

Utjecaj cestovnog prometa na emisiju buke

Brečić, Janko

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:535571>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet Prometnih Znanosti

UTJECAJ CESTOVNOG PROMETA NA EMISIJU BUKE

IMPACT OF ROAD TRAFFIC ON NOISE EMISSIONS

ZAVRŠNI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Marijan Jakovljević
Komentor: Marko Švajda, mag. ing. traff.

Student: Janko Brečić
JMBAG: 0135263713

Zagreb, rujan 2024.

Zagreb, 11. lipnja 2024.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7507

Pristupnik: **Janko Brečić (0135263713)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**


Zadatak: **Utjecaj cestovnog prometa na emisiju buke**

Opis zadatka:

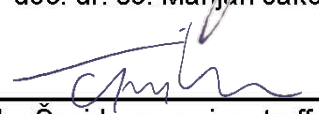
U radu je potrebno analizirati buku kao štetan utjecaj na čovjeka i životinje. Isto tako potrebno je analizirati buku u cestovnom prometu te provesti komparaciju europskih gradova prema količini proizvedene buke. Također je potrebno analizirati načine i metode zaštite od buke.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



doc. dr. sc. Marijan Jakovljević



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

SAŽETAK

Cestovni promet značajno doprinosi emisiji buke u urbanim sredinama, što ima ozbiljan utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi. Glavni izvori buke uključuju zvuk motora, ispušnih sustava i guma pri kontaktu s cestom, pri čemu teža vozila i veće brzine proizvode intenzivniju buku. Regulatorne mjere i tehnološka poboljšanja, kao što su nisko bučne asfaltne površine i tihi kočioni sustavi, ključni su za smanjenje razina buke. Međutim, provedba tih mjera često se suočava s izazovima poput nedostatka jedinstvenih metoda za procjenu buke i varijacija u kvaliteti podataka. Kako bi se učinkovito smanjila buka uzrokovana cestovnim prometom, potrebno je koordinirano djelovanje na svim razinama – od zakonodavnih i regulatornih mjera do urbanog planiranja i primjene novih tehnologija. Iako postoje pozitivni primjeri, kao što su redizajn urbanih ulica i razvoj tihih vozila, dugoročno rješavanje problema buke zahtijeva kontinuirano praćenje, inovacije i suradnju između različitih sektora i zemalja.

Ključne riječi: cestovni promet, emisija buke, nisko bučni asfalt, tehnološka poboljšanja, regulacija buke

SUMMARY

Road traffic significantly contributes to noise emission in urban areas, which has serious impacts on the environment and human health. The main sources of noise include engine sounds, exhaust systems, and tires in contact with the road, with heavier vehicles and higher speeds producing more intense noise. Regulatory measures and technological improvements, such as low-noise asphalt surfaces and quiet braking systems, are crucial for reducing noise levels. However, the implementation of these measures often faces challenges such as the lack of unified methods for noise assessment and variations in data quality. To effectively reduce noise caused by road traffic, coordinated action is needed at all levels - ranging from legislative and regulatory measures to urban planning and the application of new technologies. Although there are positive examples, such as the redesign of urban streets and the development of quiet vehicles, addressing the noise problem in the long term requires continuous monitoring, innovation, and collaboration among different sectors and countries.

Key words: road traffic, noise emission, low-noise asphalt, technological improvements, noise regulation

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. UTJECAJ BUKE NA ČOVJEKA I ŽIVOTINJE	2
2.1. Općenito o buci	2
2.2. Utjecaj buke na čovjeka.....	6
2.3. Utjecaj buke na životinje	8
3. BUKA U CESTOVNOM PROMETU	11
4. KARTE BUKE.....	15
4.1. Metodologija	16
4.2. Komparacija emisije buke europskih gradova	18
4.2.1. Zagreb.....	18
4.2.2. Amsterdam.....	21
4.2.3. Budimpešta.....	25
4.2.4. Usporedba gradova	29
5. ZAŠTITA OD BUKE U CESTOVNOM PROMETU.....	31
6. ZAKLJUČAK.....	35
LITERATURA.....	37
POPIS SLIKA	41
POPIS TABLICA.....	41
POPIS GRAFIKONA	41

1. UVOD

Usljed intenzivnog razvoja industrije, porasta broja automobila i procesa urbanizacije, buka postaje sve izraženiji problem u urbanim sredinama. Buka se definira kao svaki neželjeni ili uznemirujući zvuk koji može negativno utjecati na zdravlje i dobrobit ljudi i drugih živih bića. Posebno je istaknuta buka koju proizvodi cestovni promet, koja je od strane različitih stručnjaka prepoznata kao jedan od glavnih ekoloških problema. Buka ima brojne štetne posljedice za ljudsko zdravlje, uključujući uznemirenost, kardiovaskularne bolesti, poremećaje spavanja i smanjenje kognitivnih funkcija. Također, konstantna izloženost buci može uzrokovati stres i promjene u ponašanju kod životinja. [1]

Ovaj se rad fokusira upravo na problematiku buke u cestovnom prometu, s posebnim naglaskom na analizu njezinih utjecaja na ljude i okoliš. Cilj rada je detaljno obraditi ovu temu i istražiti metode za smanjenje utjecaja buke.

Rad je strukturiran u pet glavnih poglavlja:

1. Uvod
2. Utjecaj buke na čovjeka i životinje
3. Buka u cestovnom prometu
4. Karte buke
5. Zaštita od buke
6. Zaključak

U prvom poglavlju uvodi se u problematiku buke općenito, s naglaskom na sve prisutniji problem buke u cestovnom prometu.

Negativan utjecaj buke na zdravlje ljudi i ponašanje životinja opisan je u drugom poglavlju.

U trećem poglavlju su analizirane specifične značajke cestovnog prometa i njegova emisija buke.

U četvrtom poglavlju navedena je zakonska regulativa vezana uz izradu karata buke, metodologija izrade i usporedba razina buke u europskim gradovima.

U petom poglavlju su razmotrene različite mjere zaštite od buke, kako primarne tako i sekundarne.

2. UTJECAJ BUKE NA ČOVJEKA I ŽIVOTINJE

2.1. Općenito o buci

„Bukom se smatraju vrlo glasni, čovjeku neugodni, čak i bolni zvukovi. Osnovne značajke buke sadržane su u njezinom intenzitetu, ali i u kvaliteti (poput dodatnih šumova), trajanju, visini, isprekidanosti ili kontinuiranosti. Kritična razina ometanja ovisi o različitim psihološkim čimbenicima kao što su na primjer: vrsta zvučnih informacija, očekivanje ili nenadanost“. [1]

Bilo kakav oblik buke čiji je intenzitet veći od 85 do 95 dB je potencijalni uzročnik trajnog oštećenja sluha ukoliko se radi o dužoj izloženosti buci. Budući da se buka smatra onečišćivačem okoliša, propisane su najveće dopuštene granice izražene u decibelima (dB). Regulativne mjere za buku koju proizvode industrijska postrojenja i vozila u urbanim sredinama vrlo su restriktivne, prateći hrvatske i europske propise. Motori s unutarnjim izgaranjem u automobilima i zrakoplovima podliježu najstrožim standardima buke koje je postavila Europska unija. [1]

Postoji više različitih definicija koje opisuju buku, a prema Zakonu o zaštiti od buke (NN 30/09) buka okoliša se definira kao „svaki neželjen ili po ljudsko zdravlje i okoliš štetan zvuk u vanjskome prostoru izazvan ljudskom aktivnošću, uključujući buku koju emitiraju: prijevozna sredstva, cestovni promet, pružni promet, zračni promet, pomorski i riječni promet kao i postrojenja i zahvati za koje se prema posebnim propisima iz područja zaštite okoliša pribavlja rješenje o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša, odnosno rješenje o prihvatljivosti zahvata za okoliš“. [2]

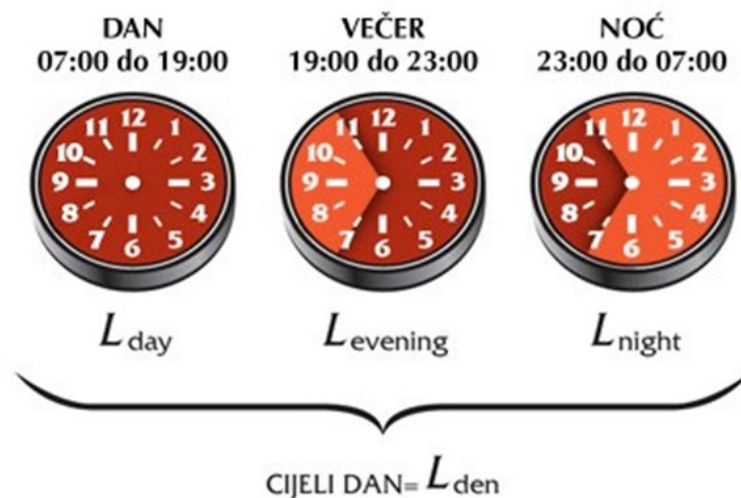
Mjesta na kojima nastaje zvuk kojeg možemo okarakterizirati kao buku, a odakle se ona dalje širi, nazivamo izvorima buke. Izvori buke se mogu podijeliti na vanjske i unutarnje izvore buke. Najčešći izvori buke u vanjskom prostoru su: promet, pri čemu se najviše ističe cestovni, građevinski i javni radovi, industrijski pogoni i postrojenja, kulturne i sportske manifestacije, te buka ugostiteljskih objekata, osobito u urbanim i turističkim sredinama. Unutarnji izvori buke odnosno izvori buke iz zatvorenih prostora su: kućanski strojevi, servisni uređaji, radovi unutar zatvorenog prostora, bučne aktivnosti ljudi i životinja. Zatvoreni prostori u kojima se odvijaju kulturna, sportska i zabavna događanja, kao što su kazališta, sportske i koncertne dvorane te noćni klubovi, također se ubrajaju u unutarnje izvore buke. Izvori buke kao što su: slapovi, glasanje životinja te jaki udari valova i gromova nazivamo prirodnim izvorima buke. [3] [4]

Indikator buke je akustična veličina koja se koristi za opisivanje buke iz okoliša i njezinih štetnih učinaka. Sukladno zakonima, pravilnicima i direktivama Europske unije kojima se regulira buka u Republici Hrvatskoj, za svako razdoblje dana određen je harmonizirani indikator buke, odnosno indikator L_{den} za cijelo doba dana. Uz indikator L_{den} , značajno je spomenuti i indikatore L_{night} , L_{day} i $L_{evening}$. Prilikom opisivanja buke i izrade strateških karata značajniju ulogu u primjeni imaju indikatori L_{den} i L_{night} .

Oznake indikatora i njihovo značenje su:

- L_{den} - (indikator buke za dan-večer-noć) je indikator buke za ukupno smetanje bukom
- L_{night} - (indikator noćne buke) je indikator buke koja uzrokuje poremećaj sna za vremensko razdoblje noći
- L_{day} - (indikator dnevne buke) je indikator buke za vremensko razdoblje dana
- $L_{evening}$ - (indikator večernje buke) je indikator buke za vremensko razdoblje večeri.

Na slici 1. prikazana je podjela dana na vremenska razdoblja koja se uzimaju u obzir za određene indikatore buke. [5] [6]



Slika 1. Vremenska razdoblja u danu koja se uzimaju za indikatore buke

Izvor: [6]

Zvukomjer je mjerni instrument koji prima zvuk slično ljudskom uhu te se koristi za mjerenje zvučnog tlaka kada je potrebno izvršiti mjerenja buke. U zvukomjere se ugrađuju filtri i električni krugovi radi poboljšanja preciznosti mjerenja. Uloga filtara je odbacivanje svih zvukova koji imaju frekvencije koje ne ulaze u odabrani frekvencijski interval, a električnih krugova oponašanje uha kojem osjetljivost varira s frekvencijom što omogućuje stimulaciju jednakih krivulja glasnoće. Postoje četiri standardizirana korekcijska filtra A, B, C i D. Mjerenje

intenziteta signala filtrom A obrnuto je proporcionalno krivulji intenziteta zvuka kada je zvučni tlak nizak te se izmjerena razina zvuka zatim izražava u decibelima. [3] Na slici 2. prikazan je zvukomjer.



Slika 2. Zvukomjer TESTO 816-1

Izvor: [7]

Svrha mjerenja buke je određivanje količine buke, koordiniranje sadašnjih i planiranje budućih mjera za smanjenje štetnog utjecaja te procjena štetnih djelovanja na ljudsko zdravlje. [3]

Općenito, glasnoća prometne buke povećava se s većim prometnim volumenom, većim brzinama i većim brojem kamiona. Buka vozila je kombinacija zvukova koje proizvode motor, ispušni sustav i gume. Glasnoća prometne buke također se može povećati zbog neispravnih prigušivača ili druge neispravne opreme na vozilima. Bilo koji uvjet (kao što je strma uzbrdica) koji uzrokuje snažan rad motora također će povećati razinu prometne buke. Osim toga, postoje i drugi složeniji čimbenici koji utječu na glasnoću prometne buke. Primjerice, kako se osoba udaljava od autoceste, razina prometne buke smanjuje se zbog udaljenosti, terena, vegetacije te prirodnih i umjetnih prepreka. Buka cestovnog prometa obično nije ozbiljan problem za ljude koji žive više od 150 metara od prometnih autocesta ili više od 30 – 60 metara od slabije prometnih cesta. [4]

Buka iz okoliša smatra se jednim od glavnih ekoloških rizika za zdravlje i dobrobit ljudi. Buka iz okoliša može se definirati kao svaki neželjeni i štetni vanjski zvuk koji dolazi iz ljudskih aktivnosti, poput transporta (npr. cestovnog, željezničkog i zračnog prometa) i industrije. Glavni izvor buke iz okoliša je transport, a buka od transporta smatra se drugim najvećim

ekološkim uzrokom štetnih zdravstvenih posljedica u zapadnoj Europi, nakon čestica iz zraka. [8]

Buka iz okoliša povezana je s mnogim štetnim zdravstvenim ishodima koji nisu nužno vezani uz sluh, uključujući poremećaje spavanja, iritaciju, kardiovaskularne i metaboličke bolesti, nepovoljne ishode pri rođenju, kognitivna oštećenja te loše mentalno zdravlje. [9]

