

Mjerenje i analiza buke kao izvora onečišćenja okoliša

Srećec, Ljiljana

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Metallurgy / Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:115:627421>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF METALLURGY

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Ljiljana Srećec

DIPLOMSKI RAD

Sisak, srpanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Ljiljana Srećec

Mjerenje i analiza buke kao izvora
onečišćenja okoliša

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

prof.dr.sc. Anita Begić Hadžipašić

Članovi povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada:

prof.dr.sc. Ljerka Slokar Benić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, predsjednica

prof.dr.sc. Anita Begić Hadžipašić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, član

izv.prof.dr.sc. Ivan Jandrlić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, član

izv.prof.dr.sc. Ivana Ivanić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, zamjenski član

Sisak, srpanj 2024.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF METALLURGY

◆ FAKULTETSKO VIJEĆE ◆

KLASA: 602-03/24-05/04

URBROJ: 2176-78-24-01- 93

Sisak, 29. svibnja 2024.

Temeljem točke IX. Naputka o diplomskom radu i diplomskom ispitu Pravilnika o studiranju na preddiplomskim studijima i diplomskom studiju Metalurškog fakulteta i članka 20. Statuta Metalurškog fakulteta, Fakultetsko vijeće na svojoj 8. redovitoj sjednici u akad. god. 2023./2024. od 29. svibnja 2024. godine (t. 4), a na prijedlog Povjerenstva za nastavno područje djelovanja, donosi sljedeću

ODLUKU

o odobravanju teme, imenovanju mentora i Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada

I.

Studentici sveučilišnog diplomskog studija *Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš* u izvanrednom statusu **LJILJANI SREČEC** (0124124790) za mentoricu diplomskog rada pod naslovom "Mjerenje i analiza buke kao izvora onečišćenja okoliša" ("Measurement and analysis of noise as a source of environmental pollution") imenuje se **prof. dr. sc. Anita Begić Hadžipašić**.

II.

Studentici iz točke I. ove Odluke imenuje se Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada u sastavu:

1. prof. dr. sc. Ljerka Slokar Benić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – predsjednica,
2. prof. dr. sc. Anita Begić Hadžipašić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – članica,
3. izv. prof. dr. sc. Ivan Jandrić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – član.

Za zamjensku članicu imenuje se izv. prof. dr. sc. Ivana Ivanić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet.

III.

Ova Odluka stupa na snagu danom donošenja.

IV.

Protiv ove Odluke može se uložiti prigovor Fakultetskom vijeću Metalurškog fakulteta u roku 8 dana od dana primitka iste.

Dostavljeno:

- 1 x Ljiljana Srećec
- 4 x mentorica, članovi Povjerenstva
- 1 x Studentska referada
- 1 x Tajništvo
- 1 x pismohrana Fakultetskog vijeća
- 1 x pismohrana

Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet
Aleja narodnih heroja 3; p.p.1; HR - 44103 Sisak
tel.: +385(0)44 533378; 533379; 533380; 533381
faks: +385(0)44 533378
e-mail: dekanat@simet.hr; url: www.simet.unizg.hr

Vršitelj dužnosti dekana
Metalurškog fakulteta


prof. dr. sc. Nikola Mrvac

Kava

IME: Ljiljana
PREZIME: Srećec
MATIČNI
BROJ: 0124124790 (MS-128/22-i)

Na temelju članka 19. stavak 2. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu dajem sljedeću

IZJAVU O IZVORNOSTI

Izjavljujem da je moj završni / **diplomski** / doktorski rad pod naslovom:

Mjerenje i analiza buke kao izvora onečišćenja okoliša

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Sisak, 28.6.2024.

(vlastoručni potpis)

Izrazi koji se koriste u ovoj Izjavi, a imaju rodno značenje, koriste se neutralno i odnose se jednako i na ženski i na muški rod

Zahvala

Zahvaljujem se mentorici prof.dr.sc. Aniti Begić Hadžipašić na kvalitetnim i usmjerenim savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Hvala svim zaposlenicima Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu koji su mi uputili riječi ohrabrenja i motivacije kako bih uspješno odradila sve obaveze studijskog programa.

Najveću zahvalu upućujem obitelji: suprugu Tomislavu, sinu Dominiku i kćeri Tei! Hvala vam što ste vjerovali u mene!

Mjerenje i analiza buke kao izvora onečišćenja okoliša

SAŽETAK

Buka je jedan od onečišćivača okoliša, a uzrokovana je antropogenim djelovanjem. Izvori onečišćenja bukom prisutni su svuda u okolišu, a obuhvaćaju sve aktivnosti od glasne glazbe na koncertima, vozila na prometnicama, uključujući željeznički i zračni promet, građevinske i javne radove uređenja okoliša, sportske događaje, dok izvori onečišćenja bukom u industrijskim područjima, osim što predstavljaju značajan rizik za zdravlje zaposlenika, utječu i na okolno stanovništvo i životinjski svijet.

Onečišćenje bukom danas je ozbiljan okolišni problem te se danas sve više pozornosti posvećuje ograničavanju razine buke kako bi se smanjilo opterećenje na okoliš.

Ključne riječi: buka, okoliš, promet, mjerenje razine buke, mjere zaštite od buke

Measurement and analysis of noise as a source of environmental pollution

ABSTRACT

Noise is one of the environmental pollutants, and it is caused by anthropogenic activity. Sources of noise pollution are present everywhere in the environment, and include all activities from loud music at concerts, vehicles on roads, including rail and air traffic, construction and public landscaping works, sports events, while sources of noise pollution in industrial areas, in addition to representing a significant risk to the health of employees, they also affect the surrounding population and animal life.

Noise pollution is a serious environmental problem today, and today more and more attention are paid to limiting the noise level in order to reduce the burden on the environment.

Keywords: noise, environment, traffic, noise level measurement, noise protection measures

Sadržaj

Popis slika	VII
Popis tablica	VII
Popis oznaka, kratica i pokrata	VIII
1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Definicija zvuka i osnovni pojmovi	2
2.2. Općenito o buci	5
2.3. Podjela buke	6
2.4. Izvori buke	7
2.5. Buka u okolišu	7
2.6. Zakonodavstvo u području buke	8
2.7. Karte buke	11
2.8. Akcijski planovi	13
2.9. Načelo „ne nanosi bitnu štetu“	14
2.10. Buka i radni okoliš	15
2.11. Buka u području građevinarstva	16
2.12. Buka u području ugostiteljstva	16
2.13. Buka i zdravlje ljudi	17
2.14. Buka i utjecaj na životinjski svijet	20
2.15. Procjena rizika i mjere zaštite od buke	21
3. EKSPERIMENTALNI DIO	23
3.1. Mjerenje razine buke	23
3.2. Lokacije mjerenja buke	24
4. REZULTATI I RASPRAVA	28
4.1. Rezultati mjerenja na lokaciji D37	28
4.2. Analiza mjerenja na lokaciji D37	31
4.3. Rezultati mjerenja buke na lokaciji u južnoj industrijskoj zoni Grada Siska	31
4.4. Analiza prikupljenih podataka na lokaciji u južnoj industrijskoj zoni Grada Siska	33
5. MJERE ZAŠTITE OD BUKE NA OTVORENOM PROSTORU	36
6. ZAKLJUČAK	40
7. LITERATURA	42
ŽIVOTOPIS	47

Popis slika

Slika 1. Prikaz buke uslijed različitih frekvencija [3].....	2
Slika 2. Refleksija zvuka [5].....	3
Slika 3. Refrakcija zvuka prema gore uslijed djelovanja hladnog zraka [6]	3
Slika 4. Refrakcija zvuka prema dolje uslijed djelovanja toplog zraka [6]	4
Slika 5. Difrakcija zvuka [6].....	4
Slika 6. Prikaz apsorpcije zvuka	5
Slika 7. Strateška karta buke za gradove Zagreb i Sisak [20].....	12
Slika 8. Izloženost buci prema broju stanovnika po dobnim skupinama [20]	12
Slika 9. Rasprostranjenost gubitka sluha prema svjetskoj zdravstvenoj organizaciji [22]	14
Slika 10. Ljudsko uho i njegovi dijelovi [28]	18
Slika 11. Prikaz slušnih stanica [29]	18
Slika 12. Prikaz različitih utjecaja buke na organizam [30]	19
Slika 13. Utjecaj buke na morski svijet [32].....	20
Slika 14. Zvukomjer, proizvođač Value, model VMS – 1.....	24
Slika 15. Pozicija zvukomjera prilikom mjerenja [39]	25
Slika 16. Južna industrijska zona Grada Siska [41]	27
Slika 17. Lokacija mjerenja razine buke u industrijskoj zoni [42]	27
Slika 18. Izmjerene razine buke u prijedpodnevnim satima na lokaciji D37	28
Slika 19. Izmjerene razine buke u poslijepodnevnim satima na lokaciji D37	29
Slika 20. Prosječne razine buke na lokaciji D37.....	29
Slika 21. Izmjerene razine buke u prijedpodnevnim satima u južnoj industrijskoj zoni	33
Slika 22. Izmjerene razine buke u poslijepodnevnim satima u južnoj industrijskoj zoni.....	33
Slika 23. Prosječne razine buke na lokaciji u južnoj industrijskoj zoni.....	34
Slika 24. Usporedba mjerenja razine buke u prijedpodnevnim satima na obje lokacije	35
Slika 25. Usporedba mjerenja razine buke u poslijepodnevnim satima na obje lokacije	35
Slika 26. Refleksija zvuka oko zvučne barijere [47]	37
Slika 27. Vrste zvučnih barijera [48,49]	38
Slika 28. Primjer zvučne barijere s fotonaponskim panelima [50].....	39

Popis tablica

Tablica 1. Broj stanovnika izloženih buci u 2017. godini u Europskoj uniji [10].....	8
Tablica 2. Preporučena dopuštena razina buke od strane Svjetske zdravstvene organizacije [18].....	9
Tablica 3. Najviše dopuštene ocjenske razine buke u otvorenom prostoru [13]	10
Tablica 4. Vrijednosti najviših dopuštenih razina buke L_{RAeq} u zatvorenim prostorijama [13]	15
Tablica 5. Propisana razina buke u prostorima za zabavu [13]	16
Tablica 6. Tehničke specifikacije zvukomjera Value (model VMS-1)	24
Tablica 7. Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu na DC37 [40]	26
Tablica 8. Prikaz pojedinačnih mjerenja izmjerenih vrijednosti razine buke na lokaciji D37 30	
Tablica 9. Prikaz pojedinačnih mjerenja izmjerenih vrijednosti razine buke na u južnoj industrijskoj zoni.....	32

Popis oznaka, kratica i pokrata

DNSH načelo	Načelo “Do no significant harm”, načelo “ne nanosi bitnu štetu”
END	Direktiva o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša (eng. Environmental Noise Directive)
L_{day}	razina dnevne buke
L_{den}	razina buke dan – večer – noć
$L_{evening}$	razina večernje buke
L_{night}	razina buke noć
$L_{R,Aeq}$	ocjenska razina buke
OSHA	Agencija za sigurnost i zdravlje na radu (eng. Occupational Safety and Health Administration)
WHO	Svjetska zdravstvena organizacija

1. UVOD

Buka predstavlja čimbenik okoliša čije djelovanje ima stresan učinak, jer buka je definirana kao „svaki neželjeni zvuk“ u okolišu u kojem ljudi obavljaju radne zadatke ili se nalaze, a izaziva neugodan osjećaj ili uzrokuje štetne posljedice po zdravlje. Osjetljivost na djelovanje buke ovisi o brojnim faktorima poput karakteristika izloženih osoba (životna dob, zdravstveno stanje organa sluha), karakteristikama same buke što obuhvaća i razinu buke, izvor buke (prekinuta, neprekinuta) te naravno o duljini izloženosti, vremenu izloženosti, udaljenosti od izvora buke, dobu dana i slično [1].

Buka predstavlja samo jedan dio onečišćenja okoliša, a prvenstveno je uzrokovana djelovanjem ljudskih aktivnosti ili intervencijama u okolišu. Onečišćenje bukom može se opisati kao širenje zvuka sa štetnim utjecajem na fiziološke i psihičke živote ljudi ili životinja, uz naglasak da je područje utjecaja slabo istraživano, jer drugi rizici u životnom i radnom okolišu i njihove posljedice imaju izraženije oblike štetnih učinaka po ljudsko zdravlje. Izvori onečišćenja bukom nalaze se u svakom ljudskom okruženju od glasne glazbe na koncertima, vozila na prometnicama (uključujući željeznički i zračni promet), do građevinskih i javnih radova uređenja okoliša, sportskih događaja, dok izvori onečišćenja bukom u industrijskim djelatnostima predstavljaju značajan rizik za zdravlje zaposlenika.

Onečišćenje bukom postaje ozbiljan, ne samo zdravstveni problem, već i okolišni problem jer buka utječe na biljni i životinjski svijet, što je izrazito vidljivo u gradskim sredinama, gdje je zabilježena smanjena brojnost životinjskih jedinki. Danas se sve više pozornosti posvećuje ograničavanju razine buke kako bi se smanjilo opterećenje na okoliš.

Pregledom dostupnih literaturnih podataka dokazani su brojni štetni učinci uzrokovani onečišćenjem bukom, dok najčešća posljedica obuhvaća gubitak ili oštećenje sluha kod ljudi, dok je kod životinja zabilježeno njihovo napuštanje područja koja su pod utjecajem buke. U području sigurnosti, zdravlja na radu i radnog okoliša oštećenje sluha se najčešće karakterizira kao profesionalna bolest ukoliko je uzrok oštećenja obavljanje aktivnosti u radnom okolišu onečišćenom bukom. Međutim, oštećenje sluha nije jedina posljedica onečišćenja bukom, jer postoji nekoliko fizioloških i psiholoških učinaka koji u kombinaciji s onečišćenjem zraka dovode do umora, vrtoglavica i respiratornih tegoba (ubrzano disanje), porasta krvnog tlaka i kognitivnih poteškoća [2].

U ovom radu provedena su mjerenja i analiza razine onečišćenja bukom u urbanom središtu i industrijskoj zoni na području grada Siska te su dobiveni rezultati uspoređeni sa dostupnim podacima strateških karata buke, elaboratima okoliša za procjenu utjecaja zahvata na okoliš, smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije i zakonskim propisima.

2. TEORIJSKI DIO

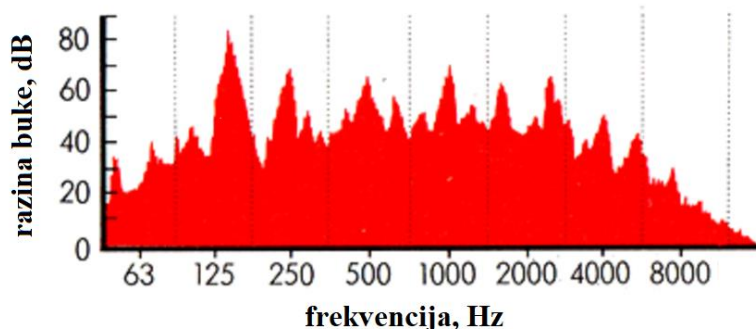
2.1. Definicija zvuka i osnovni pojmovi

Zvuk je oblik energije koji se širi kroz medij (kao što je zrak, voda ili čvrsta tvar) u obliku valova, odnosno mehaničkog vala frekvencije od 16 Hz do 20 000 Hz, što čini raspon frekvencije zvuka u kojem ga registrira ljudsko uho. Nastaje vibracijom nekog objekta, što uzrokuje promjenu tlaka zraka (ili drugog medija) oko tog objekta, stvarajući zvučne valove.

Zvučni valovi su longitudinalni valovi, što znači da se čestice medija kreću paralelno sa smjerom širenja vala. To uzrokuje izmjenu područja visokog tlaka (kompresije) i niskog tlaka (rijetkosti).

Amplituda zvuka odnosi se na veličinu promjena tlaka u zvučnom valu. Veća amplituda rezultira glasnijim zvukom, dok manja amplituda rezultira tišim zvukom. Amplituda se često mjeri u decibelima (dB).

Frekvencija zvuka je fizikalna veličina koja pokazuje broj titranja periodične pojave u jedinici vremena. Buka je neravnomjerna kombinacija tonova različitih frekvencija što je vidljivo na slici 1 [3].



Slika 1. Prikaz buke uslijed različitih frekvencija [3]

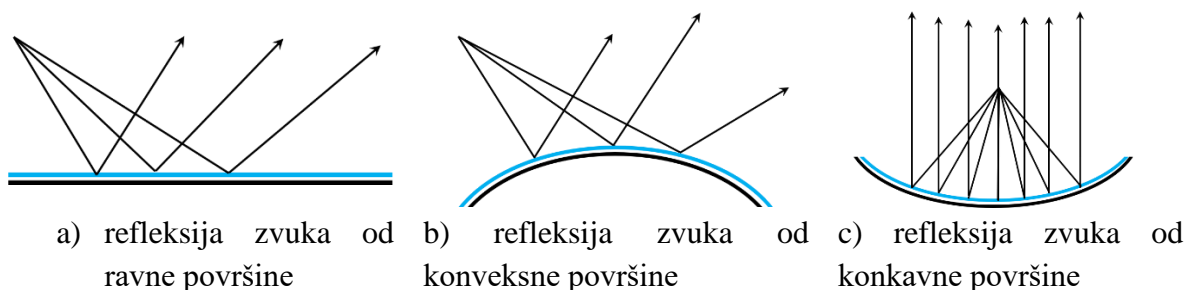
Valna duljina predstavlja udaljenost između dvije čestice koje titraju u istoj fazi kada se val širi kroz određeni medij, odnosno određena je omjerom brzine vala u mediju u kojem se rasprostire i frekvencije vala [4].

Brzina kojom se zvuk širi ovisi o mediju kroz koji putuje. Zvuk se širi brže kroz čvrste tvari, nego kroz tekućine i brže kroz tekućine nego kroz plinove. Na primjer, brzina zvuka u zraku pri sobnoj temperaturi je oko 343 m/s, dok je brzina zvuka u vodi oko 1 480 m/s.

Ton (ili visina) zvuka odnosi se na frekvenciju zvuka, dok timbar (ili boja zvuka) odnosi se na kvalitetu ili karakter zvuka koji omogućuje razlikovanje različitih izvora zvuka, čak i kada proizvode iste frekvencije.

Važna osobina zvuka leži u činjenici da se zvuk može reflektirati, refraktirati, apsorbirati i difraktirati ovisno o površinama i preprekama u okruženju. Ove interakcije mogu utjecati na način na koji čujemo zvuk i mogu stvoriti efekte poput jeke.

Refleksija zvuka nastaje kada zvuk tijekom svog širenja u prostoru naiđe na prepreku pri čemu dolazi do odbijanja zvuka od površine. Ukoliko je površina ravna, zvuk se odbija pri istom upadnom kutu [5]. Ukoliko se radi o ispupčenoj (konveksnoj) površini ili udubljenoj (konkavnoj) zvuk se odbija ovisno o položaju izvora zvuka i upadnom kutu kako je prikazano na slici 2.



