

Utjecaj buke od cestovnog prometa na kvalitetu života i zdravlje ljudi

Jelić, Grgur Bruno

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:758931>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-10**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Grgur Bruno Jelić

**Utjecaj buke od cestovnog prometa na kvalitetu života i zdravlje
ljudi**

Završni rad

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Prijediplomski stručni studij

Zaštita okoliša

**Grgur Bruno Jelić
JMBAG: 0114032991**

**Utjecaj buke od cestovnog prometa na kvalitetu života i zdravlje
ljudi**

Završni rad

Rijeka, srpanj 2023.

IZJAVA

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Grgur Bruno Jelić

U Rijeci, 05. srpnja 2023.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Leu Matešiću, dipl.ing.građ. na pomoći i dostupnosti pri izradi završnog rada. Također, zahvaljujem obitelji na pruženoj potpori tijekom studiranja.

SAŽETAK

U ovom završnom radu je pojašnjena buka cestovnog prometa i njen utjecaj na ljude. Zbog kompleksnosti provedbe zaštite od buke cestovnog prometa, nužan je ispravan pristup. Prikazani su neophodni dijelovi o kojima se mora voditi računa pri planiranju i provođenju mjera zaštite. Detaljnije je objašnjeno mjerenje buke, izrada karata buke te usporedba rezultata modeliranja i mjerenja. Prikazane su regulative i smjernice Republike Hrvatske i Europske unije koje je nužno poštivati

Različiti mogući pristupi uključuju metode proračuna buke i mjere zaštite. Pojašnjeni su planovi i provedbe mjera zaštite u raznim oblicima kako bi se što preciznije pristupilo provođenju mjera zaštite od buke cestovnog prometa.

Ključne riječi: prometna buka, praćenje buke, karte buke, zvučne barijere

SUMMARY

In this final thesis, the noise of road traffic and its impact on humans are explained. Due to the complexity of implementing road traffic noise protection, the correct approach is necessary. The essential components that need to be considered in planning and implementing noise protection measures are presented. The thesis provides detailed explanations of noise measurement, noise mapping, and a comparison of modeling and measurement results. It also presents the regulations and guidelines of the Republic of Croatia and the European Union that must be adhered to.

Various approaches, including noise calculation methods and protective measures, are discussed. Plans and implementations of protective measures in various forms are explained in order to approach the implementation of road traffic noise protection measures as accurately as possible.

Key words: traffic noise, noise monitoring, noise mapping, sound barriers

SADRŽAJ

POPIS TABLICA.....	5
POPIS SLIKA.....	6
UVOD.....	8
1. BUKA.....	9
1.1. Zvuk.....	9
1.2. Utjecaj buke na čovjeka.....	9
1.3. Jačina buke.....	10
1.4. Vrste buke.....	12
1.5. Širenje zvuka.....	13
1.5.1. Izvor buke cestovnog prometa.....	13
1.5.2. Širenje buke cestovnog prometa.....	13
2. MJERENJE BUKE.....	16
2.1 Stanice za mjerenje buke.....	18
2.1.1. Postavljanje mjernih stanica.....	19
2.2. Utjecaji na rezultate mjerenja.....	20
2.3. Usporedba mjerenja i modeliranja.....	24
2.3.1. Najveća odstupanja po periodima mjerenja.....	25
3. REGULATIVA.....	27
3.1. Regulativa Europske unije.....	27
3.2. Regulativa Republike Hrvatske.....	28
3.2.1. Planovi i dokumentacija.....	29
3.2.2. Regulativa mjerenja i izrade karate.....	29
3.2.3. Regulativa proračuna buke u Hrvatskoj.....	30

4. KARTE BUKE.....	31
4.1. Karte buke grada Rijeke.....	33
5. PRIMJERI METODE PRORAČUNA BUKE U RH.....	35
5.1. Njemačka metoda proračuna buke.....	35
5.2. Francuska metoda proračuna buke.....	36
6. MJERE ZAŠTITE OD BUKE CESTOVNOG PROMETA.....	37
6.1. Regulacijske mjere zaštite.....	37
6.1.1. Prometna buka.....	38
6.1.2. Regulacija vožnje i strukture prometa.....	39
6.2. Zaštita nasipima od prometne buke.....	41
6.3. Zvučne barijere.....	42
6.3.1. Svojstva zvučnih barijera.....	42
6.3.2. Panelne zvučne barijere.....	43
6.3.3. Zidane i samostojeće zvučne barijere.....	48
6.3.4. Utjecaj oblika zvučnih barijera.....	50
7. PRIMJER IZRADE AKCIJSKOG PLANA.....	52
7.1. Akcijski plan grada Zagreba.....	52
7.1.1. Opis obuhvaćenog područja i glavnih izvora buke.....	52
7.1.2. Poštivane direktive pri izradi i provedbi akcijskog plana.....	53
7.1.3. Prikaz izloženosti stanovništva prekomjernoj razini buke.....	54
7.1.4. Procjena rizične izloženosti buci.....	55
7.1.5. Mjere smanjenja razine buke grada Zagreba.....	55
ZAKLJUČAK.....	59
POPIS LITERATURE.....	60

POPIS TABLICA

Tablica 1: Dopušteni nivo buke prema EEC [2]

Tablica 2: Prikaz analize mjerenih zona (N1, N2, N3 i N4) [11]

Tablica 3: Prikaz izloženosti stanovništva dnevnoj buci cestovnog prometa [24]

Tablica 4: Prikaz izloženosti stanovništva danonoćnoj buci sa glavnih prometnica [24]

Tablica 5: Popis razmatranih mjera upravljanja bukom [24]

POPIS SLIKA

Slika 1: Granice zvuka [4]

Slika 2: Prikaz refleksije, apsorpcije i prolaza zvuka kroz zid [1]

Slika 3: Utjecaj vjetra na širenje zvuka [6]

Slika 4: Visinski položaj zvukomjera [4]

Slika 5: Prikaz negativnog utjecaja operatera na rezultate mjerenja [4]

Slika 6: ISO 1996-2: Standard i AnnexB [10]

Slika 7: Mikrofon u blizini reflektirajuće površine [10]

Slika 8: Raspored lokacija za praćenje razine buke u Bangkoku. Mjerne zone: a) stanica N1, b) stanica N2, c) stanica N3, d) stanica N4. [11]

Slika 9: Postotno smanjenje razine buke pri različitim udaljenostima od ruba ceste tijekom dana i noći [11]

Slika 10: Razlike u razini buke mjerenja i modeliranja ovisno o godišnjim dobima [13]

Slika 11: Utjecaj tjednih dana na odstupanja mjerenja i modeliranja [13]

Slika 12: Konfliktna karta buke grada Rijeke [19]

Slika 13: Strateška karta buke grada Rijeke za period dan i noć [19]

Slika 14: Zaštita od buke prometa nasipom

(<https://www.prometna-zona.com/ekologija-zeljeznickog-prometa/>)

Slika 15: Detalj sidrenog spoja čeličnog stupa HEB 260 presjeka i armiranog betona

(https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_42861/objava_78686/fajlovi/Celicne%20konstrukcije%20II%20vjezba%2011%20i%2012.pdf)

Slika 16: Betonske zvučne barijere

(http://www.mfkv.kg.ac.rs/urbanoise/media/1210_Nis_Bjelic_101-103.pdf)

Slika 17: Savijena čelična zvučna barijera (<https://escholarship.org/uc/item/7rv0p26c>)

Slika 18: Transparentni paneli (<https://escholarship.org/uc/item/7rv0p26c>)

Slika 19: Drvene zvučne barijere

(http://www.mfkv.kg.ac.rs/urbanoise/media/1210_Nis_Bjelic_101-103.pdf)

Slika 20: Zidane zvučne barijere [21]

Slika 21: Predgotovljeni samostojeći bukobrani [21]

Slika 22: Različiti oblici zvučnih barijera [21]

Slika 23: Javne i nerazvrstane ceste obuhvaćene akcijskim planom [24]

Slika 24: Primjer modelirane ugradnje zida za zaštitu od buke [24]

Slika 25: Primjer izgradnje zvučnih barijera, Vrbik [25]

Slika 26: Primjer postavljenih transparentnih panela u naselju Vrbik [25]

UVOD

Buka cestovnog prometa čini većinski udio komunalne buke, što predstavlja ozbiljan problem za zdravlje ljudi i okoliš. Budući da se priroda cestovne prometne buke ne može dovoljno smanjiti samo ograničavanjem razine buke motora vozila, neophodno je provesti regulativne i konstrukcijske mjere zaštite od buke cestovnog prometa. U ovom radu se analiziraju problemi koje prometna buka uzrokuje i nude se moguća rješenja. Poseban fokus je stavljen na procjenu buke putem mjerenja, analize i proračuna, te na planiranje i provođenje zaštitnih mjera.

Postoje razni pristupi mjerenju razine buke cestovnog prometa, te je važno voditi računa o tome da različiti pristupi mogu voditi do različitih rezultata, kako kod mjerenja tako i kod proračuna razine buke. Prilikom ovoga rada potrebno je obratiti pažnju na ove razlike.

Regulative koje propisuju pristupe i pravilnike za mjerenje buke cestovnog prometa razlikuju se među različitim zemljama. Cilj tih regulative je prilagoditi se potrebama i karakteristikama područja na kojem se provode istraživanja. Izrada karata buke je nužna kako bi se preciznije odredila područja s visokim rizikom od buke i kako bi se razvili prikladni Strateški i Akcijski planovi za zaštitu.

U radu su prikazani važni faktori koje treba uzeti u obzir prilikom izrade karata, poput regulative i ispravne analize podataka. Objasnjeno je što je potrebno za izradu karata buke te koja je njihova svrha u provedbi zaštite od buke cestovnog prometa. Također, prezentirani su različiti oblici proračuna prometne buke koji se koriste tijekom modeliranja, sa naglaskom na njihove razlike.

Izrada Akcijskih planova je nužna za ozbiljnu provedbu mjera zaštite od buke. Akcijski planovi nude smjernice i rješenja za ispravnu provedbu mjera zaštite. Za završni primjer je prikazan Akcijski plan grada Zagreba.

1. BUKA

1.1. Zvuk

Titranje čestica zvuka u blizini izvora zvuka širi se na druge čestice, stvarajući tako zvuk. Brzina širenja zvuka u zraku je približno 340 m/s. Zvuk se izražava kroz titranje, a broj titraja u sekundi predstavlja frekvenciju. Frekvencija se izražava u hercima (Hz). Ljudsko uho može percipirati zvuk u rasponu od 20 do 20 000 Hz. Niske frekvencije uzrokuju sporije titranje čestica zraka i, prema tome, generiraju niske tonove. S druge strane, visoke frekvencije uzrokuju brže titranje i stoga visoke tonove koji mogu biti neugodniji za ljudski sluh u usporedbi s niskim tonovima. [1]

Bitno je definirati zvuk kako bi se moglo razumjeti što je buka. Zvuk je val koji se širi kroz zrak ili vodu. Brzina zvuka ovisi o svojstvima tvari kroz koju se kreće, poput svojstava gustoće i elastičnosti.

1.2. Utjecaj buke na čovjeka

Buka je svaki zvuk koji negativno utječe na čovjeka. Buka izaziva nelagodu i ima negativan utjecaj na mentalno i fizičko zdravlje ljudi. Buka ometa ljude u obavljanju poslova i može usporiti ili čak onemogućiti odmor. Prometna buka, koja je najveći izvor buke, pridonosi polovici ukupne komunalne buke i obično je promijenjive vrste. Ove nagle promjene zvuka često imaju negativan učinak. [2]

Buka može biti subjektivna jer nešto što smeta jednoj osobi, drugoj može biti prihvatljivo. Obično se buka povezuje s visokim intenzitetom zvuka ili neugodnim frekvencijskim rasponima. Postoje različiti uzroci buke, kao što su prometna vozila, industrije ili svakodnevne ljudske aktivnosti.

Buka uz već spomenute posljedice ima negativan utjecaj na komunikaciju, učenje i koncentraciju. Bitno je posebno obratiti pažnju na buku kod institucija i naselja. Odmor i san, koji su osnovna ljudska prava, ne smiju biti ugroženi. Zbog ovoga Felicita Briški [3] predlaže da tijekom sna buka ne bi trebala prelaziti 30 dB-a. Treba imati na umu da buka

ostavlja mentalne utiske, ali također ima i fiziološke posljedice. Buka može uzrokovati smetnje u kardiovaskularnom i imunološkom sustavu, uzrokovati nesanicu i anksioznost te može utjecati na kronične bolesti. Dugotrajno izlaganje buci može dovesti do djelomičnog ili potpunog gubitka sluha, kao i pojave tinitusa.

1.3. Jačina buke

Jačina buke se prikazuje logaritamski u odnosu na intenzitet zvuka zbog velikog raspona zvučnih tlakova koje čovjek može percipirati. Buka se mjeri u decibelima (dB). Decibel je ona mjera koja se koristi za opisivanje razlike u jakosti zvuka koju ljudski sluh zapaža. Budući da ljudsko uho ima širok raspon osjetljivosti na zvuk, logaritamska skala omogućuje preciznije mjerenje različitih razina zvuka. Čovjek primjećuje razliku od jednog decibela, a decibel predstavlja desetinu bel (B). Bel je mjerna jedinica razine zvuka [2]

Odnos intenziteta zvučnih tlakova je prikazan kao:

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

p – promatrani zvučni tlak [Pa]

p_0 – referentni zvučni tlak za zvuk koji prolazi kroz zračni medij $2 \cdot 10^{-5}$

Zbog ovakvog odnosa intenziteta dvostruko povećanje buke uzrokuje porast od 3 decibela. [4]

Buka se može činiti neznatnom kada se uspoređuje razlika između automobila koji proizvodi 75 dB-a i onog koji proizvodi 65 dB-a, s obzirom na to da je smanjenje decibela od samo 14%. Međutim, treba imati na umu da je razlika u jačini buke zapravo deset puta veća. Automobil od 75 dB-a proizvodi istu razinu jačine buke kao deset automobila od 65 dB-a. Također, kao što je rečeno, dvostruko povećanje buke uzrokuje porast od 3 dB-a, što znači da će dvostruko povećanje prometa isto tako uzrokovati povećanje od 3 dB-a.

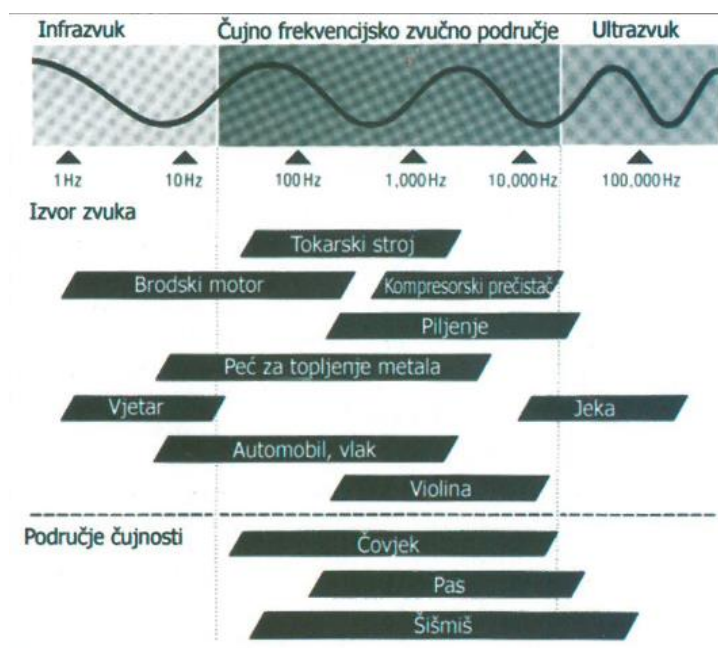
ECE (Ekonomska komisija za Europu) I EEC (Europski ekonomski savez) propisuju dozvoljene razine buke vozila za Europu. EEC prikazan u tablici 1. [2]

Tablica 1: Dopušteni nivo buke prema EEC [2]

Kategorija vozila	Nivo buke u dB
Putničko vozilo s brojem mjesta manjim od 9 uključujući I vozača	82
Putničko vozilo s kapacitetom mjesta većim od 9 I maksimalno dozvoljene težine od 3,5 t	84
Teška teretna vozila s max. dopuštenom težinom većom od 3,5 t	84
Putničko vozilo s kapacitetom mjesta od 9 uključujući I vozača I max. dopuštenom težinom od 3,5 t	89
Teška cestovna vozila snage od 147 kW ili više I s dopuštenom težinom većom od 12 t	91

Spomenuto područje zvučnog tlaka se može ukratko objasniti kao raspon promjene tlaka zvuka koji ljudski sluh može zapaziti [3]. Određene frekvencije koje mogu imati utjecaj na ljude, ali ih ljudski sluh ne može zapaziti, nazivaju se:

- infrazvuk (zvuk frekvencije ispod 20 Hz)
- ultrazvuk (zvuk frekvencije iznad 20 000 Hz)



Slika 1. Granice zvuka [4]

1.4. Vrste buke

Važno je razumjeti različite vrste buke kako bi se mogle prepoznati njihove karakteristike i posljedice. Buka se može podijeliti na četiri vrste [5]:

Kontinuirana buka – prisutna je kontinuirano, bez značajnih prekida. Može ju prouzrokovati konstantan zvuk zbijenog prometa ili industrije. Može ometati koncentraciju, radnu produktivnost i kvalitetu života. Dugotrajna izloženost može voditi do pretjerano visoke razine stresa te raznih negativnih zdravstvenih posljedica. S obzirom da se ne mijenja nije potrebno provoditi zahtjevno mjerenje, već mjerenje zvukomjerom u svega par minuta.

