

Mjerenje i zaštita od buke u proizvodnom industrijskom procesu

Ivančić, Dean

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:048663>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Tehnički fakultet u Puli



Dean Ivančić

Mjerenje i zaštita od buke u proizvodnom industrijskom procesu

Diplomski rad

Pula, travanj, 2023.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Tehnički fakultet u Puli



Dean Ivančić

Mjerenje i zaštita od buke u proizvodnom industrijskom procesu

Diplomski rad

JMBAG: 0115075208, redovan student

Studijski smjer: Strojarnstvo

Predmet: Toplinski strojevi

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Strojarnstvo

Znanstvena grana: Strojarnstvo

Mentor: doc. dr. sc. Igor Kegalj, dipl. ing.

Pula, travanj, 2023.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru, doc. dr. sc. Igoru Kegalju, dipl. ing. na pomoći i smjernicama te uputama pri izradi ovoga rada. Zahvaljujem se Andrei Človeku, dipl. ing., koji mi je pomogao sa praktičnim znanjem i iskustvom. Zahvaljujem se mr. sc. Božidaru Radanoviću, dipl. ing. el., na pomoći i usmjerenju prema teorijskom dijelu rada. Zahvaljujem se Damiru Šlipogoru iz Tvornice stakla Pula pri pomoći sa dobivanjem podataka iz tvornice. Zahvaljujem se Danielu Macuki iz Tvornice duhana Rovinj na pomoći za dobivanje podataka iz tvornice. Zahvaljujem se Sergiu Červaru iz TUBUS-a na pomoći pri dobivanju podataka iz tvornice.

Na posljetku bi se zahvalio mojoj obitelji i prijateljima pri pružanju podrške za vrijeme studiranja.

doc. dr. sc. Igor Kegali, dipl. ing
(Ime i prezime nastavnika)

Toplinski strojevi
(Predmet)



Tehnički fakultet u Puli

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

TEHNIČKI FAKULTET U PULI

**MJERENJE I ZAŠTITA OD BUKE U PROIZVODNOM
INDUSTRIJSKOM PROCESU**

Pristupniku/ci

Deanu Ivančiću

MBS: 0115075208

Studentu/ci stručnog studija Tehničkog fakulteta u Puli izdaje se zadatak za diplomski rad – tema diplomskog rada pod nazivom:

Mjerenje i zaštita od buke u proizvodnom industrijskom procesu

Sadržaj zadatka: Napisati osnovnu hipotezu, predmet i problem istraživanja te sukladno odabranoj hipotezi postaviti ciljeve istraživanja. Koristiti metodologiju koja je znanstvena kako bi se osigurala ponovljivost rezultata. Posložiti poglavlja koja odgovaraju postavljenim ciljevima. Donijeti zaključak u kojemu se odražavaju bitne spoznaje u radu i kritički osvrt autora.

Rad obraditi sukladno odredbama Pravilnika o diplomskom radu Sveučilišta u Puli.

Redovni ili izvanredni Strojstvo

Datum:

Potpis nastavnika _____

Potpis nastavnika _____



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Dean Ivančić kandidat za magistar inženjer / magistra inženjerka strojarstva ovime izjavljujem da je ovaj diplomski rad rezultat isključivo mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio diplomskog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

U Puli, travanj, 2023. godine



IZJAVA
o korištenju autorskog djela

Ja, Dean Ivančić dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj diplomski rad pod nazivom „Mjerenje i zaštita od buke u industrijskom proizvodnom procesu“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 23.04.2023.

Student

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Problem i predmet istraživanja.....	1
1.2. Hipoteza.....	2
1.3. Ciljevi	2
2. POJMOVI IZ AKUSTIKE	3
2.1. Zvuk	3
2.2. Buka.....	3
2.3. Zvučni tlak.....	4
2.4. Zvučna jakost.....	6
2.5. Zvučna snaga izvora	7
2.6. Decibel	8
3. UHO I SLUŠNI PROCES	10
3.1. Građa uha	10
3.2. Prag čujnosti	12
3.3. Maskiranje zvuka	12
3.4. Učinci buke na zdravlje	13
4. ZAKONSKE ODREDBE I MJERE ZAŠTITE OD BUKE	18
4.1. Načela zaštite	20
4.2. Osobna zaštita oprema	24
5. MJERENJE BUKE.....	26
5.1. Ekvivalentna razina buke	27
5.2. Zvukomjer i zapis o mjerenju buke.....	28
5.3. Načini mjerenja buke.....	32
5.4. Mogući izvori buke	36
6. OPIS I REZULTAT MJERENJA	40
6.1. Tvornica stakla Pula.....	40
6.2. Tvornica duhana Rovinj	44
6.3. TUBUS.....	62
7. ZAKLJUČAK.....	69
8. LITERATURA	72

1. UVOD

Proizvodni industrijski procesi predstavljaju izrazito bučno okruženje. Izvori buke su različiti, a nastaju radom strojeva, obradom materijala do kretanja transportnih vozila unutar hala. Buka ima vrlo negativan utjecaj na čovjeka, a pogotovo na njegove radne sposobnosti u procesu proizvodnje gdje postoje stalni izvori buke.

Buka djeluje ometajuće na rad i odvlači pozornost od rada za koji je potrebna povećana koncentracija. Buka utječe na komfor radnika, njegovo zadovoljstvo i produktivnost, te ima nekoliko nepoželjnih efekata na ljude. Sa fiziološke strane to su oštećenja ili gubitak sluha, doksa psihološke strane može doći do problema u govornoj komunikaciji, smanjenju produktivnosti i nervoze. Jaka buka ili dugi boravak u vrlo bučnim prostorijama uzrokuju trajna oštećenja sluha.

1.1. Problem i predmet istraživanja

Problem koji se javlja s bukom je taj da djeluje negativno po zdravlje osoba koje se nalaze u neposrednoj blizini izvora buke. Djeluje negativno i na zdravlje i na učinkovitost osobe koja obavlja posao, a izložena je povišenoj buci. Da bi se spriječili negativni efekti i učinci buke na zdravlje radnika, bitno je u fazi planiranja i projektiranja tvornice, hale ili proizvodnog procesa obratiti pozornost da se izvori buke koja potiče od strojeva, instalacija i postrojenja unutar tvornice smanji što je više moguće. Visoke razine buke prisutne su u mnogim dijelovima industrije, posebno u onim tvornicama koje imaju strojeve, preše, kompresore itd. Kod radnika može nastati oštećenje sluha, u nekim slučajevima trajno, ako su razine buke previsoke. Većina ljudi buku definira kao neželjeni ili neugodan zvuk. Ona može uzrokovati stres i ometati koncentraciju, može pridonijeti nesrećama jer se uzvici i signali upozorenja možda neće moći čuti. Kod radnika izloženih visokim razinama buke i koji pate od gubitak sluha uzrokovanog bukom, može dovesti do niza društvenih problema.

Kako se tehnologija razvija, tako i materijali koji suzbijaju buku postaju sve bolji i napredniji, tehnološki učinkovitiji, stoga se oni mogu koristiti da se zaštiti radnika od neželjene buke. Time se stvara ugodna i zdrava radna atmosfera. Prema Pravilniku o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu NN 46/08 propisane su vrijednosti izloženosti tijekom osmosatnog radnog dana, kao i načini zaštite od buke, te mjere kojima bi se uklonila ili smanjila izloženost istoj.

1.2. Hipoteza

U ovome će se radu ispitati i izmjeriti buka u industrijskom proizvodnom procesu u nekoliko tvornica i hala gdje će se mjeriti razina buke za vrijeme rada strojeva koji su uključeni u proizvodni proces. Mjerit će se buka na mjestima gdje dolazi do povećane razine buke te će se proučiti i ispitati korišteni materijali koji služe za smanjenje buke kako bi se ustanovila njihova učinkovitost. Izmjerene razine buke će se usporediti sa dopuštenim razinama prema važećim propisima kako bi se vidjelo jesu li ispoštovani uvjeti o razini buke te ukoliko nisu, odnosno ukoliko su razine buke iznad dozvoljenih, predložit će se moguće promjene i poboljšanja zaštite od buke kako bi se omogućila zaštita radnika i kako bi se buka svela unutar dopuštenih zakonskih granica.

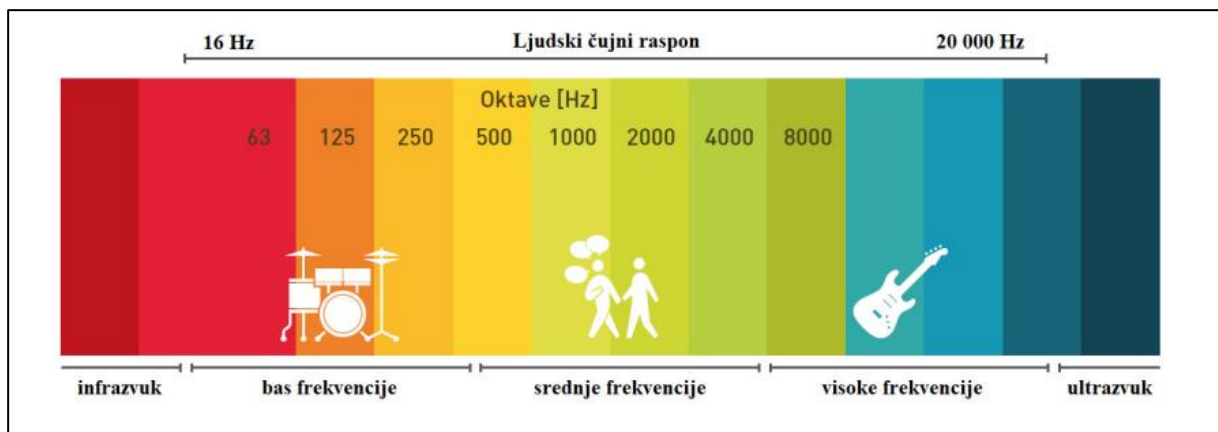
1.3. Ciljevi

Cilj ovog rada je izvršiti ispitivanje buke u različitim proizvodnim procesima, napraviti ispitivanje o štetnim učincima i kontroli buke pri radu strojeva u proizvodnim procesima. U ovom radu, kroz istraživanje, analizirat će se štetnost buke i mogućnosti sprječavanja problema koji nastaju prilikom rada pogona te potencijalno mogu škoditi ljudima koji sudjeluju u procesu izrade. Biti će objašnjeno što je zvuk, a što buka te će oni biti opisani. Izvršit će se mjerenje buke u više industrijskih pogona te će biti uspoređeni sa zakonskom regulativom. Ukoliko izmjerene razine buke odstupaju od dozvoljenih, zakonski propisanih razina buke, predložit će se moguća poboljšanja u vidu i cilju smanjenja buke na radnom mjestu i osiguranja zdravstvene zaštite radnika.

2. POJMOVI IZ AKUSTIKE

2.1. Zvuk

Zvuk se općenito definira kao titranje čestica koje se u obliku zvučnih valova šire u elastičnom mediju - zraku, čvrstoj strukturi i tekućini - i pri tome izaziva određeni izmjenični tlak u mediju. U užem smislu pod zvukom se razumijeva zvuk u zraku koji se osjeti sluhom. Subjektivna se definicija odnosi na čujni zvuk koji se definira dvojako i kao zvučno titranje koje može pobuditi osjet zvuka i osjet zvuka pobuđen zvučnim titranjem. Zvuk u zraku širi se u obliku longitudinalnog vala, a njegova frekvencija se nalazi u rasponu od 16 Hz do 20 kHz. Zvuk ispod 16 Hz naziva se infrazvuk, dok se zvuk iznad 20 kHz naziva ultrazvuk. Na nižim frekvencijama vibracije zračnih čestica proizvode duboke tonove, dok na višim frekvencijama proizvode visoke tonove. Ljudsko uho ne može čuti ni infrazvuk ni ultrazvuk (Radanović, 1999.). Na slici jedan prikazan je ljudski čujni raspon frekvencija sa prikazima stvari koje emitiraju te frekvencije.



Slika 1. Raspon frekvencija (izvor: katalog Rockwool zvučna izolacija)

2.2. Buka

Buka se definira kao neželjeni zvuk, odnosno kao svaki štetni i neugodni zvuk koji ometa čovjekov rad i odmor, ugrožava sigurnost i oštećuje ljudsko zdravlje. Buka kao fizikalna pojava najčešće je nepravilan ili slučajan zvuk.

Porijeklo buke možemo svrstati u dvije kategorije, industrijsku buku i buku okoliša. Industrijsku buku proizvode strojevi i radni procesi u industriji. Svjetska zdravstvena organizacija propisala je, nakon velikog broja mjerenja i provedenih istraživanja, gornju granicu buke koja pri osmosatnom radu ne šteti radniku, a ona iznosi 75 dB[A]. Svaka razina buke iznad ove propisane granice uvelike povećava mogućnost oštećenja sluha i zdravlja radnika (Trbojević, 2011.)

Buka se prema načinu širenja može podijeliti na strukturnu i zračnu, prema mjestu izvora na vanjsku i unutarnju, te prema načinu djelovanja na isprekidanu ili kontinuiranu (Bošnjaković, 1981.)

Izloženost jakoj buci kroz duže vremensko razdoblje može izazvati trajno, nepopravljivo oštećenje sluha. Pomoć koja se može ponuditi u slučaju teške povrede sluha jesu aparatići za sluh koji amplificiraju zvučne signale i time osobi pojačavaju glasnoću koja do njih dopire, ali sluh se nikada ne može vratiti u prethodno, zdravo stanje. Buka također utječe na cirkulaciju krvi, što izaziva umor i osjećaj uznemirenosti, a to je vrlo opasno u proizvodnom procesu jer se osoba zaposlena na stroju ne može fokusirati na rad. To uvelike povećava rizik od ozljeda na poslu. Zadaća je i obaveza radnika da posao koji mu je povjeren obavlja točno i precizno, a ukoliko mu buka na radnom mjestu to onemogućava, on svoj posao neće moći obaviti kvalitetno (Ingemansson, 1995.)

Izvor buke može biti stroj, njegova instalacija, postrojenje, sredstva za rad i transport unutar tvornice, bučna aktivnost ostalih radnika u tvornici te ostale radnje od kojih se zvuk širi. Vanjski izvori buke mogu biti industrija, promet, javni i građevinski radovi koji se odvijaju. Promet je jedan od najvećih uzročnika vanjske buke koji čini otprilike 80 posto buke u urbanim sredinama (Ingemansson, 1995.).

2.3. Zvučni tlak

Osnovna fizikalna veličina kod zvuka je zvučni tlak p , a izražava se u paskalima, Pa. To je izmjenični zvučni tlak uzrokovan nekim poremećajem u mediju koji se pri širenju zvučnih valova superponira postojećemu statičkom tlaku, tj. atmosferskom tlaku u

zraku. Referentni zvučni tlak je najmanji zvučni tlak koji ljudsko uho može zamijetiti, a iznosi 0,00002 Pa. Najveći zvučni tlak kojega ljudsko uho može podnijeti je milijun puta veći od referentnoga, odnosno 20 Pa (Radanović, 1999.)

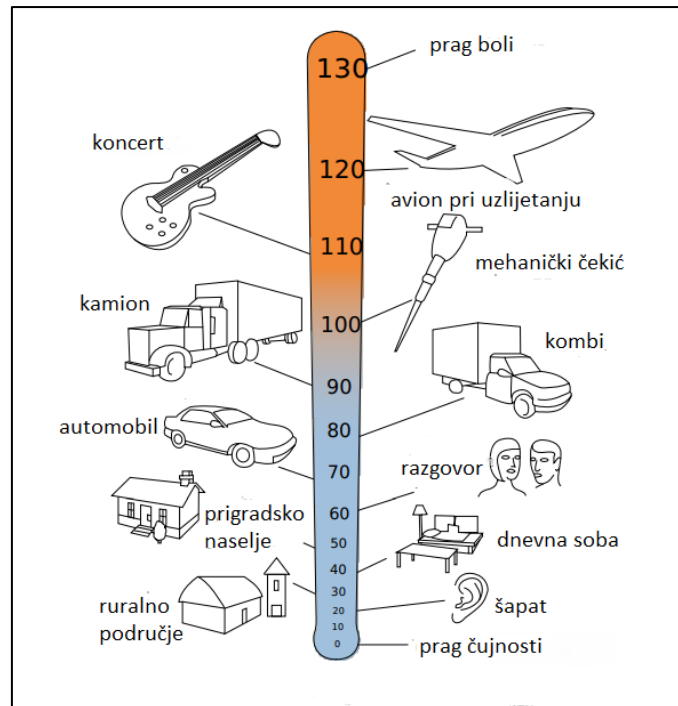
Uho reagira na zvučni tlak. Zvučni valovi predstavljaju malene oscilacije tlaka malo iznad i ispod atmosferskog tlaka. Ove oscilacije tlaka udaraju u uho i čuje se zvuk (Guyer, 2009.).

Zvučni tlak p kao izmjenična veličina izražava se dvjema glavnim veličinama s obzirom na njegovu vremensku ovisnost, a to su efektivna vrijednost trenutnoga zvučnog tlaka (*Root Mean Square* – RMS) kao kvadratna (energijska) srednja vrijednost zvučnoga tlaka u određenom vremenskom intervalu i vršna vrijednost zvučnoga tlaka p_{peak} kao najveća apsolutna vrijednost trenutnoga zvučnog tlaka u određenom vremenskom intervalu (Trbojević, 2011.)

Zvučni tlak opisuje zvučno polje, stoga je kvadrat zvučnog tlaka proporcionalan zvučnoj energiji, što se može napisati kao:

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0} \text{ [dB]} \quad (1)$$

gdje je p promatrani zvučni tlak, p_0 referentni zvučni tlak, a dB je mjerna jedinica decibel koja opisuje logaritam odnosa dvaju intenziteta (Radanović, 1999.). Slika dva prikazuje razine zvučnog tlaka u decibelima koju proizvode svakodnevne poznate stvari i vozila.



Slika 2. Prikaz razine decibela (izvor: Sound pressure measurement Dewesoft)

2.4. Zvučna jakost

Zvučna jakost I je količina zvučne energije koju zvučni val prenese u jednoj sekundi kroz plohu površine 1 m^2 . Razina zvučne jakosti L_I računa se po sljedećoj formuli:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ [dB]} \quad (2)$$

gdje je $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 = 1 \text{ pW/m}^2$ referentna zvučna jakost.

Referentna zvučna jakost dobiva se dijeljenjem referentnog zvučnog tlaka sa umnoškom gustoće zraka i brzine zvuka, a ona iznosi $9,76 \times 10^{-13}$ što je približno 10^{-12} W/m^2 (Trbojević, 2011.).

Zvučna jakost je zvučna snaga po jedinici površine. Zvučna jakost, poput zvučne snage, nije čujna. Zvučna jakost je ono što izravno povezuje zvučnu snagu i zvučni tlak. Strogo govoreći, Zvučna jakost je prosječni protok zvučne energije kroz jedinicu površine u zvučnom polju. Također, to je vektorska veličina jer ima veličinu i smjer. Kao i snaga zvuka, Zvučna jakost nije izravno mjerljiva, nego se može dobiti iz mjerenja zvučnog tlaka (Guyer, 2009.).

2.5. Zvučna snaga izvora

Zvučna snaga izvora W (u W) jest sva zvučna energija koju zrači izvor zvuka u okolni prostor. Razina zvučne snage L_W jednaka je:

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} [dB] \quad (3)$$

gdje su W zvučna snaga izvora i $W_0 = 10^{-12} \text{ W} = 1 \text{ pW}$ referentna zvučna snaga.

