

ZAŠTITA OD BUKE NA PROMETNICAMA

Stanković, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:912639>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

ZAŠTITA OD BUKE NA PROMETNICAMA

Stanković, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:912639>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2023-02-10**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Vedran Stanković

ZAŠTITA OD BUKE NA PROMETNICAMA

Završni rad

Karlovac, 2022. godina

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Profesional undergraduate study of Safety and Protection

Vedran Stanković

Road noise protection

Final paper

Karlovac, 2022. year

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Vedran Stanković

ZAŠTITA OD BUKE NA PROMETNICAMA

Završni rad

Mentor: prof.dr.sc. Slaven Lulić

Karlovac, 2022. godina



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Trg J.J. Strossmayera 9
HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 01.09.2022.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Vedran Stanković

Matični broj: 0248072646

Naslov: Zaštita od buke na prometnicama

Opis zadatka:

1. Uvod
2. Buka
3. Pojmovi iz akustike
4. Mjerenje buke
5. Zaštita od buke na prometnicama
6. Kontrola buke na prometnicama
7. Mjerenje buke na prometnicama – primjer
8. Primjeri izgrađenih zidova za zaštitu od prometne buke
9. Tihi asfalt

Zadatak zadan:
13.12.2021

Rok predaje rada:
09/2022

Predviđeni datum obrane:
20.09.2022

Mentor:
prof.dr.sc Slaven Lulić

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

PREDGOVOR

Ovaj rad nastao je iz potrebe pisanja završnog rada za preddiplomski stručni studij Sigurnosti i Zaštite na Veleučilištu u Karlovcu.

Kao materijali korištene su različite knjige koje je Veleučilište izdalo, te internetske stranice.

Želim se zahvaliti svom mentoru prof.dr.sc. Slavenu Luliću na savjetima i sugestijama prilikom pisanja ovog rada, te ostalim profesorima s Veleučilišta koji su mi olakšali pisanje ovog rada.

Zahvaljujem se na velikoj potpori i razumijevanju svojoj obitelji. Hvala Vam što ste na svakom koraku bili i stajali uz mene.

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

U ovom radu cilj je pobliže objasniti značenje buke, koje su njezine vrste, i kako ona utječe na čovjeka i ljudsku okolinu. Objasnjeno je na koji način se buka mjeri, kojim uređajem kao i po kojim propisima se mjeri. Također je cilj upoznati se sa građevinama koje na prometnicama smanjuju buku, a time smanjuju štetan utjecaj na okolinu. Ključne riječi: buka, prometnice, alati za mjerenje, zid za zaštitu od buke.

SUMMARY

In this final work the goal is to explain in more detail the meaning of noise, what its species are, and how it affects man and the human environment. It is explained how the noise is measured, by which device as well as by what regulations it is measured. The aim is also to get acquainted with buildings that reduce noise on the roads, thereby reducing the harmful impact on the environment.

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	BUKA.....	2
2.1	Utjecaj buke na čovjeka	3
3.	POJMOVI IZ AKUSTIKE.....	6
3.1.	Zvuk.....	6
3.2.	Ton	7
3.3.	Frekvencija	8
3.4.	Infrazvuk i ultrazvuk	8
4.	MJERENJE BUKE	9
4.1.	Propisi i norme s obveznom primjenom	9
4.2.	Postupci mjerenja buke.....	10
4.3.	Karakteristike instrumenata za mjerenje buke	14
5.	ZAŠTITA OD BUKE NA PROMETNICAMA	15
5.1	Definicija i podjela.....	16
5.2	Građevine za zaštitu od buke	16
5.2.1	Nasadi	16
5.2.2	Nasipi (Merloni)	17
5.2.3	Nasipi s ugrađenim zidom	17
5.2.4	Strmi nasipi	18
5.2.5	Zidovi za zaštitu od buke	18
5.3	Elementi zida za zaštitu od buke	21
5.4	Vrste i kvaliteta materijala	23
5.5	Zvučna izolacija	23
6.	KONTROLA BUKE NA PROMETNICAMA.....	23
6.1	Priprema mjerenja	24
6.2	Dokumenti nakon mjerenja	24
7.	MJERENJE BUKE NA PROMETNICAMA – PRIMJER.....	25
8.	PRIMJERI IZGRAĐENIH ZIDOVA ZA ZAŠTITU OD PROMETNE BUKE	26
9.	TIHI ASFALT	28
10.	ZAKLJUČAK	29
11.	LITERATURA	30
12.	POPIS PRILOGA	31

1. UVOD

Postoje hrvatski i europski propisi kojima je za cilj izbjegavanje, sprječavanje ili smanjivanje štetnih učinaka na zdravlje ljudi koje uzrokuje buka u okolišu.

U Republici hrvatskoj na snazi je od 19.02.2021. godine Zakon o zaštiti od buke (NN 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18, 14/21), a u njemu hrvatsko zakonodavstvo usklađuje propisima Europske unije, tj. preuzima Direktivu 2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 25. lipnja 2002. o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša (SL 189, 18. 7. 2002.).

Zakonom o zaštiti od buke utvrđuju se mjere u cilju izbjegavanja, sprječavanja ili smanjivanja štetnih učinaka na zdravlje ljudi koje uzrokuje buka u okolišu, uključujući smetanje bukom, osobito u vezi s:

- utvrđivanjem izloženosti buci i to izradom karata buke na temelju metoda za ocjenjivanje buke u okolišu,
- osiguravanjem dostupnosti podataka javnosti o buci okoliša,
- izradom i donošenjem akcijskih planova koji se temelje na podacima korištenim u izradi karata buke.

2. BUKA

Buka okoliša jest neželjen ili po ljudsko zdravlje i okoliš štetan zvuk u vanjskome prostoru izazvan ljudskom aktivnošću, uključujući buku koju emitiraju: prijevozna sredstva, cestovni promet, pružni promet, zračni promet, pomorski i riječni promet kao i postrojenja i zahvati za koje se prema posebnim propisima iz područja zaštite okoliša pribavlja rješenje o okolišnoj dozvoli, odnosno rješenje o prihvatljivosti zahvata za okoliš. Buka štetna po zdravlje ljudi jest svaki zvuk koji prekoračuje propisane najviše dopuštene razine s obzirom na vrstu izvora buke, mjesto i vrijeme nastanka.

Izvor buke jest svaki stroj, uređaj, instalacija, postrojenje, tehnološki postupak, cestovni promet, pružni promet, zračni promet, vodni promet, kao i buka industrijskih pogona i postrojenja, elektroakustički uređaj za emitiranje glazbe i govora. Izvorima buke smatraju se i cjeline kao nepokretni i pokretni objekti te otvoreni i zatvoreni prostori za rekreaciju, igru, ples, predstave, koncerte, slušanje glazbe i sl.

Razina buke na novoizgrađenim infrastrukturnim građevinama uzrokovana cestovnim prometom, željezničkim prometom, žičarama i njihovim pratećim podsustavima u naseljima potrebno je projektirati i graditi na način da razina buke ne prelazi:

- razinu buke od 65 dB(A) tijekom vremenskog razdoblja od 7 do 19 sati,
- razinu buke od 65 dB(A) tijekom vremenskog razdoblja od 19 do 23 sati,
- razinu buke od 50 dB(A) tijekom vremenskog razdoblja od 23 do 7 sati,
- ne prelazi cjelodnevnu razinu buke od 66 dB(A).

