

Mogućnosti smanjenja emisije buke sustava za odsis i transport drvnih čestica zrakom

Pavičić, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:110732>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-04**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE

DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

DRVNOTEHNOLOŠKI PROCESI

MARIJA PAVIČIĆ

**MOGUĆNOSTI SMANJENJA EMISIJE BUKE SUSTAVA ZA
ODSIS I TRANSPORT DRVNIH ČESTICA ZRAKOM**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

**MOGUĆNOSTI SMANJENJA EMISIJE BUKE SUSTAVA ZA
ODSIS I TRANSPORT DRVNIH ČESTICA ZRAKOM**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Drvnotehnološki procesi

Predmet: Rukovanje materijalom

Ispitno povjerenstvo:

prof. dr. sc. Ružica Beljo Lučić

izv. prof. dr. sc. Igor Đukić

izv. prof. dr. sc. Kristijan Radmanović

doc. dr. sc. Matija Jug (zamjenski član)

Student: Marija Pavičić

JMBAG: 0068230986

Datum odobrenja teme: 26.04.2024.

Datum predaje rada: 09.09.2024.

Datum obrane rada: 20.09.2024.

Zagreb, 2024.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	MOGUĆNOSTI SMANJENJA EMISIJE BUKE SUSTAVA ZA ODSIS I TRANSPORT DRVNIH ČESTICA ZRAKOM
Title	Possibilities of reducing the noise emission of the air system for the extraction and transport of wood particles
Autor	Marija Pavičić
Mjesto izrade	Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	prof. dr. sc. Ružica Beljo Lučić
Godina objave	2024.
Obujam	7 poglavlja, 49 stranica, 29 slika, 17 navoda literature
Ključne riječi	Buka, odsis i transport drvnih čestica zrakom, smanjenje emisije buke, akustična zaštita okoliša
Key words	Noise, extraction and transport of wood particles, noise emission reduction, environmental acoustic protection
Sažetak	Ovaj diplomski rad istražuje problematiku buke u drвноj industriji, s posebnim naglaskom na sustave za odsis i transport drvnih čestica putem zraka, te njihovim utjecajem na okolinu i okolno stanovništvo. Buka iz ovih sustava može značajno narušiti kvalitetu života lokalnih zajednica i pridonijeti ekološkom onečišćenju. Rad analizira postojeće tehnologije i metode za smanjenje buke u okoliš. Predlažu se napredne metode, uključujući primjenu zvučno izolacijskih materijala, s ciljem smanjenja buke i zaštite okoliša te zdravlja i dobrobiti okolnog stanovništva.
Summary	This thesis addresses the issue of noise in the wood industry, with a particular focus on air extraction and transport systems for the wood particles, and their impact on the environment and surrounding population. The noise generated by these systems can significantly disrupt the quality of life in local communities and contribute to environmental pollution. The study analyzes existing technologies and methods for reducing noise emissions into the environment, with a specific focus on acoustic protection and minimizing negative environmental impacts. Advanced methods are proposed, including the application of soundproofing materials and the optimization of ventilation system design, aiming to reduce noise and protect the environment, as well as the health and well-being of the surrounding population.

	IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI	OB FŠDT 05 07
		Revizija: 2
		Datum: 29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 09.09.2024. godine

vlastoručni potpis

Marija Pavičić

PREDGOVOR

Želim zahvaliti svojoj mentorici, profesorici Ružici Beljo Lučić, na nesebičnoj podršci, stručnom vođenju i korisnim savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada. Njezina stručnost i smjernice bili su ključni za uspješan završetak ovog rada.

Ovaj diplomski rad posvećujem svom ocu koji je uvijek isticao važnost obrazovanja i svojim primjerom pokazivao što znači ustrajnost, radna etika i predanost. Njegova nepokolebljiva podrška i savjeti vodili su me kroz sve izazove, a njegovo vjerovanje u moje sposobnosti davalo mi je snagu da se suočim s preprekama i nastavim naprijed, čak i u najtežim trenucima.

Zahvaljujem se i svojoj majci, čija je neizmjerena ljubav i briga bila moj oslonac i izvor motivacije. Njezina toplina, razumijevanje i nesebična podrška pružale su mi sigurnost i stabilnost, što mi je omogućilo da se posvetim obrazovanju i postignem ciljeve koje sam si postavila.

Također, želim zahvaliti ostatku moje obitelji i prijateljima, koji su mi bili izvor snage, radosti i inspiracije. Njihovo prijateljstvo i podrška nisu samo obogatili moje studentske dane, već su mi pomogli da održim ravnotežu između obaveza i životnih radosti.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PREGLED LITERATURE.....	3
2.1. Zvuk.....	3
2.2. Buka i njezino štetno djelovanje na čovjeka.....	3
2.3. Zakoni i norme o zaštiti od buke.....	6
2.3.1. Zakon o zaštiti od buke.....	6
2.4. Akustične veličine.....	11
2.5. Izvori buke u sustavima za odsis i transport drvnih čestica.....	12
2.5.1. Ventilatori.....	12
2.5.2. Cjevovodi.....	14
2.5.3. Odvajači drvnih čestica.....	17
2.5.4. Usisna mjesta i konektori.....	18
2.6. Mjerenje buke.....	19
2.6.1. Oprema za provođenje mjerenja buke.....	19
2.7. Tehnologije za smanjenje buke.....	24
2.7.1. Vrste materijala.....	24
2.7.2. Izolacija i oblaganje cjevovoda.....	32
2.7.3. Akustične barijere.....	33
2.7.4. Optimizacija dizajna sustava.....	34
3. CILJ RADA.....	35
4. MATERIJALI I METODE.....	36
4.1. Objekt istraživanja - Tvrtka Magel d.o.o.....	36
4.2. Metodologija izrade projekta zaštite okoline od buke.....	36
4.2.1. Mjerenje razine buke na okolnim objektima.....	37
5. REZULTATI I RASPRAVA.....	39
5.1. Rezultati mjerenja razine buke.....	39
5.2. Analiza rezultata mjerenja.....	40
5.3. Analiza mogućnosti smanjenja buke.....	42
5.3.1. Oblaganje silosa.....	42
5.3.2. Oblaganje transportne cijevi i pogonskih elemenata i agregata na vrhu silosa...	42
5.3.3. Oblaganje pogonskog agregata na zemlji uz mali silos.....	43
5.3.4. Oblaganje prozora na sjevernoj strani zgrade pilane.....	43
5.4. Troškovi i učinkovitost.....	44
5.4.1. Akustično upijanje zvukoizolirajućih materijala.....	44
5.4.2. Troškovi zvukoizolirajućih materijala.....	47

6. ZAKLJUČAK	48
7. LITERATURA.....	49

POPIS SLIKA

Slika 1: Primjer obrasca izjave za buku	8
Slika 2: Zahtjev za utvrđivanje provedbe mjera za zaštitu od buke	9
Slika 3: Industrijski centrifugalni ventilator	13
Slika 4: Sustav cjevovoda.....	14
Slika 5: Mjerni instrument za mjerenje razine buke	20
Slika 6: Višefrekventni kalibrator razine zvuka	21
Slika 7: Vektorski mrežni analizator.....	22
Slika 8: Osobni dozimetar buke.....	23
Slika 9: Akustična kamera.....	23
Slika 10: Ploče od akustične pjene.....	25
Slika 11: Apsorpcija i difuzija zvuka kroz ploče od akustične pjene	25
Slika 12: Staklena vuna	26
Slika 13: Kamena vuna	26
Slika 14: Furnirane MDF letvice za akustiku	27
Slika 15: Perforirana akustična drvena ploča	28
Slika 16: Akustične ploče na bazi smrekove drvene vune, cementnog i mramornog veziva u prahu.....	29
Slika 17: Perforirane metalne ploče	29
Slika 18: Gumena ploča za zvučnu izolaciju.....	31
Slika 19: Gumena ploča za izolaciju od zvuka udarca.....	31
Slika 20: Spužvasti polietilen sa olovnom pločom.....	32
Slika 21: Pozicija mjernih mjesta M 1.1. i M 1.2.	37
Slika 22: Pozicija mjernih mjesta M 2.1. i M 2.2.	38
Slika 23. Računalno provedena simulacija smanjenja razine buke na određenoj udaljenosti od izvora ovisno o frekvenciji zvuka	41
Slika 24: Frekvencijska karakteristika zaštitnog omotača metalnog silosa dobivena u računalnoj simulaciji (AFMG SoundFlow).....	44
Slika 25: Frekvencijska karakteristika zaštitnog omotača cijevi i pogonskih elemenata na vrhu metalnog silosa dobivena u računalnoj simulaciji	45
Slika 26: Tehnički podaci za GUTTASILENT PB 0,35.....	45
Slika 27: Tehnički podaci za REGUPOL COMFORT 5	46
Slika 28: Tehnički podaci za Flagon.....	46
Slika 29: Tehnički podaci za mineralnu vunu	47

POPIS TABLICA

Tablica 1: Brzina zvuka pri 20°C.....	3
Tablica 2: Utjecaj buke na ljudski organizam	5
Tablica 3: Razina buke za različite izvore.....	5
Tablica 4: Najviše dopuštene ocjenske razine buke u otvorenom prostoru	10
Tablica 5: Preporuke za dimenzioniranje cjevovoda (priključne cijevi).....	17
Tablica 6: Mjerni instrumenti kojima se mjerila razina buke.....	38
Tablica 7: Izmjerene / ocjenske / dozvoljene razine buke – DAN	39
Tablica 8: Izmjerene / ocjenske / dozvoljene razine buke – DAN	40
Tablica 9: Predloženi materijali za oblaganje silosa (veliki 190 m ³ i 50 m ³).....	42
Tablica 10: Predloženi materijali za oblaganje transportne cijevi i pogonskih elemenata i agregata na vrhu silosa	43
Tablica 11: Troškovnik akustičkih elemenata	47

1. UVOD

Drvena industrija suočava se s izazovom visoke razine buke koja potječe od strojeva i alata za mehaničku obradu drva i transportnih uređaja. U emisiji okolišne buke ističu se sustavi za odsis i transport drvnih čestica zrakom. Buka može imati ozbiljne negativne posljedice na zdravlje zaposlenika, uključujući gubitak sluha, povećan stres i smanjenu produktivnost. Visoka razina buke također može utjecati na sigurnost na radu, jer otežava komunikaciju i može prikriti važne zvučne signale upozorenja. Osim toga, buka ima negativan utjecaj na okolinu, narušavajući kvalitetu života zajednica u blizini industrijskih postrojenja.

U suvremenom radnom okruženju, zaštita zdravlja radnika i minimiziranje štetnih učinaka buke postali su prioriteti. Buka koja dolazi iz sustava za odsis i transport drvnih čestica može doseći visoke razine zbog kombinacije faktora kao što su brzina ventilatora, dizajn cjevovoda i vrsta materijala od kojih su izrađeni cjevovodi. To rezultira konstantnom izloženošću radnika visokim razinama zvučnog tlaka, što može dovesti do trajnog oštećenja sluha i drugih zdravstvenih problema. Kronična izloženost buci također može uzrokovati kardiovaskularne probleme, povećati razinu stresa i utjecati na opće psihičko zdravlje radnika.

Pored utjecaja na zdravlje, visoka razina buke ima i ekonomske posljedice. Smanjena produktivnost, povećani troškovi za zdravstvenu skrb i moguće pravne posljedice zbog neusklađenosti s propisima o zaštiti na radu predstavljaju značajan teret za industriju. Stoga je istraživanje i implementacija rješenja za smanjenje buke važna za održivost i konkurentnost drvne industrije. Ekonomske koristi od smanjenja buke uključuju ne samo smanjenje troškova vezanih uz zdravstvenu skrb, već i poboljšanje radnih uvjeta koje može rezultirati većom produktivnošću i moralom zaposlenika. Prošla istraživanja (Beljo-Lučić i Goglia, 1995, 2000, 2003) ukazala su na postojeće probleme prevelike emisije buke u drvnoprerađivačkim postrojenjima uzrokovane strojevima i alatima za mehaničku obradu drva. U istraživanjima je zabilježeno da razina buke znatno prelazi dopuštene vrijednosti te da je nužno sanirati izvor buke ili uvesti primjerenu zaštitu poslužitelja. Prema ovim radovima, mjerenja su pokazala da su radnici često izloženi buci koja zahtijeva neposrednu upotrebu osobnih zaštitnih sredstava, budući da prekomjerna buka može uzrokovati trajno oštećenje sluha. S druge strane, problematika suzbijanja emisije buke u okolinu uzrokovane sustavom za odsis i transport drvnih čestica nije dovoljno istražena.

Sustavi za odsis i transport drvnih čestica zrakom su neophodni za održavanje čistoće radnih prostora i zaštitu zdravlja radnika. Oni omogućavaju učinkovito uklanjanje prašine i drvnih ostataka, čime se smanjuje rizik od požara i eksplozija te se osigurava sigurnije radno okruženje. Međutim, zbog njihovih karakteristika, oni su često glavni izvor buke u proizvodnim pogonima. Glavni izvori buke uključuju ventilatore, cjevovode, filterske sustave te usisna mjesta i konektore. Buka koja potječe iz ovih izvora može biti prigušena različitim metodama, uključujući izolaciju, upotrebu prigušivača, optimizaciju dizajna i korištenje zvučno izolacijskih materijala.

Ventilatori, koji su osnovni za održavanje protoka zraka unutar sustava, generiraju buku zbog svojih visokih brzina rotacije i turbulentnog protoka zraka. Cjevovodi također predstavljaju značajan izvor buke, posebno na spojevima i zavojima gdje dolazi do povećane

turbulencije. Filtarski sustavi, koji su dizajnirani za odvajanje drvnih čestica od zraka, mogu dodatno doprinosti buci kroz vibracije i mehaničke zvukove. Usisna mjesta, gdje čestice ulaze u sustav, često stvaraju buku zbog naglog ulaska zraka i čestica u sustav.

Izazovi smanjenja buke u drvnjoj industriji zahtijevaju sveobuhvatni pristup koji uključuje analizu postojećih tehnologija, provođenje eksperimentalnih mjerenja i razvoj novih rješenja. S obzirom na raznolikost izvora buke i specifične uvjete rada u drvnjoj industriji, potrebno je prilagoditi rješenja kako bi bila učinkovita i ekonomski isplativa. Ovaj rad se bavi analizom postojećih problema i predlaganjem konkretnih mjera za smanjenje emisije buke, s ciljem poboljšanja radnih uvjeta i zaštite zdravlja radnika.

Kroz analizu literature i postojećih tehnologija, ovaj rad ispituje različite pristupe smanjenju buke, uključujući tehnološke inovacije i optimizaciju radnih procesa. Tehnološke inovacije, kao što su napredni zvučno izolacijski materijali i prigušivači, mogu značajno smanjiti razinu buke. Optimizacija radnih procesa, koja uključuje pravilno održavanje opreme i edukaciju radnika o najboljim praksama za smanjenje buke, također igra bitnu ulogu.

Istraživanje buke i njenog utjecaja u drvnjoj industriji ne samo da pomaže u razumijevanju trenutnih problema, već i otvara put za inovacije i poboljšanja koja mogu značajno smanjiti negativne učinke buke. Kroz temeljitu analizu različitih pristupa, ovaj rad nastoji pružiti praktične smjernice i rješenja koja će koristiti industriji u cjelini. Uvođenje novih tehnologija i optimiziranih radnih procesa ne samo da može smanjiti razinu buke, već i poboljšati ukupnu efikasnost i sigurnost radnih procesa u drvnjoj industriji.

