

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**MERILNE TEHNIKE IN ZMANJŠEVANJE HRUPA V
PROIZVODNI HALI**

DAMIR TADIĆ

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: izr. prof. dr. NIKOLA HOLEČEK

VELENJE, 2017

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študent Visoke šole za varstvo okolja **Damir Tadić** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Merilne tehnike in zmanjševanje hrupa v proizvodni hali.

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

Measurement techniques and noise reduction in the manufacturing hall.

Mentor: **izr. prof. dr. Nikola Holeček.**

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom VŠVO.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat VŠVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Izr. prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan



ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Nikoli Holečku in sodelavcu v podjetju Marjanu Semprimožniku za pomoč pri opravljanju diplomskega dela. Zahvaljujem se podjetju Gorenje, d. d., ki mi je omogočilo opravljanje praktičnega izobraževanja.

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani/a Damir Tadić, vpisna številka 34100072,
študent/ka visokošolskega strokovnega študijskega programa Varstvo okolja in
ekotehnologije, sem avtor/ica diplomskega dela z naslovom
Merilne tehnike in zmanjševanje hrupa v proizvodni hali

ki sem ga izdelal/a pod:

- mentorstvom izr. prof. dr. Nikola Holeček
- somentorstvom _____

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili VŠVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili VŠVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na VŠVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektoriral/a Nika Verhovnik univ. dipl. prev. in tol. za ang. in prof. slov.;
- dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

Datum: 06. 03. 2017

Podpis avtorja/ice: Damir Tadić

IZVLEČEK

Hrup je nezaželena oblika zvoka in je postal civilizacijski problem, ki ogroža dobro počutje ljudi v delovnem okolju. Hrupna okolica človeka utruja, zmanjšuje njegovo delovno storilnost in resno ogroža njegovo zdravje. Za izvedbo diplomskega dela smo opravili meritve zvočne emisije v proizvodni hali, izmerjene vrednosti kazalcev hrupa pa nato primerjali z Uredbo o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Ur. list RS št. 105/05, 34/08, 109/09 in 62/2010). V nadaljevanju smo opisali možne ukrepe za sanacijo hrupa. Diplomsko delo obsega izvedbo meritev obstoječega stanja, predlog sanacije, skice izvedbe predlagane sanacije ter akustični izračun predvidene redukcije glede na predlog za redukcijo nezaželenega zvoka.

Ključne besede: hrup, hrup na delovnem mestu, raven hrupa, meritve hrupa, protihrupni ukrepi

ABSTRACT

Noise is an unwanted audio format and has become a civilizational problem that threatens human well-being at workplace. Noisy surroundings burden people, reduce their work productivity and seriously jeopardize their health. Measurements of sound emissions in the production hall have been implemented for the purpose of this diploma paper. Measured values of noise indicators were compared with the Regulation on the levels of noise in the environment (Off. Gazette no. 105/05, 34/08, 109/09 and 62/2010). Possible measures for mitigating noise were also given as well as measurement of the existing situation, proposal for noise reduction, sketches of the implementation of the proposed noise reduction, acoustic calculation of the estimated reduction in relation to the proposal for the reduction of unwanted sound.

Keywords: noise, workplace noise, noise level, noise measurements, anti-noise measures

KAZALO

1 UVOD.....	1
1.1 Metode dela.....	2
1.2 Hipotezi	2
2 ZVOK IN EKOLOGIJA.....	3
2.1 Osnovne fizikalne veličine v akustiki	3
2.2 Zvok kot komunikacijsko sredstvo	4
2.3 Uho kot mikrofoni.....	4
2.4 Akustične veličine v inženirstvu	5
2.5 Zvočne ravni.....	6
3 OPIS PROIZVODNE INDUSTRIJSKE HALE.....	7
4 METODA MERITEV IN OCENJEVANJE	9
4.1 Uvodna pojasnila.....	9
4.2 Izvedba meritev in rezultati	9
4.2.1. Meritve v hali A.....	10
4.2.2 Meritve v surovinski hali.....	13
5 OCENA TVEGANJ ZA DELAVCE V PROIZVODNI HALI	16
5.1 Mejne vrednosti izpostavljenosti	16
6 PREDLOG SANACIJE	17
6.1 Surovinska hala.....	17
6.2 Hala A.....	22
6.3 Skice stropnih absorberjev	22
6.4 Predvideni doseženi učinki	24
7 ZAKLJUČEK	25
8 POVZETEK.....	27
8 SUMMARY	27
VIRI IN LITERATURA.....	28

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Zgoščine in razredčine, ki se prenašajo po zraku z zvočno hitrostjo c	– 3
Slika 2.2: Potek poti od vira zvoka do možganov	– 4
Slika 2.3: Frekvenčno območje spektra slišnega zvoka	– 5
Slika 3.1: Stiskalnice v surovinski hali	– 7
Slika 3.2: Toge stene, tla in strop z večino refleksijskimi lastnostmi	– 8
Slika 4.1: Meritve v proizvodni hali 14. 3. 2014 v mreži točk	– 10
Slika 4.2: Izobelno mapiranje LAeq v hali A	– 11
Slika 4.3: Izobelno mapiranje Lc v hali A	– 11
Slika 4.4: Stiskalnice v surovinski hali	– 13
Slika 4.5: Frekvenčna karakteristika merilnega mesta 2	– 15
Slika 6.1: Lokacija zvočne izolacijsko absorpcijske bariere – ograje	– 18
Slika 6.2: Tehnične karakteristike Trimotrem panelov	– 19
Slika 6.3: Detajli pritrditve po navodilih proizvajalca panelov	– 20
Slika 6.4: Postavitev panelov, ki se fiksirajo v tla z dodanim naklonskim absorberjem	– 21
Slika 6.5: Premični nosilci na kolesih	– 21
Slika 6.6: Prikaz lokacije premičnih panelov na delovnem mestu mletja tesnil v hali A	– 22
Slika 6.7: Namestitvev stropnih absorberjev zvoka	– 23
Slika 6.8: Skica stropnih absorberjev zvoka	– 23
Slika 6.9: Skica stropnih absorberjev zvoka	– 24
Slika 7.1: Izvedba meritev v industrijski hali	– 25