Razina zvučne snage je apsolutna mjera količine akustičke energije koju proizvodi izvor zvuka. Snaga zvuka nije čujna kao zvučni tlak, međutim oni su povezani. Način na koji se zvučna snaga zrači i distribuira određuje razinu zvučnog tlaka na određenom mjestu. Razina zvučne snage, kada je ispravno određena, pokazatelj je zvuka koji zrači izvor i neovisna je o prostoriji u kojoj se nalazi izvor. Podaci o razini zvučne snage mogu se koristiti za točniju usporedbu dostavljenih podataka o zvuku i za procjenu razina zvučnog tlaka za različite uvjete u prostoriji. Stoga postoji tehnička potreba za podacima o razini zvučne snage (Guyer, 2009.).

Postoje dva značajna ograničenja u vezi s podacima o razini zvučne snage, a to su da se zvučna snaga ne može izravno mjeriti, već se izračunava iz podataka o razini zvučnog tlaka i karakteristike usmjerenosti izvora nisu nužno određene kada se dobiju podaci o razini zvučne snage.

Pod prvim od ovih ograničenja moguća su točna mjerenja i izračuni, ali unatoč tome ne postoji jednostavan mjerni instrument koji izravno očitava vrijednost razine zvučne snage. Postupci uključuju ili usporedna mjerenja razine zvučnog tlaka između takozvanog standardnog izvora zvuka i izvora koji se ispituje ili vrlo pažljive akustičke kvalifikacije ispitne sobe u kojoj su razine zvučnog tlaka izvora izmjerene. Svaki od ovih postupaka može biti složen i zahtijeva kvalitetnu opremu i stručno osoblje. Međutim, kada se mjerenja provode ispravno, dobiveni podaci o razini zvučne snage općenito su pouzdaniji od većine uobičajenih podataka o razini zvučnog tlaka (Guyer, 2009.).

Tehnički gledano, mjerenje razine zvučne snage uzima u obzir činjenicu da različite količine zvuka zrače u različitim smjerovima od izvora, ali kada se mjerenja provode u

reverberantnoj ili polureverberantnoj prostoriji, stvarni uzorak usmjerenosti emitiranog zvuka nije dobiven. Reverberantna prostorija je dizajnirana za stvaranje difuznog ili nasumičnog zvučnog polja, odnosno sa ravnomjernom raspodjelom akustične energije i nasumičnim smjerom upadanja zvuka tijekom kratkog vremenskog razdoblja. Ako se žele podaci o usmjerenosti, mjerenja se moraju provesti ili na otvorenom, ili u prostoriji bez jeke za ispitivanje gdje reflektirani zvuk ne može iskriviti uzorak zvučnog zračenja, ili u nekim slučajevima korištenjem tehnika mjerenja intenziteta zvuka. Ovo se ograničenje odnosi jednako na mjerenja zvučnog tlaka i zvučne snage (Guyer, 2009.).

2.6. Decibel

Za prikazivanje akustičkih veličina umjesto linearne uvedena je logaritamska ljestvica. Jedan razlog za primjenu logaritamske ljestvice jest što ljudsko uho registrira vrlo veliko područje zvučnih tlakova. Drugi je razlog taj što su važna svojstva sluha, kao i ostalih osjeta, vezana upravo za logaritamski odnos. Tako su umjesto samih fizikalnih veličina uvedene razine tih veličina (Radanović, 1999.).

U akustici se izraz "razina" koristi za označavanje da se količina odnosi na neku referentnu vrijednost, koja je navedena ili implicirana. Decibel se definira kao veličina koja predstavlja logaritam odnosa dvaju brojeva. Formula za računanje broja decibela glasi:

$$n = 10 \log \left(\frac{L_{I1}}{L_{I2}} \right) \quad (4)$$

gdje je n broj decibela, a L_{I1} i L_{I2} jesu razine zvučne jakosti. Prema toj formuli, odnos najjačeg i najslabijeg zvuka koji čovjek može čuti, 10^{12} naprema 1, iznosi 120 dB (Trbojević, 2011.).

U akustici se decibel koristi za kvantificiranje razina zvučnog tlaka koje ljudi čuju, razine zvučne snage koju emitiraju izvori zvuka, gubitak prijenosa zvuka kroz zid i u drugim slučajevima, na primjer smanjenje buke od 15 dB. Decibeli su uvijek povezani s logaritmima s bazom 10, pa se oznaka 10 obično izostavlja. Važno je naglasiti da je decibel zapravo bezdimenzionalna veličina. Stoga, kada se koriste razine decibela, treba se pozvati na količinu koja se procjenjuje i na referentnu razinu. Također je dobro

napomenuti da je razina decibela prvenstveno određena veličinom apsolutne vrijednosti razine snage (Guyer, 2009.).

U mnogim slučajevima kumulativni učinci više akustičkih izvora moraju se ocijeniti. U ovom slučaju treba zbrojiti pojedinačne razine zvuka. Razine decibela dodaju se logaritamski, a ne algebarski. Na primjer, 70 dB plus 70 dB nije jednako 140 dB, već samo 73 dB. Vrlo jednostavan, ali obično prikladan raspored za dobivanje zbroja vrijednosti od dva decibela prikazan je u tablici (Guyer, 2009.).

Tablica 1. Zbrajanje decibela (izvor: Guyer, 2009.)

RAZLIKA DVIJU VRIJEDNOSTI U DECIBELIMA	DODAVANJE IZNOSA VEĆOJ VRIJEDNOSTI
0 ili 1 dB	3 dB
2 ili 3 dB	2 dB
4 ili 9 db	1 dB
10 ili više dB	0 dB

3. UHO I SLUŠNI PROCES

Fiziološka akustika grana je znanosti koja se bavi uhom, organom sluha te proučava mehanizme obrade zvuka. Kada zvuk dođe do uha, zvučni tlak utječe na ušnu školjku, dalje putuje kroz uho do živčanih receptora koji vibraciju nastalu od zvučnog vala pretvaraju u živčani impuls te prenose do mozga gdje se taj signal interpretira i šalje naredbu kako reagirati na primljeni podražaj.

3.1. Građa uha

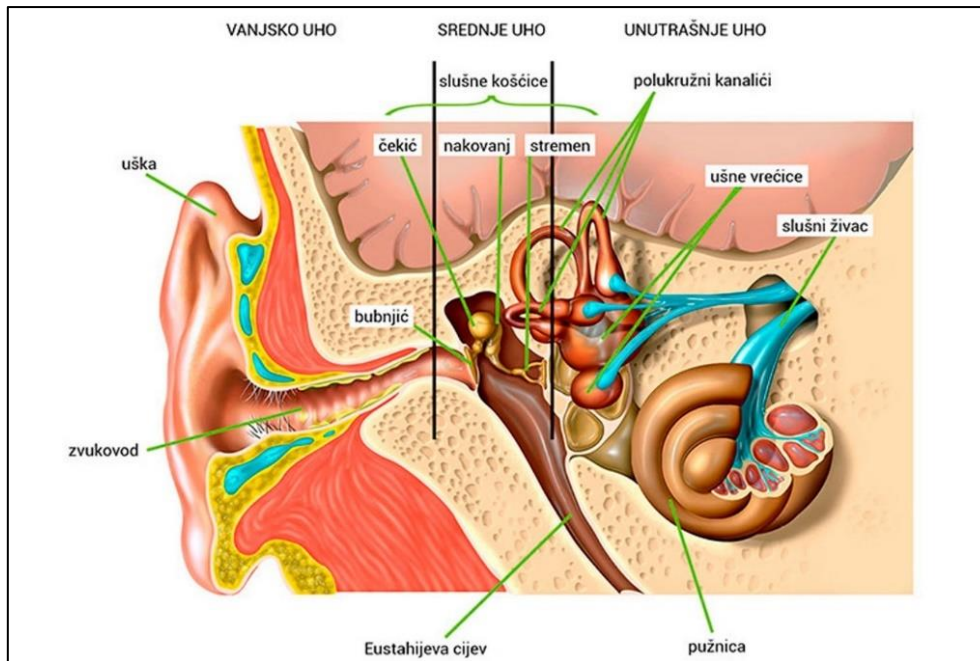
Uho se dijela na tri dijela: vanjsko, srednje i unutrašnje uho.

Vanjski, vidljivi dio uha, tvore ušna školjka (uška) i ušni kanal (zvukovod). Čovjek ima dvije uške građene od hrskavice prekrivene kožom. Ušna školjka i slušni kanala zajedno čine lijevak koji pojačava zvuk na srednjim i visokim frekvencijama. Hrkavica je čvrsta, ali i elastična, oblikovana je tako da usmjeruje zvučne valove prema zvukovodu. Zvukovod je cjevasti dio vanjskog uha, počinje kao hrskavični kanal koji se u sljepoočnoj kosti nastavlja u koštani kanal, dužine oko 3 cm, a promjera oko 7 mm. Obložen je kožom u kojoj se nalaze dlake i žlijezde lojnice. Zvukovod seže do bubnjića, vezivne opne obložene epitelom, koja odjeljuje vanjsko od srednjeg uha (Britannica, human ear).

Srednje uho nalazi se u piramidi sljepoočne kosti, a sastoji se od bubnjića i male komore napunjene zrakom koja sadrži lanac od triju koščica. Koščice povezuju bubnjić s unutarnjim uhom, a zovu se po svom izgledu čekić, nakovanj i stremen. Čekić je srašten s bubnjićem na jednoj strani, a na drugoj je uzglobljen s nakovnjem. Nakovanj je pričvršćen uza stremen, a stremen ima osnovicu koja je uložena u ovalni prozorčić predvorja. Oni rade zajedno i simultano obrađuju mehaničke titraje bubnjića. Smanjuju amplitudu titraja, dok u isto vrijeme povećavaju akustičku impedanciju i štite unutrašnje uho od oštećenja. Čekić, nakovanj i stremen zajedno su dugački oko 1 cm, a sam stremen, koji je najmanja kost u ljudskom tijelu, je dugačak oko 3 mm i mase 3 mg. U srednjem uhu se nalaze i dva mišića. Mišić tenzor timpani je pričvršćen na čekić i održava bubnjić nategnutim. Mišić stapedius je pričvršćen na stremen i učvršćuje vezu između stremena i ovalnog prozorčića. U srednjem uhu se nalazi i Eustahijeva cijev.

Ona je vezivno hrskavično koštani kanal dužine 3,5 cm. Povezuje srednje uho sa stražnjim dijelom nosa (ždrijelom) i omogućuje da u srednje uho uđe vanjski zrak. Pri naglom uspinjanju ili spuštanju, u uhu se čuje pucketanje zbog izjednačavanja tlaka u uhu s vanjskim tlakom. Eustahijeva cijev se otvara gutanjem i pomaže u održavanju jednakog tlaka s obje strane bubnjića. To je bitno za ugodno i normalno slušanje (Britanica, human ear)

Unutarnje uho je dobro zaštićeno u lubanji. Ono je organ sluha i organ ravnoteže, a smješteno je u najtvrdem dijelu sljepoočne kosti, iza ovalnog prozorčića, te se sastoji od tri dijela. Pužnica, predvorje i polukružne cijevi za osjet ravnoteže te dvije vrećice za osjet sile teže. Podražaje od unutarnjeg uha do središta u mozgu vodi ravnotežno – slušni živac. Pužnica je šuplja cijev savijena u obliku puževe kućice, a sadrži gustu tekućinu i Cortijev organ. Ona zaprima i analizira zvukove. Predvorje je povezano s pužnicom. U njemu se nalaze dva mjehurića građena od vezivnog tkiva i ispunjena tekućinom. U svakom od njih su nakupine osjetilnih stanica pomoću kojih čovjek osjeća položaj glave u prostoru. Cijelo unutarnje uho ispunjeno je limfnom tekućinom na koju se prenosi zvučna energija primljena preko bubnjića. Prijenos zvučne energije uzrokovat će titranje bazilarne membrane. Kako se savija bazilarna membrana, tako se i dlačice – cilije deformiraju na različite načine i zbog tog mehaničkog naprezanja u cilijarnim stanicama se stvara električni impuls koji podražuje slušni živac i putuje do mozga (Britanica, human ear). Na slici tri prikazani su dijelovi uha.



Slika 3. Građa uha (izvor: Građa i uloge osjetila Biologija 8)

3.2. Prag čujnosti

Prag čujnosti je najmanja jakost zvuka koju zdrav čovjek sa neoštećenim sluhom može čuti. Još se naziva i osjetljivost sluha. Područje najveće osjetljivosti uha nalazi se između 3000 Hz i 4000 Hz. Prag čujnosti se razlikuje od osobe do osobe, pogotovo kod osoba starijih od 30 godina. Mlađi ljudi imaju vrlo dobar sluh i mogu čuti frekvenciju do 20 kHz, nekad čak i do 25 kHz. Kako osoba stari i tijelo više nije u mogućnosti biti na vrhuncu snage, opada i prag čujnosti, stoga osobe starije od 50 godina rijetko čuju frekvenciju iznad 15 kHz. Promjena intenziteta zvuka koju ljudsko uho može primijetiti iznosi otprilike 10 posto (Bošnjaković, 1981.).

3.3. Maskiranje zvuka

Maskiranje zvuka je pojava koja je česta u glasnim proizvodnim pogonima, tvornicama ili halama. Do uha dopiru dva izvora zvuka, jedan glasniji i jedan tiši. Tiši zvuk biva maskiran, te da bi se čuo mora se povećati njegov intenzitet. Tek tada on postaje čujan i on postaje maskirajući zvuk (Bošnjaković, 1981.).

3.4. Učinci buke na zdravlje

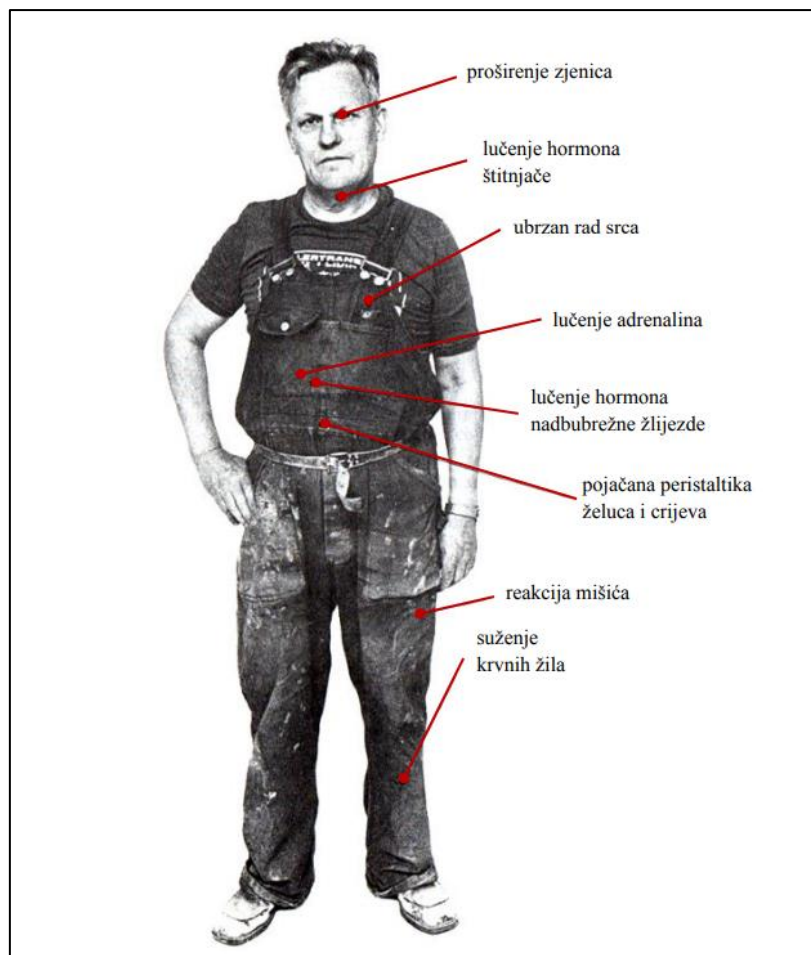
Sluh nije jedina funkcija tijela koja se uništava prilikom trajne izloženosti buci. Posljedice buke utječu i na ostale organe i funkcije koje ljudsko tijelo obavlja. Jednom oštećen sluh više se ne može popraviti ili izliječiti, stoga je vrlo bitno adekvatno i na vrijeme zaštititi sluh od neželjenih posljedica buke. Oštećenja sluha nastaju zbog dugotrajne izloženosti buci, pri čemu viši tonovi jače oštećuju sluh (Kirin et al., 2011.)

Pri konstantnom utjecaju buke i visokih tonova dolazi do zamaranja unutarnjeg uha, što dovodi do privremenog pomaka praga čujnosti. Uho se nakon buke odmara i oporavlja, te se prag čujnosti vraća u prvobitno stanje. Uho se za vrijeme idućeg glasnog perioda ponovo napreže i umara, te se nakon prestanka buke ponovo postepeno oporavlja. Opetovana radnja poput ove, koja se događa u industrijskim proizvodnim procesima, dovodi do toga da uho postepeno gubi sposobnost potpune regeneracije i obnove praga čujnosti. Nakon što se s prolaskom vremena prag čujnosti konstanto pomiče, doći će do trajnog gubitka sluha ili oštećenja slušnog organa. To se događa jer dolazi do uništavanja cilijarnih stanica unutar uha uslijed dugotrajne izloženosti buci. One se ne mogu liječiti niti nadomjestiti. Gubitak sluha nastaje postupno, a prvo nestaje mogućnost da se čuje gornje frekvencijsko područje, odnosno visoki tonovi. Osoba koja ima oštećenja sluha i dalje čuje zvukove koji se oko nje nalaze, ali ih čuje izobličeno. Stoga se osoba s vremenom sve teže sporazumijeva s ostalim ljudima, što može dovesti do psihičkog otuđenja osobe. Slušni aparatići i umjetne pužnice ne rješavaju problem nestanka ili oštećenosti sluha, nego samo čine zvuk koji dopire do uha glasnijim, ali ne i razgovijetnim (Kirin et al., 2011.).

Buka ne utječe samo na sluh, nego i na ostale organe i funkcije u ljudskom tijelu. Velika buka može uzrokovati poremećaje u funkciji ljudskog tijela i regulacijskim sustavima što dovodi do smetnja u orijentaciji. Zbog buke ubrzano radi srce, povećava se krvni tlak i sužuju se krvne žile. To dovodi do opterećenja na srce i krvotok.

Osjetljivost na buku ovisi o karakteristikama buke (jakost, ritam, sadržaj), individualnim karakteristikama izložene osobe (stanje organa sluha, životna dob, individualna osjetljivost na buku) te o duljini i vrsti izloženosti. Prva faza oštećenja sluha naziva se i faza početne akustičke traume, a javlja se u frekvencijskom području od 4 000 Hz.

Uho se još ponaša kao zdravo i osoba ne mora biti svjesna svog problema. Ako se u ovoj fazi ne prepozna poremećaj i osoba bude i dalje izložena buci, oštećenje prelazi u drugu fazu, fazu trajne naglušnosti gdje se više ne može postići kompletan oporavak sluha. Ljudi se razlikuju u osjetljivosti na buku. Postoje osobe kod kojih naglušnost nastaje brzo, a u drugih i nakon niza godina izloženosti prekomjernoj buci sluh bude razmjerno malo oštećen. Utjecaj je buke to štetniji što je ona jača, isprekidanija, a dugoročna izloženost intenzivnoj buci, dovodi do smanjenja slušne osjetljivosti osobe odnosno lagane naglušnosti ili čak potpune gluhoće. Do gubitka sluha, zbog izloženosti buci, najčešće dolazi postupno i progresivno, a uzrokuje ga degeneracija slušnih stanica. Prema Međunarodnoj organizaciji za standarde (ISO) opasni su intenziteti buke iznad 90 dB. Utjecaj buke na zdravlje može biti izravan i imati za posljedicu oštećenje organa za sluh i ravnotežu, a može biti neizravan i imati utjecaja na živčani, krvožilni, probavni i endokrini sustav (Klančnik, 2013.). Slika četiri prikazuje utjecaje buke na ljudsko tijelo.