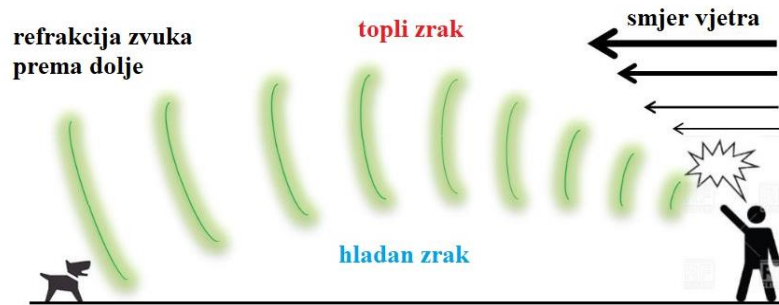
Slika 2. Refleksija zvuka [5]

Refrakcija zvučnog vala događa se uslijed promjene uzrokovane medijem (temperatura, vjetar, tlak zraka) kojim zvuk prolazi i pri tome dolazi do loma zvučnog vala. Tijekom dana zrak je najtopliji blizu površine zemlje i postupno se hladi s povećanjem nadmorske visine. U takvim uvjetima zvučni valovi razvijeni na površini zemlje savijeni su prema gore i raspršeni su u hladnijoj atmosferi kako je prikazano na slici 3.



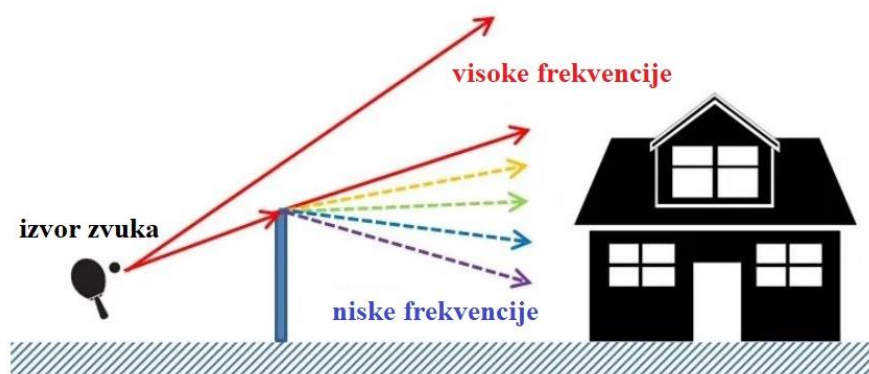
Slika 3. Refrakcija zvuka prema gore uslijed djelovanja hladnog zraka [6]

Međutim, tijekom večeri (osobito) kada sunce zalazi, zemlja se može ohladiti brže od zraka, uzrokujući topli sloj zraka iznad hladnog zraka u blizini zemlje. U tom slučaju, zvučni valovi koji se razvijaju na površini zemlje savijeni su prema dolje, čineći zvuk dalje na površini zemlje kao je i prikazano na slici 4 [6].



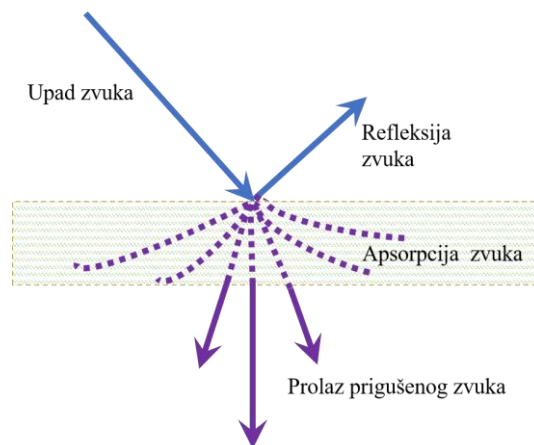
Slika 4. Refrakcija zvuka prema dolje uslijed djelovanja toplog zraka [6]

Kada zvučni valovi naiđu na prepreke ili male otvore na površinama, oni imaju sposobnost savijanja oko površine i širenja nakon što prođu površinu ili otvor odnosno difrakcije. To nam omogućuje da čujemo zvukove iza ugla, barijera i da čujemo zvukove kroz male otvore. Difrakcija je izraženija s duljim valnim duljinama, što nam omogućuje bolje slušanje niskofrekventnih zvukova oko prepreka od visokofrekventnih zvukova kako je prikazano na slici 5 [6].



Slika 5. Difrakcija zvuka [6]

Apsorpcija zvuka opisuje pojavu prigušivanja zvuka koja se javlja prilikom refleksije kada zvučni val udari u neku plohu. Jedan dio zvučne energije se reflektira kako smo već objasnili u prethodim poglavljima, dok se ostatak apsorbira i djelomično prolazi kroz materijal. Svojstvo zvuka da se djelomično apsorbira omogućava dizajniranje prostora uz prihvatljivije razine buke pogotovo u velikom prostorima poput industrijskih hala što se postiže oblaganjem stijena apsorpcijskim materijalima.



Slika 6. Prikaz apsorpcije zvuka

Ukratko, zvuk je valovito kretanje koje se širi kroz medij kao rezultat vibracija, a njegov doživljaj ovisi o frekvenciji, amplitudi i interakciji s okolinom [5].

2.2. Općenito o buci

Buka predstavlja glasan, često neugodan pa čak i bolan zvuk. Temeljne značajke buke ovise o njezinom intenzitetu, visini, trajanju i izvoru buke koji može biti kontinuiran (stalan) ili isprekidan (povremen). Razina nelagode ovisi o psihofiziološkim čimbenicima osobe, životnoj dobi osobe, aktivnosti koja se obavlja, vremenu kada je buka prisutna (noć, dan) i slično. Upravo iz navedenih razloga buku možemo smatrati sveopćim onečišćivačem okoliša koja nepovoljno utječe na zdravlje i dobrobit građana i životinja. Iako je buka proizvod mnogih ljudskih aktivnosti, najrasprostranjeniji izvori buke u okolišu su oni vezani uz promet. Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO), produljena izloženost buci iz okoliša povezana je s povećanim rizikom od negativnih fizioloških i psiholoških zdravstvenih poremećaja. To uključuje kardiovaskularne i metaboličke učinke, kognitivno oštećenje kod djece, kao i ozbiljne smetnje i poremećaje spavanja. Svjetska zdravstvena organizacija u svojim smjernicama buku iznad 65 dB smatra prekomjernom razinom buke te jednim od onečišćivača okoliša. Točnije, smatra da buka kada prelazi 75 dB uzrokuje potencijalne ozljede, a poznato je da iznad 120 dB uzrokuje bol. Kao posljedica toga, preporučuje se da razina buke bude ispod 65 dB tijekom dana, uz činjenicu da je miran san onemogućen ukoliko je noćna razina okolne buke veća od 30 dB [7,8]. Prema istraživanjima napravljenim u Europskoj uniji oko 40 % stanovništva u zemljama EU-a izloženo je buci u cestovnom prometu na razinama većim od 55 dB(A), 20% je izloženo razinama većim od 65 dB(A) tijekom dana, a više od 30% izloženo je razinama većim od 55 dB(A) noću [7].

Urbanizacija, gospodarski rast i korištenje motora s unutarnjim izgaranjem, samo su neki od izvora buke u okolišu i uzročnici nepovoljnih učinaka na zdravlje. Dio znanstvenika, buku iz okoliša definiraju kao buku koja se emitira iz svih izvora osim industrijskih, odnosno proizvodnih djelatnosti. Međutim Europska direktiva o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša uvrštava i industrijska područja kao izvore buke iz okoliša [5, 6]. Kako bi se procijenio ekološki

učinak zbog prekomjerne razine buke u okolišu, potrebno je procijeniti rizik. Procjena rizika odnosi se na utvrđivanje razine opasnosti, procjenu izloženosti stanovništva i određivanje odgovarajućih odnosa izloženosti i adekvatnog odgovora za smanjenje razine buke [11]. Iz navedenog razloga razina dopuštene buke regulirana je zakonskim propisima poput Zakona o zaštiti od buke i pripadajućih pravilnika [12,13].

2.3. Podjela buke

Buka se može podijeliti na nekoliko različitih načina ovisno o izvoru, karakteristikama i utjecaju, što može biti korisno pri planiranju i provođenju mjera za kontrolu buke u okolišu [14]:

- a) prema izvoru:
 - prirodna buka: uključuje buku izazvanu prirodnim fenomenima poput vjetra, kiše, grmljavine ili valova na moru,
 - antropogeni izvori buke: izvori buke koji su rezultat ljudskih aktivnosti, poput prometa, industrije, građevinskih radova, glazbe ili buke iz susjedstva,
- b) prema frekvenciji:
 - buka niske frekvencije: karakteriziraju je niski tonovi i često se povezuje s teškom opremom, poput teških strojeva i industrijskih postrojenja,
 - buka visoke frekvencije: karakteriziraju je visoki tonovi i često je povezana s aktivnostima poput rezanja metala, buke iz vozila ili pa čak i razgovora,
- c) prema vremenskom trajanju:
 - kratkotrajna buka: zvukovi u trajanju od samo nekoliko sekundi ili minuta, poput buke iz udarca, eksplozije ili prolaska aviona,
 - dugotrajna buka: kontinuirana buka koja traje dulje vrijeme, poput prometne buke ili buke iz industrijskih postrojenja,
- d) prema intenzitetu:
 - umjerena buka: nije preglasna i ne izaziva ozbiljne smetnje,
 - ekstremna buka: vrlo glasan zvuk koji izaziva nelagodu, oštećenje sluha ili druge negativne učinke na zdravlje,
- e) prema učinku na ljude:
 - štetna buka: može uzrokovati fizičke ili psihičke probleme, poput problema sa spavanjem, stresa ili oštećenja sluha,
 - neškodljiva buka: ne uzrokuje značajne smetnje ili negativne učinke na ljude.

2.4. Izvori buke

Razumijevanje izvora buke ključno je za identifikaciju i implementaciju odgovarajućih mjera kako bi se smanjila buka i poboljšala kvaliteta okoliša i života u zajednici. Najčešći izvori buke u okolišu su [14]:

- a) cestovni (automobili, kamioni, autobusi, motocikli), željeznički (vlakovi, tramvaji), zračni, riječni i pomorski promet, posebno u urbanim područjima i duž prometnih koridora,
- b) gospodarske djelatnosti: industrijska postrojenja, tvornice, rafinerije, postrojenja za preradu otpada i druge industrijske aktivnosti mogu generirati visoku razinu buke,
- c) građevinski radovi: obuhvaćaju procese kao što su bušenje, rezanje, cijepanje, kucanje, korištenje i premještanje teške opreme i ostali radovi na gradilištima,
- d) komercijalne aktivnosti: trgovine, restorani, barovi, klubovi, koncertne dvorane i drugi objekti koji pružaju usluge ili zabavu mogu generirati buku, posebno tijekom noćnih sati,
- e) kućanstvo: kućanski uređaji poput klima uređaja, grijalica, hladnjaka, perilica rublja i sušilica također mogu proizvesti određenu razinu buke tijekom svakodnevne uporabe,
- f) rekreacijske aktivnosti: aktivnosti poput sportskih događaja, koncerata, festivala, rekreativnog letenja, vožnje motornih vozila, vatrometa i drugih zabavnih događaja,
- g) susjedstvo: bučni susjedi koji puštaju glasnu glazbu, imaju bučne kućne ljubimce ili obavljaju građevinske radove,
- h) prirodni fenomeni: prirodni događaji poput grmljavine, vjetra, valova na moru i sl. mogu proizvesti određenu razinu buke, no isti se ne smatraju stalnim izvorima buke.

2.5. Buka u okolišu

Razina buke ima značajan utjecaj na kvalitetu životnog okoliša ljudi, ali i životinjskog i biljnog svijeta. Naime buka ima akumulirajući efekt, što znači da se posljedice uočavaju protekom vremena u nekom području. Kada govorimo o urbanim sredinama najveći izvor antropogene buke čini cestovni promet, zatim željeznički pa zračni promet [15,16].

Tablica 1 prikazuje procjenu broja stanovnika Europske unije izloženog visokoj razini buke u okolišu i potencijalnim negativnim učincima na zdravlje u Europi. U izvješću Europske okolišne agencije dokumentirane su mjere koje se poduzimaju za upravljanje i smanjenje izloženosti buci te se preispituje napredak postignut u postizanju ciljeva politike zaštite okoliša. Procjena statusa izloženosti buci u okolišu u Europi temelji se na podacima prikupljenima u skladu s Direktivom o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša [9].

Tablica 1. Broj stanovnika izloženih buci u 2017. godini u Europskoj uniji [10]

	Izvor buke	Broj izloženih stanovnika razini buke $L_{den} \geq 50$ dB, milijun		Broj izloženih stanovnika razini buke ≤ 50 dB, milijun	
		Prema izvješćima zemalja EU članica	Procijenjena vrijednost	Prema izvješćima zemalja EU članica	Procijenjena vrijednost
Urbana područja	cestovni promet	50.6	81.7	33.8	57.5
	željeznički promet	7.9	10.7	6.0	8.1
	zračni promet	2.2	3.1	0.6	0.9
	industrija	0.3	0.8	0.2	0.4
Van urbanih područja	cestovni promet	21.8	31.1	14.2	21.1
	željeznički promet	10.4	10.9	8.7	9.0
	zračni promet	0.8	1.1	0.4	0.4

2.6. Zakonodavstvo u području buke

Europska unija je kontinuiranim praćenjem stanja u okolišu usvojila niz direktiva i uredbi sa ciljem očuvanja okoliša. Temeljem procjena stanja u okolišu razvila je strategije i planove s ciljem pretvaranja izazova očuvanja okoliša u prilike za razvoj inovacija čija je svrha postizanje veće razine učinkovitosti i posljedično održivog razvoja. Europska komisija je upravo s ciljem zaštite okoliša i postizanja nulte razine onečišćenja usuglasila Europski zeleni plan („*green deal*“) sa pogledom do 2050. godine [17]. Sastavni dio Europskog zelenog plana je i Direktiva o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša koja je donijela određena pravila kako bi se stanovništvo zaštitilo od negativnih učinaka buke i samim time poboljšala kvaliteta života i okoliša [9,10]. Pravila usvojena u Direktivi o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša odnose se na sve članice Europske unije i sukladno navedenom u direktivi, članice su obvezne razviti nacionalne strategije za procjenu buke s uključenim mjerama za smanjenje buke u okolišu, što obuhvaća:

- procjenu izloženosti buci: države članice moraju provesti procjenu razine buke na svojem teritoriju, identificirati glavne izvore buke i odrediti područja s visokom razinom izloženosti buci,
- izradu akcijskih planova: na temelju procjene, države članice moraju razviti akcijske planove za upravljanje bukom. Ti planovi obično uključuju mjere za smanjenje buke, kao što su izolacija zgrada, ograničenja brzine, promjene u urbanom planiranju i druge intervencije,

- informiranje javnosti: javno se informira o rezultatima procjena razine buke, akcijskim planovima i mjerama koje se poduzimaju radi smanjenja buke,
- monitoring i izvješćivanje: države članice obvezuju se na praćenje napretka u provedbi akcijskih planova te na redovito izvješćivanje Europskoj komisiji o provedbi direktive,
- poticanje suradnje između država članica radi zajedničkog rješavanja problema buke koji prelaze nacionalne granice.

Mnoge zemlje članice Europske unije prihvatile su preporuke i smjernice navedene u Europskom zelenom planu te ga provode sukladno svojim mogućnostima odnosno unutar svojih nacionalnih politika zaštite okoliša. U pogledu zaštite od buke donesen je niz pravnih akata s ciljem smanjenja razina buke, pri čemu su mnoge zemlje usuglasile nacionalne dozvoljene granične vrijednosti za buku u okolišu upravo zbog različitih politika, ali i razvijenosti područja. Svjetska zdravstvena organizacija je temeljem monitoringa i izvješćivanja zemalja o razinama buke i njihovim učincima donijela preporuke za dopuštenu razinu buke koje se nalaze u tablici 2 [18].

Tablica 2. Preporučena dopuštena razina buke od strane Svjetske zdravstvene organizacije [18]

Dopuštene razine buke			
indikator	Cestovni promet	Željeznički promet	Zračni promet
L_{den}	53 dB	54 dB	45 dB
L_{night}	45 dB	44 dB	40 dB

*Legenda: *L_{den}*: razina buke dan – večer – noć, *L_{night}*: razina buke noć

Važno je istaknuti da su navedene dopuštene razine buke od strane Svjetske zdravstvene organizacije preporuka, a ne obaveza propisana u zakonodavstvu, odnosno zemlje navedene preporuke uzimaju u obzir prilikom propisivanja nacionalnih dopuštenih razina buke. Pojedini nacionalni zakoni propisuju uvjete odnosno definiraju vrstu izvora buke, doba dana kada se ista javlja, broj stanovnika u području, floru i faunu područja, vrstu površine (kopno, voda) te osjetljivost prijemnika. Međutim kod većine, nacionalni propisi i pripadajuća ograničenja razine dopuštene buke vezana su prvenstveno za doba dana odnosno razinu dnevne izloženosti (*L_{den}*) i noćne izloženosti (*L_{night}*) te ne prate smjernice Svjetske zdravstvene organizacije iz 2018. godine [18]. Republika Hrvatska je u svoje nacionalno zakonodavstvo implementirala Direktivu o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša kroz Zakon o zaštiti od buke te je Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka donijela najviše dopuštene razine buke, a koje su prikazane u tablici 3 [12,13]. Iz tablice 3 je vidljivo da je Republika Hrvatska odredila razinu buke prema namjeni prostora što je zapravo u skladu s deklariranjem zemlje kao turističkog središta s brojnim „bučnim“ aktivnostima s dopuštenom razinom buke višom od smjernica Svjetske zdravstvene organizacije.

Tablica 3. Najviše dopuštene ocjenjske razine buke u otvorenom prostoru [13]

Zona buke	Namjena prostora	Najviše dopuštene ocjenjske razine buke $L_{R,Aeq}$ / dB(A)			
		L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
1.	Zona zaštićenih tihih područja namijenjena odmoru i oporavku uključujući nacionalni park, posebni rezervat, park prirode, regionalni park, spomenik prirode, značajni krajobraz, park-šuma, spomenik parkovne arhitekture, tiha područja izvan naseljenog područja	50	45	40	50
2.	Zona namijenjena stalnom stanovanju i/ili boravku, tiha područja unutar naseljenog područja	55	55	40	56
3.	Zona mješovite, pretežito stambene namjene	55	55	45	57
4.	Zona mješovite, pretežito poslovne namjene sa stanovanjem, s povremenim stanovanjem, pretežito poljoprivredna gospodarstva	65	65	50	66
5.	Zona poslovne pretežito uslužne, trgovačke te trgovačke ili komunalno-servisne namjene.	65	65	55	67
	Zona ugostiteljsko- turističke namjene uključujući hotele, turističko naselje, kamp, ugostiteljski pojedinačni objekt s pratećim sadržajima.				
	Zone sportsko-rekreacijske namjene na kopnu uključujući golf igralište, jahački centar, hipodrom, centar za zimske sportove, teniski centar, sportski centar – kupališta.				
	Zone sportsko rekreacijske namjene na moru i rijekama uključujući uređena kupališta, centre za vodene sportove.				
	Zone luka nautičkog turizma uključujući sidrište, odlagalište plovniha objekata, suha marina, marina.				
6.	Zona gospodarske namjene pretežito proizvodne industrijske djelatnosti. Zone morskih luka državnog značaja za bitne djelatnosti, zone morskih luka osobitog međunarodnog gospodarskog značaja, zone morskih luka županijskog značaja. Zone riječnih luka od državnog i županijskog značaja.	Razina buke koja potječe od izvora buke unutar ove zone a na granici s najbližom zonom 1, 2, 3 ili 4 u kojoj se očekuju najviše imisijske razine buke, buka ne smije prelaziti dopuštene razine buke na granici zone 1, 2, 3 ili 4.			