Razumijevanje kompleksnosti problema buke i njenog utjecaja na radnike i okoliš nužno je za razvoj učinkovitih strategija za smanjenje buke. Ovaj rad će se također baviti analizom troškova i koristi povezanih s implementacijom različitih mjera za smanjenje buke, te će pružiti preporuke za postupno uvođenje ovih mjera u proizvodne procese. Krajnji cilj je stvaranje sigurnijeg, zdravijeg i produktivnijeg radnog okruženja u drvnjoj industriji, što će dugoročno donijeti koristi i radnicima i poslodavcima.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Zvuk

Zvuk se definira kao val frekvencije od približno 20 Hz do 20 kHz na koji je osjetljivo ljudsko uho, nastaje zbog periodičnoga titranja čestica u elastičnome sredstvu (*Hrvatsko strukovno nazivlje, mrežno izdanje*)

Zvuk opisuju jakost zvuka, razina jakosti zvuka, glasnoća i razina glasnoće zvuka. Brzina zvuka definirana je kao brzina širenja zvučnih valova kroz određeni medij koji mogu biti tekućine, plinovi ili druga kruta tijela. U čvrstim tvarima i tekućinama ovisi o gustoći i elastičnim silama dok u plinovima ovisi o gustoći, temperaturi i tlaku. Tijekom širenja valova zvuka dolazi do različitih pojava koje mogu biti apsorpcija zvuka, refrakcija, refleksija, ogib, dopplerov efekt te interferencija. Brzina zvuka pri standardnim uvjetima odnosno kroz suhi zrak pri temperaturi od 20°C iznosi 343 m/sek. Najniži intenzitet zvuka kojeg čujemo iznosi $I_0=10^{-12}$ Wm⁻², a najveći oko 10 Wm⁻² (*Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*).

Detaljniji prikaz brzine širenja zvuka kroz različite medije prikazan je u tablici 1:

Tablica 1: Brzina zvuka pri 20°C

<i>Medij, tvar</i>	<i>Brzina zvuka (m/s)</i>
<i>Zrak</i>	343
<i>Voda</i>	1485
<i>Ugljikov dioksid</i>	266
<i>Etanol</i>	1170
<i>Guma</i>	150
<i>Olovo</i>	1250
<i>Bukovina</i>	3300
<i>Beton</i>	3750
<i>Staklo</i>	5500
<i>Čelik</i>	5900
<i>Aluminij</i>	6300

Izvor: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/zvuk>

2.2. Buka i njezino štetno djelovanje na čovjeka

Buka je definirana kao svaki nepoželjan zvuk. Percepcija buke je subjektivna i varira od osobe do osobe. Faktori poput amplitude, trajanja, frekvencijskog sastava i učestalosti pojavljivanja utječu na način na koji pojedinac doživljava buku. Zvuk se širi od izvora prema okolini zbog vibracija zračnih čestica. Kako se udaljenost od izvora povećava, dolazi do

smanjenja razine zvučnog tlaka. Na ovaj pad utječu apsorpcija zvuka u zraku, udaljenost od izvora, tip izvora i drugi faktori. (*Osnove akustike, buka okoliša i zvučna izolacija te mjere za zaštitu od buke u otvorenom i zatvorenom prostoru, mrežno izdanje*).

S razvojem industrijalizacije i urbanizacije, buka se povećava i može se reći da postaje jedan od problema modernog života. Utjecaj buke na ljudski organizam ovisi o njezinoj jakosti i frekvenciji. Jača buka s nižim frekvencijama manje je štetna od buke iste jakosti s višim frekvencijama. Utjecaj buke može biti specifičan, poput gubitka slušne osjetljivosti, ili nespecifičan, što ometa osobu pri radu, komunikaciji i odmoru. Posljedice buke uključuju povećanu napetost, smanjenu koncentraciju, umor i razdražljivost. Može doći i do trajnog oštećenja sluha, odnosno gluhoće. Slušna oštećenja uzrokovana bukom ne mogu se izliječiti, pa se kaže da buka može biti spriječena, ali ne i liječena. Ako radnik koji je duže vrijeme bio izložen industrijskoj buci iznad dopuštene razine razvije oštećenje sluha, to se smatra profesionalnom bolešću. Buku opisuje intenzitet buke koji se izražava u decibelima (dB) te frekvencija koja se izražava u Hertzima (Hz) (*Preventa, mrežno izdanje*)

Iako se zaštita od buke u životnoj i radnoj sredini uglavnom odnosi na frekvencijski raspon od 16 Hz do 20.000 Hz, važno je spomenuti i područja infrazvuka (ispod 16 Hz), ultrazvuka (iznad 20.000 Hz) i hiperzvuka (iznad 10^9 Hz) zbog njihovog potencijalno stresnog djelovanja koje nije uvijek registrirano sluhom. Sa subjektivnog stajališta, zvuk definiramo kao čujni osjet koji nastaje zbog vibracija u elastičnom mediju. Svaki nepoželjan zvuk, bez obzira na to je li harmoničan ili ne, doživljavamo kao buku. Industrijska buka, koja se često sreće u radnim pogonima, sastoji se od neharmoničnih zvukova različitih frekvencija i intenziteta. Međutim, takva buka nije ograničena samo na industriju, već se sve više širi i ugrožava životnu sredinu.

Odavno je poznato i dokazano u brojnim slučajevima da buka u radnoj i životnoj sredini negativno utječe na ljude. Ti negativni utjecaji uključuju:

- Psihološke učinke (ovisno o individualnim karakteristikama, poznato kao uznemiravanje)
- Fiziološke učinke (oštećenje sluha i poremećaji fizioloških funkcija organizma)
- Smanjenje radne sposobnosti i produktivnosti

Sve to, kao i veliki broj ljudi s oštećenjem ili potpunim gubitkom sluha, dovelo je do povećane pažnje prema istraživanjima o utjecaju buke i primjeni praktičnih zaštitnih mjera na radnim mjestima i u životnom okruženju. Detaljniji prikaz utjecaja buke na pojedini dio živčanog sustava prikazan je u tablici 2, dok je u tablici 3 prikazana razina buke za različite izvore. Buka je prisutna posvuda, ali u različitim intenzitetima. Najveća razina buke javlja se kod brzih i šinskih prometnih sredstava, u brodogradnji, proizvodnji parnih kotlova, tekstilnoj i drvnoj industriji, te u strojogradnji. U radnim prostorima buka najčešće nastaje zbog rada radnih strojeva i opreme, rada pomoćnih uređaja (ventilatori, kompresori, agregati), transporta materijala i obrade materijala (*Preventa, mrežno izdanje*).

Tablica 2: Utjecaj buke na ljudski organizam

<i>Dio ljudskog tijela</i>	<i>Utjecaj buke</i>
<i>Uho</i>	Piskovi i šumovi
<i>Vid</i>	Povećanje zjenica, smanjenja sposobnost zapažanja obrisa
<i>Mišići</i>	Grčevi, stezanje
<i>Disanje</i>	Smanjenje frekvencije za 1/3
<i>Nadbubrežna žlijezda</i>	Lučenje adrenalina, noradrenalina i kortizola
<i>Mozak</i>	Glavobolje, osjećaj tjeskobe, poremećaji sna, poteškoće u koncentraciji i pamćenju
<i>Krvne žile</i>	Vazokontrikcija, brže starenje
<i>Srce</i>	povećanje opasnosti od infarkta i kardiovaskularnih bolesti
<i>Želudac i probava</i>	Povećanje lučenja želučanih sokova, grčevi
<i>Spolni organi</i>	Smanjenje plodnosti i libida

Izvor: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/unipu:7316/datastream/PDF/view>

Tablica 3: Razina buke za različite izvore

<i>IZVOR</i>	<i>RAZINA BUKE (dB)</i>	<i>JAKOST ZVUKA (Wm^{-2})</i>
<i>Šapat</i>	20	10^{-10}
<i>Govor</i>	50	10^{-7}
<i>Automobil</i>	70	10^{-5}
<i>Avionski motor</i>	120	1
<i>Lansiranje rakete</i>	140	100

Izvor: <https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/6b9de2eb-c6d7-412b-8afc-c0820325b64d/razina-zvuka.html>

2.3. Zakoni i norme o zaštiti od buke

Zakoni, norme i pravila za smanjenje emisije buke u okolinu usmjereni su na zaštitu zdravlja ljudi, očuvanje kvalitete života i smanjenje štetnog utjecaja buke na okoliš.

U Hrvatskoj, osnovni zakon koji regulira buku je Zakon o zaštiti od buke (NN 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18, 14/21). Ovaj zakon propisuje dopuštene razine buke u različitim okruženjima, uključujući stambene, industrijske i poslovne zone. Propisuje mjere koje su nužne za sprječavanje, smanjenje i kontrolu buke, posebno u blizini stambenih zgrada, škola, bolnica i drugih osjetljivih objekata.

Norme koje se odnose na smanjenje buke uključuju tehničke standarde poput HRN ISO 1996 koji definira metode mjerenja i ocjenjivanja razine buke u okolišu. Ove norme pružaju smjernice za tehničke mjere poput izolacije zvuka, postavljanja barijera protiv buke, te uporabe tih tehnologija i materijala koji smanjuju emisiju buke. Pravila koja proizlaze iz zakona i normi uključuju obveze za projektante, izvođače radova i operatere industrijskih postrojenja da implementiraju učinkovite mjere smanjenja buke. To može uključivati instalaciju zvučno izoliranih prozora, korištenje posebnih materijala za apsorpciju buke, postavljanje zvučnih barijera, te redovito održavanje strojeva i opreme kako bi se minimizirala buka. Nadzor nad provođenjem ovih zakonskih odredbi vrše inspeksijske službe koje redovito provjeravaju usklađenost objekata i postrojenja s propisanim normama. U slučaju prekoračenja dopuštenih razina buke, zakonom su predviđene kazne i obveza poduzimanja korektivnih mjera (*Zakon o zaštiti od buke*).

2.3.1. Zakon o zaštiti od buke

Zakon o zaštiti od buke donosi mjere usmjerene na sprječavanje, smanjenje i izbjegavanje štetnih učinaka buke na zdravlje ljudi, s posebnim naglaskom na zaštitu u urbanim područjima, javnim parkovima, tihim prirodnim područjima te u blizini osjetljivih objekata kao što su škole, bolnice i drugi objekti koji zahtijevaju mir. Ključne odredbe zakona odnose se na određivanje dopuštenih razina buke, izradu karata buke i akcijskih planova, te provođenje mjera zaštite.

Zakon detaljno regulira maksimalne dopuštene razine buke koje su prilagođene različitim tipovima područja i vremenskim periodima. Tablica 4. iz Zakona prikazuje najviše dopuštene razine buke u otvorenim prostorima, koje ovise o namjeni područja i dijele se na dnevne, večernje i noćne razine buke.

Mjere zaštite od buke obavezne su za sva tijela državne uprave, jedinice lokalne i regionalne samouprave, kao i za pravne i fizičke osobe koje obavljaju registrirane djelatnosti. Zakon propisuje obveznu izradu karata buke koje omogućuju praćenje stanja buke u okolišu, posebno u urbanim sredinama i područjima osjetljivima na buku. Karte buke koriste se za procjenu izloženosti stanovništva buci i postavljaju temelje za izradu akcijskih planova. Kako bi se dobilo rješenje Ministarstva zdravstva da su ispunjeni uvjeti zaštite od buke, potrebno je uz zahtjev za izdavanje rješenja o provedenim mjerama zaštite od buke priložiti obrazac izjave za buku (slika 1) te zahtjev za utvrđivanje provedbe mjera za zaštitu od buke (slika 2).

Akcijски planovi definiraju konkretne mjere za smanjenje buke u područjima gdje su prekoračene dopuštene razine. Karte buke i akcijski planovi moraju biti redovito ažurirani i dostupni javnosti kako bi se osiguralo sudjelovanje građana u postupcima zaštite okoliša.

Inspeksijski nadzor nad provedbom Zakona provode sanitarni inspektori Državnog inspektorata. Njihove ovlasti uključuju provođenje akustičkih mjerenja, naređivanje poduzimanja mjera za smanjenje buke te zabranu obavljanja djelatnosti koje uzrokuju štetne razine buke. Kazne za pravne i fizičke osobe koje ne provode mjere zaštite od buke mogu iznositi od 50.000 do 500.000 kuna, ovisno o težini prekršaja.

Na temelju Zakona, ministar zdravstva donosi pravilnike koji reguliraju najviše dopuštene razine buke prema vrsti izvora buke, vremenu i mjestu nastanka, kao i metode za procjenu razina buke. Pravilnici također definiraju način izrade karata buke, uvjete za obavljanje stručnih poslova zaštite od buke te mjere zaštite od buke u otvorenim prostorima.

Zakon se primjenjuje u širokom spektru situacija, no izuzete su određene aktivnosti, poput sanacije prirodnih nepogoda, buke iz stambenih prostora, buke koju stvaraju domaće ili divlje životinje, te buke tijekom sportskih aktivnosti (*Zakon o zaštiti od buke*).

Pod punom kaznenom i materijalnom odgovornošću

(podaci o vlasniku obrta te sjedište obrta /podaci o trgovačkom društvu, odgovornoj osobi i sjedištu trgovačkog društva) dajem sljedeću

IZJAVU

U objektu _____
(vrsta - kategorizacija objekta, njegov naziv i adresa)

koji posluje u sastavu _____
(naziv trgovačkog društva/obrta sa sjedištem-adresom)

provedene su mjere zaštite od buke sukladno članku 4. Zakona o zaštiti od buke („Narodne novine“, br. 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18 i 14/21), Pravilniku o djelatnostima za koje je potrebno provesti mjere zaštite od buke („Narodne novine“, br. 91/07) i Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka („Narodne novine“, br. 143/21).

U _____
(mjesto, datum i godina)

(vlastoručni potpis)

Slika 1: Primjer obrasca izjave za buku (Izvor: <https://zdravlje.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug-1297/javnozdravstvena-zastita/zastita-od-buke-4832/zahtjev-za-utvrđivanje-provedbe-mjera-za-zastitu-od-buke/4839>)

(naziv i adresa podnositelja)

(broj telefona/mobitela)

(osoba za kontakt i e-mail za kontakt)

MINISTARSTVO ZDRAVSTVA
Ksaver 200a
10 000 Zagreb

PREDMET: Zahtjev za utvrđivanje provedbe mjera za zaštitu od buke

Molimo Naslov da na temelju članka 9. Zakona o zaštiti od buke („Narodne novine“, br. 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18 i 14/21) rješenjem utvrdi da su provedene mjere za zaštitu od buke, za obavljanje djelatnosti u

(vrsta – kategorizacija objekta, naziv i adresa)

koji posluje u sastavu trgovačkog društva/obrta

(naziv trgovačkog društva/obrta sa sjedištem-adresom)

Zahtjevu prilažem:

1. Preslika rješenja/izvoda iz sudskog registra, obrtničkog registra
2. Izvještaj o mjerenju buke okoliša (izrađen od ovlaštene pravne osobe - popis ovlaštenih pravnih osoba za mjerenje buke dostupan je na službenim stranicama Ministarstva zdravstva: <https://zdravlje.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug-1297/javnozdravstvena-zastita/zastita-od-buke-4832/popis-ovlastenih-pravnih-osoba-za-mjerenje-i-predvidjanje-buke-u-sredini-u-kojoj-ljudi-rade-i-borave-4833/4833>)
3. A) Izvještaj o mjerenju zvučne izolacije (ako je objekt konstrukcijski vezan na prostor u kojemu se stanuje/boravi (izrađen od ovlaštene pravne osobe - popis ovlaštenih pravnih osoba za mjerenje buke dostupan je na službenim stranicama Ministarstva zdravstva: <https://zdravlje.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug-1297/javnozdravstvena-zastita/zastita-od-buke-4832/popis-ovlastenih-pravnih-osoba-za-mjerenje-i-predvidjanje-buke-u-sredini-u-kojoj-ljudi-rade-i-borave-4833/4833>);
B) Izvještaj o mjerenju razlike A-vrednovanih razina zvuka (ako se ugostiteljska djelatnost i stambeni/boravišni prostor ne nalaze u istoj građevini i nisu međusobno konstrukcijski povezani (izrađen od ovlaštene pravne osobe - popis ovlaštenih pravnih osoba za mjerenje buke dostupan je na službenim stranicama Ministarstva zdravstva: <https://zdravlje.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug-1297/javnozdravstvena-zastita/zastita-od-buke-4832/popis-ovlastenih-pravnih-osoba-za-mjerenje-i-predvidjanje-buke-u-sredini-u-kojoj-ljudi-rade-i-borave-4833/4833>)
4. Potvrda o limitaciji elektroakustičkog/ih uređaja
5. Izjava odgovorne osobe za zastupanje društva ili fizičke osobe (vlasnika obrta) da su u objektu čiji je podnositelj zahtjeva vlasnik/korisnik provedene mjere zaštite od buke sukladno članku 4. Zakona o zaštiti od buke („Narodne novine“, br. 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18 i 14/21), Pravilniku o djelatnostima za koje je potrebno provesti mjere zaštite od buke („Narodne novine“, br. 91/07) i Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka („Narodne novine“, br. 143/21).