KAZALO TABEL

Tabela 4.1: Rezultati merjenj tipičnih fizikalnih veličin hrupa v času proizvodnega procesa v hali A	– 12
Tabela 4.2: Rezultati merjenj tipičnih fizikalnih veličin hrupa v štirih merilnih točkah časa delovanja stiskalnic v surovinski hali	– 14
Tabela 4.3: Terčna analiza v času 17 s	– 15

1 UVOD

Hrup je ena izmed oblik zvočnega valovanja. Valovanje nosi informacijo, ki je lahko koristna, nerazumljiva ali moteča. Poslušanje glasbe je lahko za nekoga prijeten zvok, za drugega pa neprijeten hrup. Posameznik se lahko ob različnih priložnostih na enak zvok odziva oz. ga občuti popolnoma različno. Trenutno razpoloženje posameznika pomembno vpliva na dojetje zvoka. Neprijeten zvok ali hrup manj moti tistega, ki zvok proizvaja, in precej bolj tistega, ki na ta zvok nima vpliva, temveč ga samo doživlja. Hrup je nevaren za sluh, še posebej če mu je posameznik izpostavljen dolgo in pogosto, saj povzroča prekomerno izločanje adrenalina, ki je eden ključnih vzrokov za stres.

Vpliv hrupa in resnost problema obravnavajo v Evropski uniji »Green paper« in Direktive 2002/49/EC. Dokument obravnava ocenjevanje sprejemljivosti izvorov hrupa v določenem okolju, v skladu z normativi in nacionalno zakonodajo.

»Hrup je problem sodobne civilizacije, je posledica delovanja najrazličnejših strojev in naprav, transportnih sredstev in aktivnosti ljudi, kar posledično povzroča manj miru in slabšo kakovost življenja. Stanje se s časom slabša. Po statističnih podatkih EU je prek 40 % vseh prebivalcev Evrope obremenjenih z ravno hrupa nad 65 dB(A) celodnevno in nad 50 dB(A) ponoči, kar moti dnevno udobje in nočno spanje. Statistika kaže, da je prek 20 % delovne populacije izpostavljene čezmerni ravni hrupa na delovnem mestu, od tega 50 % nad 80 dB(A). Hrup je med vsemi poklicnimi boleznimi najpogostejši povzročitelj poškodbe zdravja, kar 50 % se jih nanaša na okvaro sluha ali akustično travmo. Hrup torej ni enostaven lokalni problem, ampak globalni, ki prizadene vsakogar. Zaradi degradacije bivalnega, socialnega in učnega okolja bo hrup vplival na bodoče generacije, njihovo dobro počutje in produktivnost, s potencialnimi ekonomskimi posledicami« (Čudina, 2003, str. 1).

Vrednosti in dovoljene ravni hrupa na področju varstva delavcev pred hrupom so urejene s sledečima:

- Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu, Ur. l. RS Št. 17, 17. 2. 2006,
- popravek Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu Ur. l. RS Št. 18, 21. 2. 2006.

Hrup ni tako natančno merljiv kot zvok, ker ima človek lahko do njega različen odnos (odvisno od trenutne dejavnosti človeka, obdobja dneva – podnevi ali ponoči, ter psihičnega stanja). Največ ljudi je stresno prizadetih izven dela, in sicer zaradi:

- cestnega hrupa (več kot 60 %),
- industrijskega hrupa v urbanem okolju (več kot 20 %),
- hrupa letal (več kot 14 %),
- hrupa železnice (več kot 6 %),
- hrupa v gospodinjstvu (več kot 8 %)« (Bilban, 2011).

1.1 Metode dela

Pri pisanju diplomskega dela smo uporabili deskriptivno metodo. S študijem domače in tuje literature smo zbrali podatke iz dokumentov, zakonov in pravilnikov ter opravili analizo obstoječega stanja. V nadaljevanju smo uporabili še eksperimentalno metodo, saj smo opravljali meritve hrupa v proizvodni hali ter na osnovi meritev in vedenja o mejnih vrednosti emitiranega hrupa izdelali analizo problema in nakazali možne rešitve. Diplomsko delo je zahtevalo poznavanje in izvedbo meritev v skladu s standardom SIST EN ISO 9612: 2009: Akustika – Določanje izpostavljenosti hrupu v delovnem okolju – Inženirska metoda. Meritve so bile opravljene v proizvodnem podjetju v Velenju. Diplomsko delo vključuje analizo zvočne emisije v proizvodni hali in opis nekaterih ukrepov za sanacijo hrupa v industrijskem obratu na lokaciji v Velenju.

1.2 Hipotezi

Hipoteza 1 (H1): Hrup v proizvodni hali presega določene ravni glede na veljavne predpise

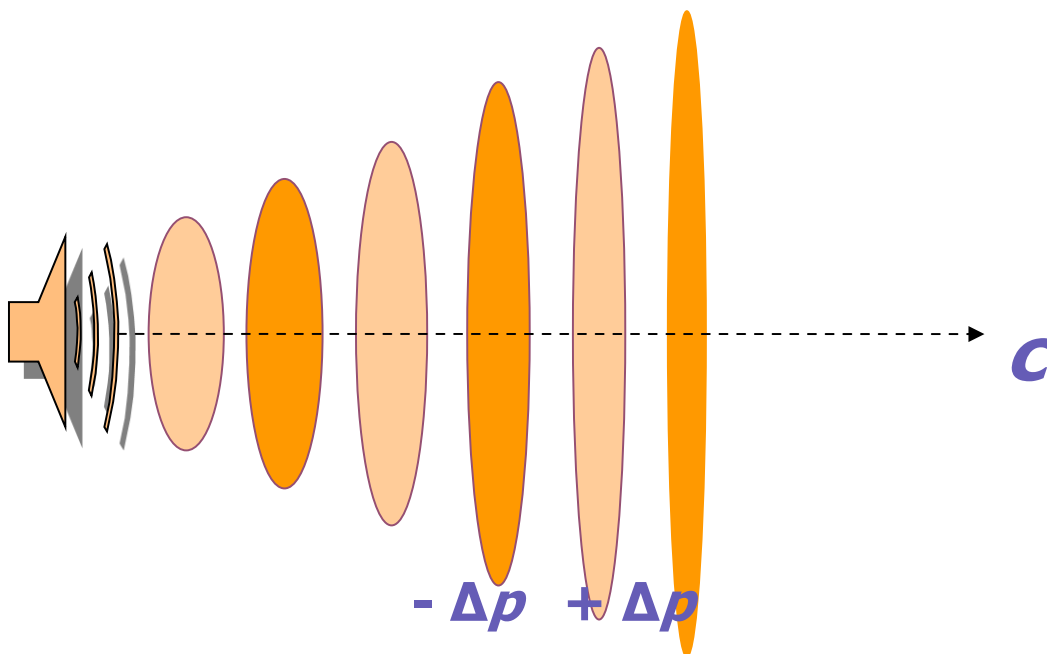
Hipoteza 2 (H2): Hrup se bo z nekaterimi protihrupnimi ukrepi znižal na zakonsko določeno mejo