*Legenda: L_{day} : razina dnevne buke; $L_{evening}$: razina večernje buke; L_{den} : razina buke dan - večer - noć; L_{night} : razina buke noć

Upravo je Direktiva o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša omogućila navedene razlike u prihvatljivim razinama buke, ali uz naglasak obaveze izvješćivanja javnosti o dopuštenim razinama buke. Kontinuiranim praćenjem razina buke iz promatranih izvora ostvaruje se monitoring, a izradom karata buke i akcijskih planova provodi se mapiranje. Upravo su karte buke i strateške karte buke jedan od alata kojima se procjenjuje razina buke u određenom području odnosno identificiraju područja s visokom razinom buke i samim time su korisne za planiranje mjera za smanjenje izloženosti stanovništva buci.

2.7. Karte buke

Zakonom o zaštiti od buke definirane su mjere sprečavanja nastanka ili smanjivanja neželjenih učinaka prekomjerne razine buke na zdravlje ljudi temeljem izrada karata buke i dostupnosti javnosti istih, ali i izradu akcijskih planova koji su temeljeni na prikupljenim podacima navedenim u kartama buke [12]. Zakonom su definirane tri (3) vrste karata buke:

- karta buke koja prikazuje postojeće stanje,
- strateška karta buke koja se temelji na jednom izvoru buke,
- konfliktna karta koja se izrađuje računalnim metodama.

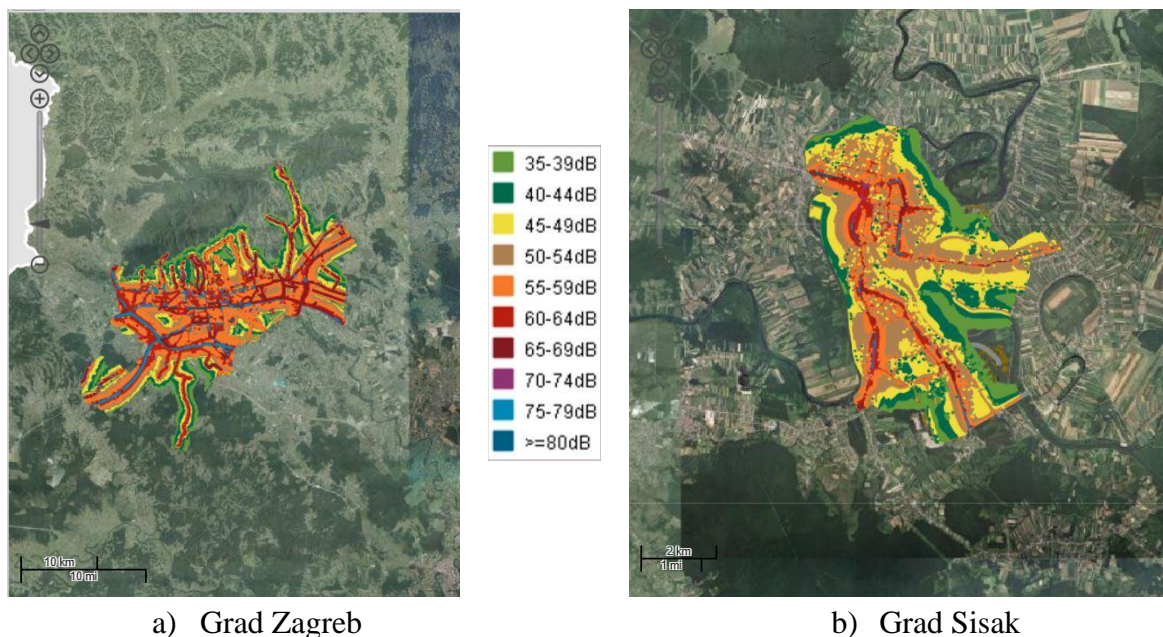
Karta buke prikazuje razinu buke na određenom području obično u obliku različitih boja koje označavaju različite razine buke. Na primjer, područja s visokom razinom buke mogu biti označena crvenom ili tamnijom bojom, dok područja s nižom razinom buke mogu biti označena svjetlijom bojom. Karta buke omogućuje lokalnim vlastima i projektantima da identificiraju područja koja su najviše pogođena bukom i donesu mjere za smanjenje buke na tim područjima.

Strateška karta buke uključuje strategiju ili planiranje mjera za upravljanje bukom na određenom području. Strateška karta buke može uključivati informacije o izvorima buke, planovima za izgradnju novih cesta ili industrijskih postrojenja, mjere koje se već provode radi smanjenja buke, kao i prioritete za buduće intervencije. Ova karta koristi se kao smjernica za razvoj politika i mjera za smanjenje buke na strateškoj razini.

Konfliktna karta buke izrađuje se pomoću računalnih programa i osnovna namjena joj je izrada akcijskih planova za smanjenje razine buke.

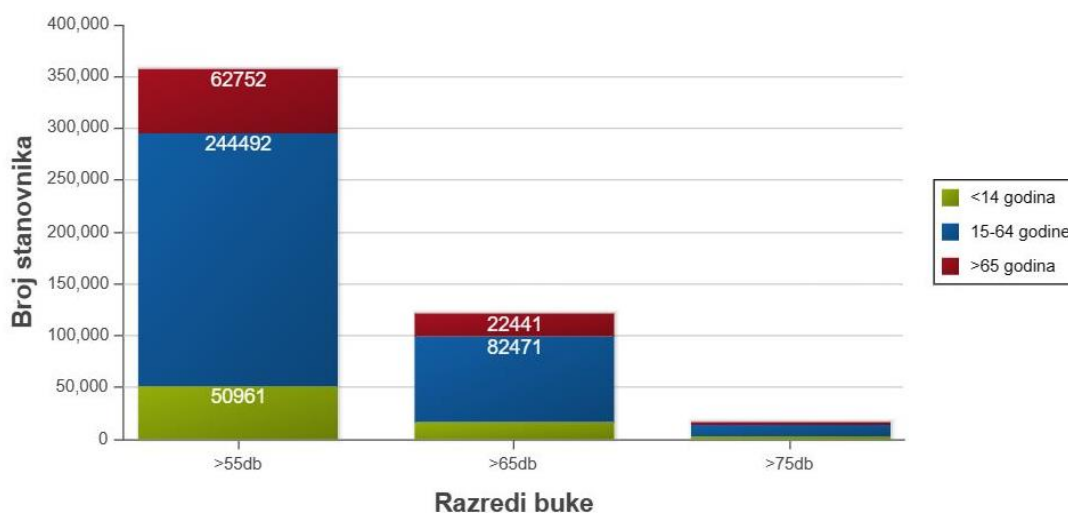
Sve vrste karata predstavljaju koristan alat za planiranje i upravljanje bukom u urbanim područjima, prometnim koridorima, industrijskim zonama i drugim područjima s visokom razinom buke [19].

Na slici 7 prikazane su strateške karte buke za gradove Zagreb (641 m²) i Sisak (421,4 km²) gdje je jasno vidljiva razlika u razinama buke koja naravno ovisi o broju stanovnika, količini i vrsti prometa [20].



Slika 7. Strateška karta buke za gradove Zagreb i Sisak [20]

Upravo je Direktiva o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša obvezala države članice da javnosti osigura dostupnost podataka o izloženosti buci. Zagađenje bukom postalo je veliki ekološki problem koji opterećuje urbana područja. Za postizanje cilja Europskog zelenog plana, smanjenje buke je važan faktor koji bez sustavnog mapiranja razina buke teško možemo dovesti do prihvatljivih razina. Odstupanje od preporučenih vrijednosti razina buke Svjetske zdravstvene organizacije vidljivo je i na području Grada Zagreba te je na slici 8 prikazano brojno stanje izloženih stanovnika s uključenom dobnom raspodjelom.



Slika 8. Izloženost buci prema broju stanovnika po dobnim skupinama [20]

Uzimajući u obzir da Republika Hrvatska ima 3,856 milijuna stanovnika, od čega čak 806.341 stanovnika živi u gradu Zagrebu jasno je vidljivo da je gotovo 17 % stanovnika Grada Zagreba direktno ugroženo prekomjernom razinom buke [20]. Upravo su karte buke utvrdila kritična područja i broj ljudi izloženih prekomjernim razinama buke.

2.8. Akcijski planovi

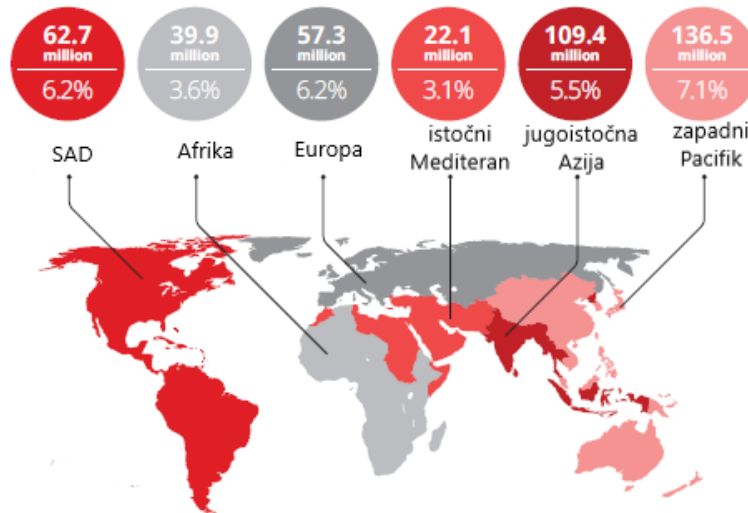
Akcijski plan je alat za osiguravanje stručne podloge koji ima za cilj smanjivanje negativnih učinaka buke u određenom području, kako na ljude tako i na okoliš općenito. Izradom akcijskih planova za smanjenje buke na kritičnim područjima donosi se niz mjera i strategija koje će smanjiti izloženost ljudi buci i poboljšati kvalitetu okoliša. Akcijski plan smanjenja buke u načelu sadrži [21]:

- procjenu izloženosti buci,
- identifikaciju prioriteta, izvore buke koji imaju najveći utjecaj na zdravlje i dobrobit stanovništva,
- specifične ciljeve za smanjenje izloženosti buci na različitim lokacijama i metode za postizanje tih ciljeva,
- mjere za smanjenje buke: izolacija zgrada, korištenje zvučnih barijera, ograničenja brzine vozila, promjene u urbanističkom planiranju, promjene u industrijskim procesima, i druge intervencije.
- uključuje poboljšanje ili strožija provedba postojećih zakonskih akata,
- poduzimanje aktivnosti za podizanje svijesti javnosti o štetnim učincima buke i važnosti smanjenja izloženosti buci poput kampanje informiranja, radionica, seminara i drugih oblika edukacije,
- praćenje napretka u provedbi akcijskog plana i redovitu procjenu učinkovitosti poduzetih mjera,
- suradnju s lokalnim vlastima, nevladinim organizacijama, industrijskim sektorom i drugim dionicima.

Važno je naglasiti da svi gradovi nisu obvezni izraditi strateške karte buke, već samo gradovi s više od 100.000 stanovnika. Grad Sisak prema zadnjem popisu stanovništva iz 2021. godine ima 40.185 stanovnika te nije obveznik izrade strateških karata buke prema Zakonu o zaštiti od buke iz 2009. godine i pratećim izmjenama i dopunama [12].

Upravo navedene strateške karte buke i akcijski planovi predstavljaju značajan resurs u borbi protiv prekomjernog onečišćenja okoliša.

Svjetska zdravstvena organizacija temeljem monitoringa, odnosno dostavljenih i obrađenih podataka prepoznaje buku i posljedično oštećenje sluha kao ozbiljan javnozdravstveni problem, što dokazuje kroz svoja izvješća i infografike kako je prikazano na slici 9 [22].



Slika 9. Rasprostranjenost gubitka sluha prema svjetskoj zdravstvenoj organizaciji [22]

2.9. Načelo „ne nanosi bitnu štetu“

Temeljem Europskog zelenog plana usvojen je koncept „ne nanosi bitnu štetu“ (DNSH načelo, eng. „Do No Significant Harm“) koji pomaže osigurati da ljudske aktivnosti ne nanose značajnu štetu okolišu. U kontekstu buke, primjena DNSH načela znači da sve ljudske aktivnosti trebaju biti dizajnirane i implementirane na način koji minimalizira negativne utjecaje buke na okoliš i zdravlje ljudi, što znači da [13,21]:

- pri planiranju novih projekata, posebnu pažnju treba posvetiti izboru lokacije kako bi se smanjila izloženost osjetljivih područja buci, poput stambenih zona, škola, bolnica i prirodnih rezervata,
- treba integrirati akustični dizajn u ranim fazama projektiranja kako bi se minimizirala buka (korištenje zvučnih barijera, upotrebu tiših tehnologija i materijala te optimizacija rasporeda zgrada i infrastrukture),
- treba koristiti opremu i tehnologije koje proizvode manje buke, kao što su električni građevinski strojevi umjesto dizelskih,
- treba ograničiti radno vrijeme za bučne aktivnosti na razdoblja kada će najmanje ometati okolinu, primjerice tijekom dana umjesto noći,
- treba kontinuirano pratiti razine buke tijekom radova i prilagođavati aktivnosti prema potrebi kako bi se osiguralo da se ne prekorače dopuštene razine buke,
- treba izraditi studiju utjecaja na okoliš.

Primjenom DNSH načela osigurava se stvaranje održivijeg i zdravijeg okruženja, smanjujući negativne utjecaje buke na ljude i okoliš.

2.10. Buka i radni okoliš

Radni okoliš i razina buke često su povezani s produktivnošću i dobrobiti zaposlenika. Buka na radnom mjestu može biti izvor stresa, ometati koncentraciju, smanjiti produktivnost i uzrokovati ozljedu na radu. Upravljanje bukom na radnom mjestu važan je aspekt osiguranja sigurnog, produktivnog i ugodnog radnog okruženja za zaposlenike. Poslodavci bi trebali provoditi redovite procjene razine buke, identificirati izvore buke i poduzeti mjere kako bi je smanjili na prihvatljivu razinu. Osim što izloženost dugotrajnoj buci na radnom mjestu može dovesti do problema sa sluhom, povećanog krvnog tlaka, stresa, poremećaja spavanja i drugih zdravstvenih problema, poslodavcima je izrazito bitna produktivnost. Visoka razina buke može ometati koncentraciju i smanjiti produktivnost odnosno usporavati izvršavanje radnih zadataka koji zahtijevaju pažnju ili koncentraciju zbog specifičnosti posla. Uz smanjenu produktivnost, buka u radnom okruženju može dovesti i do problema u komunikaciji između zaposlenika, što može rezultirati nedostatkom suradnje i pogreškama u radu [23,24]. Pogreške u komunikaciji u pojedinim djelatnostima mogu uzrokovati značajne posljedice, kako po zdravlje zaposlenika tako i za okoliš. Iz navedenih razloga potrebno je redovito provoditi mjerenja razine buke kako bi se osiguralo sigurno poslovanje. Upravo monitoring radnog okoliša omogućava određivanje kritičnih točaka na temelju kojih se procjenjuje rizik te donose i implementiraju mjere kako bi prekomjernu razinu buke smanjili na prihvatljive okvire. Prihvatljiva razina buke na radnom mjestu u zatvorenom prostoru propisana je zakonskim aktima i prikazana je u tablici 4 [13].

Tablica 4. Vrijednosti najviših dopuštenih razina buke L_{RAeq} u zatvorenim prostorijama [13]

Zona buke	Namjena prostora	Najviše dopuštene ocjenske razine buke L_{RAeq} / dB(A)		
		L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}
1.	Zona zaštićenih tihih područja namijenjena odmoru i oporavku uključujući nacionalni park, posebni rezervat, park prirode, regionalni park, spomenik prirode, značajni krajobraz, park-šuma, spomenik parkovne arhitekture, tiha područja izvan naseljenog područja	30	27	25
2.	Zona namijenjena stalnom stanovanju i/ili boravku, tiha područja unutar naseljenog područja	35	30	25
3.	Zona mješovite, pretežito stambene namjene	35	30	25
4.	Zona mješovite, pretežito poslovne namjene sa stanovanjem, s povremenim stanovanjem, pretežito poljoprivredna gospodarstva	40	35	30
5.	Zona poslovne pretežito uslužne, trgovačke te trgovačke ili komunalno-servisne namjene. Zona ugostiteljsko - turističke namjene uključujući hotele, turističko naselje, kamp, ugostiteljski pojedinačni objekti s pratećim sadržajima. Zone sportsko - rekreacijske namjene na kopnu uključujući golf igralište, jahački centar, hipodrom, centar za zimske športove, teniski centar, sportski centar – kupališta. Zone sportsko rekreacijske namjene na moru i rijekama uključujući uređena kupalište, centre za vodene sportove. Zone luka nautičkog turizma uključujući sidrište, odlagalište plovni objekata, suha marina, marina.	40	35	30

*Legenda: L_{day} : razina dnevne buke; $L_{evening}$: razina večernje buke; L_{den} : razina buke dan - večer - noć; L_{night} : razina buke noć

2.11. Buka u području građevinarstva

Buka u građevinarstvu predstavlja značajan problem ne samo za radnike, već i za okolne stanovnike, naime nakon prirodnih katastrofa ili urbanizacije područja dolazi do ponovne izgradnje ili uklanjanja dotrajalih građevina pri čemu se na navedenom području povećava razina buke. Negativan utjecaj na okolno stanovništvo može se očitovati kroz poremećaj spavanja i pojavu dugoročnih zdravstvenih problema, uključujući stres, kardiovaskularne bolesti i smanjen imunološki sustav. Neprestana izloženost buci može povećati razinu stresa i anksioznosti među stanovnicima koji žive u blizini gradilišta. Sve navedeno dovodi do smanjenja kvalitete života izazivajući smetnje tijekom svakodnevnih aktivnosti poput razgovora, gledanja televizije ili odmora [25]. Na gradilištima postoji nekoliko izvora buke, uključujući tešku mehanizaciju, ručne alate, transport materijala, ali i druge radne aktivnosti. Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka dopuštena je dnevna ekvivalentna razina buke gradilišta na najizloženijem mjestu otvorenog boravišnog prostora u iznosu 65 dB(A) uz dopušteno prekoračenje razine buke od 5 dB(A) [13]. Primjena načela „ne nanosi bitnu štetu“ (DNSH načelo) u današnje vrijeme postaje obaveza prilikom izvođenja bilo kakvih zahvata u okolišu financiranih europskim sredstvima, jer Europska unija kroz svoje strategije potiče razvoj zelenih prihvatljivih materijala i tehnologija. Načelo DNSH se može primijeniti i temeljem provođenja redovitog održavanja opreme jer se time može smanjiti razina buke koju proizvode strojevi, ali i temeljem inovacija na tržištu i razvoja tehnologije koristiti moderne građevinske strojeve i alate koji su već dizajnirani da smanjuju razinu buke. Primjena načela DNSH u građevinarstvu odnosi se i na postavljanje privremenih zvučnih barijera ili pregrada oko gradilišta ili pojedinih izvora buke, što pridonosi smanjenju širenja buke prema okolnim područjima, a poboljšava se radno okruženje za radnike i smanjuje negativan utjecaj na okolne zajednice [26].