PODNOŠITELJ ZAHTJEVA:

Slika 2: Zahtjev za utvrđivanje provedbe mjera za zaštitu od buke (Izvor: <https://zdravlje.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug-1297/javnozdravstvena-zastita/zastita-od-buke-4832/zahtjev-za-utvrđivanje-provedbe-mjera-za-zastitu-od-buke/4839>)

Tablica 4: Najviše dopuštene ocjenske razine buke u otvorenom prostoru

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

Izvor: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_12_143_2454.html

2.4. Akustične veličine

Akustične veličine mogu se podijeliti u dvije kategorije: prvu čine one veličine koje opisuju zvuk kao fizički fenomen (frekvencija, zvučni tlak, akustički i mehanički otpor, jakost zvuka, gustoća energije zvuka itd.), dok drugu kategoriju čine veličine koje zvuk opisuju kao psihofizičko djelovanje na ljudski sluh (razina glasnoće zvuka, frekventni interval, razina zvučnog tlaka itd.) (Horvat i Krpan, 1967).

Jakost zvuka I definirana je jednadžbom

$$I = \frac{p^2}{c * \rho} \quad (1)$$

gdje je:

p – efektivna vrijednost zvučnog tlaka (N/m^2)

c – brzina širenja zvuka (m/s)

ρ – gustoća medija kroz koji se zvuk širi (kg/m^3)

Jedinica za mjerenje razine jakosti zvuka je bel (B), nazvana po Grahamu Bellu, izumitelju telefona. Ova jedinica, koja nema dimenziju, definira se kao desetni logaritam omjera stvarnog intenziteta zvuka i najmanjeg mogućeg intenziteta. U praksi se češće koristi decimalna jedinica decibel (dB) umjesto bela.

- 1 bel je jedinica za logaritam (dekadski) omjera snaga $L = \log \frac{P_1}{P_2}$
1 decibel = 0,1 bel = 1 fon kod 1000 Hz

Glasnoća zvuka

Subjektivni doživljaj jačine zvuka koji ovisi o intenzitetu zvučnog vala (zvučnom tlaku) i frekvenciji zvuka. Iako se glasnoća povezuje s fizikalnim mjerenjima, poput razine zvučnog tlaka u decibelima (dB), percepcija glasnoće nije linearna i varira ovisno o osjetljivosti ljudskog uha na različite frekvencije.

Standardna mjerna jedinica za glasnoću je fon, a koristi se i pojam son za preciznije kvantificiranje glasnoće u različitim uvjetima. Glasnoća se korigira pomoću tzv. A-filtra (dB(A)), koji prilagođava zvuk tako da bolje odražava način na koji ga ljudsko uho percipira. Glasnoća zvuka raste s povećanjem zvučnog tlaka, ali ne uvijek proporcionalno, jer ljudsko uho različito reagira na različite tonove i frekvencije.

Razina zvučnog tlaka ili razina glasnoće zvuka je objektivna fizička mjera intenziteta zvuka izražena u decibelima (dB). To je logaritamska mjera zvučnog tlaka u odnosu na referentni zvučni tlak. Koristi se A-filtracija (dB(A)) da bi se prilagodila mjerenja prema frekvencijama na koje je ljudsko uho najosjetljivije (*Osnove akustike, buka okoliša i zvučna izolacija te mjere za zaštitu od buke u otvorenom i zatvorenom prostoru, mrežno izdanje*).

Razina glasnoće zvuka u fonima izračunava se pomoću jednadžbe

$$L = 20 * \log \frac{p}{p_0} \quad (2)$$

gdje je:

p_0 – $2 \cdot 10^{-5}$ N/m² najmanji efektivni tlak zvuka koji još ljudsko uho može čuti

p – efektivni tlak zvuka čiju jakost želimo izraziti u fonima

L – razina glasnoće zvuka u fonometrijskoj jedinici "fon" (za frekvenciju zvuka 1000 Hz)

2.5. Izvori buke u sustavima za odsis i transport drvnih čestica

2.5.1. Ventilatori

Ventilatori su značajna komponenta sustava za odsis i transport drvnih čestica jer omogućuju održavanje konstantnog protoka zraka potrebnog za efikasno uklanjanje čestica iz radnog prostora. Međutim, ventilatori su također jedan od glavnih izvora buke u ovim sustavima, a buka koja potječe od ventilatora može imati više različitih izvora. Najčešće korišten tip ventilatora u sustavima za odsis i transport drvnih čestica zrakom je centrifugalni ventilator (slika 3).

Aerodinamički šum nastaje uslijed turbulentnog protoka zraka kroz lopatice ventilatora. Kada se lopatice ventilatora kreću velikom brzinom, dolazi do stvaranja vrtloga i turbulencija koje uzrokuju zvučne valove. Nekoliko faktora utječe na razinu aerodinamičkog šuma. Prvo, što je veća brzina rotacije lopatica, to je viša razina buke. Smanjenje brzine rotacije može smanjiti aerodinamički šum, ali to također može smanjiti učinkovitost ventilatora. Stoga je važno pronaći ravnotežu između učinkovitosti i razine buke. Drugo, oblik i kut lopatica mogu značajno utjecati na razinu buke. Aerodinamički optimizirane lopatice koje smanjuju stvaranje vrtloga mogu smanjiti šum. Korištenje lopatica s profilom koji minimizira otpor zraka također može smanjiti razinu buke. Treće, geometrija i raspored lopatica ventilatora utječu na način na koji zrak prolazi kroz ventilator. Optimizacija položaja lopatica može smanjiti stvaranje turbulentnih zona i, posljedično, smanjiti razinu buke.

Mehanički šum nastaje zbog vibracija i mehaničkih kontakata unutar ventilatora. Glavni izvori mehaničkog šuma uključuju ležajeve, osovine i kućište ventilatora. Loše održavani ili istrošeni ležajevi mogu uzrokovati značajne vibracije i buku. Korištenje visokokvalitetnih ležajeva, redovito podmazivanje i zamjena istrošenih dijelova ključni su za smanjenje mehaničkog šuma. Neuravnotežene ili nepravilno montirane osovine mogu stvarati vibracije koje se prenose kroz ventilator i stvaraju buku. Precizno balansiranje osovina i pravilna montaža mogu smanjiti ovu vrstu buke. Vibracije koje potječu iz rotirajućih dijelova mogu se prenijeti na kućište ventilatora i dalje na strukturu postrojenja, pojačavajući razinu buke. Korištenje prigušivača vibracija i zvučno izolacijskih materijala može smanjiti prijenos vibracija i mehaničkog šuma.

Vibracije koje potječu iz ventilatora mogu se prenijeti na druge dijelove sustava, poput cjevovoda i nosača, stvarajući dodatne izvore buke. Rezonancija, koja se javlja kada vibracije ventilatora odgovaraju prirodnoj frekvenciji drugih dijelova sustava, može pojačati razinu buke. Smanjenje vibracija i rezonancije uključuje nekoliko pristupa. Korištenje elastičnih nosača i spojki koje apsorbiraju vibracije može smanjiti prijenos vibracija na ostatak sustava. Ovi nosači mogu biti izrađeni od gume, opruga ili drugih elastičnih materijala. Instalacija prigušivača zvuka unutar ili u blizini ventilatora može smanjiti razinu buke. Prigušivači zvuka su obično izrađeni od materijala koji apsorbiraju zvučne valove, poput pjene ili vlaknastih materijala. Precizno balansiranje lopatica i osovine ventilatora može smanjiti vibracije i spriječiti rezonanciju. Balansiranje treba redovito provoditi kao dio programa održavanja.

Tehnološke inovacije imaju veliku ulogu u smanjenju buke ventilatora. Korištenje naprednih kompozitnih materijala za lopatice i kućišta može smanjiti težinu i vibracije te povećati otpornost na habanje i koroziju. Aktivni sustavi koriste senzore i aktuatorске elemente za generiranje zvučnih valova koji poništavaju neželjeni šum. Ovi sustavi mogu biti integrirani u ventilatore za smanjenje buke u realnom vremenu. Integracija senzora i softvera za praćenje vibracija i buke omogućava kontinuirano praćenje rada ventilatora i automatsko prilagođavanje radnih parametara kako bi se smanjila buka.

Kombinacija ovih pristupa i tehnologija može značajno smanjiti razinu buke koju generiraju ventilatori u sustavima za odsis i transport drvnih čestica, poboljšavajući radne uvjete i smanjujući negativne utjecaje na zdravlje radnika i okolinu (*Osnove akustike, buka okoliša i zvučna izolacija te mjere za zaštitu od buke u otvorenom i zatvorenom prostoru, mrežno izdanje*).



Slika 3: Industrijski centrifugalni ventilator (Izvor: <https://ba.dhlcentrifugalfan.com/industrial-centrifugal-fan/industrial-centrifugal-extractor-fan.html>)

2.5.2. Cjevovodi

Cjevovodi u sustavima za odsis i transport drvnih čestica imaju ulogu u prenošenju zraka i čestica iz radnog prostora do filtera i skladišnih jedinica (slika 4). Međutim, cjevovodi su također značajan izvor buke u ovim sustavima. Buka koja nastaje u cjevovodima može se pripisati nekoliko glavnih faktora, uključujući turbulenciju protoka, rezonanciju, mehaničke vibracije i interakciju čestica sa zidovima cijevi. Razumijevanje ovih izvora buke i implementacija odgovarajućih mjera za njihovo smanjenje utječe na poboljšanje radnih uvjeta i smanjenje ukupne emisije buke.



Slika 4: Sustav cjevovoda (Izvor: <https://www.domes.hr/proizvodi/otprasanje/>)

Kada zrak i drvene čestice prolaze kroz cjevovode velikom brzinom, dolazi do stvaranja turbulencija, naročito u koljenima, na spojevima i promjenama u presjeku cijevi. Ove turbulencije generiraju zvučne valove koji se prenose duž cijelog sustava. Nekoliko pristupa može se koristiti za smanjenje turbulentnog protoka i povezane buke. Dizajn cjevovoda s minimalnim brojem koljena i spojeva može smanjiti turbulenciju. Kada su koljena nužna, korištenje glatkih, postupnih zavoja umjesto oštrih kutova može smanjiti stvaranje turbulencija. Pravilno dimenzioniranje cijevi u odnosu na volumen zraka i čestica koje se transportiraju može smanjiti brzinu protoka i, posljedično, smanjiti turbulenciju. Preuske cijevi povećavaju brzinu protoka i stvaranje turbulencija, dok preširoke cijevi mogu dovesti do nestabilnog protoka. Korištenje cjevovoda s glatkim unutarnjim zidovima može smanjiti trenje i turbulencije. Materijali poput polimera ili metala s glatkom završnom obradom mogu pomoći u smanjenju buke.

Cjevovodi mogu djelovati kao rezonantne komore koje pojačavaju određene frekvencije zvuka. Rezonancija može značajno povećati razinu buke, posebno ako se javi na frekvencijama koje se podudaraju s prirodnim frekvencijama drugih dijelova sustava. Smanjenje rezonancije uključuje optimizaciju duljine i promjera cjevovoda kako bi se izbjegla podudarnost s prirodnim frekvencijama, što može smanjiti rezonanciju. To može uključivati promjene u dimenzijama cijevi ili dodavanje dodatnih elemenata koji mijenjaju akustične karakteristike sustava. Oblačenje cjevovoda zvučno izolacijskim materijalima može apsorbirati zvučne valove i smanjiti rezonanciju. Materijali poput pjene, gume ili specijalnih zvučno izolacijskih prekrivača mogu učinkovito smanjiti razinu buke. Instalacija prigušivača zvuka unutar ili u blizini cjevovoda može pomoći u smanjenju rezonancije. Prigušivači zvuka dizajnirani su da apsorbiraju ili ponište zvučne valove, smanjujući razinu buke.

Protok zraka i čestica kroz cjevovode može uzrokovati vibracije cjevovoda koje se prenose kroz strukturu i stvaraju buku. Ove vibracije mogu biti prigušene korištenjem elastičnih spojeva i nosača, koji mogu apsorbirati vibracije i smanjiti njihov prijenos na strukturu. Ovi nosači i spojevi mogu biti izrađeni od materijala poput gume ili opruga, koji djeluju kao amortizeri vibracija. Pravilno održavanje sustava može spriječiti labave spojeve i druge izvore vibracija. Redovite inspekcije i održavanje bitni su za identifikaciju i otklanjanje potencijalnih izvora vibracija. Balansiranje sustava cjevovoda može smanjiti vibracije. To uključuje osiguravanje pravilne instalacije i montaže cijevi te korištenje balansiranih ventilatora i drugih komponenti.

Kada drvene čestice udaraju o zidove cijevi, dolazi do stvaranja impulsnih zvukova koji mogu biti vrlo glasni. Smanjenje ove vrste buke uključuje korištenje otpornijih materijala. Materijali koji apsorbiraju udarce, poput gume ili specijalnih obloga, mogu smanjiti buku koja nastaje zbog udarca čestica o zidove cijevi. Osim toga, treba uzeti u obzir optimizaciju protoka zraka i korištenje odgovarajućih materijala u dizajnu cjevovoda koji su važni koraci u smanjenju buke i poboljšanju radnih uvjeta u drвноj industriji.

Odabir brzine strujanja zraka ovisi o granulaciji drvnih čestica. Sever (1988) navodi optimalne brzine strujanja zraka pa je tako za finu prašinu brzina od 10 do 15 m/s, za piljevinu i blanjevinu (prosušeno) od 15 do 25 m/s, za grube i mokre drvene čestice od 25 do 30 m/s.

Dimenzioniranje priključne cijevi određuje se prema preporuci s obzirom na vrstu stroja, odnosno izvor prašine a detaljno je prikazano u tablici 5.

Dimenzioniranje glavne cijevi računa se prema izrazu

$$d_3 = \sqrt{d_1^2 + d_2^2} \quad (3)$$

gdje je:

d_3 – promjer glavne cijevi (mm)

d_1 – promjer prve priključne cijevi (mm)

d_2 – promjer druge priključne cijevi (mm)

Količina protoka u cijevima računa se prema izrazu

$$Q = \frac{d^2 * \pi}{4} * v \quad (4)$$

gdje je:

d – promjer cijevi (mm)

v – brzina strujanja zraka (m/s)

Gustoća smjese zraka i drvnih čestica računa se prema izrazu

$$\rho_{smjese} = \rho_z + \frac{m_{d.č.}}{m^3} \quad (5)$$

gdje je:

ρ_z – gustoća zraka (kg/m³)

$m_{d.č./m^3}$ – masa drvnih čestica po m³ zraka

Proračun gubitka statičkog tlaka u sustavu računa se prema izrazu

$$\Delta p = \sum \xi * \frac{v^2 * \rho_{smjese}}{2} \quad (6)$$

$$\sum \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 \quad (7)$$

gdje je:

ξ_1 – otpor ušća (0,1 – 1,0)

ξ_2 – otpor trenja (0,0125+0,0011)/d)*l/d

ξ_3 – otpor koljena ($f_1 * f_2 * \xi^{r/d} * i$)

l – dužina cijevi (mm)

i – broj koljena

Tablica 5: Preporuke za dimenzioniranje cjevovoda (priključne cijevi)

<i>Stroj, izvor prašine</i>	<i>Protok zraka, m³/s</i>	<i>Preporučeni promjer cijevi, mm</i>
<i>Brusilica</i>	0,24 – 0,38	120 – 150
<i>Glodalica</i>		
<i>0,56 kW</i>	0,19	100
<i>1,12 kW</i>	0,26	120
<i>2,24 Kw</i>	0,33	150
<i>Dubilica</i>	0,17 – 0,19	100
<i>Kružna pila</i>	0,094 – 0,17	80 – 100
<i>Količina drvnih čestica</i>		
<i>Mala</i>	0,19	100
<i>Normalna</i>	0,26	120
<i>Velika</i>	0,31 – 0,35	150
<i>Čišćenje poda</i>	0,17 – 0,35	100 – 150
<i>Cijevi za čišćenje</i>		
<i>Vakuumske</i>	0,059	80
<i>Fleksibilne</i>	0,17	100

Izvor: Sever, 1988

2.5.3. Odvajači drvnih čestica

Odvajači drvnih čestica u sustavima za odsis i transport drvnih čestica, odgovorni su za uklanjanje čestica iz zraka prije nego što se on vrati u radni prostor ili ispusti u okoliš. Efikasno odvajanje drvnih čestica ne samo da poboljšava kvalitetu zraka, već također smanjuje razinu buke i sprječava potencijalne zdravstvene probleme kod radnika. Koriste se različite tehnologije i dizajnerska rješenja za optimizaciju performansi i smanjenje buke.