2 ZVOK IN EKOLOGIJA

Pridobitve razvoja tehnike posegajo v človekovo naravno okolje in ga onesnažujejo. Preglasno okolje je civilizacijski problem, ki ogroža počutje v bivalnih in delovnih prostorih, končni rezultat pa lahko resno ogrozi zdravje. Z nadzorovanjem zvoka želimo doprinesiti k čistejšemu in naravnejšemu okolju. Programi EU na področju okolja poudarjajo problem onesnaževanja in potrebo po ukrepanju glede na zvočni vir (Holeček, 2008).

2.1 Osnovne fizikalne veličine v akustiki

Zvok lahko dojemamo iz več vidikov, najpogostejša sta fizikalni (zvok je prenos energije) in fiziološki (zvok je komunikacijsko sredstvo). Gre za nihanje delcev v mediju, ki ima elastičnost in maso, ter je v območju slišnega spektra. Delec je volumski element, slišno območje pa je med 20 Hz in 20 kHz. V snovi povzročena motnja (nihanje delov sredstva) se prenese na sosednje dele sredstva in se širi po snovi kot val. Periodično ustvarjanje motenj, ki si sledijo in potujejo po snovi, imenujemo valovanje. Pri longitudinalnem valovanju nihajo delci snovi, skozi katera se širi valovanje, vzporedno s smerjo širjenja valovanja. Takšno valovanje je potujoče zaporedje motenj, maksimumov in minimumov, zgoščin (povečanje gostote snovi in tlaka) in razredčin (zmanjšanje gostote snovi in tlaka). Običajno sredstvo je zrak, ki prenaša zgoščine in razredčine z zvočno hitrostjo. Le-te so posledica lokalnih sprememb tlaka, zvočnega tlaka (Holeček, 2014).



Slika 2.1: Zgoščine in razredčine, ki se prenašajo po zraku z zvočno hitrostjo c

Vir: Holeček, predavanja 2014

Zvok lahko opredelimo s frekvenco f in z amplitudo A zvočnega tlaka. Prva je povezana z višino tona [Hz], druga z glasnostjo [Pa].

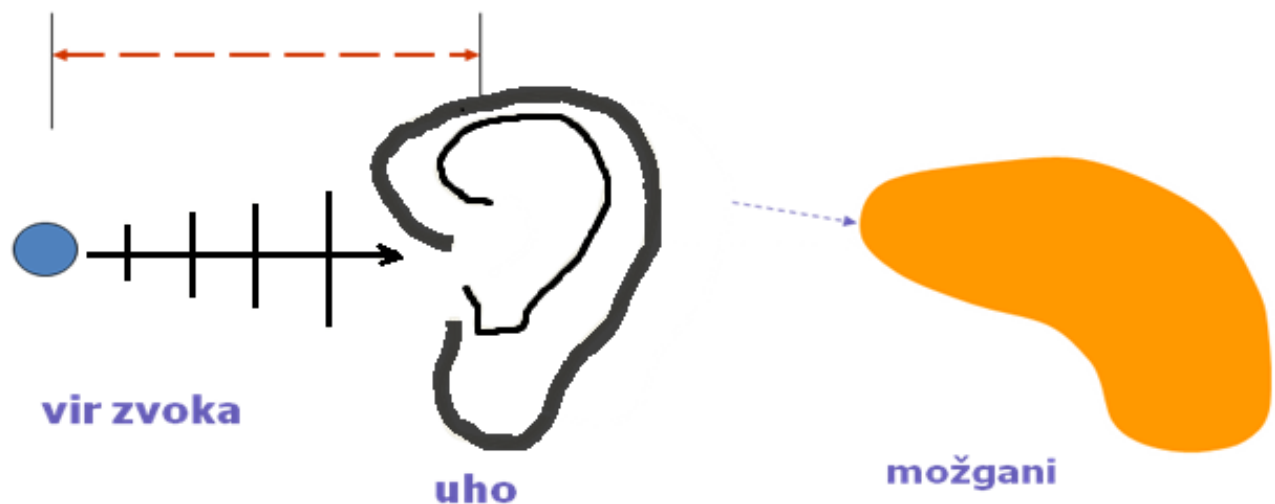
2.2 Zvok kot komunikacijsko sredstvo

Poznamo tako koristen kot nekoristen zvok. Če je zvok koristna, razumljiva, prijetna in pozitivna informacija, govorimo o signalu ali melodiji. Če pa je zvok moteča, nekoristna, nezaželena in negativna informacija, pa govorimo o ropotu (tudi hrupu ali šumu).

Ali je zvok zaželena ali nezaželena informacija, je določitev stanja subjekta, torej poslušalca in ni odvisna od jakosti zvoka ali frekvence.

2.3 Uho kot mikrofون

Uho pretvarja akustično energijo v električno. Zvok potuje od vira do ušesa, nato uho (natančneje bobnič) pretvori dobljeno akustično energijo v električno in posreduje impulze v možgane. Le-ti zaznajo informacijo kot koristno ali nekoristno (melodijo ali hrup).