Slika 4. Utjecaj buke na čovjeka (izvor: Buka, Zaštita od buke - načela i primjena, ZIRS)

Pod izravnim posljedicama na zdravlje podrazumijevamo naglušost, gluhoću, šumove u uhu, razne poremećaje vezane za razumijevanje govora i probleme u komunikaciji do smetnji ravnoteže, nesigurnosti u hodu, zanošenja. Od neizravnih posljedica za zdravlje bitne su neurovegetativne reakcije kao što su hipertenzija, endokrinološki poremećaji i drugi poremećaji metabolizma. Druge su neizravne posljedice umor i psihičke reakcije, poput razdražljivosti, te smanjenje radne sposobnosti. Buka jako utječe na ciklus spavanja te dovodi do objektivnog poremećaja sna - skraćena REM faza nakon izlaganja buci. Stariji su ljudi osjetljiviji, dok djeci najmanje smeta buka za vrijeme spavanja. Izloženost buci za vrijeme spavanja povećava krvni tlak, puls te povećava broj pokreta tijela u snu. Buka izaziva poremećaj svakidašnjih aktivnosti, a naročito u izvođenju složenih mentalnih aktivnosti. Inducira osjećaj bespomoćnosti, sličan onome kod depresivnih pacijenata. Dovodi do povećanja svagdanjih pogrešaka kod uobičajenih dnevnih radnji. Buka dovodi i do poremećaja u ponašanju zbog otežane komunikacije, povećava agresiju i uzrokuje neželjene promjene ponašanja što može dovesti do društvene izolacije. Utječe na sposobnost procjenjivanja i integriranja informacija te stvaranja nerealnih procjena. Buka utječe na razvoj kardiovaskularnih bolesti, dolazi do promjena krvnog tlaka, frekvencije pulsa i disanja, povećava se razina serumskog kolesterola, povećava se lučenje adrenalnih hormona te stvara povišen rizik za infarkt miokarda. Prag iznad kojeg se javlja viši rizik za infarkt iznosi 60 dB. Endokrini odgovor na buku dovodi do porasta adrenalina i noradrenalina, kortizola i gonadotropina. Utjecaj kronične izloženosti buci na kognitivne sposobnosti očituje se u smanjenoj pažnji, poteškoćama koncentracije, slabije razumljivosti govora, smanjenoj motivaciji, slabijem pamćenju kompleksnih podataka te slabijem rezultatu u školi. 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. Združeno djelovanje buke i drugih faktora kao što su zagađenje zraka, loši životni uvjeti, nezaposlenost, socijalna izolacija, znatno je veće nego zbroj njihovih pojedinačnih djelovanja. 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 (Klančnik, 2013.).

Prevenција oštećenja sluha radno aktivnog stanovništva uključuje redovite ORL preglede i audiometrijska ispitivanja kojima se otkrivaju osobe s početnim oštećenjima sluha te sprečavaju daljnja oštećenja sluha. Mjere zaštite sluha ponajprije se odnose na smanjenje buke i skraćanju vremena izlaganja buci te upotrebi zaštitnih sredstava. Bitna su mjerenja razine buke u radnom prostoru koji može biti otvorenog i zatvorenog tipa (Klančnik, 2013.).

Standardna podjela djelovanja buke na ljude je na auralno djelovanje i ekstraauralno djelovanje. Auralno djelovanje je djelovanje na osjetilo sluha, dok je ekstraauralno djelovanje s posljedicom na cijeli organizam. Buka primarno djeluje auralno, a ekstraauralne pojave mogu biti samo neizravna posljedica buke (Šarić et. al., 2002.).

Auralno djelovanje izražava se preko izravnog oštećenja organa, a samim time i sluha. Kada buke djeluje dugotrajno, tada dolazi do trajnog ireparabilnog oštećenja. Granica za zaštitu organa sluha za dnevno osmosatno izlaganje iznosi 85 dB(A) do 90 dB(A). Razina buke iznad te razine dovodi do manjeg ili većeg oštećenja sluha. Pri jakom pucnju ili eksploziji, odnosno pri velikoj impulsnoj buci, nastaje manje ili veće akutno oštećenje u unutrašnjem uhu, te čak i mehaničko oštećenje bubnjića i slušnih košćica zbog mogućih jakih zračnih tlakova. Takve posljedice ubrajaju se u blast sindrom i nisu posljedica akustičke traume. Dvije su mogućnosti nastajanja naglušnosti ili gubitka sluha, a to su konduktivna i perceptivna naglušnost. Konduktivnoj naglušnosti je uzrok prekid prijenosa zvučnih podražaja do senzoričkog receptora u unutrašnjem uhu, a nastaje zatvaranjem zvukovoda ili mehaničkom nepokretljivošću bubnjića i slušnih košćica. Perceptivna naglušnost je posljedica degeneracije cilijarnih stanica Cortijeva organa (Šarić et. al., 2002.).

Ekstraauralne posljedice izražavaju se utjecajem na organe i tjelesne sustave poput živčanog, krvožilnog i hormonskog sustava, na probavni trakt, te utječu na čovjekovo funkcioniranje i obavljanje posla, na umni rad, koncentraciju, pozornost, zapažanje zvučnih signala, govorno sporazumijevanje, odmor i san. Na taj način buka neizravno djeluje podraživanjem simpatičkog dijela čovjekova autonomnog živčanog sustava sustava, to jest onog dijela središnjeg živčanog sustava koji upravlja važnim životnim funkcijama, a nije pod nadzorom svijesti. Kada razina buke prijeđe otprilike 60 dB(A) pojavljuju se simptomi koji su posljedica pojačane funkcije simpatikusa. Reakcije mogu

biti od blagih i prolaznih simptoma do burnih reakcija i trajnih težih oštećenja (Šarić et. al., 2002.).

Buka je jedan od stresogenih faktora ljudskog okoliša. Povišenjem tonusa simpatikusa ona izaziva porast krvnog tlaka, osobito dijastoličkog. Smanjuje se količina krvi koju srce stezanjem ubacuje u krvotok i snižava se periferna cirkulacija, pa svi organi u tijelu dobivaju manje krvi, samim time i manje kisika koji je potreban za ispravno funkcioniranje. Pojavljuju se poremećaji disanja, promjene crijevne peristaltike, mijenja se ukupni metabolizam u tijelu, remete se funkcije žlijezda s unutrašnjim izlučivanjem poput nadbubrežne žlijezde, hipofize i dijelova gušterače. Smanjena količina kisika i metabolički i endokrinološki poremećaji toliko utječu na moždane funkcije da se promjene mogu ustanoviti i elektroencefalografskim nalazom. Dolazi do umora, razdražljivosti, nesanice, smetnji u koncentraciji, slabe koordinacije pokreta te sve reakcije postaju usporene. Rad se obavlja s povećanim naporom, raste potrošnja energije što se naposljetku odražava na mentalne funkcije i koncentraciju što dovodi do povećanja rizika od ozljeda na radu i smanjenja proizvodnosti (Šarić et. al., 2002.).

4. ZAKONSKE ODREDBE I MJERE ZAŠTITE OD BUKE

Zakonom o zaštiti na radu utvrđuju se opća načela prevencije i pravila zaštite na radu, prava i obveze radnika, poslodavaca i povjerenika te djelatnosti u vezi sa zaštitom na radu. Također se određuje nadzor i prekršajna odgovornost. Svrha zakona o zaštiti na radu je smanjenje i sprječavanje ozljeda na radu, profesionalnih bolesti i ozljeda pa i smrtnih slučajeva, te povećanje sigurnosti radnika na radnome mjestu (NN 71/14).

Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu, objavljen u Narodnim novinama broj 46/08, daje konkretne uvjete i odredbe kojih se poslodavci moraju pridržavati kako bi radnici mogli sigurno i neometano obavljati svoj posao i zadane zadatke (NN 46/08).

Boravišni prostor podrazumijeva svaki otvoreni ili zatvoreni prostor u kojem se ljudi privremeno ili trajno nalaze, a radni prostor je sredina u kojoj ljudi borave 8 h/dan, te u njima obavljaju svoje radne dužnosti prema ugovoru s poslodavcem. Pod izvorima buke se smatraju svi strojevi, postrojenja, tehnički uređaji, te sva ostala sredstva za rad koja šire zvuk (NN 145/04).

Granične vrijednosti koje propisuje pravilnik, a odnose se na izloženost buci tijekom jednog radnog dana koji traje osam sati su sljedeće:

- Granična vrijednost izloženosti $L(EX,8h) = 87 \text{ dB(A)}$
- Gornja upozoravajuća granica izloženosti $L(EX,8h) = 85 \text{ dB(A)}$
- Donja upozoravajuća granica izloženosti $L(EX,8h) = 80 \text{ dB(A)}$

Kako do premašenja tih granica ne bi došlo, a uzimajući u obzir tehnološki napredak i mogućnost predviđanja i simuliranja, poslodavci mogu smanjiti ili eliminirati moguće neželjene posljedice na zdravlje radnika. Neke od tih mjera su projektiranje i planiranje radnih mjesta i radilišta, metode rada koje iziskuju manju izloženost buci, smanjenje strukturne komponentne buke (prigušivanje ili izoliranje), informiranje i osposobljavanje radnika na korištenje osobne zaštitne opreme na ispravan način kako bi se smanjila izloženost buci i mogućim zdravstvenim problemima, smanjivanje buke drugačijom organizacijom posla, ograničavanje trajanja i izloženost radnika buci.

U sljedećoj tablici su dani podaci o najvišoj dopuštenoj razini buke s obzirom na vrstu djelatnosti. Razina buke opisana pod (a) potječe od proizvodnih izvora, dok razina pod (b) potječe od neproizvodnih izvora poput ventilacije, klimatizacije, prometa i drugo. (NN 46/08)

Tablica 2. Dopuštene razine buke s obzirom na vrstu djelatnosti (izvor: Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu NN46/08)

REDNI BROJ	OPIS POSLA	NAJVIŠA DOPUŠTENA RAZINA BUKE L(A,EQ) U DB(A)	
		(a)*	(b)*
1	Najzahtjevniji umni rad, vrlo velika usredotočenost, rad vezan za veliku odgovornost, najsloženiji poslovi upravljanja i rukovođenja	45	40
2	Pretežno umni rad koji zahtjeva usredotočenost, kreativno razmišljanje, dugoročne odluke, istraživanje, projektiranje, komuniciranje sa skupinom ljudi	50	40
3	Zahtjevniji uredski poslovi, liječničke ordinacije, dvorane za sastanke, školska nastava, neposredno govorno i/ili telefonsko komuniciranje	55	45
4	Manje zahtjevni uredski poslovi, pretežno rutinski umni rad koji zahtjeva usredotočenje ili neposredno govorno i/ili telefonsko komuniciranje, komunikacijske centrale	60	50
5	Manje zahtjevni i uglavnom mehanizirani uredski poslovi, prodaja,	65	55

	vrlo zahtjevno upravljanje sustava, fizički rad koji zahtjeva veliku pozornost i usredotočenost, zahtjevni poslovni montaže		
6	Pretežno mehanizirani uredski poslovi, zahtjevno upravljanje sustavima, upravljačke kabine, fizički rad koji zahtjeva stalnu usredotočenost, rad koji zahtjeva nadzor sluhom, rad koji se obavlja na temelju zvučnih signala	70	60
7	Manje zahtjevni fizički poslovi koji zahtijevaju usredotočenost i oprez, manje zahtjevno upravljanje sustavima	75	65
8	Pretežno rutinski fizički rad sa zahtjevom za točnost, praćenje okoline slušanjem	80	65

4.1. Načela zaštite

Postoji nekoliko kontrolnih mjera, prikazanih na slici pet, koje je moguće primijeniti kako bi se osigurala sigurnost radnika. Zaštita i sigurnost radnika traži kombiniranu primjenu tehničkih, tehnoloških, organizacijskih i medicinskih mjera



Slika 5. Kontrolne mjere (izvor: interne prezentacije Tvornice stakla Pula)

Prva kontrolna mjera je uklanjanje opasnosti na izvoru. To bi značilo da se ono što uzrokuje opasnost po radnika i njegovo zdravlje ukloni i udalji iz prostorije. To nije uvijek moguće jer su mnogi strojevi zbog svoje konstrukcije opasni za korištenje, masivni su i upravo zato su potrebni za obavljanje složenih radnji. Stoga njima rukuju osposobljeni radnici.

Druga mjera je zamjena opasnog s manje opasnim. Stroj koji proizvodi veliku razinu buke može se zamjeniti strojem koji proizvodi manju razinu buke. To se može opisati i kao modernizacija proizvodnje. To je vrlo složena operacija i sa tehničke, i sa financijske strane. Stari strojevi mogu biti bučniji ali potpuno ispravni za rad i zamjena sa novim strojem istih tehničkih karakteristika, a sa većom razinom sigurnosti, može biti vrlo skupo i neisplativo. Takve operacije su vrlo skupe i vremenski dugo traju, stoga se prvo mora napraviti studija kako to izvesti na najlakši način da se tvrtka ne dovede u financijski minus, i da ne stane sa proizvodnjom na duže vrijeme dok se ne odradi zamjena.

Treća mjera je kolektivna zaštita. To bi značilo da se stave fizičke barijere kako bi se smanjila mogućnost ozljede radnika i oštećenje njegovog zdravlja. Primjerice, mogu se postaviti ograde oko rotirajućih dijelova strojeva, zaštitne pregrade između strojeva koji proizvode veliku razinu buke i mjesta gdje učestalo radnici prolaze ili tamo provode vrijeme.

Četvrta mjera je organizacija. Dobro raspoređeno vrijeme rada operatera na stroju pridonosi sigurnosti na radu. Za strojem koji proizvodi veliku razinu buke operater može raditi određeno vrijeme, te ga zatim može zamijeniti kolega kako ne bi došlo do prevelike izloženosti visokoj razini buke što može dovesti do oštećenja sluha i drugih posljedica. Također se strojevi trebaju redovno održavati i servisirati kako bi bili ispravni za rad i na taj način bili sigurniji za rad.

Peta mjera je administrativna mjera. To je mjera koja se odnosi na administraciju i osobe zadužene za praćenje zakona, propisa i pravila. Oni su dužni obavijestiti osobe zaposlene u tvornici koja su njihova prava i dužni su obavijestiti i označiti opasnosti na poslu poput velike razine buke, mogućeg rada na visini i tome slično.

Šesta i posljednja mjera je uporaba osobnih zaštitnih sredstava. Ona je posljednja jer se gleda na sve načine zaštititi radnika prije nego što mu se nametne nošenje zaštitne opreme. Nositi zaštitu i štitnike cijelu radnu smjenu nije uvijek lako, stoga se gleda na sve načine prije osobne zaštite zaštititi radnika od opasnosti po zdravlje sa ostalim mjerama.

Zaštita od buke obuhvaća niz različitih koordiniranih postupaka radi postizanja prihvatljivog stanja buke na nekom mjestu. Svaki problem zaštite od buke sastoji se od tri osnova elementa, a to su izvor buke, put širenja buke i prijemni prostor buke, odnosno mjesto gdje se nalaze ugrožene osobe. Na svakom elementu akustičkog sustava izvora buke može se primijeniti neka od mjera za smanjenje buke. Kako tehnički i tehnološki razvoj strojeva omogućava da su snage i brzine vrtnje strojeva sve veće, a masa konstrukcije sve lakša, dovodi do uzrokovanja disipacije velike količine energije u obliku zvuka. Uz današnji stupanj razvijenosti metoda prognoziranja i projektiranja zvučne zaštite, buka se može držati pod nadzorom (Radanović, 1999.).

Smanjenje buke na izvoru gotovo je uvijek najefektivnija i najisplativija mjera zaštite. Kada te mjere nisu dovoljne, pristupa se suzbijanju buke na svim putovima širenja, na mjestu prijema ili osobnom zaštitom radnika (Radanović, 1999.).

Prostorna divergencija zvučnih valova daje glavni doprinos smanjenju buke kod prostornog odvajanja izvora i mjesta prijema.

Promjena smjera širenja zvuka ostvaruje se izolacijom i oklapanjem, tako da se dio zvučne energije reflektira natrag prema izvoru ili u nekom drugom smjeru.

Pretvaranje zvučne u toplinsku energiju ostvaruje se zvučnom apsorpcijom primjenom poroznih materijala te različitih rezonancijskih konstrukcija, kao i prigušenjem strukturne komponente zvuka s pomoću antivibracijskih premaza (Radanović, 1999.).

Izolacijom uzdušne komponente različitim vrstama pregrada, postavljanjem barijera, oklapanjem izvora buke, izgradnjom zaštitnih kabina i tome slično sprječava se širenje buke od izvora prema zaštićenim prostorima. Svaka vrsta pregrade ima neku razinu izolacije ovisno o njenoj masi, strukturi i elastičnosti. Apsorpcija je potpuno različita od izolacije. Ona se postiže korištenjem poroznih materijala poput staklene vune, kamene vune i spužvastih materijala. Apsorpcijski slojevi gotovo i da nemaju izolacijske sposobnosti, stoga se redovito primjenjuju uz izolaciju. Apsorbirajući materijali smanjuju razinu reflektiranog, odbijenog zvuka na određenoj udaljenosti od izvora (Radanović, 1999.).

Specijalni akustični prigušivači unutar cjevovoda zraka, ulja i vode sprječavaju širenje zvuka kroz sam medij unutar cjevovoda (Radanović, 1999.).

Izolacija strukturnog zvuka odvaja izvor buke od okolne strukture i na taj način sprječava širenje kroz čvrstu strukturu. Vibroizolacija se postiže elastičnim temeljenjem izvora gumenim ili metalnim elastičnim elementima i elastičnim slojevima od usitnjene gume. Za izolaciju međukatnih konstrukcija u tvornicama služe plivajući podovi. Oni se sastoje od gornje mase koja „pliva“ na elastičnom sloju od kamene vune, elastificiranoga stiropora, usitnjene gume i sličnih materijala. Prigušenje strukturnog zvuka radi se tako da se nanosi viskoelastični, antivibracijski premaz na postojeću čvrstu strukturu. Primjenjuje se na temeljima strojeva, na samim strojevima, na strukturama u blizini izvora buke (Radanović, 1999.).

Osobnim sredstvima za zaštitu sluha radnika pribjegava se onda kada se primjenom drugih mjera i metoda buka ne može ograničiti na zadanu vrijednost (Radanović, 1999.).

4.2. Osobna zaštita oprema

Ukoliko razina buke prelazi zakonski ograničenu buku, poslodavci moraju radnicima staviti na raspolaganje adekvatnu zaštitnu opremu.

Ušni štitnici su oprema koju radnik nosi preko ušiju, a pričvršćuju se na kacigu ili držačem na zatiljku. Mogu prigušiti buku u rasponu od 21 do 36 dB, što ovisi o materijalu izrade i samoj izvedbi slušalica. Upotreba ušnih štitnika se preporučuje na poslovima do kojih dolazi do kratkotrajne izloženosti djelovanja prekomjerne buke i na poslovima na kojima dolazi do impulsne, povremene buke (Varžić, 2010.).



Slika 6. Ušni štitnici (izvor: Ušni štitnici za zaštitu sluha - ZIRS)

Ušni čepovi izrađuju se od specijalne zaštitne vate ili poliuretanske pjene i silikona. Oni se stavljaju u ušni kanal ili ušnu šupljinu, mogu biti za jednokratnu ili višekratnu upotrebu, odvojeni ili spojeni trakom koja se stavlja na potiljak. Koriste se na poslovima kod kojih postoji trajna izloženost prekomjernoj buci (Varžić, 2010.).