Najjači je dokaz (dosad pronađen) da izloženost buci iz okoliša, posebno prometnoj buci, uzrokuje razvoj kardiovaskularnih bolesti. Dugotrajna izloženost buci iz okoliša može uzrokovati stalnu reakciju na stres, što dovodi do aktivacije simpatičkog živčanog sustava i endokrinog sustava, imajući za posljedicu oslobađanje stresnih hormona, povećanjem broja otkucaja srca, krvnog tlaka, što na kraju može dovesti do kroničnih bolesti poput kardiovaskularnih bolesti. [9]

Osim toga, produljena aktivacija stresne reakcije može rezultirati razvojem depresije i anksioznih poremećaja. Iritacija je također jedan od glavnih učinaka izloženosti buci povezanih sa stresnom reakcijom. Općenito, iritacija zbog buke nastaje uslijed ponavljanih poremećaja svakodnevnih aktivnosti (npr. komunikacije, čitanja, rada, spavanja itd.), bijesa, negativne procjene izvora buke i stresa. Konačno, poremećaj spavanja uzrokovan bukom narušava pravilnu obnovu sna, što može biti preteča mnogim bolestima kao što su: pretilost, dijabetes, visoki krvni tlak i demencija. Dakle, buka iz okoliša ima višestruke štetne učinke na zdravlje. Prethodna istraživanja pokazala su porast broja izrazito iritiranih i izrazito poremećenih pojedinaca u snu povezanih s povećanom izloženošću buci iz okoliša. S obzirom na predviđanja o brzom urbanom rastu i s tim povezanim povećanjem potražnje za transportom, može se očekivati porast izloženosti stanovništva buci i štetnih zdravstvenih posljedica povezanih s bukom. [10]

U europskom kontekstu, Direktiva o buci iz okoliša (END, Direktiva 2002/49/EC) glavni je zakonodavni okvir za kontrolu buke iz okoliša. Prema END-u, države članice su dužne [11]:

- izrađivati strateške karte buke svakih 5 godina za sve glavne ceste (s više od 3 milijuna vozila godišnje), željezničke pruge (s više od 30.000 vlakova godišnje), zračne luke (s više od 50.000 kretanja godišnje) i urbana područja (s više od 100.000 stanovnika);
- izračunati broj ljudi izloženih svakom izvoru buke (npr. cestovnom, željezničkom i zračnom prometu) unutar i izvan urbanih područja i
- razviti akcijske planove za sprječavanje i smanjenje izloženosti buci iz okoliša, posebno u područjima gdje ona može imati štetne učinke na zdravlje ljudi. Na taj način, END je instrument koji promiče identificiranje glavnih izvora buke iz okoliša i omogućuje razvoj odgovarajućih mjera za rješavanje štetnih učinaka buke iz okoliša. [11]

2.2. Utjecaj buke na čovjeka

Svjetska zdravstvena organizacija (*World Health Organisation - WHO*) provodi brojna istraživanja o ljudskom zdravlju i faktorima koji na njega utječu. Buka je jedan od bitnih čimbenika koji svojim djelovanjem mogu negativno utjecati na ljudsko zdravlje, a prema WHO-u je druga ekološka prijetnja za zdravlje odmah iza onečišćenja zraka. Buka je jedan od najraširenijih problema u Europskoj uniji, a osobito ona koje potječe od prometa. Više od 100 milijuna ljudi u Europi izloženo je štetnim razinama onečišćenja okoliša bukom. Prema podacima Europske agencije za okoliš (*European Environment Agency - EEA*) buka iz okoliša (koju uzrokuju različiti oblici prometa i industrija) je jedan od najvećih ekoloških rizika za zdravlje, a procijenjeno je da se svake godine izgubi 1 milijun zdravih života zbog utjecaja na zdravlje, a u to su uključeni iritacije, poremećaji spavanja i koronarna bolest srca. [13]

U tablici 1. prikazane su dozvoljene razine buke u određenim sredinama ovisno o razdoblju u danu. Iz tablice se može iščitati da je granična vrijednost od 80 dB jer ljudsko uho može izdržati najviše 85 dB kao prosječnu razinu buke tijekom dana, prije nego što ga ošteti buka. [12] [13]

Tablica 1. Prikaz dozvoljenih razina buke

Zona buke	Namjena prostora	Najviše dopuštene ocjenske razine buke imisija u dB(A)			
		Vanjski prostor		Unutarnji prostor	
		Dan	Noć	Dan	Noć
1.	Rekreativna	50	40	30	25
2.	Stambena	55	40	35	25
3.	Pretežito stambena	55	45	35	25
4.	Pretežito poslovna	65	50	40	30
5.	Gospodarska	Granica/<80		40	30

Izvor: [12]

Najčešći zdravstveni problem koji može proizaći iz zagađenja bukom je gubitak sluha izazvan bukom. Gubitak sluha može nastati pri izlaganju buci tijekom dužeg vremenskog perioda ili izlaganjem vrlo glasnim zvukovima u kratkom vremenu. Ovi zvukovi oštećuju osjetljive dijelove vašeg unutarnjeg uha, uzrokujući gubitak sluha. Ova oštećenja mogu utjecati

na jedno ili oba uha. Oštećenje sluha može uzrokovati nastanak trajnog invaliditeta. Gubitak sluha izazvan bukom najčešće je postupan i progresivan. [12]

Buka na zdravlje čovjeka može djelovati posredno i neposredno. Neposrednim djelovanjem dolazi do oštećenja organa sluha i ravnoteže, a posredno buka može utjecati na živčani, krvožilni, endokrini i probavni sustav. [12]

Dugotrajna izloženost buci iz okoliša jedan je od glavnih okolišnih uzroka lošeg zdravlja u Europi. Buka od prometa, uključujući cestovni, željeznički i zračni promet, svrstava se kao druga najveća prijetnja javnom zdravlju u zapadnoj Europi, odmah iza finih čestica u zraku. Iako su razine buke koju stvaraju izvori prometa općenito preniske da bi uzrokovale biološka oštećenja uha, dobro je utvrđeno da dugotrajna izloženost buci koja prelazi određene razine može dovesti do ne-auditivnih učinaka na zdravlje, kao što su smetnje, poremećaji spavanja, negativni učinci na kardiovaskularni i metabolički sustav te kognitivni poremećaji kod djece. [11] [13]

Subjektivni odgovori na buku, poput iritacije ili poremećaja spavanja, ovise ne samo o razinama izloženosti već i o kontekstualnim, situacijskim i osobnim čimbenicima. Primjerice, učinci buke mogu ovisiti o tome u kojoj mjeri buka ometa ono što osoba pokušava raditi (npr. spavati, koncentrirati se ili komunicirati) te o očekivanju mira i tišine tijekom takvih aktivnosti. Osobne karakteristike, poput osjetljivosti na buku i stava prema izvoru buke (npr. povjerenje u vlasti, percipirana pravednost, očekivanja), također mogu utjecati na reakcije na buku. [12]

Najozbiljniji učinci buke na zdravlje, kao što su oni na srce i krvožilni sustav koji mogu dovesti do prerane smrtnosti, pretpostavlja se da su potaknuti dugotrajnim fiziološkim i emocionalnim stresnim reakcijama, kao i smanjenjem kvalitete sna. Ove reakcije također mogu utjecati na metabolički sustav. [12]

Većina dosadašnjih istraživanja fokusirala se na izravne uzročno-posljedične veze između buke od prometa i zdravstvenih ishoda. Najjača baza dokaza o uzročno-posljedičnim vezama između buke i zdravlja je objavljena u obliku smjernica koje je pripremio Regionalni ured Svjetske zdravstvene organizacije za Europu. Ove smjernice uključuju sustavne preglede dokaza iz velikog broja prethodno provedenih istraživanja iz cijelog svijeta, uključujući velike epidemiološke studije. Analize i smjernice usmjerene su na ključne zdravstvene ishode poput kardiovaskularnih bolesti, smetnji, učinaka na san, kognitivnih oštećenja, oštećenja sluha i tinitusa. Ostali zdravstveni ishodi, poput ishoda trudnoće, kvalitete života, dobrobiti, mentalnog zdravlja i metaboličkih ishoda, također su obuhvaćeni pregledom dokaza, ali nisu korišteni za formuliranje preporuka u smjernicama. U tablici 3. prikazani su zdravstveni učinci i način na koji ih uzrokuje buka. [13] [14]

Tablica 2. Utjecaj buke u prometu na ljudsko zdravlje

Zdravstveni učinak	Opis
Smetnja	Jedan od najčešćih odgovora na buku, opisan kao stresna reakcija koja obuhvaća širok raspon negativnih osjećaja, uključujući uznemirenost, nezadovoljstvo, nelagodu, neugodnost, iritaciju i smetnju. Individualna reakcija na buku ovisi ne samo o razini izloženosti već i o kontekstualnim, situacijskim i osobnim čimbenicima. Može pokrenuti fiziološke stresne reakcije koje, ako su dugotrajne, mogu dovesti do razvoja kardiovaskularnih bolesti.
Poremećaj spavanja	San ima ključnu ulogu u održavanju vitalnih funkcija našeg tijela. Buka fragmentira san, smanjuje kontinuitet spavanja i ukupno trajanje sna, što može utjecati na budnost, radnu učinkovitost i kvalitetu života. Ograničenje sna uzrokuje, između ostalog, promjene u metabolizmu glukoze i regulaciji apetita, oštećenu konsolidaciju memorije i disfunkciju krvnih žila. Dugoročni poremećaj spavanja može također dovesti do problema s kardiovaskularnim zdravljem.
Kardiovaskularni i metabolički učinci	Buka je važan čimbenik rizika za kronične bolesti. Izloženost buci aktivira stresne reakcije u tijelu, što dovodi do povećanja krvnog tlaka, promjena u brzini otkucaja srca i oslobađanja stresnih hormona. Osim toga, kardiovaskularni i metabolički učinci povezani s izloženosti buci mogu također biti posljedica smanjenja kvalitete sna uzrokovane bukom tijekom noći, uz dodatne ili međusobno povezane mehanizme. Ovi kronični učinci mogu dovesti do prerane smrtnosti.
Kognitivni razvoj kod djece	Buka u učionicama utječe na djecu na mnogo načina, uključujući smanjenje motivacije, smanjenje razumljivosti govora, sposobnosti slušanja i koncentracije, izazivanje smetnji i uznemirenosti te povećanje nemira. Kao rezultat toga, djeca izložena buci u školi mogu imati lošiju sposobnost čitanja, pamćenja i izvedbe. Kognitivno oštećenje može biti povezano i s izloženošću buci kod kuće tijekom noćnih sati, što može uzrokovati loše raspoloženje, umor i smanjenu radnu učinkovitost sljedeći dan. Buka kod kuće također može biti povezana s problemima hiperaktivnosti i nepažnje, što može uzrokovati lošiju školsku izvedbu.

Izvor: [13] [14]

2.3. Utjecaj buke na životinje

Čovjek svojim djelovanjem stvara buku kako na kopnu tako i u vodi. Tijekom proteklih dva desetljeća, buka koju uzrokuje čovjek u morskome okolišu izrasla je u vrlo relevantno pitanje iz međunarodne perspektive. Ovaj novopronađeni interes potiče dodatni znanstveni rad na razlikovanju učinaka različitih izvora i razina buke na morske vrste kao i njihove reakcije na te akustične podražaje te definiranju kritičnih razina koje mogu imati negativan utjecaj na faunu. Jadransko more, poluzatvoreni bazeni pomorskih zemalja i sve intenzivnijeg pomorskog

prometa, specifična su područja u kojima buka ima poseban utjecaj s obzirom na različite izvore buke koji su prostorno i vremenski raspoređeni. Intenzitet i trajanje buke mogu varirati; njegovi učinci ovise o geografskim i ekološkim okolnostima te sposobnosti životinja da na njega reagiraju. Kao što je navedeno, buka može biti prirodna ili antropogena. Prirodnu buku proizvode valovi, vjetar, kiša, turbulencije mora i morski život. Antropogena buka može biti impulzivna ili kontinuirana. Primjeri impulzivne buke su bušenje u industrijskim postrojenjima (npr. vađenje prirodnog plina) i zračni topovi za seizmička istraživanja, dok kontinuirana buka uključuje onu od bušenja bušotina, pomorskog prometa, sonara i tako dalje. [3] [15]

Antropogena buka ima značajan utjecaj na razne morske organizme, uključujući kitove, kornjače, ribe i beskralješnjake. Iako se posljedice mogu razlikovati ovisno o vrsti, postoje zajednički učinci koje ova buka ima na morsku faunu. Fizičke ozljede, poremećaji u ponašanju, percepciji i komunikaciji, kao i smanjenje općeg zdravlja i preživljavanja jedinki, prisutni su kod svih skupina. Svaka skupina, međutim, reagira na specifične načine, ovisno o njihovoj anatomiji, ekologiji i ponašanju. [15]

Antropogena buka može izazvati fizičke ozljede kod kitova, uključujući oštećenja tkiva i sluha što se može odnositi na privremeni ili dugotrajni gubitak sluha. Ove ozljede mogu imati teške posljedice i uzrokovati izravnu ili odgođenu smrt. Buka također ometa percepciju, smanjujući im sposobnost da čuju zvukove drugih životinja, što je ključno za njihovu komunikaciju. Kao posljedica toga, dolazi do promjena u ponašanju, uključujući izbjegavanje određenih područja, promjene u obrascima zarona te smanjenu sposobnost razmnožavanja i preživljavanja, a kao posljedica svega toga se može ugroziti opstanak cijelih populacija. Kronični utjecaji, poput stresa, dodatno smanjuju šanse za opstanak vrste i povećavaju rizik od razvoja bolesti. [15] [16]

Kod morskih kornjača, antropogena buka može uzrokovati ozljede koje dovode do izravne ili odgođene smrtnosti. Ove ozljede mogu biti manje ili ozbiljnije prirode, a mogu nastati zbog promjena u ponašanju ili smanjenog općeg zdravlja. Iako nema dovoljno istraživanja o utjecaju buke na sluh kornjača, moguće su trajne ili privremene promjene u slušnoj osjetljivosti, kao i maskiranje zvukova iz okoliša. Buka može ometati normalno ponašanje kornjača, poput rasta, preživljavanja i razmnožavanja, te dovesti do promjena u migracijskim obrascima i učinkovitosti kretanja. Također može utjecati na koordinaciju, orijentaciju i hranjenje, što posljedično smanjuje uspješnost pronalaska hrane i preživljavanje jedinki. [15]