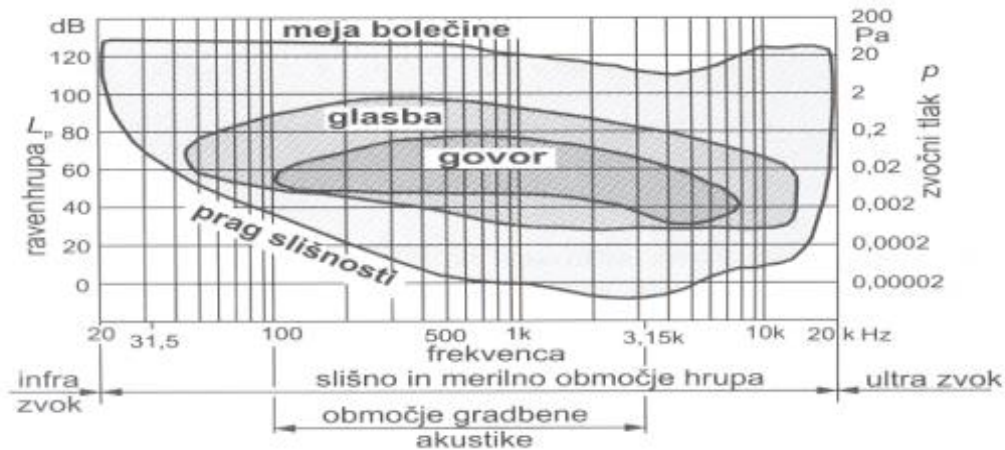
Slika 2.2: Potek poti od vira zvoka do možganov
Vir: Holeček, predavanja 2014

Zvok torej zaznavamo s pomočjo čutila za sluh. Le-ta se uporablja na različne načine, najpomembnejši sta komunikacija s pomočjo govora in glasba. Obenem se lahko uporablja za zbiranje informacij o okolju, kot so na primer prostorske značilnosti in prisotnost drugih objektov. Slišni frekvenčni obseg se spreminja glede na starost, poklicno deformacijo sluha ter spol. Večina človeškega govora zavzema območje med 200 Hz in 8 kHz, človeško uho pa je najobčutljivejše za frekvence med 1000 in 3500 Hz.

Zvok nad slišnim območjem je znan kot ultrazvok ($> 20\text{kHz}$), pod slišnim območjem pa kot infrazvok ($< 20\text{Hz}$).

Amplituda zvočnega vala je določena glede na fluktuacijo tlaka, ki ga povzroča zvočno valovanje. Človeško uho lahko zazna zvok z velikim obsegom amplitud zvočnega tlaka. Zaradi tega je uvedena logaritmčna decibelna amplitudna lestvica. Najtišji zvok, ki ga človeško uho še zazna, ima amplitudo približno $20\ \mu\text{Pa}$ ali raven zvočnega tlaka 0 dB.

Daljša izpostavljenost zvočnemu tlaku, ki presega 85 dB, lahko trajno poškoduje uho, te poškodbe pa povzročijo zvenenje v ušesih ali slušne okvare. Raven zvoka, ki presega 130 dB, je višja, kot lahko človeško uho varno vzdrži in lahko povzroči resne bolečine ter trajne poškodbe sluha. Pri zelo visokih amplitudah lahko imajo zvočni valovi nelinearne posledice, vključno s šoki.



Slika 2.3: Frekvenčno območje spektra slišnega zvoka
Vir: Čudina, 2003

2.4 Akustične veličine v inženirstvu

Akustične veličine, ki jih uporabljamo v inženirstvu, so tlak p , zvočna intenzivnost I in zvočna moč W (v akustiki se namesto simbola za moč P uporablja W):

- zvočni tlak [p] popisuje napetosti v fluidu (tekočini: kapljevini ali plinu),
- širjenje mehanske energije v prostoru opisuje gostota energijskega toka ali zvočna intenzivnost I (energijski tok na enoto površine),
- zvočna moč je energijski tok, ki jo emitira zvočni vir in jo lahko izračunamo iz meritve zvočne intenzivnosti na merilni površini, ki jo obdaja zvočni vir.

$$I = \frac{P_{RMS}^2}{\rho_0 c} = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Zvočna intenzivnost I se uporablja za izračun:

- zvočne moči,
- ravni zvoka,
- spremembe ravni z oddaljenostjo,
- absorpcije v prostoru.

Tlak p merimo z merilniki zvoka, zvočno moč W podajamo kot lastnost vira in uporabljamo za izračun ravni zvoka na določeni oddaljenosti od vira.

2.5 Zvočne ravni

Z modernimi merilnimi postopki je mogoče natančno izmeriti zvočne valove. Ker je človek v frekvenčnem področju sluha (od 20 Hz do 20 kHz) sposoben slišati zelo velika amplitudna območja zvočnega valovanja, je bila namesto absolutne vrednosti za amplitudo (tlak, moč, intenzivnost) vpeljana tako imenovana zvočna raven, podana v dB. Oznaka za zvočno raven je L .

Poznamo tri vrste zvočnih ravni (*ang. sound level*):

- raven zvočnega tlaka L_p :

$$L_p(\text{dB}) = 10 \cdot \lg(p^2 / p_0^2)$$

- raven zvočne intenzivnosti L_I :

$$L_I(\text{dB}) = 10 \cdot \lg(I / I_0)$$

- raven zvočne moči L_W :

$$L_W(\text{dB}) = 10 \cdot \lg(W / W_0)$$

Vrednosti p_0 , I_0 in W_0 so referenčne vrednosti. To so najnižje slišne vrednosti, ki jih človeško uho še zazna in znašajo:

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

3 OPIS PROIZVODNE INDUSTRIJSKE HALE

Predmet obravnavane analize sta proizvodna hala A in surovinska hala. V proizvodni hali na omenjeni lokaciji imamo različne industrijske vire hrupa, ki so posledica delovanja strojev, naprav in delovnega procesa, med katerimi so tudi razna ročna dela in opravila. Med temi zvočnimi viri so najizrazitejši in najnevarnejši impulzni viri hrupa. Delovanje stiskalnic (slika 3.1) v surovinskem obratu ima za posledico zelo visoko raven hrupa pri posameznih udarcih. Govorimo o prehodnem zvočnem pojavu ali o impulznem hrupu.