Postoji nekoliko vrsta odvajaača drvnih čestica koji se koriste u drvnjoj industriji, svaki sa specifičnim prednostima i nedostacima:

- **Centrifugalni odvajaači (cikloni)** koriste centrifugalnu silu za odvajanje čestica iz zraka. Zrak koji sadrži čestice uvodi se tangencijalno u ciklon, što uzrokuje da se zrak vrte i čestice se izbacuju na stijenke ciklona zbog centrifugalne sile. Čestice zatim padaju u spremnik za skupljanje, dok očišćeni zrak izlazi iz vrha ciklona. Ciklonski separatori su robusni i učinkoviti za veće čestice, ali mogu biti manje učinkoviti za fine čestice.
- **Filtarske vreće** ili vrećasti filtri su jedan od najčešće korištenih filtarskih sustava u drvnjoj industriji. Zrak prolazi kroz tkaninu filtarske vreće, gdje se čestice zadržavaju na površini vreće, a očišćeni zrak prolazi dalje. Filtarske vreće su učinkovite za široki raspon veličina čestica i mogu se automatski čistiti pomoću pulsno mlaza zraka. Međutim, tkanina može biti sklona habanju i zahtijeva redovito održavanje.
- **Patronski filtri** koriste se kada je potrebno visoko efikasno filtriranje finih čestica. Sastoje se od niza cilindričnih patronskih elemenata kroz koje zrak prolazi. Patrone su izrađene od specijalnih materijala koji mogu zadržati vrlo fine čestice, a istovremeno

omogućuju dobar protok zraka. Ovi filtri imaju veliku površinu za filtriranje u kompaktnom prostoru, ali su osjetljivi na začepljenje i zahtijevaju redovito čišćenje.

- **Elektrostatski filtri** za odvajanje drvene prašine i čestica su uređaji koji koriste električno polje za uklanjanje čestica iz protoka zraka. Ova vrsta filtra vrlo je učinkovita u odvajanju vrlo sitnih čestica, poput drvene prašine i drugih sitnih čestica koje mogu nastati tijekom obrade drva ili u industrijskim procesima.

Filtarski sustavi također mogu biti izvor buke u sustavima za odsis i transport drvnih čestica. Buka može potjecati iz nekoliko izvora, uključujući ventilatore, turbulencije zraka i vibracije komponenata. Postoji nekoliko pristupa za smanjenje buke u filtarskim sustavima:

- **Optimizacija protoka zraka** - smanjuje turbulencije koje mogu uzrokovati buku. Korištenje aerodinamički optimiziranih komponenti, glatkih unutarnjih površina i postupnih prijelaza između različitih dijelova sustava može smanjiti stvaranje buke. Dizajn koji minimizira nagle promjene u smjeru i brzini protoka zraka također može pomoći u smanjenju buke.
- **Izolacija i prigušivanje vibracija** važni su za smanjenje mehaničkog šuma. Korištenje elastičnih nosača i spojki može smanjiti prijenos vibracija s filtarskih sustava na okolne strukture. Dodatno, oblaganje filtarskih komora zvučno izolacijskim materijalima može smanjiti razinu buke. Materijali poput pjene, gume i specijalnih zvučno izolacijskih prekrivača učinkoviti su u apsorpciji zvuka i smanjenju širenja buke.
- **Pravilno održavanje** filtarskih sustava za održavanje niske razine buke. Redovite inspekcije i čišćenje filtera sprječavaju začepljenje koje može uzrokovati povećanje otpora zraka i stvaranje buke. Također, zamjena istrošenih ili oštećenih dijelova može spriječiti mehaničke probleme koji uzrokuju vibracije i buku.
- **Tehnološke inovacije** također mogu imati ulogu u smanjenju buke filtarskih sustava. Napredni materijali i dizajni filtera mogu smanjiti otpor zraka i povećati učinkovitost filtriranja uz smanjenu razinu buke. Elektronički nadzor i upravljanje sustavima može omogućiti optimizaciju rada filtarskih sustava u realnom vremenu, smanjujući buku i poboljšavajući performanse.

Kombinacija ovih pristupa može značajno smanjiti razinu buke koju generiraju filtarski sustavi u sustavima za odsis i transport drvnih čestica, poboljšavajući radne uvjete i smanjujući negativne utjecaje na zdravlje radnika i okolinu. Pravilno dizajnirani i održavani filtarski sustavi bitni su za postizanje optimalne učinkovitosti i smanjenje emisije buke u drvnjoj industriji.

2.5.4. Usisna mjesta i konektori

Usisna mjesta predstavljaju točke u sustavima za odsis i transport drvnih čestica, gdje smjesa zraka i drvnih čestica ulazi u sustav. Njihova pravilna postavka, dizajn i održavanje imaju ulogu u učinkovitom prikupljanju čestica, smanjenju emisije buke i osiguravanju sigurnih radnih uvjeta.

Usisna mjesta su dizajnirana da maksimalno smanje disperziju čestica u radnom prostoru i osiguraju učinkovito uklanjanje drvnih čestica iz zraka. Ona služe kao prve točke ulaska zraka onečišćenog drvnim česticama u sustav, gdje se zrak usmjerava prema cjevovodima i filtrima za daljnju obradu. Pravilno dizajnirana usisna mjesta mogu značajno povećati učinkovitost cijelog sustava i smanjiti rizik od izloženosti radnika štetnim česticama.

Položaj usisnih mjesta od presudne je važnosti za njihovu učinkovitost. Ona trebaju biti postavljena što bliže izvorima nastanka drvnih čestica kako bi se maksimalno smanjila disperzija čestica u okolni zrak. U drвноj industriji, usisna mjesta često se nalaze neposredno uz strojeve koji generiraju velike količine čestica, poput pila, brusilica, blanjalica i drugih obradnih alata. Precizno pozicioniranje usisnih mjesta osigurava da se najveća količina čestica uhvati čim napuste izvor, čime se smanjuje njihova šansa za raspršivanje u okoliš.

Oblik i veličina usisnih mjesta su elementi koji imaju ulogu u njihovoj učinkovitosti. Usisni otvori trebaju biti dovoljno veliki da obuhvate područje gdje se čestice generiraju, ali ne toliko veliki da smanjuju brzinu protoka zraka. Optimalan oblik usisnih otvora može značajno smanjiti otpor zraka i turbulencije, omogućujući učinkovitije hvatanje čestica. Na primjer, usisna mjesta s aerodinamičnim dizajnom, glatkim unutarnjim površinama i postupnim prijelazima između različitih dijelova sustava smanjuju stvaranje buke i povećavaju učinkovitost usisavanja.

Materijali od kojih su izrađena usisna mjesta moraju biti izdržljivi i otporni na habanje, s obzirom na intenzivne uvjete rada. Najčešće korišteni materijali uključuju metal (čelik, aluminij) i visokokvalitetne polimere. Metalna usisna mjesta pružaju visoku izdržljivost i otpornost na habanje, dok polimeri mogu biti lakši i otporniji na koroziju. U nekim slučajevima, unutarnje površine usisnih mjesta mogu biti obložene specijalnim materijalima koji smanjuju trenje i sprječavaju taloženje čestica, čime se poboljšava učinkovitost i smanjuje potreba za održavanjem (*Kruljac, 2020.*).

2.6. Mjerenje buke

2.6.1. Oprema za provođenje mjerenja buke

- Zvukomjeri (mikrofon, elektronika za obradu signala, displej)

Zvukomjer je instrument koji mjeri razine zvučnog tlaka i njihovu raspodjelu u relevantnim frekvencijskim pojasevima, poput oktava, tercija ili kroz uskopojasnu brzu Fourierovu transformaciju izvedenu na digitalnom signalnom procesoru, bilo unutar zvukomjera ili na računalu. Opremljen je mikrofonom, pojačalom, filtrima, zaslonom, sučeljem za povezivanje s računalom te digitalnim ili analognim izlazima. Postoje dvije glavne vrste zvukomjera: integrirajući i impulsni. Primjer jednog integrirajućeg zvukomjera prikazan je na slici 5.

Princip rada uređaja za mjerenje buke obuhvaća tri osnovna koraka:

1. Prikupljanje zvučnih signala:

- Uređaj koristi mikrofon ili senzor za detekciju zvučnih valova iz okoline. Mikrofon je napravljen da reagira na promjene u zračnom tlaku izazvane zvukom. Kada zvučni valovi dosegnu mikrofon, on te promjene tlaka pretvara u električne impulse.

2. Pretvorba i obrada signala:

- Električni signali koje generira mikrofon prenose se na elektronički sustav uređaja. U ovom sustavu, signali se obrađuju kako bi se dobile točne mjere razine buke. Pojačalo se često koristi za jačanje slabijih signala, omogućujući preciznu analizu.

3. Očitavanje i prikaz razine buke:

- Uređaj, na temelju obrađenih električnih impulsa, prikazuje ili pohranjuje izmjerene vrijednosti razine buke, obično u decibelima (dB). Ova vrijednost označava intenzitet ili snagu zvuka u usporedbi s referentnom razinom te se koristi za procjenu i usporedbu buke na različitim lokacijama ili u različitim uvjetima (Žiković, 2023).



Slika 5: Mjerni instrument za mjerenje razine buke (Izvor:

<https://www.cdelectronic.com.hr/p/chauvin-arnoux-razina-zvuka-mjerni-instrument-ca-832-37--130-db-315-hz--8000-hz/1882093>)

- Kalibratori za zvukomjere

Kalibracija se provodi pomoću specijaliziranog uređaja, poznatog kao kalibrator zvuka, koji generira stabilnu i poznatu razinu zvuka (slika 6). Ovaj uređaj proizvodi zvučni signal s precizno definiranim frekvencijama i razinama, omogućujući usporedbu s očitajanjima mjernog instrumenta. Kalibrator je ključan za osiguranje točnosti mjerenja buke, čime se zvučni

mjeritelji mogu pouzdano koristiti u različitim uvjetima. Postoje dvije glavne vrste kalibratora: akustični i pistonofon.

Proces kalibracije započinje provjerom funkcionalnosti kalibratora, uključujući napajanje i ispravnost. Kalibrator se potom priključuje na zvučni mjeritelj putem odgovarajućeg konektora ili adaptera. Ključna je pravilna udaljenost i pozicija kalibratora u odnosu na mikروفon mjeritelja kako bi se osigurala točnost podataka.

Nakon aktivacije, kalibrator emitira referentni zvučni signal s unaprijed određenom frekvencijom i intenzitetom, koji se koristi kao standard za mjerenje. Zvučni mjeritelj zatim uspoređuje svoje rezultate s ovim referentnim signalom, a eventualne razlike bilježe se i koriste za korekciju mjerenja.

Ovaj postupak jamči da zvučni mjeritelj precizno i dosljedno registrira razinu buke u stvarnom okruženju, osiguravajući pouzdanost rezultata u različitim situacijama, kao što su praćenje buke u radnim prostorima, mjerenje okolišne buke i druge akustičke primjene.



Slika 6: Višefrekventni kalibrator razine zvuka (Izvor: <https://www.metroteh.hr/lutron-sc-934>)

- Analizatori spektra

Analizatori spektra omogućuju detaljnu analizu frekvencijskog sadržaja zvuka, što je ključno za identifikaciju izvora buke i razumijevanje njenog ponašanja (slika 7).



Slika 7: Vektorski mrežni analizator (Izvor: <https://www.metroteh.hr/siglent-sna-5032a>)

- Mikrofonске sonde

Mikrofonске sonde su specijalizirani mikrofoni koji se koriste za mjerenje buke u teško dostupnim ili specifičnim lokacijama, poput unutar strojeva ili cjevovoda. Karakterizira ih visoka osjetljivost, fleksibilnost i prilagodljivi oblik te otpornost na teške uvjete rada. Mikrofonске sonde obično se sastoje od jednog ili više mikrofona postavljenih na određenim pozicijama unutar sonde. Sonde mogu biti različitih veličina i oblika, ovisno o specifičnoj primjeni, ali su dizajnirane tako da omogućuju precizno i točno mjerenje zvuka. Razlikujemo jednokanalске i višekanalске sonde. Jednokanalске sonde koriste jedan mikrofon za mjerenje zvuka u jednoj točki. Ove sonde su jednostavne za korištenje i idealne za osnovna mjerenja buke. Višekanalске sonde imaju više mikrofona raspoređenih u određenu konfiguraciju. Ove sonde omogućuju detaljniju analizu zvučnih polja i koriste se za složenije akustičke studije.

- Osobni dozimetri buke

Osobni dozimetri buke su prijenosni uređaji koji se koriste za mjerenje izloženosti pojedinaca buci tijekom određenog vremenskog razdoblja (slika 8). Najprije mikrofon prikuplja zvučne valove, pretvarajući ih u električne signale. Zatim, elektronički sustav obrađuje ove signale, mjeri njihovu razinu i frekvenciju te računa ekvivalentnu razinu buke tijekom vremena (obično osam sati). Podaci se pohranjuju u uređaju i mogu se analizirati pomoću specijaliziranog softvera. Mikrofon dozimetra postavlja se blizu uha korisnika kako bi precizno bilježio razinu buke kojoj je korisnik izložen. Obično se pričvršćuje na rame ili ovratnik radne odjeće.



Slika 8: Osobni dozimeter buke (Izvor: <https://www.metroteh.hr/extech-sl-400>)

- Akustične kamere

Akustična kamera ili uređaj koji vidi zvuk, sastoji se od niza vrlo osjetljivih i usko usmjerenih senzora povezanih s kamerom precizno nam prikazuje odakle pojedini zvuk dolazi (slika 9). Sastoji se od niza mikrofona, softvera za obradu signala i displeja za vizualizaciju izvora buke (<https://energonova.hr/otkrivanje-izvora-zvuka/>)



Slika 9: Akustična kamera (Izvor: <https://manuals.plus/bs/hikmicro/ai56-ai-series-acoustic-camera-manual>)

- Vibrometri

Vibrometri koriste senzore za detekciju vibracija, pretvaraju te vibracije u električne signale, pojačavaju i filtriraju signale te provode analizu kako bi pružili informacije o frekvenciji, amplitudi i drugim karakteristikama vibracija. Točnost i pouzdanost mjerenja ovise o kvaliteti senzora, pojačala i analitičkih alata ugrađenih u vibrometre. Senzori vibracija mogu biti piezoelektrični, kapacitivni senzori i mjerni trakovi. Zatim senzor pretvara mehaničke vibracije u električni signal. Električni signal generiran senzorom često je vrlo slab i zahtijeva pojačanje. Pojačala povećavaju snagu signala kako bi ga učinila pogodnim za daljnju obradu. Također, filtri se koriste za uklanjanje šuma i neželjenih frekvencija iz signala, omogućujući fokusiranje na relevantne vibracijske frekvencije.

- Softver za analizu buke

Softver za analizu buke dizajniran je za mjerenje, snimanje, analizu i vizualizaciju razina zvuka u različitim okruženjima. Omogućuje kontinuirano mjerenje razine zvuka u stvarnom vremenu pružajući trenutne povratne informacije. Najčešće se koristi frekvencijska analiza, statistička analiza, vizualizacija podataka pomoću raznih grafikona, dijagrama te topografskih prikaza.