2.1 Utjecaj buke na čovjeka

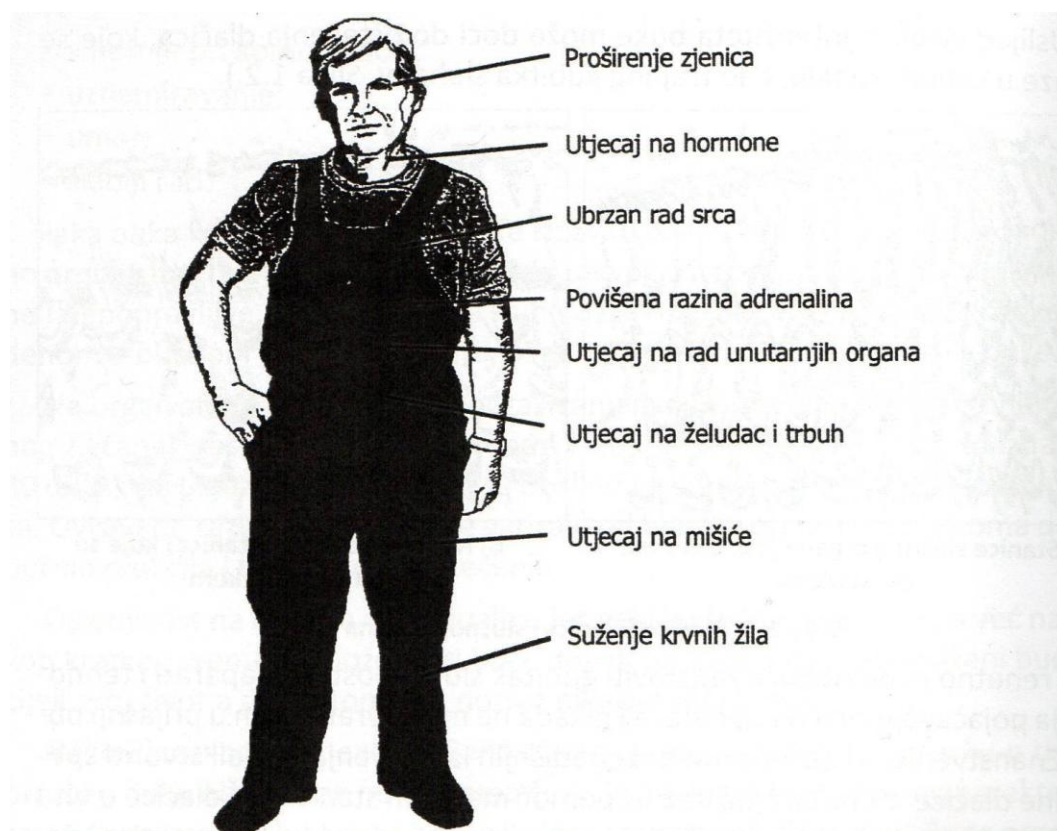
Utjecaj buke na čovjeka može biti izravan i neizravan. Izravan utjecaj buke na čovjeka izaziva posljedice na zdravlje, a to su naglušnost, gluhoća, šumovi u uhu, razni poremećaji vezani za razumijevanje govora i probleme u komunikaciji do smetnji u ravnoteži, nesigurnosti u hodu i zanošenje. Od neizravnih posljedica za zdravlje bitne su neurovegetativne reakcije kao što su hipertenzija, endokrinološki poremećaji i drugi poremećaji metabolizma. Također su neizravne posljedice umor i psihičke reakcije (razdražljivost), te smanjenje radne sposobnost.

Buka također utječe i na ciklus spavanja i dovodi do poremećaja sna - skraćena REM faza. Stariji su ljudi osjetljiviji, dok djeci najmanje smeta buka za vrijeme spavanja. Izloženost buci tijekom spavanja povećava krvni tlak, puls i povećava broj pokreta tijela u snu. Izaziva poremećaj svakidašnjih aktivnosti, a najviše u izvođenju kompleksnih mentalnih aktivnosti. Inducira osjećaj bespomoćnosti, slično kao kod depresivnih pacijenata. Dovodi do povećanja svakodnevnih pogrešaka kod uobičajenih dnevnih radnji, poremećaja u ponašanju zbog otežane komunikacije, povećava agresiju i uzrokuje neželjene promjene ponašanja, a što može dovesti do društvene izolacije, utječe na sposobnost procjenjivanja i integriranja informacija, te stvaranja nerealnih procjena. Buka utječe na razvoj kardiovaskularnih bolesti, promjena krvnog tlaka, frekvencije pulsa i disanja, povećava se razina serumskog kolesterola i lučenje adrenalnih hormona, te stvara povišen rizik za infarkt miokarda. Prag iznad kojeg se javlja viši rizik za infarkt iznosi 60 dB.

Utjecaj kronične izloženosti buci na kognitivne sposobnosti manifestira se u smanjenoj pažnji, poteškoćama u koncentraciji, slabija razumljivost govora, smanjenoj motivaciji, slabijem pamćenju kompleksnih podataka. Izloženost buci može uzrokovati psihičke promjene te povećati broj hospitalizacija i korištenja zdravstvenih usluga. Psihički problemi dodatno povećavaju osjetljivost na buku. Agresivno ponašanje javlja se tek kod buke iznad 80 dB. Djelovanje buke na radni učinak očituje se u povećanom osjećaju sigurnosti što dovodi do većeg broja propusta, smanjenoj pozornosti i propuštanju bitnih informacija te propusta u izvršavanju radnih zadataka.

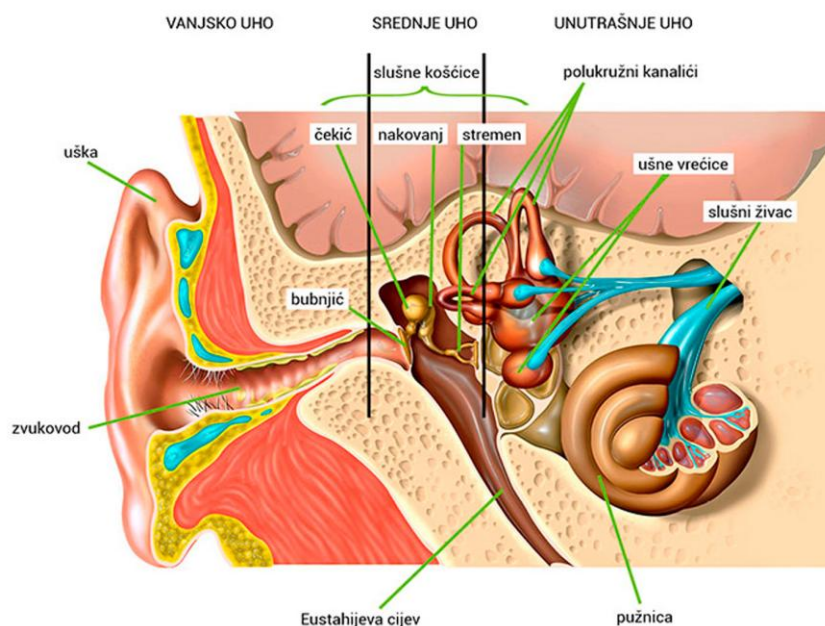
Osjetljivost na buku može biti individualna iz razloga jer neki ljudi dožive oštećenja nakon kratkog vremena izloženosti, dok drugi ljudi mogu biti izloženi buci cijeli svoj život, a da ne dožive nikakva ili mala oštećenja.