Slika 3.1: Stiskalnice v surovinski hali
Vir: Tadić, 2014

Ta hrup ni problematičen samo za izpostavljene delavce, ki opravljajo omenjeno operacijo, temveč tako za ostale delavce, kakor za drugo osebje in obiskovalce, ki se v tej hali zadržujejo občasno. Za slednje obstaja posebno tveganje za nastanek poškodb sluha. Zaradi hrupa sta obenem v znatni meri motena njihovo medsebojno komuniciranje in koncentracija (Holeček, 2008).

Obravnavani proizvodni hali imata toge stene in strop s pretežno refleksijskimi lastnostmi (slika 3.2). V surovinski hali je prisotno močno odmevno zvočno polje, tako da prihaja do interference med neposrednim in odbitim valovanjem, zaradi česar so prisotne visoke ravni hrupa v prostoru neposredno ob hrupnem viru in na večjih oddaljenostih (praktično v celi hali). Zato je nadalje moteno govorno sporazumevanje na večjih oddaljenostih.



Slika 3.2: Toge stene, tla in strop z večino refleksijskimi lastnostmi
Vir: Tadić, 2014

Moteno govorno sporazumevanje se praviloma pojavlja v večjih prostorih (z dimenzijami nad 17 m), kjer je časovna razlika med neposrednim in odbitim zvokom, prispelim do ušesa, daljša kot 50 ms. Odbito zvočno valovanje nadalje poveča celoten hrup v prostoru, ki so mu izpostavljeni tako delavci kot občasni obiskovalci.

Iz ogleda in meritev je razvidno, da gre v surovinski hali za problem s prekoračitvami ravni hrupa, ki je poleg tega še impulznega značaja. Impulzni hrup merimo posebej in ga upoštevamo pri določitvi obremenitve okolja na emisijskem mestu. Impulzni hrup je definiran z ravnijo tlaka vrha (peaka), s časom porasta impulza, trajanjem pulza, številom ponovitev na delovni cikel in z njegovim frekvenčnim spektrom. Za impulzivni hrup je značilna visoka vrednost, ki traja kratek čas. Človeško uho ni zmožno slediti spremembam hrupa, ki so krajše od 100 ms. Zaradi počasnejšega odziva ušesa pa vpliv na poškodbe sluha ni zmanjšan. Poudarjeni toni so nevarni predvsem zato, ker stalno delujejo na točno določeno frekvenčno področje v ušesu. Pri meritvah lahko upoštevamo impulzivnost in poudarjene tone v obliki dodatnih popravnih faktorjev. Impulzni hrup je v našem primeru odmeven. V spektru so hkrati prisotne zdravju najškodljivejše frekvence.

Obstoječi predpisi iz področja varovanja delavcev pred hrupom zahtevajo, da mora delodajalec izdelati in izvesti program tehničnih ukrepov za znižanje hrupa pri delavcih, pri katerih dnevna A – vrednotena ekspozicija presega 85 dB. Zaradi prisotnosti impulzov v neposredni bližini stiskalnic v surovinski hali te ekspozicije v našem primeru presegajo 90 dB (A – vrednoteno).

4 METODA MERITEV IN OCENJEVANJE

4.1 Uvodna pojasnila

Obremenjenost na delovnem mestu v obratih smo ugotavljali na podlagi Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu iz leta 2006 (bistvena sprememba glede na prejšnji pravilnik je znižanje mejne vrednosti izpostavljenosti hrupu z 90 na 87 dB, ter znižanje dovoljene dnevne izpostavljenosti hrupu z A-vrednoteno ravniyo 85 na 80 dB – nad 80 dB so že potrebni prvostopenjski protihrupni ukrepi). Kot merila za okvaro sluha so s tem pravilnikom določene naslednje fizikalne veličine:

- konična raven zvočnega tlaka (p_{peak}): maksimalna vrednost C-vrednotenega trenutnega zvočnega tlaka;
- raven dnevne izpostavljenosti $L_{\text{EX},8\text{h}}$ (A-vrednotena raven dB glede na referenčni tlak 20 μPa): časovno vrednoteno povprečje izpostavljenosti hrupu v času osemurnega delavnika, kakor je definirano v točki 3.6 standarda SIST ISO 1999. Raven dnevne izpostavljenosti upošteva vse vrste hrupa pri delu, tudi impulzni hrup;
- raven tedenske izpostavljenosti ($L_{\text{EX},8\text{h}}$): časovno vrednoteno povprečje dnevne izpostavljenosti hrupu v času osemurnega delavnika v petdnevnem delovnem tednu, kakor je definirano v opombi 2 k točki 3.6 standarda SIST ISO 1999.

4.2 Izvedba meritev in rezultati

Meritve smo izvedli na osnovi standarda SIST ISO 9612, in sicer so bile izmerjene:

- raven ekvivalentnega zvočnega tlaka,
- A-vrednotena raven z dinamiko *fast* v dB
- imulz (*impulse*), L_1 v dBA. Mikrofon $h = 1,5$ m.
- C-vrednotena raven peak L_C , peak v dB

Ekvivalentna raven hrupa L_{Aeq, T_e} je časovno povprečna raven zvočnega tlaka tekom časovnega intervala T_e , izražena v dB:

$$L_{Aeq, T_e} = 10 \log \left(\frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right)$$

- $p_{A(t)}$ je trenutna A-vrednotena raven zvočnega tlaka v paskalih, ki mu je izpostavljen delavec,
- p_0 je referenčni zvočni tlak (20 μPa),
- t je čas,
- T_e je dnevno trajanje osebne izpostavljenosti delavca hrupu,
- T_0 je enak 8 h oziroma 28800 s.

Pri ocenjevanju motenja se upošteva ekvivalentna raven hrupa v času delovanja proizvodnega oziroma neproizvodnega vira.