Isprekidana buka – sastoji se od niza prekinutih zvučnih događaja. Buka srednje i visoke razine jakosti sa jasnim intervalima tišine između bučenja. Uključuje često strojeve, ali i prometnice sa semaforima i raznim zastojima. Mjeri se zvukomjerom i potrebno je znati trajanje svake buke i vremenski razmak između njihovih pojava.

Impulzivna buka – iznenadna pojava buke, naglašena i kratkotrajna koja se javlja kao jednokratni događaj. Najčešće nastaje kod građevinskih radova, eksplozija, urušavanja, iznenadnih udara, itd. Može dovesti do privremenog ili trajnog oštećenja sluha.

Niskofrekvencijska buka – odnosi se na zvukove s niskim frekvencijama koje se često primjećuju kao duboke i vibrirajuće. Buka kojoj su ljudi svakodnevno izloženi, poput zvuka motora automobile, industrijskih strojeva, vjetra... Ovakva vrsta buke može prodrijeti kroz zidove i structure. Ovo je oblik buke od kojega se teško zaštititi, ali isto tako se ljudi najviše prilagođavaju ovoj vrsti.

1.5. Širenje zvuka

1.5.1. Izvor buke cestovnog prometa

Promet je jedan od glavnih izvora buke, a razni čimbenici utječu na razinu buke koju promet proizvodi. Neki od njih su sljedeći [6]:

- Ispravnost vozila i način vožnje. Vozila koja nisu ispravna proizvode više buke. Vožnja na neprilagođeni način, sa naglim ubrzanjem ili kočenjem također proizvode veću količinu buke
- Brzina vozila i režim prometa. Veće brzine uzrokuju veću razinu buke. Gustoća prometa također ima utjecaj. Gužve u prometu i stalno ubrzanje i kočenje uzrokuju veću razinu buke
- Kvaliteta ceste, tehnički elementi ceste i položaj ceste također imaju značajnu ulogu u generiranju buke. Neravne ili oštećene ceste uzrokuju veću razinu buke zbog stalnih vibracija i udaraca. Nagib ceste također ima utjecaj na razinu buke kao i lokacija gdje je cesta postavljena, u blizini naselja ili osjetljivih institucija će negativnije utjecati na zdravlje ljudi

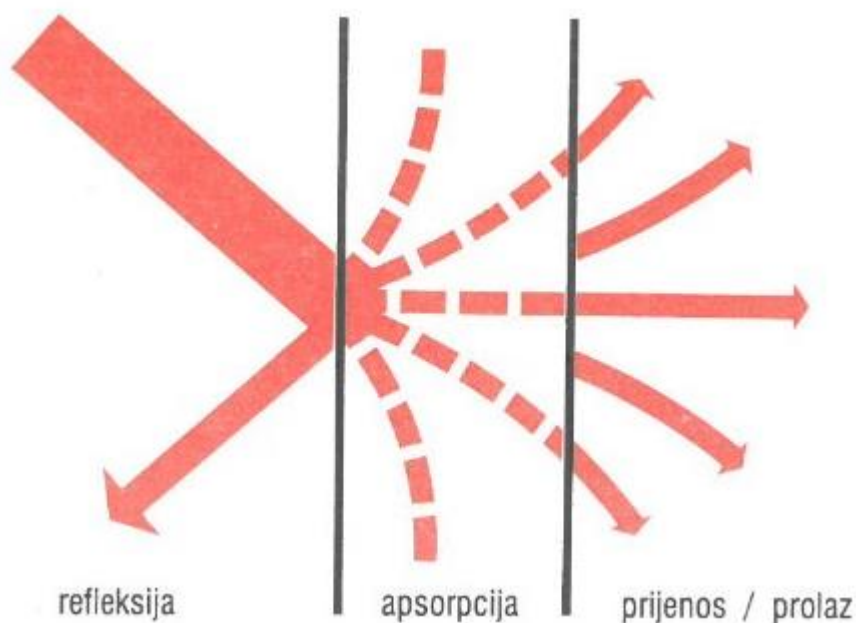
Teška i teretna vozila obično proizvode više buke u usporedbi s osobnim vozilima pri istoj brzini. Teretna vozila imaju veću masu od osobnih pa koriste snažnije motore, koji su često dizelski te proizvode veću razinu buke. Izolacija od buke kod osobnih vozila je također na višoj razini.

1.5.2. Širenje buke cestovnog prometa

Razina zvuka se smanjuje s povećanjem udaljenosti od izvora zvuka. Ako je razina najvećeg titraja mala u usporedbi s udaljenosti od izvora, može se primjeniti pravilo udaljenosti na kvadrat. Prema ovome za svako udvostručenje udaljenosti od izvora zvuka, razina zvuka smanjuje se za otprilike 6 decibela. Ukoliko slabiji izvor zvuka proizvodi razinu buke od 80 dB-a na udaljenosti od 2 metra, na udaljenosti od 4 metra razina buke će biti 74 dB-a. Važno je ovo uzeti u obzir zbog ispravne procjene i upravljanja razinom buke u okolišu.

Kada se govori o sprječavanju širenja zvuka, porozni materijali najbolje apsorbiraju zvuk. Apsorbiraju između 50% i 90% zvučne energije. Najčešće korišteni porozni materijali su spužva i mineralna vuna. [1]

Refleksija i apsorpcija zvuka imaju važnu ulogu u svojstvima zvučne izolacije struktura poput zvučnih barijera. Kada zvuk pogodi zid sa dobrom zvučnom izolacijom, samo mali dio zvučne energije prolazi kroz zid, dok materijal veći dio reflektira ili apsorbira. Razina zvučne izolacije obično se izražava u decibelima (dB) i odnosi se na sposobnost materijala da smanji prijenos zvuka. Kada se kaže da zid zvučne izolacije ima vrijednost od 10 dB-a, to znači da zid propušta samo 10% zvučne energije koja dolazi do njega. Samo 10% zvučne energije prolazi kroz zid, a ostatak se reflektira ili apsorbira. Kada se vrijednost zvučne izolacije udvostruči, na primjer sa 10 na 20 dB-a, protok zvuka se smanjuje za faktor 10. Znači da zid od 20 dB-a dozvoljava samo 10 puta slabiji protok zvuka u odnosu na zid od 10 dB-a, tj. dozvoljava protok od 1% zvučne energije. Dio preostale zvučne energije se reflektira od zida, a preostali dio zid apsorbira. [4]



Slika 2. Prikaz refleksije, apsorpcije i prolaza zvuka kroz zid [1]

Vrijednosti zvučne izolacije mogu varirati ovisno o različitim frekvencijama zvuka. Materijali koji pružaju dobru izolaciju na određenim frekvencijama možda nisu tako

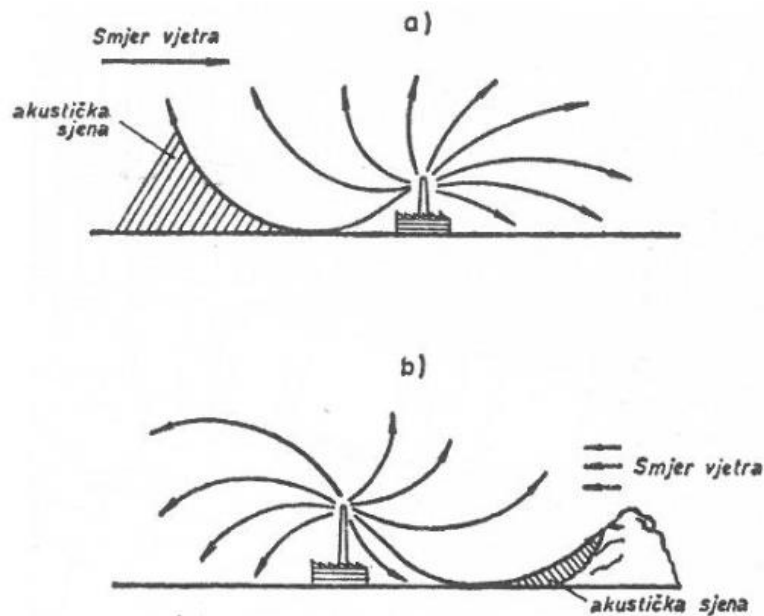
učinkoviti na drugim frekvencijama. Kombinacija refleksije i apsorpcije ima ključnu ulogu u stvaranju tišeg i ugodnijeg okruženja, kao i smanjenju štetnih učinaka buke.

Buka nastala od niskofrekventivnih zvukova se bolje širi u usporedbi s visokofrekventivnim zvukovima. Niskofrekventivni zvukovi imaju sposobnost zaobilaženja objekata, ovo im omogućuje širu rasprostranjenost i veći doseg u odnosu na visokofrekventne zvukove. Također, važan utjecaj na širenje zvuka ima vjetar i temperature. Vjetar može djelovati kao nosač zvuka, šireći ga na veće udaljenosti. Također, promjene u temperaturi mogu utjecati na brzinu širenja zvuka. Važno je napomenuti kako oblik terena također ima bitan utjecaj na širenje buke. Neravan teren, prisutnost brda, dolina, nasipa... može usporiti ili preusmjeriti širenje zvuka, te na taj način stvoriti više ili manje bučna područja.

Kao što je spomenuto, temperatura zraka ima značajan utjecaj na širenje zvuka. Kada je temperatura viših slojeva zraka veća u odnosu na niže slojeve, zvučni valovi se šire prema dolje te se više osjete pri površini zemlje. Suprotno ovome, kada je temperatura viših slojeva zraka niža od nižih slojeva, zvuk se širi u suprotnom smjeru, udaljavajući se od površine zemlje. Temperaturni utjecaj na širenje zvuka može varirati ovisno od atmosferskih uvjeta i slojeva zraka.

Kada se govori o djelovanju vjetra na širenje zvuka, potrebno je još naglasiti da zbog trenja čestica zraka pri površini zemlje tijekom djelovanja vjetra, dio zvučnih valova se širi prema površini zemlje što uzrokuje povećanje buke pri površini. Suprotno ovome, drugi dio zvučnih valova se tijekom djelovanja vjetra širi dalje od površine zemlje, stoga dio buke na ovom dijelu širenja zvučnih valova osjeti se snažnije pri udaljavanju od površine. [6]

Ovakav utjecaj vjetra na širenje zvuka je prikazan na slici ispod.



Slika 3: Utjecaj vjetra na širenje zvuka [6]

2. MJERENJE BUKE

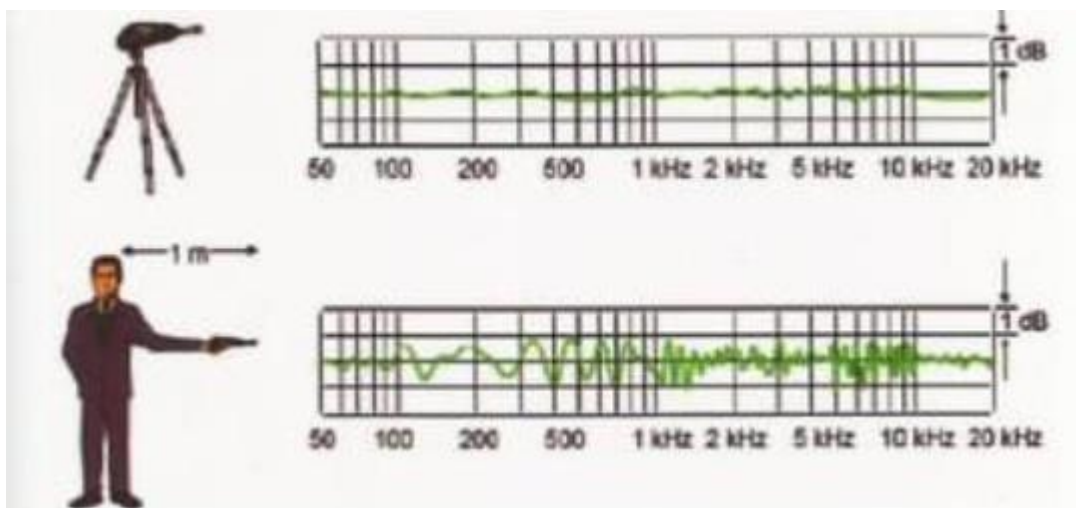
Buka se mjeri pomoću zvukomjera. Zvukomjer koristi A, B ili C filtere kako bi pročistio primljeni zvučni tlak. Najčešće se koriste (A) filteri jer su prilagođeni osjetljivosti ljudskog uha na različite frekvencije. Najbolje se približuju percepciji zvuka koju ima ljudski sluh. Filtriranje zvuka preko A filtera omogućuje dobivanje mjernih vrijednosti buke koje su najbliže tome kako ih ljudi doživljavaju. Kao što je već spomenuto ljudski sluh opaža zvučni tlak u rasponu od 20 do 20 000 Hz-a. Mjerna vrijednost pročišćenog zvučnog tlaka zapisuje se oznakom filtra nakon mjerne jedinice zvučnog tlaka. Na primjer, koristi se oznaka dB(A) za mjerenje zvučnog tlaka preko (A) filtera. dB(B) se koristi za B filter i dB(C) za C filter. Osim ovoga postoji i D filter, ali njegova upotreba je znatno limitirana.

Prilikom postavljanja zvukomjera na otvorenom prostoru, važno je uzeti u obzir refleksiju zvučne energije od objekata koji se nalaze u blizini. Kako bi se smanjio utjecaj refleksija preporučuje se postavljanje zvukomjera udaljenog 3,5 metara od ruba objekta i 1,2 metra ispred fasade, kao što je prikazano na slici. Zvukomjer se često postavlja na tronožac radi stabilnosti i preciznosti mjerenja. Ukoliko se zvukomjer postavlja na tronožac, postavlja se na željenoj visini, koja je između 1,2 i 1,5 metara od tla. Bitno je da je postavljen na

prikladnoj visini kako bi rezultati mjerenja bilo što bolji. Također, prilikom mjerenja buke na otvorenom prostoru treba voditi računa o prisutnosti osobe koja provodi mjerenje. Osoba koja se nalazi u blizini mikrofona može negativno utjecati na rezultate mjerenja, zbog ovoga je poželjno da osoba koja provodi mjerenje bude udaljena od mikrofona kako bi se dobili što ispravniji rezultati mjerenja. [4]



Slika 4: Visinski položaj zvukomjera [4]



Slika 5: Prikaz negativnog utjecaja operatera na rezultate mjerenja [4]

Uz mjerenje zvučnog tlaka, važno je uzeti u obzir i druge faktore koji mogu utjecati na rezultate mjerenja, kao što su temperatura i vlažnost zraka te brzina vjetra. Za mjerenje temperature i vlažnosti zraka često se koriste IAQ sonde. Za mjerenje brzine vjetra koriste se anemometrijske sonde. Anemometar može mjeriti brzinu i smjer kretanja vjetra. [7]

Prema zakonu zaštite od buke (NN 20/2003 – 290; članak 6, [8] zaštita od buke provodi se danonoćno. Dan traje u periodu između 6:00 i 20:00 sati, večer traje u period između 20:00 i 22:00 sata, a noć u period između 22:00 i 6:00 sati. Prema ovome, prikladno je mjerenja razine buke provoditi u propisanim periodima zaštite.