2.7. Tehnologije za smanjenje buke

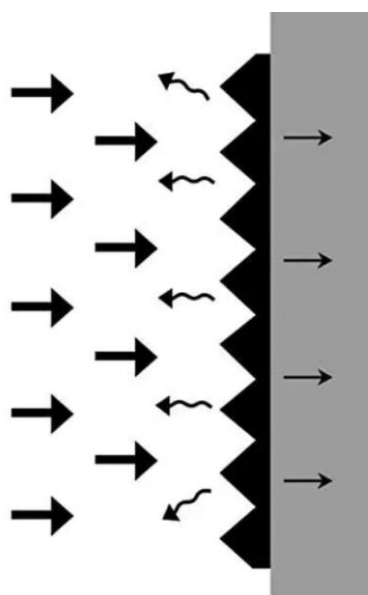
2.7.1. Vrste materijala

- Akustična pjena

Pjene su jedan od najčešćih materijala koji se koriste za izradu akustičnih panela. One su lagane, fleksibilne i mogu se oblikovati u različite debljine i oblike. Akustične pjene apsorbiraju zvuk tako da smanjuju njegov odraz od površine, čime se smanjuje ukupna razina buke u prostoriji. Jedna od firmi koja izrađuje takve ploče od akustične pjene je Evafoams. Ploče su izrađene od poliuretanske pjene te imaju strukturu nalik piramidama (slika 10). Takve ploče imaju visoki koeficijent apsorpcije zvuka a princip djelovanja prikazan je na slici 11. Naime, zvučni valovi sudaraju se sa oblogom od pjene te se dio valova apsorbira kroz ploču a dio se raspršuje natrag u različitim pravcima točnije dolazi do difuzije zvuka.



Slika 10: Ploče od akustične pjene (Izvor: <https://www.evafoams.net/hr/soundproofing-sound-absorbing-proof-wall-tv-studio-sound-pyramid-foam-acoustic-panels/>)



Slika 11: Apsorpcija i difuzija zvuka kroz ploče od akustične pjene (Izvor: <https://www.evafoams.net/hr/soundproofing-sound-absorbing-proof-wall-tv-studio-sound-pyramid-foam-acoustic-panels/>)

- Mineralna vuna

Najčešće primjenjivane su staklena i kamena vuna. Neke od zajedničkih prednosti su izrada od prirodnih materijala, odlična akustična svojstva, lako se režu, vrlo dobro dugoročno rješenje i dr. One apsorbiraju zvuk kroz njihovu poroznu strukturu, što čini da se zvučni valovi gube unutar materijala umjesto da se reflektiraju natrag u prostoriju.

Staklena vuna nastaje taljenjem stakla a sadrži i kvarcni pijesak te aditive. Za razliku od kamene vune, staklena vuna ima manju mehaničku otpornost, stoga se ne može koristiti na mjestima gdje će se hodati ili biti izloženo pritisku (slika 12). Osim toga, ima vrlo nisku otpornost na vlagu, stoga je potrebno provesti mjere zaštite kako bi se umanjila opasnost od djelovanja vlage na vunu.



Slika 12: Staklena vuna (Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Mineral_wool)

Kamena vuna dobiva se taljenjem bazaltnog kamena te ponovnog stvrdnjavanja u obliku ploče. Ima veću otpornost na mehaničke utjecaje od staklene vune, ne propušta paru, vodootporna je, izdržljiva i moguće je korištenje na mjestima gdje će se hodati ali sama ugradnja i rukovanje je teže nego što je sa staklenom vunom (slika 13). U usporedbi sa staklenom vunom ima veću cijenu.



Slika 13: Kamena vuna (Izvor: <https://www.technogipspro.com/hr/products/kamenna-vata-rock-light>)

- Drvne ploče

Drvne akustične ploče su estetski privlačne jer nude toplinu i prirodni izgled. One obično kombiniraju akustična svojstva s dekorativnim karakteristikama. Te ploče su dizajnirane tako

da apsorbiraju ili blokiraju zvuk. Najčešće korištene drvene ploče za smanjenje buke su ploče vlaknaste od kojih se najviše koriste MDF (engl. medium density fiberboard) ploče. MDF vlaknaste ploče imaju gustoću od najmanje 450 kg/m^3 , a tijekom proizvodnog procesa razina vlage u njima nije prelazila 20%. Spadaju u kategoriju ploča s obje strane glatke površine (S2S). Prema normi HRN EN 622-5, MDF ploče izrađuju se suhim postupkom i dolaze u dva tipa: jedan za primjenu u suhim uvjetima, a drugi za upotrebu u vlažnim sredinama. (Jambreković, 2004).

Na tržištu se mogu pronaći razni oblici i izvedbe upotrebe MDF ploča za poboljšanje akustike. Često se koriste akustične zidne obloge izrađene od MDF letvica obložene prirodnim furnirom. Letvice se lijepe na podlogu od tvrdog recikliranog filca (slika 14).



Slika 14: Furnirane MDF letvice za akustiku (Izvor: <https://hr.mq-acoustics.com/wooden-acoustic-panel/wooden-slats-mdf-acoustic-panel.html>)

Zatim, upotrebljavaju se perforirane drvene ploče (slika 15). Izbor dizajna, oblika i načina perforacija je mnogo a ovisi o izboru i potrebama kupca. Perforirane MDF ploče sastoje se od čvrste ploče u koju su izbušene brojne male rupe (perforacije) čime se postiže veća površina ploče stoga raste i količina apsorbiranog zvuka. Te rupe omogućavaju zvučnim valovima da prolaze kroz ploču, gdje se mogu apsorbirati ili raspršiti. Akustična učinkovitost takvih ploča ovisi o veličini, rasporedu i broju perforacija a može se poboljšati ispunjavanjem stražnje strane ploča sa apsorbirajućim materijalom kao što je akustična pjena ili mineralna vuna. Time omogućujemo zvučnim valovima da ulaze kroz perforacije, gdje se energija zvučnog vala djelomično apsorbira unutar materijala, smanjujući refleksiju nazad u prostoriju. Dio zvučnih valova koji se ne apsorbiraju, odbijaju se od površine ploče i zbog različitih perforacija raspršuju se u različitim smjerovima. Time se poboljšava difuzija zvuka i smanjuje odjek. Manje perforacije bolje će apsorbirati više frekvencije, dok će veće perforacije efikasnije apsorbirati niže frekvencije. Raspored perforacija može biti pravilan ili nepravilan. Pravilan daje predvidljive akustične rezultate i estetski je privlačniji, dok će nepravilan raspored rupa

na površini ploče pomoći u raspršivanju zvuka na nepredvidiv način, što dodatno smanjuje odjek.

Perforacije na MDF pločama djeluju kao Helmholtzovi rezonatori, male šupljine koje apsorbiraju određene frekvencije zvuka, osobito niskofrekventne zvukove koji se inače teže apsorbiraju. Prema Hermannu Ludwigu Ferdinandu von Helmholtzu, rezonator poznat kao Helmholtzov rezonator je svaka šupljina u obliku kugle koja ima svoju rezonantnu frekvenciju f_0 . Ova frekvencija zavisi o polumjeru šupljine, duljini i polumjeru spojnoga kanala, kao i o karakteristikama zraka poput gustoće, vlažnosti i temperature. Helmholtzovi rezonatori nalaze primjenu u akustičkim analizama i služe za smanjenje buke, često kao ključni dijelovi u konstrukciji prigušivača. Zvučni valovi ulaze u perforacije i uzrokuju vibracije zraka unutar tih šupljina, što dovodi do gubitka energije zvuka kroz trenje i pretvorbu u toplinu (*Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*).



Slika 15: Perforirana akustična drvena ploča (Izvor: <http://hr.yishanghome.com/finishing-material/interior-finishing-material/wall-decor-perforated-acoustic-wooden-panel.html>)

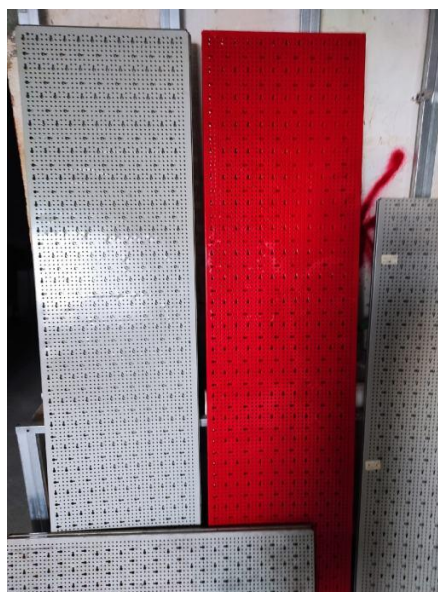
Osim MDF-a upotrebljavaju se i OSB ploče, ploče iverice, šperploče te razne kompozitne ploče dobivene od drvenih vlakana pomiješanih sa cementom ili drugim vezivnim sredstvima. OSB ploče imaju dobru sposobnost blokiranja zvuka zbog svoje čvrste i guste strukture. Šperploča nudi dobre zvučne izolacijske osobine zbog svoje višeslojne strukture. Kompozitne ploče imaju izuzetno dobre apsorpcijske sposobnosti zbog svoje porozne i vlaknaste strukture (slika 16).



Slika 16: Akustične ploče na bazi smrekove drvene vune, cementnog i mramornog veziva u prahu (Izvor: <https://www.audion.hr/products/soprema-fibro-kustik-florence-akusticka-ploca-1mm-a2>)

- Metalne ploče

Metalne akustične ploče koriste se za poboljšanje akustičnih svojstava prostora smanjenjem razine buke, apsorpcijom zvuka i smanjenjem odjeka. Ove ploče su izrađene od metala poput aluminija ili čelika i često imaju perforacije koje omogućuju učinkovitu kontrolu zvuka (slika 17). Perforacije omogućuju zvučnim valovima da prolaze kroz ploču i ulaze u apsorpcijski materijal koji se nalazi iza nje, smanjujući refleksiju zvuka nazad u prostoriju. Mnoge su prednosti korištenja metalnih akustičnih ploča od kojih treba izdvojiti lako čišćenje i održavanje, otpornost na vlagu i kemikalije, izdržljive i otporne na oštećenja, koroziju i vatru, dostupne su u različitim bojama, završnim obradama i dizajnima, omogućujući integraciju u arhitektonske projekte bez kompromitiranja estetike.



Slika 17: Perforirane metalne ploče (Izvor: <https://www.njuskalo.hr/trgovacke-police/perforirane-metalne-ploce-oglas-38194763>)

- Tkanine

Tkanine su se pokazale kao učinkovito sredstvo za zvučnu izolaciju u različitim okruženjima, uključujući urede, konferencijske dvorane, studije za snimanje i industrijske objekte. Njihova upotreba u zvučnoj izolaciji temelji se na sposobnosti apsorpcije zvučnih valova, smanjenju odjeka i poboljšanju akustičkih svojstava prostora. Imaju poroznu strukturu što omogućava zvučnim valovima da uđu u tkaninu, gdje se energija zvuka pretvara u toplinu kroz trenje. Upotreba tkanina je česta zbog fleksibilnosti i jednostavnosti postavljanja, mogućnost odabira različitih boja i tekstura te u usporedbi s ostalim materijalima za zvučnu izolaciju, tkanine mogu biti ekonomski isplative.

Vrste tkanina korištenih za zvučnu izolaciju su:

- Akustične tkanine - Specijalno dizajnirane tkanine koje imaju visoku sposobnost apsorpcije zvuka te se koriste u oblaganju zidova i stropova, te u izradi akustičnih panela.
- Teške zavjese - Zavjese izrađene od gustih i teških materijala, poput baršuna ili specijalno obrađenih tkanina. Pomažu u smanjenju prolaska zvuka kroz prozore i vrata, te smanjuju odjek unutar prostorija.
- Tekstilne zvučne barijere - Tkanine koje sadrže dodatne slojeve zvučno izolirajućih materijala kao što su guma ili vinil. Koriste se za stvaranje pregrada ili omatanje objekata koji proizvode buku.

- Gume

Upotreba gumenih obloga može značajno smanjiti vibracije i buku uzrokovanu strujanjem zraka kroz cjevovode. Gumene obloge apsorbiraju vibracije i sprječavaju njihov prijenos na okolne strukture. Pronalaze primjenu u industrijskim postrojenjima za strojeve i opremu kao podloge za strojeve, vibracijski izolatori, brtve i zaštitne obloge za zidove i podove. Osim toga, upotrebljavaju se u automobilskoj industriji, građevinarstvu, stambenim i poslovnim prostorima. U ponudi je širok izbor boja gumenih obloga (slika 18) kao i površinskih oblika poput piramide koja ima odlična akustična svojstva za izolaciju od zvuka udarca (slika 19).



Slika 18: Gumena ploča za zvučnu izolaciju (Izvor: <https://hr.mq-acoustics.com/sound-insulation/damping-materials/sound-insulation-rubber-sheet.html>)



Slika 19: Gumena ploča za izolaciju od zvuka udarca (Izvor: <https://hr.mq-acoustics.com/sound-insulation/damping-materials/sound-insulation-rubber-sheet.html>)

- Olovo

Olovne obloge za cjevovode koriste se u različitim industrijama zbog svojih izvanrednih svojstava za zaštitu od buke i vibracija. Iako se olovo možda ne koristi tako često kao neki drugi materijali zbog zdravstvenih i ekoloških zabrinutosti, njegova specifična svojstva čine ga korisnim u određenim specijaliziranim primjenama. Pronalazi primjenu u industrijskim postrojenjima, nuklearne elektrane, medicinska oprema i dr. Olovo je poznato po svojim

toksičnim svojstvima, pa njegova upotreba zahtijeva stroge sigurnosne mjere kako bi se spriječila izloženost radnika. Također, prilikom rukovanja olovnim oblogama, nužno je koristiti zaštitnu opremu i osigurati odgovarajuću ventilaciju kako bi se smanjio rizik od udisanja čestica olova. Zbog svoje toksičnosti, potrebno je pravilno zbrinjavanje otpadom.

Svojstva olova za oblaganje cjevovoda su:

- Gustoća i težina - Olovo je vrlo gusto i teže od većine drugih metala, što ga čini izvrsnim materijalom za prigušivanje zvuka. Njegova visoka gustoća omogućava učinkovito apsorpiranje i blokiranje zvučnih valova, što smanjuje širenje buke kroz cjevovode.
- Dugotrajnost i otpornost - Olovo je otporno na koroziju i habanje, što ga čini izdržljivim materijalom za oblaganje cjevovoda u teškim industrijskim uvjetima. Njegova otpornost na kemikalije i vlagu također doprinosi dugovječnosti.
- Fleksibilnost - Unatoč svojoj gustoći, olovo je relativno mekano i fleksibilno, što omogućava lako oblikovanje i prilagođavanje različitim oblicima cjevovoda (slika 20). Ovo svojstvo olakšava instalaciju i omogućava dobro prianjanje uz površinu cjevovoda (*Murati i Paulin*).



Slika 20: Spužvasti polietilen sa olovnom pločom

2.7.2. Izolacija i oblaganje cjevovoda

U industrijskim sustavima, poput onih za odsis i transport drvnih čestica, buka koja nastaje u cjevovodima i drugim dijelovima može biti značajan problem za radnike, okoliš i opću produktivnost. Učinkovita strategija za smanjenje buke uključuje izolaciju i oblaganje cjevovoda te ostalih dijelova sustava.

Izolacija cjevovoda se koristi kako bi se smanjila buka koja nastaje uslijed protoka zraka i čestica kroz cjevovode. Glavni cilj izolacije je smanjiti prijenos zvuka s unutarnjih strana cjevovoda prema okolnom okruženju. Postoje različiti materijali koji se koriste za izolaciju cjevovoda:

Fleksibilne zvučno izolacijske obloge: Fleksibilne zvučno izolacijske obloge izrađuju se od različitih materijala koji su pažljivo odabrani zbog svojih akustičkih svojstava i mehaničke fleksibilnosti. Izrađene su od materijala koji smanjuju vibracije i apsorbiraju zvuk, čime se smanjuje buka koja se širi kroz zidove cjevovoda.

Fleksibilne zvučno izolacijske obloge mogu biti izrađene od različitih materijala, uključujući visokokvalitetne akustične pjene, gume, polimere ili kombinaciju tih materijala. Svaki materijal ima svoje specifične karakteristike koje utječu na njegovu sposobnost apsorpcije zvuka i fleksibilnost. Ove obloge obično imaju poroznu strukturu koja omogućava prolaz zvuka kroz materijal. Kombinacija otvorenih ćelija ili specijaliziranih struktura omogućava efikasno apsorpiranje zvučnih valova, čime se smanjuje refleksija zvuka natrag u prostoriju. Debljina fleksibilnih zvučno izolacijskih obloga može varirati ovisno o specifičnim zahtjevima buke u prostoru. Veća debljina obloge obično pruža bolju apsorpciju zvuka, ali može biti i veća težina za montažu. Ove obloge su dizajnirane da budu fleksibilne kako bi se mogle prilagoditi različitim oblicima i površinama. To omogućava njihovu primjenu na zakrivljenim ili neravnim površinama sustava za transport drvnih čestica bez gubitka svojih akustičkih svojstava. Mnoge fleksibilne zvučno izolacijske obloge dolaze s ljepljivom podlogom koja olakšava montažu na zidove, stropove ili druge površine. Također se mogu montirati pomoću posebnih nosača ili ljepila, ovisno o specifičnim zahtjevima primjene.