Manifestiranje buke na ljudsko fizičko tijelo dati je na Slici 1.



Slika 1 Negativni utjecaj buke na tijelo čovjeka

Organ kojim detektiramo zvuk, a isto tako i buku je ljudsko uho (v. Sliku 2.) Iz slike se vidi kako se uho sastoji od tri dijela, a to su: vanjsko, srednje i unutarnje uho. Zvuk u uho ulazi kroz ušni kanal i preko dlačica, koje se nalaze u unutarnjem uhu, pretvaraju se u signal, a te živčane impulse mozak analizira i dekodira.



Slika 2 Presjek uha

U Tablici 1 nalaze se primjeri vrste zvuka i razine jakosti zvuka izražene u decibelima.

ZVUK	RAZINA JAKOSTI ZVUKA (dB)
Prag čujnosti	0-25
Govor	40
TV	55
Prometna ulica	70
Električna pila	100
Glasna glazba	110
Prag bola	130-140
Polijetanje i slijetanje aviona	140

Tablica 1 Primjeri vrste zvuka i razine jakosti zvuka izražene u dB

3. POJMOVI IZ AKUSTIKE

3.1. Zvuk

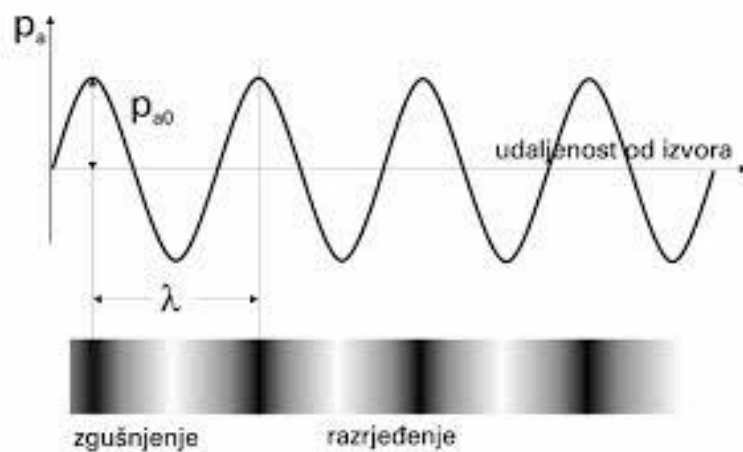
Zvuk je mehanički val frekvencije od 16 Hz do 20 kHz, tj. u rasponu u kojem ga čuje ljudsko uho. Zvuk frekvencije niže od 16 Hz naziva se infrazvukom, zvuk frekvencije više od 20 kHz naziva se ultrazvukom, a ako je frekvencija viša od 1 GHz, naziva se hiperzvukom. Zvuk nastaje periodičnim titranjem izvora zvuka koji u neposrednoj okolini mijenja tlak medija, poremećaj tlaka prenosi se na susjedne čestice medija i tako se širi u obliku longitudinalnih valova u plinovima i tekućinama i longitudinalnih i transverzalnih valova u čvrstim tvarima. Zvuk se širi bez prijenosa mase, ali se zvukom prenose impuls i energija.

Brzina zvuka uglavnom ovisi o gustoći i elastičnim silama u čvrstim tvarima i tekućinama, a u plinovima o gustoći, temperaturi i tlaku. Osim u uobičajenim mjernim jedinicama brzine (m/s, km/h), mjeri se i nenormiranom jedinicom mah (Ma). Kada zrakoplov dosegne brzinu zvuka (oko 343 m/s), tlak se neposredno pred zrakoplovom poremeti, otpor znatno poraste, pa nastaju udarni valovi, koje promatrači na tlu doživljavaju kao prasak (tzv. probijanje zvučnoga zida).

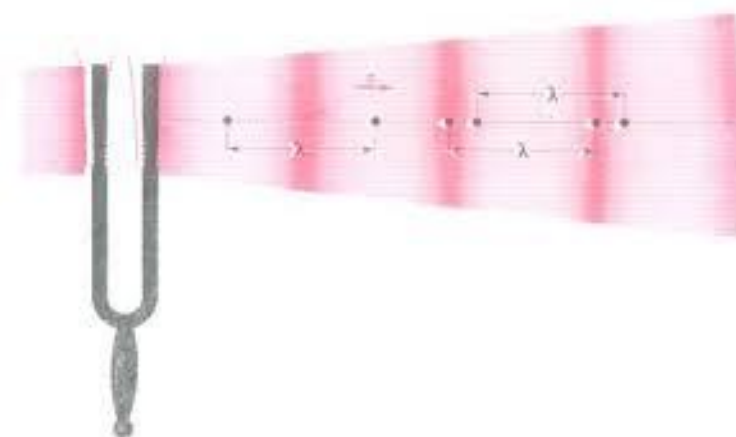
Zvuk opisuju jakost zvuka (W/m^2), razina jakosti zvuka (dB), glasnoća (fon) i razina glasnoće zvuka. Kao i u ostalim vrstama valova, i u širenju zvuka očituju se pojave svojstvene svakom valnom gibanju, kao što su apsorpcija, Dopplerov efekt, interferencija, refrakcija, refleksija, ogib. Na Slici 3 prikazana je osnovna karakteristika širenja zvuka

Najmanja udaljenost između dvije točke istog faznog kuta vala jest valna duljina, označava se sa λ , brzina širenja zvuka se označava sa c , a frekvencija zvuka se označava sa f . Međusobni odnos navedenih karakterističnih veličina dat je jednadžbom

$$c = f \lambda \text{ [m/s]}$$



Slika 3 Osnovna karakteristika širenja zvuka



Slika 4 Glazbena vilica kao izvor zvuka

3.2. Ton

Ton je složeni zvuk koji nastaje pravilnim i periodičnim titranjem zraka. Za razliku od zvuka u užem smislu riječi, ton se drži tradicionalno osnovnim elementom glazbe. Ima četiri bitna obilježja: visinu, trajanje, intenzitet i boju.

Visinu određuje frekvencija titranja izvora tona, trajanje tona ovisi o vremenu titranja, intenzitet ili glasnoća tona ovisi o amplitudi titranja i boja je rezultat međudjelovanja različitih obilježja tona.

3.3. Frekvencija

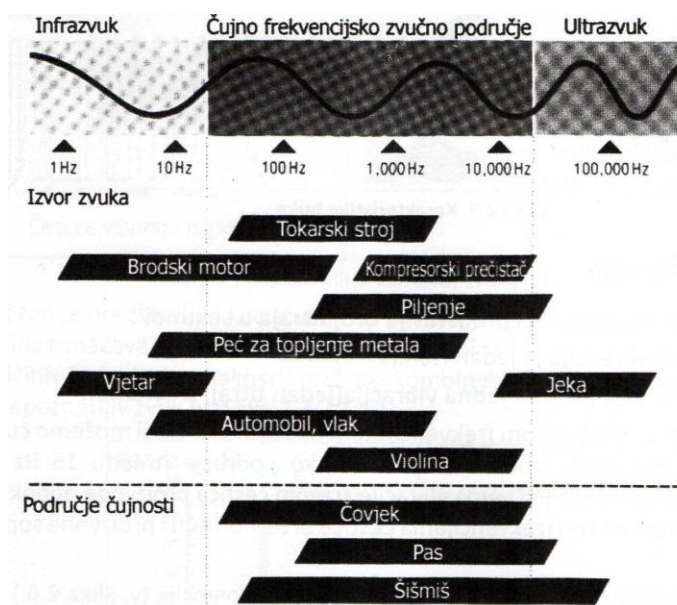
Frekvencija je fizikalna veličina koja iskazuje broj ponavljanja neke periodične pojave u jedinici vremena. Jednaka je recipročnoj vrijednosti trajanja jednog od ponavljajućih događaja, perioda T , tj. $f=1/T$. Mjerna jedinica frekvencije je herc (Hz). Ljudsko je uho osjetljivo za zvuk u rasponu frekvencija od 16 Hz do 20 000 Hz.