2.1. Stanice za mjerenje buke

Postavljanje mjernih stanica ima za cilj mjerenje nivoa zvučnog tlaka tijekom dužih vremenskih perioda, obično tijekom 12 mjeseci. Neki od glavnih razloga za postavljanje mjernih stanica su:

- Praćenje razine buke na više lokacija i uspoređivanje sa propisanim standardima
- Procjena buke u okolini u prostornom i vremenskom smislu, kako bi se otkrila područja s visokim buke kao i područja slabe izloženosti. Nužno je pratiti promjene razine buke tijekom vremena i sezonskih promjena
- Izrada karata buke. Mjerne stanice se postavljaju na predviđene lokacije kako bi se otkrila područja visoke izloženosti buci. Također, prikupljaju se i ostali podaci nužni za izradu karata

Za mjerenje razine kod mjernih stanica koristi se zvukomjer sa A filterom. Kada je svrha mjerenja procjena u industrijskim zonama, mjerne stanice se strategijski postavljaju u skladu s udaljenosti prometnica i industrijskog područja. Mjerne stanice se najčešće kod mjerenja buke koja dopire do industrijske zone postavljaju na granicama industrijske zone kako bi se mogao procijeniti utjecaj buke na radnike i okolinu.

Tijekom mjerenja prikupljaju se podaci:

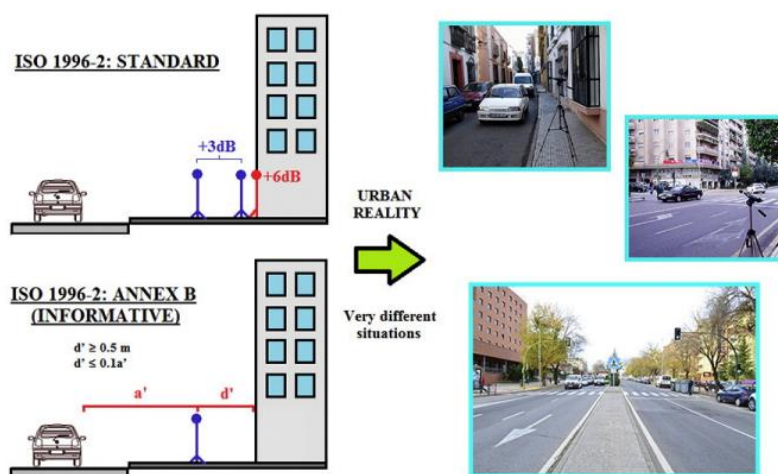
- L_{Aeq} – ekvivalentna razina zvuka sa A filterom
- L_{dn} – prosječna razina zvuka po danu i noći
- L_{max} i L_{min} – maksimalna i minimalna razina zvuka
- L_x – postotak razine zvučnog tlaka
- TNI – indeks buke prometa (Traffic Noise Index) [9]

Za analizu mjerenja buke bilježe se različiti parametri, navedeni su neki od njih:

- Datum
- Temperatura
- Relativna vlažnost zraka
- Oblačnost
- Atmosferski pritisak
- Period mjerenja. Bilježi se trajanje provedenog mjerenja. Pomaže kod utvrđivanja pouzdanosti rezultata
- Razine zvučnog tlaka. Ključno mjerenje koje bilježi razine glasnoće buke u određenim trenucima
- Frekvencijski raspon. Omogućava razumjeti koje frekvencije dominiraju, kako bi se razlikovala niskofrekventna i visokofrekventna buka

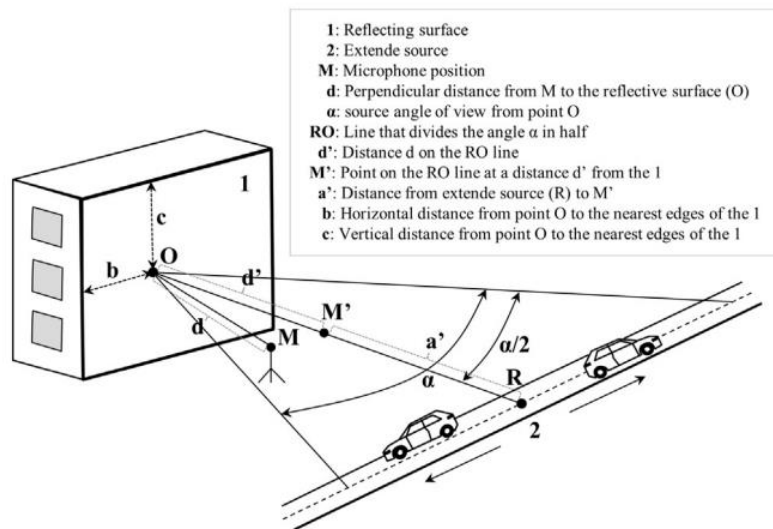
2.1.1. Postavljanje mjernih stanica

U skladu s normom ISO 1996-2 [10], mjerenje razine buke zahtijeva primjenu određenih korekcija ovisno o položaju mikrofona. Kada je mikrofon postavljen na reflektirajuću površinu, primjenjuje se korekcija od 6 dB-a. U slučaju kada je mikrofon udaljen između 0,5 i 2 metra od reflektirajuće površine, primjenjuje se korekcija od 3 dB-a. U slobodnom prostoru korekcija nije potrebna. Važno je napomenuti da u područjima sa zbijenom gradnjom, razlika u zvučnom tlaku može biti veća od propisane korekcije.



Slika 6: ISO 1996-2: Standard i AnnexB [10]

AnnexB norme propisuje određene zahtjeve koji moraju biti ispunjeni kako bi se primjenila korekcija od 3 dB-a. Na primjer, mjesto refleksije na površini objekta mora biti udaljeno barem četiri puta više od horizontalnog ruba fasade u odnosu na udaljenost od postavljenog mikrofona ($b \geq 4d$). Također, udaljenost od vertikalnog ruba fasade do mjesta refleksije mora biti najmanje dvostruka od udaljenosti od mikrofona ($c \geq 2d$). Gdje je b – horizontalna udaljenost, c – vertikalna udaljenost i d – udaljenost od mikrofona do fasade. Na slici ispod su jasno vidljive definirane udaljenosti.



Slika 7: Mikrofon u blizini reflektirajuće površine [10]

Kada se govori o postavljanju mikrofona, treba uzeti u obzir preporučene visine. U naseljima s višeetažnim građevinama, mikrofon se postavlja na visinu od 4 +/- 0,5 metara, dok se u naseljima s jednoetažnim građevinama i područjima za rekreaciju mikrofon postavlja na visinu od 1,2 +/- 0,5 metara ili 1,5 +/- 0,1 metar.

Uz zvukomjer je nužno postaviti jednostavnu vremensku stanicu za mjerenje temperature i vlažnosti te voditi računa o prijenosu podataka na server.

2.2. Utjecaji na rezultate mjerenja

Mjerenja se provode kontinuirano, bez obzira na doba dana, kako bi se dobila cjelovita slika razine buke određenog područja. Pri analizi rezultata mjerenja, važno je uzeti u obzir faktore koji mogu utjecati na razinu buke, utjecaj imaju faktori poput:

- Brzine prometa. U područjima kao što su škole, državne ustanove ili naselja, brzina prometa često je ograničena kako bi se smanjila razina buke i povećala sigurnost. Niža brzina vozila rezultira manjom razinom buke. Međutim, treba uzeti u obzir režim tečenja prometa. Ukoliko ima puno prometnih zastoja, te vozila često staju i ponovno kreću, to može uzrokovati povećanje razine buke uslijed ubrzanja i kočenja vozila
- Količine i tipa prometnih vozila. Veća količina prometa uzrokuje veću razinu prometne buke. Treba uzeti u obzir i vrstu vozila, s obzirom da teretna vozila proizvode veću količinu buke, osobito vozila sa dizel motorom

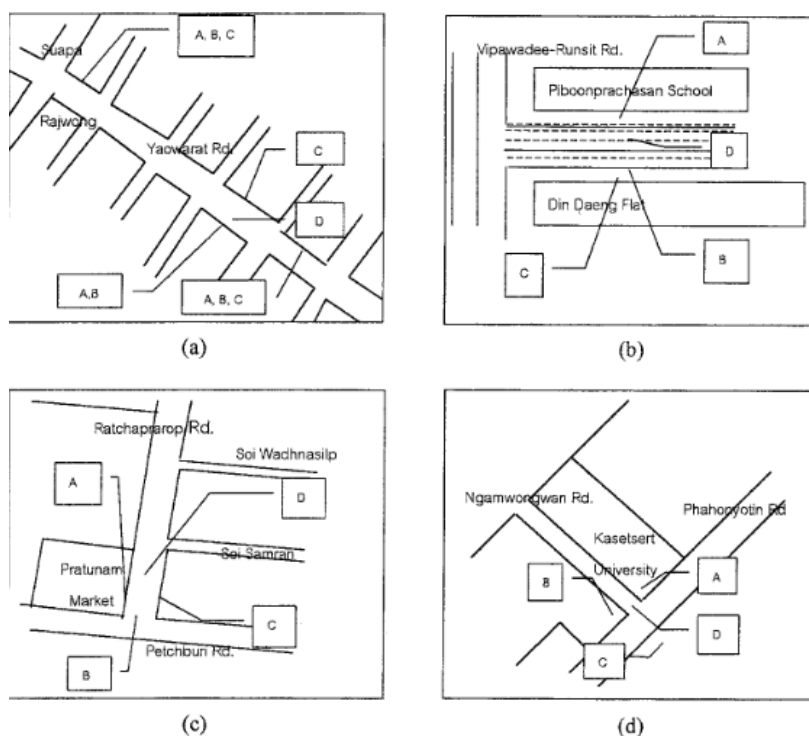
U istraživanju provedenom u Bangkoku 2001. Godine [11], proučavan je utjecaj količine prometa i oblika prometnice na razinu buke. U tu svrhu su mjerenja provedena na četiri različita prometna područja, pri čemu su mjerne stanice bile postavljene na udaljenostima od 20, 50 i 100 metara od ruba ceste. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 2. Tablica jasno prikazuje da mjerno područje koje je mjereno mjernom stanicom N3, generira veću razinu buke od mjernog područja mjenom stanicom N2, unatoč manjoj količini prometa.. Ovaj rezultat može se objasniti činjenicom da područje mjereno stanicom N3 ima veći broj prometnih zastoja, što dovodi do češćeg ubrzanja i kočenja vozila te povećane razine buke. Također, postoji mogućnost protoka različitih vrsta vozila na promatranim prometnicama.

Tablica 2: Prikaz analize mjerenih područja (N1, N2, N3 i N4) [11]

Site	Location (traffic zones)	Road layout	Vehicle/hr/lane (at peak hr)	Traffic noise, L_{eq} , dB(A)	Population density (person km ⁻²)
N ₁	Yaowarat Road (Inner Core)	6 Lanes	1212	83.0	26059
N ₂	Din Daeng Road (Inner, Section I)	Near T-junction 6 lanes	1132	76.1	19101
N ₃	Ratchaprarop Road (Inner, Section II)	Near T-junction 6 lanes	1104	79.2	14454
N ₄	Phahonyothin Road (Middle)	8 Lanes	920	72.8	5188

Ovo istraživanje naglašava važnost razumijevanja utjecaja količine prometa i oblika prometnice na razinu buke. Podaci dobiveni iz takvih mjerenja mogu biti korisni za planiranje prometne infrastrukture i razvoj strategije smanjenja buke kako bi se poboljšala kvaliteta života.

Kako bi se lakše razumjeli rezultati iz Tablice 2, prikazana je i Slika 8 koja prikazuje mjerena prometna područja. Ova slika pruža prikaz mjernih lokacija i pomaže boljem razumijevanju rezultata mjerenja.



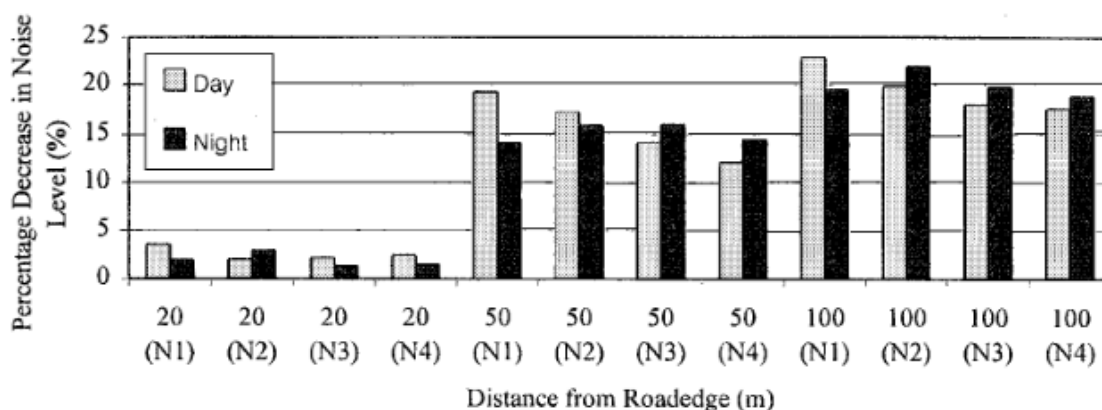
Slika 8: Raspored lokacija za praćenje razine buke u Bangkoku. Mjerne zone: a) stanica N1, b) stanica N2, c) stanica N3, d) stanica N4. [11]

Istraživanje je pokazalo da je najveća razina buke zabilježena tijekom jutra i popodneva, posebno ujutro između 7:00 i 9:00 sati te poslijepodne između 16:00 i 18:00 sati. U tim vremenima prometna aktivnost je najviša, što uzrokuje veći broj vozila na cestama i veću razinu buke. Zanimljivo je da je tijekom dana, posebno između 11:00 i 13:00 sati, razina buke značajno manja. U to vrijeme prometna aktivnost je vjerojatno znatno manja. Tijekom večernjeg mjerenja, koje se provodilo između 19:00 i 7:00 sati, zabilježena je minimalna

razina buke. U tom periodu promet je obično smanjen, a većina ljudi se nalazi u svojim domovima, što rezultira nižom razinom buke.

Spomenuti rezultati ukazuju na važnost promatranja vremenskih perioda pri analizi razine buke. Razumijevanje kada se odvija najveća razina buke može pomoći u lociranju područja s visokim rizikom od buke i prikladnih planiranja mjera za smanjenje buke tijekom tih kritičnih vremenskih perioda.

Također, mjerenje na različitim udaljenostima od izvora buke omogućuje stvaranje slike o štetnosti buke na različitim mjestima. Razina buke se smanjuje kako se povećava udaljenost od prometnice. Razumijevanje opadanja zvučnog tlaka s udaljenosti od izvora buke ključno je za procjenu koliko je razina buke štetna za čovjeka na određenoj udaljenosti. Tijekom noći i dana razina buke se s udaljenošću smanjuje sa podjednakim intenzitetom. Na slici 9 je prikazan postotak smanjenja razine buke tijekom noći i dana na različitim udaljenostima od izvora buke. Prikazani postotci smanjenja pružaju uvid u razlike u razini buke na različitim udaljenostima i u različitim vremenskim periodima. To može biti korisno za procjenu utjecaja buke i otkrivanje područja koja su izložena većoj razini buke.