2.7.3. Akustične barijere

Akustične barijere su specijalizirane konstrukcije dizajnirane za smanjenje prijenosa zvuka između izvora buke i okolnog prostora ili za smanjenje refleksije zvuka unutar prostora. Imaju važnu ulogu u kontroli buke u raznim okruženjima, uključujući industrijska postrojenja, prometne koridore, građevinske lokacije, ali i zatvorene prostore poput koncertnih dvorana i studija za snimanje. Njihova primjena, funkcionalnost i materijali od kojih su izrađene mogu varirati ovisno o specifičnim zahtjevima i okruženju.

Primjenu akustičnih barijera vidimo u industrijskim okruženjima, posebice u drвноj industriji, gdje su prisutni ventilatori, kompresori i drugi strojevi koji stvaraju visoku razinu buke, akustične barijere mogu značajno smanjiti buku i zaštititi zdravlje radnika od dugotrajne izloženosti ali i spriječiti širenje buke u okolinu. Postavljaju se oko bučnih strojeva ili cjevovoda kako bi smanjile širenje buke u okolni prostor.

Konstrukcija akustičnih barijera sastoji se od jednog ili više materijala koji apsorbiraju zvučne valove, reflektiraju ili difuziraju zvuk. Refleksija se koristi za usmjeravanje zvuka u određenom smjeru ili natrag prema izvoru, dok difuzija razbija zvučne valove kako bi se smanjila njihova energija. Ove funkcionalnosti omogućuju preciznu kontrolu nad širenjem zvuka i stvaranje

optimalnih akustičkih uvjeta. Akustične barijere mogu se prilagoditi specifičnim zahtjevima okoliša ili projekta, uključujući visinu, debljinu i materijale. Napredne tehnologije uključuju integraciju solarnih panela ili vjetroturbina u akustične barijere, čineći ih multifunkcionalnim i održivim rješenjima.

2.7.4. Optimizacija dizajna sustava

Optimizacija dizajna sustava radi smanjenja buke zahtijeva holistički pristup koji uključuje pravilno planiranje, upotrebu naprednih materijala, precizno projektiranje i redovito održavanje. Prvi korak u optimizaciji dizajna sustava je detaljna analiza izvora buke. To uključuje identifikaciju svih komponenti i procesa koji generiraju buku, kao što su ventilatori, kompresori, cjevovodi i druge mehaničke komponente. Korištenjem akustičkih mjerenja i modeliranja, moguće je odrediti najznačajnije izvore buke i njihove karakteristike. Dizajn cjevovoda trebao bi minimizirati turbulentni protok zraka, jer turbulencija može značajno povećati razinu buke. Glatki i ravni cjevovodi s minimalnim brojem koljena i spojeva smanjuju turbulenciju i stvaranje buke. Također, ugradnja prigušivača buke u strateške dijelove cjevovoda može učinkovito smanjiti razinu buke. Prigušivači koji kombiniraju apsorpcijske i refleksijske elemente omogućuju učinkovitu redukciju zvuka na širokom spektru frekvencija. Osim toga, izolacija izvora vibracija, poput motora i ventilatora, može smanjiti prijenos vibracija na cjevovode i druge dijelove sustava.

Redovito održavanje i servisiranje opreme može spriječiti povećanje buke zbog habanja i neispravnosti. Održavanje uključuje provjeru i zamjenu istrošenih dijelova, podmazivanje pokretnih dijelova i održavanje optimalnog rada sustava.

3. CILJ RADA

Eksperimentalni dio ovog rada usmjeren je na istraživanje mogućnosti smanjenja emisije buke sustava za odsis i transport drvnih čestica zrakom unutar proizvodnog pogona Magel d.o.o. u Maloj Gorici, s naglaskom na zaštitu okoline od buke proizvodnog pogona. Prema standardima zaštite okoliša i propisima o zaštiti na radu, emisija buke mora biti svedena na razine koje ne predstavljaju opasnost za zdravlje i udobnost ljudi. Provedena preliminarna mjerenja pokazala su da razine buke na nekoliko ključnih točaka unutar i u okolici pogona prelaze zakonom propisane granice. Ovi rezultati naglašavaju potrebu za intervencijom kako bi se smanjila buka na prihvatljive razine, čime se štiti zdravlje radnika i smanjuje utjecaj na okolno stanovništvo.

U ovom eksperimentalnom dijelu rada, fokus će biti na identifikaciji i evaluaciji mjera koje se mogu primijeniti za smanjenje emisije buke u sustavu za odsis i transport drvnih čestica zrakom. Posebna pažnja posvetit će se analizi različitih tehničkih i organizacijskih pristupa, uključujući postavljanje zvučnih barijera, prigušivača zvuka te optimizaciju rada sustava. Implementacija tih mjera ne samo da će omogućiti usklađivanje s relevantnim propisima, već će i poboljšati ukupnu kvalitetu radnog okruženja, smanjujući izloženost radnika štetnim razinama buke. Također, smanjenje emisije buke može imati pozitivan utjecaj na odnose s lokalnom zajednicom, smanjujući pritužbe zbog buke iz proizvodnog pogona.

Ovaj eksperimentalni dio rada temelji se na detaljnoj analizi postojećih uvjeta i mjera za smanjenje buke. Svi koraci bit će dokumentirani i analizirani kako bi se osigurala točnost i pouzdanost rezultata, a sve s ciljem pružanja preporuka koje bi se mogle primijeniti i u drugim sličnim industrijskim postrojenjima.

4. MATERIJALI I METODE

4.1. Objekt istraživanja - Tvrtnka Magel d.o.o

Tvrtnka Magel d.o.o osnovana je 14. ožujka 2005. godine. Sjedište tvrtke Magel d.o.o. nalazi se u Maloj Gorici, strateški pozicionirano u blizini ključnih prometnih koridora što omogućava jednostavan transport materijala i gotovih proizvoda. Proizvodni pogoni su opremljeni naprednom tehnologijom, uključujući sustave za automatiziranu obradu drveta i kontrolu kvalitete.

Magel d.o.o. bavi se širokim spektrom aktivnosti vezanih uz drvenu industriju, uključujući:

- **Proizvodnju drvnih materijala:** Tvrtnka se specijalizirala za proizvodnju raznih drvnih proizvoda, uključujući ogrjevno drvo, parket, te druge proizvode za industrijsku i komercijalnu upotrebu. Svježa piljena građa okrajčena ili neokrajčena dolazi u debljinama prema dogovoru od mnogih domaćih vrsta drva poput hrasta, jasena, lipe, bagrema i dr. Osim piljene građe nude i ogrjevno drvo hrasta, graba i bukve, uredno posloženo u palete. Proizvode i parkete od kojih su najčešći industrijski, klasični i seljački pod.
- **Obradu drveta:** Magel d.o.o. posjeduje moderne pogone za obradu drveta, opremljene najnovijom tehnologijom koja omogućuje visok stupanj preciznosti i kvalitete u svakom aspektu proizvodnje. Od usluga nude prijevoz, sušenje te parenje drvnih materijala.

4.2. Metodologija izrade projekta zaštite okoline od buke

Izrada projekta zaštite okoline od buke proizvodnog pogona sastoji se od nekoliko koraka:

1. Opći podaci – registracija tvrtke, rješenje o imenovanju projektanta, rješenje o upisu u imenik ovlaštenih inženjera elektrotehnike, ugovor o poslovno tehničkoj suradnji
2. Uvjeti projektiranja – projektni zadatak, izmjerene razine buke na okolnim objektima
3. Poboljšanje zaštite okoline od buke pogona – predlaganje mjera za smanjenje emisije buke u okolinu
4. Kontrolno mjerenje
5. Troškovnik akustičkih elemenata
6. Tehničke karakteristike predloženih materijala

Na temelju detaljne analize dostavljene tehničke dokumentacije i zatečenog stanja na terenu, utvrđeno je da mjere za smanjenje širenja buke iz proizvodnog pogona tvrtke Magel d.o.o. nisu dostatne za ispunjavanje zakonskih i normativnih zahtjeva. Prema izvještajima o mjerenju buke okoliša te obilaskom objekta, potvrđeno je da trenutne mjere za kontrolu buke nisu učinkovite. Razgovor s upravom poduzeća i detaljan uvid u radne procese ukazali su na potrebu za sveobuhvatnim i preciznim projektiranjem novih mjera za smanjenje buke.

Na lokaciji Mala Gorica 31, u proizvodnom pogonu, buka trenutno prelazi dopuštene granice koje su definirane važećim zakonima, normama i preporukama. Kako bi se uskladilo s propisima, potrebno je razviti i implementirati niz novih tehničkih rješenja koja će osigurati smanjenje buke na zakonski prihvatljivu razinu, te time zaštititi zdravlje radnika, kvalitetu radne okoline i minimizirati utjecaj na okolne stambene objekte.

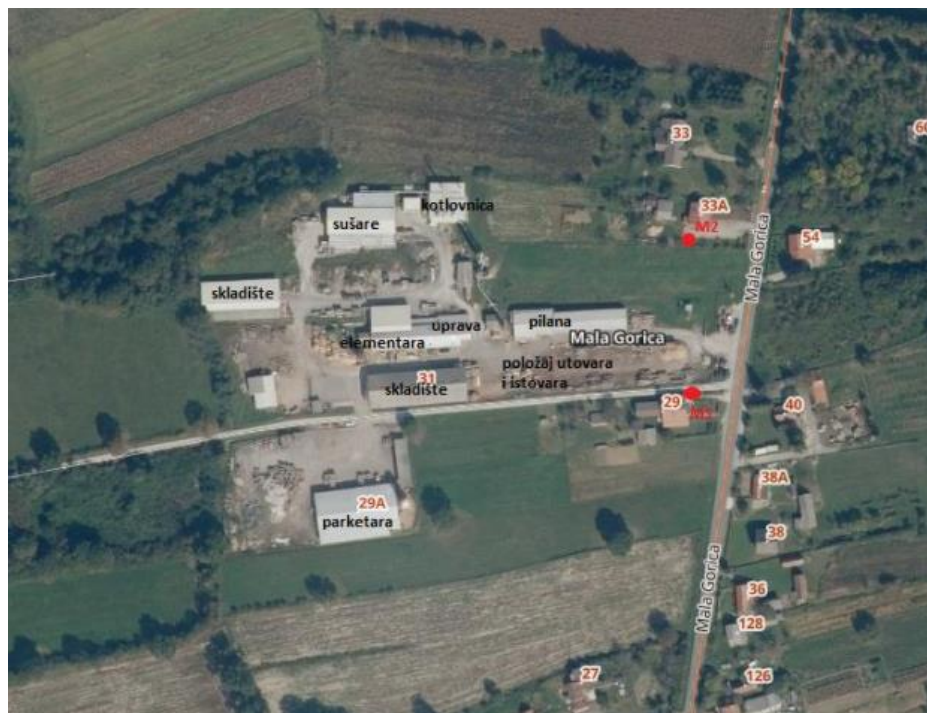
4.2.1. Mjerenje razine buke na okolnim objektima

Mjerenje se provodilo na dva različita okolna objekta pri čemu je:

- M 1.1.: 50 cm ispred prozora u prizemlju obiteljske kuće vl. Cavrić, Mala Gorica 29, Mala Gorica (slika 21)
- M 1.2.: 50 cm ispred prozora u prizemlju obiteljske kuće vl. Bunjan, Mala Gorica 33a, Mala Gorica (slika 21)
- M 2.1.: Granica čestice prema obiteljskoj kući vl. Cavrić, Mala Gorica 29, Mala Gorica (slika 22)
- M 2.2.: Granica čestice prema obiteljskoj kući vl. Bunjan, Mala Gorica 33a, Mala Gorica (slika 22)



Slika 21: Pozicija mjernih mjesta M 1.1. i M 1.2.



Slika 22: Pozicija mjernih mjesta M 2.1. i M 2.2.

Mjerna oprema korištena za mjerenje razine buke prikazana je u tablici 6. Zvukomjer je prije i nakon svake serije mjerenja provjeren umjeravanjem zvučnim umjerivačem.

Tablica 6: Mjerni instrumenti kojima se mjerila razina buke

<i>REDNI BROJ</i>	<i>NAZIV</i>	<i>PROIZVOĐAČ</i>	<i>TIP</i>	<i>TVORNIČKI BROJ</i>
1	Zvukomjer	NTI	XL2	A2A-09437- EO
2	Zvučni umjerivač	BRÜEL&KJAER	4231	2463860

5. REZULTATI I RASPRAVA

5.1. Rezultati mjerenja razine buke

Rezultati mjerenja razine buke na mjernim mjestima dani su u tablicama 7 i 8. Rezidualna buka odnosi se na buku okoline kada objekt koji se ocjenjuje ne radi, A-vrednovana buka prikazuje razinu zvučnog tlaka dok objekt koji se ocjenjuje radi te ocjenska razina buke koja se odnosi na izmjerenu razinu zvučnog tlaka uzimajući u obzir korekcijske faktore. Dozvoljena razina buke propisana je pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke. Mjerna mjesta pripadaju zoni 2 iz tablice 4 prikazane u ovom radu te je prema pravilniku na tom području dozvoljena razina buke do 55 dB. Prema pravilniku, ukoliko je izmjerena rezidualna buka jednaka ili veća od dopuštene razine buke prema pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke, tada maksimalna dozvoljena emisija buke ne smije prelaziti dopuštenu razinu buke umanjenu za 5 dB. U slučaju kada je izmjerena rezidualna buka manja od dozvoljene razine buke propisane pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke tada se dozvoljena razina buke računa tako da se izmjerenoj rezidualnoj vrijednosti pridoda 1 dB (*Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka, mrežno izdanje*).

Rezultati mjerenja prikazani u tablici 7 odnose se na mjerna mjesta ispred prozora u prizemlju obiteljske kuće. Mjerenje se provodilo unutar vremenskog perioda od 10 minuta te je kao izmjerena razina buke uzeta srednja vrijednost tih rezultata. Izmjerena rezidualna buka, odnosno buka okoliša veća je od izmjerene razine buke samog objekta koji se ocjenjuje. U tom vremenskom periodu na rezultate utječu prometnice, stanovnici, razni radovi u okolini i sl. Za vrijeme mjerenja rezidualne buke cestom su prolazili kamioni zbog kojih su rezultati mjerenja buke okoliša na kraju mnogo veći nego što je to bilo dok se mjerila buka koja proizlazi od tvornice. Uzimajući u obzir korekcijske faktore koji znatno utječu na mjerenja razine buke mjerimo ocjensku razinu buke te je ona u ovom slučaju jednaka izmjerenoj razini buke koja proizlazi iz tvrtke Magel d.o.o. Prema pravilniku o najvećim dopuštenim razinama buke ukoliko je rezidualna buka jednaka ili veća od dopuštene razine, što u ovom slučaju je, onda emisija buke koja proizlazi od tvrtke Magel ne smije prelaziti dopuštenu razinu buke umanjenu za 5 dB, a to je 50 dB.