Ribe su također osjetljive na negativne učinke antropogene buke. Ona može uzrokovati promjene u ponašanju, poput smanjenja grupne kohezije, izbjegavanja važnih staništa te smanjenja broja potomaka, što rezultira većom smrtnošću. Buka može utjecati i na fiziologiju

riba, smanjujući njihov rast, imunitet i stopu reprodukcije. Također, mogu se pojaviti anatomske promjene, poput abnormalnog razvoja, gubitka sluha i oštećenja vitalnih organa, što u konačnici može dovesti do dezorijentacije, nasukavanja i smrti. Sve ove promjene ugrožavaju brojnost populacije riba i smanjuju njihovu povezanost, dok su mlade jedinke posebno osjetljive, jer im buka otežava naseljavanje određenih područja i povećava rizik od predacije. Beskralježnjaci, iako različiti u svojim fiziološkim i bihevioralnim karakteristikama, također su osjetljivi na antropogenu buku. Ova buka može utjecati na njihove životne funkcije, ometati normalno ponašanje i smanjiti mogućnost preživljavanja. Beskralježnjaci mogu pokazati promjene u ponašanju, fiziološke poremećaje i oštećenja tkiva, što može dovesti do smanjenja brojnosti njihovih populacija. [15]

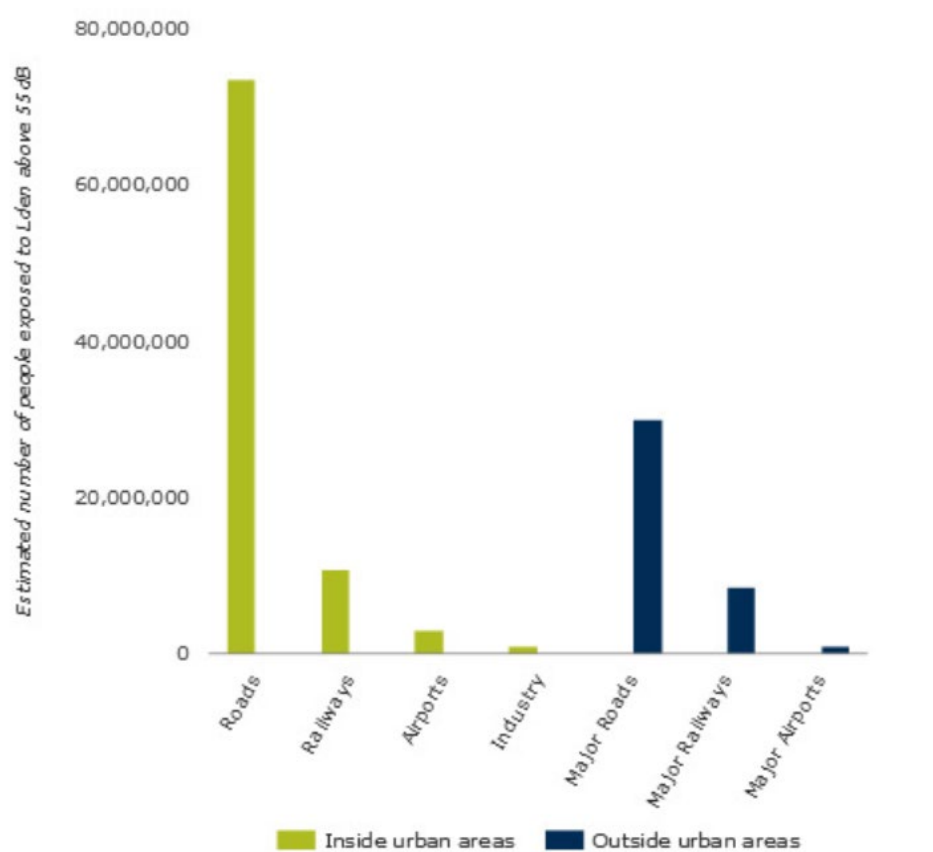
Ovaj široki raspon učinaka antropogene buke na morske organizme naglašava važnost daljnjih istraživanja i regulacija, kako bi se smanjio njezin negativan utjecaj na morsku bioraznolikost.

3. BUKA U CESTOVNOM PROMETU

Glavni izvor prometne buke u Europi nesumnjivo je cestovni promet. Trenutno najmanje jedan od pet Europljana živi u okruženju gdje se onečišćenje bukom od automobila smatra opasnim za zdravlje. U gradovima je taj broj znatno veći, a problem je raširen u većini europskih gradova. Više od polovice stanovnika urbanih područja u većini europskih zemalja izloženo je razinama buke s ceste iznosa 55 ili više dB tijekom dana, večeri i noćnih sati. [17]

Kako su se metode za mjerenje negativnog utjecaja buke u vidu bolesti i smetnji kao što su: srčane bolesti, poremećaji spavanja i funkcije mozga (posebno učenja kod djece) poboljšale, tako je sukladno tome porasla svijest javnosti i sve se više počelo govoriti o ovom problemu. Prema studiji Europske agencije za okoliš (EEA), štetni učinci buke "dolaze prvenstveno od stresne reakcije koju uzrokuje u ljudskom tijelu, a koja se može javiti i tijekom spavanja". Europska agencija za okoliš u svom izvještaju "Upravljanje izloženošću buci u Europi" navodi da su razine buke između 55 i 60 dB tijekom dana zdrave, dok razine buke iznad 50 dB noću vjerojatno ometaju san. Razina buke od 55 dB smatra se blagim prometom. Također se navodi da onečišćenje bukom od automobila koje prelazi 55 decibela utječe na oko 100 milijuna ljudi u Europi. [13]

Najveći izvor buke iznad razina buke koje su dopuštene je cestovni promet, a slijede ga željeznički i zračni promet (4,1 milijun stanovnika područja u blizini zračnih luka moraju podnijeti nepodnošljivu buku zrakoplova). Iz grafikona 1. je vidljivo da je buka cestovnog prometa je dominantan izvor koji utječe na ljudsku izloženost iznad praga EU od 55 decibela (dB) za dnevnu izloženost i 50 dB za noćnu izloženost. Željeznički promet je drugi najveći izvor, s 19 milijuna ljudi izloženih buci iznad 55 dB. Buka zrakoplova, u blizini velikih zračnih luka, treći je glavni izvor, s više od 4,1 milijuna ljudi izloženih, dok industrijska buka u urbanim područjima pogađa oko 1,0 milijun ljudi. [13]



Grafikon 1. Broj ljudi u zemljama članicama EEA-33 izloženim razinama buke iznad 55 dB Lden, 2012.

Izvor: [13]

Nasuprot tome, samo jedan milijun ljudi živi u urbanim područjima gdje je prekomjerna industrijska buka problem. Svjetska zdravstvena organizacija rangirala je buku kao drugi najopasniji okolišni čimbenik. [18]

Prema jednom od posljednjih mjerenja u Republici Hrvatskoj, Osijek je imao najveću zabilježenu izloženost buci cestovnog prometa, a slijede ga Split, Zagreb i Rijeka. Prema dostavljenim podacima, Zagreb ima najvišu razinu izloženosti buci željezničkog prometa, a nakon njega Osijek, Rijeka i Split. Nema dokaza o pretjeranom utjecaju zračnog prometa što je moguće iz više razloga, a jedan je zasigurno nedostatak relevantnih podataka. Buka cestovnog prometa, koja obuhvaća urbana i ruralna odnosno prijelazna područja, bila je najčešći uzrok koronarne bolesti srca među procijenjenim brojem stanovnika izloženih buci u 2017. godini. Prema procjenama, koronarna bolest srca nije pogoršana bukom industrije ili zračnog prometa. [19]

Ljudi koji su izloženi buci iz automobila, aviona i industrijskih izvora znatno su nadmašeni brojem onih koji su izloženi buci s cesta. Ovo vrijedi i unutar i izvan urbanih područja, kao i na razini država u Europi. Uzrok tome je opsežna cestovna mreža, koja nadmašuje druge izvore buke. Primjerice, zemlje su prema Direktivi o procjeni i upravljanju

bukom u okolišu (END) obvezne procijeniti razine buke na 420.791 km glavnih cesta s više od 3 milijuna prolaza vozila godišnje, kao i na svim cestama unutar 511 urbanih područja. Osim toga, u Europskoj uniji postoji otprilike po jedan automobil na svaka dva stanovnika, što ukazuje na visoku učestalost korištenja cestovnih vozila. U urbanim područjima, buka cestovnog prometa razine od najmanje 55 dB tijekom dana, večeri i noći utječe na procijenjenih 82 milijuna ljudi. Tome se dodaje dodatnih 31 milijun ljudi koji su izloženi buci s glavnih cesta izvan gradova. Postoji 21 milijun izvora noćne buke izvan gradova i 57 milijuna unutar njih. To ukazuje na to da je 15% populacije izloženo visokim razinama buke cestovnog prometa tijekom noći, a najmanje 20% populacije izloženo je tijekom dana. Očekuje se da su ovi brojevi znatno veći jer nisu svi europski gradovi ili ceste u potpunosti obuhvaćeni END-om. [13]

Zvuk koji proizvode vozila na cesti rezultat je trenja između njihovih kotača i kolnika. Intenzitet, priroda, struktura i brzina prometnog toka, kao i vrsta ceste, stanje površine i uzdužni nagib ceste utječu na razinu buke. Postoje dvije kategorije buke iz motornih vozila [19]: buka koju proizvodi motor vozila (buka motora), buka koja nastaje kada kotači automobila dođu u kontakt s kolnikom (buka kotrljanja) i buka koju proizvodi vozilo dok se kreće kroz zrak (aerodinamička buka). [20]

Glavni uzrok buke u gradovima je promet. Buka koju proizvode gume u kontaktu s cestom dodatna je buci koju proizvodi motor, mehanička buka, ispušni i usisni sustavi, kočnice i drugi zvukovi. Razina buke vozila povezana je s brzinom kretanja. Najviše je čujna buka motora kada se vozilo kreće brzinom manjom od pedeset kilometara na sat. Zvuk koji proizvodi kontakt guma s cestom postaje dominantniji iznad ovog praga. Osim brzine vozila, drugi faktori koji utječu na onečišćenje bukom uključuju nagib ceste i gustoću prometa (tj. "gust ili rijedak" promet). [21]

Automobili su s vremenom postali tiši iznutra i izvana kako se tehnologija razvijala. Prosječna razina buke automobila prije pedeset godina bila je otprilike 80 dB; danas je otprilike 70 dB. Moramo naglasiti da razlika od samo 3 dB znači dvostruku buku, iako se razlika od 10 dB ne čini značajnom. Na primjer, 80 dB već je usporedivo s razinom buke glasnog usisavača nekoliko metara udaljenog od vas ili razinom buke putničkog aviona prilikom polijetanja. 70 dB je razina prosječne buke u velikom uredu punom radnika. Moderni automobili su nevjerojatno tihi; pri normalnim gradskim brzinama jedini zvukovi koje čujete od prolazećih vozila su zvukovi guma i zraka. Pri većim brzinama motori i tipični ispušni sustavi jedva se registriraju. Naravno, postoje iznimke, osobito one glasne, koje oduševljavaju svoje vlasnike, ali izluđuju većinu promatrača i često ih dovode do ludila. [23]

Strogi propisi o buci primjenjuju se na sve moderne automobile, pa tako i sportske automobile, što njihovi vlasnici često zanemaruju; međutim, ti se propisi odnose samo na standardne postavke automobila i buku koju proizvodi pri određenoj brzini i kutu rotacije. Još su uočljivije promjene moguće sa sportskim ispušnim sustavima, na kojima se preklopke mogu otvoriti pritiskom na gumb (odabirom određenog načina vožnje), što mijenja zvuk u sportski, ali i značajno povećava buku. Pri višim okretajima zvuk nekih automobila značajno se mijenja u karakteru i intenzitetu. Ta vozila također često ispuštaju druge glasne zvukove iz ispuha, poput eksplozija čija je intenzitet sličan onome petardi. [22]

Za službeno mjerenje buke vozila koriste se dva mikrofona postavljena 7,5 metara od lijeve i desne strane automobila. Vozilo se tijekom mjerenja vozi do brzine od 60 km/h, ali samo pri određenom postotku svojih maksimalnih okretaja motora. Ovi su okretaji teoretski neznatno viši od uobičajenih okretaja pri kojima ljudi voze, ali su i dalje daleko ispod maksimalnih. U Zakonu o sigurnosti prometa na cestama nije naveden maksimalni nivo buke automobila; umjesto toga, propis s dugim nazivom "Pravilnik o tehničkim zahtjevima i postupku homologacije motornih vozila s obzirom na dopuštenu razinu buke i ispušnih sustava" određuje koja može biti maksimalna razina buke za nove automobile. [23]

Ovaj Pravilnik, koji je na snazi od 2009. godine, navodi da novi putnički benzinski automobili i kombiji mogu proizvoditi buku do 74 dB, dok dizelska vozila mogu proizvoditi buku do 75 dB. Gornja granica je 76 dB za mopede a, ovisno o kategoriji, do 80 dB za autobuse, kamione i motocikle. [23]

Ovo pravilo gubi na značaju kada vlasnik posjeduje homologirano vozilo ili motocikl jer je vlasniku dopušteno modificirati vozilo. To se ne smatra zakonskim prekršajem jer zvuk buke motora nije reguliran niti su vozači obavezni polagati ispit u tom pogledu. [23]

Praksa modificiranja vozila omogućuje vozačima da koriste škripanje, potiskivače i sustave za povećanje buke kako bi ostvarili željeni „interesantniji“ zvuk. Količina buke koju proizvedu moderni automobili nije samo rezultat dizajna i stanja automobila, već i modifikacija koje su mu dodane nakon izlaska iz tvornice. Modifikacije izravno utječu na povećanje buke i značajno su promijenile uvjete u urbanim sredinama. [23]

4. KARTE BUKE

Osnovna karta buke namijenjena temeljitoj procjeni izloženosti populacije buci iz različitih izvora je strateška karta buke. Karta buke prikazuje lokacije unutar promatrane oblasti gdje se očekuje da će emisije buke biti na sadašnjim i budućim razinama. Najčešće se analizirani podaci na karti buke odnose na prelazak zakonski dopuštenih granica, procjenu koliko je ljudi izloženo različitim razinama buke te procjenu koliko je stanova, škola i bolnica u promatranoj oblasti izloženo različitim vrijednostima indikatora buke. Strateške karte buke prikazuju razine buke kroz cijelu populaciju i/ili stanove izložene buci određenog nivoa u skladu s usklađenim indikatorima buke (*Lden, Lday, Levening i Lnight*). [25]