Slika 9: Postotno smanjenje razine buke pri različitim udaljenostima od ruba ceste tijekom dana i noći [11]

2.3. Usporedba mjerenja i modeliranja

U nastavku rada će se razmatrati izrada karata buke, ali važno je već sada napomenuti da rezultati korišteni za modeliranje buke se možda neće potpuno podudarati s rezultatima dobivenim stvarnim mjerenjima na terenu. Postoje različiti faktori koji mogu utjecati na tu razliku, kao što su promjene u uvjetima okoline, karakteristike izvora buke ili metode mjerenja. Stoga, prilikom izrade karata buke, potrebno je primijeniti korekcije kako bi se postigla veća točnost i pouzdanost rezultata. Korekcije mogu uključivati prilagodbe zbog lokalnih uvjeta, karakteristika izvora buke ili faktora koji utječu na širenje zvuka. Nanoseći korekcije na karte buke, postiže se bolje usklađivanje s mjerenjima na terenu i dobiva se pouzdaniji prikaz stvarne razine buke.

Nepoklapanja rezultata modeliranja buke s mjerenjima na terenu može imati različite uzroke, od kojih su neki [12]:

- Nedosljednost izvora buke: Izvori buke mogu imati promjenjive karakteristike, Ove promjene mogu utjecati na rezultate modeliranja i dovesti do nepoklapanja sa stvarnim mjerenjima
- Kompleksnost širenja buke: Prisutnost prepreka, reflektivnih površina ili apsorpcija zvuka može znatno utjecati na širenje buke
- Broj reflektivnih površina: Ako modeliranje ne uzima u obzir sve refleksije i njihov utjecaj na razine buke, rezultati mogu biti neprecizni u usporedbi s mjerenjima
- Pogrešna procjena količine prometa: Točna procjena količine prometa na promatranim područjima nužna je za precizno modeliranje. Ako se podcijeni ili precijeni količina prometa, rezultati modeliranja mogu biti netočni
- Utjecaj ljudi: Ljudske aktivnosti u blizini mikrofona, osobito noću, mogu utjecati na rezultate mjerenja buke

Kompleksnost mjernog područja također može utjecati na rezultate mjerenja razine buke.

U obzir se uzima opis kompleksnosti mjernog područja:

- Kompleksno područje sa više izvora buke i križanjem
- Jedan izvor buke na ravnoj liniji
- Tiho područje

- Područje velike naseljenosti
- Visoka količina prekomjerne buke
- Ne postojeća količina prekomjerne buke

Potreban broj mjernih stanica za što ispravnije mjerenje može se pretpostaviti preko formule:

$$N = \left[\log_q \frac{y}{s} + 2 \right]$$

N – broj potrebnih stanica

q- indicator područja preciznosti (interval od 3 dB-a za svako udvostručenje prometa)

y – maksimalan postotak prometa

s – pretpostavljeni minimalan protok prometa

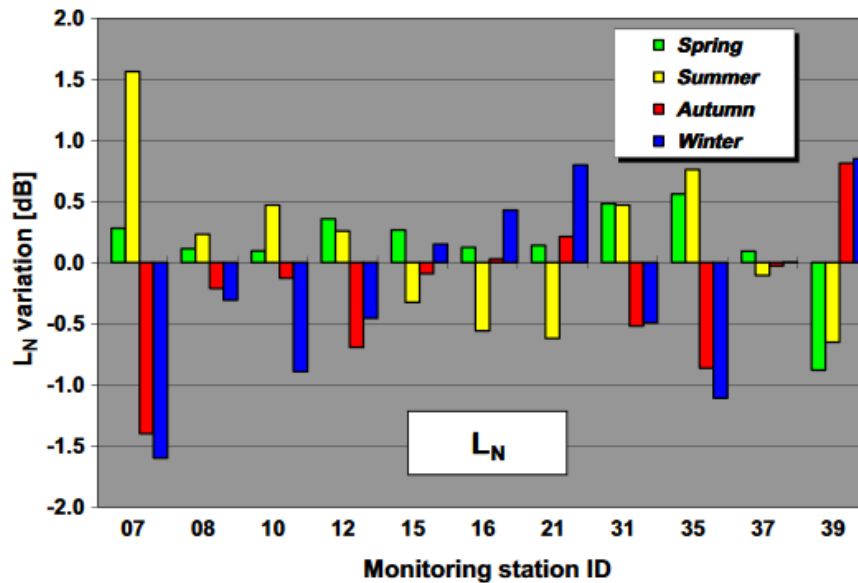
Sve usporedbe rezultata mjernih stanica i programa za modeliranje buke, poput CadnaA programa, trebaju biti obavljene u skladu s Europskom direktivom o procjeni upravljanju okolišnom bukom. Ova direktiva (2002/49/EC) propisuje pravila i smjernice za procjenu i upravljanje bukom kako bi se zaštitio okoliš i ljudsko zdravlje. [12]

2.3.1. Najveća odstupanja po periodima mjerenja

Kada se mjerenja podijele na sezone, primjećuje se da najveća odstupanja između stvarnih mjerenih vrijednosti buke i modelirane karte buke obično dolaze u godišnjim dobima s najvećim (ljeta) i najmanjim (zime) razinama buke. Ova odstupanja mogu biti rezultat promjena u uvjetima okoline, kao što su promjene u vegetaciji, klimatski uvjeti ili aktivnosti koje se odvijaju u tim sezonama. Važno je napomenuti da ta odstupanja obično nisu značajna i često ne premašuju 1 dB razlike razine buke cestovnog prometa.

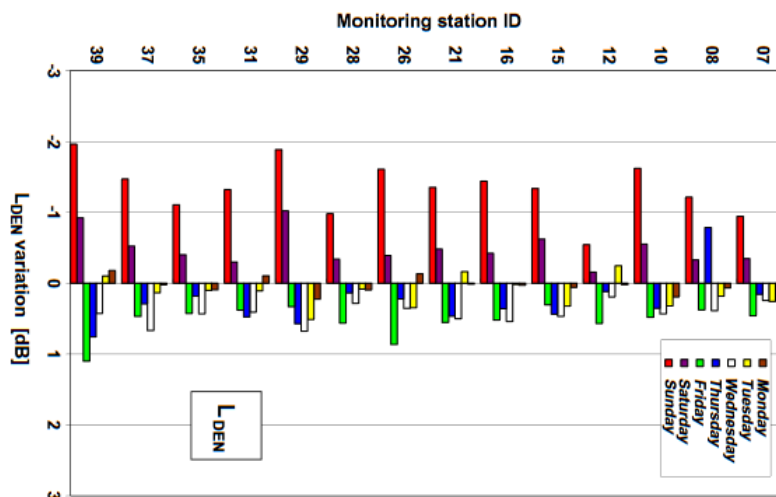
Na slici 10 prikazana su odstupanja između rezultata mjernih stanica i karte buke tijekom različitih godišnjih doba. Usporedba i mjerenje provedeni su u gradu Gdanjsk u Poljskoj.[13]

Ove usporedbe pružaju dobar uvid u koliko se stvarne razine buke razlikuju od predviđenih vrijednosti na karti buke.



Slika 10: Razlike u razini buke mjerenja i modeliranja ovisno o godišnjim dobima [13]

Na slici 11 prikazana su značajna nepoklapanja između rezultata mjerenja buke vikendom i očekivanih rezultata prema modelu. Razlog tome je velika složenost u pretpostavljanju ponašanja prometa tijekom vikenda, posebno za nedjelju. Uobičajeno je da promet vikendom bude manje intenzivan, ali teže predvidiv.



Slika 11: Utjecaj tjednih dana na odstupanja mjerenja i modeliranja [13]

Odstupanja koja se primjećuju tijekom tjedna, značajno se razlikuju i po godišnjim dobima. Ovo ukazuje na potrebu za dodatnim mjerenjima kako bi se bolje razumjeli rezultati. Mjerenja trebaju obuhvatiti bitne parametre kao što su broj vozila, vrsta vozila, brzina prometa i različiti dijelovi dana. Osim toga, važno je uzeti u obzir i druge faktore koji mogu utjecati na razinu buke, poput meteoroloških uvjeta i gustoće naseljenosti.

Karte buke su konstruirane na temelju proračuna koji koristi 3D digitalnu karakterizaciju područja, podatke o količini i vrsti prometa, prosječnoj brzini vozila i meteorološkim uvjetima. Važno je napomenuti da takve karte mogu imati ograničenu pouzdanost, posebno ako se temelje na manje preciznim pretpostavkama. Karte buke je važno nadograđivati i obnavljati.[13]

3. REGULATIVA

3.1. Regulativa Europske unije

Direktiva o kontroli buke okoliša u Europskoj uniji je Direktiva 2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća koja je aktivna od 25.06.2002. godine i odnosi se na utvrđivanje i zaštitu buke okoliša. Ova direktiva se primjenjuje na odredbe zaštite ljudi od buke okoliša te se odnosi prvenstveno na područja visoke izloženosti, poput naselja, škola, bolnica, parkova i ostalih državnih ustanova.

Obuhvaća:

- Opće ciljeve
- Područje primjene
- Definicije
- Nadležna i provedbena tijela (uključujući ona odgovorna za izradu karata buke i akcijskih planova)
- Prikupljanje karata buke i akcijskih planova
- Informiranje javnosti [14]

Direktiva upućuje na usklađenost Europskih zemalja pri provedbi akcijskih planova i izradi karata buke.

- Akcijski planovi obuhvaćaju mjere smanjenja buke
- Karte buke prikazuju postojane i predviđene razine buke određenog područja [8]

Metode proračuna razine buke se razlikuju unutar zemalja članica EU. U Njemačkoj se razina buke određuje prema smjernicama RLS90 i standardu DIN18005. [15] Propisuje se brzina vozila, vrsta i nagib kolinika te korekcije koje je nužno provesti, poput korekcija koje ovise o brzini, tipu kolnika, nagibu, oblicima zaštite od buke i udaljenosti od izvora buke. Ovim proračunom se određuje razina buke u razdoblju od 6:00 do 22:00 sata za dan i od 22:00 do 6:00 za noć. Slična pravila vrijede i za ostale Europske zemlje, no koriste se različiti propisi za određivanje korekcija brzine, vrste asfalta itd. Osim toga, računaju se razine buke za različite udaljenosti od ceste te za različite periode dana i noći.

3.2. Regulatorna Republike Hrvatske

Zakon o zaštiti okoliša od buke u Hrvatskoj (NN/20/2003) [8] propisuje mjere koje je potrebno poduzeti radi zaštite ljudskog zdravlja od štetnog utjecaja buke. Definira se pojam buke te se razvrstavaju izvori zvuka na imisije i emisije, pri čemu se imisija odnosi na razinu zvuka na području osjeta i mjerenja zvuka, dok se emisija odnosi na područje izvora zvuka. Zakon također navodi vrste prostora na koje buka utječe, pri čemu se prostor u te svrhe dijeli na boravišni prostor, koji se dalje dijeli na otvoreni i zatvoreni prostor, te radni prostor. Prema zakonu, buka treba biti sprječena ili smanjena na razinu koja nije štetna po ljudsko zdravlje. Također, propisane su mjere zaštite koje je potrebno provesti. Razdoblje u kojem se provodi zaštita od buke je podijeljeno na tri dijela dana: zaštita tijekom dana (od 6:00 do 20:00 sati), period večeri (od 20:00 do 22:00 sata) i noći (od 22:00 do 6:00 sati).

Zakon propisuje koja nadležna tijela su zadužena za provođenje zaštite od buke te ih dijeli na tijela:

- državne uprave
- područne i lokalne uprave

-pravne i fizičke osobe koje obavljaju poslovnu djelatnost

3.2.1. Planovi i dokumentacija

Radi utvrđivanja ugroženih područja i prikladne provedbe mjera zaštite od buke, potrebno je izraditi planove i propisati prikladne pravilnike, kao što su [14]:

- Karte buke
- Akcijski planove
- Strateški planove
- Akustičko planiranje
- Pravilnik o dopuštenim razinama zvuka
- Odluke samouprave o područjima gdje je dozvoljeno prekoračenje propisane razine dozvoljene buke
- Pravilnik o radnim uvjetima osobe zadužene za provedbu zaštite od buke
- Pravilnik o osposobljavanju osobe zadužene za provedbu zaštite od buke

3.2.2. Regulatorna mjerenja i izrade karata

U Hrvatskoj, mjerenja buke moraju biti provedena u skladu sa normom 1996-2: Akustika – mjerenje i ocjenjivanje buke okoliša. Ova norma propisuje specifične metode i postupke za mjerenje buke u okolišu, uključujući parameter za mjerenje, odabir mjernih lokacija, vremenske intervale, kalibraciju opreme itd. Mjerna oprema koja se koristi za provedbu mjerenja također mora biti u skladu sa normom ISO 1996-2. Također, prilikom mjerenja razine buke u Hrvatskoj, važno je poštovati odredbe Hrvatskog zakona o zaštiti od buke.

ISO 1996-2 definira prosječnu trajnu razinu zvučnog tlaka kao ekvivalentnu. Dopušta meteorološke korekcije i korekcije ovisne o izvoru zvuka. [16]

Kod mjerenja buke u Hrvatskoj mjeri se:

- Lden – pokazatelj danonoćne buke
- Lday – pokazatelj dnevne buke
- Levening – pokazatelj večerje buke

-Lnight – pokazatelj noćne buke [14]

Kod izrade karata buke i provedbe strateških i akcijskih planova, Hrvatska kao članica Europske unije treba slijediti Europsku direktivu 2002/49/EN, koja je bolje pojašnjena u prethodnom poglavlju.

Članak 7. pravilnika o izradi karata buke NN 75/2009 (70.06.2009) [16], propisuje odnose koji se pregledavaju za utvrđivanje štetnog učinka buke, a oni su:

- Odnos između smetanja bukom i indikatora buke za dan – večer – noć, Lden
- Odnos između smetanja bukom i noćnog indikatora, Lnight

Bolje se ovi odnosi mogu pokazati sa:

- Brojem stanova sa posebnom vrstom zvučne izolacije
- Brojem stanova sa tihom fasadom
- Meteorološkim prilikama
- Količinom rizičnog stanovništva
- Vrstom socijalno kulturološkog područja

3.2.3. Regulatorna proračuna buke u Hrvatskoj

Veće Europske zemlje često imaju vlastite metode proračuna razine buke cestovnog prometa koje odgovaraju njihovim specifičnim uvjetima. U slučaju Hrvatske, trenutno ne postoji posebna nacionalna metoda proračuna razine buke. U Hrvatskoj se često koristi njemački standard DIN 18005 i smjernice RLS90. (O ovoj metodi proračuna je bilo govora govora u poglavlju Europske regulative, str 15).