Upoštevali smo še dodatna napotila:

- ekvivalentni hrup se meri v času, ki ni krajši od 15 s,
- če se hrup spreminja za 3 dB, se meri v celotnem delovnem času,
- če vsebuje impulze, se prišteje razlika med ekvivalentom in impulzom: od 2 do največ 6 dB.

4.2.1. Meritve v hali A

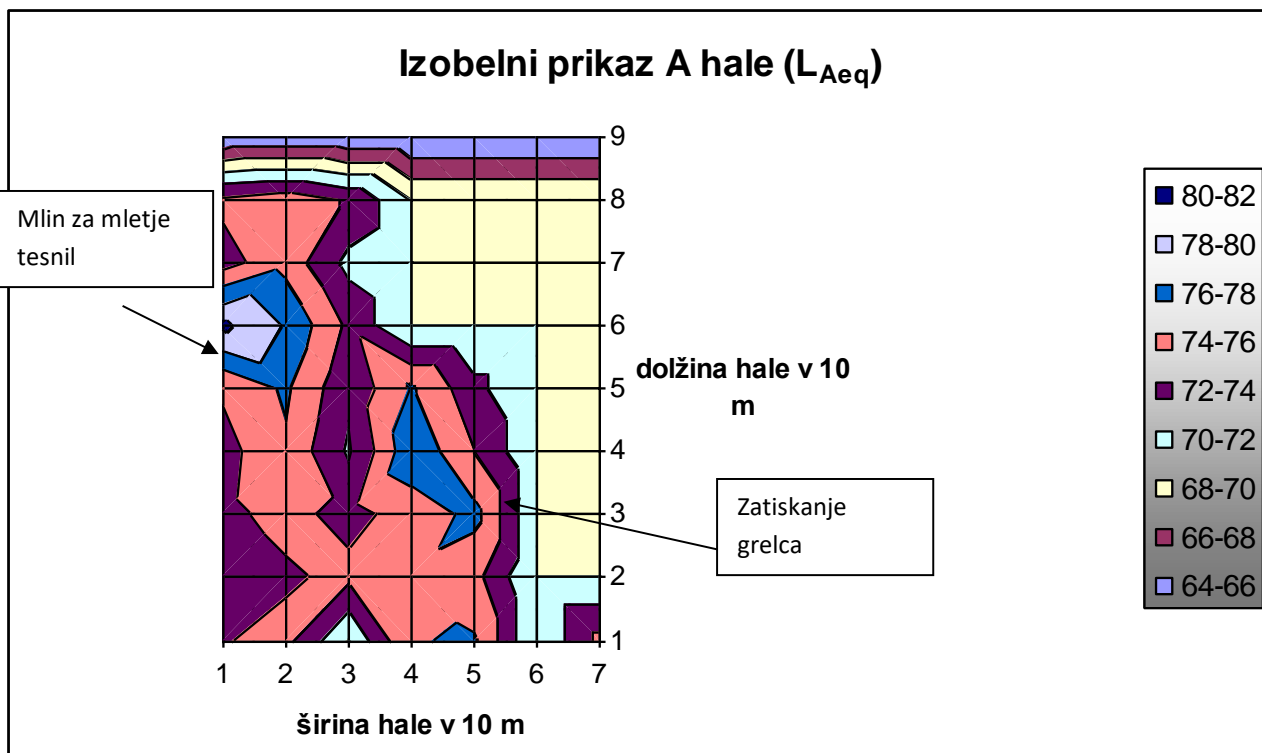
Pri meritvah smo uporabili merilnik hrupa B & K tip 2238 Mediator, št. 2163610. Pred meritvijo smo opravili interno kalibracijo z B & K Pistonphonom Type 4228, št. 1818762. Interna kalibracija se izvaja pred vsako meritvijo, za kontrolo pa tudi po zaključku meritev. Pistonphonom je potrjen s strani SIQ (št. dokumenta 07C00652, 18. 5. 2007).

Meritve ravni hrupa smo opravili 14. 3. 2014 v dopoldanskem času (slika 4.1). Atmosferski tlak je znašal 973 mbar, kar je zahtevalo korekcijo $-0,35$ dB (vrednost je bilo potrebno odšteti od izmerjene vrednosti). Meritve smo opravili v mreži točk po celotnem tlorisu hale.