3.4. Infrazvuk i ultrazvuk

Infrazvuk je longitudinalni mehanički val s frekvencijom manjom od frekvencije zvuka, tj. manjom od 20 Hz. Puno pojava u prirodi, kao što su potresi praćeni su infrazvukom. Infrazvučni valovi šire se i prilikom rada strojeva i vozila, te pri podzemnim nuklearnim eksplozijama.

Ultrazvuk je longitudinalni mehanički val s frekvencijom većom od granice zvuka, tj. većom 20 000 Hz. U prirodi se ultrazvuk pojavljuje uz zvučne valove, a umjetno se može proizvesti ultrazvučnim generatorima, odnosno pretvaračima drugih oblika energije u energiju ultrazvučnih valova.

Granice čujnog područja zvuka sa karakterističnim primjerima date su na Slici 5.



Slika 5 Granice čujnog područja zvuka zvuka

4. MJERENJE BUKE

Buka je neželjen ili po ljudsko zdravlje i okoliš štetan zvuk izazvan ljudskom aktivnošću, uključujući buku koju emitiraju: prijevozna sredstva, cestovni promet, pružni promet, zračni promet, pomorski i riječni promet kao i postrojenja i zahvati u okolišu. Buka štetna po zdravlje ljudi jest svaki zvuk koji prekoračuje propisane najviše dopuštene razine s obzirom na vrstu izvora buke, mjesto i vrijeme nastanka. Najviše dopuštene razine buke date su u Tablici 2.

Najviše dopuštene razine buke u dB(A):	Zona namijenjena odmoru, oporavku i liječenju	Zona namijenjena samo stanovanju i boravku	Zona mješovite, pretežito stambene namjene	Zona mješovite, pretežito poslovne namjene sa stanovanjem	Zona gospodarske namjene
-za dan	30	35	35	40	40
-za noć	25	25	25	30	30

Tablica 2 Najviše dopuštene razine buke

4.1. Propisi i norme s obveznom primjenom

U Republici Hrvatskoj problematika zaštite od buke regulirana je Zakonom o zaštiti od buke (NN 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18, 14/21), Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (NN 145/04) i Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka (NN 143/21).

Pravilnikom je uvedena obvezna primjena sljedećih normi:

- HRN ISO 1996 -1 -2 –3, Akustika – opis, mjerenje i utvrđivanje buke okoline,
- HRN ISO 9612, Akustika – smjernice za mjerenje i utvrđivanje izloženosti buci u radnoj okolini,
- HRN EN 60804, zvukomjeri s integriranjem i usrednjavanjem.

4.2. Postupci mjerenja buke

Kao što smo već rekli buka je neželjen ili po ljudsko zdravlje i okoliš štetan zvuk, te ju je iz tog razloga potrebno mjeriti, a mjeri se uređajem koji se zove zvukomjer (v. Sliku 6) Svrha mjerenja buke je postizanje pouzdanih, točnih i iscrpnih podataka, koji će stvoriti sliku o situaciji u vezi s bukom.

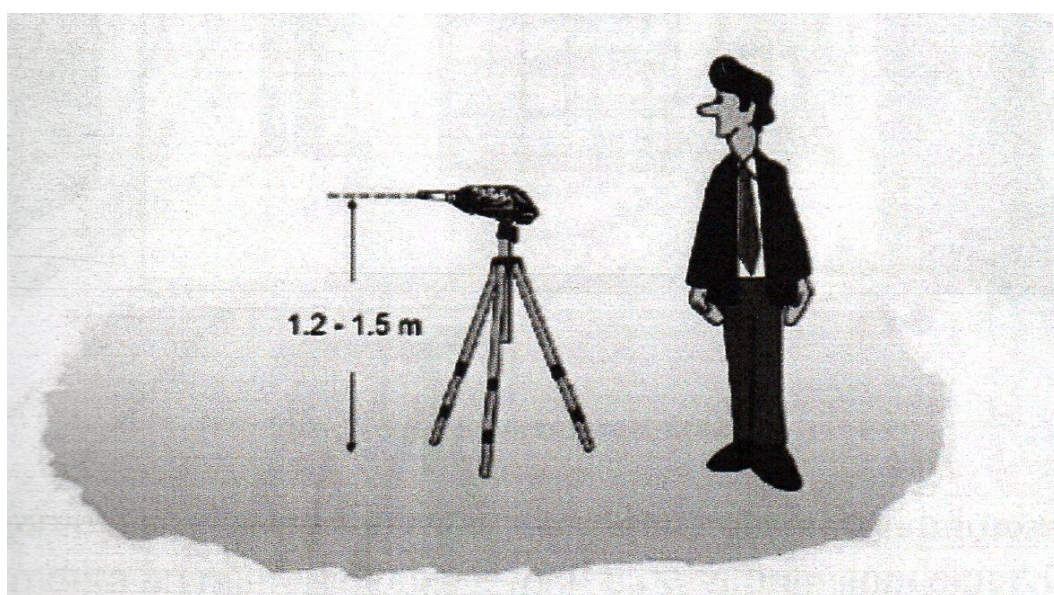
Zvukomjer je uređaj koji simulira ljudski sluh i na taj način predstavlja adekvatne i objektivne vrijednosti. Budući da ljudsko uho registrira razinu zvuka i njegovu frekvenciju, kao i vrijeme trajanja, zvukomjer mora izraziti odgovarajuće vrijednosti.