Slika 7. Ušni čepovi (izvor: Čepiči za zaštitu sluha - Wurth)

5. MJERENJE BUKE

Buka je veliki problem s kojima se ljudi susreću i koji nastoje riješiti. Upravo radi toga postoje normirane metode za mjerenje razine buke i kriteriji za ocjenjivanje iste, kao i sofisticirani mjerni uređaji. Propisima, normama i pravilima propisuje se prihvatljiva razina buke za svaku okolinu prema njenoj namjeni i prema kriteriju koje mora ispunjavati kao što su utjecaj na zamor i efektivnost u poslu, razumljivost govora, čujnost zvučnih signala i slično (Trbojević, 2011.).

U Republici Hrvatskoj se buka regulira Zakonom o zaštiti od buke (NN 20/03) i Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka (NN 143/21). Pravilnik propisuje obaveznu uporabu normi HRN ISO 1996 koja opisuje, mjeri i utvrđuje buku u okolišu, HRN EN ISO 9612:2010 koja određuje izloženost buci pri radu i HRN EN 60804 koja opisuje zvukomjere (Trbojević, 2011.).

Buka se mjeri, jer se objektivne odluke o potrebnoj zaštiti od buke ne mogu drugačije donijeti. Iz tog razloga se prvo provode mjerenja i proračuni koji ukazuju na razinu buke. Postoji više različitih karakteristika buke i načina mjerenja i proračunavanja iste, stoga se mora dobro odabrati način mjerenja buke i izvođenja mjerenja. U industriji i proizvodnim procesima buka se mjeri da bi se odredilo da li su razine buke toliko visoke da mogu uzrokovati trajno oštećenje sluha, da bi se odredila upotreba osnovnih mjera zaštite sluha za vrijeme rada na strojevima i opremi, da bi se odredile zvučne emisije strojeva te usporedile sa tehničkim karakteristikama stroja i da bi se okoliš osigurao od prekomjerno nepotrebne buke. Instrumenti i metode mjerenja trebaju odgovarati normama koje se odnose na korištenu metodu kontrole i mjerenja buke. Norme opisuju zahtjeve za mjerne instrumente, načine mjerenja buke za različite vrste strojeva i opreme te proračunavanje smetnji uzrokovane bukom. Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC) i Međunarodna organizacija za normizaciju (ISO) su najbitnije međunarodne organizacije koje donose i opisuju norme, a prihvaćene su u svijetu. IEC opisuje konstrukciju i izradu instrumenata, dok ISO opisuje tehnike mjerenja, eksperimentalne uvjete, mjerne jedinice i svođenje rezultata na zajedničko ishodište (Trbojević, 2011.).

5.1. Ekvivalentna razina buke

Ekvivalentna razina buke, L_{Aeq} , je srednja energijska vrijednost koja se može izmjeriti. To je najvažnija veličina za izražavanje vremenski promjenjive buke. To je razina stalne buke koja bi tijekom određenog vremena jednako djelovala na čovjeka kao promatrana promjenjiva buka. Jednadžba pomoću koje se ona računa glasi:

$$L_{Aeq} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L_A(t)} dt \right] \quad (5)$$

gdje je T vrijeme mjerenja, $p_A(t)$ trenutna vrijednost zvučnog tlaka vrednovanog po krivulji A, $L_A(t)$ je vremenska funkcija promjenjive A-razine i p_0 je referentni zvučni tlak koji iznosi 20 μ Pa (Trbojević, 2011.).

Ekvivalentna razina buke mjeri se zvukomjerima s integriranjem i usrednjavanjem čija su svojstva normirana. Kod određivanja ekvivalentne razine buke najčešće se primjenjuje vremensko normiranje brzo (F) (Trbojević, 2011.).

Sukladno svim važećim propisima za ocjenu buke rabi se ocjenska razina buke. To je ekvivalentna A-razina kojoj su dodana prilagođenja s obzirom na neku značajku buke. Ocjenska razina buke vezana je uz određeno ocjensko vrijeme T . U sljedećoj tablici opisane su značajke buke ovisno o variranju vremena (Trbojević, 2011.).

Tablica 3. Značajke buke (izvor: Ingemansson et al., 1995.)

VRSTA BUKE	ZNAČAJKE BUKE	VRSTA IZVORA
Mala promjenjivost	Stalna, kontinuirana	Pumpe, el. motori, zupčanic, transporter
Promjenjiva, rezidualna	Stalna ali promjenjiva	Zračni kompresor
Velike fluktuacije	Periodična fluktuacijska	Masovna proizvodnja i mljevenje
Velike neregularne fluktuacije	Fluktuirajuća neperiodična	Ručna proizvodnja, mljevenje, zavarivanje, spajanje dijelova

Slični impulsi	Ponavljani impulsi	Automatske preše, zračna bušilica, zakivanje
Izolirani impulsi	Jedan impuls	Udarac čekićem, obrada materijala, tokarska preša

5.2. Zvukomjer i zapis o mjerenju buke

Zvukomjer je instrument za mjerenje razine zvučnog tlaka. Konstruiran je tako da prima zvuk na približan način kao i ljudsko uho i daje povratne informacije mjerenja zvučnog tlaka. Danas takvi instrumenti mogu biti ništa više, negoli jednostavni uređaji s analognim filtrima i detektorima. Za napredne digitalne analizatore može se koristiti pokretni mjerač zvuka. Mikrofon pretvara zvuk u električni signal koji se širi i prolazi kroz različite filtere. Nakon toga signal se ujednačuje i usrednjuje pomoću detektora, a rezultat se pretvara u decibele koji je vidljiv na zaslonu (Jacobsen et al., 2009.).

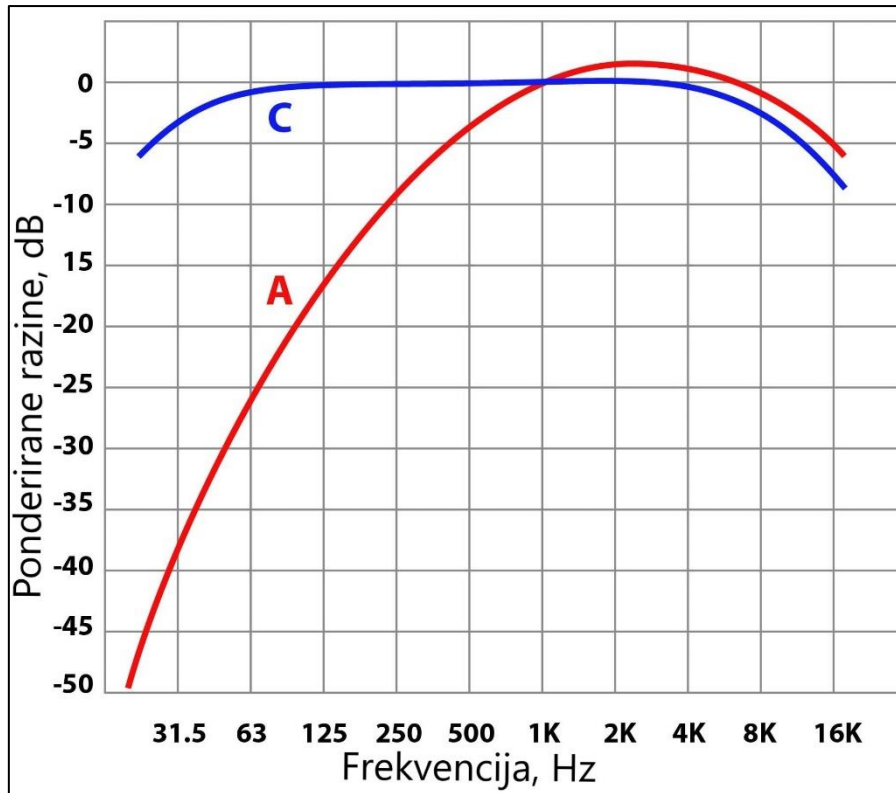
Razina zvučnoga tlaka L_p u dB izmjerena linearnom frekvencijskom karakteristikom ne odražava subjektivni osjet zvuka niti ne odgovara djelovanju buke na ljude. Kako bi se dobile veličine kojima se uzimaju u obzir i svojstva čovjekovoga sluha i koje najbolje odgovaraju medicinskim i sociološkim istraživanjima djelovanja buke na ljude, uvedeni su postupci tzv. vrednovanja kojima se utječe na zvučni signal snimljen linearnom frekvencijskom karakteristikom mjernoga instrumenta. U primjeni su dva međunarodno normirana vrednovanja – frekvencijsko i vremensko (Radanović, 1999.)

Frekvencijsko vrednovanje zvučnog tlaka je postupak kojim se izmjerena vrijednost zvučnog tlaka približava subjektivnom osjetu i djelovanju zvuka i buke na osobu i njime se dobivaju vrednovane razine zvučnog tlaka (Trbojević, 2011.).

Filter A daje informacije o glasnoći šuma i buke koji se na globalnoj razini slažu sa subjektivnim osjećajem šumova i buke. Koristi se za mjerenje buke u okolišu i industrijske buke, te za procjenu rizika oštećenja sluha. Krivulja A slijedi karakteristiku ljudskog uha na nižim razinama (Radanović, 1999.).

Filter C propušta gotovo cijeli čujni dio spektra, smanjuje jedino prvo niskofrekventno područje, a koristi se za mjerenje u zabavnoj industriji gdje prijenos niskih frekvencija

može predstavljati problem. Krivulja C je zapravo linearna frekvencijska karakteristika u rasponu frekvencija od 30 Hz do 8 kHz (Radanović, 1999.). Na slici osam vidljive su frekvencijske karakteristike filtera A i filtera C.



Slika 8. Frekvencijske krivulje Filtera A i B (izvor: Frequency-Weighting Sound Level Measurements Acoustical Consultants)

Vremensko vrednovanje je stupanj inertnosti zvukomjera. To je odabir vremena u kojemu zvukomjer provodi mjerenje vidljivo na sučelju zvukomjera. Normirana vremenska vrednovanja jesu sporo (slow, S), brzo (fast, F) i impulsno (impulse, I) (Trbojević, 2011.)

S ima visok stupanj tromosti, dajući spor pokret na sučelju i efektivno vrijeme usrednjavanja je otprilike 1 sekunda.

F ima nizak stupanj tromosti koji daje brži pokret na sučelju i tu je vrijeme usrednjavanja približno 0,125 sekundi.

I ima malu vremensku konstantu porasta i veliku vremensku konstantu opadanja. Ovim vrednovanjem se označava razina zvuka koju ljudsko uho može opaziti, a traje kratko (Trbojević, 2011.).

Za mjerenje buke u ovom radu korišten je zvukomjer Svantek SVAN 959. To je digitalni mjerač razine zvuka i vibracija klase 1 zajedno s analizatorom. Instrument je namijenjen za opća akustička i vibracijska mjerenja, praćenje okoliša, praćenje zdravlja i sigurnosti na radu. Tri akustična ili vibracijska profila omogućuju paralelna mjerenja s neovisno definiranim filtrima i vremenskim konstantama RMS detektora. Kao i svaki zvukomjer, sastoji se od osnovnih dijelova: mikrofona, mjernog pojačala, filtra za frekvencijsko vrednovanje, kvadratnog i vršnog detektora (ispravljača), integracijskog sklopa (za usrednjivanje signala), sklopa za vremensko vrednovanje („FAST“, „SLOW“) i LCD ekrana. Dolazi u pakiranju koje se sastoji od čvrstog i izdržljivog kovčega u kojem se nalazi uređaj uz koji se nalazi CD s programskim paketom SvanPC+. Zvuk prima na približno isti način kao ljudsko uho te daje reproducibilna mjerenja razine zvučnog tlaka koji je ujedno jedna od osnovnih veličina koja se mjeri kod buke. Na slici devet je prikazan korišteni uređaj.



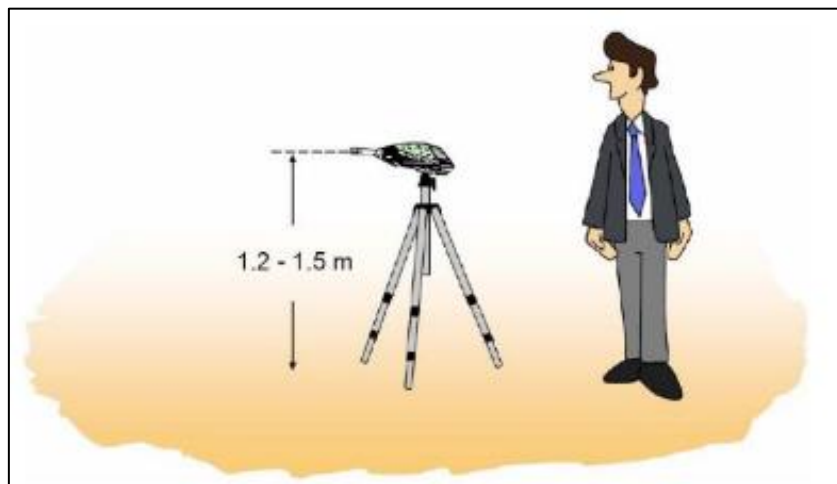
Slika 9. Zvukomjer (izvor: izrada autora)

Zapis o mjerenju buke je osnovni dokument koji se izrađuje prilikom mjerenja na unaprijed pripremljenom obrascu. On je službeni dokument u koji se zapisuju svi podaci relevantni za mjerenje, a mora sadržavati više bitnih podataka. Neki od njih su naručitelj mjerenja, izvršitelj mjerenja sa navedenim ili priloženim ovlastima, datum i mjesto mjerenja, doba dana u kojem je izvršeno mjerenje, opis izvora buke s naznakom proizvođača, tipa, tvorničkog broja i osnovnim tehničkim podacima, opis glavnih značajki buke, opis mjernih mjesta, popis mjernih uređaja s naznakom proizvođača i modela, ime i potpis mjeritelja i ovlaštene osobe te rezultate mjerenja (Trbojević, 2011.).

5.3. Načini mjerenja buke

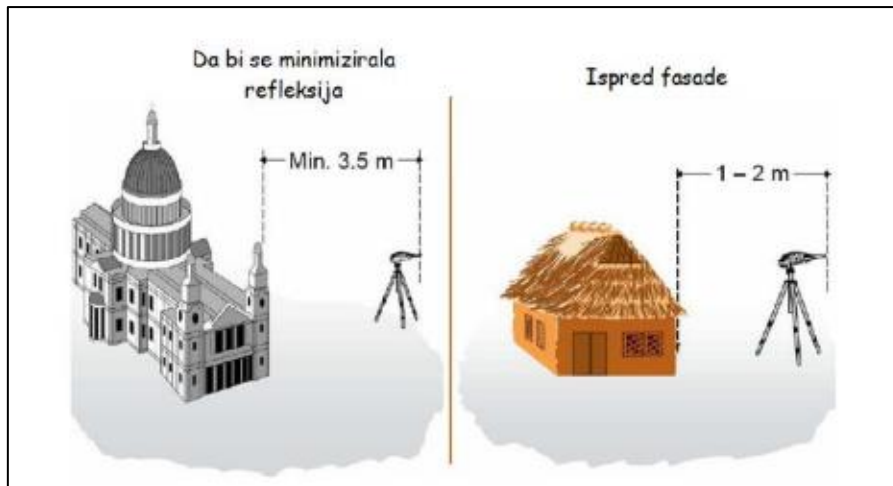
Svrha mjerenja buke je da se izmjere i dobiju točni i pouzdani podaci koji će dati jasnu sliku o razini buke na mjenom mjestu i koja se zatim ocjenjuje prema propisanim razinama. Kako bi se takvi podaci dobili, bitno je poštovati i držati se propisanih postupaka prilikom mjerenja kako bi podaci bili vjerodostojni.

Zvukomjer kojim se mjeri treba biti postavljen na stalku visine 1.2 do 1.5 metara, prikazano na slici deset (Trbojević, 2011.).



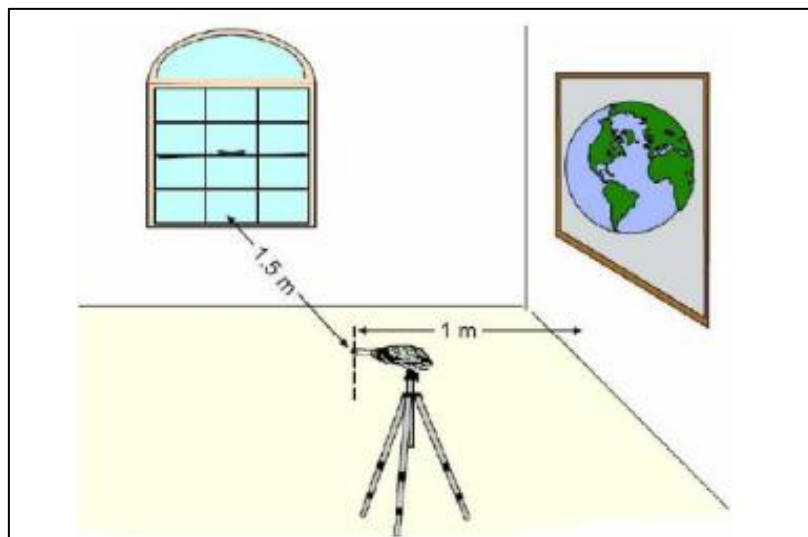
Slika 10. Visina zvukomjera (izvor: Trbojević, 2011.)

Ukoliko se mjeri vanjska buka, zvukomjer se mora odmaknuti od objekta minimalno 3.5 metara i 1 do 2 metra od fasade kako bi se minimalizirala refleksija buke od tog objekta, prikazano na slici jedanaest (Trbojević, 2011.).



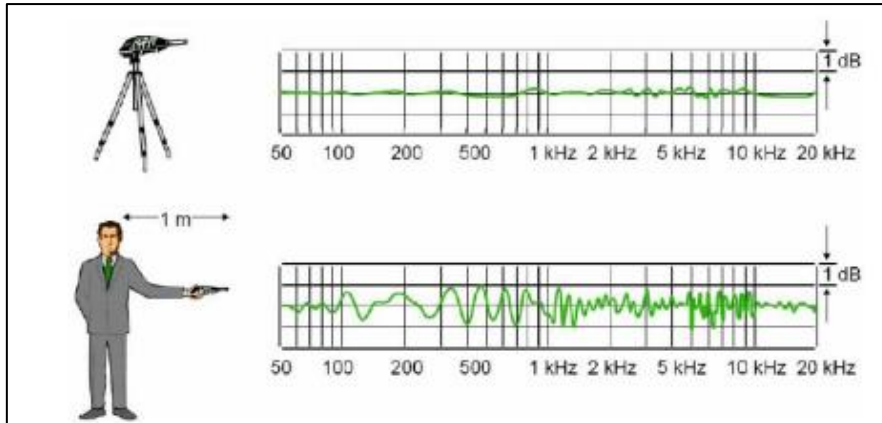
Slika 11. Udaljenost zvukomjera izvan prostorija (izvor: Trbojević, 2011.)

Kada se mjeri buka u zatvorenom prostoru, zvukomjer treba postaviti tako da bude odmaknut 1 metar od zida, te 1.5 metara od prozora, prikazano na slici dvanaest (Trbojević, 2011.).



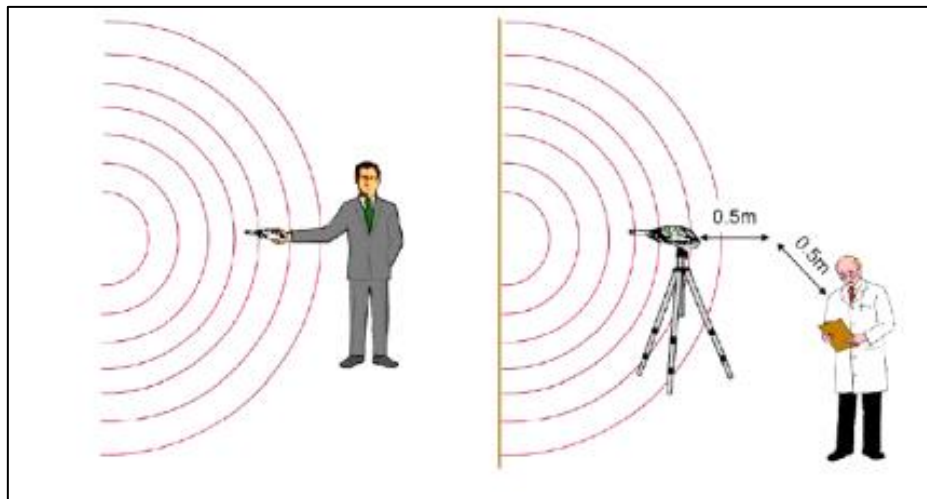
Slika 12. Udaljenost zvukomjera unutar prostorija (izvor: Trbojević, 2011.)