Tablica 7: Izmjerene / ocjenske / dozvoljene razine buke – DAN

Mjerno mjesto	Izmjerena razina buke L_{REZID} , dB(A)	Izmjerena razina buke L_{Aeq} , dB(A)	Ocjenska razina buke L_{Req} , dB(A)	Dozvoljena razina buke dB(A)
M 1.1	57,5	49	49	50
M 1.2	56,5	54,9	54,9	50

U tablici 8 prikazani su rezultati mjerenja razine buke koja dolazi od tvrtke Magel do granice čestice obiteljske kuće. Za vrijeme ovih mjerenja nije bilo znatno velike razlike u rezidualnoj buci u odnosu na izmjerenu razinu buke tvrtke jer za vrijeme mjerenja nije bilo prolaska automobila niti drugih faktora koji mogu utjecati na rezultate mjerenja. Prema pravilniku o

najvećim dopuštenim razinama buke, dozvoljena razina buke za ovaj slučaj dobije se tako da se izmjerenoj rezidualnoj buci priroda 1 dB. Iz rezultata u tablici 8 želi se prikazati koji su primarni izvori emisije buke koja dolazi od tvrtke Magel. Buka koju uzrokuju silosi veća je od buke koja nastaje kada su vrata pilane otvorena, pa se može zaključiti da su silosi primarni izvori buke. Bitno je spomenuti da je razlika u izmjerenim razinama buke dok su vrata pilane otvorena ili zatvorena minimalna. Na tu razliku utjecali su razni čimbenici poput radnika, vozila, stanja u kojem se pilana nalazila odnosno da li su svi strojevi radili ili nisu. S obzirom da su rezultati mjerenja gotovo pa identični s otvorenim i zatvorenim vratima pilane, može se zaključiti da je zaštita od buke proizvodnog pogona tvrtke Magel u lošem stanju te da je hitno potrebna intervencija za poboljšanjem akustične izolacije. Ocjenska razina buke kao i u tablici 7 prikazuje izmjerenu razinu buke tvrtke Magel uz korekcijske faktore. Mali silos nalazi se bliže mjernim mjestima nego veliki silos pa tako i emitira veću buku.

Tablica 8: Izmjerene / ocjenske / dozvoljene razine buke – DAN

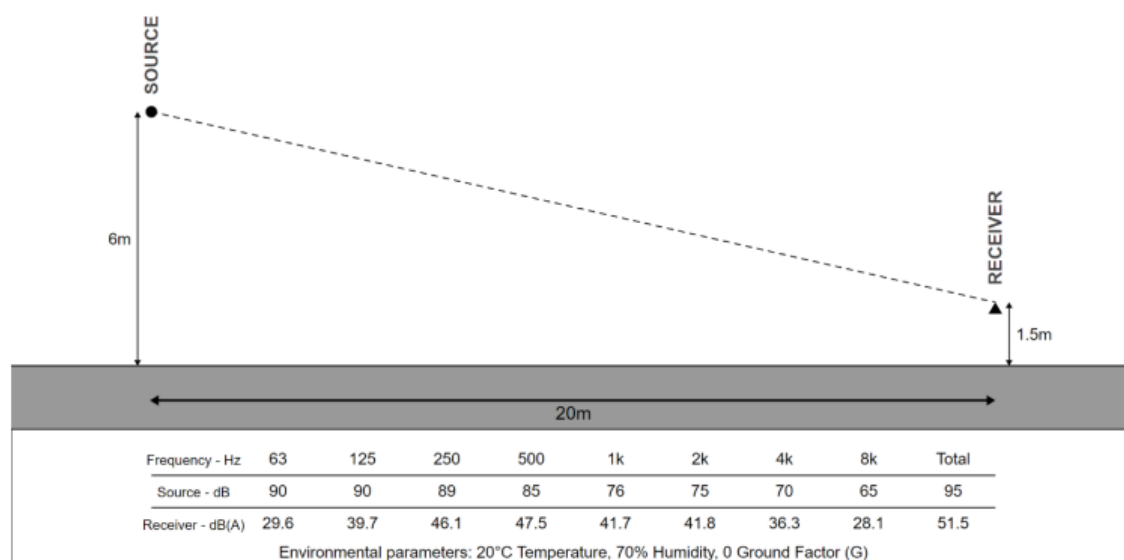
Mjerno mjesto	Izmjerena razina buke L_{REZID} , dB(A)	Izmjerena razina buke L_{Aeq} , dB(A)	Ocjenska razina buke L_{Req} , dB(A)	Dozvoljena razina buke dB(A)
<i>Otvorena vrata pilane, rad malog silosa</i>				
M 2.1	47,8	51,2	51,2	48,8
M 2.2	46,3	50,5	50,5	47,3
<i>Zatvorena vrata pilane, rad malog silosa</i>				
M 2.1	47,8	51,5	51,5	48,8
M 2.2	46,3	51,3	51,3	47,3
<i>Otvorena vrata pilane, rad velikog silosa</i>				
M 2.1	47,8	48,2	48,2	48,8
M 2.2	46,3	50,0	50,0	47,3
<i>Zatvorena vrata pilane, rad velikog silosa</i>				
M 2.1	47,8	48,3	48,3	48,8
M 2.2	46,3	49,8	49,8	47,3

5.2. Analiza rezultata mjerenja

Iz rezultata mjerenja može se zaključiti da su primarni izvori buke bili veliki i mali silos. Pri tome se smatra da je silos zajedno sa svim pogonskim elementima koji su montirani na njemu i transportne cijevi jedna cjelina.

Na slici 23. prikazana je simulacija smanjenja razine buke na određenoj udaljenosti od izvora ovisno o frekvenciji. Simulacija je provedena za najveću izmjerenu razinu buke na mjernom mjestu M 2.1 (zatvorena vrata pilane, rad malog silosa). Na slici je vidljivo mjesto izvora buke na visini od 6 metara te postavljeni mikrofoni na udaljenosti od 20 metara od izvora i to na visini od 1,5 metra. Parametri uzeti pri simulaciji su temperatura od 20°C i vlažnost zraka 70% pri čemu faktor tla zanemarujemo. Izvor buke generira zvuk određene frekvencije i jakost. Jakost zvuka se smanjuje s povećavanjem udaljenosti mikrofona od izvora buke, a jakost zvuka

koja je izmjerena mikrofonom ovisit će o frekvenciji. Naprimjer, za frekvenciju od 63 Hz na mjestu izvora će biti 90 dB a na mjestu prijema će biti 29,6 dB.



Slika 23. Računalno provedena simulacija smanjenja razine buke na određenoj udaljenosti od izvora ovisno o frekvenciji zvuka

Ukupna vrijednost izmjerene razine buke nije zbroj više različitih izvora buke već se radi logaritamsko zbrajanje razina inenziteta (ili tlakova) pojedinih izvora zvuka prema izrazu:

$$L_p[dB] = 10 * \log \left(\sum_i 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (8)$$

Za primjer sa slike 23. može se izračunati ukupna razina buke na izvoru:

$$L_p = 10 * \log \left(10^{\frac{90}{10}} + 10^{\frac{90}{10}} + 10^{\frac{89}{10}} + 10^{\frac{85}{10}} + 10^{\frac{76}{10}} + 10^{\frac{75}{10}} + 10^{\frac{70}{10}} + 10^{\frac{65}{10}} \right) = 95 \text{ dB}$$

gdje je:

L_p – ukupna razina zvučnog tlaka (dB)

L_i – razina zvučnog tlaka pojedinačne frekvencije (dB)

S obzirom na razinu izmjerene buke i udaljenost od izvora buke, proračunski dobivena vrijednost buke na mjestu izvora je 95 dB (*Osnove akustike, buka okoliša i zvučna izolacija te mjere za zaštitu od buke u otvorenom i zatvorenom prostoru, mrežno izdanje*).

5.3. Analiza mogućnosti smanjenja buke

Za potrebno smanjenje razine buke predlaže se oblaganje izvora zvuka, i to na tri načina, ovisno o mjestu nastanka izvora zvuka:

- Silosi (veliki 190 m³ i mali 50 m³)
- Transportne cijevi i pogonski elementi i agregati na vrhu silosa
- Pogonski agregat na zemlji uz mali silos
- Prozori na sjevernoj strani zgrade pilane

5.3.1. Oblaganje silosa

Za smanjenje razine buke na mjestu izvora koji se sastoji od silosa preporuča se oblaganje svih površina silosa s nekoliko slojeva zvukoizolirajućeg materijala kako je prikazano u tablici 9. Predložena kombinacija od nekoliko slojeva zvukoizolirajućih materijala čine zaštitni omotač koji će na mjestu nastanka izvora zvuka dovoljno smanjiti emisiju buke u okolinu.

Tablica 9: Predloženi materijali za oblaganje silosa (veliki 190 m³ i 50 m³)

	<i>Materijal</i>	<i>Debljina, mm</i>	<i>Predloženi materijal</i>
A	Polietilen	3	GUTASILENT PB 0,35
	Olovna folija	0,35	
	Polietilen	3	
B	Mineralna vuna	50	ROCKWOOL SOUND INSULATION 75 kg/m ³
C	Zvukoizolirajuća guma	5	REGUPOL COMFORT 5
D	Zaštita od UV zračenja i ostalih štetnih atmosferskih utjecaja (Flagon folija ili sl.)	1,5	FLAGON

5.3.2. Oblaganje transportne cijevi i pogonskih elemenata i agregata na vrhu silosa

Za smanjenje razine buke na mjestu izvora koji se sastoje od transportnih cijevi i pogonskih elemenata i agregata na vrhu silosa preporuča se oblaganje svih površina silosa, transportnih cijevi i pogonske opreme i agregata s nekoliko slojeva zvukoizolirajućeg materijala kako je prikazano u tablici 10.

Tablica 10: Predloženi materijali za oblaganje transportne cijevi i pogonskih elemenata i agregata na vrhu silosa

	<i>Materijal</i>	<i>Debljina, mm</i>	<i>Predloženi materijal</i>
A	Polietilen	3	GUTASILENT PB 0,35
	Olovna folija	0,35	
	Polietilen	3	
B	Zvukoizolirajuća guma	5	REGUPOL COMFORT 5
B	Zvukoizolirajuća guma	5	REGUPOL COMFORT 5
C	Zaštita od UV zračenja i ostalih štetnih atmosferskih utjecaja (Flagon folija ili sl.)	1,5	FLAGON

5.3.3. Oblaganje pogonskog agregata na zemlji uz mali silos

Pogonski agregat na zemlji uz mali silos predlaže se zatvoriti u drvenu konstrukciju koja se montira na zemlju i zatvara se s gornje strane i barem s dvije bočne strane, prema dogovoru s investitorom, ovisno o potrebama održavanja agregata. Stijenke se s vanjske strane oblažu samoljepljivom folijom s olovom koja se koristi i u ostalim zvučnim omotačima preko koje se lijepi zaštitna folija protiv kiše, UV zračenja i ostalih atmosferskih utjecaja. S donje strane se stijenke oblažu zvukoupijajućim materijalom kao BASOTECT, debljine 4 cm.

5.3.4. Oblaganje prozora na sjevernoj strani zgrade pilane

Sljedeća mjera koja se predlaže za smanjenje širenja buke u okolinu je postavljanje dodatne zvučne izolacije na prozore na sjevernoj strani zgradi pilane. Uvidom u zatečeno stanje prilikom obilaska objekta konstatirano je da su navedeni prozori izvedeni od „pleksi“ ili sličnog materijala koji zadovoljava zahtjeve izolacije od atmosferskih utjecaja, ali je izuzetno loš kao zvučni izolator. Iz navedenog razloga predlaže se oblaganje cjelokupne površine prozora s unutrašnje strane zvukoupijajućim materijalom kao Basotect debljine 4 cm. Apliciranjem navedenog materijala povećat će se apsorpcija zvuka strojeva koji se koriste u pilani, i automatski time i smanjiti količinu zvučne energije koja se kroz prozor širi u okolni prostor. Posebno je važna činjenica da je upravo na toj strani (sjever) mjerna točka na kojoj razina buke premašuje dozvoljenu gornju granicu, pa će osim omatanja silosa i transportnih cijevi oblaganje prozora na pilani dodatno smanjiti razinu buke na spornom mjernom mjestu na kojem je razina previsoka.

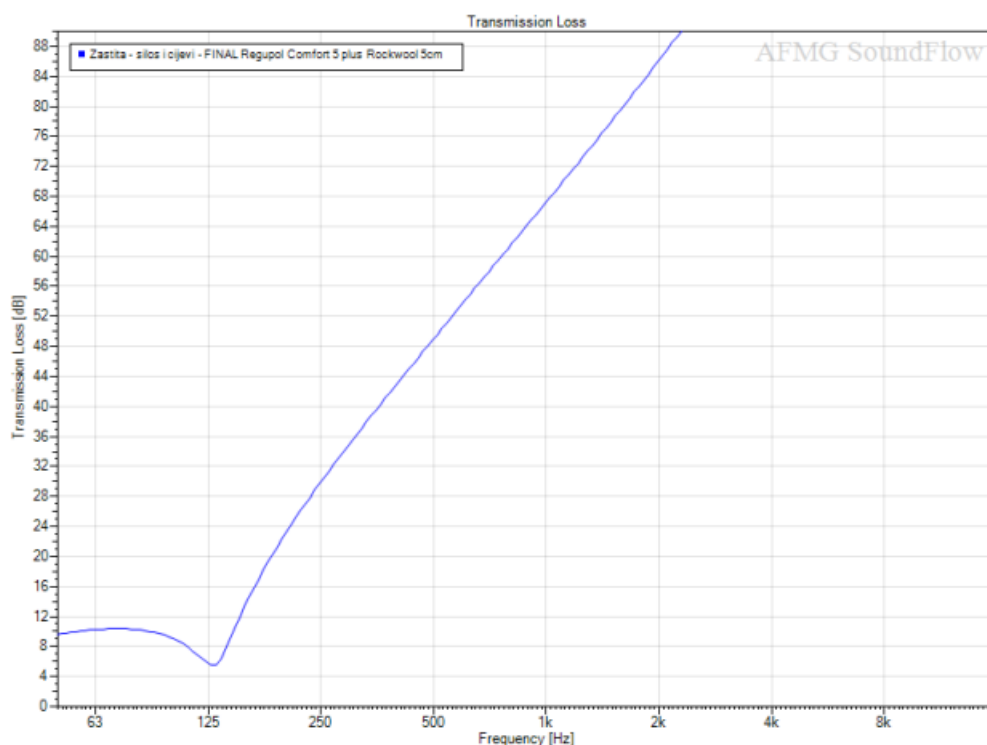
U ovom radu predložen je niz tehničkih mjera za smanjenje buke koje se odnose na oblaganje izvora buke, poput silosa i transportnih cijevi, akustičnim materijalima. Iako su ove mjere detaljno razrađene, konačna implementacija ovisit će o tvrtki, koja treba prepoznati problem prekomjerne buke nastale u proizvodnji. Ekološka svijest i odgovornost prema lokalnoj

zajednici igraju ključnu ulogu u odluci hoće li tvrtka odlučiti uložiti sredstva i vrijeme u provedbu ovih mjera. Osim što buka negativno utječe na radnike, ona narušava kvalitetu života ljudi koji žive u blizini postrojenja, uzrokujući stres i smetnje u svakodnevnim aktivnostima. Budući da su potrebna ulaganja značajna, tvrtka će morati procijeniti dugoročne koristi koje proizlaze iz smanjenja buke, kako za zdravlje radnika, tako i za poboljšanje odnosa s lokalnim stanovništvom i očuvanje okoliša. Ova odluka ne samo da će pridonijeti boljoj radnoj sredini, već će pozitivno utjecati na širu zajednicu

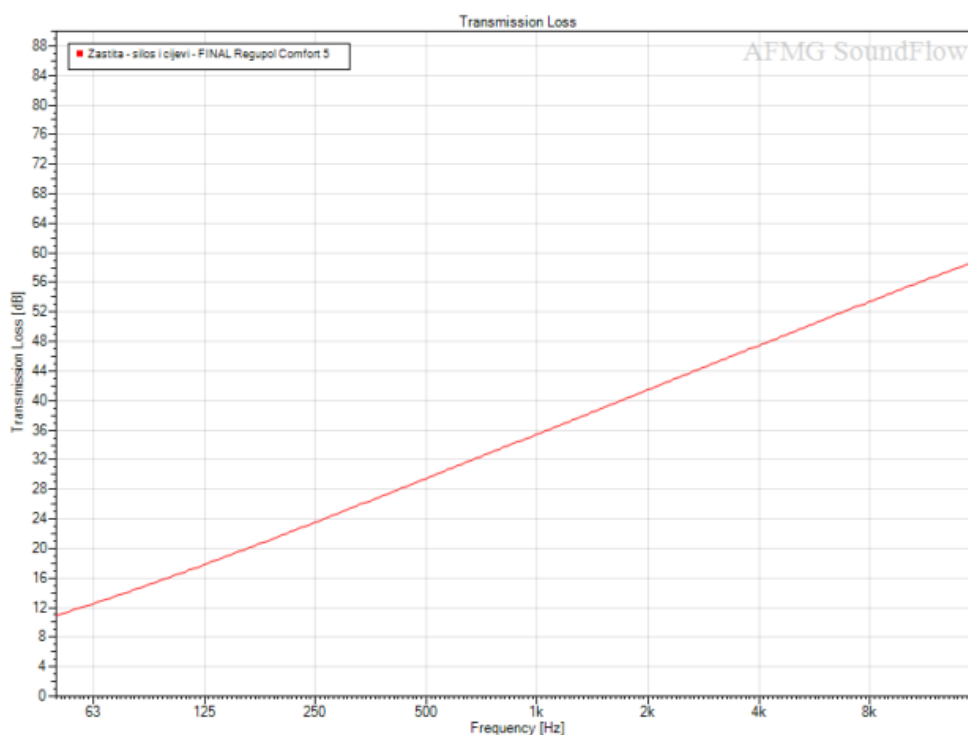
5.4. Troškovi i učinkovitost

5.4.1. Akustično upijanje zvukoizolirajućih materijala

Predložena kombinacija od nekoliko slojeva zvukoizolirajućih materijala čine zaštitni omotač koji će na mjestu nastanka izvora zvuka dovoljno smanjiti emisiju buke u okolinu. Slike 24. i 25. prikazuju učinkovitost predloženog zaštitnog omotača, odnosno za koliko decibela može smanjiti jačinu zvuka. Tako se iz slike 24. može zaključiti da se pri niskim frekvencijama puno teže postiže smanjenje decibela dok s povećanjem frekvencije dolazi do intenzivnijeg povećavanja apsorbirajuće moći zaštitnog omotača tj. do smanjivanja jačine zvuka.