Korištenjem računalnih tehnika za određivanje emisija i buke iz prepoznatih izvora buke unutar određene regije, izrađuju se karte buke. Među izvorima buke koji se uzimaju u obzir pri izradi strateških karata buke su buka zračnog prometa, buka cestovnog prometa, buka željezničkog prometa i buka industrijskih postrojenja. Buka iz svakog tipa izvora obrađuje se neovisno, a rezultati se zbrajaju kako bi se stvorila karta ukupnih razina buke u promatranoj oblasti. Kao rezultat toga, strateška karta buke je koristan alat za upravljanje okolišnom bukom jer omogućuje razvoj akcijskih planova za smanjenje buke iz postojećih izvora, poboljšanje prostornog planiranja i planiranje zaštite postojećih prostora od izvora buke. [25]

Strateške karte buke ažuriraju se u skladu s lokalnim razvojem i moraju se obnavljati svake pete godine od dana odobrenja. Nakon odobrenja, akcijski planovi se pregledavaju i, ako je potrebno, revidiraju barem svakih pet godina u slučaju značajnih promjena koje utječu na trenutnu situaciju s bukom. Rokovi iz Zakona poštuju se u izradi i odobravanju strateških karata buke i akcijskih planova. U skladu s posebnim propisima koji reguliraju informacije i javno sudjelovanje u pitanjima zaštite okoliša, posebnim propisima koji reguliraju nacionalnu infrastrukturu prostornih podataka, Pravilnikom iz stavka 9. ovog članka i dostupnim informacijskim tehnologijama, strateške karte buke i akcijski planovi moraju biti potpuno dostupni javnosti. [24]

Osim što pružaju dovoljnu zaštitu stanovništvu od štetnih učinaka buke, propisi o buci igraju značajnu ulogu u educiranju javnosti o onečišćenju bukom. U Republici Hrvatskoj, pravne i fizičke osobe koje obavljaju registrirane aktivnosti, kao i jedinice lokalne i regionalne samouprave, obvezne su provoditi i jamčiti mjere zaštite od buke. Sanitarni inspektori Državnog inspektorata nadziru primjenu navedenog Zakona i njegovih podzakonskih akata kroz inspekcijski nadzor. [25]

Izuzetno, komunalna policija onih jedinica lokalne samouprave koje se bave administrativnim i prekršajnim mjerama, odgovorna je za nadzor nad spomenutim odlukama

i aktima kada jedinice lokalne samouprave odobravaju održavanje javnih događaja odlukama predstavničkih tijela, tj. aktom nadležnog tijela općine, grada ili Grada Zagreba, ili odobravaju korištenje elektroakustičkih i akustičnih uređaja na otvorenom prostoru od strane registriranih ugostiteljskih objekata nakon 24 sata. [24]

Strateške karte buke (SKB) mjere količinu buke kojoj je opća javnost izložena zbog industrije i prometa. SKB je temeljna karta buke koja je dizajnirana kako bi pružila temeljitu procjenu izloženosti stanovništva buci iz različitih izvora (cestovni, željeznički, zračni promet i industrija), kao i iz objekata i infrastrukture vezane za sport i rekreaciju, bolnice, škole, vrtiće, tihe zone i druga područja koja su posebno osjetljiva na buku. Buka iz svakog tipa izvora obrađuje se neovisno, a ukupni podaci zbrajaju se kako bi se stvorila karta ukupnih razina buke u promatranom području. [26]

Najčešće informacije koje uključuje su da li se prelazi dopuštene granice, procjena broja osoba koje su izložene specifičnim razinama buke, te broj stanova, škola i bolnica za koje se procjenjuje da su izloženi specifičnim vrijednostima indikatora buke u promatranom području. SKB prikazuje razine buke preko ukupnog broja stanovnika i/ili stanova izloženih buci određenog nivoa, u skladu s usklađenim indikatorima buke (*Lden, Lnight*). [27]

Na temelju nalaza SKB i razlikovne karte buke (poznate i kao karta sukoba buke), koja prikazuje razliku između trenutnog ili predviđenog stanja emisije buke i dopuštenih razina buke, izrađuje se Akcijski plan (AP). Akcijski plan, koji uključuje mjere zaštite od buke, dizajniran je kako bi kontrolirao ambijentalnu buku i njezine štetne učinke. Na temelju prikupljenih podataka može se zaključiti da je došlo do promjene u načinu na koji se rješava urbana onečišćenja bukom i da su stanovnici sada bolje zaštićeni od buke korištenjem tehnoloških rješenja. [28]

4.1. Metodologija

Za analizu karata buke triju europskih gradova (Zagreba, Amsterdama i Budimpešte) koristi se detaljna metodologija koja omogućuje usporedbu razina buke i utjecaja na životnu sredinu i zdravlje stanovnika. Prvi korak u ovom procesu je prikupljanje podataka, pri čemu je ključno pribaviti ažurirane strateške karte buke za svaki od gradova. Ove karte, koje prikazuju razine buke iz različitih izvora kao što su cestovni promet, željeznice, zračni promet i industrija, obično su dostupne putem gradskih ili nacionalnih tijela za zaštitu okoliša. Također je važno prikupiti informacije o zakonodavnim okvirima koji reguliraju emisije buke i demografske podatke koji uključuju gustoću naseljenosti i vrstu zgrada u analiziranim gradovima.

Nakon prikupljanja podataka, slijedi faza analize i obrade. Karte buke se vizualiziraju koristeći GIS (Geografski Informacijski Sustav) alate, koji omogućuju precizno mapiranje i

analizu prostornih podataka. Na taj način se omogućuje jasna usporedba razina buke među gradovima. Ključno je identificirati i klasificirati izvore buke u svakom gradu te analizirati njihov utjecaj na različite urbane zone. Analiziraju se razine buke u decibelima (dB) i uspoređuju s zakonskim granicama i standardima za svaki grad. Ovaj dio procesa pomaže u razumijevanju kako različiti izvori buke utječu na specifične dijelove grada.

Evaluacija utjecaja buke na stanovništvo predstavlja ključnu fazu analize. U ovom koraku se procjenjuje koliko ljudi je izloženo različitim razinama buke, uključujući visoke i dugotrajne razine buke. Također se istražuju moguće zdravstvene posljedice, poput poremećaja spavanja, stresa i kardiovaskularnih problema, koristeći dostupne epidemiološke podatke. Paralelno s tim, analiza prostornog planiranja proučava kako karte buke utječu na strategije smanjenja buke i prostorno planiranje u svakom gradu. Na temelju ovih analiza razvijaju se preporuke za smanjenje buke i poboljšanje kvalitete života u urbanim sredinama. Na slici 3. prikazane su faze izrade strateške karte buke grada Zagreba. [31]



Slika 3. Faze izrade strateške buke grada Zagreba

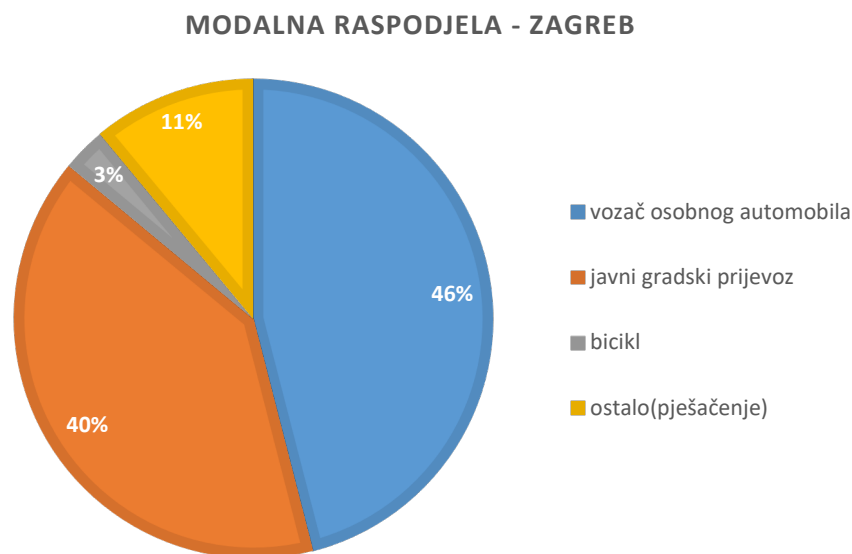
Izvor: [31]

4.2. Komparacija emisije buke europskih gradova

Karte buke igraju značajnu ulogu u praćenju promjena u razinama buke kako u svjetskim tako i u brojnim europskim gradovima. U ovom radu je izvršena usporedba europskih gradova Zagreba, Amsterdama i Budimpešte na temelju njihovih karti buke i podataka o izloženosti buke stanovništva višoj od 55 dB *Lden* u tim gradovima, te utjecaja udjela broja osobnih vozila u modalnoj razdiobi u tim gradovima na stvaranje negativnih učinaka buke.

4.2.1. Zagreb

Ukupna površina grada Zagreba je 641,32 km². Zagreb je najveći grad u Hrvatskoj, a prema posljednjem popisu broja stanovnika u Zagrebu živi 806.341 stanovnika. U Zagrebu cestovni promet karakterizira značajna zastupljenost automobila, a prema podacima iz 2019. godine bilo je 340.610 registriranih automobila, dok bicikli čine manji udio u svakodnevnom prometu. Na grafikonu 2. je prikazana modalna raspodjela Zagreba iz kojeg je vidljivo da su osobna vozila najzastupljenija, a da je udio biciklista najmanji.



Grafikon 2. Modalna raspodjela Zagreba

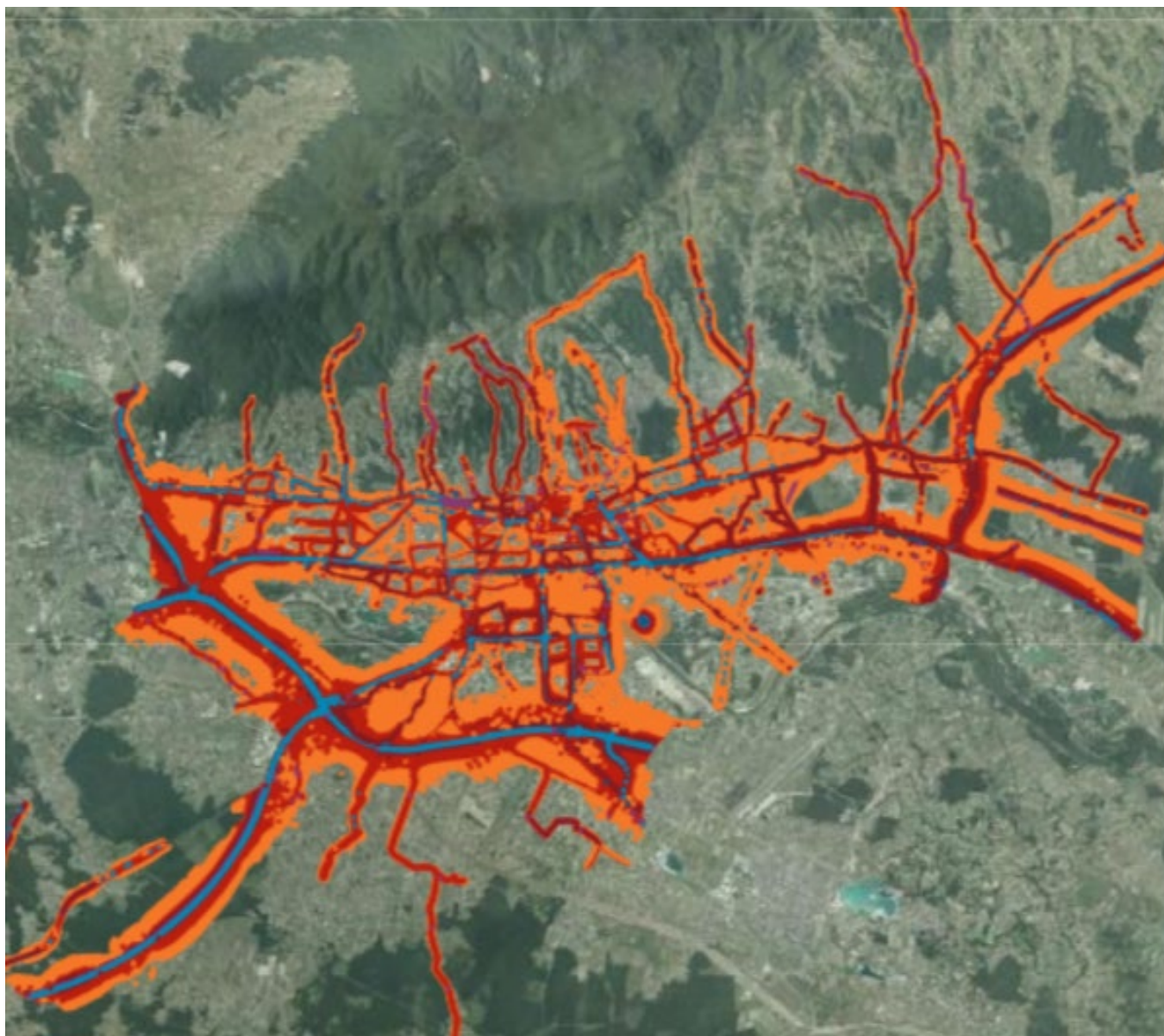
Izvor:[49]

Unatoč stalnom naporu Grada Zagreba da unaprijedi biciklistički promet kroz brojne projekte i podršku biciklističkim inicijativama, problemi sa infrastrukturom i pristupom i dalje ograničavaju učinkovitost i sigurnost biciklističkog prometa. Grad ima nešto više od 200.000 aktivnih biciklista, od kojih 3.000 svakodnevno koristi bicikl, što pokazuje rastući interes za ovu vrstu prijevoza. Međutim, postojeće biciklističke staze i infrastruktura još uvijek pate od

brojnih problema, uključujući nepravilnosti u signalizaciji, prekide kontinuiteta staza i neadekvatne prilagodbe rubnjaka. [32] [42]

Automobili su najdominantnija vozila u zagrebačkom cestovnom prometu, s prometnim infrastrukturnim rješenjima koja daju prioritet motoriziranom prometu. Ulice su često prilagođene za automobilski promet s više voznih traka i parkirnih mjesta, dok biciklističke staze često zauzimaju prostor s pločnika, ograničavajući prostor za pješake. Takva raspodjela prostora dovodi do problema u pogledu sigurnosti i funkcionalnosti biciklističkog prometa, koji još uvijek zaostaje za potrebama i standardima u razvijenijim biciklističkim gradovima. Uz stalne napore za poboljšanje biciklističke infrastrukture poput povećanja broja biciklističkih staza i parkirališta te uvođenja novih sustava javnih bicikala, Zagreb se suočava s izazovima u ostvarivanju veće integracije bicikala u svakodnevni promet. Iako se situacija poboljšava, i dalje je potrebno znatno unaprijediti kontinuitet, sigurnost i funkcionalnost biciklističkog prometa kako bi se osigurao daljnji rast i razvoj ove forme urbanog prijevoza. [32] [33]

Karta buke Grada Zagreba pruža detaljan uvid u razine buke uzrokovane različitim izvorima prometa, uključujući cestovni i željeznički promet. Temelj analize su podaci prikupljeni i prikazani prema razinama buke koje uzrokuju različite vrste buke na području grada, s posebnim naglaskom na dnevne, večernje i noćne razine buke. Ova analiza omogućava bolje razumijevanje utjecaja buke na stanovništvo i stambene jedinice unutar grada, kako bi se mogle implementirati odgovarajuće mjere za smanjenje buke i poboljšanje kvalitete života. [29] Na slici 4. prikazana je karta buke grada Zagreba [30].