Metoda koju preporučuje Europska unija je Francuska nacionalna metoda NMPB/XPS 31-133. Uz primjenu metode NMPB/XPS 31-133 može se izračunati dugotrajna razina buke u blizini prometnice uzimajući u obzir potrebne meteorološke korekcije. [16,17]

Kako bi proračun razine buke bio što ispravniji, potrebno je prikupiti i odrediti određene podatke koji su bitni za proračun. Neki od ovih podataka su sljedeći:

- Podaci o gustoći prometa (broj vozila koja prijeđu promatranu dionicu u danu)
- Broj vozila po satu
- Količina teretnih vozila u odnosu na ukupan broj vozila
- Maksimalna dopuštena brzina osobnih i teretnih vozila
- Vrsta i nagib ceste
- Razmak reflektirajućih površina itd. [17]

4. KARTE BUKE

Karta buke je vizualni prikaz postojećih i predviđenih razina buke u određenom vremenskom periodu za određeno područje. Ove karte obično koriste boje kojima se prikazuju različite razine buke, pri čemu svaka boja predstavlja određenu razinu buke u klasama od 5 dB-a. Podaci koje karta buke mora sadržavati kako bi se što preciznije mogao odrediti odnos buke na ljudsko zdravlje su sljedeći:

- Broj stanova (dobro je poznavati i broj stanova sa posebnom vrstom zvučne izolacije i tihom fasadom)
- Rizično stanovništvo (područje sa školama, bolnicama itd.)
- Podaci o područjima koja prelaze dozvoljene razine buke [18]

Karte buke su potrebne svim nadležnim tijelima koja provode zaštitu od buke kako bi mogli:

- Izraditi procjenu utjecaja na okoliš
- Izraditi prostorne planove
- Odrediti područne uvjete
- Procijeniti potrebnu zaštitu objekata od buke
- Odrediti osjetljiva područja
- Odrediti tiha područja
- Odrediti broj stanovnika koji su izloženi nedozvoljenoj razini buke
- Odrediti broj stanova s posebnom vrstom zvučne izolacije i tihom fasadom
- Izraditi akcijske planove [16]

Za određivanje samo jednog izvora buke (npr. cestovnog), kako bi se pregledala buka cestovnog prometa u odnosu na ukupnu količinu buke okoliša, izrađuju se strateške karte. Izrada strateške karte buke zahtjevan je proces koji zahtijeva odgovarajuću opremu, softver i stručnjake za modeliranje, prikupljanje podataka i provedbu istraživanja. Prikupljeni podaci se zatim kombiniraju s prostornom podlogom kako bi se stvorila karta buke. [16,18]

Članci narodnih novina pravilnika NN 75/2009, [16] prikazuju na što se sve strateške karte buke odnose te definiraju period od 5 godina u kojem je nužno obnoviti karte. Karta buke prvenstveno mora služiti nadležnim tijelima i javnosti. Potrebno je izraditi grafičke indikatore buke, karte koje prikazuju prekoračenje razine buke, uspoređeno stanje postojećih karata s budućim mogućnostima te izraditi karte koje prikazuju razine buke na različitim visinama.

Za izradu strateških karata ceste prikupljaju se podaci:

- Autocesti
- Državnih cesti
- Županijskih cesti
- Gradskih i lokalnih cesti

Uz strateške karte izrađuju se i “konfliktne karte” na kojima je jasno vidljivo sve prekoračenje dozvoljene razine buke. Ove karte se izrađuju prema propisanim regulativama i koristeći strateške karte, te se također obnavljaju svakih 5 godina. Karte se izrađuju softverom koji uklanja sve razine buke koje su dozvoljene, ističući jasno nedozvoljene razine buke. Softver za izradu karata buke trebao bi biti razvijen u skladu s normom za proračun širenja zvuka u vanjskom prostoru (ISO 9613). Neki od poznatih softvera korištenih za modeliranje karata buke su CadnA, Cody_Tympan, IMMI, SoundPlan itd. [18]



Slika 12: Konfliktna karta buke grada Rijeke [19]

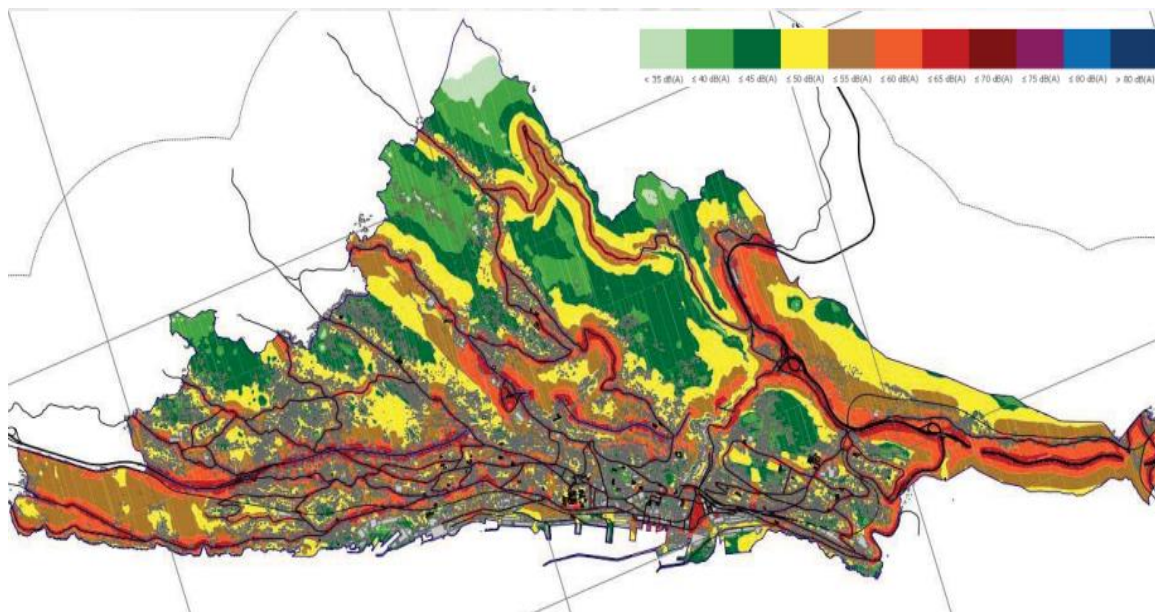
4.1. Karte buke grada Rijeke

Prilikom izrade karata buke grada Rijeke poštivane su sve državne regulative te je MZSS-u (Ministarstvu zdravstva i socijalne skrbi) dodijeljen zadatak praćenja provedbe propisa.

Poštivane su regulative:

- Zakona o zaštiti od buke (NN 30/09)
- Pravilnika o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova (NN 75/09)
- Pravilnika o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave
- Direktive 2002/49 Europskog vijeća
- Preporuke Europskog vijeća za cestovni proračun buke

Izrađene karte buke obuhvaćaju prošireno područje grada Rijeke. Izrađeno je šest karata, od kojih su tri izrađene za cestovni a tri za pružni promet. Strateške karte za cestovni promet su izrađene za period “dan i noć” i “dan – večer – noć”, dok je konfliktna karta izrađena samo za period “dan i noć”.



Slika 13: Strateška karta buke grada Rijeke za period dan i noć [19]

Najvažniji zadaci koji su provedeni pri izradi karata buke grada Rijeke i koje treba provoditi pri izradi budućih karata su sljedeći:

- Prikupljanje potrebnih prostornih podloga za kreiranje 3D akustičkog modela karata buke
- Definirati prometnu mrežu cestovnog prometa za koju se izrađuje strateška karta buke
- Izrada GIS baze koja obuhvaća mreže bolnica, domova, škola, gospodarskih objekata i drugih područja kako bi se stvorio računalni model
- Prikupljanje podataka o stanovništvu na području grada Rijeke od strane MUP-a i RH te izrada baze registra stanovništva
- Prikupljanje podataka za izradu 3D modela sa područja 2 kilometra udaljenog izvan granica grada
- Priprema i prikupljanje podataka provedenih prometnih istraživanja [19]

5. PRIMJERI METODE PRORAČUNA BUKE U RH

5.1. Njemačka metoda proračuna buke

U Hrvatskoj se često koristi Njemački nacionalni standard mjerenja razine buke. Njemački standard DIN 18005 za proračun razine buke cestovnog prometa provodi se prema smjernicama RLS 90, gdje je razina buke na mjestu imisije definirana izrazom [15]:

$$L_{m,i} = L_m^{(25)} + D_v + D_{StrO} + D_{Stg} + D_E + D_L + D_S + D_{BM} + D_B \text{ [dB(A)]}$$

Referentna razina buke $L_m^{(25)}$ određuje se na udaljenosti od 25 metara. U obzir se uzima zastor kolničke konstrukcije, brzina vozila od 100 km/h i uzdužni nagib nivelete od 5%. Referentna vrijednost varira ovisno o broju vozila u satu i količini vozila mase iznad 2800 kilograma. Primjenjuju se korekcije referentne razine buke kako bi se postigli što ispravniji rezultati. Korekcije su sljedeće:

D_v – korekcija ovisna o brzini vozila, najmanja dozvoljena brzina za osobna i teretna vozila je 30 km/h, a najveća 130 km/h za osobna vozila i 80 za teretna vozila

D_{StrO} – korekcija vezana za vrstu zastora kolničke konstrukcije

D_{Stg} – korekcija ovisna o uzdužnom nagibu nivelete

D – korekcija vezana za utjecaj višestruke refleksije

D_L – korekcija vezana za duljinu odsječka

D_S – korekcija vezana za apsorpciju zraka i udaljenost od mjesta emisije do mjesta imisije

D_{BM} – korekcija vezana za utjecaj terena i meteorologije

D_B – korekcija vezana za utjecaj barijere

Prilikom ovoga danonoćnog proračuna, razdoblje se dijeli na dva dijela. Period dana od 6:00 do 22:00 sata i period noći od 22:00 do 6:00 sati.

5.2. Francuska metoda proračuna buke

Proračun razine buke u Hrvatskoj se preporuča Prema Francuskoj nacionalnoj metodi XPS 31-133. Trajna razina zvuka se prema ovoj metodi računa formulom [16]:

$$L_{\text{longterm}} = 10 * \lg[p * 10^{LF/10} + (1 - p) * 10^{LH/10}]$$

gdje je:

- LF – razina zvuka izračunata u povoljnim uvjetima širenja zvuka
- LH – razina zvuka izračunata u homogenim uvjetima širenja zvuka
- p – trajna prisutnost meteoroloških uvjeta povoljnih za širenje zvuka

Potrebno je izvesti složeni indikator Lden (indikator buke za “dan – večer- noć) preko formule :

$$L_{\text{den}} = 10 \log_{24} \frac{1}{24} * (12 * 10^{0,1 L_{\text{day}}} + 4 * 10^{0,1 (L_{\text{evening}} + 5)} + 8 * 10^{0,1 (L_{\text{night}} + 10)})$$

gdje su:

L_{day} – indikator dnevne buke

L_{evening} – indikator večernje buke

L_{night} – indikator noćne buke

Ukoliko se ove vrijednosti proračunavaju a ne mjere, može se koristiti formula za proračun razine buke:

$$L_{m,E} = L_{m,E,0} + \Delta L_k + \Delta L_v + \Delta L_i \quad [\text{dB(A)}]$$

gdje je:

L_{m,E} – srednja razina buke na 25 metara od kolnika

L_{m,E,0} – standardna razina buke na 25 metara od kolnika

ΔL_k – korekcija zbog vrste kolnika, npr. 0,5 dB(A) za asfaltbeton, 1 dB(A) za beton

ΔL_v – korekcija zbog brzine zoka, npr. za 50 km/h smanjenje 4 dB(A), za 60 km/h smanjenje 3 dB(A)

ΔL_i - korekcija zbog uzdužnog nagiba, npr. za 0-5 % korekcije nema, za svako povećanje iznad toga, korekcija 0,6 dB(A)

Standardna razina buke $L_{m,E,0}$ se računa prema izrazu:

$$L_{m,E,0} = 36,7 + 10 * \log[Q*(1+0,08 * p)] \text{ [dB(A)]}$$

gdje je:

Q – prometno opterećenje (broj vozila u satu, u oba smjera)

p – udio teretnih vozila (%)

6. MJERE ZAŠTITE OD BUKE CESTOVNOG PROMETA

Osnovni principi za smanjenje buke cestovnog prometa obuhvaćaju:

- Prikladno urbanističko planiranje
- Ispravno planiranje infrastrukture ceste
- Upotrebu visokokvalitetnih materijala za izgradnja površina ceste
- Umanjenje buke vozila
- Izgradnju zaštitnih građevina protiv buke [4]

6.1. Regulacijske mjere zaštite

Prilikom planiranja izgradnje ceste trebaju se primijeniti adekvatne mjere za zaštitu od buke na predviđenim područjima. Ovo uključuje sljedeće:

Nagib ceste uzdužno ne bi trebao prelaziti 3%, budući da se pri nagibu od 4-6 % razina zvučnog tlaka povećava za 3 dB(A), dok se pri nagibu od 6 % čak povećava za 6 dB(A). To pokazuje da se za svaki postotak nagiba veći od 5% buka povećava za 0,6 dB(A).

Također, preporučuje se odabir odgovarajuće brzine vožnje, budući da brzina veća od 90 km/h rezultira povećanjem zvučne razine za 3 dB(A). S druge strane, umanjenje brzine za 20 km/h, sa 80 na 60 km/h, rezultira smanjenjem razine buke za 2,5 dB(A).

Regulacijom prometa semaforima, razina buke može se povećati za 1 do 2 dB(A). Učinkovito smirivanje prometa može prouzročiti smanjenje buke za otprilike 5 dB(A). Nužno je voditi računa i o pažljivom odabiru lokacija za križanje i prijelaze, budući da svako križanje povećava razinu buke za 3dB(A). Provođenjem prometnice kroz tunel, razina zvuka izvan tunela se smanjuje za do 20 dB(A). [2]

6.1.1. Prometna buka

Prometna buka je buka koja nastaje od voznog motornog prometa, a proizlazi iz dodira između kotača motornog vozila i površine kolnika. Razina buke varira ovisno o intenzitetu, vrsti, strukturi i brzini prometnog toka, vrsti ceste, stanju površine kolnika i uzdužnom nagibu. Buka motornih vozila se dijeli na:

- Buku motora (buka nastala radom motora vozila)
- Boku kotrljanja (buka nastala iz dodira kotača vozila i površine ceste)
- Aerodinamička buka (buka koja nastaje prilikom prolaska vozila kroz zrak)

Buka kotrljanja najviše ovisi o strukturnim karakteristikama i izbočinama kolnika, ovo se izražava indeksom hrapavosti (IRI). Na dubinu hrapavosti kolnika utječe:

- Odabrani tip habajućeg sloja asfalta
- Način ugradnje habajućeg sloja
- Dodatne mjere koje se provode tijekom uporabe ceste, kao što su postupci za povećanje hrapavosti kolnika

Slika prikazuje primjer utjecaja dobre i loše teksture vozne površine kolnika na razinu buke. Istraživanja su utvrdila da dubina hrapavosti kolnika ima utjecaj na razinu buke i sigurnost prometa. Smanjenje hrapavosti dovodi do smanjenja buke koja nastaje između kotača vozila i površine kolnika, ali može utjecati na stabilnost vozila i sigurnost prometa. Treba napomenuti da betonski kolnici s habajućim slojevima proizvode veću razinu buke od

asfaltnih kolnika s habajućim slojevima. Karakteristike habajućeg sloja kolnika imaju značajan utjecaj na povećanje razine buke. [7]

6.1.2. Regulacija vožnje i strukture prometa

Na smanjenje razine buke se može utjecati:

1. Smanjenjem buke na izvoru: ovo uključuje tehničke promjene na vozilima, poput korištenja tiših motora, poboljšanja zvučnih izolacija... Cilj je smanjiti buku koja proizlazi izravno iz vozila
2. Smanjenjem širenja buke: focus na smanjenju buke koja se širi iz okoline prometa. Uključuje uporabu zvučnih barijera ili zelenih površina koje se rasprostiru uz prometnicu kako bi se smanjila razina buke koja se širi do naselja i okoline
3. Zaštita od buke na mjestu izloženosti: odnosi se na zaštitu ljudi na mjestima gdje su izloženi prometnoj buci (npr. domova, radnih mjesta, bolnica...). Uključuje izgradnju zvučnih barijera oko stambenih područja, korištenje zvučno izoliranih fasada i prikladnu izolaciju unutarnjih prostora kako bi se što je više moguće smanjio negativan utjecaj buke na ljude
4. Ekonomske mjere i regulative: moguće je uvesti poticaje za kupnju tiših vozila, kao i regulirati razinu buke ograničavanjem dozvoljene brzine i izgradnjom prikladne infrastructure te propisivanjem standarda za zaštitu od buke

Sve ove mjere se primjenjuju kako bi se smanjila razina buke od prometa i poboljšala kvaliteta života u blizini prometnica. Također, važno je napomenuti da, kao što je već ranije spomenuto, povećanje razine buke proizlazi iz dodira vozila i kolničke površine. Pri vrlo niskim brzinama konstrukcija vozila ima veći utjecaj na razinu buke od odnosa dodira vozila i kolnika. Međutim, pri brzinama većim od 30 km/h za osobna vozila i 40 km/h za teretna vozila, kotrljanje ima veći utjecaj na razinu buke.