2.12. Buka u području ugostiteljstva

Buka unutar i iz ugostiteljskih objekata može imati značajan utjecaj na iskustvo gostiju, zdravlje i radnu učinkovitost zaposlenika te ukupnu atmosferu u prostoru. Kada govorimo o upravljanju bukom u ugostiteljstvu moramo obratiti pozornost na razinu buke jer visoka razina može smanjiti ugodu gostiju i njihov ukupni doživljaj prostora. Gosti se mogu osjećati nelagodno i frustrirano, ako je komunikacija otežana ili se ne mogu opustiti zbog buke. Pravilnikom je propisana razina buke u prostorima za zabavu prikazana u tablici 5 [13].

Tablica 5. Propisana razina buke u prostorima za zabavu [13]

Namjena prostora	Najviša dopuštena ekvivalentna razina buke, dB(A)
Koncertne dvorane, kazališta i slične prostorije	25
Kina, čitaonice, izložbene prostorije, predavaonice, učionice i slične prostorije	35

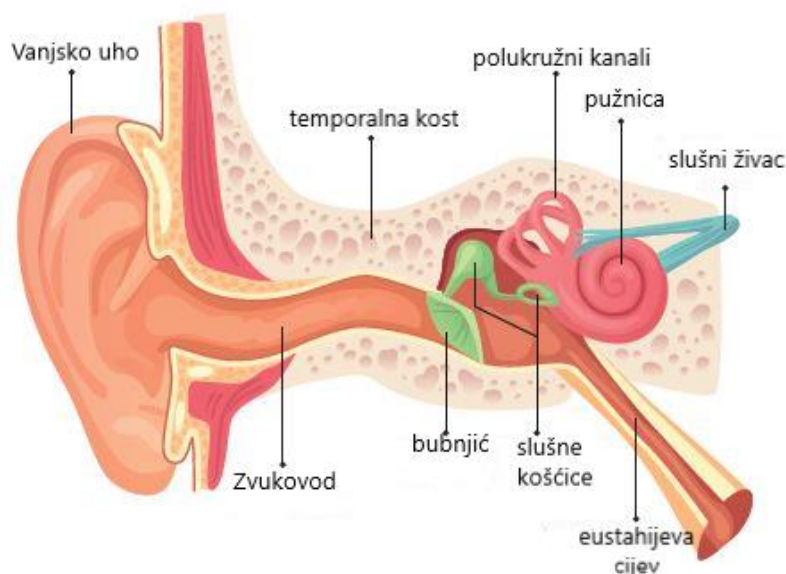
Strategije za smanjenje buke u ugostiteljstvu obuhvaćaju prvenstveno zvučnu izolaciju odnosno materijale koji apsorbiraju zvuk, poput tepiha, zavjesa, tapeciranog namještaja i akustičkih ploča na zidovima i stropovima i upravljanje razinom glasnoće.

Oštećenje sluha zbog glazbe, osobito glasne glazbe, postaje sve češći problem, osobito među mladima i osobama koje često posjećuju koncerte, noćne klubove ili slušaju glazbu preko slušalica. Oštećenje sluha može biti **privremeno** (Temporary Threshold Shift - TTS) - obično prolazi nakon nekoliko sati ili dana, ali ponovljena izloženost može dovesti do trajnog oštećenja, **trajno** (Permanent Threshold Shift - PTS) ili uzrokovati stanje koje se naziva **tinitus**, a očituje se stalnim zvonjavom, zujanjem ili šumom u ušima. Tinitus može biti privremen ili trajan i može biti izuzetno neugodan i ometajući. Osim na goste objekta, razina glasnoće utječe negativno i na glazbenike. Naime istraživanja o učincima glazbe i gubitku sluha usredotočena su na ispitivanja odnosa između količine iskustva profesionalnog pop/rock/jazz glazbenika i objektivnih i subjektivnih varijabli glazbenikovog gubitka sluha. Studije su također ispitale upotrebu zaštitnih sredstva za zaštitu sluha profesionalnih pop/rock/jazz glazbenika u odnosu na opseg njihove izloženosti pojačanoj glazbi. Od četrdeset i četiri (44) pop/rock/jazz glazbenika koji su intervjuirani pomoću standardiziranih upitnika, četrdeset i dva (42) ispitanika su prijavila simptome tinitusa, odnosno prisustvo zujanja i šumova u uhu [27].

2.13. Buka i zdravlje ljudi

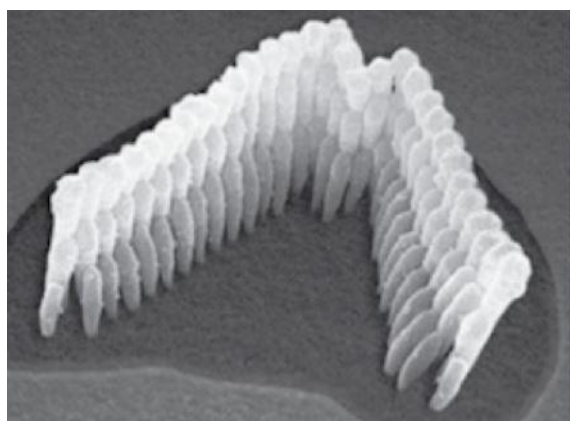
Slušni organi omogućuju osjet zvuka i ravnoteže. Glavni dijelovi slušnog sustava prikazani su na slici 10 i uključuju:

- vanjsko uho koje se sastoji od vidljivog dijela uha (aurikule) i vanjskog slušnog kanala. Vanjsko uho prikuplja zvučne valove i usmjerava ih prema srednjem uhu.
- srednje uho je smješteno dublje u glavi, srednje uho sadrži bubnjić (tj. membrana timpani) i lančani niz kostiju (čekić, nakovanj i stremen) koji prenose zvučne valove s bubnjića na unutarnje uho.
- unutarnje uho sadrži kokleu, koja je ključni organ za sluh, i vestibularni sustav, koji je odgovoran za ravnotežu. Koklea je spiralna struktura ispunjena tekućinom i osjetljivim stanicama koje pretvaraju zvuk u električne signale koje mozak može interpretirati.
- nakon što se zvuk pretvori u električne signale u unutarnjem uhu, ti signali putuju kroz slušni živac do slušnog korteksa u mozgu, gdje se interpretiraju kao zvuk.

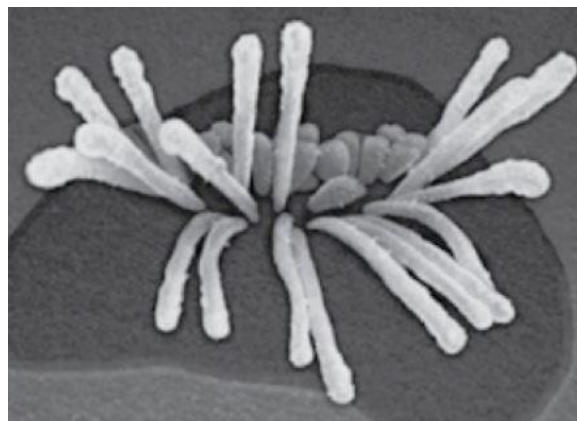


Slika 10. Ljudsko uho i njegovi dijelovi [28]

Slušni organi su ključni za osjet zvuka, ali su također osjetljivi na oštećenje, posebno kod produljene izloženosti glasnoj buci ili drugim faktorima poput infekcija ili ozljeda. Stoga je važno zaštititi slušne organe i održavati zdravlje uha kako bi se očuvalo normalno funkcioniranje sluha i ravnoteže. Izravno i neizravno djelovanje buke na zdravlje ljudi jasno je vidljivo na slici 11 koja prikazuje izgled slušnih stanica [29].



a) zdrave slušne stanice



b) oštećene slušne stanice

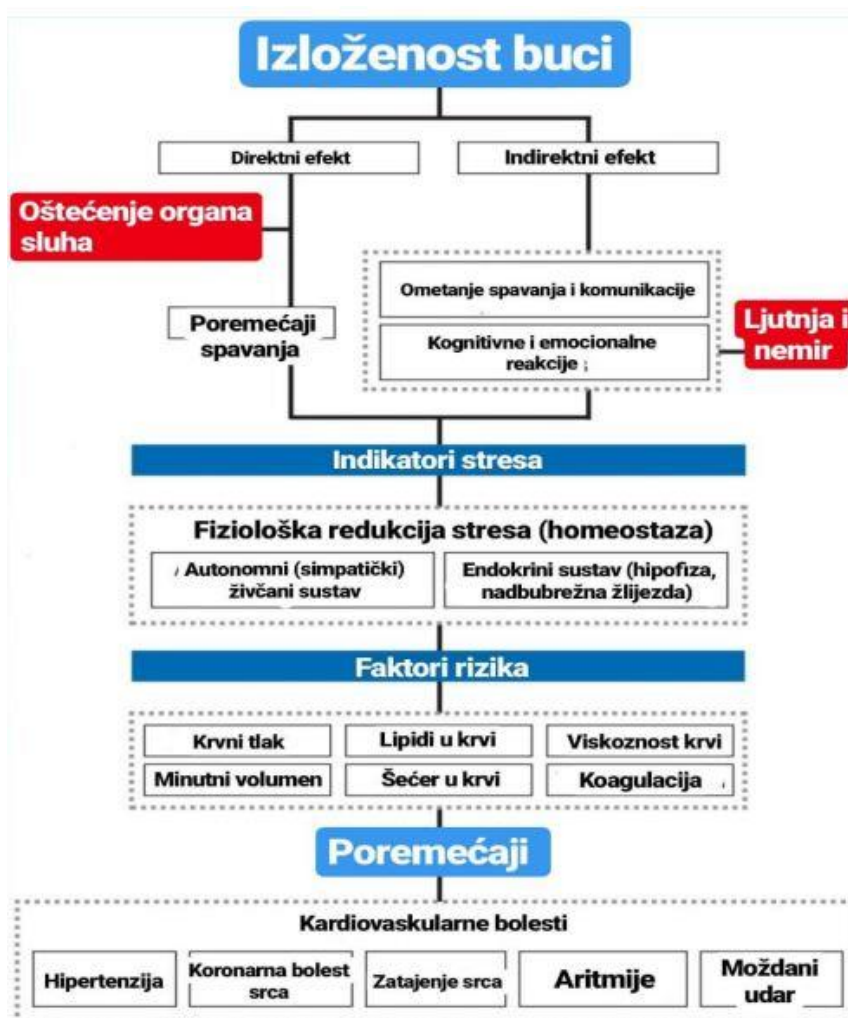
Slika 11. Prikaz slušnih stanica [29]

Potencijalno oštećenje sluha je temeljni razlog zbog kojeg je nužno procjenjivati razinu buke, odnosno činjenica da buka može imati različite učinke i posljedice što može u konačnici dovesti do značajnih posljedica kod ljudi poput [16]:

- oštećenja sluha uzrokovano visokim razinama buke može dovesti i do trajnog oštećenja sluha što se posebno odnosi na radnike u bučnim okruženjima poput građevinskih radnika, pilota, vozača i sl.,

- nedostatka sna jer bučna okruženja mogu ometati spavanje, što dovodi do nesanice, poremećaja spavanja, umora tijekom dana i smanjene kvalitete života,
- povećane razine stresa kod ljudi što ima štetne učinke na mentalno i fizičko zdravlje, uključujući povećanu razinu kortizola i povišeni krvni tlak,
- povećanja rizika od kardiovaskularnih bolesti poput hipertenzije, srčanih bolesti, moždanog udara i drugih problema s cirkulacijom,
- mogućnosti razvoja različitih mentalnih poremećaja poput anksioznosti, depresije i iritabilnosti,
- dugotrajna izloženost buci može dovesti do negativnih učinaka na razvoj, učenje i ponašanje kod djece,
- negativnog utjecaja na koncentraciju, produktivnost, kognitivne funkcije, socijalne interakcije i općenito kvalitetu života.

Različiti čimbenici mogu utjecati na to kako pojedinac percipira i reagira na buku, što je i prikazano na slici 12. Važno je razumjeti navedene faktore kako bi se moglo adekvatno upravljati izloženosti buci i osigurati dobrobit pojedinca.

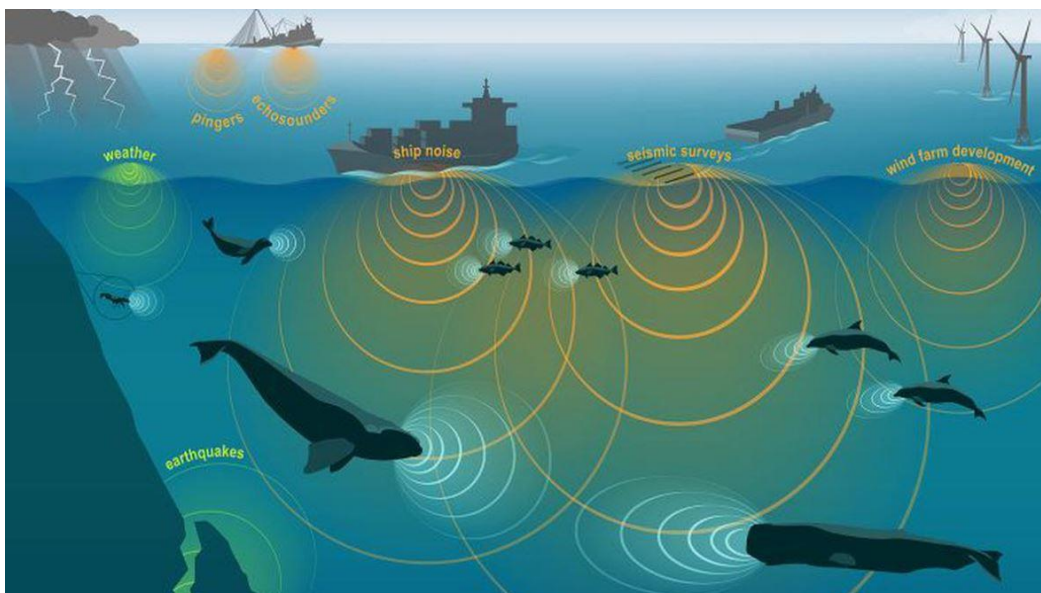


Slika 12. Prikaz različitih utjecaja buke na organizam [30]

Također važno je naglasiti da osjetljivost ljudi na buku može varirati između različitih osoba i može biti uzrokovana različitim čimbenicima. Naime, postoji mogućnost i nasljednih čimbenika u određivanju osjetljivosti na buku jer pojedine osobe mogu imati genetsku predispoziciju za veću osjetljivost na zvukove. Naravno da se osjetljivost na buku može mijenjati s godinama. Na primjer, starije osobe mogu postati osjetljivije na buku zbog prirodnog gubitka sluha koji se javlja s godinama, dok osobe koje su izložene bučnom okolišu postaju manje osjetljive na buku ili mogu razviti toleranciju na određene razine buke [30].

2.14. Buka i utjecaj na životinjski svijet

Buka može imati značajan utjecaj na životinjski svijet, uključujući divlje životinje, kućne ljubimce i vodene organizme. Buka može promijeniti prirodno ponašanje životinja odnosno uzrokovati da divlje životinje postanu plašljivije ili agresivnije, a promjena ponašanja može utjecati na njihovu sposobnost pronalaženja hrane, razmnožavanja ili osiguravanja sigurnosti. Mnoge vrste životinja komuniciraju putem zvukova kako bi uspostavile teritorij, privukle partnere ili upozorile na opasnost pri čemu prekomjerna buka može otežati komunikaciju i ometati socijalne interakcije među životinjama, što je i vidljivo iz slike 13. Studije pokazuju da buka može utjecati na migracijske obrasce i izbor staništa kod nekih vrsta. Na primjer, visoka razina buke može prisiliti životinje da napuste svoje prirodno stanište, odnosno da potraže mirnije područje kako bi izbjegle ometanje. Jednako djelovanje buke je na morske organizme koji uslijed ljudskih aktivnosti poput brodova, podvodnih bušotina i sonara mogu značajno ometati navigaciju, komunikaciju i orijentaciju morskih životinja poput kitova, delfina i riba [31,32].



Slika 13. Utjecaj buke na morski svijet [32]

Prelazak na obnovljive izvore energije zbog smanjenja onečišćenja uzrokovanih korištenjem fosilnih goriva, također može uzrokovati negativan utjecaj na životinjski svijet u pogledu utjecaja buke. Naime, za proizvodnju električne energije okrećemo se izgradnji vjetroelektrana

koje svojim turbinama ometaju kretanje ptica i kukaca (dolazi do fizičkih ozljeda) te proizvode određenu razinu buke pri čemu ptice mijenjaju svoju pjev kako bi ga učinile glasnijim ili pjevale u drugačijem frekvencijskom opsegu kako bi nadglasale buku [33].

Ukratko, buka može imati raznolike i ozbiljne učinke na životinjski svijet, uključujući promjene u ponašanju, reproduktivnom zdravlju, komunikaciji, fizičkom zdravlju i migracijskim obrascima. Stoga je važno razumjeti utjecaj buke na životinje i poduzeti mjere kako bi se minimizirao njezin negativan utjecaj na prirodni svijet i očuvala biološka raznolikost.

2.15. Procjena rizika i mjere zaštite od buke

Procjena rizika od buke ključan je korak u zaštiti zdravlja i sigurnosti radnika te očuvanju kvalitete života u okolini radnih mjesta i staništima životinja. Ovaj proces uključuje identifikaciju izvora buke, mjerenje razine buke, procjenu potencijalnog utjecaja na zdravlje i okoliš, te razvoj strategija za smanjenje rizika. Koraci za procjenu rizika od buke obuhvaćaju identifikaciju izvora buke na radnom mjestu ili u okolini i razumijevanje radnih procesa uz mjerenje razine buke. Kako bi osigurali sigurno i zdravo radno mjesto potrebno je procijeniti rizik izloženosti radnika prosječnoj dnevnoj razini buke koristeći standardizirane metode (npr. 8-satna prosječna ekvivalentna razina buke - $L_{Aeq,8h}$). Dobivene rezultate mjerenja razine buke potrebno je usporediti s relevantnim pravnim propisima i standardima. Na primjer, mnoge zemlje imaju propise koji ograničavaju razinu buke na radnim mjestima (npr. OSHA u SAD-u, EU direktive) uz razmatranje preporuka međunarodnih organizacija poput Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) za razinu izloženosti buci. Temeljem navedenih analiza izrađuju se planovi za smanjenje rizika koji obuhvaćaju [23,34]:

- **tehničke mjere** za smanjenje buke primjenjuju se na izvorima buke, kao što su prigušivači, zvučne barijere, zamjena bučnih operacija malošumnima, a mogu se postaviti na putu širenja zvuka i na mjestu prijema, korištenje osobne zaštitne opreme, kao što su čepići za uši ili zaštitne slušalice, uz obaveznu edukaciju radnika o rizicima buke i važnosti korištenja zaštitne opreme i primjene sigurnosnih mjera,
- **organizacijske mjere** obuhvaćaju planiranje rasporeda rada kako biste smanjili izloženost buci, ograničavanje vremena koje radnici provode u bučnim zonama, rotacija radnih zadataka itd.,
- **organizacijsko-tehničke mjere** zaštite od buke obuhvaćaju niz pristupa i metoda koje se primjenjuju kako bi se smanjila razina buke u različitim okruženjima, posebno u radnim i urbanim područjima, a mjere mogu uključivati promjene u organizaciji rada, korištenje tehničkih sredstava i implementaciju zaštitnih strategija,
- **građevinsko – planske mjere** zaštite od buke obuhvaćaju strategije i postupke implementirane tijekom faze planiranja, projektiranja i izgradnje objekata i infrastrukture. Ključni faktor je urbanističko planiranje koje može obuhvaćati:
 - a) zoniranje odnosno odvajanje stambenih područja od industrijskih zona i prometnica kako bi se smanjila izloženost stanovnika buci, postavljanje

zelenih površina i parkova između tih zona može djelovati kao zvučna barijera,

- b) dizajniranje prometnica i željezničkih pruga tako da prolaze daleko od stambenih i osjetljivih područja, korištenje podzemnih tunela i nadvožnjaka može također smanjiti buku, postavljanje zvučnih barijera ili zidova duž prometnica, željezničkih pruga ili oko industrijskih objekata,
- c) korištenje prirodnih barijera poput brežuljaka, drveća i grmlja koji mogu apsorbirati i difuzirati zvuk,
- d) upotrebu materijala koji imaju visoku sposobnost apsorpcije zvuka, poput posebnih vrsta stakla, opeke ili fasadnih panela s izolacijskim slojevima,
- e) uvođenje ograničenja brzine u stambenim područjima može smanjiti razinu buke od prometa.