Osoba koja mjeri buku može negativno utjecati na rezultate mjerenja, stoga je preporučljivo da zvukomjer bude na stalku, bez prisustva osobe koja obavlja mjerenje, prikazano na slici trinaest (Trbojević, 2011.).



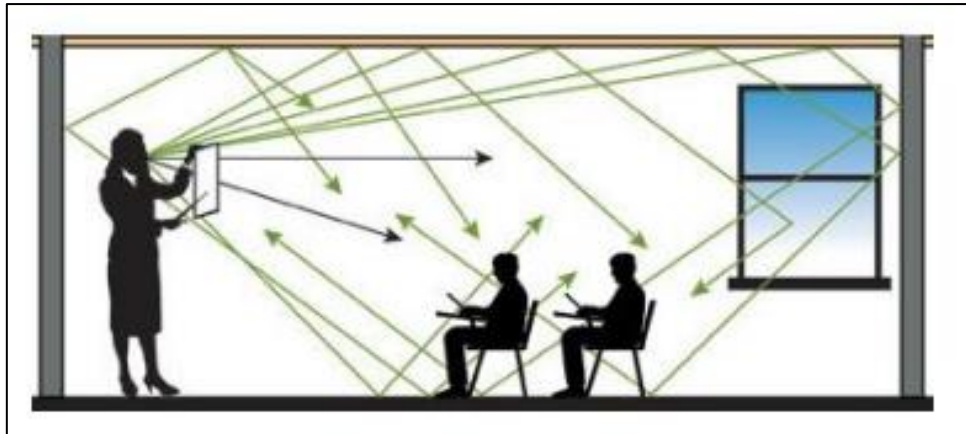
Slika 13. Utjecaj operatera (izvor: Trbojević, 2011.)

Položaj operatera u odnosu na izvor zvuka poželjan je kao što je prikazano na sljedejoj slici. Operater se uvijek mora nalaziti na suprotnoj strani od usmjerenosti mikrofona zvučnog instrumenta, prikazano na slici četrnaest (Trbojević, 2011.).



Slika 14. Položaj operatera (izvor: Trbojević, 2011.)

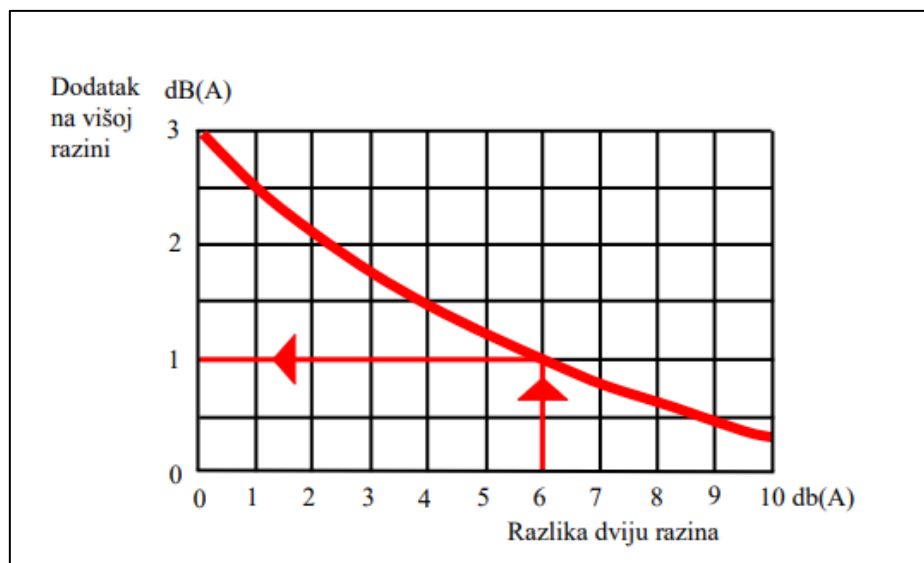
Kako su mjerenja u realnim uvjetima otežana, primjenjuje se nekoliko pravila pri određivanju položaja zvukomjera: za zaštitu organa sluha mjerni instrument se postavlja u visinu prirodnog položaja uha, mjerenje razine buke izvora mjeri se u slobodnom polju, mjerenje direktne i reflektirane buke provodi se prema slici, petnaest (Trbojević, 2011.).



Slika 15. Reflektirana buka (izvor: Trbojević, 2011.)

Kada postoji više izvora buke, postupak mjerenja provodi se sljedećim redoslijedom, vidljivo na slici šesnaest:

- 1) izmjeriti razinu buke svakog izvora
- 2) izračunati razliku tih dviju razina
- 3) razliku nanijeti na os apscisu i podići vertikalno na korekcijsku krivulju
- 4) povući horizontalu od korekcijske krivulje do osi ordinate
- 5) očitane vrijednosti korekcije pribrojiti višoj razini buke (Trbojević, 2011.)

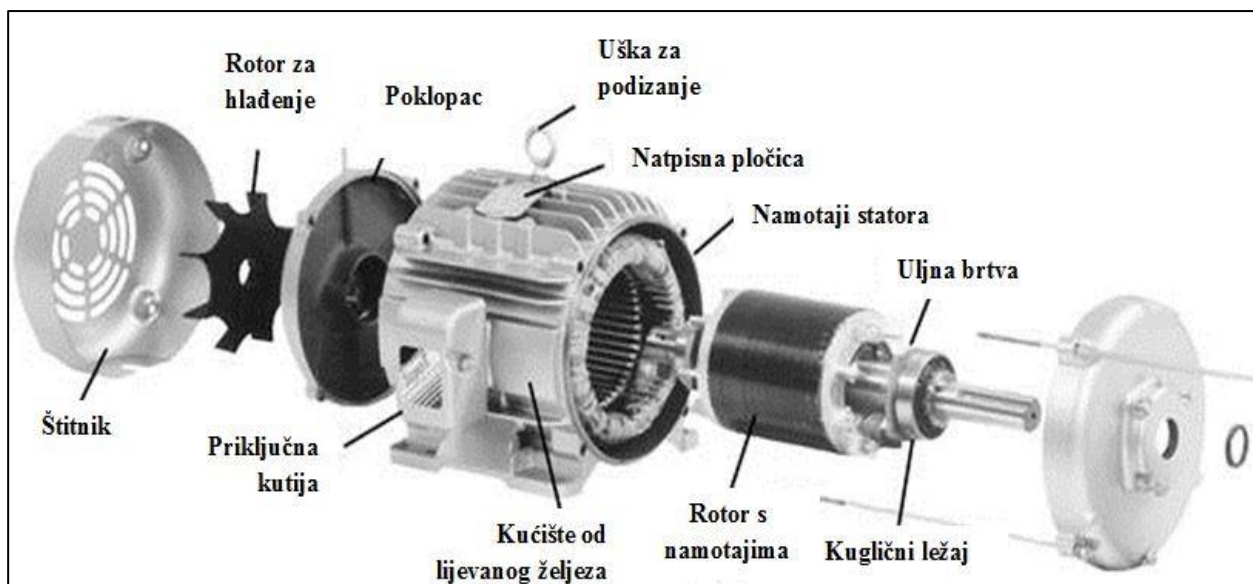


Slika 16. Zbrajanje razine buke sa više izvora (izvor: Trbojević, 2011.)

5.4. Mogući izvori buke

Buka uzrokovana industrijskim aktivnostima je buka koju stvara industrija općenito, pri čemu njezina razina i zvučni spektar mogu biti vrlo različiti jer ovise o industrijskom procesu, kao i o lokaciji i proizvodnom procesu. Ovo je jedan od razloga zašto su industrijske lokacije udaljene od urbanog stambenog područja, kako bi ti stanovnici bili udaljeni od ovih izvora buke, uzimajući u obzir da mnoge industrije rade 24 sata dnevno.

Elektromotori su uređaji koji pretvaraju električnu energiju u mehaničku. Ova se transformacija događa između statora koji je nepomičan i rotora koji se vrti. Rotor je pričvršćen na osovinu preko koje se prenosi mehanička energija. Kada primi energiju, motor može pretrpjeti nekoliko unutarnjih gubitaka električne energije koji uzrokuju povećanje temperature, što bi trebalo eliminirati kako bi se osiguralo uravnoteženo zagrijavanje komponenti unutar elektromotora. Za obavljanje tog zadatka odgovoran je ventilator pričvršćen na rotor. On se može ugraditi unutar motora kako bi zrak strujao kroz motor i prema vanjskim površinama poklopca motora. Glavni izvori buke mogu se klasificirati prema njihovom podrijetlu, koje može biti mehaničko, aerodinamično ili magnetsko. Spektar ove vrste šuma obično ima značajne komponente jednostavnog preklapanja frekvencija širokopojsnog šuma. Ove jednostavne frekvencijske komponente u spektru buke mogu biti uzrokovane isprekidanim pokretima raznih dijelova uslijed djelovanja cikličkih sila, povremenim prekidima protoka hladnoga zraka ili podražajima na vlastitim frekvencijama komponenti motora zbog magnetskih sila (laboratorijski izvještaj 0860-09-ECO, 2009.).



Slika 17. Elektromotor (izvor: 6 najčešćih kvarova elektromotora – Strojarska radionica)

Glavna buka koju emitira generator nastaje zbog magnetskih sila koje se javljaju u zračnom prostoru. Generatori su električni strojevi koji mehaničku energiju pretvaraju u električnu energiju. Rotori generatora imaju dva ili više magnetskih polova. Privlačenje koje stvaraju te magnetske sile može uzrokovati deformaciju lamele ili okvira statora. Ova se deformacija vrtloži prema izbočinama magnetskih polova, uzrokujući vibracije. Izvor aerodinamičke buke obično je manje važan kod malih generatora, ali može biti značajan kod većih (laboratorijski izvještaj 0860-09-ECO, 2009.).



Slika 18. Generator (izvor: Dagartech DGVW 600 ST-480/277V – dagartech.com)

Transformatori su bitan element prijenosa i distribucije električne energije u električnim mrežama. Transformator se koristi za pretvaranje električne energije visokog napona i niske struje u električnu energiju niskog napona i velike struje ili obrnuto. Glavni izvori buke u transformatorima su nukleinska buka zbog magnoestriksijskih svojstava čelične jezgre koji čujemo kao zvuk zujanja i zvuk zvona, prvenstveno uzrokovan elektromagnetskim silama povezanim s protokom izmjenične struje kroz indukcijski svitak, i bukom uzrokovanom sustavom hlađenja transformatora, a potiče od ventilatora (laboratorijski izvještaj 0860-09-ECO, 2009.).



Slika 19. Transformator (izvor: Prvi uzemljivački transformator za Obalu Bjelokosti – koncar.hr)

Zupčanik je nazubljeni kotač čiji su zubi raspoređeni po obodu tako da kada pristaju na lančanik drugog nazubljenog kotača, na zube prethodnog ili na drugi fiksni predmet, dolazi do prijenosa gibanja. Ovo se gibanje događa kada se dva zupčanika ugrađena na osi, čiji su zubi dizajnirani za održavanje konstantne kutne brzine od centimetra do nekoliko metara u promjeru, dodiruju. Dolazi do deformacija u zubima prilikom opterećenja, odnosno za vrijeme dodira dvaju para zubaca što je glavni uzrok harmoničnih zvukova između zupčanika (laboratorijski izvještaj 0860-09-ECO, 2009.).

Ležaj je strojni dio koji omogućuje realizaciju linearnih ili rotacijskih kretanja između dviju komponenti stroja prijenosom opterećenja s jedne komponente na drugu u isto vrijeme. Buka koju proizvode ležajevi obično je posljedica nesavršenosti kotrljajućih površina koje onemogućuju pravilan pomak i uzrokuju nestabilnost. Površinsko stanje ležaja ovisi o njegovoj početnoj kvaliteti i dizajnu stroja u koji je ugrađen, te rezultirajućim radnim uvjetima ovog stroja (laboratorijski izvještaj 0860-09-ECO, 2009.).

6. OPIS I REZULTAT MJERENJA

6.1. Tvornica stakla Pula

Poduzeće za proizvodnju i preradbu stakla sa sjedištem u Puli. Sljednik je Poduzeća za izradu laboratorijskog stakla – Pula, osnovanoga 1949. Program izgradnje tvornice potaknuo je slovenski političar Boris Kidrič. Glavni motivi za izbor lokacije u Puli bili su višak proizvodnih kapaciteta gradskoga plina te sirovinska baza visokokvalitetnoga pijeska u nalazištima kraj Galižane. Godine 1956. izgrađene su kadna i lončana peć, a 1958. proizvedeno je prvo vatrostalno staklo pod nazivom *boral*, sa svim fizikalnim i kemijskim svojstvima tadašnjih poznatih svjetskih stakala. Proizvodnjom toga stakla stvorena je osnova za razvoj širokog spektra asortimana laboratorijskoga, tehničkog, industrijskog i stakla za kućanstvo. Godine 1972. puštena je u rad prva električna peć. Automatizirana proizvodnja iz neutro-stakla započela je 1975. Godine 1998. većinskim vlasnikom postala je njemačka Schott grupa, promijenivši mu naziv u Schott Boral d. d. Dolaskom njemačkoga vlasnika modernizirana je proizvodna tehnologija i unaprijeđena zaštita okoliša. Proširen je i asortiman proizvodnje, tako da su u program laboratorijskoga stakla uključene laboratorijske boce i čaše, Erlenmeyerove i odmjerne tikvice, eksikator, a u program industrijskoga stakla izmuzišta, slijepi završetci, vidna stakla za perilice rublja, zaštitna rasvjetna stakla, bojleri, izolatori i dr. Usmjeravanjem Schott grupe prema novim tehnologijama i materijalima te napuštanjem tradicionalne proizvodnje, Schott Boral je 2005. s dvama poduzećima u Njemačkoj, Schott Medicom iz Werheima i Schott Duran Produktions iz Mainza, prešao u vlasništvo njemačke grupe Duran, te nastavio poslovati pod nazivom Duran d. d. Proizvodi standardno laboratorijsko staklo velikog volumena, dok kod industrijskoga stakla prevladava široka paleta artikala i namjena (petstolitarske posude za kemijsku industriju, stakla za industrijske perilice rublja, stakla za protueksplozivnu zaštitu, zrakoplovna stakla i dr.). Izvozi se više od 90% proizvedenoga laboratorijskoga i industrijskoga stakla, a poduzeće zapošljava oko 230 radnika prema podacima iz 2020. godine (Hrvatska tehnička enciklopedija, 2021.).

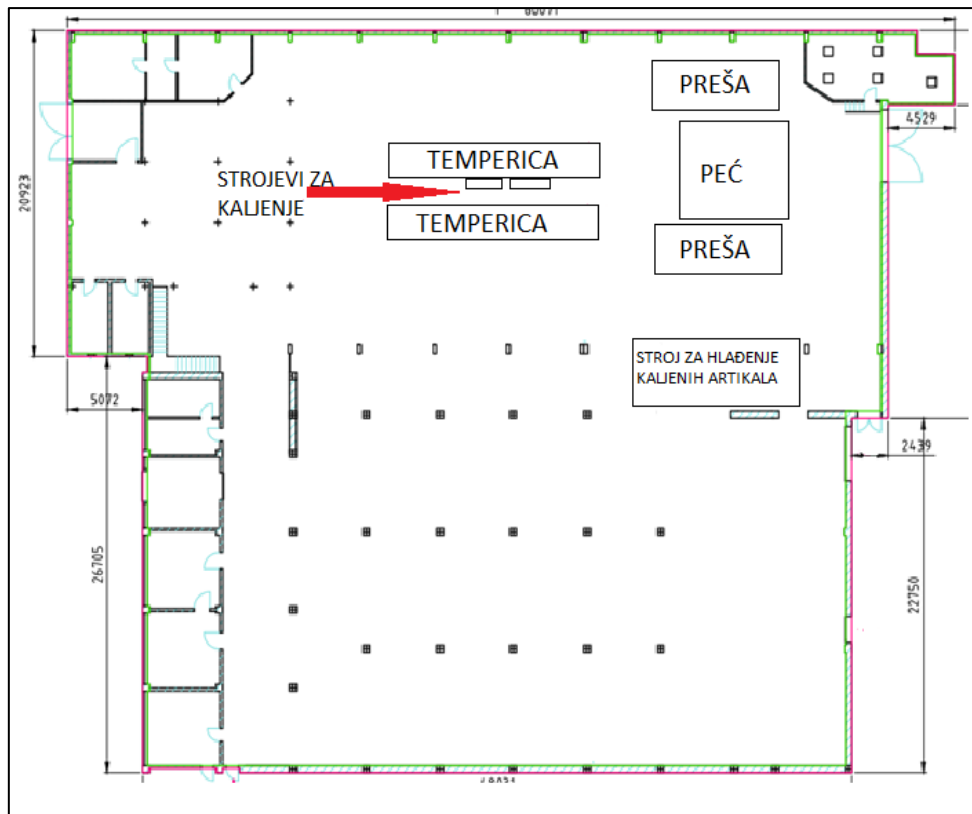


Slika 20. Tvornica stakla Pula (izvor: Google Maps)

U tvornici stakla Pula, slika dvadeset, mjerenje buke se odradilo u staklani. U njoj se nalaze dvije temperice, dvije preše, dva stroja za kaljenje te peći za staklo. Peć je uvijek u pogonu, dok se ostali strojevi pale ovisno o procesu rada, odnosno o artiklima koji su na programu za izradu. U tempericama se užareni stakleni produkti postupno hlade radi uklanjanja napetosti. Koriste se za sve proizvode osim kaljenih proizvoda jer se oni moraju naglo šokirati. Kaljenje je postupak zagrijavanja i naglog hlađenja stakla u cilju postizanja veće čvrstoće i otpornosti na udarce. Kaljenju prethodi priprema stroja za grijanje, montaža odgovarajućih plamenika i kalupa za prihvata, postavljanje artikla na prihvata na stroju za grijanje te pokretanje stroja pritiskom na dugme. Artikl se grije u zadanom vremenskom periodu, zatim se skida sa prihvata i zaustavlja rad plamenika te se postavljanja u dio za hlađenje, na stroj za hlađenje kaljenih artikala. Uključuje se ventilator i hladi artikl u zadanom vremenskom periodu. Nakon završetka hlađenja, artikl se skida sa stroja i zaustavlja se rad ventilatora. Slijedi pregled kvalitete proizvoda i spremanje artikla na paletu ili prijenosna kolica. To se sve obavlja u prostoru zaokruženome na slici 21.



Slika 21. Zgrada staklane (izvor: Google Maps)



Slika 22. Tlocrt staklane (izvor: interni dokumenti Tvornice stakla)

Na slici 22. vidi se tlocrt i raspored strojeva unutar postrojenja. Kako je fotografiranje unutar tvornice zabranjeno zbog poslovne tajne, fotografije nisu dostupne. Za vrijeme mjerenja svi su strojevi bili u pogonu i izmjerena je ekvivalentna razina buke od 95 dB(A). Kako je najviša dopuštena razina buke $L_{A,eq} = 80$ dB(A) premašena, rizik za oštećenje sluha je velik i moraju se poduzeti koraci kako bi se radnici zaštitili. Najveću razinu buke proizvodile su dizne na strojevima za kaljenje. Zrak koji je prolazio kroz njih proizvodio je zaglušujuću buku koja je ometala radnike. Taj je problem riješen tako što su se tri dizne zamijenile sa tri prigušnice proizvođača Lechler, koje se mogu vidjeti na slici 23. Razina buke je pala, no i dalje je prelazila dozvoljene granice. Poslodavac je dužan osigurati da radnici za vrijeme rada obavezno koriste zaštitne čepiće za zaštitu sluha u skladu sa Pravilnikom o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu.