Na buku koja nastaje dodirrom vozila se može utjecati na sljedeće načine:

1. Smanjenjem brzine vozila – smanjuje se razina buke koja nastaje pri dodiru vozila i kolnika. Također, smanjenjem brzine smanjuju se vibracije i udarci te samim time i razina buke
2. Odabirom određenog tipa vozne površine: na primjer korištenjem materijala s boljom apsorpcijom zvuka nastalog kotrljanjem
3. Održavanjem cesta i vozila: redovito održavanje cesta, uklanjanje neravnina i oštećenja te pravilno održavanje vozila može utjecati na smanjenje buke
4. Upravljanjem prometa: preusmjerenja i rasterećenja prometa mogu utjecati na smanjenje buke. Ispravno planiranje koje smanjuje količinu vozila na određenim prometnicama također može značajno smanjiti razinu buke
5. Promjenom ponašanja vozača: poput smanjenja naglih ubrzanja i kočenja. Uvođenje ograničenja za vozila koja proizvode visoku razinu buke

Dvostruko smanjenje vozila može uzrokovati smanjenje razine buke za 6 do 8 decibela. Porast ili smanjenje buke koju proizvode osobna i teretna vozila raste ili se smanjuje podjednakim intenzitetom.

Kada se govori o voznoj površini kolnika treba istaknuti da površina s otvorenom i poroznom teksturom ima značajne prednosti, poput smanjenja razine buke, prianjanja vozila i sigurnosti vožnje. Ovakva vrsta vozne površine može smanjiti razinu buke za 2 do 4 decibela. Međutim, postoji nekoliko nedostataka, jedan od nedostataka je velika potreba za intenzivnim održavanjem tijekom projektiranog razdoblja. Također, ova vrsta površine zahtijeva kontinuirano praćenje i održavanje kako bi se održala učinkovitost u smanjenju buke.

Nastavljaju se istraživanja i primjene raznih vrsta kolnika kako bi se postigla ravnoteža između smanjenja buke, poboljšanja sigurnosti vožnje i održavanja cestovne infrastrukture. Bitno je uzeti u obzir različite faktore, poput sigurnosti, troškova održavanja i trajnosti pri odabiru odgovarajuće vrste kolnika.

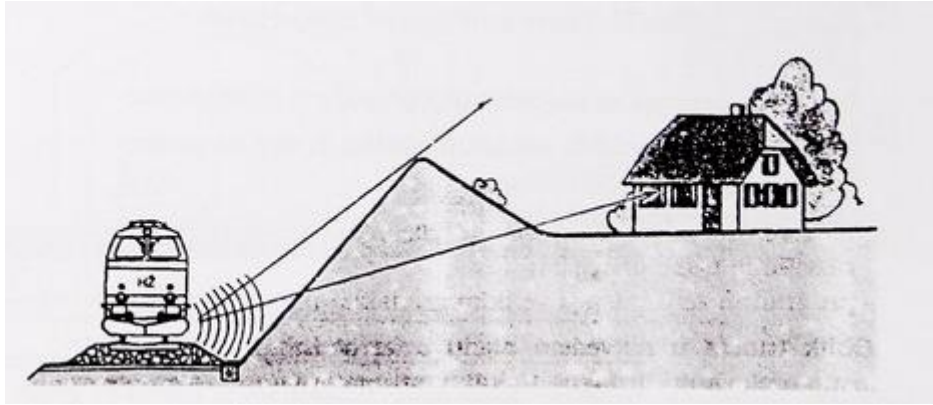
Kada se govori o upravljanju prometom podrazumijeva se uvođenje mjera s ciljem smanjenja prometnog opterećenja i preusmjeravanjem određenog tipa vozila na druge prometnice. Ovakve mjere uključuju ograničavanje vremena u kojem se određena vozila mogu kretati (na primjer, gašenje semafora noću). Osiguranjem slobodnog prometnog toka se može smanjiti razina buke do 4 decibela.

Gašenje semafora noću iako rezultira slobodnim protokom prometnih vozila, može voditi do povećanja brzina vozila, pa smanjenje buke neće biti toliko znatno. Kod preusmjeravanja vozila sa jedne prometnice na drugu treba voditi računa o povećanju buke na drugoj prometnici. Najčešće se preusmjeravanje prometa kao metoda za smanjenje razine buke koristi kod preusmjeravanja prometa sa manjih gradskih prometnica na prometnice prikladne za teški promet ili na nove prometnice. Na ovaj način će se razina buke značajno smanjiti na prometnici koju je potrebno rasteretiti, a neće značajno utjecati na prometnicu na koju su vozila preusmjerena. [20]

6.2. Zaštita nasipima od prometne buke

Zaštita nasipima od prometne buke se može postići upotrebom prirodnih materijala poput zemlje, kamena, stijena ili šljunka. Ova vrsta prepreke širenja zvuka se obično izgrađuje koristeći višak materijala koji je dostupan na mjestu gdje se želi smanjiti razina buke. Dostupnost materijala ima značajan utjecaj na ukupni trošak izvedbe ovog oblika zaštite. Nasipi zauzimaju značajno više prostora od zvučnih barijera. Nagib nasipa je definiran omjerom “m:n”, pri čemu “m” predstavlja horizontalni rast, a “n” vertikalni. Uobičajeni omjeri rasta nagiba za većinu nasipa su 2:1 ili 1,5:1 dok nasipi od kamena obično imaju omjer 1:1. [21]

Nasipi kao mjera zaštite od buke se najčešće upotrebljavaju izvan središta naselja. Prednost nasipa je što se koriste kao deponij za višak materijala koji ostaje nakon gradnje. Nasipi služe kao dobar zvučni izolator te se uz ispravno ozelenjavanje dobro uklapaju u okoliš.



Slika 14: Zaštita od buke prometa nasipom

Ukoliko je raspoloživi prostor ograničen, a potrebna visina zvučnih barijera koja je izgrađiva bez nasipa ne zadovoljava, koriste se nasipi sa barijerama. Kombinacija nasipa i zvučnih barijera smanjuje razinu buke za do 15 dB(A). Zvučne barijere utječu na izgled okoliša, zbog ovoga ih je poželjno što je više moguće prekriti raslinjem. [2]

6.3. Zvučne barijere

Zvučne barijere ili bukobrani su jedne od konstrukcijskih mjera zaštite okoliša od prometne buke. Postavljaju se kada regulacijskim mjerama nije moguće dovoljno reducirati razinu buke prometa, a nasipi nisu prikladno rješenje. Zvučne barijere se mogu podijeliti na tri općenite vrste koje će biti detaljnije objašnjene u nastavku: panelne, zidane i samostojeće.

6.3.1. Svojstva zvučnih barijera

Osnovna svojstva koja zvučne barijere posjeduju su apsorpcija i izolacija zvuka, a ta svojstva najviše ovise o visini barijere, udaljenosti barijere od izvora zvuka, tipu materijala te gustoći i poroznosti zvučne barijere. Što barijera ima veću apsorpciju zvuka, manje se zvučni valovi reflektiraju natrag prema izvoru zvuka. Ako barijere imaju nedovoljno apsorpcijskih svojstava, zbog prevelike refleksije može doći do povećanja razine buke na izvoru. Taj porast buke može iznositi čak između 3 i 6 dB(A). Paneli barijere koji imaju gustoću barem 15 kg/m³ posjeduju dovoljna izolacijska svojstva.

Osim spomenutih akustičnih svojstava zvučnih barijera, važno je spomenuti i neka neakustična svojstva. Neakustična svojstva zvučnih barijera su:

- Mehanička otpornost i stabilnost pod opterećenjem vjetra, prolaskom vozila, zamorom materijala...
- Otpornost na požar, ponašanje materijala pri izgaranju, transparentnost, refleksija svjetlosti, zaštita okoliša...

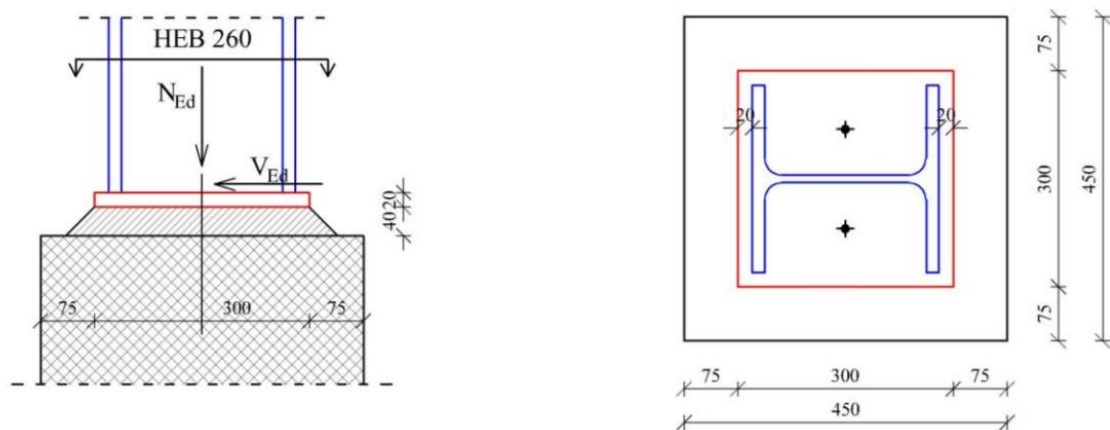
Treba voditi računa o ponašanju konstrukcije prilikom djelovanja opterećenja. Najveće opterećenje zvučnih barijera prouzrokuje stalno opterećenje zbog vlastite težine, kao i opterećenje vjetrom. Opterećenje vjetrom ovisi o geografskom položaju bukobrana, nadmorskoj visini i topografskim uvjetima. Stalno opterećenje ovisi o materijalu bukobrana. Snijeg također stvara opterećenje uz dno zvučne barijere, ovo treba uzeti u obzir pri izgradnji te osigurati područje za prihvat snijega.

Kod cestovnih područja na kojima prometuje velika količina teretnih vozila, nužno je uzeti u obzir moguću promjenu tlaka za $\pm 0,5 \text{ kN/m}^2$ u području zida udaljenog tri metra od izvora zvuka. U blizini tunela, ove promjene tlaka su još značajnije. Također, treba voditi računa o tome da korišteni materijal za zvučnu izolaciju ne smije značajno ugrožavati okoliš u slučaju zapaljenja. Kod upotrebe metalnih ili prozirnih panela, treba paziti da refleksija svjetla ne ometa vozače. Važno je napomenuti da panelni zidovi nisu građeni da izdrže direktni udar vozila, pa ih je nužno ograditi. [22]

6.3.2. Panelne zvučne barijere

Panelne zvučne barijere se sastoje od betonskih, metalnih, transparentnih ili drvenih panela. Ovakvi paneli mogu biti napravljeni od jednog ili više komada. Pri montaži, stupovi se pričvršćuju na temelj, a paneli se povezuju na stupove. Povezivanje temelja i stupova može se izvesti na više načina, na primjer:

- Usidriti stup preko sidra u armiranobetonski temelj
- Djelomično uroniti stup u armiranobetonski temelj
- Izvesti kontinuirani temeljni zid
- Uroniti stup u punu dubinu nearmiranog temelja
- Ukopati drvene stupove u bušene cilindrične rupe s kamenom ispunom [21]
-



Slika 15: Detalj sidrenog spoja čeličnog stupa HEB 260 presjeka i armiranog betona

Betonski paneli su vrlo često korišteni za izgradnju zaštitnih zidova od prometne buke. Razlog tome je njihova mogućnost različite prilagodbe kod oblikovanja, izdržljivost, stabilnost, otpornost te period uporabljivosti od barem 40 godina. Sastoje se od nosivog i apsorbirajućeg sloja betona. Apsorbirajući sloj se izrađuje od poroznog betona s promjenom veličine zrna agregata od 3 do 5 mm. Betonski paneli su obično debljine do 15 cm i postavljaju se na sloj nosivog armiranog betona debljine do 20 cm. Zbog velike težine, ovakvi paneli nisu pogodni za ugradnju na vijaduktima i mostovima. Također, težina ovih panela utječe na cijenu i kompleksnost prijevoza. Cijenovno, ova vrsta panela nije najisplativija, iznosi oko 225 EUR/m². Međutim, stabilnost, otpornost na atmosferske uvjete, temperature, požare, udare krhotina vozila čine ove panele jednim od najkorištenijih. Stupovi na koje su betonski paneli pričvršćeni postavljaju se na razmaku od četiri metra, što ipak malo reducira cijenu i čini ovaj oblik zaštite isplativijim.



Slika 16: Betonske zvučne barijere

Uz betonske koriste se i metalni paneli. Pri konstrukciji metalnih panela za zaštitu od buke, često se koriste različiti materijali poput čelika, aluminijskog i nehrđajućeg čelika, Čelik je najekonomičniji i često se kombinira s betonom. Aluminij se koristi kada je potrebno smanjiti ukupnu masu konstrukcije, jer je lagana legura koja može sadržavati dodatke mangana, silicija, bakra i magnezija. Nehrđajući čelik ima visoku izdržljivost i otpornost na koroziju, zbog toga se često koristi u područjima s visokom vlagom ili blizu morske vode. Metalni paneli sastoje se od dvije lakirane ploče debljine od 0,5 do 1 mm, između kojih se postavlja sloj kamene vune debljine od 50 do 100 mm. Čelični paneli imaju uporabljivost od 20 do 25 godina, a aluminijski do 30 godina. Zbog male težine, metalni paneli se često koriste na mostovima, vijaduktima i postojećim potpornim zidovima koji imaju ograničenu nosivost. Također, koriste se i za povećanje visine zaštitnih zidova. Važno je napomenuti da visoke temperature mogu negativno utjecati na rast vegetacije u blizini metalnih panela. Opreznost je nužna prilikom rukovanja aluminijskim panelima kako bi se izbjeglo oštećenje pri dodiru s drugim metalima. Metalni paneli zahtijevaju redovito održavanje, posebno u područjima s visokom vlagom. Ovi paneli su jako osjetljivi na oštećenja, a zamjena pojedinačnih panela može biti skupa. Međutim, cijena transporta na gradilište nije visoka zbog njihove male težine. Podložni su recikliranju, ali treba voditi računa o ispravnom odlaganju mineralne i kamene vune koja se nalazi između metala. Stupovi za ugradnju ovih panela se postavljaju na razmaku od 3 metra. Iako su metalni paneli nešto skuplji od betonskih, izgradnja ovakvog oblika zaštite je ekonomičnija i iznosi oko 215 EUR/m².



Slika 17: Savijena čelična zvučna barijera

Također, često se koriste transparentni paneli, ovakva vrsta panela se često izrađuje od materijala poput stakla, pleksiglasa, lexana ili akrila. Jedna od prednosti ove vrste je što pružaju estetski privlačna rješenja, jer smanjuju razinu buke a pri tome ne ometaju pogled na okoliš. Debljina transparentnih panela je između 15 i 25 mm i ugrađuju se u čelične okvire. Kako bi se osigurala visoka razina smanjenja buke, prozirni paneli se često izrađuju od kamenog ili laminiranog kaljenog stakla. Kaljenje povećava njegovu čvrstoću i otpornost na slom, a laminirano staklo dodatno pojačava sigurnost. Ove panele je dobro koristiti gdje je potrebno očuvati dostupnost pogleda na okoliš, poput visokovrijednih krajobraza. Mala težina ovakvog oblika zaštite od buke omogućuje jednostavnu ugradnju i transport na gradilište. Pri ugradnji je potrebno posebno obratiti pažnju na razmak stupova između panela, neispravan razmak uzrokuje odvajanje panela ili onemogućava proširenje panela pri temperaturnim promjenama. Transparentni paneli zahtijevaju redovito održavanje, poput čišćenja i uklanjanja povremenih oštećenja, kako bi se što više očuvao njihov izgled i prozirnost. Glavni nedostatak ovih panela je njihova visoka cijena.