Procjena rizika je „živi“ dokument te je potrebno redovito praćenje razine buke i izloženosti radnika kako bi se osigurala učinkovitost primijenjenih mjera. Također potrebno je i periodično revidirati procjenu rizika zbog promjena u radnim uvjetima, instalaciji nove opreme ili novim saznanjima o rizicima buke.

Obveznici izrade procjene rizika od prekomjerne buke su različiti subjekti ovisno o njihovoj djelatnosti, a obuhvaćaju poslodavce i/ili industrijska postrojenja koju su sukladno Zakonu o zaštiti na radu obvezni procijeniti i upravljati rizicima buke u radnom okruženju kako bi zaštitili svoje zaposlenike, ali i okolnu zajednicu od štetnih učinaka prekomjerne buke. Međutim, nisu samo gospodarski subjekti obuhvaćeni obavezom izrade procjene rizika od prekomjerne buke već i lokalna i regionalna tijela koja su odgovorna za izradu procjena rizika od buke u urbanim područjima, što uključuje mapiranje područja s visokim razinama buke, identificiranje glavnih izvora buke (npr. promet, industrija) i izradu akcijskih planova za smanjenje buke u zajednicama.

Važnu ulogu prilikom planiranja i izgradnje novih objekata ili infrastrukture imaju projektanti i građevinske tvrtke koje moraju provoditi procjene buke kako bi se osiguralo da novi projekti neće značajno povećati razine buke u okolišu, a navedeno obuhvaća izradu akustičnih studija i implementaciju mjera za kontrolu buke tijekom i nakon izgradnje.

Ključnu ulogu u regulaciji i nadzoru procjena rizika od buke imaju državne i lokalne zdravstvene i ekološke agencije koje mogu zahtijevati od drugih subjekata provođenje procjena i implementaciju mjera te pružati smjernice i standarde za kontrolu buke.

Mjerenja razine buke mogu obavljati različiti subjekti, ali važno je da to rade ovlaštene osobe i organizacije koje imaju odgovarajuću stručnost, opremu i akreditaciju poput laboratorija koji su akreditirani za mjerenje buke prema međunarodnim standardima (npr. ISO 17025), specijalizirane tvrtke koje se bave zaštitom okoliša, akustikom i inženjeringom zvuka, inženjeri specijalizirani za akustiku i zvuk često su angažirani za provođenje mjerenja buke. Također državne ili lokalne agencije za zaštitu okoliša često provode mjerenja buke kako bi nadzirale usklađenost s propisima i zakonima o buci. Važno je naglasiti da mjerenja razine buke trebaju obavljati kvalificirani stručnjaci i ovlaštene organizacije kako bi se osigurala točnost, pouzdanost i usklađenost s relevantnim standardima i propisima.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Mjerenje razine buke

Mjerenje i analiza buke važni su koraci u razumijevanju i upravljanju bukom u različitim okolišima, uključujući radna mjesta, javne prostore, industrijska područja i stambene četvrti. Uređaji za mjerenje buke, poznati i kao decibel-metri ili zvučni mjerači, koriste se za precizno mjerenje razine zvuka u okolini. Zvukomjeri su ključni alati za procjenu razine buke i zaštitu od prekomjerne izloženosti zvuku. Glavni dijelovi zvukomjera obuhvaćaju [35]:

- mikrofoni koji su osjetljiv element koji pretvara zvučne valove (promjene tlaka zraka) u električne signale,
- preamplifikator pojačava električni signal iz mikrofona kako bi ga mogao obraditi ostatak zvukomjera,
- Filtre za frekvencijsko ponderiranje:
 - a) A-ponderiranje (dBA) - oponaša ljudsko uho na nižim razinama zvuka (najčešće korišteni filter za opću procjenu buke),
 - b) C-ponderiranje (dBC) - koristi se za mjerenje razina buke koje uključuju vrlo glasne zvukove,
 - c) Z-ponderiranje (dBZ) - linearno ponderiranje koje ne prilagođava signal i koristi se za precizne tehničke analize.
- analizator koji obrađuje pojačani i filtrirani signal kako bi izračunao razinu zvučnog tlaka,
- ekran koji prikazuje izmjerene vrijednosti, obično u decibelima (dB),
- procesor koji omogućuje dodatne funkcije poput memoriranja podataka, statističke analize, povezivanja s računalom i prilagodbe postavki mjerenja.

Zvukomjeri su ključni alati za mjerenje i kontrolu razine buke u različitim okruženjima te razumijevanjem principa rada zvukomjera i pravilnom upotrebom može pomoći u zaštiti zdravlja ljudi, osiguravanju sigurnih radnih uvjeta i očuvanju okoliša.

Na slici 14 prikazan je zvukomjer korišten pri mjerenju buke okoliša u ovom diplomskom radu.



Slika 14. Zvukomjer, proizvođač Value, model VMS – 1

Ključne značajke mjerača buke trebaju omogućavati preciznost mjerenja u različitim uvjetima uz širok opseg mjerenja kako bi mogao pokriti različite razine buke. Važna karakteristika mjerača buke je i brzina odziva koje se odnosi na vrijeme koje je potrebno mjeraču buke da registrira promjene u razini buke. Brža („fast“) brzina odziva koristi se za mjerenje kratkotrajnih šumova poput eksplozija ili zvukova vozila, dok sporija („slow“) brzina odziva koristi se za općenito mjerenje razine buke tijekom dužeg vremenskog razdoblja. Kvalitetni mjerači buke trebali bi biti izdržljivi i prijenosni, omogućujući korisnicima da ih koriste u različitim okruženjima i uvjetima [36].

U tablici 6 prikazane su tehničke specifikacije korištenog modela zvukomjera proizvođača Value za model VMS – 1.

Tablica 6. Tehničke specifikacije zvukomjera Value (model VMS-1)

Funkcija	Raspon mjerenja	Rezolucija	Točnost mjerenja
Razina zvuka	30 – 130 dB	0.1 dB	± 1.5 dB
Brzina odziva	Fast		125 ms
	Slow		1000 ms

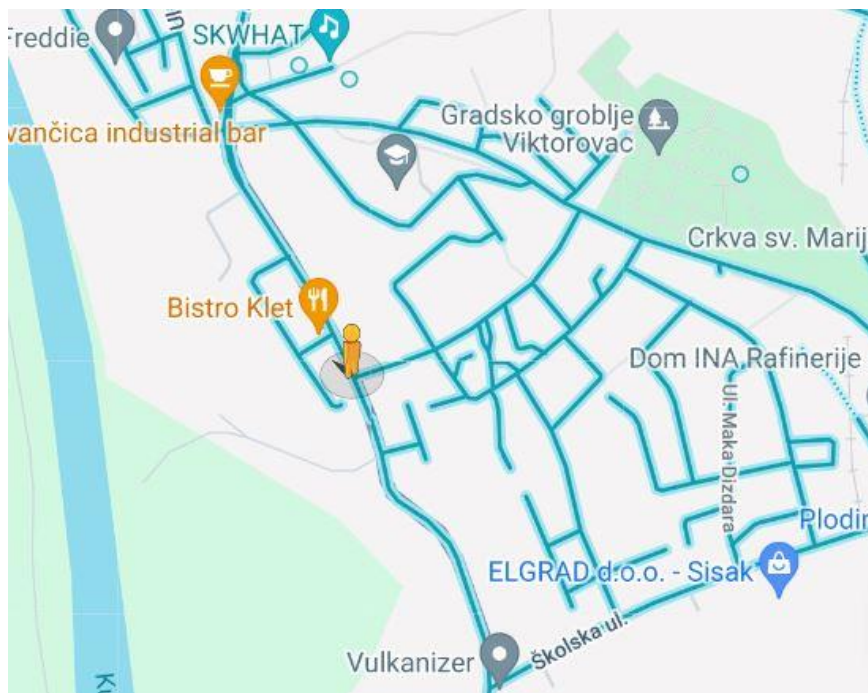
Kako bi osigurali reprezentativne podatke o mjerenjima razine buke, zvukomjer je potrebno postaviti na odgovarajuću lokaciju ovisno o području ispitivanja. Mjerenje razine buke provodi se tijekom određenog vremenskog razdoblja, dok se mjerenja mogu provoditi kontinuirano ili u određenim intervalima kako bi se dobila reprezentativna slika o razini buke tijekom dana.

3.2. Lokacije mjerenja buke

Provedena su mjerenja onečišćenja bukom na dvije lokacije (u urbanom središtu i industrijskoj zoni) na području Grada Siska kako bi dobivene rezultati usporedili s dostupnim podacima strateških karata buke, smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije i zakonskim propisima.

Sisačko – moslavačka županija ima površinu od 4.468 km² u kojoj je smještena cestovna infrastruktura od ukupno 453 km državnih cesta, 647 km županijskih, 579 km lokalnih i preko 2000 km nerazvrstanih cesta na kojima je registrirano 74.646 vozila u 2023. godini na 140.549 stanovnika. Osobna vozila čine 72,9 % udjela motornih vozila, zatim slijede gospodarska vozila u količini od 12,6 %, većinom traktori i priključna vozila što odgovara i pretežito poljoprivrednoj orijentiranosti županije [37,38]. Sisačko moslavačka županija nekada je bila značajno industrijsko središte, no protekom vremena, ratnim razaranjima, promjenama u gospodarstvu koje obuhvaćaju prvenstveno korištenje zelenih tehnologija i okretanja poslovanja održivom razvoju i manjku financijskog ulaganja, danas u županiji nema značajnije industrijske djelatnosti. Gospodarske djelatnosti koje obitavaju na području obuhvaćaju proizvodnju umjetnih gnojiva, metaloprerađivačku industriju, energetiku i poljoprivredu.

Obzirom na navedeno u ovom radu će se kroz mjerenje i analizu dobivenih podataka, prikazati opterećenje bukom u Gradu Sisku. Grad Sisak je županijsko središte u kojem se nalaze razne institucije, od javnih ustanova do lokalnih, malih do većih gospodarskih grana i obrta. Samim time velika količina stanovnika županije gravitira prema gradu. Prometna povezanost županije s gradovima omogućena je većinom osobnim vozilima, obzirom da javni prijevoz nije učestao. Temeljem statističkih podataka o broju vozila koja uzrokuju buku za mjerenje razine buke cestovnog prometa uzeta je lokacija uz državnu cestu DC37 u gradu Sisku, Sisačko – moslavačka županija. Navedena državna cesta je sa obje strane okružena obiteljskim kućama i brojnim prilaznim cestama, što uz gustoću prometa može dovesti do značajnih razina buke. Upravo iz navedenog razloga određena je lokacija prikazana na slici 15. Zvukomjer je bilježio buku s određenog mjesta svakih 10 minuta u trajanju od 2 sata tijekom radnog dana u razdoblju od 8:00 sati do 10:00 sati te 18:00 – 20:00 sati.



Slika 15. Pozicija zvukomjera prilikom mjerenja [39]

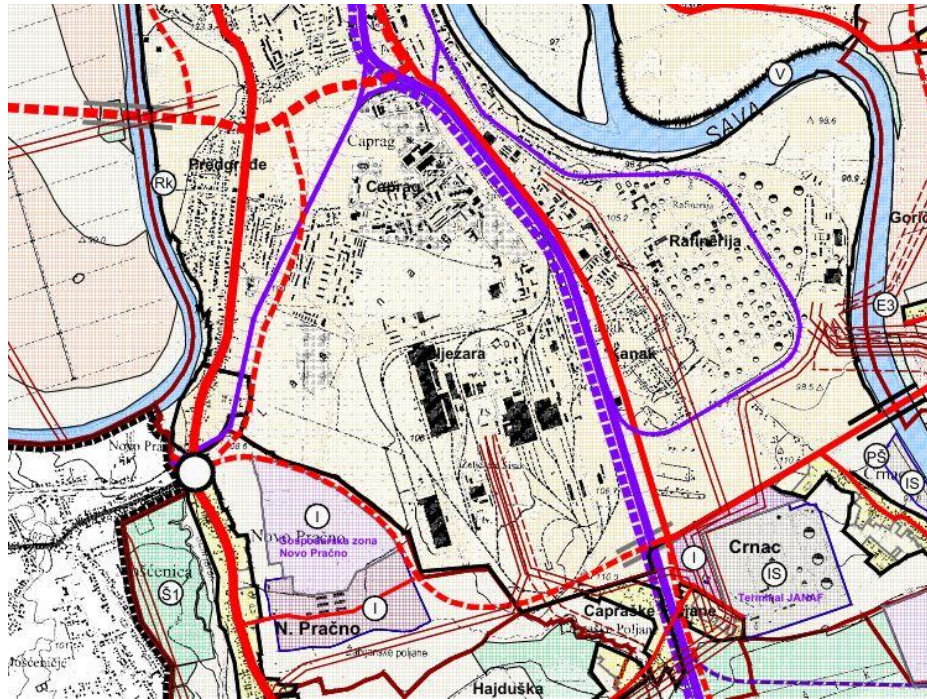
Navedena lokacija izabrana je zbog gustoće prometa na temelju podataka o brojanju prometa na državnim cestama u Sisačko-moslavačkoj županiji od strane Hrvatskih cesta d.o.o. prikazanih u tablici 7 [40]. Navedenom lokacijom prolazi veliki broj vozila, obzirom da se radi o prometnici koja spaja gadove Sisak i Petrinju, te nadalje omogućava dolazak na granične prijelaze s Bosnom i Hercegovinom.

Tablica 7. Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu na DC37 [40]

Lokacija brojača prometa	godina				
	2018	2019	2020	2021	2022
DC37 Petrinja	8925	9046	7928	8687	8967
DC37 Novo Selište	4599	4847	4478	5245	5272

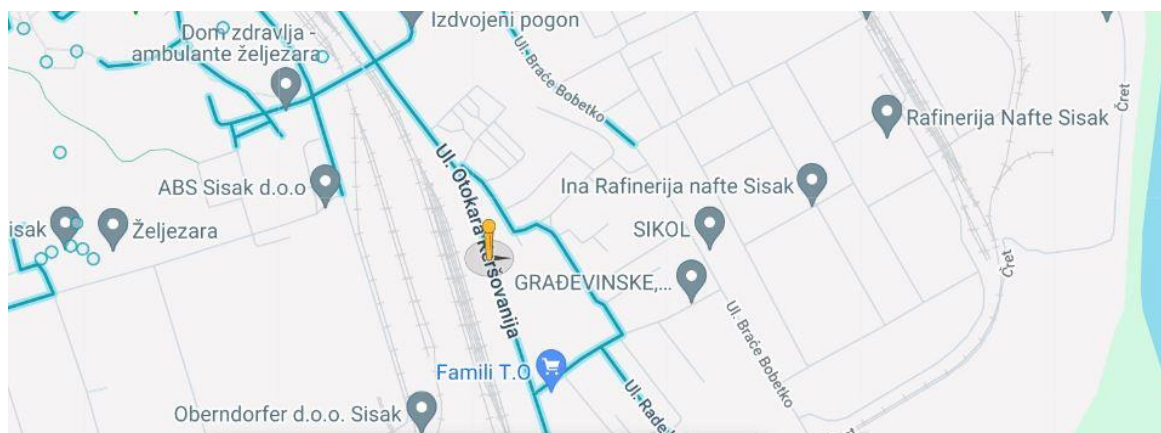
Prema tablici 7 vidljiva je ujednačenost u prosječnom godišnjem dnevnom prometu na lokaciji, uz zabilježen manji pad u 2020. godini. Navedeni pad je razumljiv obzirom da se radi o godini pandemije virusa COVID-19 i ograničenja kretanja stanovništva sukladno tada važećim preporukama i smjernicama Vlade Republike Hrvatske.

Mjerenja razine buke provedena su i na drugoj lokaciji, tj. u industrijskoj zoni grada Siska koja je prikazana na slici 16. Južna industrijska zona Sisak smještena je na mjestu nekadašnjeg diva Željezare Sisak, koja danas otvorena investitorima zahvaljujući svojoj prostornoj raznolikosti i odličnoj prometnom povezanosti. Zona se prostire na površini od 650.614 m² u kojoj djeluje nekoliko značajnih kompanija kao što su ABS d.o.o., INA Rafinerija nafte Sisak d.o.o. s punilištem autocisterni, JANAF d.o.o., Termoelektrana Sisak d.o.o., Applied Ceramics d.o.o., CIOS Grupa i HEP Toplinarstvo. Prometna povezanost uključuje pristup svim važnim prometnicama i željeznici, a udaljena je oko 50 km od međunarodne zračne luke u Zagrebu [41].



Slika 16. Južna industrijska zona Grada Siska [41]

Upravo temeljem gospodarskih subjekata u okruženju, izabrana je lokacija za mjerenje razine buke prema referentnom položaju u ulici Otokara Keršovanija koja dijeli industrijsku zonu od mješovito stambene zone [42].



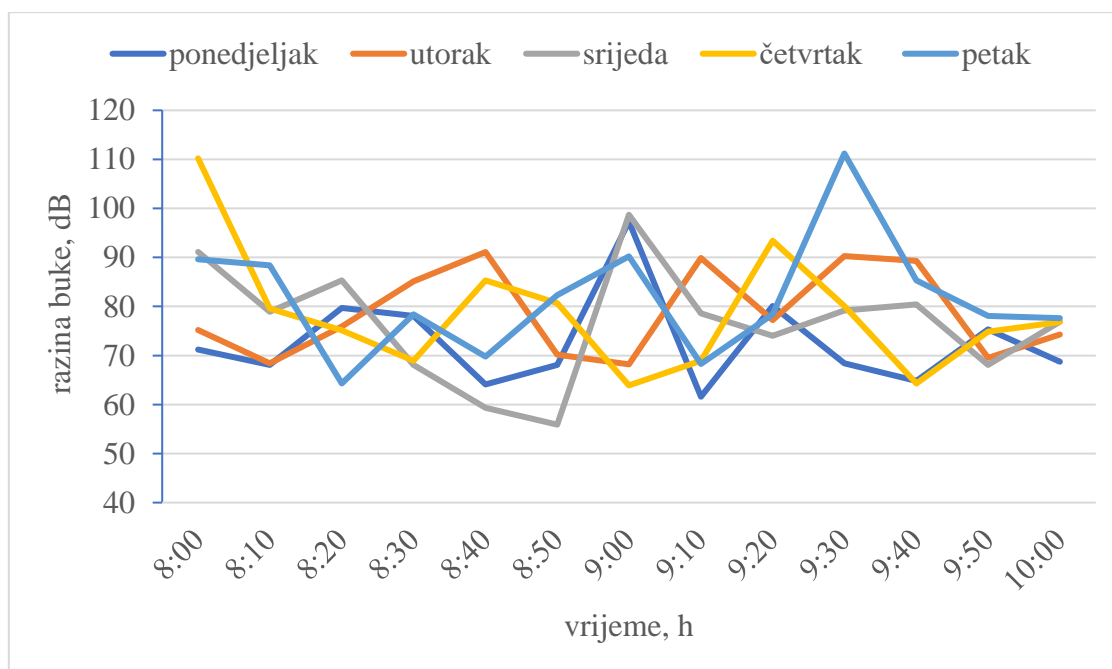
Slika 17. Lokacija mjerenja razine buke u industrijskoj zoni [42]

Iako je lokacija za mjerenje razine buke uz prometnicu, te u blizini željezničke pruge, zvukomjer je usmjeren prema industrijskoj zoni kako bi se osigurali kvalitetniji podaci mjerenja. Na lokaciji također nema prisutnih zvučnih barijera koje bi smanjivale razinu buke, odnosno radi se o otvorenom prostoru.