Slika 6 Zvukomjer

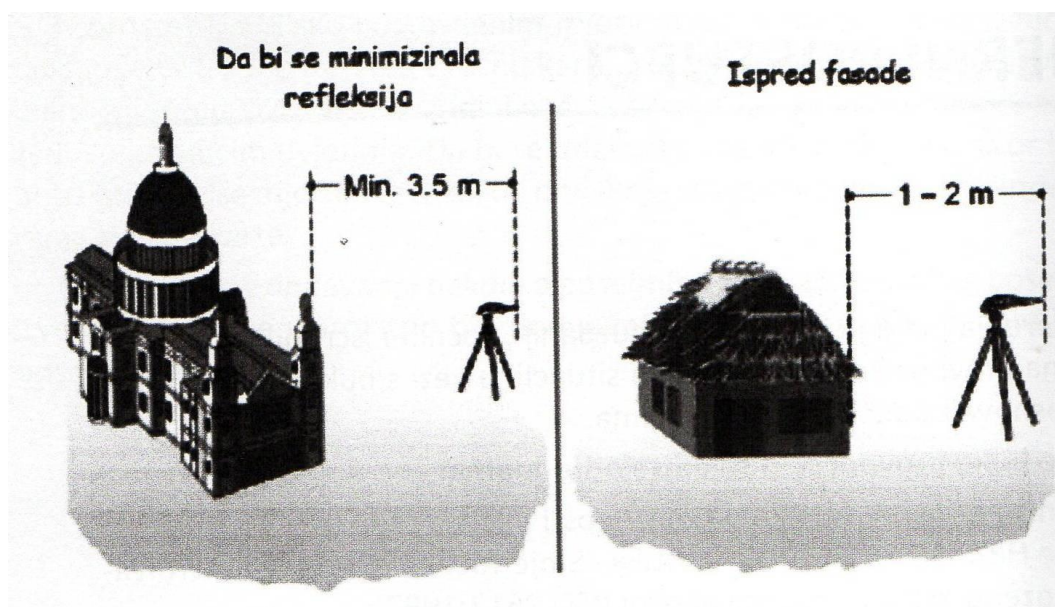
Instrumenti i metode za mjerenje moraju odgovarati normama za mjerne instrumente od strane IEC (Međunarodna elektrotehnička komisija) i ISO (Međunarodna organizacija za normizaciju). IEC prvenstveno razmatra konstrukciju i izradu instrumenata, a ISO tehnike mjerenja, eksperimentalne uvjete, mjerne jedinice i ukupno svođenje rezultata mjerenja.

1. Mikrofon kojim se mjeri mora biti postavljen na stalak na visinu 1,2 - 1,5 m. (v. Slika 7.)



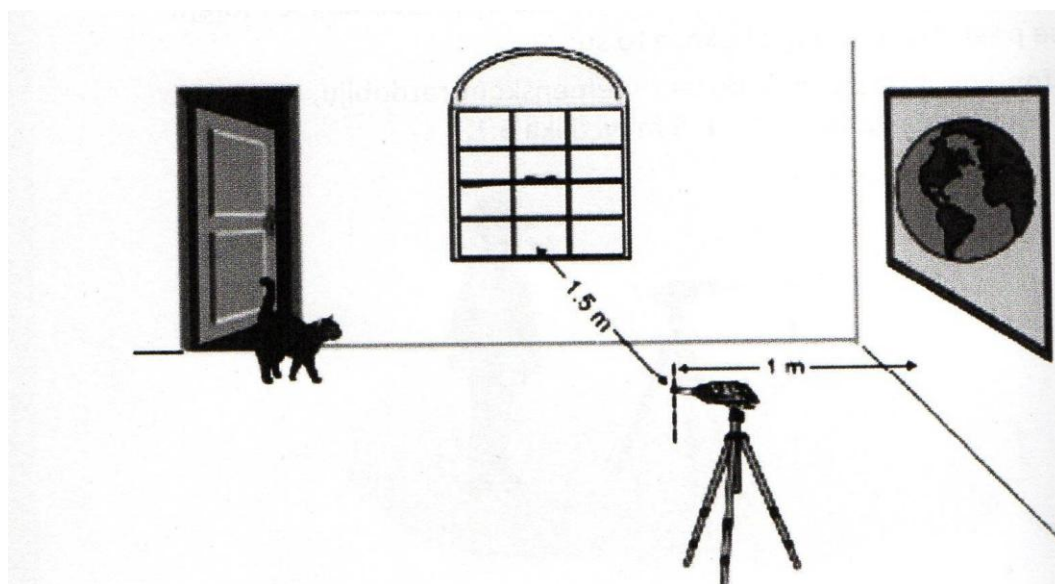
Slika 7 Položaj mikrofona iznad tla

2. Ukoliko se mjerenja vrše na vanjskom prostoru mjerni instrument mora biti odmaknut minimalno 3,5 m od objekta, a 1-2 m ispred fasade objekta (v. Slika 8.)



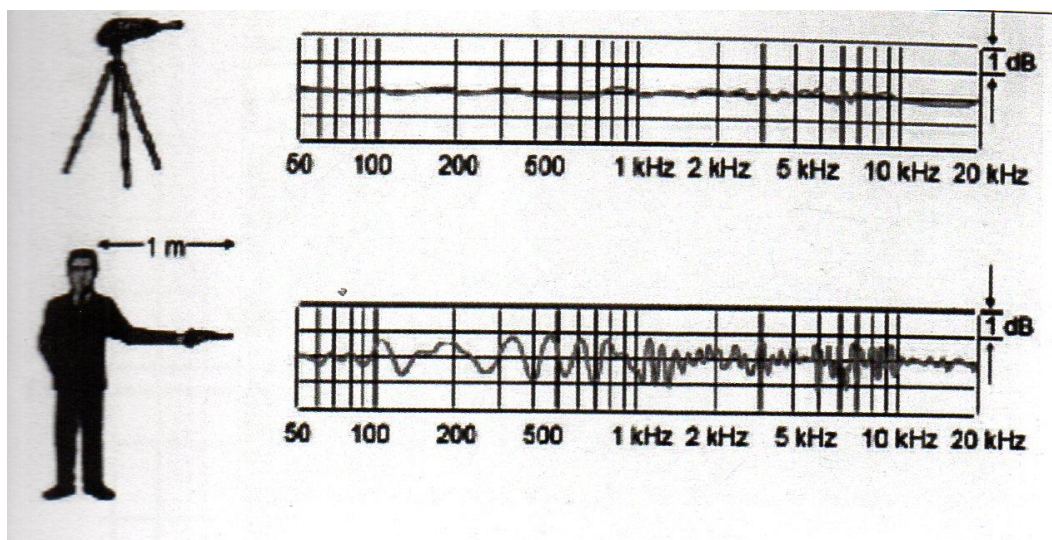
Slika 8 Položaj mikrofona vani

3. Kada se mjerenja rade u zatvorenom prostoru položaj instrumenta se određuje od zida odmaknuto 1 m, a od prozora 1,5 m (v. Slika 9.)



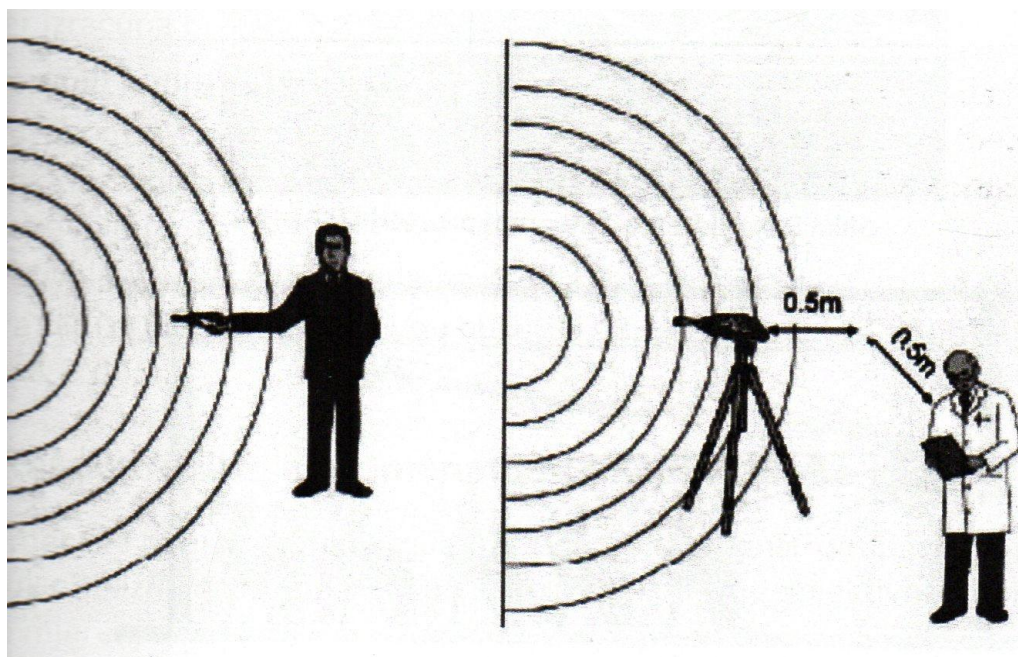
Slika 9 Položaj mikrofona u prostoriji

4. Operater koji mjeri može negativno utjecati na rezultate mjerenja pa se mjerenja rade tako da instrument bude na stalku bez prisutstva operatera (v. Slika 10.)



