, povećanje stresa, te razvoj kardiovaskularnih i drugih kroničnih bolesti. Kako bi se smanjili ovi rizici, ključna je primjena mjera za smanjenje buke, uključujući tehnološka poboljšanja na vozilima, korištenje tiših materijala u cestogradnji, i bolje planiranje urbanih područja. Ekološki i ekonomski troškovi povezani s zagađenjem bukom ne mogu se zanemariti. Potrebno je ulagati u smanjenje tih troškova putem zakonodavnih okvira, učinkovitog upravljanja prometnim sustavima, te primjene infrastrukturnih rješenja koja će dugoročno smanjiti izloženost stanovništva buci. Primjeri dobre prakse iz različitih europskih gradova pokazuju da je moguće učinkovito smanjiti razinu buke i unaprijediti kvalitetu života kroz integraciju različitih strategija i mjera. Uspjeh ovih mjera također, naglašava važnost kontinuirane evaluacije i prilagodbe strategija za kontrolu buke, kao i potrebu za kontinuiranim ulaganjem u inovacije koje mogu dodatno smanjiti zagađenje bukom. Učinkovita regulacija buke nije samo pitanje poboljšanja udobnosti života, već i značajnog unapređenja javnog zdravlja, s obzirom na dokazane veze između izloženosti buci i ozbiljnih zdravstvenih problema. Nastavak urbanizacije i rastuća mobilnost zahtijevaju sveobuhvatan pristup koji uključuje kombinaciju regulacija, inovacija i promjena ponašanja kako bi se učinkovito smanjilo zagađenje bukom u budućnosti.

LITERATURA

1. Hänninen O, Knol AB, Jantunen M, Lim TA, Conrad A, Rappolder M, et al. Environmental burden of disease in Europe: Assessing nine risk factors in six countries. *Environ Health Perspect.* 2014;122(5):439-46.
2. Babisch W. Noise and health. *Environ Health Perspect.* 2005;113(1)
3. Passchier-Vermeer W, Passchier WF. Noise exposure and public health. *Environ Health Perspect.* 2000;108(Suppl 1):123-31.
4. Berglund B, Lindvall T, Schwela DH. Guidelines for community noise. Geneva: World Health Organization; 1999.
5. Pijanowski BC, Farina A, Gage SH, et al. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience.* 2011;61(3):203-16.
6. Grubeša S, Petošić A, Suhanek M, Đurek I. Zaštita od buke - zvučne barijere. *Sigurnost.* 2019;61(3):217-26.
7. Besner AC, Lafarge R, Marmar CR, et al. Noise annoyance: The importance of non-acoustical factors in understanding the subjective experience. *J Acoust Soc Am.* 2018;143(5):2497-507.
8. Grubeša I. Akustika u urbanim sredinama. Zagreb: Školska knjiga; 2019.
9. Stansfeld SA, Matheson MP. Noise pollution: non-auditory effects on health. *Br Med Bull.* 2003;68(1):243-57.
10. Kožul M. Ispitivanje izloženosti buci zdravstvenih ustanova [Diplomski rad]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet; 2017.
11. Abo-Qudais S, Alhiary A. Effect of traffic characteristics and road geometric parameters on developed traffic noise levels. *J Can Acoust Assoc.* 2005;33(1):43-50.
12. Zuo F, Li Y, Johnson S, Cao X, Liu J. Temporal and spatial variability of traffic-related noise in the City of Toronto, Canada. *Sci Total Environ.* 2014;472:1100-7.
13. European Environment Agency (EEA). Environmental noise in Europe — 2020. EEA Report No 22/2019; 2020.
14. Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet.* 2014;383(9925):1325-32.
15. Babisch W. Noise and health. *Environ Health Perspect.* 2005;113(1)