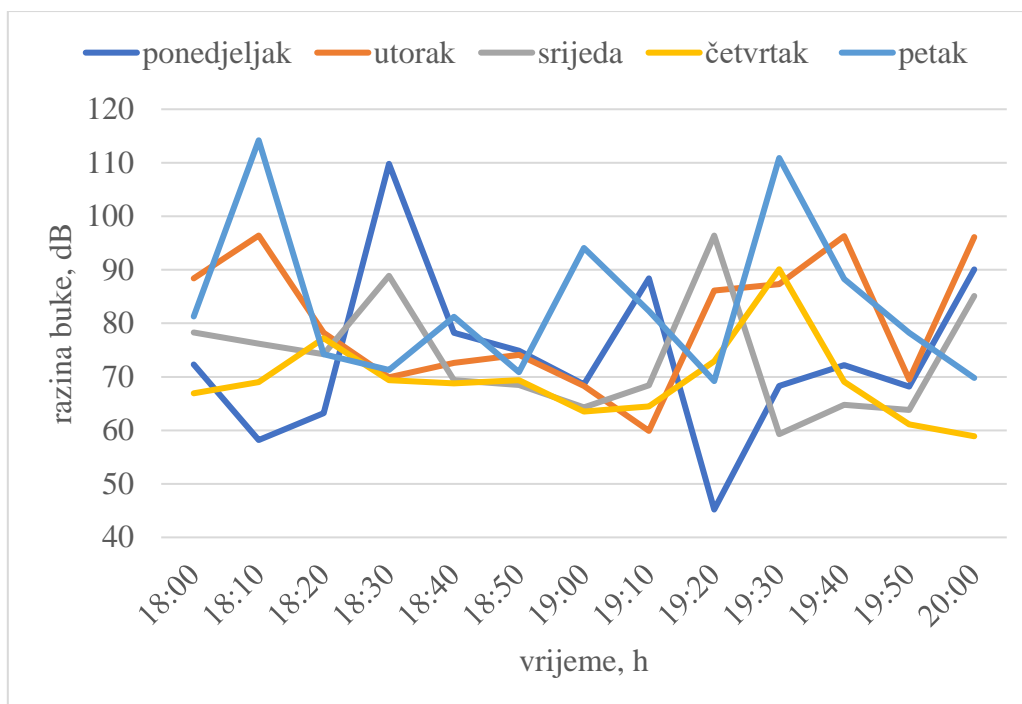
4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Rezultati mjerenja na lokaciji D37

Prikupljeni podaci o razinama buke na lokaciji D37 prikazani su na dijagramima koji sadrže mjerenja za prijedpodnevne sate u vremenu od 8:00 do 10:00 sati (slika 18) i mjerenja za poslijepodnevne sate u vremenu od 18:00 do 20:00 sati (slika 19) tijekom mjeseca travnja 2024. godine.



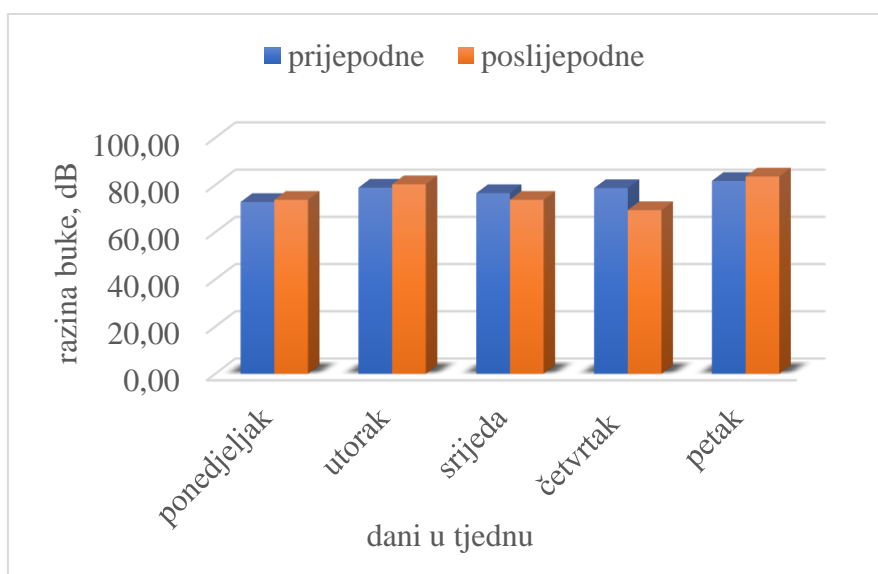
Slika 18. Izmjerene razine buke u prijedpodnevnim satima na lokaciji D37



Slika 19. Izmjerene razine buke u poslijepodnevnom vremenu na lokaciji D37

Iz navedenih dijagrama vidljiva je ujednačenost u razinama buke na lokaciji uz manje iznimke. Naime, kako se radi o državnoj cesti sa značajnim cestovnim prometom koji uključuje i prijevoz tereta, a ne samo osobna vozila, razumljiva su odstupanja u mjerenjima. Važno je naglasiti da se na udaljenosti od 1 km od odabrane lokacije nalazi Opća bolnica „dr. Ivo Pedišić“ te su povremeni značajni pikovi na dijagramu uzrokovani sirenama hitnih službi (hitna pomoć, vatrogasci).

Na slici 20 prikazane su prosječne razine buke u prijepodnevnom i poslijepodnevnom vremenu, iz kojih je vidljivo da nema značajnih odstupanja u razinama buke na lokaciji. Iako je vizualno zamijećen manji broj teretnih vozila, nije pretjerano utjecao na razinu prosječne buke.



Slika 20. Prosječne razine buke na lokaciji D37

Mjerenjem prikupljenih podataka uočeno je da su svi podaci iznad preporučenih vrijednosti važećih zakonskih propisa i preporuka Svjetske zdravstvene organizacije, a pojedinačno su prikazani u tablici 8.

Tablica 8. Prikaz pojedinačnih mjerenja izmjerenih vrijednosti razine buke na lokaciji D37

doba dana	ponedjeljak	utorak	srijeda	četvrtak	petak
8:00	71,2	75,2	91,1	110,2	89,6
8:10	68,1	68,4	78,9	79,6	88,4
8:20	79,7	75,9	85,3	75,1	64,3
8:30	78,1	85,1	68,1	68,9	78,4
8:40	64,1	91,1	59,3	85,3	69,8
8:50	68,1	70,2	55,9	80,7	82,3
9:00	97,3	68,2	98,7	63,9	90,2
9:10	61,6	89,9	78,6	68,9	68,3
9:20	80,1	77,2	74,0	93,4	78,4
9:30	68,4	90,3	79,2	80,1	111,2
9:40	64,8	89,3	80,4	64,3	85,3
9:50	75,3	69,5	68,1	74,9	78,1
10:00	68,7	74,3	76,9	76,8	77,6
prosječna vrijednost, dB	72,73	78,82	76,50	78,62	81,68

doba dana	ponedjeljak	utorak	srijeda	četvrtak	petak
18:00	72,3	88,4	78,3	66,9	81,3
18:10	58,2	96,4	76,2	69,0	114,2
18:20	63,2	78,2	74,2	77,2	74,2
18:30	109,8	69,9	88,9	69,4	71,3
18:40	78,2	72,6	69,4	68,8	81,2
18:50	74,9	74,1	68,5	69,4	70,9
19:00	68,6	68,3	64,3	63,5	94,1
19:10	88,4	59,9	68,4	64,5	82,3
19:20	45,2	86,1	96,4	72,9	69,2
19:30	68,3	87,3	59,3	90,1	110,9
19:40	72,2	96,3	64,8	69,1	88,3
19:50	68,2	69,5	63,8	61,1	78,2
20:00	90,1	96,1	85,1	58,9	69,8
prosječna vrijednost, dB	73,66	80,24	73,66	69,29	83,53

4.2. Analiza mjerenja na lokaciji D37

Prikupljeni podaci o razinama buke u skladu su s dostupnom strateškom kartom buke iz 2018. godine za područje Grada Siska. Međutim vidljivo je da sva mjerenja odstupaju od preporučenih razina Svjetske zdravstvene organizacije u kojima je navedena preporučena razina cestovne buke u iznosu od 53 dB [18]. Temeljem Pravilnika o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka iz 2021. godine najviša ocjenska razina buke iznosi L_{den} 57 dB za zonu mješovite, pretežno stambene namjene (oznaka M1) koje su određene na temelju dokumenata prostornog uređenja, u našem primjeru, temeljem Generalnog urbanističkog plana grada Siska [13,43].

Tijekom mjerenja i analize podataka dobivenih na lokaciji državne ceste DC37 uočena je prekomjerna razina buke za navedenu namjenu urbane zone. Mjerenja su pokazala da tijekom radnih dana svi izmjereni podaci prekoračuju dopuštene razine buke koja je određena Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto iz 2021. godine [9]. No, zbog izgrađenosti područja mjere koje se mogu primijeniti obuhvaćaju sadnju zelenih barijera i smanjenje brzine kretanja vozila, dok bi akcijski planovi svakako trebali sadržavati razvoj cestovne mreže van središta grada i stambenih zona.

4.3. Rezultati mjerenja buke na lokaciji u južnoj industrijskoj zoni Grada Siska

Lokacija mjerenja u južnoj industrijskoj zoni obuhvaća prometnicu (nerazvrstana cesta) koja dijeli industrijsku zonu od mješovite zone pretežito stambene, stoga podaci obuhvaćaju i buku cestovnog prometa, a ne samo buku koju proizvode industrijski objekti. Propisana razina buke za zonu gospodarske namjene pretežito proizvodne industrijske djelatnosti, a nalazi se na granici s mješovitom pretežito stambenom zonom, buka ne smije prelaziti dopuštene razine buke na granici zone u iznosu od 57 dB [13].

Izmjereni podaci o razinama buke na lokaciji nerazvrstane ceste Otokar Keršovani prikazani su u tablici 9 koja sadrži mjerenja za prijepodnevnne i poslijepodnevnne sate tijekom radnih dana u mjesecu svibnju 2024. godine.

Tablica 9. Prikaz pojedinačnih mjerenja izmjerenih vrijednosti razine buke na u južnoj industrijskoj zoni

doba dana	ponedjeljak	utorak	srijeda	četvrtak	petak
8:00	45,20	68,20	90,10	32,20	60,20
8:10	49,80	54,20	78,60	59,60	39,20
8:20	37,00	60,10	38,80	39,80	64,20
8:30	55,30	63,10	45,10	67,90	59,20
8:40	48,20	35,90	60,20	58,20	80,10
8:50	70,10	40,90	37,50	63,80	69,10
9:00	63,20	44,80	35,20	45,20	45,70
9:10	55,20	35,00	80,20	57,10	56,20
9:20	65,10	34,80	74,00	60,20	38,20
9:30	64,20	60,80	68,20	45,10	50,90
9:40	66,30	45,90	70,30	38,90	68,20
9:50	59,20	71,90	80,10	75,20	52,30
10:00	77,80	59,90	45,30	80,70	45,10
prosječna vrijednost, dB	58,20	51,96	61,82	55,68	56,05

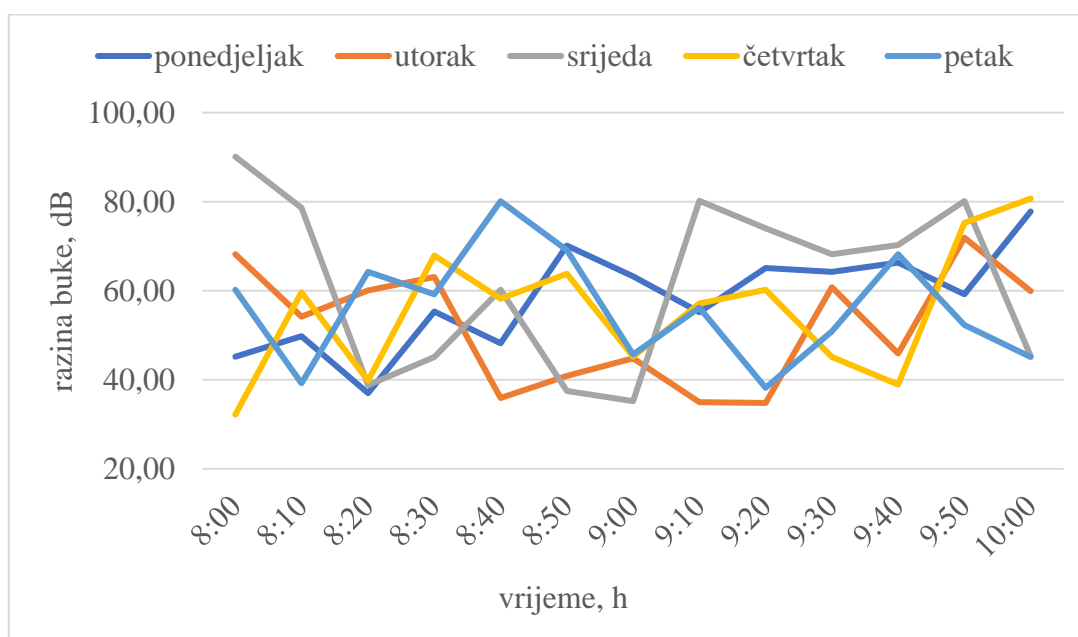
doba dana	ponedjeljak	utorak	srijeda	četvrtak	petak
18:00	38,20	62,20	80,10	65,20	30,20
18:10	34,20	29,90	68,20	66,00	36,30
18:20	39,90	30,90	36,00	54,20	63,20
18:30	52,40	62,90	68,20	33,60	51,90
18:40	38,20	42,80	54,30	57,90	42,60
18:50	42,20	36,20	68,20	45,20	45,10
19:00	60,30	41,10	44,10	26,90	80,20
19:10	29,20	81,50	39,20	44,50	39,10
19:20	33,90	67,20	39,90	53,90	36,00
19:30	62,10	35,90	54,20	62,00	54,00
19:40	31,50	45,10	68,20	49,10	35,10
19:50	52,30	44,30	33,20	36,80	41,20
20:00	81,20	38,90	30,30	34,50	37,20
prosječna vrijednost, dB	45,82	47,61	52,62	48,45	45,55

Tijekom mjerenja i analize prikupljenih podataka na lokaciji 2 zamijećen je manji broj vozila na prometnici, ali i nepostojanje značajnih izvora buke obzirom na granicu s industrijskom zonom, uz naznaku da se radi i o rubnom dijelu grada. Na razinu buke utječe i činjenica da je na prometnici poprilično oštećen asfaltni sloj te je brzina kretanja vozila ograničena na 40 km/h. Također na lokaciji nije zamijećen velik broj teretnih vozila jer su ulazi u industrijske komplekse na suprotnoj strani južne industrijske zone od lokacije mjerenja.

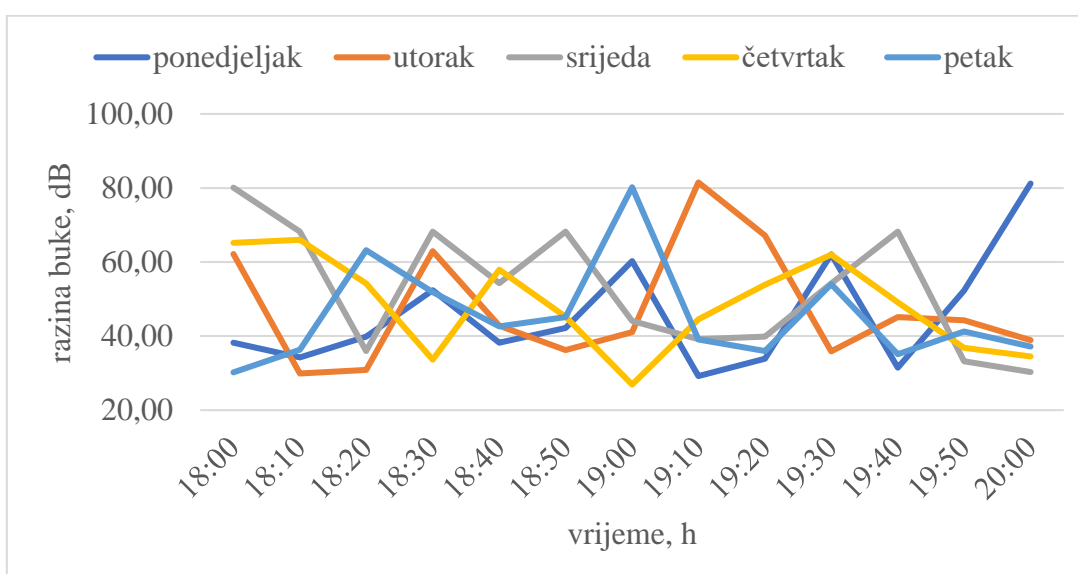
4.4. Analiza prikupljenih podataka na lokaciji u južnoj industrijskoj zoni Grada Siska

Prikupljeni podaci pokazuju značajno niže vrijednosti razine buke, iako se radi o industrijskom dijelu grada na granici s mješovitom zonom, pretežito stambene namjene te su izmjerene vrijednosti u skladu s preporučenim razinama Svjetske zdravstvene organizaciji, ali i u skladu s važećom legislativom [13,22].