Slika 23. Prigušnica (izvor: izradio autor)

6.2. Tvornica duhana Rovinj

Tvornica duhana Rovinj je poduzeće za proizvodnju duhana i duhanskih proizvoda sa sjedištem u Rovinju, osnovano 1872. godine. To je hrvatski vodeći proizvođač i izvoznik cigareta. Započelo je djelovati kao pogon za opskrbu cigarama časnika austrougarske vojske pod nazivom I. R. Manifattura tabacchi u Ulici San Damiano u Rovinju. Najveće zasluge za pokretanje industrije duhana pripadaju tadašnjemu gradonačelniku Rovinja Matteu Campitelliju. Od osnutka do početka prvog svjetskog rata tvornica je bila dijelom državnoga monopola. U prvoj godini poduzeće je zapošljavalo oko 400 radnika, a bilo je opremljeno s 13 različitih strojeva za motanje, pakiranje i oblikovanje cigara, prešama za bale i štrcaljkama za održavanje vlažnosti duhana, te trima sušarama. Ručno savijene cigarete i lule počele su se proizvoditi 1878. U idućih desetak godina provedena je prva veća mehanizacija proizvodnoga procesa. Nabavljeni su motori koji su pokretali dvanaestak strojeva, iako je većina proizvodnje i dalje bila ručna. Daljnje modernizacije slijedile su potkraj XIX. i početkom XX. st. Prije prvog svjetskog rata poduzeće je imalo oko 1100 radnika. Tijekom rata upravljanje poduzećem preuzeo je Talijanski državni monopol koji ga je vodio do kraja drugog svjetskog rata. Broj radnika kretao se oko 800. Nakon drugog svjetskog rata poduzeće je nacionalizirano i ukinuta je proizvodnja cigara. Glavna uprava za duhan odlučila je likvidirati tvornice duhana u Puli, Rijeci i Senju, a dio strojeva iz riječke tvornice duhana dopremljen je u Rovinj. Poduzeće je početkom 1950-ih modernizirano kupnjom novih strojeva za izradbu i pakiranje cigareta. Većina proizvedenih cigareta bile su tzv. orijentalne cigarete bez filtra. Nakon 1961. godine porasla je potražnja za cigaretama s filtrom, pa je tvornica u Rovinju 1969. godine nabavila nove strojeve za izradbu cigareta s filtrom. U sljedeće dvije godine automatizirana je priprema duhana i izradba cigareta te je moderniziran grafički pogon. Početkom 1980-ih proizvodnja je automatizirana, instalirani su tada najsuvremeniji strojevi. Za potrebe fizikalno-kemijskoga laboratorija nabavljeni su spektrofotometar i stroj za pušenje, analize kojih su dovele do stalnoga smanjivanja tara i nikotina, štetnih sastojaka u dimu cigareta. Privatizacija poduzeća, koje je tada imalo oko 450 zaposlenih, provedena je 1993. godine. Od 2003. TDR je bio u sastavu Adris grupe, a od 2015. je u vlasništvu poduzeća British American Tobacco. Godine 2007. proizvodni pogoni premješteni su u Kanfanar, nedaleko od Rovinja u kojem je ostala uprava poduzeća. U 2018. godini TDR je imao 550 zaposlenih. Novim investicijama matičnog poduzeća BAT u rovinjske

pogone 2021. godine, proizvodni asortiman se proširuje na grijane duhanske proizvode (Hrvatska tehnička enciklopedija, 2022.). Na slici 24. vidi se tvornica u Kanfanaru. Slike iz tvornice nisu dostupne jer je fotografiranje u tvornici i okolici tvornice strogo zabranjeno zbog poslovnih tajni.



Slika 24. Tvornica duhana Rovinj (izvor: tportal.hr)

U tablici su prikazana mjerenja buke na lokacijama unutar hale 1 i hale 2 12,5. Sva mjerna mjesta su unutar dozvoljene vrijednosti najviše dopuštene razine buke. Na slikama 25. i 26. vide se pozicije na kojima je izvršeno mjerenje u halama.

Tablica 4. Lokacije mjerenja unutar hale 1 i hale 2 12,5 (izvor: obrada autora)

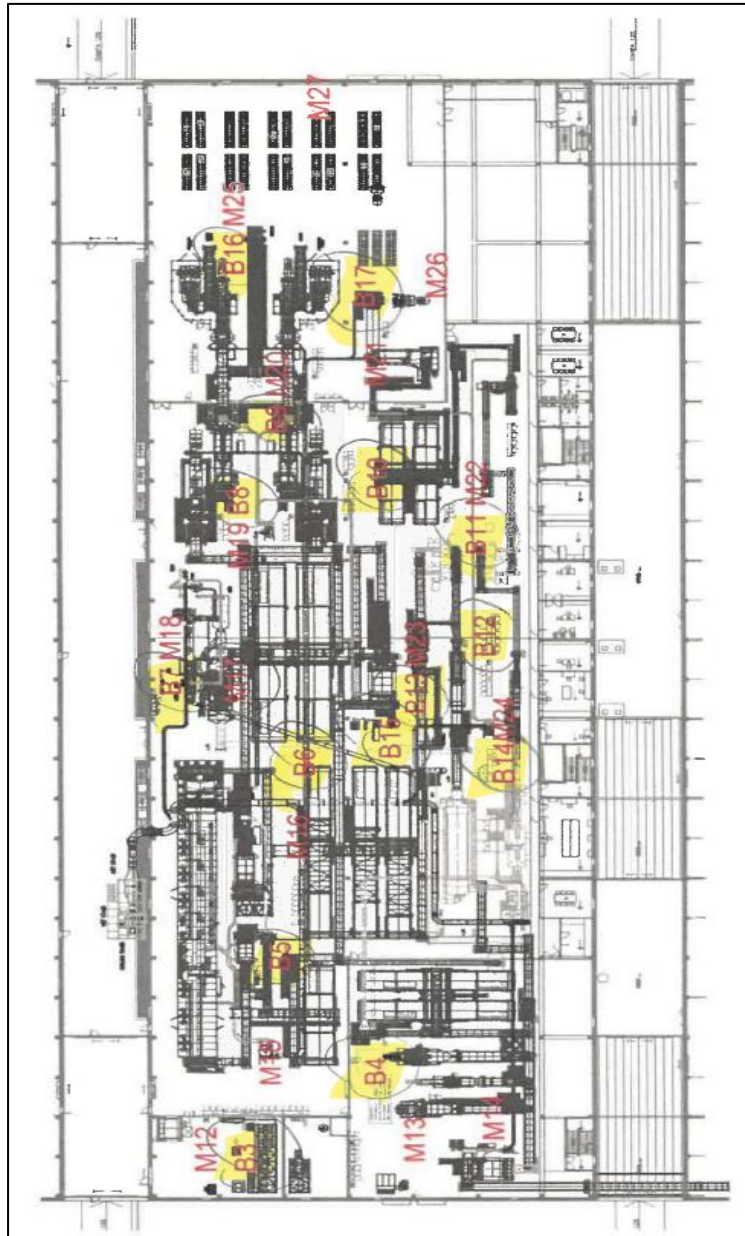
REDNI BROJ	MJERNO MJESTO	IZMJERENA BUKA $L_{A, EQ} / \text{dB(A)}$	NAJVIŠA DOPUŠTENA RAZINA BUKA $L_{A, EQ} / \text{dB(A)}$	ZADOVOLJAVA
	Hala 1			
B1	Otprašivanje	76,6	80	DA

B2	Ured	47,3	60	DA
	Hala 2			
B3	Kuhinja soseva	76,9	80	DA
B4	Aromatiziranje	71,3	80	DA
	Priprema duhana			
B5	Mjerno mjesto 1	73,1	80	DA
B6	Mjerno mjesto 2	71,1	80	DA
B7	Mjerno mjesto 3	73,6	80	DA
B8	Mjerno mjesto 4	76,1	80	DA
B9	Mjerno mjesto 5	77,9	80	DA
B10	Mjerno mjesto 6	73,5	80	DA
B11	Mjerno mjesto 7	71,1	80	DA
B12	Mjerno mjesto 8	72,2	80	DA
B13	Mjerno mjesto 9	74,2	80	DA
B14	Mjerno mjesto 10	71,8	80	DA
B15	Mjerno mjesto 11	72,3	80	DA
	Nalaganje			
B16	Mjerno mjesto 1	68,2	80	DA

B17	Mjerno mjesto 2	75,1	80	DA
-----	--------------------	------	----	----



Slika 25. Hala 1 (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)

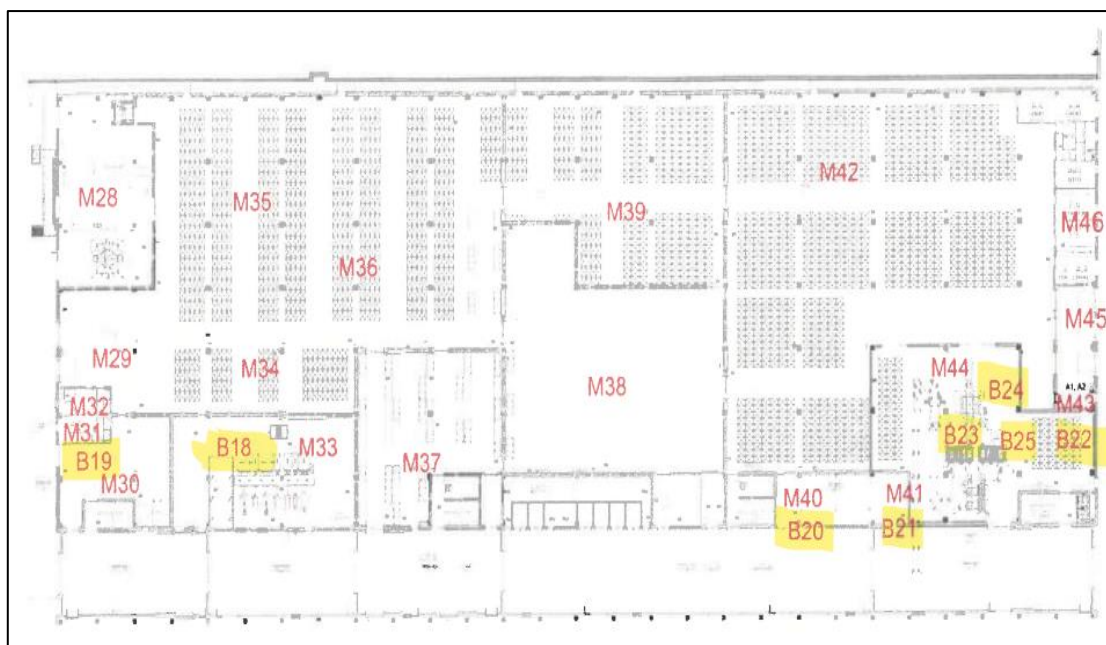


Slika 26. Hala 2 12,5 (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)

U sljedećoj zgradi, prikazanoj na slici 27., u hali 2 4,8, provela su se mjerenja. U tablici su prikazani dobiveni rezultati mjerenja.

Tablica 5. Lokacije mjerenja unutar hale 2 4,8 (izvor: obrada autora)

REDNI BROJ	MJERNO MJESTO	IZMJERENA BUKA $L_{A, EQ} / \text{dB(A)}$	NAJVIŠA DOPUŠTENA RAZINA BUKA $L_{A, EQ} / \text{dB(A)}$	ZADOVOLJAVA
	Hala 2			
B18	Postrojenje za otprašivanje	81,94	80	NE
B19	Prostor za zbrinjavanje otpada	70,1	80	DA
	Toplinska podstanica 2			
B20	Mjerno mjesto 1	73,2	80	DA
B21	Mjerno mjesto 2	84,6	80	NE
B22	Ured carinika	50,6	60	DA
	Paletizer			
B23	Kontrolni obilazak	76,6	80	DA
B24	Rad linije, radni stol	77,5	80	DA
B25	Omatanje paleta	75,6	80	DA



Slika 27. Hala 2 4,8 (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)

Na tlocrtu hale 2 4,8 vide se lokacije gdje su se provela mjerenja. Na mjernim mjestima B18 i B21 izmjerena buka veća je od najveće dopuštene buke s obzirom na vrstu djelatnosti koja se obavlja. Obzirom da na tim lokacijama razina buke prelazi najvišu dopuštenu razinu koja iznosi 80 dB(A) poslodavac je dužan staviti radnicima na raspolaganje osobnu opremu za zaštitu sluha u vidu ušnih čepova ili antifona, a radnicima se preporučuje korištenje osobne zaštitne opreme prema Pravilniku o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu.

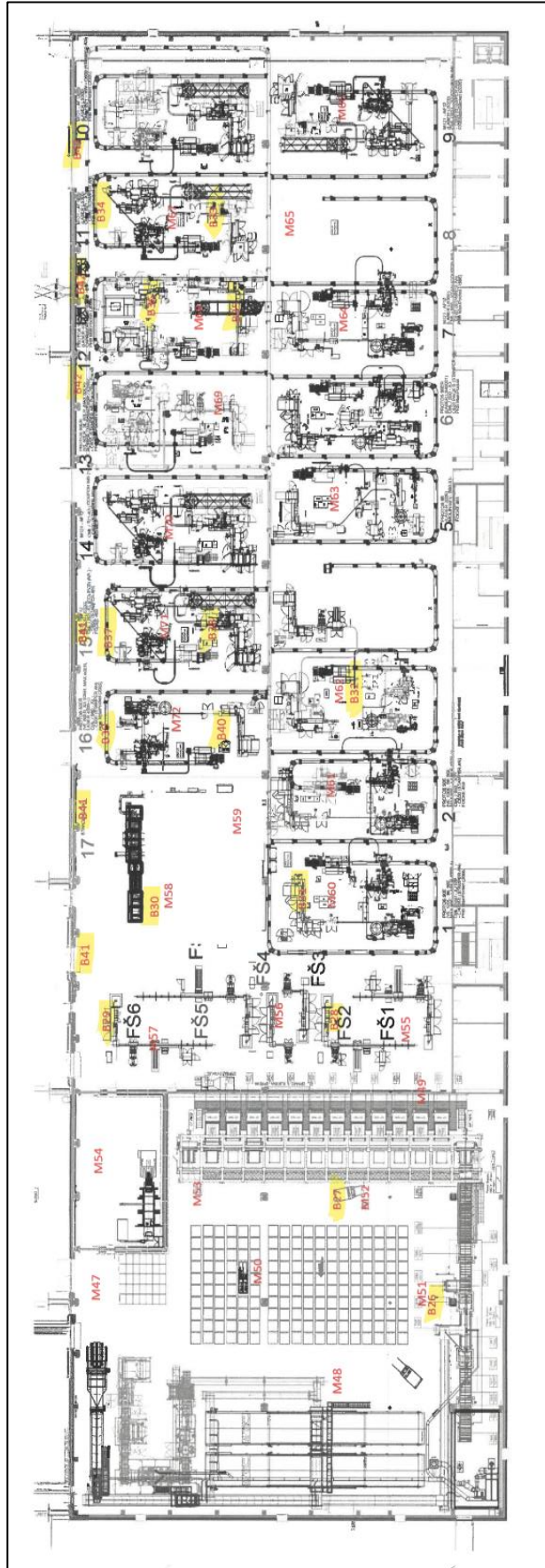
U sljedećoj tablici dani su podaci izmjereni u hali 3 4,8.

Tablica 6. Lokacije mjerenja unutar hale 3 4,8 (izvor: obrada autora)

REDNI BROJ	MJERNO MJESTO	IZMJERENA BUKA $L_{A, EQ} / DB(A)$	NAJVIŠA DOPUŠTENA RAZINA BUKA $L_{A, EQ} / DB(A)$	ZADOVOLJAVA
	Hala 3			
B26	Mjerno mjesto 1	71,3	80	DA

B27	Mjerno mjesto 2	60,6	80	DA
B28	Linija za izradu filter štapića	83,33	80	NE
B29	Linija za izradu filter štapića	83,8	80	NE
B30	Magomat	82,4	80	NE
B31	Mjerno mjesto 3	83,58	80	NE
B32	Mjerno mjesto 4	83,58	80	NE
B33	Pakiranje	84,88	80	NE
B34	Izrada	82,62	80	NE
B35	Izrada	83,96	80	NE
B36	Pakiranje	80,66	80	NE
B37	Izrada	82,7	80	NE
B38	Pakiranje	80,56	80	NE
B39	Pakiranje	80,51	80	NE
B40	Izrada	84,28	80	NE
B41	Prolaz uz strojeve lijevo	77,6	80	DA
B42	Prolaz uz strojeve desno	79,8	80	DA

Na mjernim mjestima od B28 do B40 izmjerena buka viša je od najveće dopuštene buke s obzirom na vrstu djelatnosti koja se obavlja. Obzirom da na tim lokacijama razina buke prelazi donju upozoravajuću granicu izloženosti koja iznosi 80 dB(A) poslodavac je dužan staviti radnicima na raspolaganje osobnu opremu za zaštitu sluha u vidu ušnih čepova ili antifona, a radnicima se preporučuje korištenje osobne zaštitne opreme. Na slici 28. vidi se tlocrt hale 3 4,8 sa označenim mjernim mjestima.



Slika 28. Hala 3 4,8 (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)

U hali 3 0,0, slika 29., nalaze se i prostorije u kojima se nalaze pomoćni strojevi za rad i obavljanje posla. Rezultati mjerenja dani su u tablici.

Tablica 7. Lokacije mjerenja unutar hale 3 0,0 (izvor: obrada autora)

REDNI BROJ	MJERNO MJESTO	IZMJERENA BUKA L_{A, EQ} / dB(A)	NAJVIŠA DOPUŠTENA RAZINA BUKA L_{A, EQ} / dB(A)	ZADOVOLJAVA
B43	Rashladna stanica 1	67,3	80	DA
B44	Rashladna stanica 2	67,9	80	DA
B45	Kompresorska stanica 1	82,57	80	NE
B46	Kompresorska stanica 2	81,93	80	NE
B47	Rad tokarskog stroja 1	79,5	80	DA
B48	Rad tokarskog stroja 2	79,8	80	DA
B49	Rad tokarskog stroja 3	79,7	80	DA
B50	Rad glodalice 1	76,6	80	DA
B51	Brusilica	80,2	80	NE

Na mjernim mjestima B45 i B46 u kompresorskoj stanici izmjerena buka viša je od zakonski dozvoljene koja iznosi 80 dB(A). Poslodavac je dužan omogućiti radnicima na raspolaganje osobnu opremu za zaštitu sluha u vidu ušnih čepova ili antifona, a radnicima se preporučuje korištenje osobne zaštitne opreme. Na slici 29. vidi se tlocrt prostorija sa označenim mjernim mjestima. Također je i na poziciji B51, slika 29., razina

buke povećana. Radnicima se preporuča da za vrijeme rada na stroju koriste osobnu zaštitnu opremu.