Slika 4. Karta buke grada Zagreba,

Izvor: [30]

U Zagrebu je izloženost buke tijekom noći pokazuje značajne razine u cijelom gradu. Ukupna populacija grada iznosi 806.341. Od tog broja, 427.013 stanovnika izloženo je razinama buke većim od 55 dB, što čini 52,9% ukupne populacije. Kvaliteta karte buke ocijenjena je kao visoka, što znači da su podaci o izloženosti buke precizno prikazani i da je analiza pouzdana.

Ovi podaci ukazuju na to da je značajan dio populacije u Zagrebu izložen višim razinama buke tijekom noći, što može imati utjecaj na kvalitetu života, zdravlje i opće blagostanje građana. Visoka kvaliteta karte buke omogućava točno planiranje mjera za smanjenje buke i

poboljšanje životnih uvjeta u urbanim sredinama. U tablici 3. prikazani su podaci o stanovništvu izloženom buci većoj od 55 decibela u Zagrebu. [31]

Tablica 3. Stanovništvo izloženo buci većoj od 55dB u Zagrebu

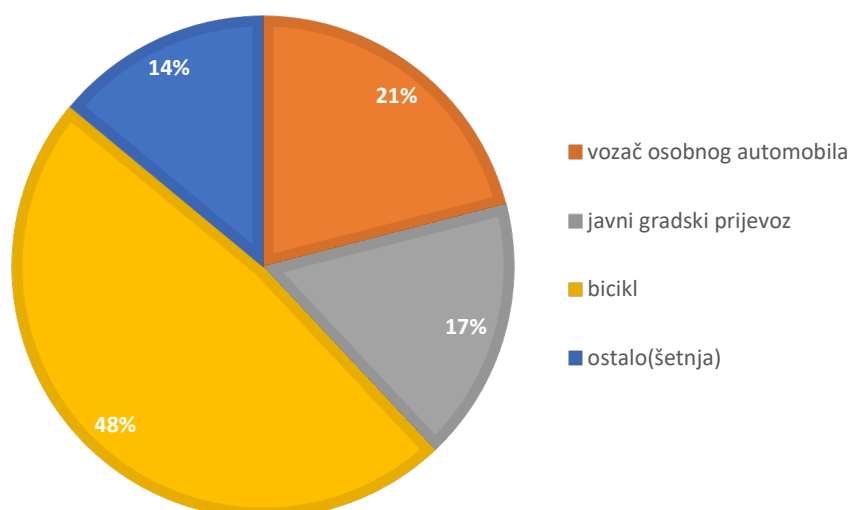
Grad	Zagreb, Hrvatska
Procjena izloženosti buke	-
Ukupna populacija grada (n)	806.341
Populacija izložena > 55 dB(A) (n)	427.013
Udio izložene populacije > 55 dB(A)	52,9%
Kategorija kvalitete karte buke	Visoka
Udio osobnih vozila u modalnoj razdiobi	46%

Izvor: [31]

4.2.2. Amsterdam

Amsterdam se prostire na 165,76 km² površine i ima 918.117 stanovnika. Amsterdam se ističe kao lider u infrastrukturi za biciklizam s jedinstvenim modalnim udjelom, gdje hodanje i biciklizam čine 61% putovanja, dok je udio putovanja automobilima nizak. Unatoč tome što je veliki glavni grad s velikom populacijom, razina zagušenja je niska zbog ograničene upotrebe privatnog prijevoza i poticaja za korištenje alternativnih načina prijevoza. Grad također bilježi nisku stopu nesreća i ima pouzdan, pravilan i integriran javni prijevozni sustav. Grafikon 2. prikazuje modalnu raspodjelu grada Amsterdama.

MODALNA RASPODJELA - AMSTERDAM



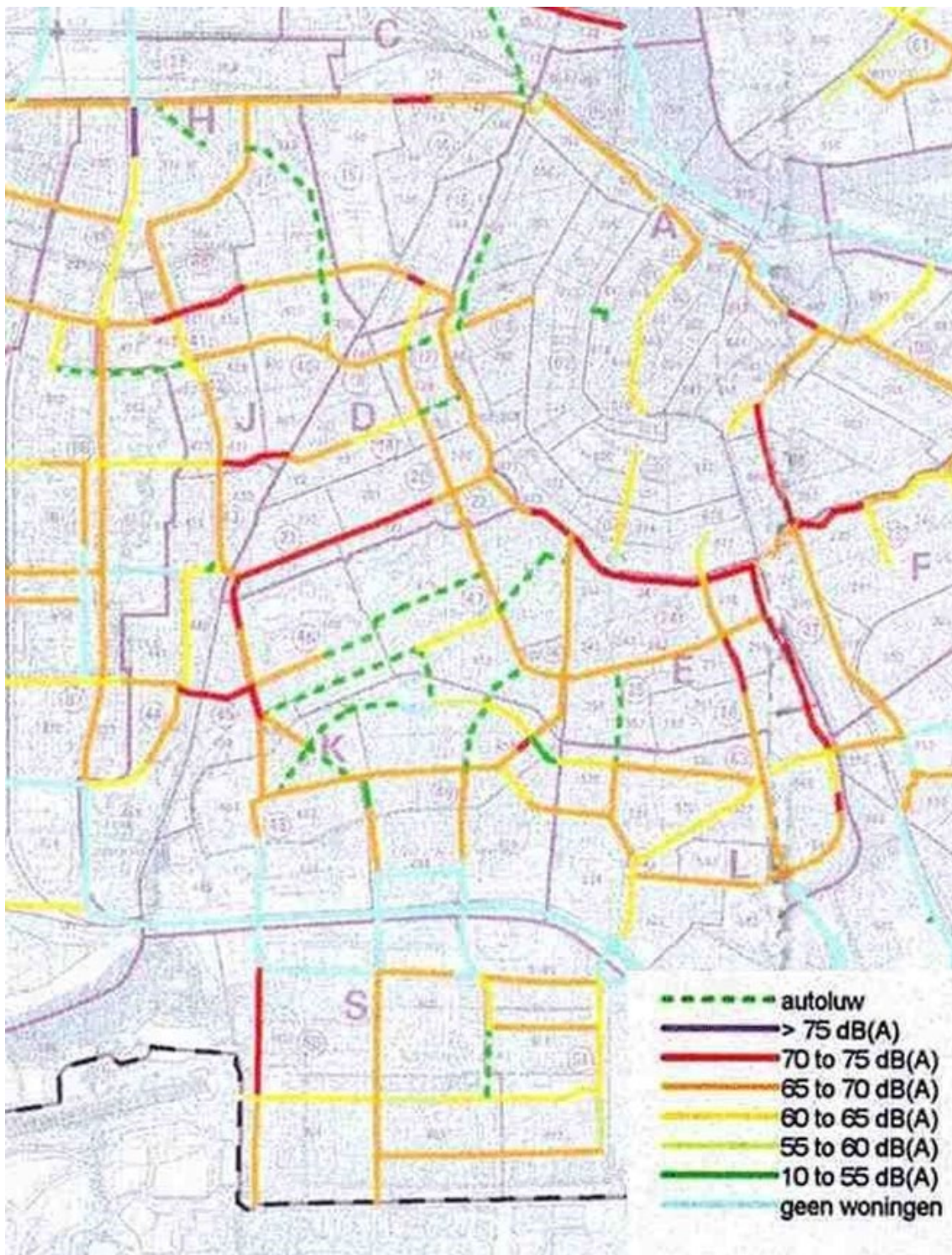
Grafikon 3. Modalna raspodjela Amsterdama

Izvor: [34]

Javni prijevozni sustav u Amsterdamu je visoko siguran i pristupačan, iako je putovanje javnim prijevozom relativno skupo. Sigurnosni standardi su visoki, uključujući veliku policijsku snagu za javni prijevoz. Iako su troškovi javnog prijevoza visoki, korištene bicikla kao transportnog sredstava i hodanjem se smanjuje financijski teret za većinu građana. Za putnike koji se primarno oslanjaju na javni prijevoz, visoki tarifni troškovi mogu predstavljati opterećenje, osobito u usporedbi s gradovima s višim prosječnim i minimalnim prihodima. Amsterdam posjeduje široku i pristupačnu mrežu prijevoza, s više od 500 km biciklističkih staza, a 84% ljudi živi unutar 1 km od područja usluge javnog prijevoza.

Amsterdam već ima nekoliko projekata i pilot inicijativa u okviru svog nastojanja da postane pametan grad. Platforma Amsterdam Smart City omogućava suradnju između gradske vlasti, privatnog sektora i građana u razvoju inovativnih rješenja za gradske probleme, poput Vehicle2Grid (baterija automobila kao skladište energije), Toogethr (pametan carpooling) i Felyx (dijeljenje e-skutera). Grad ima visoke rezultate u održivosti, s ciljem da postane prvi grad u Europi bez emisija, što uključuje usvajanje električnih vozila. Napredak uključuje najgušću mrežu punionica na svijetu, potpuno električnu flotu taksija za zračnu luku i programe dijeljenja automobila u potpunosti na električni pogon.

Karta buke grada Amsterdama pruža sveobuhvatan prikaz akustičkog okruženja koje se pojavljuje u urbanim sredinama, čime se omogućuje bolje razumijevanje i upravljanje problemima buke u takvim sredinama. Ova karta, koja se temelji na podacima o godišnjim prosječnim razinama buke (*Lden* i *Lnight*), igra ključnu ulogu u usklađivanju sa zakonodavstvom Europske unije, konkretno Europskom direktivom o buci (END) i u planiranju urbanog prostora. [34]



Slika 5. Karta buke Amsterdama

Izvor: [34]

Karta buke Amsterdama sadrži informacije koje su od vitalnog značaja za različite aspekte urbanog života. Ona prikazuje razine buke uzrokovane glavnim izvorima poput cestovnog prometa, željezničkog prometa, zračnih luka i industrijskih lokacija. Prikazivanje

buke na ovoj karti omogućuje uvid u prostornu raspodjelu buke u gradu, što je ključno za identifikaciju područja s visokom izloženosti buci. Ovi podaci služe za izradu akustičkih karata koje pružaju važne informacije za donošenje odluka o urbanističkom planiranju i za razvoj strategija za smanjenje buke. [34]

Važnost karte buke se ne ogleda samo u pružanju informacija o trenutnom stanju buke, već i u njenoj primjeni za predviđanje učinaka mjera kontrole buke. Pomoću prediktivnih modela, moguće je procijeniti učinkovitost različitih mjera za smanjenje buke, kao što su promjene u infrastrukturi, postavljanje zvučnih barijera ili promjene u prometnim tokovima. Ovo omogućuje planiranje mjera koje će najučinkovitije smanjiti razine buke i poboljšati kvalitetu života građana. [34]

Dodatno, karta buke Amsterdam koristi se u procesu auralizacije, što je tehnika koja omogućuje simulaciju akustičkih uvjeta u virtualnom okruženju. Ova metoda omogućuje vizualizaciju i "slušanje" zvučnog okruženja grada prije nego što se provedu stvarne promjene u urbanom prostoru. To uključuje simulacije koje pomažu u procjeni učinaka različitih scenarija buke, uključujući utjecaj prometnih promjena ili novih građevinskih projekata na zvučni okoliš grada. Auralizacija je korisna u istraživačke svrhe, ali i za komunikaciju s planerima, arhitektima i građanima, pružajući im mogućnost da virtualno isprobaju i ocjene različite akustičke scenarije.

Osim toga, karta buke ima ključnu ulogu u kontekstu istraživanja i inovacija u području kontrole buke. Prediktivne metode i modeli koriste se za analizu učinkovitosti različitih tehnologija i strategija za smanjenje buke, omogućujući razvoj novih i poboljšanih rješenja koja mogu biti primijenjena u praksi. Ovo istraživanje pomaže u stvaranju urbanih prostora koji su ne samo funkcionalni, već i ugodni za život, smanjujući utjecaj buke na zdravlje i dobrobit stanovnika.

U konačnici, karta buke Amsterdama predstavlja važan alat u razumijevanju složenog akustičkog okruženja grada. Ona omogućava usklađivanje s europskim regulativama, poboljšava urbanističko planiranje, doprinosi razvoju učinkovitih mjera za kontrolu buke i pruža sredstva za virtualnu simulaciju akustičkih uvjeta. Ova sveobuhvatna analiza buke omogućuje stvaranje urbanih prostora visoke akustičke kvalitete i doprinosi zdravijem i ugodnijem životnom okruženju za sve građane.