Slika 18: Transparentni paneli

Za izradu bukobrana se još koriste i drveni paneli. Ovi paneli mogu biti jednostavni, sastavljeni od nekoliko drvenih dijelova ili kompleksni, s više drvenih komada različitih vrsta. Drvo se lako obrađuje, ima malu težinu i ekološki je prihvatljiv material. Drveni paneli se mogu instalirati komad po komad na mjestu postavljanja ili se mogu djelomično sastaviti prije ugradnje. Iako se drvo dobro uklapa u okoliš i ne provodi električnu energiju, ima određene nedostatke. Drvo je lako zapaljivo i može izgaranjem negativno utjecati na okoliš i brzo truli u dodiru s vlagom, zbog čega je drvo potrebno zaštititi kemijskim premazima. Veći drveni paneli se često deformiraju i njihova očekivana trajnost je kratka u usporedbi s drugim panelima. Troškovi dopreme su niski zbog male težine. Temeljenje i montaža ovih panela izvode se na jednostavan način u usporedbi sa višim betonskim zidovima. Međutim, drvo je više podložno oštećenjima nastalim atmosferskim utjecajima, napadima insekata, udarom krhotina vozila... Skupo je održavati i mijenjati drvene panele, ali se koriste zbog svoje jednostavnosti i estetske privlačnosti. [21,22]



Slika 19: Drvene zvučne barijere

6.3.3. Zidane i samostojeće zvučne barijere

Nakon panelnih bukobrana preostaje još spomenuti zidane i samostojeće. Zidani bukobrani mogu biti izgrađeni od zidanih materijala kao što su gotova opeka ili betonski blokovi. Mogu se zidati ručno ili strojno na mjestu postavljanja i mogu se koristiti unaprijed proizvedeni blokovi koji se spajaju na gradilištu. Ručno zidanje omogućuje veću fleksibilnost i prilagodbu terenu na kojem se bukobran gradi, a blokovi koji su unaprijed pripremljeni nude bolju trajnost i manji trošak. Međutim, postavljanje blokova uzrokuje veće troškove transporta nego prijenos materijala za zidanje i zahtijeva upotrebu dizalica.



Slika 20: Zidane zvučne barijere [21]

Samostojeći bukobrani mogu se izgraditi kao betonski bukobrani lijevani na mjestu postavljanja. Ovo uključuje kopanje za oslonac, postavljanje čelične armature, izlivanje

betona, površinsku obradu i stvrđivanje. Zbog toga što je ova vrsta bukobrana vrlo prilagodljiva terenu na koji se postavlja, koristi se često na mostovima i vijaduktima. Također, imaju visoku strukturnu čvrstoću i otpornost na oštećenja, pa se koriste i kao potporni zidovi ili za razdvajanje prometnih traka.

Predgotovljeni samostojeći zidovi se izrađuju u tvornicama u kontroliranim uvjetima, nakon čega se dopremaju na gradilište i ugrađuju. Samostojeći bukobrani mogu biti i vertikalne zvučne barijere. Ove barijere osim za smanjenje buke služe i za smanjenje zagađenja zraka. Ugrađuju se u postojeće samostojeće zidove ili fasade i koriste se sve više u urbanism sredinama. [21]



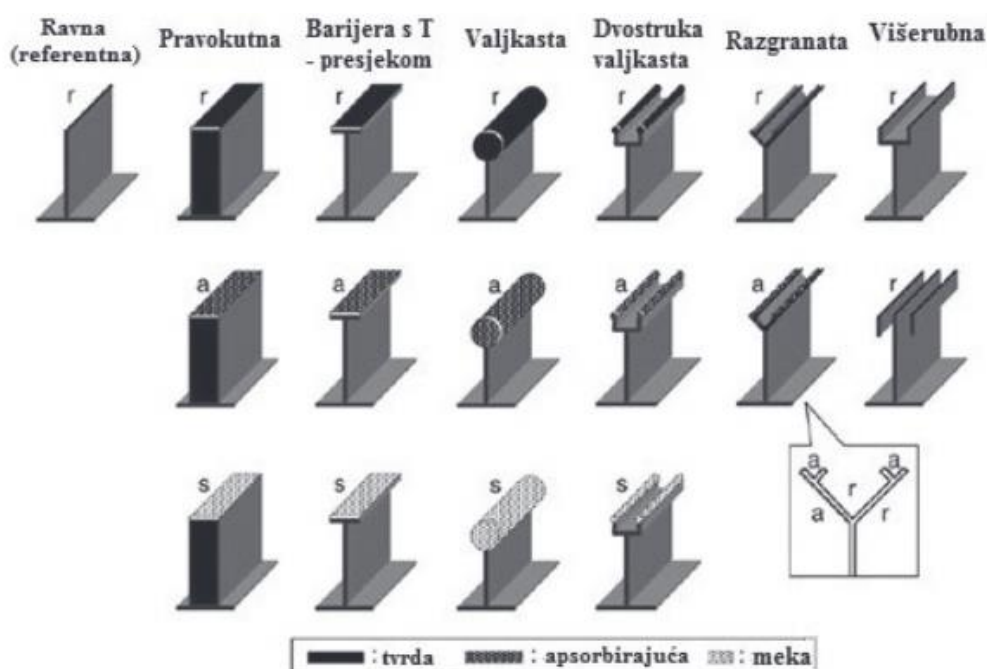
Slika 21: Predgotovljeni samostojeći bukobrani [21]

Različite vrste bukobrana se koriste za zaštitu od prometne buke, a odabir odgovarajuće barijere ovisi o razini buke na određenoj lokaciji. Također, važni faktori pri odabiru su udaljenost barijere od izvora buke, pozicija barijere i dopuštena visina barijere, kao i cijena izgradnje, zahtjevnost montaže, transport, održavanje, očekivani period trajnosti, stabilnost i otpornost, geografski položaj...

6.3.4. Utjecaj oblika zvučnih barijera

Značajan utjecaj na smanjenje razine zvuka može imati i oblik barijere. Istraživanje koje su proveli D. N. May i N. M. Osman [23] u Kanadskoj provinciji Ontario, prikazuje utjecaj primjene različitih oblika barijera na smanjenje razine buke. Prikazani su sljedeći oblici zvučnih barijera:

- Zvučne barijere s apsorbirajućim materijalom na vrhu i/ili stranicama barijera
- Zvučne barijere s proširenjem na vrhu, stvarajući T- i druge profile
- Ogrubljuvanje boka barijere radi smanjenja refleksije zvučnog polja
- Naginjanje barijere radi sprječavanja refleksije zvuka između paralelnih barijera



Slika 22: Različiti oblici zvučnih barijera [21]

S obzirom da nakon visine čeličnih barijera od 4 metra, omjer korisnosti i cijene značajno opada, moguće je povećati učinkovitost u smanjenju razine buke promjenom profila zvučne barijere. Usporedba tradicionalnih barijera s oštrim vrhom i proširenih barijera s ravnim vrhom pokazuje da proširene barijere pružaju bolju zaštitu. Prema navedenom istraživanju, proširenje reflektirajuće barijere za 20 cm povećava insercijski gubitak za otprilike 0,6 dB(A), dok proširenje od 40 cm ne donosi značajno povećanje insercijskog gubitka u odnosu na prethodno rješenje, već samo +/- 0,1 dB(A). Umetanje apsorbirajućeg materijala na vrhu barijere također ne donosi značajno poboljšanje. S druge strane, proširene apsorbirajuće

barijere mogu povećati insercijski gubitak čak za 5 dB(A) uz dovoljno proširenje barijere, dok će insercijski gubitak biti otprilike 2 dB(A) manji kod reflektirajuće barijere iste širine.

Insercijski gubitak zvučne barijere odnosi se na sposobnost materijala, strukture ili oblika barijere da smanji zvuk putem refleksije ili apsorpcije. Veći insercijski gubitak ukazuje na veću sposobnost barijere da smanji prolaz zvuka. Zvučne reflektirajuće barijere T-profila pružaju značajno veći insercijski gubitak od proširenih reflektirajućih barijera. Širina vrha barijere T-profila od 40 cm uzrokuje povećanje insercijskog gubitka zvuka za otprilike 2,2 dB(A), što je približno 1,5 dB(A) veći insercijski gubitak od proširene reflektirajuće barijere I-profila iste širine. Povećanjem širine vrha T-profila, povećava se insercijski gubitak. Kada širina vrha profila dosegne istu širinu kao visina profila, insercijski gubitak iznosi otprilike 6,5 dB(A) više nego kod tradicionalne barijere s oštrim vrhom. Dodavanjem apsorberajućeg materijala na vrh T-profila, insercijski gubitak će se povećati. U ovom istraživanju korišteni apsorpcijski materijal debljine 20 cm, uzrokuje povećanje insercijskog gubitka za dodatnih 1,6 dB(A) u usporedbi s T-profilom s reflektirajućim vrhom iste širine. Pretpostavlja se da će smanjenje debljine apsorberajućeg materijala povećati zvučnu otpornost barijere.

Barijere Y-profila imaju manji insercijski gubitak od barijera T-profila iste širine vrha barijere. Barijere s apsorberajućim cilindričnim vrhom imaju slične karakteristike kao i proširene reflektirajuće barijere. Barijere nagnute pod kutem od 60 stupnjeva imaju jednak ili čak manji insercijski gubitak od tradicionalnih čeličnih barijera. Nagnute barijere mogu značajno smanjiti razinu buke na većim udaljenostima od izvora zvuka.

Montiranjem apsorpcijskog materijala na stranu tradicionalne barijere, povećava se insercijski gubitak za otprilike 2,5 dB(A). Izvedba valovite barijere s kutom vala od 90 stupnjeva rezultira povećanjem insercijskog gubitka za otprilike 0,5 dB(A) u usporedbi s tradicionalnom barijerom.

Prilikom odabira barijere za smanjenje razine buke, važno je uzeti u obzir oblik barijere, kut nagiba i prisutnost apsorpcijskog materijala. Ovisno o specifičnim okolnostima, treba odabrati odgovarajući oblik barijere.

7. PRIMJER IZRADE AKCIJSKOG PLANA

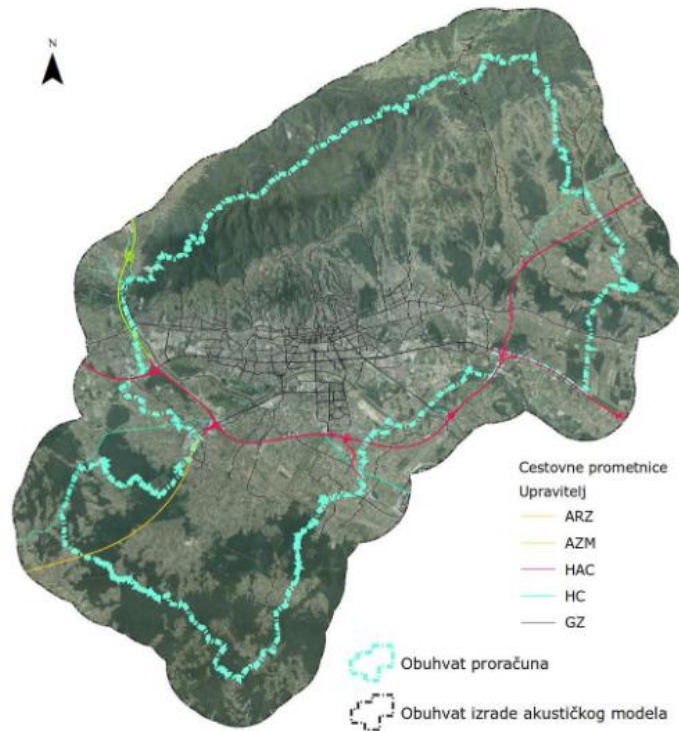
7.1. Akcijski plan grada Zagreba

Provedena izrada Akcijskog plana za upravljanje bukom u gradu Zagrebu do 2023. godine [24], u skladu je sa zakonom o zaštiti od buke (Narodne novine 30/09). Plan obuhvaća petogodišnje razdoblje i temelji se na ulaznim podacima i rezultatima Strateške karte buke grada Zagreba, koja je izrađena 2017. godine za 2016. Analizom i određivanjem prioritentnih područja, otkrivena su ključna područja za provedbu akcijskog plana. Glavni zadatak Akcijskog plana je smanjenje razine buke prometa na kritičnim dionicama ceste. Strateške karte pružaju informacije o područjima visoke izloženosti stanovništva buci, na osnovu ovoga se kreiraju akcijski planovi.

Pravilnikom o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova, kao i o načinu proračuna dopuštenih razina buke (NN 75/09; 60/16), propisani su detaljni zahtjevi za sadržaj i opseg Akcijskog plana. Akcijski plan grada Zagreba slijedi propisane smjernice. U sljedećim potpoglavljima su detaljnije opisani određeni dijelovi Akcijskog plana za grad Zagreb.

7.1.1. Opis obuhvaćenog područja i glavnih izvora buke

Akcijski plan obuhvaća cjelokupno područje grada Zagreba, s površinom od otprilike 641 km² i opsegom od 177 km. Pri izradi akustičkog modela uzeto je u obzir i 3 kilometra šire područje izvan granica grada. Pri izradi strateške karte buke, uzeti su u obzir svi modelirani putevi koji su obuhvaćeni akcijskim planom, njihova ukupna duljina iznosi 1027 km. Od te ukupne duljine, 35 % su autoceste, 60 % su nerazvrstane ceste pod upravom grada Zagreba, a preostalih 5 % čine javne državne ceste.



Slika 23: Javne i nerazvrstane ceste obuhvaćene akcijskim planom [24]

Za izradu akcijskog plana grada Zagreba je bio zadužen DARH 2 d.o.o.

7.1.2. Poštivane direktive pri izradi i provedbi akcijskog plana

Akcijski planovi su namijenjeni provođenju u naseljenim područjima koja imaju više od 100 000 stanovnika. U skladu s tim, prilikom izrade akcijskog plana za grad Zagreb, poštivani su sljedeći pravilnici, zakoni i direktive:

- Zakon o zaštiti od buke (NN 30/09, 55/13, 41/16)
- Pravilnik o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova te o načinu izračuna dopuštenih indikatora buke (NN 75/09; 60/16)
- Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (NN 145/04; 46/08)
- Pravilnik o uvjetima glede prostora, opreme i zaposlenika pravnih osoba koja obavljaju stručne poslove zaštite od buke (NN 91/07)
- Direktiva 2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o procjeni i upravljanju bukom okoliša

- Uredba o informiranju i sudjelovanju javnosti u pitanjima zaštite okoliša (NN 64/08) [24]

7.1.3. Prikaz izloženosti stanovništva prekomjernoj razini buke

Posebno su istaknute glavne ceste tijekom izrade akcijskog plana. Glavne ceste obuhvaćaju promet s više od 3 milijuna vozila godišnje. U svrhu bolje analize utjecaja prometa na buku, razvijen je emisijski model koji je prvenstveno bio fokusiran na glavne ceste, ali i na nerazvrstane ceste. Ovaj pristup je omogućio preciznije određivanje ključnih područja s visokom izloženosti buci.

Tablica 3: Prikaz izloženosti stanovništva dnevnoj buci cestovnog prometa [24]

Cestovni promet - L_{den}		
Razred indikatora buke L_{den} / dB(A)	Broj izloženih stanovnika	Procijenjeni broj izloženih stambenih jedinica
55-59	96500	45600
60-64	60300	29100
65-69	39300	20000
70-74	13600	7200
> 75	1100	600

Tablica 4: Prikaz izloženosti stanovništva danonoćnoj buci sa glavnih prometnica [24]

Glavne ceste - L_{den}		
Razred indikatora buke L_{den} / dB(A)	Broj izloženih stanovnika	Procijenjeni broj izloženih stambenih jedinica
55-59	83800	40000
60-64	49400	24100
65-69	33100	16900
70-74	13100	7000
> 75	1100	600
Glavne ceste - L_{night}		
Razred indikatora buke L_{night} / dB(A)	Broj izloženih stanovnika	Procijenjeni broj izloženih stambenih jedinica
50-54	44300	22000
55-59	31800	16100
60-64	17700	9300
65-69	2500	1400
> 70	100	0

7.1.4. Procjena rizične izloženosti buci

Podaci prikupljeni za analizu procjene rizika izloženosti stanovništva buci cestovnog prometa su sljedeći:

- Ukupan broj stanovnika unutar objekta
- Maksimalna razina buke tijekom razdoblja dana, večeri i noći na fasadi objekta
- Maksimalna razina buke cjelodnevnog pokazatelja, Lden
- Prekoračenje dopuštenih razina buke tijekom dana, večeri i noći
- Korištenje i namjena prostora, gdje su stambene zone viši prioritet od industrijskih
- Podaci o gustoći osjetljivih objekata

7.1.5. Mjere smanjenja razine buke grada Zagreba

Aktivnosti upravljanja bukom, uključujući mjere očuvanja tihih područja, odabrane su na temelju višekriterijske analize kako bi se smanjile razine buke iz glavnih izvora. Odabir mjera i izrada plana zaštite ovisi o uspješnosti u snižavanju emisijskih razina buke na izvoru, smanjenju širenja buke na putu širenja te smanjenju razine buke okoliša.