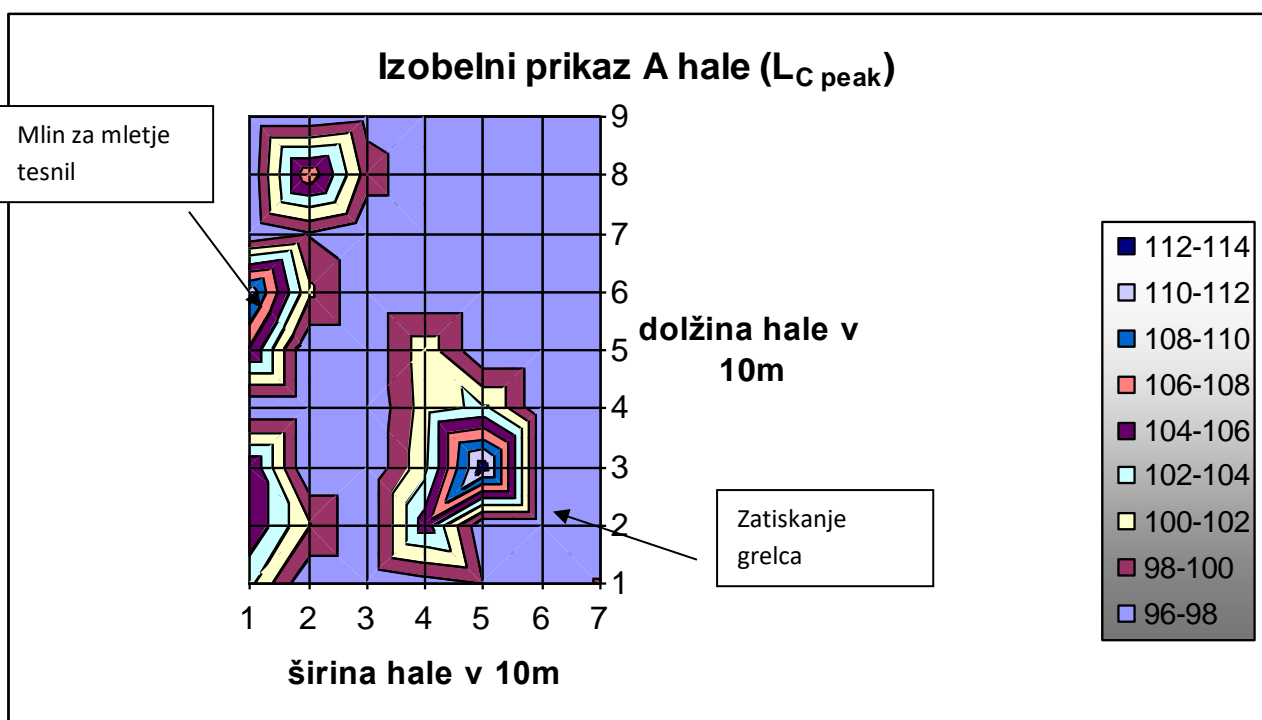


Slika 4.1: Meritve v proizvodni hali 14. 3. 2014 v mreži točk
Vir: Tadić, 2014

To nam je omogočilo, da vizualiziramo izobelno razporeditev hrupa, razvidno na slikah 4.2 in 4.3, tabelarično urejeni rezultati pa so prikazani v tabeli 4.1.



Slika 4.2: Izobelno mapiranje L_{Aeq} v hali A



Slika 4.3: Izobelno mapiranje L_c v hali A

Tabela 4.1: Rezultati meritev tipičnih fizikalnih veličin hrupa v času proizvodnega procesa v hali A

Operacija zatiskanje grelca

L Aeq	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	73,9	72,7	73,5	73,2	74,3	80,4	73,2	74,4	68,2
2	74,6	73,7	74,6	75,7	76,3	77,8	75,3	75,3	71,4
3	69,9	74,5	73,4	71,7	72,5	73,5	71,4	73,8	75,3
4	75,9	75,5	74,7	77,5	76,2	X	X	X	70,9
5	76,2	74,6	76,6	74	72,6	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	74,6	X	X	X	X	X	X	X	X

L Aep,d	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	73,7	72,5	73,3	73	74,1	80,2	73	74,2	68
2	74,4	73,5	74,4	75,5	76,1	77,6	75,1	75,1	71,2
3	69,7	74,3	73,2	71,5	72,3	73,3	71,2	73,6	75,1
4	75,7	75,3	74,5	77,1	76	X	X	X	70,7
5	76	74,4	76,4	73,8	72,4	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	74,4	X	X	X	X	X	X	X	X

L cpk	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	91,6	89	100	98	103,4	109,1	95,6	93,2	83
2	91,3	90,1	90	93,6	93,7	98,4	97	91	91
3	87	88,9	92,7	87	87	89,6	88	97	92,9
4	91,3	93	90	91,8	88,1	X	X	X	86,1
5	91,1	90,4	99	96	90,5	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	89,8	X	X	X	X	X	X	X	X

L cpkmax	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	102,4	105,8	105,8	94,7	105,8	111	96,1	96,5	92
2	93,9	100,1	94,9	95	95,7	100,4	97,9	107,3	93,5
3	93	95,7	95,3	91,5	90,4	93,4	89,8	99,1	97,1
4	97,1	105	101,4	101,1	101,3	X	X	X	93,3
5	98	94,9	113	102,4	90,9	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	98,2	X	X	X	X	X	X	X	X

4.2.2 Meritve v surovinski hali

V surovinski hali smo opravili meritve tipičnih fizikalnih veličin hrupa v štirih merilnih točkah, lociranih pri strojih.



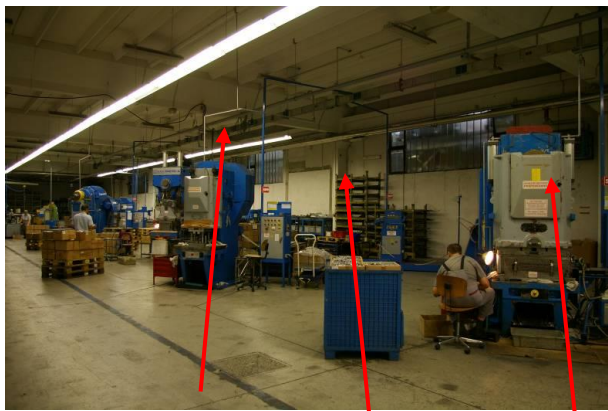
Slika 4.4: Stiskalnice v surovinski hali

Vir: Tadić, 2014

Rezultati meritev so prikazani v tabeli 4.2.

Tabela 4.2: Rezultati merjenj tipičnih fizikalnih veličin hrupa v štirih merilnih točkah času delovanja stiskalnic v surovinski hali