U Amsterdamu, prema podacima iz 2017. godine koje je pružio RIVM, procjena izloženosti buci prikazana je u kontinuiranom rasponu od 5 do 87 dB *Lden*. Grad ima ukupnu populaciju od 924.203 ljudi. Od tog broja, 437.495 stanovnika izloženo je razini buke većoj od 55 dB *Lden*, što čini 47,3% ukupne populacije. Kvaliteta karte buke ocijenjena je kao visoka,

što sugerira da su podaci o buci dobro prikazani i da se može računati na točnost procjena izloženosti. [11]

Amsterdam pokazuje značajan postotak populacije izložene visokom nivou buke, što može imati posljedice za zdravlje i kvalitetu života stanovnika. Važno je napomenuti da je Amsterdam jedan od Europskih gradova koji se aktivno i dosta uspješno bavi rješavanjem ovog problema. Visoka kvaliteta karte buke implicira da su alati i metode za procjenu izloženosti dobro razvijeni i precizni, što je ključno za planiranje i provedbu mjera za smanjenje buke u urbanim sredinama. U tablici 4. prikazani su podaci o izloženosti stanovnika bukom u Amsterdamu.

Tablica 4. Stanovništvo izloženo buci većoj od 55 dB u Amsterdamu

Grad	Amsterdam
Procjena izloženosti buke	Kontinuirani raspon između 5 i 87 dB(A)
Ukupna populacija grada (n)	924.203
Populacija izložena > 55 dB(A) (n)	437.495
Udio izložene populacije > 55 dB(A)	47,3%
Kategorija kvalitete karte buke	Visoka
Udio osobnih vozila u modalnoj razdiobi	21%

Izvor: [11]

4.2.3. Budimpešta

Budimpešta, glavni grad Mađarske, smješten je u sredini Panonske nizine, s površinom od 525 četvornih kilometara i populacijom od 1,7 milijuna stanovnika. Kao najveći grad Mađarske, Budimpešta je ključni politički, kulturni, komercijalni, industrijski i prometni centar zemlje. Grad je podijeljen rijekom Dunav, a njegova prometna infrastruktura reflektira njegovu važnost i složenost. [46]

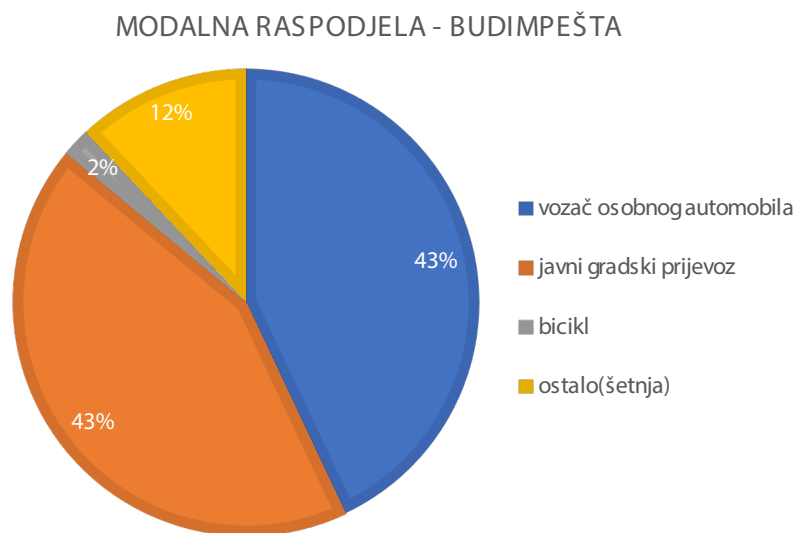
Na grafikonu 3. su prikazani dnevna putovanja i podjela prijevoznih sredstava po različitim procjenama, analizirajući četiri glavne kategorije: javni prijevoz, hodanje, bicikle i automobile. Lijevi grafikon prikazuje apsolutne vrijednosti, odnosno broj putovanja u milijunima po danu, dok desni grafikon prikazuje relativni udio svake kategorije u ukupnom broju putovanja u postocima.

Na lijevom dijelu grafikona vidljivo je da se automobili koriste najviše, s procjenama koje pokazuju da će se broj putovanja automobilima kretati između 3,5 milijuna i 4 milijuna dnevno. Javni prijevoz je drugi po zastupljenosti, s približno 2,5 milijuna putovanja po danu u osnovnoj procjeni, dok alternativne procjene ukazuju na moguće smanjenje ili povećanje broja putovanja. Hodanje i biciklizam imaju daleko manji broj putovanja u usporedbi s automobilima

i javnim prijevozom, no postoji tendencija porasta broja biciklističkih putovanja u višim procjenama.

Desni dio grafikona prikazuje postotke upotrebe pojedinih vrsta prijevoza, a automobili dominiraju u svim procjenama. U osnovnoj procjeni automobili čine 43% svih putovanja, dok javni prijevoz ima jednak postotak (43%). Hodanje čini 12%, a bicikliranje samo 3%. Međutim, u višim procjenama vidimo kako raste postotak korištenja automobila (do 72%), dok javni prijevoz pada na samo 11%. U srednjoj procjeni automobili čine 65% putovanja, dok hodanje i javni prijevoz zadržavaju stabilan udio. U najnižoj procjeni, automobili čine 60%, dok javni prijevoz raste na 22%, a biciklistička putovanja blago se povećavaju na 3%.

Ova analiza sugerira da, iako automobili ostaju dominantno prijevozno sredstvo, postoji mogućnost promjena u obrascima mobilnosti ovisno o različitim procjenama, s potencijalnim povećanjem upotrebe javnog prijevoza i bicikala u nižim procjenama. Na grafikonu je prikazana modalna raspodjela putovanja u Budimpešti. [34]



Grafikon 4. Modalna raspodjela Budimpešte

Izvor: [34]

Podaci o buci u Budimpešti, predstavljeni u strategijskoj karti buke prikazanoj na slici 6., pružaju detaljan uvid u razinu buke u ovom urbanom području. Na temelju podataka, možemo analizirati kako se buka distribuira u Budimpešti te kakav utjecaj može imati na lokalno stanovništvo.

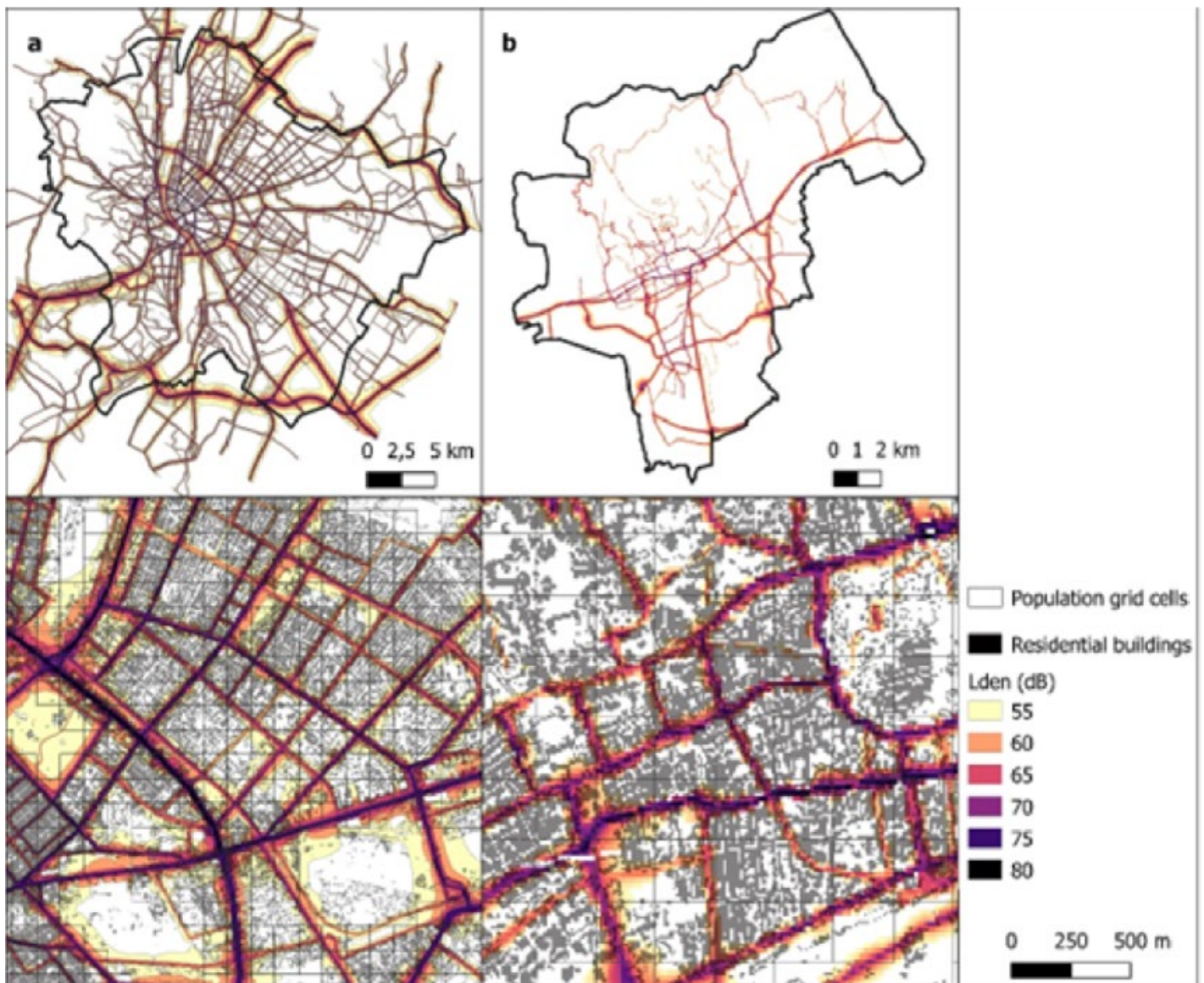
Karta buke pokazuje da je u Budimpešti velika većina površine, s indeksom buke od 0.999, što ukazuje na vrlo visoke razine buke, gotovo maksimalne, kad se upotrebljavaju parametri poput *Lden*. Ovo sugerira da značajan dio grada ima iznimno visoke razine buke, što može imati ozbiljan utjecaj na kvalitetu života stanovnika. Visoke razine buke povezane su s

povećanim rizikom od zdravstvenih problema, uključujući stres, poremećaje spavanja i druge fiziološke i psihološke poteškoće. [35]

Konkretni podaci ukazuju na to da se u Budimpešti bilježi velika gustoća ljudi koji su izloženi buci preko 35 dB *Lden*. Sa brojem stanovnika od 685.734, u usporedbi s ukupnim brojem ljudi koji su izloženi buci, može se pretpostaviti da veliki dio populacije živi u područjima s visokom razinom buke. Količina izloženih ljudi, od 1.795.482, u odnosu na indeks buke koji se približava 1.000, daje do znanja da je ogromna većina stanovnika izložena značajnoj buci.

U usporedbi s drugim gradovima, poput Rostocka i Elblaga, koji imaju niže indekse buke, Budimpešta se ističe kao područje s izrazito visokom razinom buke. Primjerice, Rostock i Elblag imaju indekse buke znatno niže od Budimpešte, što implicira da su uvjeti buke u Budimpešti znatno lošiji. U kontekstu strategijskog upravljanja bukom, ove informacije su ključne za formulaciju politika i mjera za smanjenje buke i poboljšanje životnih uvjeta stanovnika.

Ukupno gledano, visoke vrijednosti buke u Budimpešti zahtijevaju pažnju i mjere za smanjenje iste kako bi se poboljšala kvaliteta života i zaštitilo zdravlje ljudi. Implementacija učinkovitih strategija za smanjenje buke, poput poboljšanja urbanog planiranja, smanjenja prometne buke i primjene zvučne izolacije, mogla bi značajno doprinijeti smanjenju razine buke i njezinog negativnog utjecaja na stanovnike Budimpešte. [11] [35] Na slici 6. prikazana je karta buke Budimpešte. [11]



Slika 6. Karta buke Budimpešte

Izvor: [11]

Grad Budimpešta, prema podacima iz 2017. godine koji dolaze iz END (Europske direktive o buci u okolišu), suočava se s visokim razinama izloženosti stanovništva buci. Korišteni podaci su predstavljeni u obliku poligona, što omogućava preciznije geografsko mapiranje područja izloženih buci. Procjena izloženosti buci usmjerena je na stanovnike koji su izloženi razinama buke iznad 55 dB *Lden*, što je razina buke koja uključuje i dnevnu i noćnu buku te može imati značajne učinke na kvalitetu života i zdravlje.

Ukupan broj stanovnika Budimpešte iznosi 1.795.482, od čega je čak 685.734 stanovnika izloženo buci iznad spomenute granice od 55 dB *Lden*. Ova brojka predstavlja značajan dio populacije, što ukazuje na rašireni problem buke u urbanim dijelovima grada.

Postotak stanovnika Budimpešte izloženih buci iznad 55 dB *Lden* iznosi 38,2%. To znači da je gotovo dvije petine stanovnika izloženo razinama buke koje premašuju preporučene granice, što je zabrinjavajuće s obzirom na dugoročne učinke koje buka može imati na njihovo zdravlje i svakodnevni život. Takva visoka razina izloženosti zahtijeva ozbiljna promišljanja o uvođenju dodatnih mjera za smanjenje buke u gradskim područjima.

Karta buke za Budimpeštu kategorizirana je kao "umjerena" u pogledu kvalitete. Ova oznaka sugerira da su podaci o izloženosti buci prikupljeni na zadovoljavajućoj razini, ali istovremeno ukazuje i na prostor za poboljšanja u preciznosti karte i njezinoj pokrivenosti.