Aktivnosti upravljanja bukom su podijeljene u tri razine:

- Razina 1 (oznaka grupe) obuhvaća glavne grupe mjera za svaki izvor buke (C-cestovni promet)
- Razina 2 (oznaka kategorije) se odnosi na kategoriju mjera unutar glavne grupe
- Razina 3 (oznaka mjere) se odnosi na konkretne mjere unutar kategorije

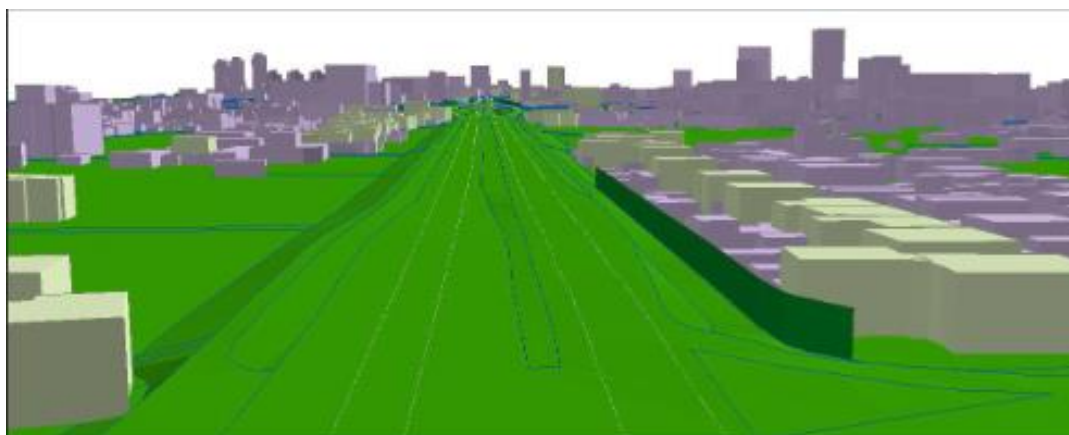
Tablica 5: Popis razmatranih mjera upravljanja bukom [24]

Oznaka grupe	Oznaka kategorije	Oznaka mjere	Opis
C1.			UPRAVLJANJE CESTOVNIM PROMETOM
	<i>C1.1.</i>		<i>Smanjenje gustoće prometa upravljanjem prometom</i>
		C1.1.1.	Preusmjeravanje toka prometa
		C1.1.2.	Preusmjeravanje toka prometa koristeći inteligentne sustave upravljanja prometom (skr. „ITS“)
		C1.1.3.	Ograničenje cestovnog prometa
		C1.1.4.	Uvođenje tihih zona (poznate kao „Q-zones“)
		C1.1.5.	Smanjenje korištenja privatnih automobila kroz promicanje korištenja javnog prijevoza
		C1.1.6.	Smanjenje korištenja privatnih automobila kroz promicanje korištenja ne-motoriziranih modela prometa
		C1.1.7.	Korištenje sustava parkiranja
	<i>C1.2.</i>		<i>Mjere kontrole i nadzora bučnih vozila</i>
		C1.2.1.	Upravljanje prometom teških vozila kroz korištenje alternativnih pravaca
		C1.2.2.	Upravljanje prometom teških vozila kroz zabranu i ograničenja toka prometa teških vozila

Oznaka grupe	Oznaka kategorije	Oznaka mjere	Opis
		C1.2.3.	Upravljanje prometom teških vozila na parkiralištima, PUO, pretovar robe
		C1.2.4.	Upravljanje javnim prijevozom: Obnova vozila javnog prijevoza
		C1.2.5.	Uvođenje aktivnosti izmjene modaliteta transporta za promet teških vozila i prijevoz osoba
		C1.2.6.	Upravljanje javnim prijevozom – Periodične tehničke inspekcije emisije buke vozila javnog prijevoza
		C1.2.7.	Upravljanje prometom za zbrinjavanje otpada
		C1.2.8.	Upravljanje bukom vozila za čišćenje cesta
	<i>C1.3.</i>		<i>Smirivanje toka prometa kroz primjenu mjera upravljanja bukom koje utječu na uravnoteženje brzine i toka prometa</i>
		C1.3.1.	Zeleni valovi
		C1.3.2.	Uravnoteženje toka prometa
		C1.3.3.	Korištenje inteligentnih sustava upravljanja prometom za upravljanje brzinom prometa
		C1.3.4.	Isključivanje semafora tijekom razdoblja noći na križanjima s malom gustoćom toka prometa
		C1.3.5.	Mjere usporavanja prometa (ograničenja brzine, tzv. „šikane“)
		C1.3.6.	Rekonstrukcija semaforiziranih križanja s kružnim tokovima
		C1.3.7.	Redizajn i rekonstrukcija cestovnog prometa kroz korištenje uspornika prometa
		C1.3.8.	Uvođenje nadzora na ograničenju brzine kroz radarske sustave, nadzor policije
	<i>C1.4.</i>		UPRAVLJANJE KOLNIČKOM KONSTRUKCIJOM
		C1.4.1.	Zamjena normalne kolničke konstrukcije s tihom kolničkom konstrukcijom
		C1.4.2.	Zamjena normalne kolničke konstrukcije s dvoslojnom asfalt poroznom kolničkom konstrukcijom – referentna kolnička konstrukcija
		C1.4.3.	Zamjena normalne kolničke konstrukcije s jednoslojnom asfalt poroznom kolničkom konstrukcijom
		C1.4.4.	Zamjena normalne kolničke konstrukcije s tankoslojnom asfaltnom kolničkom konstrukcijom
		C1.4.5.	Zamjena normalne kolničke konstrukcije s poro-elastičnom kolničkom konstrukcijom
		C1.4.6.	Zamjena normalne kolničke konstrukcije s gumiranom kolničkom konstrukcijom
	<i>C1.5.</i>		<i>Održavanje cesta i mjere za prijelazne naprave</i>
		C1.5.1.	Rekonstrukcija prijelaznih naprava
C2.			SNIŽAVANJE BUKE NA PUTU ŠIRENJA

Oznaka grupe	Oznaka kategorije	Oznaka mjere	Opis
	C2.1.		Zidovi za zaštitu od buke
		C2.1.1.	Zidovi za zaštitu od buke – razni materijali
		C2.1.2.	Zidovi za zaštitu od buke – razni oblici
		C2.1.3.	Zidovi za zaštitu od buke – akustički elementi
		C2.1.4.	Specijalni zidovi za zaštitu od buke niže visine blizu cesta
	C2.2.		Alternativna zaštita u odnosu na zidove za zaštitu od buke
		C2.2.1.	„Zeleni“ i „živi“ zidovi za zaštitu od buke
		C2.2.2.	Vertikalno i horizontalno uklapanje cestovnog i tračničkog prometa
		C2.2.3.	Miješane konstrukcije zaštite od buke
		C2.2.4.	Zgrade ne-stambene namjene koje se koriste za zaštitu od buke
		C2.2.5.	Inovativna rješenja zidova za zaštitu od buke

Za područja upravljanja bukom cestovnog prometa u nadležnosti grada Zagreba, analizirano je ukupno 188 scenarija s 250 mjera upravljanja bukom. Na 37 područja je predložena primjena jednog scenarija, na 14 područja analizirana je primjena dva scenarija, a na 41 području je razmatran izbor između 3 scenarija. Za svaki scenarij upravljanja bukom izrađeni su proračuni razina buke, analize izloženosti stanovništva i stambenih jedinica, te pripremljeni rezultati u GIS formatu radi usporedbe s podacima iz strateške karte buke.



Slika 24: Primjer modelirane ugradnje zida za zaštitu od buke [24]

Također, razmatrane su mjere očuvanja tihih područja, koje uključuju određivanje mogućih lokacija, analizu parametara kao što su krajobraz, sigurnost i dostupnost područja, te akustičke parameter poput razine buke i doživljaja zvuka.

Mjere provedbe i aktivnosti ovog akcijskog plana, obuhvaćaju najmanje 111 490 stanovnika grada Zagreba (14,1% ukupnog broja stanovnika) i 55 078 stambenih jedinica za stalno stanovanje (14,9%)

Na slikama ispod prikazani su primjeri provedbe mjera zaštite u gradu Zagrebu u razdoblju 2017./18. Vrijednost investicije za provedbu zaštite od buke na području naselja Vrbik iznosila je 0,5 milijuna eura. [25]



Slika 25: Primjer izgradnje zvučnih barijera, Vrbik [25]



Slika 26: Primjer postavljenih transparentnih panela u naselju Vrbik [25]

ZAKLJUČAK

Unatoč tome što buka cestovnog prometa predstavlja ozbiljne poteškoće za ljude, danas je standard zaštite od buke na vrlo visokoj razini. Napredak tehnologije i pristupa će omogućiti još veću učinkovitost u kontroli razine buke u budućnosti. Poštivanje regulative i kreiranje pravilnika prilagođenih karakteristikama svake zemlje ključni su za efikasnu provedbu zaštite od buke. Iako Hrvatska još nema vlastitu nacionalnu metodu proračuna buke, moguće da će je razviti u budućnosti. Ipak, primjena metoda drugih zemalja u Hrvatskoj ne izaziva probleme.

Razlike između mjerenja i modeliranja buke postoje, ali često su zanemarive. Međutim, važno je provoditi istraživanja i kombinirati proračune i mjerenja kako bi se dobili što ispravniji rezultati. Izrada karata buke i Akcijskih planova je nužna za uspješnu provedbu mjera zaštite.

Idealno bi bilo što više smanjiti razinu buke cestovnog prometa kroz regulacijske mjere. Međutim, budući da često nije moguće dovoljno smanjiti razinu buke na taj način, primjerena i pravilna provedba konstruktivnih mjera zaštite, poput nasipa, zvučnih barijera ili kombinacije nasipa i zvučnih barijera, je na visokoj razini.

POPIS LITERATURE

- [1] Ingemansson, S., Zaštita od buke: načela i primjena, Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti, Zagreb, 1995.
- [2] Jasna Golubić., Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1999.
- [3] Briški, F., Zaštita okoliša, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016.
- [4] Trbojević, N., Osnove zaštite od buke i vibracija, Veleučilište u Karlovcu , Karlovac, 2011.
- [5] Conwed, 4 types of noise and how you can reduce them, <https://www.conwed.com/types-of-noise/>, pristup 22.04.2023.
- [6] Bošnjaković, R., Redukcija buke, Delo, Ljubljana, 1981.
- [7] Mijoski, G., Moslavac D., Krakutovski, Z., Samardzioska, T.: Analiza i mjerenje razina buke na autocesti A2(E-65) "Majka Tereza", dionica Skopje – Tetovo, <http://casopis-gradjevinar.hr/arhiva/article/1680>, pristup 25.04.2023.
- [8] Zakon o zaštiti od buke, NN 20/2003-290, /eli/sluzbeni/2003/20/290
- [9] Banerjee, D., Chakraborty, S. K., Bhattacharyya, S., Gangopadhyay, A.: Evaluation and Analysis of Road Traffic Noise in Asansol: An Industrial Town of Eastern India, <https://www.mdpi.com/1660-4601/5/3/165>, pristup 11.05.2023.
- [10] Morillas, J., Montes González, D., Rey Gozalo, G.: A review of the measurement procedure of the ISO 1996 standard. Relationship with the European Noise Directive, https://www.researchgate.net/publication/303320634_A_review_of_the_measurement_procedure_of_the_ISO_1996_standard_Relationship_with_the_European_Noise_Directive, pristup 11.05.2023.
- [11] Tet Leong, S., Laortanakul, P., Monitoring and Assessment of Daily Exposure of Roadside Workers to Traffic Noise Levels in an Asian City: A Case Study of Bangkok Streets, <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1023305216910>, pristup 11.05.2023.
- [12] Reiter, M., Kotus, J., Czyzewski, A.: Optimizing localization of noise monitoring stations for the purpose of inverse engineering applications,

<http://www.conforg.fr/acoustics2008/cdrom/data/articles/001157.pdf>, 11.05.2023.

[13] Mioduszewski, P., Ejsmont, J. A., Grabowski, J., Karpiński, D.: Noise map validation by continuous noise monitoring, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.01.012>, pristup 11.05.2023.

[14] Učur, Marinko Đ., Zakon o zaštiti od buke, <https://hrcak.srce.hr/clanak/77233>, pristup 09.06.2023.

[15] Lakušić, S., Dragčević, V., Rukavina, T.: Pregled europske regulative o buci od cestovnog prometa, GRAĐEVINAR, 55 (2003) 6,

<http://www.casopis-gradjevinar.hr/arhiva/article/502>, pristup 09.06.2023.

[16] Pravilnik o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova te o načinu izračuna dopuštenih indikatora buke, NN 75/2009 (30.06.2009.),

https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2009_06_75_1811.html

[17] Vukić, M., Poteškoće pri izradi akustičkih proračuna i projekata zaštite od buke cestovnog prometa, <https://hrcak.srce.hr/18171>, pristup 25.04.2023.

[18] Kadušić, E., Modeliranje karte buke za poslovnu zonu “Bukva-Vila” Tešanj,

https://www.prf.unze.ba/Docs/Anali/Anali28god14/14_28_7.pdf, pristup 11.05.2023.

[19] Stojnić, Lj., Mekić, L., Bauer, A., Štimac, A.: Izvješće o izradi Strateške karte buke cestovnog prometa grada Rijeke i Strateške karte buke pružnog prometa grada Rijeke te prijedlog aktivnosti za provođenje javnog uvida, Rijeka, studeni 2009.,

<https://www.rijeka.hr teme-za-gradane/obitelj-i-drustvena-skrb/zdravstvo/pracenje-cimbenika-okolisa-preventivne-mjere/buka/karta-buke-grada-rijeke/>, pristup 11.06.2023.

[20] Lakušić, S., Dragčević, V., Rukavina, T.: Mjere za smanjenje buke od prometa u urbanim sredinama, <https://hrcak.srce.hr/9372>, pristup 25.04.2023.

[21] Grubeša, S., Petošić, A., Suhanek, M., Đurek, I.: Zaštita od buke – zvučne barijere, <https://doi.org/10.31306/s.61.3.5>, pristup 25.04.2023.

[22] Ahac, M., Ahac, S., Lakušić, S.: Vrednovanje neakustičnih svojstava zidova za zaštitu od promotne buke, <https://doi.org/10.14256/JCE.3368.2021>, pristup 25.04.2023.

[23] May, D. N., Osman, N. M.: Highway noise barriers: new shapes,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022460X80904101>,

pristup 18.06.2023.

[24] Akcijski plan upravljanja bukom u gradu Zagrebu do 2023.,

<https://eko.zagreb.hr/akcijski-plan-upravljanja-bukom-u-gradu-zagrebu/2453>,

pristup 18.06.2023.

[25] Gark konzalting, Zidovi za zaštitu od buke na Slavenskoj aveniji u naselju Vrbik,

<https://konzalting.com/reference/projekti/zidovi-za-zastit-od-buke-vrbik>,

pristup 18.06.2023.