Slika 10 Utjecaj operatera na mjerenje

5. Poželjan odnos operatera na izvor zvuka (v. Slika 11.)



Slika 11 Položaj operatera

4.3. Karakteristike instrumenata za mjerenje buke

Unutarnji dijelovi zvukomjera uključuju mikrofonski pretpojačalo, kontrolu raspona, vremenski prosjek, indikator razine i razne filtre. Filtri se ponekad nalaze u zasebnom modulu koji se može priključiti na instrument ili su sastavni dio samog instrumenta. Na većini ručnih instrumenata, razine zvuka, odabir filtra vrši se ručno. Napaja se baterijama i sadrži internu obradu koja automatizira mnoge mjerne funkcije. Pojedinačne kontrole variraju od instrumenta do instrumenta. Osnovne kontrole dopuštaju odabir vremenskih ponderiranja - brzo, sporo, impulsno i integrirajuće.

5. ZAŠTITA OD BUKE NA PROMETNICAMA

Ubrzani razvoj društva pogoduje uništenju prirodnog okoliša. Jedna od posljedica toga razvoja je i stvaranje buke u okolišu i mjestima gdje borave ljudi. Preko 80% štetnih zvučnih pojava otpada na buku u prometu kao nusproizvod prometa na prometnicama. Povećanje štetnosti buke nastale prometom pojavila se i potreba za njenim smanjenjem. Glavne smjernice smanjenja buke su:

- planiranje naselja
- planiranje cestogradnje
- odabir materijala koji su najkvalitetniji za izradu prometnica
- reduciranje buke vozila
- izgradnja građevina koje služe za zaštitu od buke.



Slika 12 Suвременa cestovna prometnica

5.1 Definicija i podjela

Uređaji za zaštitu od buke predstavljaju građevinsko-tehničke mjere zaštite, a pomoću kojih se cestovna buka svodi na najmanju moguću mjeru ili se smanjuje na mjeru koja ne prelazi dopuštenu vrijednost zvučne imisije na objektima i šticećenim područjima

Zvučna imisija izražava se A-testiranim u dBA, a određuje se iz zvučne emisije ovisno o uvjetima širenja zvuka, udaljenosti, apsorpciji, zaštiti, refleksiji i duljini promatrane cestovne dionice.

5.2 Građevine za zaštitu od buke

Građevine koje se koriste kod zaštite od buke na prometnicama su:

- Nasadi
- Nasipi za zaštitu od buke (merloni)
- Nasipi za zaštitu od buke s ugrađenim zidom
- Strmi nasipi
- Zidovi za zaštitu od buke.

5.2.1 Nasadi

Nasadima se postiže akustično smanjenje zvučnog opterećenja kada je biljni pojas duži od 50 m. Lišće, debljina lista i orijentacija određuju je li biljka prikladna za zaštitu od buke. Najbolje je lišće što je moguće okruglije, deblje i okomito na buku. Bršljan je izvrsna zvučno izolirana biljka. Redovita rezidba važna je kako bi se dugoročno zadržao učinak apsorpcije zvuka žive ograde. Nepovoljno kada se živica prorijedi, što se lako može dogoditi, posebno u donjem području (v. Slika 13)



Slika 13 Zaštita od buke biljnim nasadom

5.2.2 Nasipi (Merloni)

Nasipi su dugačke i ozelenjene zvučne barijere, a koji su napravljeni od nasipane zemlje. Nagib pokosa nasipa koji gleda na stranu cestovne prometnice mora biti u omjeru 2:3, dok se drugu stranu nasipa treba oblikovati prema terenu. Širina krune nasipa je 1 m.

5.2.3 Nasipi s ugrađenim zidom

Nasipi s ugrađenim zidom predviđeni su u slučaju kada nema dovoljno prostora za zemljani nasip, tzv merlon. Radi izvođenja i održavanja širina krune nasipa mora biti veća od 2 m.

5.2.4 Strmi nasipi

Strmi nasipi moraju imati potporne betonske ili kamene konstrukcije, a koje se potom nasipavaju humusom i ozelenjuju. Takva vrsta nasipa koristi se u uvjetima gdje nema dovoljno mjesta za zemljani nasip

5.2.5 Zidovi za zaštitu od buke

Zidovi za zaštitu od buke postavljaju se na mjesta gdje nema prostora za gradnju zemljanog nasipa ili strmog nasipa, te na mostovima. Prilikom postavljanja treba obratiti pozornost na udaljenost zaštitnog zida od cestovne prometnice kako ne bi utjecao na preglednost iste. Također se treba predvidjeti dovoljno prostora za postavljanje prometne signalizacije kao i djelovanje službi za održavanje prometnica. Ukoliko je zid za zaštitu od buke jako dugačak mora se osigurati potrebne izlaze u slučaju nužde. Zidovi moraju biti otporni na atmosferske prilike i bez obzira o prilikama mora zadržati svojstvo apsorpcije zvuka, a minimalni smanjenje zvučnog opterećenja treba iznositi 20 dB(A). Izvedbenim projektom određuje se estetski izgled zida kako bi se uklopio u krajolik ili naselje (v. Slika 14).

Zidovi za zaštitu od buke izrađuju se od slijedećih materijala:

- aluminijski paneli za zaštitu od buke (v. Slika 15),
- reflektirajući paneli za zaštitu od buke (v. Slika 16),
- transparentni paneli za zaštitu od buke (v. Slika 17),
- drveni paneli za zaštitu od buke (v. Slika 18),
- zidovi za zaštitu od buke izrađeni od armiranih nasipa i gabionskih konstrukcija.