Tablica 5. Stanovništvo izloženo buci većoj od 55 dB u Budimpešti

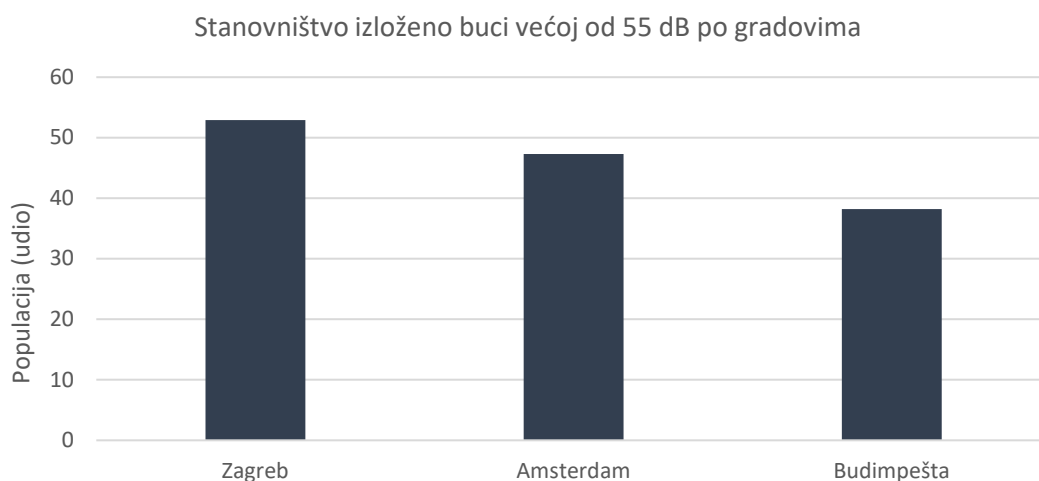
Grad	Budimpešta
Procjena izloženosti buke	Kategorizirano > 35 dB <i>Lden</i>
Ukupna populacija grada (n)	1.795.482
Populacija izložena > 55 dB(A) (n)	685.734
Udio izložene populacije > 55 dB(A)	38,2%
Kategorija kvalitete karte buke	Umjerena
Udio osobnih vozila u modalnoj razdiobi	43%

Izvor: [11]

4.2.4. Usporedba gradova

Iz grafikona 4. može se iščitati da Zagreb i Amsterdam imaju slične postotne vrijednosti za izloženost buke koja je veća od 55 dB u razdoblju koje obuhvaća i *Lden* i *Lnight*. Vrijednost za Budimpeštu ne odstupa puno od vrijednosti za Amsterdam i Zagreb. Međutim, ove odnose ne treba uzeti zdravo za gotovo jer kvaliteta karti buke nije jednaka u svim gradovima. Kategorija kvalitete karte buke za Zagreb i Amsterdam je visoka, dok je za Budimpeštu umjerena, pa možemo zaključiti da bi se daljnjim razvojem i mjerama za zaštitu od buke u Europi moglo utjecati na relevantnost podataka i daljnji napredak u pogledu trendova mobilnosti i održivosti.

Na temelju podataka iz tablice 6. gdje su prikazana sva tri grada može se zaključiti da udio osobnih vozila u modalnoj razdiobi ne predstavlja relevantan podatak na temelju kojeg se može odrediti zagađenje bukom nekog urbanog područja. U skladu s navedenim i analizom karata buke pojedinog grada može se utvrditi na prometnicama više kategorije dolazi do najvećih emisija buke. U skladu s navedenim može se zaključiti da se prostornim planiranjem i smještanjem stambenih zona na adekvatne lokacije može u velikoj mjeri utjecati na izloženost buci.



Grafikon 5. Stanovništvo izloženo buci > 55 dB u europskim gradovima

Izvor: [11]

Tablica 6. Odnos modalne raspodjele i izloženosti populacije buci > 55 dB u europskim gradovima

Grad	Zagreb	Amsterdam	Budimpešta
Udio osobnih automobila u modalnoj razdiobi	46%	21%	43%
Udio javnog gradskog prijevoza u modalnoj razdiobi	40%	14%	43%
Udio biciklista u modalnoj razdiobi	3%	48%	2%
Udio ostalih (pješačenje)	11%	17%	12%
Ukupna populacija grada	806.341	924.203	1.795.482
Populacija izložena buci > 55 dB(A)	427.013	437.495	685.734
Udio izložene populacije > 55 dB(A)	52,9%	47,3%	38,2%

Izvor: [11] [31] [34] [49]

5. ZAŠTITA OD BUKE U CESTOVNOM PROMETU

Mjere za smanjenje buke možemo podijeliti u dvije kategorije:

- Primarne - mjere zaštite od buke u cestovnom prometu usmjerene su na smanjenje buke na samom izvoru.
- Sekundarne - mjere zaštite od buke bave se smanjenjem prijenosa buke i njenim utjecajem na mjesto prijema. [45]

5.1. Tehnološke mjere

Jedna od glavnih sredstva za zaštitu od buke su tehnološka. Kada god je to moguće, radne prostorije trebaju se adekvatno graditi kako bi se smanjila industrijska buka. Ključno je odvojiti strojeve koji proizvode buku. Gumene obloge na radnim postoljima mogu također pomoći u smanjenju buke koju strojevi proizvode dok su u pogonu. Buka u radnim prostorijama može se značajno smanjiti prekrivanjem zidova poroznim materijalima, što smanjuje refleksiju zvučnih valova od zidova. Ako sve ove mjere ne uspiju smanjiti buku na siguran nivo, zaposlenici će morati nositi osobnu zaštitnu opremu. [40]

Buka koju proizvode motorna vozila, posebno kamioni i automobili, značajan je problem u mnogim gradovima diljem svijeta, uključujući i zemlje Europske unije. Izvori buke u cestovnom prometu mogu biti raznoliki, od buke motora i ispušnih sustava do buke koju stvaraju gume pri kontaktu s cestovnom površinom.

Jedan od ključnih čimbenika u emisiji buke cestovnog prometa je tip vozila i brzina kretanja. Teška vozila, kao što su kamioni, proizvode značajno veću buku u usporedbi s osobnim automobilima, naročito pri višim brzinama. Kod kamiona koji putuju brzinama većim od 60 km/h je buka koju proizvode gume dok se kotrljaju po tlu je glavni izvor emisije. Buka koju stvaraju gume dok se kotrljaju po cesti može biti posebno intenzivna, a njen intenzitet ovisi o karakteristikama ceste i gumama, uključujući njihovu teksturu i materijal. Promjena u sastavu cestovnih površina i poboljšanje kvalitete guma mogu značajno utjecati na smanjenje buke. Buka pri vožnji može se isticati samo tijekom brze akceleracije ili pri brzinama većim od trideset kilometara na sat. Karakteristike cestovne površine, uključujući strukturu površine, akustičku apsorpciju i aerodinamičke procese, doprinose proizvodnji ove vrste buke. Buka kotrljanja guma može se smanjiti poboljšanjem karakteristika površine kako bi se smanjio učinak generiranja buke. [43]

5.2. Metodološko planiranje

Metodološko planiranje akustike određenog okruženja, uzimajući u obzir sve relevantne čimbenike, ključno je za postizanje učinkovitih rješenja za zaštitu od buke. Ne

postoji univerzalna formula za smanjenje buke, a zadatak je obično složen. Najbolji pristup uključuje uključivanje akustičkog projekta u ranoj fazi dizajniranja ili rekonstrukcije zgrade ili postrojenja, primjenu akustičkih principa u svim fazama, te provedbu konačne evaluacije performansi, uz moguće daljnje intervencije. Ovaj pristup omogućuje postizanje prihvatljive razine buke po pristupačnoj cijeni. [43]

5.3. Zakonske mjere i standardi

Zakonske mjere i standardi, uključujući razvoj tiših vozila i upotrebu smanjenih razina buke u građevinskim projektima, također igraju ključnu ulogu u upravljanju i smanjenju buke u cestovnom prometu. Zakonske mjere definiraju granice buke koje treba ispuniti i preventivne mjere. Inženjersko-tehnološka rješenja uključuju razvoj proizvoda s smanjenim razinama buke i planiranje korištenja zemljišta i gradnje. Organizacijske i planerske tehnike koriste se za odabir tehnologije i strojeva koji proizvode manje buke. Cilj zahtjeva za gradnju je minimizirati ili izbjevati sudare dijelova strojeva te zamijeniti bučne metalne komponente s onima koje bolje upijaju zvuk. [41]

Različite metode koriste se za izračun razine buke, ovisno o zemlji, kako bi se dizajnirale zaštitne mjere. Europska unija preporučuje korištenje francuske metode za izračunavanje razine buke od cestovnog prometa, koja razlikuje mjerenje buke u urbanim područjima i otvorenim cestovnim segmentima. Ključni dijelovi ovog pristupa uključuju određivanje emisijske i imisijske razine buke. Prema pravilnicima, Republika Hrvatska koristi isti pristup. Buka od cestovnog prometa identificirana je kao značajan zdravstveni problem od strane Zajedničkog istraživačkog centra Europske komisije i Svjetske zdravstvene organizacije (WHO). [41]

Europski zakonodavni organi donijeli su zakone u odgovoru na ove probleme. Uredba UN-a ECE R51 specificira metodu za mjerenje buke prolaznih vozila, a europska vozila moraju se pridržavati ove metode. Standardizirane metode testiranja, poput ISO 11819-2, koriste se za postavljanje ciljeva za smanjenje buke povezanih s gumama. Regulacija buke cestovnog prometa izazovna je zbog velikog broja vozila, ali projekti poput tihog asfalta za teška vozila, koji su započeli u Rotterdamu 2011. godine, nastoje riješiti problem. Europska komisija ističe da je okolišna buka jedan od glavnih okolišnih problema u Europi, a države članice Europske unije obvezne su razviti planove i karte buke prema Europskoj direktivi 2002/49/EZ. [43]

Na nacionalnoj razini, Švicarska je razvila akcijski plan za smanjenje buke s prioritetima kao što su smanjenje buke na izvoru, promicanje tihih područja i poboljšanje praćenja buke. Zemlje poput Nizozemske provode akcije za smanjenje buke od željezničkog prometa, uključujući retrofitting tihih kočnica i instalaciju pruga i barijera za buku. [35]

5.4. Fizička zaštita

Jedna od najpoznatijih mjera fizičke zaštite od buke su bukobrani. Zvučne barijere ili bukobrani su jedne od konstrukcijskih mjera zaštite okoliša od prometne buke. Postavljaju se tamo gdje regulacijskim mjerama nije moguće dovoljno smanjiti razinu prometne buke i nasipi nisu prikladno rješenje. Akustične barijere mogu se podijeliti u tri općenite vrste: panele, zidane i samostojeće. [41] Na slici 7. prikazan je bukobran [42].



Slika 6. Bukobran

Izvor: [42]

Smanjenje buke u budućnosti

Zakon o procjeni i smanjenju buke (END) potreban je za zaštitu ljudi od štetne izloženosti okolišnoj buci. Postignut je određeni napredak u kartografiji buke i razvoju akcijskih planova, ali još uvijek postoji značajno kašnjenje u provedbi. U mnogim zemljama, nedostaju akcijski planovi ili su planovi niske kvalitete. Zajednička metoda za kartografiju buke od strane EU-a trebala bi poboljšati usklađenost procjena i kvalitetu podataka, dok će obveza prijavljivanja putem sustava EEA povećati transparentnost. [43]

Unatoč naporima, značajan broj ljudi još uvijek je izložen visokim razinama buke. Iako su ciljevi za smanjenje zagađenja bukom postavljeni, ukupni broj ljudi izloženih visokim razinama buke ostao je stabilan između 2012. i 2017. godine. Projekcije za budućnost, uključujući urbanizaciju i povećanu potražnju za prijevozom, upućuju na moguće povećanje broja ljudi izloženih buci. [44]

Temeljni pristup za učinkovitu zaštitu od buke uključuje promjenu modalne raspodjele u korist održivog prometovanja. Usmjerenost na održive oblike prijevoza, poput biciklističkih i pješačkih zona te poboljšanje javnog prijevoza, može značajno smanjiti ukupnu razinu buke u urbanim sredinama. Ovaj pristup omogućuje smanjenje broja motornih vozila i time smanjuje emisiju buke, dok se istovremeno poboljšava kvaliteta života u urbanim područjima. [39]

6. ZAKLJUČAK

Buka podrazumijeva vrlo glasne, čovjeku neugodne i bolne zvukove, a ima velik utjecaj na zdravlje ljudi i životinja. Kod ljudi najčešće izaziva gubitak sluha, a postoje rizici i od raznih iritacija, poremećaja sna i kardiovaskularnih bolesti. Dugotrajna izloženost buci iz okoliša jedan je od glavnih uzroka lošeg zdravlja Europljana. Životinje su također osjetljive na utjecaj buke iz okoliša. Zbog toga je važno kontinuirano istraživati intenzitet buke u okolišu te napraviti potrebne regulacije kako bi se zaštitila bioraznolikost.

Cestovni promet je jedan od glavnih izvora okolišne buke u urbanim sredinama, a njegova kontrola i smanjenje predstavljaju kompleksan izazov za urbane planere i regulatore. Buka koju proizvode motorna vozila, posebno kamioni i automobili, značajan je problem u mnogim gradovima diljem svijeta, uključujući i zemlje Europske unije. Izvori buke u cestovnom prometu mogu biti raznoliki, od buke motora i ispušnih sustava, do buke koju stvaraju gume pri kontaktu s cestovnom površinom.

Jedan od ključnih čimbenika u emisiji buke cestovnog prometa je tip vozila i brzina kretanja. Teška vozila, kao što su kamioni, proizvode značajno veću buku u usporedbi s osobnim automobilima, naročito pri višim brzinama. Buka koju stvaraju gume dok se kotrljaju po cesti može biti posebno intenzivna, a njen intenzitet ovisi o karakteristikama ceste i gumama, uključujući njihovu teksturu i materijal. Promjena u sastavu cestovnih površina i poboljšanje kvalitete guma mogu značajno utjecati na smanjenje buke.

Regulatorne mjere i standardi igraju ključnu ulogu u upravljanju emisijom buke. Europska unija i nacionalne vlasti postavile su granice i smjernice za razine buke koje moraju ispuniti nova vozila i ceste. Na primjer, Europska direktiva 2002/49/EZ zahtijeva od zemalja članica da razviju akcijske planove i karte buke koje omogućuju praćenje i smanjenje izloženosti buke. Ovi planovi trebaju uključivati mjere za smanjenje buke na izvoru, kao i primjenu tehnologija za smanjenje emisije buke.

Unatoč naporima, postoji značajan izazov u provedbi ovih mjera. Izvještaji pokazuju da mnoge zemlje još uvijek imaju nedostatke u svojim akcijskim planovima i kartografiji buke. Nedostatak jedinstvenih metoda za procjenu buke i varijacije u kvaliteti podataka otežavaju usporedbu i učinkovito upravljanje problemom na europskoj razini. Kao rezultat, iako su provedeni značajni naponi za smanjenje buke, broj ljudi izloženih štetnim razinama buke ostao je relativno stabilan.

Redizajn urbanih područja, kao što je slučaj s Berlinom, može smanjiti izloženost buke premještanjem prometa dalje od stambenih područja. Modalna razdioba je izuzetno utjecajan faktor jer cesta emitira najviše buke.