Prikupljeni podaci o razinama buke na lokaciji južne industrijske zone prikazani su na dijagramima koji sadrže mjerenja za prijedpodnevne sate u vremenu od 8:00 do 10:00 sati (slika 21) i mjerenja za poslijepodnevne sate u vremenu od 18:00 do 20:00 sati (slika 22) tijekom mjeseca svibnja 2024. godine

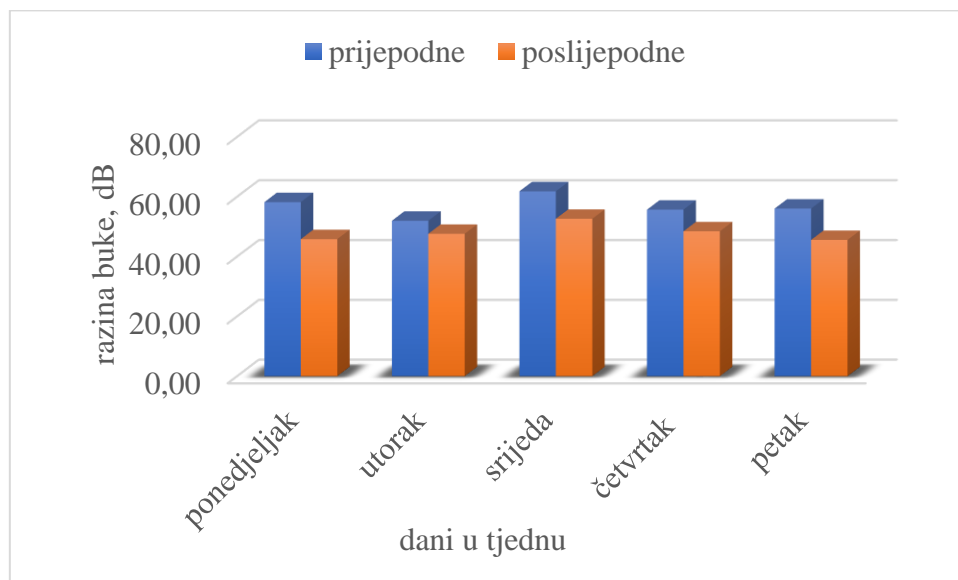


Slika 21. Izmjerene razine buke u prijedpodnevnim satima u južnoj industrijskoj zoni



Slika 22. Izmjerene razine buke u poslijepodnevnim satima u južnoj industrijskoj zoni

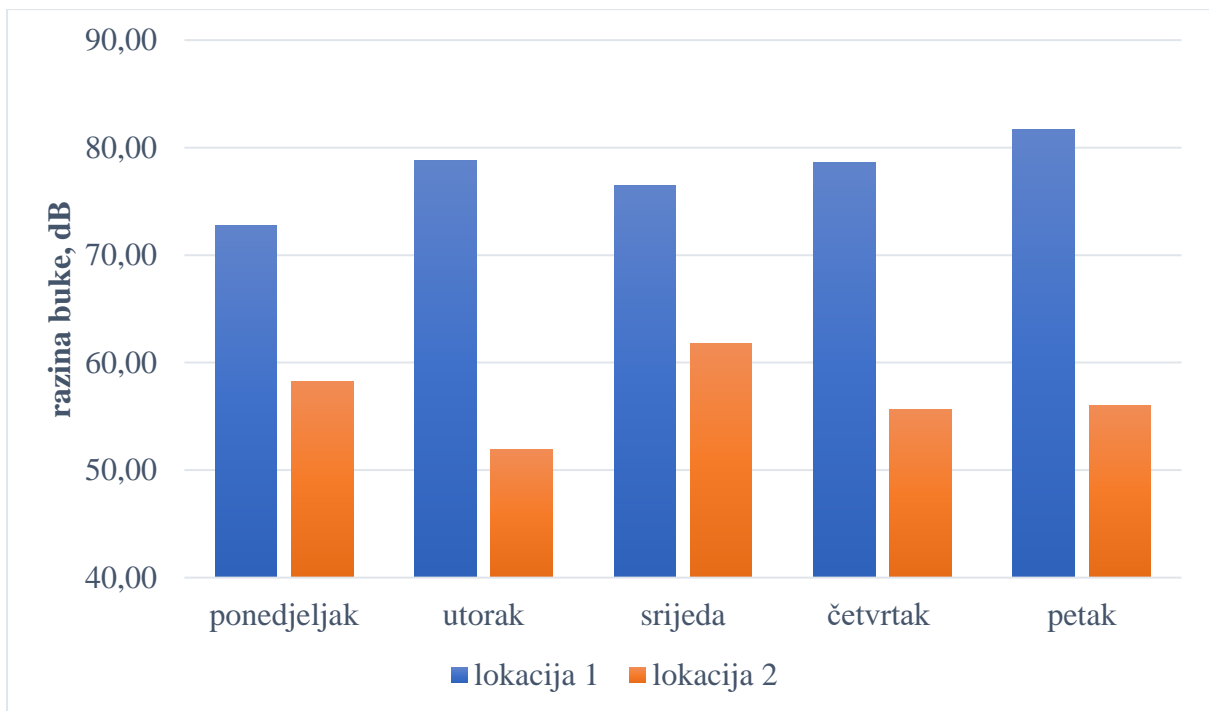
Podaci prikazani na slikama 21 i 22 prikazuju ujednačenost u izmjerenoj razini buke, što dokazuje primjenu smjernica i preporuka relevantnih dionika u području zaštite od buke te poštivanje zakonskih propisa gospodarskih subjekata smještenih u južnoj industrijskoj zoni grada Siska. Također treba istaknuti da je lokacija smještena u rubnom području grada Siska na kojoj boravi i značajno manji broj stanovnika, odnosno ne radi se o gusto naseljenom središtu grada kroz koji prolazi državna cesta već nerazvrstanoj cesti na rubu gradske zone.



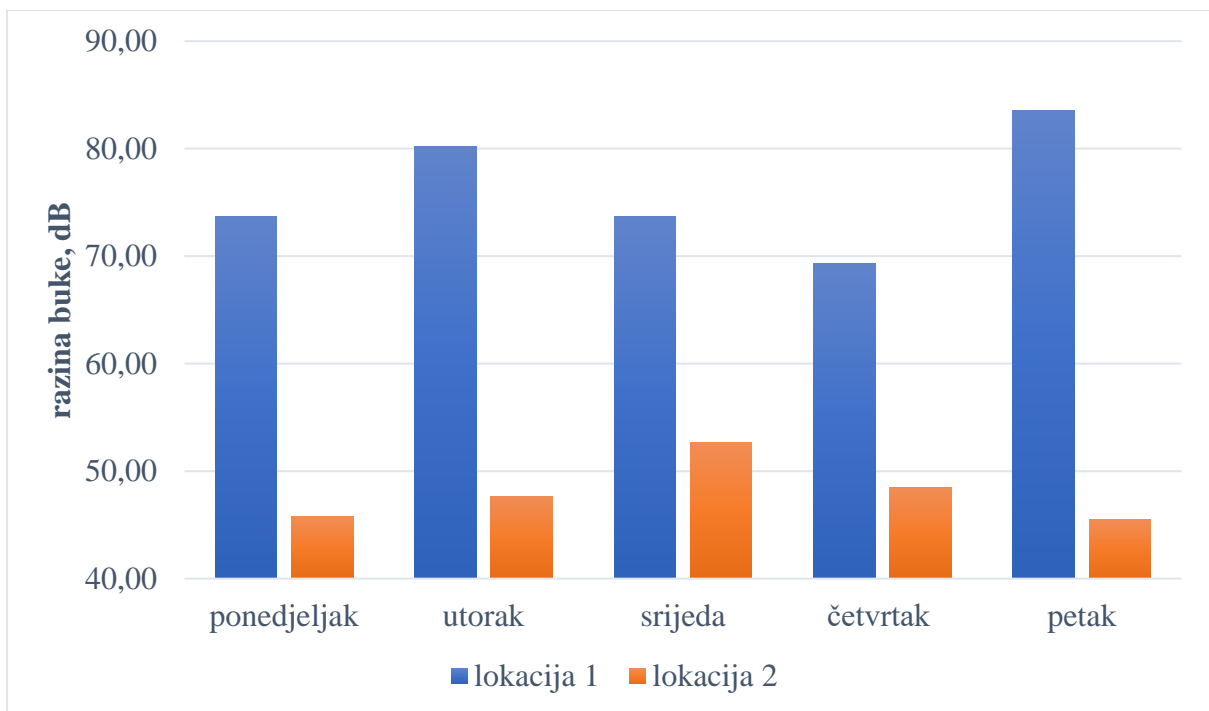
Slika 23. Prosječne razine buke na lokaciji u južnoj industrijskoj zoni

Na slici 23 prikazane su prosječne vrijednosti razine buke za radne dane u prijepodnevnom i poslijepodnevnom satima pri čemu je vidljivo da razina buke u prijepodnevnom satima neznatno odstupa od poslijepodnevnom vrijednosti. Navedeno je i razumljivo obzirom da se radi o industrijskoj zoni u kojoj se većina aktivnosti poput dolaska zaposlenika na posao ili dostave materijala obavlja u prijepodnevnom satima.

Usporedbom podataka razine buke na obje lokacije vidljiva je značajna razlika razine onečišćenja bukom kada je izvor cestovni promet, nego kada mjerimo razinu buke u industrijskoj zoni što je vidljivo i na slikama 24 i 25.



Slika 24. Usporedba mjerenja razine buke u prijepodnevnim satima na obje lokacije



Slika 25. Usporedba mjerenja razine buke u poslijepodnevnim satima na obje lokacije

Naime gradovi se razvijaju, povećava se broj stanovnika u urbanim sredinama (gradskim središtima), a smanjuje se broj stanovnika koji žive u ruralnim sredinama ili industrijskim četvrtima. Upravo zbog gravitacije stanovništva u gradska središta povećava se broj vozila, smanjuje zelena površina zbog izgradnje građevina, ne samo stambenih, već i trgovačkih

centara, te posljedično dolazi do izgradnje novih prometnica. Uklanjanjem drvoreda, šumaraka odnosno prirodnih barijera koje su služile kao zaštitna pregrada dolazimo do povišene razine buke. Iako se obje lokacije nalaze na području Grada Siska, jasno je vidljivo da središte grada ima povećanu razinu onečišćenja bukom od cestovnog prometa. Industrijska zona je po tom pitanju nedvojbeno pod strožom kontrolom europskog i nacionalnog zakonodavstva. Naime, gospodarski subjekti su obavezni prema Zakonu o zaštiti okoliša izrađivati Elaborate zaštite okoliša o potrebi izrade studije utjecaja zahvata na okoliš i Studije o utjecaju zahvata na okoliš gdje su sastavni dio mjerenja razine buke prije i tijekom eksploatacije navedenog zahvata u okolišu [44]. U današnje vrijeme, zaštiti okoliša posvećuje se velika pozornost te je gotovo nemoguće dobiti dozvolu za gradnju ili rekonstrukciju industrijskog objekta bez navedenih dokumenata. Gospodarski subjekti u južnoj industrijskoj zoni za postojeće objekte kojima je nužna rekonstrukcija zbog promjene tehnologije ili sirovina dužni su izraditi navedene dokumente te o istima obavijestiti javnost [45,46].

5. MJERE ZAŠTITE OD BUKE NA OTVORENOM PROSTORU

Temeljem Zakona o zaštiti od buke i važećih podzakonskih akata propisane su mjere za smanjenje razine buke koje prvenstveno obuhvaćaju izradu strateških karata buke, osiguravanje dostupnosti podataka široj javnosti i izradu akcijskih planova koji će navedenu buku smanjiti na prihvatljivu razinu [12].

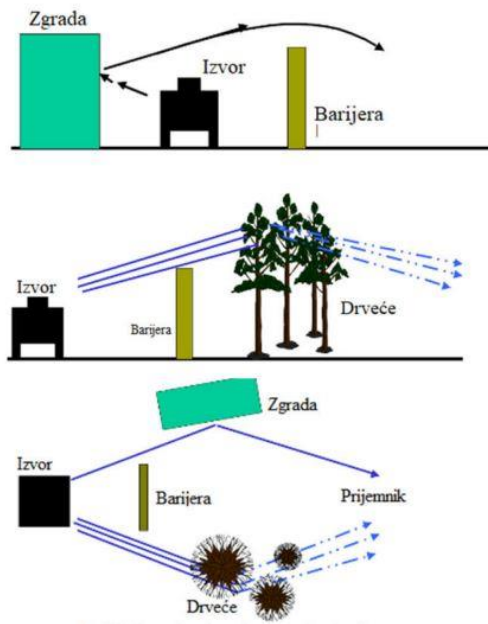
Kada govorimo o mjerama zaštite na otvorenom prostoru suočeni smo s brojnim izazovima koji se nalaze na području, a obuhvaćaju neplansku gradnju, neuređene imovinsko – pravne odnose, zaštićena kulturna dobra i slično. Naime, sve mjere zaštite od buke na otvorenom prostoru obuhvaćaju izgradnju neke fizičke barijere poput nasipa za zaštitu od buke (izvedba od prirodnih materijala: zemlja, kamen, šljunak) i zvučnu barijeru (izvedba od betona, čelika, stakla ili drugih materijala) ili mogu biti kombinacija prve i druge mjere [47]. Izvedba zvučne barijere svakako ovisi o topografiji područja kao i procjeni utjecaja na okoliš.

Neke od učinkovitih mjera koje se mogu poduzeti kako bi se smanjila izloženost buci obuhvaćaju:

- sadnju zelenih zidova poput živica ili stabala,
- postavljanje umjetnih zvučnih pregrada duž prometnica ili drugih izvora buke,
- učinkovito urbanističko planiranje i namjenu prostora isključivo za stambene djelatnosti, dok industrijske planirati van urbanih područja,
- izgradnja prometnica s većom frekvencijom prometa van naseljenih mjesta (obilaznice),
- izgradnja i uređenje prometnica i okolnih prostora od materijala koji smanjuju buku i slično.

Učinkovitost zvučnih barijera ovisi o različitim čimbenicima, uključujući materijal, visinu, debljinu, oblik, udaljenost od izvora buke i okolne topografije. Stoga je važno pravilno planirati i projektirati zvučne barijere kako bi se postigao optimalan rezultat u smanjenju buke na otvorenom prostoru.

Na slici 26 prikazano je kako različiti objekti u prostoru mogu djelovati na širenje buke u odnosu na postavljene zvučne barijere [47].



Slika 26. Refleksija zvuka oko zvučne barijere [47]

Na slijedećim slikama prikazani su primjeri postavljenih zvučnih barijera i njihova različitost u izvedbi, ne samo otvorenog prostora uz prometnice, već i danas izrazito korištenih rashladnih sustava i dizalica topline koje se postavljaju okolo i na stambene objekte [48,49].



a) umjetne i prirodne zvučne barijere



b) transparentna zvučna barijera



c) aluminijska zvučna barijera



d) zaštitna barijera na dizalicama topline i rashladnim sustavima

Slika 27. Vrste zvučnih barijera [48,49]

U području zaštite od prekomjerne razine buke, a u skladu s održivim razvojem te postizanjem nulte stope onečišćenja okoliša i smanjenja otpada, što je i opisano u smjernicama Europskog zelenog plana, svjedočimo boljoj iskoristivosti zvučnih barijera. Naime, zvučnim barijerama se dodaje dodatna vrijednost u pogledu iskorištavanja Sunčeve energije. Na pojedinim područjima, gdje uvjeti to omogućavaju, zvučna barijera postaje solarna elektrana kao što je prikazano na slici 28. Ovakav pristup održivom razvoju prihvaća sve više zemalja članica Europske unije nastojeći smanjiti onečišćenje okoliša [50].



Slika 28. Primjer zvučne barijere s fotonaponskim panelima [50]

Najučinkovitije smanjenje razine buke može se postići prilikom projektiranja objekata, korištenjem inovativnih materijala i tehnika kako je vidljivo i na primjeru solarne zvučne barijere. Na primjer, buka koju proizvodi cestovno vozilo ima dva glavna uzročnika: buku motora i buku kotrljanja. Buku kotrljanja stvara kontakt gume i ceste, a utvrđeno je da jačina buke ovisi o vrsti i stanju kolnika, posebice kvaliteti asfaltirane površine. Istraživanja su pokazala da porozni asfaltni sloj smanjuje buku za 3 – 4 dB od gušćeg sloja asfalta. Razlika između poroznog i gustog sloja asfalta nalazi se u veličini kamenog agregata korištenog za asfaltnu mješavinu [51].

Europskim zelenim planom i preporukama Europske unije za postizanje nulte stope otpada, potiču se inovacije i razvijaju materijali, oprema i tehnologije kojima se smanjuje razina onečišćenja okoliša [17]. Jedna od mjera je i zabrana proizvodnje motora s unutarnjim izgaranjem na benzin i dizel goriva od 2035. godine koja bi trebala utjecati, ne samo na smanjenje razine buke, već i na emisije ispušnih plinova koje imaju negativan učinak na okoliš [52]. Upravo su električna vozila najbolje pozicionirana alternativa konvencionalnom vozilu s motornim pogonom zbog svojih ekološki prihvatljivih svojstava. Jedno od njegovih najznačajnijih svojstava je tihi električni motor koji može biti dobar alat za smanjenje zagađenja bukom u gradovima. U tom smislu, električno vozilo može se akustički procijeniti s različitih gledišta; s jedne strane, kao pokretni točkasti izvor i s druge strane, kao dio prometnog toka na cesti, odnosno njegov učinak na cijelu kartu buke [53].

6. ZAKLJUČAK

Proučavanjem literaturnih podataka uočeno je da buka u prošlosti nije predstavljala značajan rizik kao onečišćivač okoliša jer je većina istraživanja usmjerena na onečišćenje zraka, vode i tla. Međutim, podizanjem razine svijesti o antropogenom utjecaju čovjeka na okoliš, pozornost je usmjerena, kako na svjetlosno onečišćenje tako i na buku. S obzirom na štetne učinke buke, uključujući oštećenje sluha, poremećaje spavanja, povećan stres, kardiovaskularne probleme i mentalne poremećaje, neophodno je sustavno pristupiti problemu buke u urbanim i ruralnim područjima. Nažalost prekoračenje dopuštenih razina buke prisutno je u cijeloj Europi gdje je više od 40 % stanovnika izloženo buci većoj od 50 dB, stoga je potrebno dodatno razvijati strategije smanjenja razina buke na globalnom planu.

Na temelju rezultata mjerenja vrijednosti razine buke na lokacijama D37 i južnoj industrijskoj zoni Grada Siska uočena je potreba za integracijom zaštitnih mjera u fazi planiranja, projektiranja i izgradnje jer iste mogu značajno smanjiti izloženost buci, poboljšati kvalitetu života stanovnika te osigurati usklađenost s regulativnim zahtjevima. S obzirom da su registrirane vrijednosti razine buke na lokaciji D37 više od 57 dB temeljem Pravilnika o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka, mogu se preporučiti sljedeće mjere zaštite od buke:

- smanjenje ograničenja brzine u području,
- planiranje izgradnje obilaznih prometnica kako bi se smanjila gustoća prometa,
- postavljanje usporivača prometa poput ležećih policajaca, prometnih otoka i slično,
- upotreba tiših vozila odnosno korištenje električnih vozila u javnom i privatnom prometu,
- zabrana prometovanja vozila visoke nosivosti,
- izgradnja zelenih barijera poput sadnje drveća, ali upotrebom krovova i fasada prekrivenih vegetacijom, koje neće samo poboljšati energetske učinkovitost zgrade već će pomoći i u smanjenju buke.

Ključni koraci za zaštitu zdravlja ljudi i poboljšanje kvalitete života obuhvaćaju kontinuirano mjerenje i analizu buke pri čemu se osiguravaju važne informacije koje omogućuju donošenje informiranih odluka o upravljanju bukom i očuvanju kvalitete okoliša. Strateške karte buke i akcijski planovi razvijeni na temelju tih mjerenja pružaju sveobuhvatne strategije za smanjenje buke. Kroz izradu strateških karata i akcijskih planova, te osiguravanjem financijskih sredstva za izbjegavanje ili barem smanjivanje razine buke korak smo bliže ugodnijem i zdravstveno sigurnijem okolišu.