Slika 14 Zid za zaštitu od buke



Slika 15 Aluminijski paneli



Slika 16 Reflektirajući paneli



Slika 17 Transparentni paneli



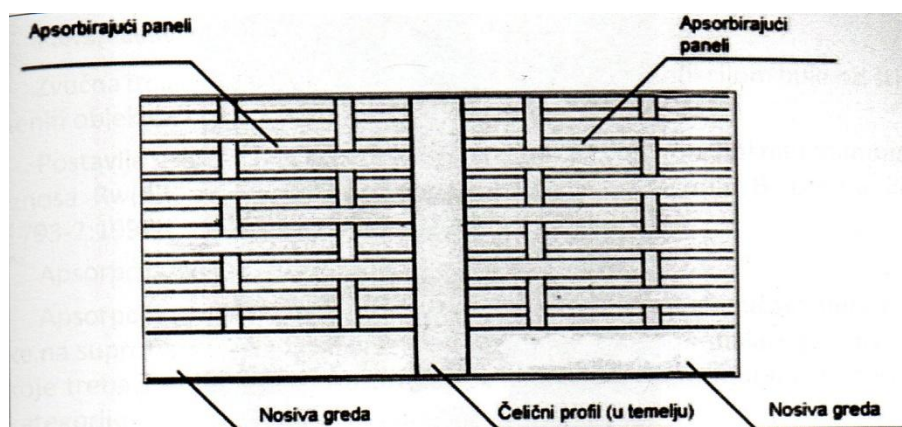
Slika 18 Drveni paneli

Kao što je rečeno zidovi za zaštitu od buke apsorbiraju zvuk, te kao takvi mogu biti jednostrano apsorbirajući (apsorpcija zvuka s jedne strane) i dvostrano apsorbirajući (apsorpcija zvuka s obje strane).

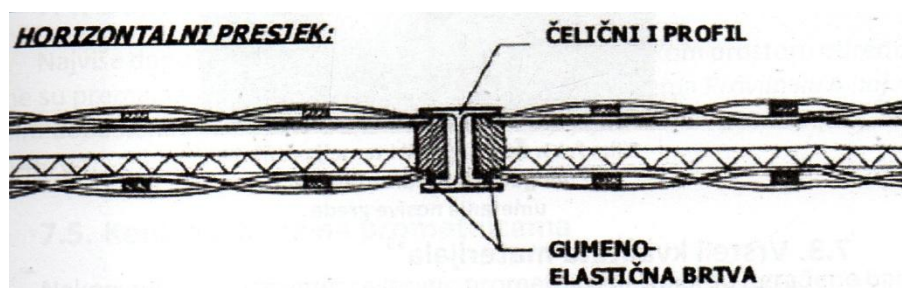
5.3 Elementi zida za zaštitu od buke

Elementi od kojih se sastoji zid za zaštitu od buke su:

- piloti – koševi od armature i čašice temelja pilota od betonskog željeza
- montažni temelji – postavljaju se tamo gdje nema mogućnosti postavljanja pilota,
- montažna nosiva AB greda
- čelični (hea) profili
- apsorbirajući paneli (drvo, aluminij, plastika,...)



Slika 19 Elementi zida



Slika 20 Horizontalni presjek zida



Slika 21 čelični profili i temelji profila

5.4 Vrste i kvaliteta materijala

Materijali za izradu zaštitnih zidova protiv buke podliježu kontroli kvalitete, te se prilikom projektiranja posebno mora obraćati pažnja na uporabu materijala koji su otporni na statičke promjene, atmosferske promjene, udare vjetra i padaline. Barijere moraju biti otporne na mehaničko savijanje na vjetar i slomno opterećenje prema "ZTV-Lsw 88" (njemačko tehničko dopuštenje za akustične barijere) kao i na UV svjetlost, a također moraju biti i modularne kako bi se jednostavno umetnule u nosače. Njihova minimalna trajnost mora biti 10 godina.

5.5 Zvučna izolacija

Zvučna barijera reducira buku, a zvučna izolacija mora biti minimalnoga iznosa R_w (dB) za sve vrste barijera (određena kategorija B. prema EN 1793-2:1997). Apsorpcija zvuka barijera koja ograničava buku prema građevinama koje štiti, određene su kategorijom A (prema EN 1793-1:1997).

6. KONTROLA BUKE NA PROMETNICAMA

Kada se pusti cestovni promet na kojoj su izgrađene barijere za smanjenje buke, mjerenjem buke provjerava se odgovara li realna situacija na terenu projektu. Mjerenja se provode na točkama predviđenim projektom tijekom dnevnog i noćnog razdoblja uz brojanje prometa. Osnovna karakteristika buke na cestama je da se zvuk širi valjkasto (v. Slika 22.).



Slika 22 Valjkasto širenje zvuka

6.1 Priprema mjerenja

Postupak mjerenja buke na prometnicama sastoji se od sljedećih elemenata:

- izbor mjernog instrumenta,
- umjeravanje mjernog instrumenta prije i poslije mjerenja,
- određivanje mjesta na kojima će se izvršiti mjerenja,
- izbor frekvencijskog i vremenskog intervala,
- izradba skica objekta i mjernih mjesta;
- obrasci zapisnika za unošenje podataka o izvoru buke, mjernih mjesta, rezultata mjerenja i dr.

6.2 Dokumenti nakon mjerenja

Nakon izvršenog mjerenja buke sastavljaju se zapis i izvještaj o mjerenju buke.

Zapis je pomoćni dokument koji se izrađuje prilikom mjerenja, na unaprijed pripremljenom obrascu, te se ispunjen čuva u dokumentaciji.

Izvještaj je dokument u koji se unose svi podaci o mjerenju, kao i ocjene rezultata.

7. MJERENJE BUKE NA PROMETNICAMA – PRIMJER

Mjerenje buke u prometu odrađeno je na 42. kilometru autoceste Zagreb – Rijeka, mjesto Vukova Gorica iza barijere za zaštitu od buke. Dobiveni rezultati uneseni su u tablicu koja se sastoji od četiri stupca, redom:

1. mjerenje – stupac se sastoji od 10 provedenih mjerenja na zadanom mjestu. ($n=10$);
2. a_n dB – stupac sa rezultatima svih 10 mjerenja izraženih u decibelima, zadnji red tablice označava sumu svih unesenih vrijednosti $[\Sigma a_n]$;
3. $(\bar{a} - a_n)$ dB - stupac sadrži rezultat srednje vrijednosti od koje je oduzeta izmjerena vrijednost iz prethodnog stupca, izražena u decibelima;
4. $(\bar{a} - a_n)^2$ dB² - stupac sadrži kvadirani rezultat srednje vrijednosti od koje je oduzeta izmjerena vrijednost iz prethodnog stupca, izražene u decibelima na kvadrat, zadnji red tablice označava sumu svih unesenih vrijednosti

$$[\Sigma(\bar{a} - a_n)^2]$$

S tako dobivenim rezultatima u tablici izračunavamo:

- srednju vrijednost (\bar{a}), relativnu promjenu (Δa) i realnu vrijednost (a).

Koristeći rezultate iz tablice uzima se srednja vrijednost: $\bar{a} = \frac{\Sigma a_n}{n}$, gdje je Σa_n , suma svih rezultata mjerenja, a n broj provedenih mjerenja. Relativna promjena Δa može se izračunati po jednadžbi: $\Delta a = \sqrt{\frac{\Sigma(\bar{a} - a_n)}{(n-1) \cdot n}}$. Nadalje se dobiva realna vrijednost dobivena formulom $a = \bar{a} - \Delta a$. Rezultati mjerenja nivoa buke na Zagreb – Rijeka, mjesto Vukova Gorica iza barijere za zaštitu od buke prikazani su u Tablici 2.