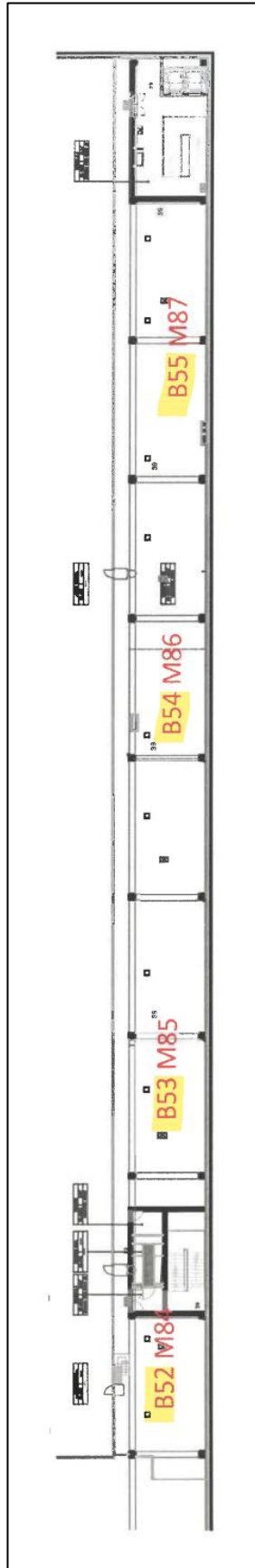
Slika 29. Hala 3 0,0 (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)

U hali 3. slika 30., nalazi se i klimakomora. Ona održava temperaturu i vlažnost zraka u hali kako bi uvjeti za rad i za materijal bili optimalni. U tablici su dani izmjereni podaci.

Tablica 8. Lokacije mjerenja unutar hale 3 klimakomora (izvor: obrada autora)

REDNI BROJ	MJERNO MJESTO	IZMJERENA BUKA L_{A, EQ} / dB(A)	NAJVIŠA DOPUŠTENA RAZINA BUKA L_{A, EQ} / dB(A)	ZADOVOLJAVA
B52	Mjerno mjesto 1	70,6	80	DA
B53	Mjerno mjesto 2	66,2	80	DA
B54	Mjerno mjesto 3	72,3	80	DA
B55	Mjerno mjesto 4	67,7	80	DA

Iz tablice je vidljivo da su na svim mjernim mjestima razine buke ispod najviše dopuštene i zakonski propisane buke. Na slici 30. je dan prikaz tlocrta prostorije.



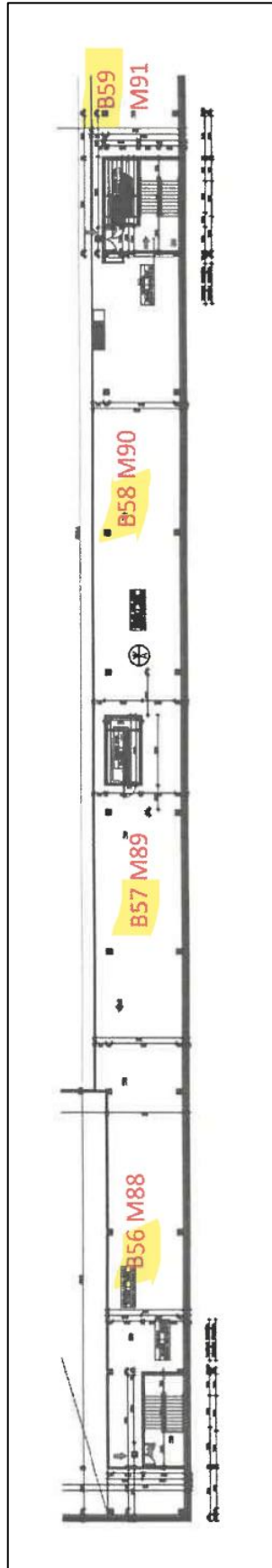
Slika 30. Hala 3 klimakomore (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)

I u hali 2, slika 31., se nalaze prostorije klimakomore koja služi istoj svrsi, za održavanje potrebne temperature prostorije i potrebne razine vlažnosti zraka. U tablici se nalaze izmjereni podaci na lokacijama klimakomore u hali 2.

Tablica 9. Lokacije mjerenja unutar hale 2 klimakomora (izvor: obrada autora)

REDNI BROJ	MJERNO MJESTO	IZMJERENA BUKA L_{A, EQ} / DB(A)	NAJVIŠA DOPUŠTENA RAZINA BUKA L_{A, EQ} / DB(A)	ZADOVOLJAVA
B56	Mjerno mjesto 1	66,8	80	DA
B57	Mjerno mjesto 2	68,7	80	DA
B58	Mjerno mjesto 3	68,4	80	DA
B59	Mjerno mjesto 4	65,3	80	DA

Kao što se da iščitati iz tablice, sve razine buke su unutar dozvoljene granice. Na slici 31. je dan tlocrt prostorije klimakomore u hali 2.



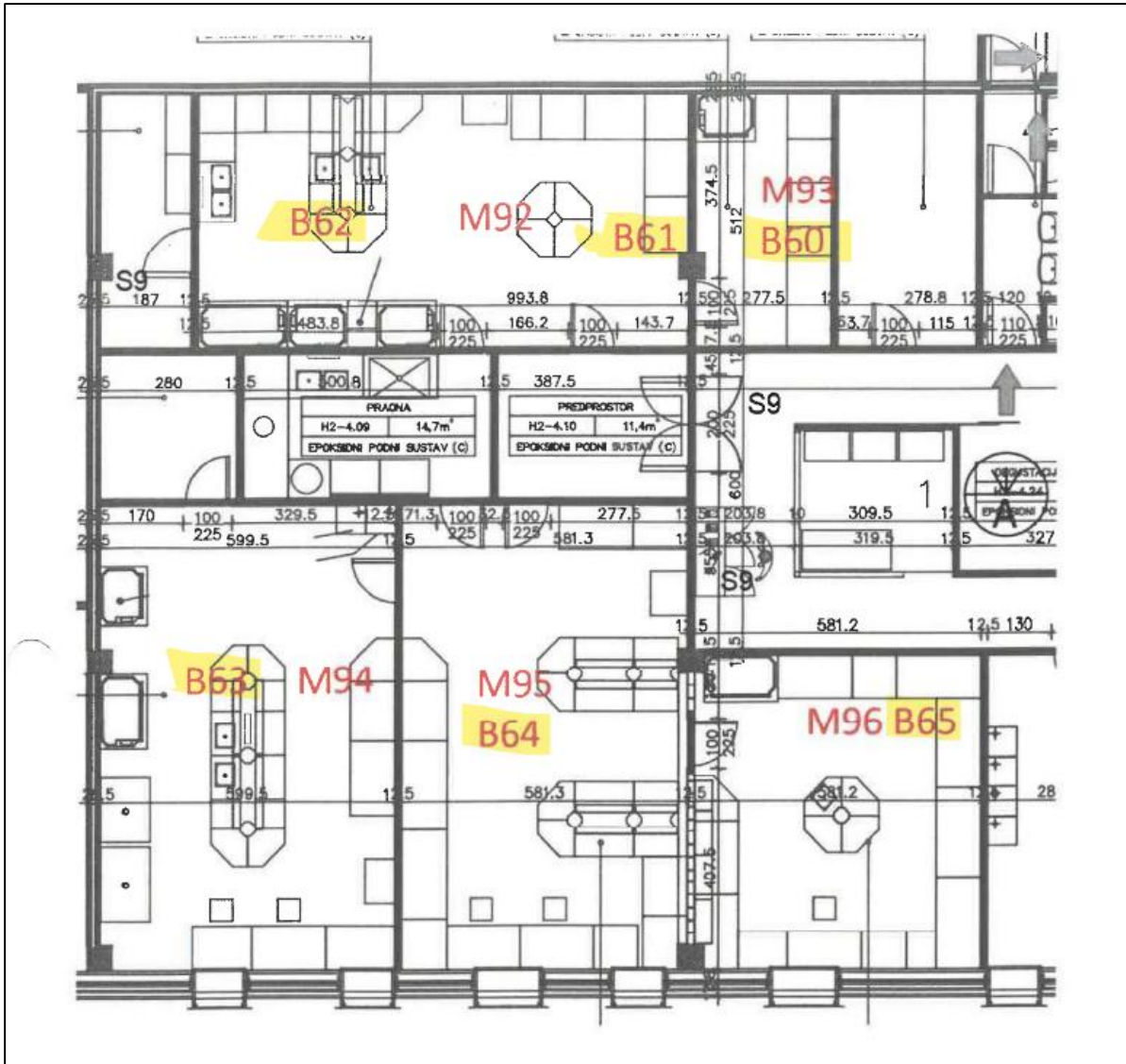
Slika 31. Hala 2 klimakomore (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)

Mjerenje buke provedeno je i u laboratoriju. Izmjereni podaci nalaze se u tablici.

Tablica 10. Lokacije mjerenja unutar laboratorija (izvor: obrada autora)

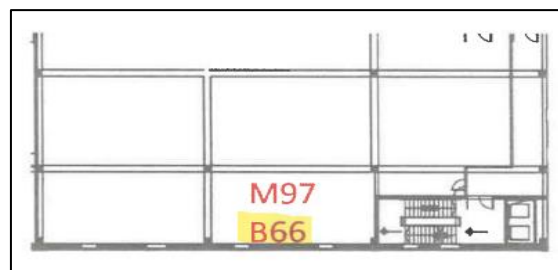
REDNI BROJ	MJERNO MJESTO	IZMJERENA BUKA L_{A, EQ} / DB(A)	NAJVIŠA DOPUŠTENA RAZINA BUKA L_{A, EQ} / DB(A)	ZADOVOLJAVA
B60	Mjerno mjesto 1	61,0	70	DA
B61	Mjerno mjesto 2	63,2	60	NE
B62	Mjerno mjesto 3	61,5	60	NE
B63	Mjerno mjesto 4	59,3	60	DA
B64	Mjerno mjesto 5	57,1	60	DA
B65	Mjerno mjesto 6	59,8	60	DA

Iz tablice se vidi da na mjernim mjestima B61 i B62 razina izmjerene buke prelazi najveću dopuštenu koja iznosi 60 dB(A). Razlog tomu je ventilacijska rešetka koja se nalazi na ulazu u prostoriju i potrebno ju je učvrstiti. Na slici 32. je dan tlocrt laboratorija.



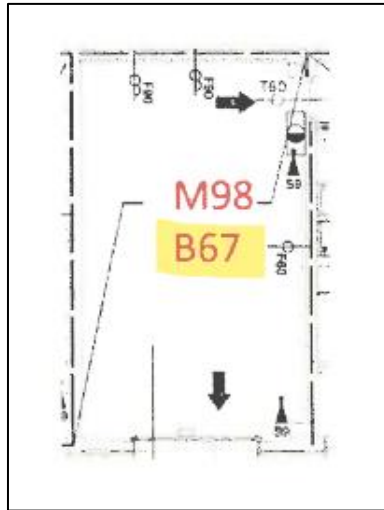
Slika 32. Laboratorij (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)

Mjerenje se obavilo na još nekoliko lokacija unutar tvornice. U skladištu pomoćnog materijala, na lokaciji B66, izmjerena je razina buke od 50,1 dB(A), dok je najviša dopuštena razina buke za taj prostor 60 dB(A). Na slici 33. je tlocrt skladišta pomoćnog materijala.



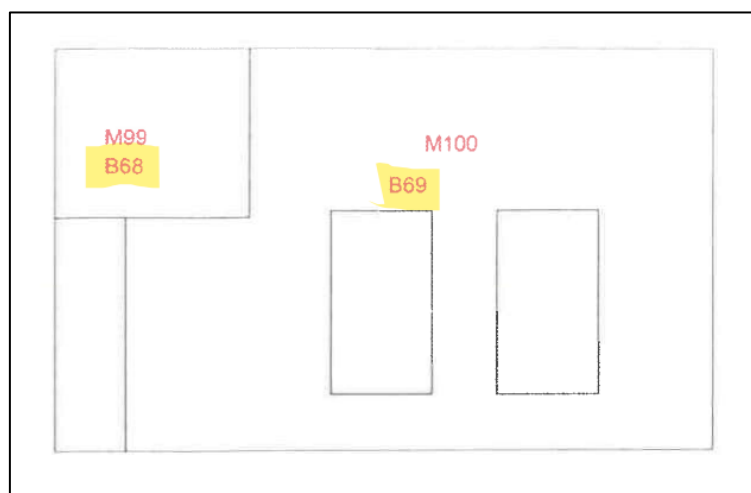
Slika 33. Skladište pomoćnog materijala (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)

Na lokaciji B67, u toplinskoj podstanici uprave, slika 34., izmjerena je buka u iznosu od 70,2 dB(A), dok je najviša dopuštena razina 80 dB(A). Razina buke je ispod granice i zadovoljava uvjetima. Tlocrt toplinske podstanice nalazi se na sljedećoj slici.



Slika 34. Toplinska podstanica uprave (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)

Posljednje dva mjerna mjesta, B68 i B69 nalaze se u kotlovnici. Kotlovnica ima ured i prostor gdje se nalaze kotlovi. Buka izmjerena u uredu, na lokaciji B68, iznosi 57,6 dB(A), dok je zakonski propisana granica 60 dB(A). Dakle, zadovoljava uvjete i ne prelazi granicu maksimalne propisane buke. Na lokaciji B69, kod kotla izmjerena razina buke iznosi 79,8 dB(A). Zakonski propisana i najveća dopuštena razina buke za taj prostor iznosi 80 dB(A), tako da i ovaj prostor zadovoljava uvjete maksimalne razine buke. Na slici 35. se nalazi tlocrt prostorije ureda i kotlovnice.



Slika 35. Kotlovnica (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)

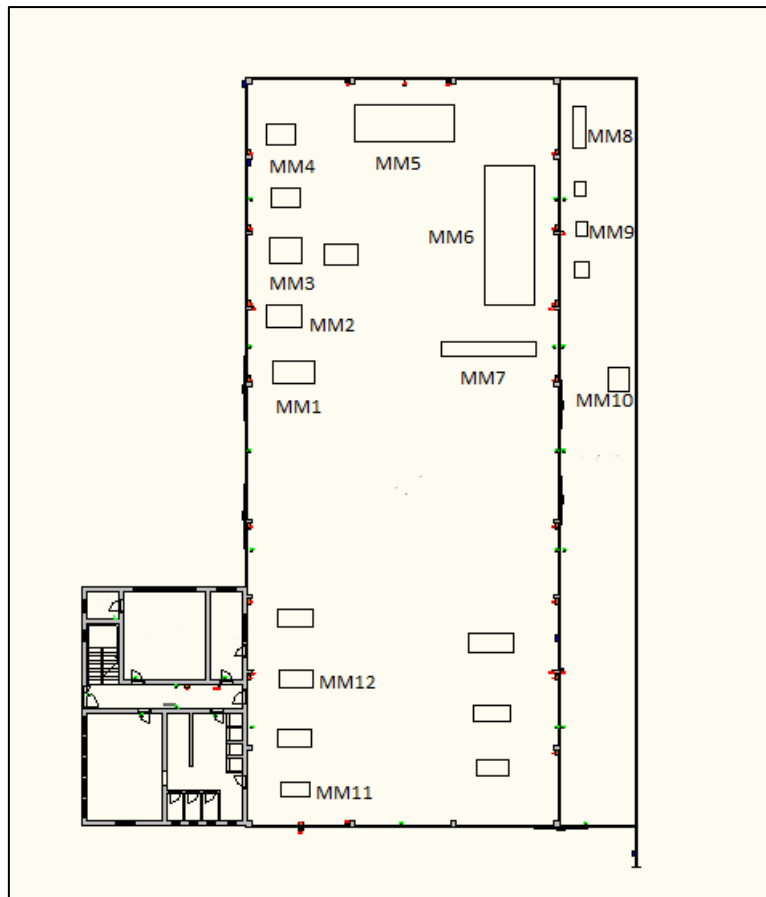
6.3. TUBUS

Proizvodni pogon poduzeća TUBUS d.o.o. - Galižana, smješten je u jednoj proizvodnoj hali u Zoni male privrede u Galižani. Hala se nalazi u ograđenom prostoru neposredno uz prometnicu unutar Zone male privrede. Pogon se sastojao od proizvodne hale sa sanitarnim čvorom i svlačionicom za radnike. Hala je pravokutne tlocrtne površine, armiranobetonske konstrukcije, dok je krovna konstrukcija čelična sa salonit pločama i nema posebno podignutog stropa. Prozori su jednostruko ostakljeni i nepomični, a jedan se dio prozora može otvoriti "na ventus" radi boljeg provjetravanja. Ulazna vrata u halu su klizna, te postoje zakretna vrata za ulaz osoba. Pod hale je betonski industrijski pod, a za strojeve je izvedeno posebno betonsko uzemljenje. U tehnološkim procesima poduzeća se vrši proizvodnja strojeva i njihovih dijelova te dijelova sustava za potrebe raznih grana industrije. Pritom se vrši obrada i montaža predmeta u manjim i većim serijama, odnosno pojedinačni komadi te je takvoj djelatnosti prilagođen i pogon u koje se na ulaznim strojevima vrši trasiranje, tokarenje, glodanje, varenje, rezanje, skošavanje, savijanje. Formirane su linije proizvodnje i sve se operacije izvode prema vrsti radnog mjesta. Pojedinačni proizvodi se, ovisno o zahtjevu kupca, površinski čiste i odmašćuju, a zatim prekrivaju zaštitnim premazom i bojama. U proizvodnom procesu djelatnici se služe brojnim ručnim, poluautomatskim i automatski strojevima koji se redovito servisiraju, pregledavaju i atestiraju. Ručni alat se koristi onda kada radni stroj nema mogućnost izvođenja potrebnih radnji. Odabir stroja i alata se vrši shodno željenom rezultatu i željenoj obradi koja se može vršiti na više razina, ovisno o karakteristikama završnog proizvoda. O tekućem održavanju strojeva i uređaja, alata i pribora za rad skrbi mehaničar, te ukoliko postoji potreba za zamjenom, nabavom, zamjenom ili slično o istome obavještava nadležnog rukovodioca. Proizvodni proces obuhvaća pripremu, izradu i transport. Gotovi elementi transportiraju se izvan hale, gdje se manipulacija vrši pomoću viličara, obavljaju se potrebne dorade te se elementi pripremaju za transport. Za prijevoz robe u unutarnjem transportu koristi se viličar i mosna dizalica, koji moraju u prostoru imati omogućen manipulativni prostor djelovanja i prijenosa tereta sa skladišta, te mora biti omogućeno opsluživanje svih strojeva i uređaja u pogonu. Upravljanje vrše stručno osposobljeni djelatnici za upravljanje viličarom i dizalicom. Za potrebe transporta i dobave ulaznih poluproizvoda i dostavu gotovih proizvoda poduzeće posjeduje službu prijevoza. Utovar i istovar robe posložene na palete u kamion ili gospodarsko vozilo se vrši

koristeći viličar. Postupci skladištenja se vrše prema specifikacijama proizvođača. Za prijevoz robe u unutarnjem transportu i podizanje tereta na više razine skladišta koriste se viličari. Utovar i istovar robe posložene na palete u kamion ili gospodarsko vozilo se vrši na prostoru otvorenog skladišta koristeći viličar. Prilikom rada djelatnici su izloženi slijedećim opasnostima: mehaničkim opasnostima, mehaničkim opasnostima pri horizontalnom i verikalnom transportu, opasnostima od padova i rušenja, opasnosti od buke, opasnostima od prašine, opasnosti od požara, opasnosti od nepovoljnih atmosferskim uvjeta te opasnostima od oštećenja sustava za kretanje. Administrativni radnici izrađuju, vode, pohranjuju i održavaju financijsku i nefinancijsku dokumentaciju te pripremaju i ispostavljaju predračune i račune kupcima ili korisnicima usluga na osnovi njihovih narudžbi. Na slikama 36. i 37. vidi se ulaz u halu i tlocrt iste sa ucrtanim pozicijama strojeva (interni dokumenti TUBUS-a).



Slika 36. Ulaz u halu (izvor: izrada auora)



Slika 37. Tlocrt hale TUBUS-a (izvor: izrada autora)

U tablici jedanaest prikazane su izmjerene razine buke u hali na 11 pozicija gdje se radilo.