Mjere koje je potrebno poduzeti kako bi se smanjila izloženost buci i zaštitilo zdravlje ljudi, obuhvaćaju urbanističko planiranje, prilagodbu zakonske regulative sukladno preporukama zdravstvenih stručnjaka, održavanje edukacijskih seminara i podizanje razine svijesti o negativnim učincima buke.

Zakonodavni okvir, poput Direktive o buci u okolišu Europske unije, igra ključnu ulogu u standardizaciji mjerenja, izvješćivanja i provođenja mjera za smanjenje buke. Nacionalne i

lokalne vlasti, kao i nevladine organizacije, trebaju surađivati kako bi se osiguralo učinkovito provođenje ovih mjera.

U konačnici, smanjenje buke u okolišu zahtijeva integrirani pristup koji uključuje tehničke, regulativne i edukativne mjere. Kontinuirano praćenje, evaluacija i prilagodba strategija ključni su za postizanje trajnih poboljšanja u smanjenju buke i zaštiti zdravlja stanovništva. Sustavna primjena mjera smanjenja buke donosi značajne benefite, ne samo za zdravlje ljudi, već i za cjelokupnu kvalitetu života u zajednicama.

7. LITERATURA

- [1] B. Resanović, M. Vranjković, Z. Orsag, „Buka okoliša-javnozdravstveni problem“, *Hrvatski časopis za javno zdravstvo*, sv. 2, 2006, Pristupljeno: 29. veljača 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/298969>
- [2] P. E. Oguntunde, H. I. Okagbue, O. A. Oguntunde, O. O. Odetunmibi, „Public Health Public Health in Ota Metropolis“, *Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, sv. 7, izd. 8, str. 1391, 2019, doi: 10.3889/oamjms.2019.234.
- [3] M. Malešević, „Buka kao izvor zagađenja radnog i životnog okoliša“. Pristupljeno: 03. travanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A619/datastream/PDF/view>
- [4] „Valna duljina“. Pristupljeno: 21. lipanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://tehnicki.lzmk.hr/clanak/valna-duljina>
- [5] „Zvuk“, Hrvatska enciklopedija. Pristupljeno: 24. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/zvuk>
- [6] „Pickleball noise propagation“. Pristupljeno: 21. lipanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://pickleballscience.org/pickleball-noise-propagation/>
- [7] World Health Organization, „Noise“. Pristupljeno: 14. ožujak 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.who.int/europe/news-room/fact-sheets/item/noise>
- [8] „Noise Pollution: what it is, causes, effects and solutions - Iberdrola“. Pristupljeno: 14. ožujak 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.iberdrola.com/sustainability/what-is-noise-pollution-causes-effects-solutions>
- [9] „Consolidated TEXT: 32002L0049 — EN — 29.07.2021“. Pristupljeno: 14. ožujak 2024. [Na internetu]. Dostupno na: https://publications.europa.eu/resource/cellar/b24a9f90-0520-11ec-b5d3-01aa75ed71a1.0005.02/DOC_1
- [10] „Directive - 2002/49 - EN - EUR-Lex“. Pristupljeno: 14. ožujak 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0049>
- [11] World Health Organization, „Burden of disease from environmental noise Quantification of healthy life years lost in Europe“. Pristupljeno: 01. ožujak 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/326424/9789289002295-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [12] „Zakon o zaštiti od buke NN 30/09, 55/13, 153/13, 41/16,114/18, 14/21“. Pristupljeno: 03. travanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: https://sredisnjikatalogrh.gov.hr/srce-arhiva/263/44262/narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_03_30_648.html
- [13] „Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka NN 143/21“. Pristupljeno: 14. ožujak 2024. [Na internetu].

- Dostupno na: https://sredisnjikatalogrh.gov.hr/srce-arhiva/263/232495/narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2021_12_143_2454.html
- [14] „Environmental noise in Europe — 2020 — European Environment Agency“. Pristupljeno: 14. ožujak 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe>
- [15] P. E. K. Fiedler, P. H. T. Zannin, „Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs— Noise maps and measurements“, *Environ Impact Assess Rev*, sv. 51, str. 1–9, 2015, doi: 10.1016/J.EIAR.2014.09.014.
- [16] S. Khomenko *i ostali*, „Impact of road traffic noise on annoyance and preventable mortality in European cities: A health impact assessment“, *Environ Int*, sv. 162, str. 107160, 2022, doi: 10.1016/J.ENVINT.2022.107160.
- [17] „Green deal“. Pristupljeno: 27. listopad 2023. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/green-deal/>
- [18] E. van Kempen, M. Casas, G. Pershagen, M. Foraster, „WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and cardiovascular and metabolic effects: A summary“, *Int J Environ Res Public Health*, sv. 15, izd. 2., 2018, doi: 10.3390/IJERPH15020379.
- [19] J. H. Tang *i ostali*, „Dynamic modeling for noise mapping in urban areas“, *Environ Impact Assess Rev*, sv. 97, str. 106864., 2022, doi: 10.1016/J.EIAR.2022.106864.
- [20] „Strateške karte buke“. Pristupljeno: 23. travanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <http://buka.haop.hr/>
- [21] „Pravilnik o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova te o načinu izračuna dopuštenih indikatora buke NN 75/09, 60/16, 117/18, 146/21“. Pristupljeno: 14. ožujak 2024. [Na internetu]. Dostupno na: https://sredisnjikatalogrh.gov.hr/srce-arhiva/263/44262/narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_06_75_1811.html
- [22] „World report on hearing“. Pristupljeno: 12. travanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020481>
- [23] D. M. Lowry, L. Fritschi, B. J. Mullins, „Occupational noise exposure of utility workers using task based and full shift measurement comparisons“, *Heliyon*, sv. 8, izd. 6, str. e09747, 2022, doi: 10.1016/J.HELIYON.2022.E09747.
- [24] T. C. Chan, B. S. Wu, Y. T. Lee, P. H. Lee, „Effects of personal noise exposure, sleep quality, and burnout on quality of life: An online participation cohort study in Taiwan“, *Science of The Total Environment*, sv. 915, str. 169985, 2024, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2024.169985.
- [25] T. Hanibuchi, T. Nakaya, T. Kitajima, H. Yatsuya, „Associations of insomnia with noise annoyance and neighborhood environments: A nationwide cross-sectional study in Japan“, *Prev Med Rep*, sv. 23, str. 101416, 2021, doi: 10.1016/J.PMEDR.2021.101416.

- [26] „DNSH technical guidance, amended October 2023 - European Commission“. Pristupljeno: 24. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: https://commission.europa.eu/publications/dnsh-technical-guidance-amended-october-2023_en
- [27] D. Halevi-Katz, E. Yaakobi, H. Putter - Katz, „Exposure to music and noise-induced hearing loss (NIHL) among professional pop/rock/jazz musicians“, *Noise Health.*, str. 158–164, 2015.
- [28] R. Kasapović, „Osjetilo sluha i ravnoteže“, Pristupljeno: 02. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: http://www.ss-industrijskoobrtnicka-vt.skole.hr/upload/ss-industrijskoobrtnicka-vt/images/static3/1108/attachment/27_Osjetilo_sluha_i_ravnoteze.pdf
- [29] „Glasno je opasno – Utjecaj buke na oštećenje sluha“. Pristupljeno: 24. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://logoped.hr/glasno-opasno-utjecaj-buke-ostecenje-sluha/>
- [30] J. Krpina, „Onečišćenje prometnom bukom: izloženost, utjecaj na zdravlje i metode kontrole onečišćenja“, Pristupljeno: 26. travanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:882226>
- [31] C. R. Kight, J. P. Swaddle, „How and why environmental noise impacts animals: an integrative, mechanistic review“, doi: 10.1111/j.1461-0248.2011.01664.x.
- [32] „Underwater noise emissions by ships pose threat to Indian marine species, says study - The Hindu“. Pristupljeno: 26. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.thehindu.com/sci-tech/energy-and-environment/underwater-noise-emissions-by-ships-pose-threat-to-marine-species-says-study/article66524789.ece>
- [33] Y. Teff-Seker, O. Berger-Tal, Y. Lehnardt, N. Teschner, „Noise pollution from wind turbines and its effects on wildlife: A cross-national analysis of current policies and planning regulations“, 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112801.
- [34] M. Klančik, „UTJECAJ BUKE NA ZDRAVLJE I RADNU SPOSOBNOST“, *Javno zdravstvo*, Zagreb, 2013. Pristupljeno 2. svibanj 2024. [Na internetu]: Dostupno na: http://bib.irb.hr/datoteka/739938.Dr_Klancnik_Marisa_buka_popularni.pdf
- [35] „Kako radi mjerač razine zvuka?“ Pristupljeno: 02. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://hr.gvda-instrument.com/info/how-does-a-sound-level-meter-work-84039035.html>
- [36] A. Njegovan, „Analiza slobodnih aplikacija za mjerenje buke, diplomski rad“, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb, 2018.
- [37] „Statistički podaci u broju i vrsti vozila u 2023. godini“. Pristupljeno: 26. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: https://www.cvh.hr/media/5152/s11_broj_vozila_2023_zupanije_vrstevozila_vrstegoriya.pdf
- [38] N. Dumbović, „Analiza cestovne mreže Sisačko-moslavačke županije s prijedlozima poboljšanja“, Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2019.

- [39] „Goggle maps - lokacija mjerenja“. Pristupljeno: 25. travanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: https://www.google.com/maps/@45.4676765,16.3691738,3a,75y,266.35h,90t/data=!3m7!1e1!3m5!1sQfvRgxyHkTzwdNaVFXfKqA!2e0!6shttps:%2F%2Fstreetviewpixels-pa.googleapis.com%2Fv1%2Fthumbnail%3Fpanoid%3DQfvRgxyHkTzwdNaVFXfKqA%26cb_client%3Dmaps_sv.tactile.gps%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D237.08382%26pitch%3D0%26thumbfov%3D100!7i16384!8i8192?authuser=0&coh=205409&entry=ttu
- [40] „Hrvatske Ceste d.o.o.“ Pristupljeno: 20. travanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://hrvatske-cestes.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/14-brojenje-prometa>
- [41] „Južna industrijska zona Sisak “. Pristupljeno: 28. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://investcroatia.gov.hr/zone/juzna-industrijska-zona/>
- [42] „Goggle maps - lokacija Otokara Krešovanija“. Pristupljeno: 31. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.google.com/maps/@45.4513219,16.3975103,16.75z?authuser=0&entry=ttu>
- [43] „Prostorni plan uređenja grada Siska“. Pristupljeno: 26. travanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://sisak.hr/prostorni-plan-uredenja-grada-siska/>
- [44] „Zakon o zaštiti okoliša“. Pristupljeno: 04. lipanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: https://sredisnjikatalogrh.gov.hr/srce-arhiva/263/104486/narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_80_1659.html
- [45] G. Pašalić, „Studija o utjecaju zahvata na okoliš Energana na neopasni otpad i biomasu“. Pristupljeno: 24. travanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Puo/29_7_2021_Studija_energana_Sisak.pdf
- [46] „Elaborat zaštite okoliša za postupak ocjene potrebe procjene utjecaja zahvata na okoliš - Rekonstrukcija tvorničkog kruga čeličana“. [Na internetu]. Dostupno na: www.ciak.hr
- [47] A. Petošić, S. Grubeša, i M. Suhanek, „Osnove akustike, buka okoliša i zvučna izolacija te mjere za zaštitu od buke u otvorenom i zatvorenom prostoru“. Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2018.
- [48] „Zelene zvučne barijere“. Pristupljeno: 08. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://m-kvadrat.ba/zelene-barijere-kao-rjesenje-za-smanjenje-buke-u-urbanim-sredinama/>
- [49] „Ograde za zaštitu od buke“. Pristupljeno: 10. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.multivario.hr/ograde-protiv-buke/>
- [50] „Zvučne barijere kao fotonaponski prijemnici“. Pristupljeno: 10. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.grenef.com/zvucne-barijere-kao-fotonaponski-prijemnici/>

- [51] H. Miera-Dominguez *i ostali*, „Design and validation of a new asphalt mixture to reduce road traffic noise pollution in urban areas“, *Case Studies in Construction Materials*, sv. 20, str. e03107, 2024, doi: 10.1016/J.CSCM.2024.E03107.
- [52] „Zabrana vozila od 2035. godine“. Pristupljeno: 06. svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno na:
<https://www.europarl.europa.eu/topics/hr/article/20221019STO44572/sve-o-eu-zabrani-prodaje-novih-automobila-na-benzin-i-dizel-od-2035>
- [53] H. Campello-Vicente, R. Peral-Orts, N. Campillo-Davo, E. Velasco-Sanchez, „The effect of electric vehicles on urban noise maps“, *Applied Acoustics*, sv. 116, str. 59–64, sij. 2017, doi: 10.1016/J.APACOUST.2016.09.018.

ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI:

Ime i prezime: Ljiljana Srećec

Datum rođenja: 01.05.1980.

Državljanstvo: hrvatsko

Kontakt telefon: (+385) 0995080417

E – mail: srececlj@simet.unizg.hr

RADNO ISKUSTVO:

10/1998. – 04/2002.: KEMIJSKA TEHNIČARKA – KATRAN D.D. Zagreb, Hrvatska

Opis poslova: ispitivanje kvalitete gotovih hidroizolacijskih proizvoda (točka taljenja, viskoznost, duktilnost) u Laboratoriju za ispitivanje kvalitete proizvoda. Nakon polaganja pripravnčkog ispita, premještena u Laboratorij za unapređenje kvalitete proizvoda te obavlja poslove istraživanja novih polimernih bitumena te njihove primjene kao novih hidroizolacijskih materijala.

01/02/2003. – TRENUTAČNO: TEHNIČKI SURADNIK – SVEUČILIŠTE U ZAGREBU METALURŠKI FAKULTET, Sisak, Hrvatska

Obaveze u nastavi i istraživanju: priprema laboratorijske vježbe i sudjeluje u demonstraciji vježbi studentima, održava laboratorijsku opremu i nastavna pomagala, aktivno sudjeluje u istraživačkom radu, pogotovo u području utjecaja okoliša na koroziju metala te obavlja povjerene poslove u suradnji s gospodarstvom, sudjeluje u radu nekoliko istraživačkih projekata: „Metalurški aspekti degradacije metalnih i ugljičnih materijala“, šifra projekta: 0124006, 2004.-2006.; „Okolišem potpomognuta degradacija metala i adsorpcija na otpadnim C-materijalima“, šifra projekta: 124-1241565-1524, 2007. – 2013. i TP 167 „Dizajn i karakterizacija inovativnih inženjerskih legura“.

Ostale obaveze: obavlja poslove ovlaštenika dekana za zaštitu na radu od 2007. godine, odgovorna osoba za zaštitu i spašavanje, osoba zadužena za pružanje prve pomoći.

EU projekti:

- član projektnog tima "VIRTULAB" financiranog bespovratnim sredstvima europskih fondova ukupne vrijednosti 1.882.835,25 EUR, uz iznos sufinanciranja Europske unije od 1.526.251,11 EUR (razdoblje provedbe projekta: 1.11.2018. – 10.7.2021.). Nositelj projekta Rudarsko-naftni-geološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu;
- administrator projekta "Centar za ljevarstvo - SIMET" financiranog bespovratnim sredstvima europskih fondova ukupne vrijednosti 7.431.417,14 EUR, uz iznos sufinanciranja Europske unije od 5.847.910,68 EUR (razdoblje provedbe projekta: 1.2.2019. – 31.12.2023.). Nositelj projekta Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu;

- voditelj projekta „Cjelovita obnova Metalurškog fakulteta“ – obnova građevine Metalurškog fakulteta nakon potresa iz prosinca 2020. godine u iznosu od 5.682.935,03 EUR. Nositelj projekta Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu;
- voditelj projekta izrade projektno - tehničke dokumentacije Prenamjene dijela suterena glavne zgrade Metalurškog fakulteta u studentski restoran – projekt financiran sredstvima HBOR-a u iznosu od 17.403,27 EUR. Nositelj projekta Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

1994. – 1996. – KEMIJSKI TEHNIČAR - Kemijska i geološka tehnička škola, Zagreb, Hrvatska

1996. – 1998. – KEMIJSKI TEHNIČAR – Tehnička škola Sisak, Sisak, Hrvatska

2005. – SPECIJALIST ZAŠTITE NA RADU – Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti, ZIRS učilište, Zagreb, Hrvatska

2021. – certifikat o osposobljavanju za INTERNOG AUDITORA ISO 22301:2019 – DNV Adriatica d.o.o., Zagreb, Hrvatska

2022. – stečen akademski naziv Sveučilišni/a prvostupnik/ica inženjer/ka Sigurnosti, zdravlja na radu i radnog okoliša (univ.bacc.ing.sec.) po završetku sveučilišnog prijediplomskog studija Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak, Hrvatska

2022. – upisan sveučilišni diplomski studij Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak

2022. – potvrda o ospobljenosti za utvrđivanje alkoholiziranosti radnika na radu, Ustanova za cjeloživotno obrazovanje CTZ, Zagreb

2023. – završena ljetna škola CRESCENTO Summer School on Circular Economy

2023. – potvrda o osnovnim andragoškim znanjima, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak

NAGRADE I PRIZNANJA

2022. Priznanje za ostvarene izvrsne ocjene tijekom preddiplomskog sveučilišnog studija sigurnosti i zaštite i najbolje ocjenjeni završni rad u 2021./2022. akademskoj godini koje dodjeljuje Znanstveno – stručni časopis „Sigurnost“

2022. Velika pohvala za ukupni uspjeh ostvaren na sveučilišnom prijediplomskom studiju Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš Sveučilišta u Zagrebu Metalurškog fakulteta (magna cum laude baccalaureus)

2022. Dekanova nagrada za izvanredni uspjeh ostvaren na sveučilišnom prijediplomskom studiju Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš Sveučilišta u Zagrebu Metalurškog fakulteta u 2021./2022. akademskoj godini

2023. priznanje za izniman doprinos pri provedbi projekta Centar za ljevarstvo – SIMET i Cjelovita obnova Metalurškog fakulteta

2023. Dekanova nagrada za izvanredni uspjeh ostvaren na sveučilišnom diplomskom studiju Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet

PUBLIKACIJE

Srećec, Ljiljana; Begić Hadžipašić, Anita, Škrinjar, Antun Mišićno – koštano opterećenje ljevača, predavanje na stručnom skupu „Zdrava mjesta rada smanjuju opterećenja – sprečavanje mišićno-koštanih poremećaja povezanih s radom“, 2022.

Srećec, Ljiljana; Procjena rizika od fizikalnih štetnosti u ljevaonicama, završni rad / Begić Hadžipašić, Anita (mentor); Sisak, Metalurški fakultet, 2022.

Zovko Brodarac, Zdenka; Unkić, Faruk; Srećec, Ljiljana; Filipović, Anita; Centar za ljevarstvo – SIMET kao temelj razvoja metalske industrije Republike Hrvatske // Godišnjak 2021. Akademije tehničkih znanosti Hrvatske: Doprinosi članova akademije razvoju sustava znanstveno-nastavnih institucija / Mrša, Vladimir ; Rogale, Dubravko (ur.). Zagreb: Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, 2021. str. 249-264

Zovko Brodarac, Zdenka ; Srećec, Ljiljana; Fabijanić, Ana; Centar za ljevarstvo - SIMET // Knjiga sažetaka: Tehnologije proizvodnje kalupa i jezgara u ljevaonicama / Dolić, Natalija ; Zovko Brodarac, Zdenka (ur.). Sisak: Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2019. str. 1-1