Mjerenje	a_n dB	$(\bar{a} - a_n)$ dB	$(\bar{a} - a_n)^2$ dB ²
1	63,2	0,57	0,32
2	61,4	2,37	5,61
3	66,7	-2,93	8,58
4	60,1	3,67	13,46

5	64,7	0,93	0,86
6	61,3	2,47	6,10
7	65,7	-1,93	3,72
8	62,8	0,97	0,94
9	66,3	-2,53	6,40
10	65,5	-1,73	2,99
n=10	$\Sigma a_n=637,7$		$\Sigma(\bar{a} - a_n)^2 = 48,98$

Tablica 3 Rezultati mjerenja nivoa buke na autocesti Zagreb – Rijeka, mjesto Vukova Gorica

$$\bar{a} = \frac{\Sigma a_n}{n} = 63,77 \text{ dB}; \Delta a = \sqrt{\frac{\Sigma(\bar{a} - a_n)^2}{(n-1) \cdot n}} = \sqrt{\frac{48,98}{90}} = 0,73 \text{ dB}$$

$$a = \bar{a} \pm \Delta a = (63,7 \pm 0,7) \text{ dB}$$

8. PRIMJERI IZGRAĐENIH ZIDOVA ZA ZAŠTITU OD PROMETNE BUKE

Postoji puno izgrađenih zidova za zaštitu od buke na prometnicama. Jedan od najkvalitetnijih zidova za zaštitu od buke nalazi se na riječkoj obilaznici, a interesantan je iz razloga jer se nalazi na prometnici koja prolazi u neposrednoj blizini naselja i stambenih zgrada, a dužine je 11,50 km. Također se prilikom izrade projekta zaštite od buke došlo na ideju kako zidovi, osim zaštite od buke mogu imati još jednu ulogu, a to je proizvodnja električne energije. Tako je napravljen 352 m dug lažni tunel kojeg čine bokobrani sa solarnim panelima, a koji godišnje mogu proizvesti 17 MWh električne energije.



Slika 23 Riječka obilaznica



Slika 24 Solarna elektrana na riječkoj obilaznici ujedno i zid za zaštitu od buke

9. TIHI ASFALT

Istraživanja su pokazala da korištenje tihog asfalta smanjuje razinu buke od 4.1 do 5.5 dB. Ukoliko je cesta mokra, povećava se i buka za oko 0.6 dB, a što kod tihog asfalta nije slučaj zbog njegove sposobnosti površinske apsorpcije vlage, glatkoći, elastičnosti i protukliznim svojstvima. Njegova elastična membrana osigurava izolaciju od prodora vode u dublje slojeve i odvodnju površinske vode te iz tog razloga iza vozila za vrijeme vožnje nema prskanja vode. Tihi asfalt ima duži vijek trajanja, te se može u potpunosti reciklirati, čime je i ekološki proizvod.

Tihi asfalt je u Europi prvi put korišten 1981. godine i to u Belgiji, a s vremenom je postao sve važnija komponenta u Europskoj prometnoj mreži s ciljem daljnje implementacije na što više gradskih cestovnih površina i autocesta.



Slika 25 Tihi asfalt

10. ZAKLJUČAK

Buka je neželjen i po ljudsko zdravlje i okoliš štetan zvuk izazvan ljudskom aktivnošću, uključujući buku koju emitiraju: prijevozna sredstva, cestovni promet, pružni promet, zračni promet, pomorski i riječni promet kao i postrojenja. Buku nije moguće izbjeći, ali ju je moguće izolirati uporabom zaštitnih sredstava i tehnologije.

Kako bi se zaštitilo ljudsko zdravlje i nepovoljni učinak na okoliš, buka se redovito mjeri, te se protiv nje „bori“ postavljanjem uređaja za zaštitu od buke, te izgradnjom različitih građevina u koje spadaju nasadi, nasipi i zidovi.

Razvojem tehnologije i uvođenjem tihog asfalta buka se dodatno može smanjiti za do 5,5 dB, ali zbog cijene koja je ponekad i do 20% viša od konvencionalnog asfalta, njegova implementacija nije u strogoj primjeni, što bi se s vremenom moglo promijeniti zbog njegove mogućnosti recikliranja i ponovnog korištenja čime bi se smanjili štetni utjecaji za okoliš.

11. LITERATURA

- [1] prof.dr.sc. Nikola Trbojević OSNOVE ZAŠTITE OD BUKE I VIBRACIJA
- [2] prof.dr.sc.Jovan Vučinić OSOBNA ZAŠTITNA SREDSTVA I OPREMA
- [3] Internet stranica „Prometna Signalizacija.com“ <https://www.prometna-signalizacija.com/oprema-cestez/zastita-od-buke/>
- [5] Internet stranica „e-student.fpz.hr“ https://e-student.fpz.hr/Predmeti/E/Ekologija_u_prometu/Materijali/Nastava_cestovni_promet_3.pdf
- [6] Internet stranica Mjere za smanjenje buke od prometa u urbanim sredinama <https://hrcak.srce.hr/file/14376>
- [7] DIREKTIVA 2002/49/EZ Europskog parlamenta i vijeća <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=EL>
- [8] Zakon o zaštiti od buke <https://zakon.hr/z/125/Zakon-o-za%C5%A1titi-od-buke>
- [9] Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_12_143_2454.html
- [10] Hrvatska enciklopedija <https://www.enciklopedija.hr/>
- [11] Internet stranica <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/sound-level-meter>
- [12] Internet stranica <https://hr.home-journal.net/7385313-how-can-an-effective-noise-protection-be-planted>
- [13] Akcijski plan upravljanja bukom okoliša dionica županijskih cesta splitsko-dalmatinske županije <http://www.zuc-split.hr/wp-content/uploads/2019/07/zo-aku-00006-19-akcijski-plan-upravljanja-bukom-okoli%C5%A1a-%C5%Bduc-st.pdf>

12. POPIS PRILOGA

Popis slika

Slika 1 Negativni utjecaj buke na tijelo čovjeka	4
Slika 2 Presjek uha	5
Slika 3 Osnovna karakteristika širenja zvuka	7
Slika 4 Glazbena vilica kao izvor zvuka	7
Slika 5 Granice čujnog područja zvuka	8
Slika 6 Zvukomjer	10
Slika 7 Položaj mikrofona iznad tla.....	11
Slika 8 Položaj mikrofona vani	12
Slika 9 Položaj mikrofona u prostoriji.....	12
Slika 10 Utjecaj operatera na mjerenje.....	13
Slika 11 Položaj operatera.....	13
Slika 12 Suvremena cestovna prometnica	15
Slika 13 Zaštita od buke biljnim nasadom	17
Slika 14 Zid za zaštitu od buke	19
Slika 15 Aluminijski paneli.....	19
Slika 16 Reflektirajući paneli	20
Slika 17 Transparentni paneli.....	20
Slika 18 Drveni paneli.....	21
Slika 19 Elementi zida	22
Slika 20 Horizontalni presjek zida	22
Slika 21 čelični profili i temelji profila	22
Slika 22 Valjkasto širenje zvuka.....	24
Slika 23 Riječka obilaznica.....	27
Slika 24 Solarna elektrana na riječkoj obilaznici ujedno i zid za zaštitu od buke	27
Slika 25 Tih asphalt	28

Popis tablica

Tablica 1 Primjeri vrste zvuka i razine jakosti zvuka izražene u dB.....	5
Tablica 2 Najviše dopuštene razine buke	9
Tablica 3 Rezultati mjerenja nivoa buke na autocesti Zagreb – Rijeka, mjesto Vukova Gorica	26