Tablica 11. Lokacije mjerenja unutar hale (izvor: obrada autora)

REDNI BROJ	MJERNO MJESTO	IZMJERENA BUKA $L_{A, EQ} / \text{dB(A)}$	NAJVIŠA DOPUŠTENA RAZINA BUKA $L_{A, EQ} / \text{dB(A)}$	ZADOVOLJAVA
MM1	Valjci za savijanje limova	79,2	80	DA
MM2	Probijač lima	83,5	80	NE

MM3	Tračna pila	84,3	80	NE
MM4	Tračna pila	84,8	80	NE
MM5	Hidraulična preša	77,7	80	DA
MM6	Rezanje lima plazmom	99,1	80	NE
MM7	Hidraulične škare za rezanje lima	73,8	80	DA
MM8	Tokarski stroj	82,9	80	NE
MM9	Radijalna bušilica	78,5	80	DA
MM10	Tračna pila	83,1	80	NE
MM11	Ručna obrada (brušenje)	96	80	NE
MM12	Ručna obrada (rezanje)	103,2	80	NE

Na mjernim mjestima MM1, MM5 i MM7 izmjerena ekvivalentna razina buke je ispod najviše dopuštene razine buke prema Pravilniku o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu. Na mjernim mjestima MM2, MM3, MM4 i MM6 izmjerena razina buke, prema istom pravilniku, je iznad dopuštene razine i radnicima se savjetuje korištenje osobne zaštitne opreme za zaštitu sluha. Na slici 38. vidi se dio hale gdje se nalaze strojevi, od MM1 do MM7, na kojima je izmjerena buka.



Slika 38. Pozicije strojeva MM1 do MM7 (izvor: izrada autora)

Na pozicijama MM8 i MM10 razina izmjerene buke prelazi najvišu dopuštenu razinu, dok je na poziciji MM9 izmjerena razina buke ispod najviše dozvoljne prema Pravilniku o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu. Radnicima se savjetuje korištenje osobne zaštitne opreme za zaštitu sluha. Na slici 39. vide se položaji strojeva u hali.



Slika 39. Pozicije strojeva MM8 do MM10 (izvor: izrada autora)

Na posljednjim izmjerenim pozicijama, MM11 i M12, gdje se obavljaju poslovi ručne obrade, izmjerena razina buke je prelazila najvišu dopuštenu razinu prema Pravilniku o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu. Radnicima se savjetuje korištenje osobne zaštitne opreme za zaštitu sluha od buke. Na slici 40. vide se radni stolovi za ručnu obradu.



Slika 40. Pozicije strojeva MM11 i MM12 (izvor: izrada autora)

7. ZAKLJUČAK

Industrijska revolucija kojoj smo svjedoci u posljednjih nekoliko desetaka godina donosi nam iz dana u dan sve veće onečišćenje bukom. Kako se s industrijskim razvojem povećava i gustoća stanovništva, buka ugrožava sve veći broj ljudi. Zaštita čovjekova zdravlja i sluha postao je zahtjevan zadatak i treba mu pokloniti posebnu pažnju. Tehnika je svojim napretkom okružila čovjeka golemim brojem izvora buke, ali je istodobno - povećavajući radnu produktivnost - stvorila materijalna i financijska sredstva koja omogućuju uspješnu borbu protiv te nepoželjne pojave.

Prilikom proučavanja utjecaja zvuka na ljude, moramo uzeti u obzir svojstva ljudskog sluha. Ljudsko uho može čuti frekvencije zvuka u intervalu od 20 Hz do 20 kHz pri čemu je najosjetljivije na zvukove frekvencija između 2 i 5 kHz. Pokazali smo da osjetljivost ljudskog uha, osim o frekvenciji, ovisi i o zvučnom tlaku privedenom uhu pri određenoj frekvenciji. Najmanji zvučni tlak kojeg ljudsko uho može opaziti pri frekvenciji od 1 kHz iznosi $20 \mu\text{Pa}$, što odgovara intenzitetu zvuka od $10\text{-}12 \text{ W/m}^2$. Najveći zvučni tlak kojega ljudsko uho može podnijeti pri frekvenciji od 1 kHz, a da se ne ošteti iznosi 20 Pa , što odgovara intenzitetu zvuka od 1 W/m^2 . Zbog tako velikih omjera zvučnih tlakova i intenziteta koje ljudsko uho opaža, ali i činjenice da važne osobine sluha vežemo uz logaritamski odnos, prilikom opisivanja odnosa zvučnih intenziteta i tlakova koristimo logaritme omjera i uvodimo pojmove razine zvučnog tlaka, zvučnog intenziteta i zvučne snage. Prikazom promjene veličine zvučnog tlaka u ovisnosti o frekvenciji dobijemo zvučni spektar, a iz njegovog oblika određujemo predstavlja li promatrani zvuk čisti ton, složeni ton ili šum.

Buka koju definiramo kao neželjeni zvuk velik je problem današnjice, a osim što ugrožava čovjekovo zdravlje nepovoljno djeluje i na produktivnost pri obavljanju poslova, osobito onih za koje je potrebna velika koncentracija i pozornost. Zbog toga je buku potrebno redovno mjeriti i reagirati ukoliko njena vrijednost prijeđe zakonom dozvoljene vrijednosti. Najviše dopuštene razine buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave određene su Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka i Pravilnikom o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu. Mjerenje buke na radnom mjestu ili u sredini u kojoj ljudi borave mjeri se zvukomjerima. U ovom radu korišten je zvukomjer marke Svantek,

model SVAN 959. To je digitalni mjerač razine zvuka i vibracija klase 1 zajedno s analizatorom. Instrument je namijenjen za opća akustička i vibracijska mjerenja, praćenje okoliša, praćenje zdravlja i sigurnosti na radu.

Nakon provedenih mjerenja i analize rezultata zaključujemo da je razina buke u Tvornici stakla Pula iznad dopuštene razine, kao i na pojedinim lokacijama unutar hala u Tvornici duhana Rovinj i unutar hale TUBUS-a. Upotreba osobnih zaštitnih sredstava zahtjeva da radnici budu opremljeni s odgovarajućim i primjerenim osobnim sredstvima za zaštitu sluha. Preporuke za odabir i uporabu takvih sredstava su odabir odgovarajuće vrste zaštitnog sredstva, u skladu s radnim uvjetima, na primjer ušne štitnike za kratko vrijeme izloženosti, te ušne čepiće za rad u prašnjavom ili prljavom radnom okolišu. Potrebno je odabrati zaštitna sredstva s primjerenom razinom smanjenja buke, izbjegavajući i nedovoljnu i prekomjernu zaštitu, pravilno postavljati ušne čepiće, ne upotrebljavati već korištene čepiće, te najbitnije, upotrebljavati zaštitna sredstva redovito. Povoljna je okolnost što ta sredstva daju najveće slabljenje buke upravo na visokim frekvencijama, na koje je ljudsko uho najosjetljivije.

Ispitivanje se provelo na način da se buka izmjerila na mjernom mjestu u visini uha radnika, te se dobiveni podatak zapisao i uvrstio u tablicu. Dobiveni rezultati uspoređeni su sa Pravilnikom o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu te se zaključilo premašuje li, ili ne, dozvoljene razine buke. U svim je tvornicama na nekim mjestima izmjerena viša razina buke od dopuštene. To je zbog radnog procesa i strojeva koji se u njima koriste. Tvornica stakla je vrlo bučno okruženje upravo zbog posla koji obavlja, proizvodnja i oblikovanje stakla, a za to su potrebni veliki i bučni strojevi i radni procesi. Tvornica TUBUS također, željezna industrija koja je vrlo bučna zbog velikih i snažnih strojeva koji se koriste za manipulaciju i prerađivanje metala. Najveća, ujedno i najmodernija tvornica, bila je tvornica duhana. Buka je na pojedinim mjestima povećana, ali na većini pozicija unutar tvornice, ona je ispod zakonski propisane i dozvoljene razine. To je zato jer je najmodernija, opremljena novim strojevima i tehnološkim procesima koji uveliku uzimaju u obzir buku i njen utjecaj na zdravlje radnika.

Tvornica duhana Rovinj je najmodernija i najsuvremenija, opremljena modernim strojevima koji ne proizvode velike razine buke, stoga je na samo nekoliko mjesta

unutar tvornice potrebno nositi zaštitnu opremu za sluh. Tvornica stakla Pula koristi starije strojeve koji proizvode više razine buke. Mogao bi se napraviti remont i modernizacija tvornice, ali kako je to vrlo skup i dugotrajan proces, uz osobnu zaštitnu opremu, mogle bi se koristiti kolektivne i organizacijske mjere zaštite. Kolektivne mjere bi uključivale apsorbere zvuka koji bi smanjili odbijanje zvuka, a samim time i razinu decibela koji dolazi do uha radnika. Organizacijske mjere koje bi se mogle primjeniti su da pojedini radnik ne ostaje predugo na istom radnom mjestu, ali radi složenosti i znanja posla, to nije najjednostavnije za provesti. Tvornica TUBUS mogla bi relativno lako poboljšati uvjete rada, time što bi postavila apsorbere zvuka između strojeva, i na taj ih način ogradila i spriječila širenje zvuka. To je moguće zbog površine prostora između strojeva, ali ne smije se zaboraviti veličina komada koji se obrađuju, kako se ne bi izgubila funkcionalnost pojedinih strojeva.

Na svim je mjestima, u sve tri tvornice, obavezno korištenje zaštitne opreme za sluh, što se pri ulazu u prostorije gdje je razina buke povećana označava znakom upozorenja i obaveznim korištenjem zaštitne opreme.

Dok tehnološki razvoj uz sebe donosi sve veće vrijednosti razine buke, razvijaju se i sve suvremeniji mjerni instrumenti, metode mjerenja buke te načini brzog analiziranja buke i postupaka zaštite od buke. Važno je redovno mjeriti buku kako bismo mogli spriječiti njeno štetno auralno i ekstraauralno djelovanje te kako bismo poboljšali kvalitetu života ljudi.

8. LITERATURA

Radanović B., *Fizikalne štetnosti – Buka*. Drugo izdanje, Zagreb, IPROZ, 1999.

Trbojević N., *Osnove zaštite od buke i vibracija*. Kalovac, Veleučilište u Karlovcu, 2011.

Bošnjaković R., *Redukcija buke*. Ljubljana, TOZD GOSPODARSKI VESTNIK, 1981.

Ingemansson S., *Zaštita od buke - Načela i primjena*. Zagreb, ZIRS, 1995.

Guyer J. P., *Fundamentals of Acoustics*. Woodcliff Lake, Continuing Education and Development, Inc., 2009.

Hawkins J. E., „human ear“, Britannica, 1998.,
<https://www.britannica.com/science/ear> (pristupljeno 15. prosinac 2022.)

Kirin, S., Lauš, K. „Istraživanje razine buke u tehnološkom procesu šivanja“, Sigurnost, vol. 53, no. 3, 243 - 250, 2011.

Klančnik M, *Utjecaj buke na zdravlje i radnu sposobnost, Časopis Nastavnog zavoda za javno zdravstvo SDŽ*, vol. 7, no. 2, 2013. str.

Šarić M. i E. Žuškin, *Medicina rada i okoliša*. Zagreb, Medicinska naklada, 2002.
Zakon o zaštiti na radu, NN 71/14

Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu, NN 46/08

Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, NN 145/04

Varžić D., *Primjena osobne opreme za zaštitu sluha*, Sigurnost, vol. 52, no. 3, 263 – 274, 2010.

Jacobsen F. et al., *Fundamentals of acoustics and noise control*. Copenhagen, Technical University of Denmark, 2009.

Laboratorio de analisis ambiental y geoquimica, *Informe de laboratorio 0860-09-ECO*. Boyaca, Antek s.a., 2009.

Uredništvo, „Duran d. d.“, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021.,
<https://tehnika.lzmk.hr/duran-d-d/> (pristupljeno 11. siječanj 2023.)

Uredništvo, „Tvornica duhana Rovinj d. o. o.“, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2022.,
<https://tehnika.lzmk.hr/tvornica-duhana-rovinj-d-d/> (pristupljeno 14. siječanj 2023.)

Popis slika

Slika 1. Raspon frekvencija (izvor: katalog Rockwool zvučna izolacija)	3
Slika 2. Prikaz razine decibela (izvor: Sound pressure measurement Dewesoft)6	
Slika 3. Građa uha (izvor: Građa i uloge osjetila Biologija 8)	12
Slika 4. Utjecaj buke na čovjeka (izvor: Buka, Zaštita od buke - načela i primjena, ZIRS)	14
Slika 5. Kontrolne mjere (izvor: interne prezentacije Tvornice stakla Pula).....	21
Slika 6. Ušni štitnici (izvor: Ušni štitnici za zaštitu sluha - ZIRS)	24
Slika 7. Ušni čepovi (izvor: Čepiči za zaštitu sluha - Wurth).....	25
Slika 8. Frekvencijske krivulje Filtera A i B (izvor: Frequency-Weighting Sound Level Measurements Acoustical Consultants)	29
Slika 9. Zvukomjer (izvor: izrada autora).....	31
Slika 10. Visina zvukomjera (izvor: Trbojević, 2011.)	32
Slika 11. Udaljenost zvukomjera izvan prostorija (izvor: Trbojević, 2011.)	33
Slika 12. Udaljenost zvukomjera unutar prostorija (izvor: Trbojević, 2011.)	33
Slika 13. Utjecaj operatera (izvor: Trbojević, 2011.)	34
Slika 14. Položaj operatera (izvor: Trbojević, 2011.).....	34
Slika 15. Reflektirana buka (izvor: Trbojević, 2011.).....	35
Slika 16. Zbrajanje razine buke sa više izvora (izvor: Trbojević, 2011.).....	35
Slika 17. Elektromotor (izvor: 6 najčešćih kvarova elektromotora – Strojska radionica)	37
Slika 18. Generator (izvor: Dagartech DGW 600 ST-480/277V – dagartech.com)	38
Slika 19. Transformator (izvor: Prvi uzemljivački transformator za Obalu Bjelokosti – koncar.hr).....	39
Slika 20. Tvornica stakla Pula (izvor: Google Maps)	41
Slika 21. Zgrada staklane (izvor: Google Maps).....	42
Slika 22. Tlocrt staklane (izvor: interni dokumenti Tvornice stakla)	42
Slika 23. Prigušnica (izvor: izradio autor).....	43
Slika 24. Tvornica duhana Rovinj (izvor: tportal.hr)	45
Slika 25. Hala 1 (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)	47
Slika 26. Hala 2 12,5 (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)	48
Slika 27. Hala 2 4,8 (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)	50
Slika 28. Hala 3 4,8 (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)	52
Slika 29. Hala 3 0,0 (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)	54
Slika 30. Hala 3 klimakomore (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)	56
Slika 31. Hala 2 klimakomore (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)	58
Slika 32. Laboratorij (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)	60
Slika 33. Skladište pomoćnog materijala (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana).....	60
Slika 34. Toplinska podstanica uprave (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana).....	61
Slika 35. Kotlovnica (izvor: interni dokumenti Tvornice duhana)	61
Slika 36. Ulaz u halu (izvor: izrada auora)	63
Slika 37. Tlocrt hale TUBUS-a (izvor: izrada autora)	64
Slika 38. Pozicije strojeva MM1 do MM7 (izvor: izrada autora).....	66
Slika 39. Pozicije strojeva MM8 do MM10 (izvor: izrada autora).....	67
Slika 40. Pozicije strojeva MM11 i MM12 (izvor: izrada autora)	68

Tablica 1. Zbrajanje decibela (izvor: Guyer, 2009.)	9
Tablica 2. Dopuštene razine buke s obzirom na vrstu djelatnosti (izvor: Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu NN46/08)	19
Tablica 3. Značajke buke (izvor: Ingemansson et al., 1995.)	27
Tablica 4. Lokacije mjerenja unutar hale 1 i hale 2 12,5 (izvor: obrada autora) 45	
Tablica 5. Lokacije mjerenja unutar hale 2 4,8 (izvor: obrada autora)	49
Tablica 6. Lokacije mjerenja unutar hale 3 4,8 (izvor: obrada autora)	50
Tablica 7. Lokacije mjerenja unutar hale 3 0,0 (izvor: obrada autora)	53
Tablica 8. Lokacije mjerenja unutar hale 3 klimakomora (izvor: obrada autora)	55
Tablica 9. Lokacije mjerenja unutar hale 2 klimakomora (izvor: obrada autora)	57
Tablica 10. Lokacije mjerenja unutar laboratorija (izvor: obrada autora)	59
Tablica 11. Lokacije mjerenja unutar hale (izvor: obrada autora)	64

U ovom diplomskom radu provelo se istraživanje mjerenja buke u proizvodnom industrijskom procesu i njen utjecaj na radnike, kao i načini zaštite. Korišten je zvukomjer marke Svantek, model SVAN 959. Posjećena su tri tvornice, Tvornica stakla u Puli, Tvornica duhana Rovinj u Kanfanaru i poduzeće TUBUS u Galižani, svaki sa svojim proizvodnim industrijskim procesom. Dobiveni rezultati usporedili su se sa Pravilnikom o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu. Tvornica stakla je vrlo glasan pogon, kao i poduzeće TUBUS, koje se bavi prerađivanjem metala. U njima je obavezno korištenje zaštitne opreme protiv buke koja na više mjesta prelazi dozvoljenu zakonsku granicu. U Tvornici stakla su dizne na peći za kaljenje zamijenje sa prigušnicama, što je dovelo do smanjenja razine buke. Situacija u Tvornici duhana je vrlo dobra, obzirom da je to i najmodernija tvornica u kojoj se puno značaja pridonosi zaštiti radnika. Na pojedinim mjestima unutar tvornice razina buke prelazi dozvoljene granice, ali je stoga propisna obavezna upotreba zaštitne opreme protiv buke. Poduzeće TUBUS bavi se obradom i prerađivanjem metala, što je vrlo bučna industrija. Propisana je upotreba zaštitne opreme protiv buke. Bilo bi moguće dodatno smanjiti razine buke apsorberima buke koji bi se postavili oko strojeva i radnih stanica, ali to bi dovelo do smanjenja mogućnosti obrade velikih komada materijala, što nije u interesu poduzeća. Kako tehnologija napreduje i razvija se, tako se razvija i svijest o zaštiti radnika. Puno se pažnje stoga pridonosi upravo zaštiti radnika i načinima poboljšavanja radnih uvjeta u proizvodnim industrijskim procesima.

Ključne riječi: industrija, buka, mjerenje, zakon, zaštita

Abstract

In this thesis, research was carried out on the measurement of noise in the production industrial process and its impact on workers, as well as ways of protection. A Svantek sound level meter, model SVAN 959, was used. Three factories were visited, the Glass Factory in Pula, the Rovinj Tobacco Factory in Kanfanar and the TUBUS company in Galižana, each with its own production industrial process. The obtained results were compared with the Ordinance on the protection of workers from exposure to noise at work. The glass factory is a very loud facility, as is the company TUBUS, which deals with metal processing. In them, it is mandatory to use protective equipment against noise that in many places exceeds the legal limit. In the glass factory, the nozzels on the tempering furnace were replaced with chokes, which led to a reduction in noise levels. The situation in the Tobacco Factory is very good, considering that it is also the most modern factory where a lot of importance is given to the protection of workers. In certain places within the factory, the noise level exceeds the permitted limits, but the use of protective equipment against noise is therefore mandatory. The company TUBUS deals with processing of metals, which is a very noisy industry. The use of protective equipment against noise is prescribed. It would be possible to further reduce noise levels with noise absorbers placed around machines and workstations, but this would lead to a reduction in the ability to process large pieces of material, which is not in the company's interest. As technology advances and develops, so does the awareness of worker protection. A lot of attention is therefore given to the protection of workers and ways to improve working conditions in production industrial processes.

Keywords: industry, noise, measurement, law, protection