Slika 24: Frekvencijska karakteristika zaštitnog omotača metalnog silosa dobivena u računalnoj simulaciji (AFMG SoundFlow)



Slika 25: Frekvencijska karakteristika zaštitnog omotača cijevi i pogonskih elemenata na vrhu metalnog silosa dobivena u računalnoj simulaciji

guttasilent PB 0,35 /0,50 i Ecowall				
Tip:	PB 0,35 mm	PB 0,50 mm	Tip	Ecowall
Sastav:	Umreženi polietilen pjene sa olovnim pločama	Umreženi polietilen pjene sa olovnim pločama	Sastav:	Umreženi polietilen pjene sa zatvorenim ćelijama+guma
Gustoća:	30 kg/m ³	30 kg/m ³	Gustoća polietilena:	30 kg/m ³
Debljina olovne ploče:	0,35 mm	0,5 mm	Gustoća gume:	10 mm
Koeficijent toplinske vodljivosti	$\lambda = 0,0372 \text{ W / mK}$	$\lambda = 0,0372 \text{ W / mK}$	Debljina:	3 + 2 + 3 mm (polietilen + guma EPDM + polietilen)
Koeficijent toplinske otpornost na difuziju pare:	$\mu 12918$	$\mu 2192$	Debljina gume:	2 m
Težina olova:	cca 4 kg/m ²	cca 4 kg/m ²	Koeficijent toplinske vodljivosti:	$\lambda = 0,0372 \text{ W / mK}$
Ukupna debljina:	3 + 0,35 + 3 mm (polietilen + olovo + polietilen)	3 + 0,50 + 3 mm (polietilen + olovo + polietilen)	Koeficijent toplinske otpornost na difuziju pare:	1292
Radne temperature:	- 80°C do +100°C	- 80°C do +100°C	Radne temperature:	- 70°C do +70°C
Akustično upijanje:	24,5 dB	27,5 dB	Dimenzije:	1 x 3 m
			Akustično upijanje:	27 dB
			Dinamička krutost:	140 MN/m ³
Primjena:	Za smanjenje buke unutar građevinskih objekata			

Slika 26: Tehnički podaci za GUTTASILENT PB 0,35 (Izvor: <https://guttashop.hr/gsilent-pb-3-0-35-3-samoljepivi-1x3m>)

Acoustical Performance*	Standard	Result	Comment
Under cement screed:			
55 mm cement screed, REGUPOL comfort 5 , 140 mm concrete slab	DIN EN ISO 10140-3 DIN EN ISO 717-2	$\Delta L_w \geq 20$ dB	Test report PB 4.2/15-105-2
Under RenoScreed®:			
35 mm RenoScreed®, REGUPOL comfort 5 , 140 mm concrete slab	DIN EN ISO 10140-3 DIN EN ISO 717-2	$\Delta L_w \geq 20$ dB	Test report PB 4.2/16-088-1
*Assembly from top to bottom			
Material properties	Standard	Result	
Maximum traffic load		≤ 5 kN/m ²	
Mean dynamic stiffness value	DIN EN 29052-1	$s'_t \leq 110$ MN/m ³	
Compressibility	DIN EN 12431	$c \leq 1$ mm	
Fire behaviour	Standard	Result	
Fire classification	DIN EN 13501-1	E	

Slika 27: Tehnički podaci za REGUPOL COMFORT 5 (Izvor: <https://acoustics.regupol.com/products/range/regupol-comfort/regupol-comfort-5/>)

Flagon je sintetička folija od PVC-a proizvedena lijevanjem. Sastoji se od plastificiranih slojeva različitih kemijsko-fizikalnih svojstava i ojačana je poliesterskom mrežicom.

		1,2	1,5	1,8	2,0	2,4	Metoda testiranja
Debljina (mm)		1,2	1,5	1,8	2,0	2,4	DIN 53353
Težina (kg/m ²)		1,50 ± 5%	1,80 ± 5%	2,15 ± 5%	2,40 ± 5%	2,90 ± 5%	DIN 53352
Vlačna sila (N/5cm)		≥ 1100	≥ 1100	≥ 1100	≥ 1100	≥ 1100	DIN 16726-5.6.1-C-VI
- srednja vrijednost		L. 1278 T. 1285	L. 1296 T. 1267	L. 1306 T. 1281	L. 1292 T. 1269	L. 1278 T. 1305	
- standardna devijacija		L. 31,4 T. 29,8	L. 32,1 T. 27,4	L. 30,8 T. 25,7	L. 30,2 T. 26,1	L. 28,9 T. 26,8	
Prekidno istezanje (%)		≥ 15	≥ 15	≥ 15	≥ 15	≥ 15	DIN 16726-5.6.1-C-VI
- srednja vrijednost		L. 20 T. 20	L. 20 T. 20	L. 20 T. 20	L. 20 T. 20	L. 20 T. 20	
- standardna devijacija		L. 0,5 T. 0,5	L. 0,5 T. 0,48	L. 0,5 T. 0,45	L. 0,5 T. 0,5	L. 0,5 T. 0,5	
Otpornost na trganje (N)		≥ 200	≥ 200	≥ 200	≥ 200	≥ 200	DIN 53363
Otpornost na probijanje (mm)		≥ 450	≥ 800	≥ 900	≥ 1000	≥ 1500	DIN 16726-5.12
Fleksibilnost na hladnoću (°C)		< -20	< -20	< -20	< -20	< -20	DIN 53361
Hidrostatski pritisak 24 h/2 bar		Vodootporan	Vodootporan	Vodootporan	Vodootporan	Vodootporan	DIN 16726-5.11
Dimenzijska stabilnost nakon 6 sati na 80 °C (%)		≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	DIN 16726-5.13.1
Otpornost na klimatske utjecaje		ne puca	ne puca	ne puca	ne puca	ne puca	DIN 16726-5.17
Otpornost na korjenje		ne prodire	ne prodire	ne prodire	ne prodire	ne prodire	DIN 4062
Otpornost na tuču na krutoj podlozi (m/s)		≥ 23	≥ 23	≥ 23	≥ 23	≥ 23	SIA 280/9
Promjena mase nakon izlaganja temperaturi 80 C nakon 56 dana (%)		≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,5	DIN 16726-5.13.3
Otpornost na tuču na krutoj podlozi (m/s)		≥ 17	≥ 25	≥ 25	≥ 25	≥ 25	SIA 280/9
Koeficijent toplinske provodljivosti (W/mK)		0,13			0,13		
Specifična toplota (J/kgK)		0,58x10 ³				0,58x10 ³	
Faktor otpora difuziji vodene pare (μ)		20000				20000	

Slika 28: Tehnički podaci za Flagon (Izvor: <https://ravagobuildingsolutions.com/hr/hr/proizvod/tpo-i-pvc-membrane-i-pribor/>)

Separating construction	Airborne sound insulation $D_{nT,W} + C_{tr}$ dB		Impact sound insulation $L'_{nT,w}$ dB	
	New build	Change of use	New build	Change of use
Walls	45 (43*)	45	-	-
Floors & stairs	45	43	62	64

Slika 29: Tehnički podaci za mineralnu vunu (Izvor: <https://www.rockwool.com/hr/primjena-proizvoda/zvucna-izolacija/>)

5.4.2. Troškovi zvukoizolirajućih materijala

Tablica 11: Troškovnik akustičkih elemenata

	<i>Opis stavke</i>	<i>Ukupna količina</i>	<i>Jedinična cijena</i>	<i>Ukupna cijena*</i>
1	GUTTASILENT PB 0,35	715 m ²	71,85 €/m ²	51372 €
2	REGUPOL COMFORT 5	1430 m ²	~	~
3	FLAGON	715 m ²	9,967 €/m ²	7126 €
4	BASOTECT 4 cm	90 m ²	30 €/m ²	2700 €
5	ROCKWOOL SOUND INSULATION 5 cm	270 m ²	10,75 €/m ²	2902,5 €

6. ZAKLJUČAK

Ovaj diplomski rad prikazuje analizu trenutne razine buke u pogonu tvrtke Magel d.o.o., s posebnim naglaskom na mjerenje razine okolišne buke, identificiranje glavnih izvora buke te predlaganje mjera za njezino smanjenje. Mjerenjem je ustanovljeno da je razina buke koja proizlazi iz tvrtke gotovo jednaka dok pilana ima zatvorena i otvorena vrata, čime se može zaključiti da je trenutna zvučna izolacija tvrtke veoma loša te je potrebno poduzeti mjere smanjenja emisije buke. Istraživanja su pokazala da su silosi, transportne cijevi te pogonski agregati glavni izvori prekomjerne razine buke te je predloženo njihovo oblaganje sa zvukoupijajućim materijalima. Osim toga, predlaže se i oblaganje prozora na sjevernoj strani zgrade pilane jer se na toj strani nalazi mjerna točka na kojoj razina buke premašuje dozvoljenu gornju granicu. Prilikom mjerenja razine buke, treba voditi računa da će na rezultate mjerenja utjecati okolišni čimbenici poput stanovnika, radnika, radova u okolini mjernih mjesta, automobila i dr. Osim toga, rezultati će ovisiti i o tome koliko strojeva ili radnika u trenutku mjerenja radi, te o broju mjerenja.

U drvoindustrijskim pogonima servisi i popravci strojeva, opreme i uređaja nisu rijetkost, stoga prilikom montaže bilo kojih slojeva zvukoizolirajućeg materijala treba voditi računa da su određena spojna mjesta u bilo kojem trenutku dostupna i lako zamjenjiva.

Nakon završenih radova potrebno je napraviti kontrolna mjerenja razine buke na navedenim mjernim mjestima. Kontrolno mjerenje mora potvrditi pokrivanje trenutnog deficita u zvučnoj izolaciji potrebno za zadovoljenje zakonskih uvjeta o dozvoljenoj razini buke.

Osim toga, treba uzeti u obzir da će svaka promjena stanja u pogonu direktno utjecati i na buku pogona, pa tako i na potrebnu zvučnu izolaciju. Stoga se preporučuje prije ugradnje bilo kojeg novog stroja konzultacija s projektantom zaštite od buke i zvučne izolacije.

Ulaganje u zaštitu okoliša od buke predstavlja ključan korak prema održivom razvoju i očuvanju kvalitete života u urbanim i industrijskim područjima. Buka, kao nevidljivi zagađivač, ima dugoročne negativne posljedice na zdravlje ljudi, uključujući povećan rizik od kardiovaskularnih bolesti, poremećaja sna i smanjene kognitivne funkcije. Osim zdravstvenih posljedica, buka također narušava ekosustave, ometajući prirodne procese i ponašanje životinja.

S obzirom na rastuće izazove povezane s industrijalizacijom i urbanizacijom, nužno je da se ulažu sredstva u razvoj i primjenu naprednih tehnologija za smanjenje buke, kao i u promicanje svijesti o važnosti zaštite od buke. Uvođenje zvučno izolacijskih materijala, optimizacija dizajna industrijskih postrojenja, te primjena pravnih okvira za regulaciju buke trebaju biti prioriteti u investicijskim planovima.

Dugoročne koristi od takvih ulaganja uključuju ne samo poboljšanje zdravlja i dobrobiti stanovništva, već i povećanje vrijednosti nekretnina, smanjenje troškova zdravstvene skrbi i očuvanje prirodnih resursa. Stoga, ulaganje u zaštitu okoliša od buke nije samo etička obveza, već i ekonomski opravdana strategija koja doprinosi održivom razvoju i podizanju kvalitete života za sve članove društva.

7. LITERATURA

1. Beljo Lučić, R., Goglia V. (2000). Some possibilities for reducing circular saw idling noise. *J Wood Sci* (2001) 47:389-393.
2. Beljo Lučić, R., Goglia V. (2003). Supression of whistling noise in idling circular saw by damping of clamping system. *Wood research* 47(3): 19-26.
3. Buka. Preventa mrežno izdanje. Centar za integralnu sigurnost. Dostupno na: <https://preventa.hr/zastita-na-radu-upit/buka-na-radu>, pristupljeno 10.07.2024.
4. Goglia, V., Beljo Lučić, R. (1995). Istraživanje razine buke u okolini dvovretenih glodalica. Zagreb: Fakultet šumarstva i drvne tehnologije.
5. Helmholtzov rezonator. Hrvatska enciklopedija mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/helmholtzov-rezonator>, pristupljeno 11.07.2024.
6. Horvat, I., Krpan, J. (1967). Drvno industrijski priručnik. Zagreb: Tehnička knjiga.
7. Jambreković, V. (2004). Drvne ploče i emisija formaldehida. Zagreb: Fakultet šumarstva i drvne tehnologije.
8. Kirin, S. (2019). Uvod u ergonomiju. Veleučilište u Karlovcu. Dostupno na: https://www.vuka.hr/images/50013954/Snjezana_Kirin_UVOD_U_ERGONOMIJU.pdf, pristupljeno 27.08.2024.
9. Magel d.o.o. mrežno izdanje. Dostupno na: <https://www.magel.hr/>, pristupljeno 24.08.2024.
10. Osnove akustike: buka okoliša i zvučna izolacija te mjere za zaštitu od buke u otvorenom i zatvorenom prostoru mrežno izdanje. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva. Dostupno na: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Skripta_-_Osnove_akustike2018.pdf, pristupljeno 10.07.2024.
11. Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka. Narodne novine. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_12_143_2454.html, pristupljeno 11.07.2024.
12. Sever, S. (1988). Transport u drvanoj industriji, autorizirani rukopis. Zagreb.
13. Staklena ili kamena vuna. Masterplast. Dostupno na: <https://www.masterplast.hr/blog/staklena-ili-kamena-vuna-koja-je-razlika/>, pristupljeno 11.07.2024.
14. Zakon o zaštiti od buke. Zakon HR mrežno izdanje. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/125/Zakon-o-za%C5%A1titi-od-buke>, pristupljeno 24.08.2024.
15. Zvuk. Hrvatska enciklopedija mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Dostupno na: <https://enciklopedija.hr/clanak/zvuk>, pristupljeno 10.07.2024.
16. Zvuk. Hrvatsko strukovno nazivlje mrežno izdanje. Dostupno na: <http://struna.ihjj.hr/naziv/zvuk/8034/#naziv>, pristupljeno 10.07.2024.
17. Žiković, M. (2023). Proračun buke u proizvodnji. Diplomski rad. Sveučilište Jurja Dobrile u Puli. Dostupno na: <https://repozitorij.unipu.hr/islandora/object/unipu%3A8370/datastream/PDF/view>, pristupljeno 20.07.2024.