16. Statista. Distribution of controlled sources of noise pollution in Italy in 2019, by type [Internet]. 2021 [cited 2024 Aug 25]. Dostupno na: <https://www.statista.com/statistics/615727/sources-of-noise-pollution/>
17. Ministarstvo zaštite okoliša i energetike Republike Hrvatske. Strategija zaštite od buke u Republici Hrvatskoj. 2018.
18. Kovač M, Bajić Ž, Omerović M. Noise pollution in urban areas of the Republic of Croatia. *J Environ Prot Ecol*. 2013;14(4):1657-65.
19. Agencija za civilno zrakoplovstvo Republike Hrvatske. Zračne luke i buka: Utjecaj na okoliš. 2019.
20. Ministarstvo zaštite okoliša i energetike Republike Hrvatske. Strategija upravljanja urbanom bukom. 2019.
21. World Health Organization (WHO). Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2018. Dostupno na: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf
22. Münzel T, Gori T, Babisch W, Basner M. Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *Eur Heart J*. 2014;35(13):829-36.
23. Goines L, Hagler L. Noise pollution: A modern plague. *South Med J*. 2007;100(3):287-94.
24. Clark C, Paunovic K. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cognition. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(2):285.
25. Konbattulwar V, Velaga NR, Jain S, Sharmila RB. Development of in-vehicle noise prediction models for Mumbai Metropolitan Region, India. *J Traffic Transp Eng (Engl Ed)*. 2016;3(4):380-7.
26. Environmental Health Perspectives [Internet]. 2023 [cited 2024 Aug 25]. Dostupno na: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/full/10.1289/EHP3906>
27. Freitas E, Mendonça C, Santos JA, Raaz HR, Setti JJ. Traffic noise abatement: how different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels. *Transp Res Part D: Transp Environ*. 2012;17(4):321-6.
28. Liao G, Sakhaeifar M, Heitzman M, et al. The effects of pavement surface characteristics on tire/pavement noise. *Appl Acoust*. 2014;76:14-23.

29. Federal Aviation Administration (FAA). Aviation Noise Abatement Policy 2000. U.S. Department of Transportation; 2004.
30. European Environment Agency (EEA). Noise in Europe 2014. EEA Report No 10/2014. 2014.
31. Lengagne T. Traffic noise affects communication behaviour in a breeding anuran, *Hyla arborea*. *Biol Conserv.* 2008;141(8):2023-31.
32. Lusk SL. Noise exposures. Effects on hearing and prevention of noise induced hearing loss. *AAOHN J.* 1997;45(8):397-408.
33. Ising H, Ising M. Chronic cortisol increases in the first half of the night caused by road traffic noise. *Noise Health.* 2002;4(16):13-21.
34. Zhao YM, Zhang SZ, Selvin S, Spear RC. A dose response relation for noise induced hypertension. *Br J Ind Med.* 1991;48(3):179-84.
35. Van Kempen EEMM, Kruize H, Boshuizen HC, Ameling CB, Staatsen BAM, de Hollander AEM. The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: a meta-analysis. *Environ Health Perspect.* 2002;110(3):307-17.
36. Nearly 60 million Europeans living with excessive noise pollution from road traffic [Internet]. *Engineering and Technology*; 2022 [cited 2024 Aug 25]. Dostupno na: <https://eandt.theiet.org/content/articles/2022/03/nearly-60-million-europeans-living-with-excessive-noise-pollution-from-road-traffic/>
37. Münzel T, Sørensen M, Daiber A. Environmental stressors and cardio-metabolic disease: part I—epidemiologic evidence supporting a role for noise and air pollution and effects of mitigation strategies. *Eur Heart J.* 2020;41(23):2070-80. doi:10.1093/eurheartj/ehaa957.
38. Vasconcelos RO, Amorim MCP, Ladich F. Effects of ship noise on the detectability of communication signals in the Lusitanian toadfish. *J Exp Biol.* 2007;210(Pt 12):2104-12.
39. Brown AL. Measuring the effect of aircraft noise on sea birds. *Environ Int.* 1990;16(4–6):587-92.
40. Mason JT, Macclure CJW, Barber JR. Anthropogenic noise impairs owl hunting behavior. *Biol Conserv.* 2016;199:29-32.
41. Williams R, Wright AJ, Ashe E, Blight LK, Bruintjes R, Canessa R, et al. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future

- directions in research and management. *Ocean Coast Manag.* 2015;115:17-24.
doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.05.021
42. Francis CD, Ortega CP, Cruz A. Noise pollution filters bird communities based on vocal frequency. *PLoS One.* 2011;6(11).
43. Barber JR, Crooks KR, Fristrup KM. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends Ecol Evol.* 2010;25(3):180-9.
44. Kight CR, Swaddle JP. How and why environmental noise impacts animals: an integrative, mechanistic review. *Ecol Lett.* 2011;14(10):1052-61.
45. Shannon G, McKenna MF, Angeloni LM, Crooks KR, Fristrup KM, Brown E, et al. A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biol Rev Camb Philos Soc.* 2016;91(4):982-1005. doi:10.1111/brv.12207
46. Ortega CP. Effects of noise pollution on birds: A brief review of our knowledge. *Ornithol Monogr.* 2012;74(1):6-22.
47. Slabbekoorn H, Ripmeester EA. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Mol Ecol.* 2008;17(1):72-83. doi:10.1111/j.1365-294X.2007.03487.x
48. Erbe C, Reichmuth C, Cunningham K, Lucke K, Dooling R. Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. *Mar Pollut Bull.* 2016;103(1-2):15-38.
49. Kumar P, Nigam SP, Kumar N. Vehicular traffic noise modeling using artificial neural network approach. *Transp Res Part C: Emerg Technol.* 2014;40:111-22.
50. Sahu A, Verma SS, Das V. Environmental noise pollution and its impact on human health and well-being: an update on research trends. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2020;27(14):17475-89. doi:10.1007/s11356-020-08202-w.
51. Guski R, Schreckenberg D, Schuemer R. WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and annoyance. *Int J Environ Res Public Health.* 2017;14(12):1539.
52. Praag BMS, Baarsma BE. Using happiness surveys to value intangibles: The case of airport noise. *Econ J.* 2005;115(500):224-46. doi:10.1111/j.1468-0297.2004.00967.x
53. Andersson H, Ögren M. Noise charges in road traffic: A pricing schedule based on the marginal cost principle. *J Transp Econ Policy (JTPEP).* 2011;45(1):45-64.
54. Sørensen M, Andersen ZJ. Traffic noise and risk of cardiovascular disease and mortality: A review. *Environ Health.* 2015;14:37. doi:10.1186/s12940-015-0039-6

55. Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), Germany. Environmental Noise - Overview of national regulations [Internet]. Dostupno na: <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/noise/general-information-on-noise/environmental-noise-overview-of-national>
56. Ville de Paris. Plan de lutte contre le bruit. Paris: Mairie de Paris; 2015. Dostupno na: <https://www.paris.fr/pages/plan-de-lutte-contre-le-bruit-2090>
57. International Organization for Standardization (ISO). ISO 1996-1:2016 Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures [Internet]. Dostupno na: <https://www.iso.org/standard/59765.html>
58. Narodne novine. Zakon o zaštiti od buke, pročišćeni tekst zakona NN 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18, 14/21 [Internet]. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/125/Zakon-o-za%C5%A1titi-od-buke>
59. Narodne novine. Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka [Internet]. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_12_143_2454.html
60. Narodne novine. Zakon o zaštiti okoliša, pročišćeni tekst zakona, NN 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18 [Internet]. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/194/Zakon-o-za%C5%A1titi-okoli%C5%A1a>
61. European Union. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. Off J Eur Communities. 2002;L 189/12. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0049>
62. Murphy E, King EA. Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy. Elsevier; 2014.
63. Garg N, Maji S. A critical review of principal traffic noise models: Strategies and implications. Environ Impact Assess Rev. 2014;46:68-81.
64. Ögren M, Kropp W, Forssén J. Road traffic noise abatement scenarios in Gothenburg city centre. Appl Acoust. 2018;140:104-11.
65. European Commission. Good Practice Guide on Noise Exposure and Potential Health Effects [Internet]. 2011.
66. Öhrström E, Hadzibajramovic E, Holmes M, Åkerstedt T. Effects of road traffic noise on sleep: Studies on children and adults. J Sound Vib. 2006;294(3):710-8.

67. Dzhambov AM, Tilov B, Markevych I, Dimitrova DD. Noise sensitivity, noise annoyance and self-reported health in large administrative regions and self-reported sleep disturbance. *Environ Res.* 2018;167:614-21.
68. Nilsson ME, Hammer MS. Noise management and strategies for a quieter environment in Stockholm. *J Environ Psychol.* 2018;60:42-52.
69. Duarte M, Clauzet M. Reducing urban noise: Paris's comprehensive plan to reduce environmental noise pollution. *Noise Health.* 2017;19(88):181-9.
70. Pujol S, Levain JP, Houot H, Petit R, Berthillier M, Defrance J, et al. Urban noise exposure and health: a ten-year assessment of the situation in Hamburg, Germany. *Environ Res.* 2014;133:123-31.
71. Muñoz D, Moreno T. Superblocks in Barcelona: A new approach to urban planning. *Cities.* 2020;100:102654.
72. Larsen J, Gunnarsson O. Bicycle infrastructure as a mechanism for reducing noise pollution in urban environments: The case of Copenhagen. *Transp Res Part D: Transp Environ.* 2019;75:1-12.

POPIS ILUSTRACIJA

Slika 1. Prikaz razine buke kod određenih zvukova.....	10
Slika 2. Onečišćenje bukom u EU	19
Slika 3. Prigušivač buke za autocestu	32
Grafikon 1. Distribucija kontroliranih izvora onečišćenja bukom u Italiji u 2019., prema vrsti [10].	11

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI


Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je Kristian Konjevod
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojeg vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Utjecaj prometa na zagađenje bukom u urbanim sredinama, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 11.9.2024.

Kristian Konjevod 
(ime i prezime, potpis)