Uvođenje biciklističkih traka, sadnja drveća uz prometnice i sužavanje ulica, omogućuju koncentraciju prometa u sredini ulice, što može pomoći u smanjenju buke u područjima gdje ljudi žive i rade. Općenito govoreći, ulice u kojima nema zelenih površina, te osobito drvoreda, manje su ugodne za kretanje i boravak pješaka. Iznimno veliki problem je urbanizacija i velika gustoća naseljenosti, jer su ljudi neminovno izloženi buci, pa je potrebno raditi na prostornom planiranju i dizajnu ulica.

Europski gradovi Zagreb i Amsterdam predstavljaju različite faze u razvoju biciklističke infrastrukture. Zagreb se nalazi na šestom mjestu među glavnim gradovima Europske unije prema udjelu bicikala u svakodnevnom prometu s 10,1%, što je značajno, ali još uvijek zaostaje za gradovima kao što su Kopenhagen i Amsterdam, gdje bicikli čine 35%, odnosno 32% prometa. Budimpešta također počinje pratiti trendove urbane mobilnosti i u posljednje vrijeme aktivno radi na povećanju biciklističke infrastrukture i biciklizma, što ima za rezultat smanjenje negativnog utjecaja buke u cestovnom prometu.

Komparativna analiza gradova pokazuje da Zagreb i Amsterdam imaju slične postotne vrijednosti izloženosti buci većoj od 55 dB(A). Vrijednosti za Budimpeštu ne odstupaju značajno, ali treba uzeti u obzir da kvaliteta karte buke u Budimpešti nije na istoj razini kao u Zagrebu i Amsterdamu. To ukazuje na važnost kvalitete podataka pri procjeni izloženosti buci i potencijalno otvara prostor za poboljšanje mjernih metoda u urbanim sredinama.

Što se tiče budućnosti, urbanizacija i povećanje prometa vjerojatno će povećati razine buke u mnogim dijelovima Europe i svijeta. Stoga je ključno nastaviti s razvojem i primjenom inovativnih rješenja i tehnologija za smanjenje buke kao što su poticanje biciklističkog i pješačkog prometa te korištenje javnog gradskog prijevoza. Također je važno osigurati adekvatnu provedbu zakona i planova te kontinuirano pratiti i analizirati razine buke kako bi se pravovremeno reagiralo na nove izazove.

Zaključno, utjecaj cestovnog prometa na emisiju buke je složen i višeslojan problem. Potrebno je koordinirano djelovanje na svim razinama – od tehnologije i regulacije do urbanog planiranja i provedbe politika – kako bi se učinkovito smanjila razina buke te zaštitilo zdravlje i kvaliteta života ljudi. S obzirom na rastuće urbanizacije i povećanje prometa, izazov će biti u održavanju ravnoteže između potrebne mobilnosti i očuvanja okoliša, uključujući kontrolu emisije buke.

LITERATURA

- [1] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, "Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje", 2013-2024. [Online]. Dostupno: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/buka>. Pristupljeno: 26. srpnja 2024.
- [2] Republika Hrvatska, "Zakon o zaštiti od buke", Narodne novine, Zagreb, 2009.
- [3] M. Miloloža, "Onečišćenje bukom", Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016. [Online]. Dostupno: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:763851>. Pristupljeno: 23. kolovoza 2024.
- [4] I. V. Muralikrishna i V. Manickam, Eds., "Environmental Risk Assessment", Environmental Management, Butterworth-Heinemann, vol. 135, pp. 152, 2017. [Online]. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/traffic-noise>. Pristupljeno: 31. kolovoza 2024.
- [5] Republika Hrvatska, "Pravilnik o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova", Narodne novine, Zagreb, 2007.
- [6] DARH 2 d.o.o. za arhitekturu i akustiku, "Harmonizirani indikatori buke". [Online]. Dostupno: http://www.darh2.hr/akustika/harmonizirani_indikatori_buke.asp. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [7] MetiorLAB, "TESTO 816-1 – Zvukomjer". [Online]. Dostupno: <https://metiorlab.hr/proizvod/testo-816-1-zvukomjer/>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [8] J. J. Peirce, P. A. Vesilind i R. Weiner, "Environmental Pollution and Control", Butterworth-Heinemann, 1998. [Online]. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/book/9780750698993/environmental-pollution-and-control>. Pristupljeno: 31. kolovoza 2024.
- [9] E. Murphy i E. A. King, "Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy", Elsevier, 2022. [Online]. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128201008/environmental-noise-pollution>. Pristupljeno: 31. kolovoza 2024.
- [10] R. Weiner i R. Matthews, Eds., "Environmental Engineering", Elsevier, 2003. [Online]. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/book/9780750672948/environmental-engineering>. Pristupljeno: 31. kolovoza 2024.
- [11] S. Khomenko et al., "Impact of road traffic noise on annoyance and preventable mortality in European cities: A health impact assessment", Environment International, vol. 162, p. 107160, 2022. [Online]. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022000861>. Pristupljeno: 31. kolovoza 2024.
- [12] Jutarnji list, "Buka je jedan od najvećih nevidljivih zagađivača okoliša i velika prijetnja za zdravlje ljudi", 2020. [Online]. Dostupno: <https://www.jutarnji.hr/planet/buka-je-jedan-od->

- najvecih-nevidljivih-zagadivaca-okolisa-i-velika-prijetnja-za-zdravlje-ljudi-15163670.
Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [13] European Environment Agency, "Environmental noise in Europe, 2020". Publications Office, 2020. Dostupno: doi/10.2800/686249
- [14] WebMD, "What is noise pollution?" [Online]. Dostupno: <https://www.webmd.com/a-to-z-guides/what-is-noise-pollution>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [15] Ministarstvo antropogena buka. [Online]. Dostupno: <https://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/prirodne-vrijednosti-stanje-i-ocuvanje/ugrozenost-vrsta-i-stanista/uzroci-0>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [16] "Kitovi i zagađenje bukom", University of Melbourne. [Online]. Dostupno: <https://science.unimelb.edu.au/about/news/-avoidance,-confusion,-solitude-whales-react-to-rising-noise-pollution>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [17] HAOP, "Izvešće o podacima iz informacijskog sustava strateških karata buke i akcijskih planova". [Online]. Dostupno: <https://www.haop.hr/hr/novosti/izvjesce-o-podacima-iz-informacijskog-sustava-strateskih-karata-buke-i-akcijskih-planova>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [18] Transport & Environment, "Road traffic: the main cause of noise disturbance". [Online]. Dostupno: <https://www.transportenvironment.org/articles/road-traffic-main-cause-noise-disturbance>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [19] Jutarnji list, "Najmanje jedan od pet Europljana izložen je štetnim razinama buke cestovnog prometa", 2024. [Online]. Dostupno: <https://www.jutarnji.hr/planet/najmanje-jedan-od-pet-europljana-izlozen-je-stetnim-razinama-buke-cestovnog-prometa-15171481>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [20] D. Nikić, "Utjecaj buke na čovjeka u cestovnom prometu", Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2019. [Online]. Dostupno: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:273661>. Pristupljeno: 24. kolovoza 2024.
- [21] Zavod za javno zdravstvo Istarske županije, "Učinak buke na zdravlje". [Online]. Dostupno: <https://www.zzjiz.hr/index.php?id=418&L=80>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [22] ORYX asistencija, "Kolika je dozvoljena buka vozila?" [Online]. Dostupno: <https://www.oryx-asistencija.hr/savjeti-za-vozace/aktualno/kolika-je-dozvoljena-buka-vozila-14085>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [23] Jutarnji list, "Automobili bi trebali biti sve tiši, a čini se da su sve glasniji – kako to?", 2024. [Online]. Dostupno: <https://www.jutarnji.hr/autoklub/servis/sve-o-buci-automobili-bi-trebali-biti-sve-tisi-a-cini-se-da-su-sve-glasniji-kako-to-15392435>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [24] J. Golubić, "Promet i okoliš", Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1999.

- [25] DARH 2 d.o.o. za arhitekturu i akustiku, "Grad Rijeka - konfliktna karta buke pružnog prometa". [Online]. Dostupno: http://www.darh2.hr/akustika/novosti_opsirno.asp?id=103. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [26] Noise Planet, "Noise Modelling". [Online]. Dostupno: <https://noise-planet.org/noisemodelling.html>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [27] K. Francišković, "Utjecaj kružnih raskrižja na razinu emisije buke cestovnog prometa", Master's thesis, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet geotehničkih znanosti, Varaždin, 2021. [Online]. Dostupno: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:664678>. Pristupljeno: 20. kolovoza 2024.
- [28] S. Khomenko et al., "Impact of road traffic noise on annoyance and preventable mortality in European cities: A health impact assessment", *Environment International*, vol. 162, p. 107160, 2022. [Online]. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022000861>. Pristupljeno: 31. kolovoza 2024.
- [29] P. Dželalija, "Dinamička karta buke dijela grada Zagreba", 2018.
- [30] Agencija za zaštitu okoliša, "Buka u Zagrebu". [Online]. Dostupno: <https://buka.azo.hr/>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [31] Grad Zagreb, "Strateška karta buke Grada Zagreba", 2024. [Online]. Dostupno: <https://eko.zagreb.hr/strateska-karta-buke-grada-zagreba/2452>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [32] Zagrebinfo, "Biciklisti nezadovoljni napretkom u Zagrebu", 2024. [Online]. Dostupno: <https://www.zagreb.info/zagrebacke-price/biciklisti-nezadovoljni-napretkom-u-zagrebu-isti-problemi-godinama-kasni-se-nekoliko-desetljeća/608650/>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [33] Euractiv, "Hrvatska ima previše automobila u odnosu na standard, ali i loš javni prijevoz", 2024. [Online]. Dostupno: <https://euractiv.hr/gospodarstvo/a2272/Hrvatska-ima-previsse-automobila-u-odnosu-na-standard-ali-i-los-javni-prijevoz.html>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [34] H. Borst, W. Lohman, A. Eisses i H. Miedema, "Decision support system for Action Planning in the framework of the European Noise Directive", *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 123, pp. 3025, 2008. [Online]. Dostupno: https://www.researchgate.net/figure/A-zoomed-in-road-traffic-noise-map-for-the-city-of-Amsterdam-The-values-for-the-noise_fig1_5327308. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [35] E. Peris, "Environmental noise in Europe: 2020", *Eur. Environ. Agency*, vol. 1, pp. 104, 2020.
- [36] Statista, "Distribution of passenger-kilometers travelled by land in the Netherlands in 2021, by mode of transport", 2021. [Online]. Dostupno: <https://www.statista.com/statistics/449436/netherlands-modal-split-of-passenger-transport-on-land/>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [37] N. Pourmohammad-Zia i M. van Koningsveld, "Urban Logistics in Amsterdam: A Modal Shift from Roadways to Waterway", arXiv preprint arXiv:2309.00345, 2023.

- [38] Deloitte, "City Mobility Index", 2016. [Online]. Dostupno: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4331_Deloitte-City-Mobility-Index/city-mobility-index_AMSTERDAM_FINAL.pdf. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [39] Terratech, "Zaštita od buke". [Online]. Dostupno: <https://terratech.hr/zastita-od-buke/>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [40] D. Gluhak, "Buka u klesarskoj radnji", Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2019. [Online]. Dostupno: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:062519>. Pristupljeno: 23. kolovoza 2024.
- [41] G. B. Jelić, "Utjecaj buke od cestovnog prometa na kvalitetu života i zdravlje ljudi", Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka, 2023. [Online]. Dostupno: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:157:758931>. Pristupljeno: 20. kolovoza 2024.
- [42] Plusportal, "Od bučne autoceste uskoro će ih štititi barijere", 2024. [Online]. Dostupno: https://plusportal.hr/gospodarstvo/ostalo/od_bucne_autoceste_uskoro_ce_ih_stititi_barijere-21041. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [43] M. Andrić, "Utjecaj suvremenih prometnica na okoliš i mjere zaštite", Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2021. [Online]. Dostupno: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:512866>. Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.
- [44] K. Francisković, "Utjecaj kružnih raskrižja na razinu emisije buke cestovnog prometa", Master's thesis, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet geotehničkih znanosti, Varaždin, 2021. [Online]. Dostupno: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:664678>. Pristupljeno: 20. kolovoza 2024.
- [45] Inventory of noise mitigation methods . [Online]. Dostupno: www.hoevelakenbereikbaar.nl Pristupljeno: 7. rujna 2024.
- [46] Duleba, S., Moslem, S., & Esztergár-Kiss, D. (2021). Estimating commuting modal split by using the Best-Worst Method. *European transport research review*, 13, 1-12.
- [47] Felföldi, P. (2021). Gyengébb közlekedők és átalakuló mobilitás Budapesten= Vulnerable Road Users and Changing Urban Mobility in Budapest. *Belügyi Szemle*, 69(7), 1239-1259.
- [48] Zagreb u brojkama. [Online]. Dostupno: www.zagreb.hr Pristupljeno: 9. rujna 2024.
- [49] II. Faza master plana prometnog sustava grada Zagreba, zagrebačke županije i Krapinsko-zagorske županije. [Online]. Dostupno: www.zagreb.hr Pristupljeno: 10. rujna 2024.

POPIS SLIKA

Slika 1. Vremenska razdoblja u danu koja se uzimaju za indikatore buke.....	3
Slika 2. Zvukomjer TESTO 816-1	4
Slika 3. Faze izrade strateške buke grada Zagreba.....	17
Slika 4. Karta buke grada Zagreba,	20
Slika 5. Karta buke Amsterdama	23
Slika 6. Bukobran	33

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz dozvoljenih razina buke.....	6
Tablica 2. Utjecaj buke u prometu na ljudsko zdravlje	8
Tablica 3. Stanovništvo izloženo buci većoj od 55dB u Zagrebu.....	21
Tablica 4. Stanovništvo izloženo buci većoj od 55 dB u Amsterdamu	25
Tablica 5. Stanovništvo izloženo buci većoj od 55 dB u Budimpešti.....	29
Tablica 6. Odnos modalne raspodjele i izloženosti populacije buci > 55 dB u europskim gradovima	30

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Broj ljudi u zemljama članicama EEA-33 izloženim razinama buke iznad 55 dB Lden, 2012.	12
Grafikon 2. Modalna raspodjela Zagreba.....	18
Grafikon 3. Modalna raspodjela Amsterdama	21
Grafikon 4. Modalna raspodjela Budimpešte	26
Grafikon 5. Stanovništvo izloženo buci > 55 dB u europskim gradovima	30

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ završni rad
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega 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 Utjecai cestovnog prometa na emisiju buke, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, rujan 2024.

Janko Brečić, Brečić
(ime i prezime, potpis)