Merilna točka	1	2	3	4
Lokacija stroja št.	522	508	505	502

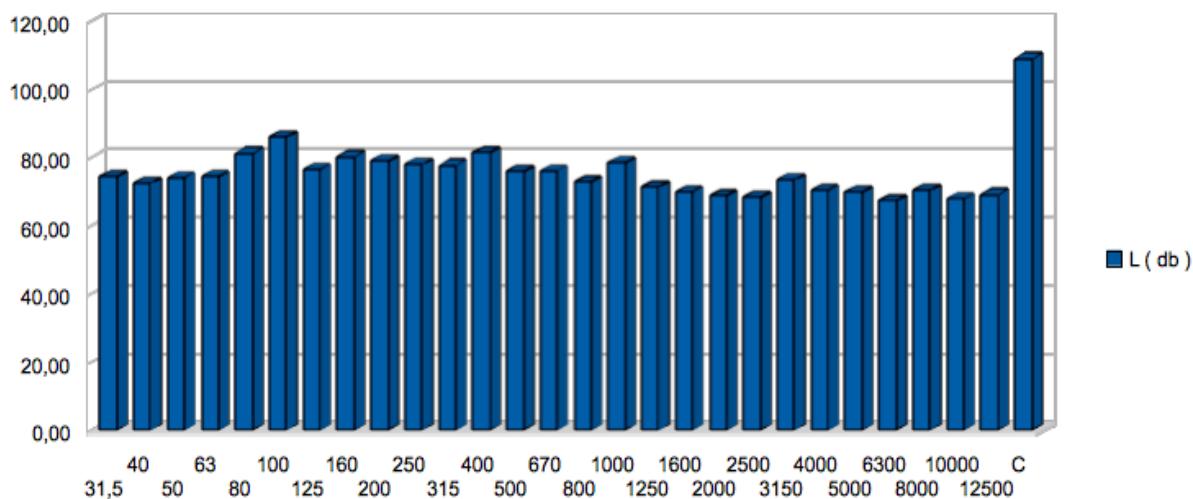


L Aeq	1	2	3	4
1	80,9	86,5	86,7	85,6
L Aep,d	1	2	3	4
1	80,7	86,3	86,5	85,4
L cpk	1	2	3	4
1	101,8	109	108	106
L cpkmax	1	2	3	4
1	102	110	109,9	107,9

Opravili smo tudi spektralne analize hrupa po terčnih frekvenčnih pasovih, kot je razvidno iz tabele 4.3.

Tabela 4.3: Terčna analiza v času 17 s

Frekvenz (Hz)	L (db)
31,5	74,40
40	72,50
50	74,10
63	74,60
80	81,30
100	86,00
125	76,60
160	80,30
200	79,20
250	78,20
315	77,80
400	81,40
500	75,90
670	76,20
800	72,80
1000	78,70
1250	71,30
1600	70,00
2000	68,80
2500	68,40
3150	73,60
4000	70,50
5000	70,00
6300	67,30
8000	70,50
10000	68,10
12500	69,20
C	109,00



Slika 4.5: Frekvenčna karakteristika merilnega mesta 2

Izpostavljenost tako visokim ravnam hrupa ima lahko za posledico med drugim okvaro sluha. Poleg osnovne visoke ravni hrupa je močno izražen še hrup impulznega značaja v navzočnosti izrazitih tonov, kar je razvidno iz spektralne analize, ki je razvidna iz tabele 4.3 in slike 4.5.

5 OCENA TVEGANJ ZA DELAVCE V PROIZVODNI HALI

5.1 Mejne vrednosti izpostavljenosti

Pravilnik predpisuje naslednji mejni vrednosti izpostavljenosti in opozorilne vrednosti izpostavljenosti v osemurnem delavniku ter naslednje konične ravni zvočnih tlakov:

- a) mejni vrednosti izpostavljenosti: ločeno za $L_{EX,8h} = 87$ dBA in $p_{peak} = 200$ Pa (140 dBC glede na referenčni tlak 20 μ Pa);
- b) zgornji opozorilni vrednosti izpostavljenosti: ločeno za $L_{EX,8h} = 85$ dBA in $p_{peak} = 140$ Pa (137 dBC glede na referenčni tlak 20 μ Pa)
- c) spodnji opozorilni vrednosti izpostavljenosti: ločeno za $L_{EX,8h} = 80$ dBA in $p_{peak} = 112$ Pa (135 dBC glede na referenčni tlak 20 μ Pa).

Pri izdelavi ocene tveganja mora delodajalec zaradi izpostavljenosti delavcev hrupu nameniti posebno pozornost:

- a) velikosti, vrsti in trajanju izpostavljenosti hrupu, vključno z upoštevanjem prisotnosti impulznega hrupa, kjer se pri določanju ravni dnevne izpostavljenosti upošteva impulzni značaj hrupa na ta način, da se izmerjeni ekvivalentni ravni hrupa prišteje razliko med to izmerjeno ekvivalentno ravni hrupa in povprečno ravni hrupa, izmerjeno z dinamiko I (Impulse). Razlika se prišteje le tedaj, če je večja kot 2 dB(A). Če je razlika večja kot 6 dBA, se prišteje 6 dBA. Ekvivalentno raven hrupa in povprečno raven hrupa, izmerjeno z dinamiko I (Impulse), je potrebno meriti istočasno;
- b) mejnima vrednostma in opozorilnim vrednostim izpostavljenosti iz pravilnika;
- c) vplivom na varnost in zdravje posebno ogroženih skupin delavcev;
- d) v kolikor je mogoče, vplivom na varnost in zdravje delavcev, ki izhajajo iz medsebojnega učinkovanja hrupa in ototoksičnih snovi pri delu ter medsebojnega učinkovanja hrupa in vibracij;
- e) možnosti, da hrup moti slišnost opozorilnih zvočnih signalov ali drugih zvokov, ki jih je potrebno upoštevati, da se zmanjša tveganje za nezgode;
- f) podatkom o emisiji hrupa, ki jih zagotovijo proizvajalci delovne opreme v skladu s posebnimi predpisi;
- g) obstoju delovne opreme, ki povzroča manj hrupa;
- h) podaljšanju izpostavljenosti hrupu zaradi dela preko polnega delovnega časa, ki ga odredi delodajalec;
- i) ustreznim podatkom, pridobljenim z zdravstvenim nadzorom, vključno z objavljenimi podatki, če ti obstajajo;
- j) opremi za varovanje sluha s primernim dušenjem.

Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupa pri delu (UL. RS iz 2006) predpisuje:

- Delodajalec je dolžan sprejeti ukrepe za zniževanje hrupa pod 80 dBA;
- Upoštevajo se tehnični napredek in ukrepi za obvladovanje hrupa;
- Za inšpekcijo dela je potrebna izvedba meritev in ocene hrupa ter evidence o izpostavljenih delavcih in zdravstveni pregled sluha.

6 PREDLOG SANACIJE

Za sanacijo je po Direktivi Evropskega parlamenta in Sveta 2003/10/ES potrebno upoštevati standard SIST EN ISO 11690-1, 2 in 3 (Priporočena praksa za tiho industrijsko okolje).

Standard popisuje:

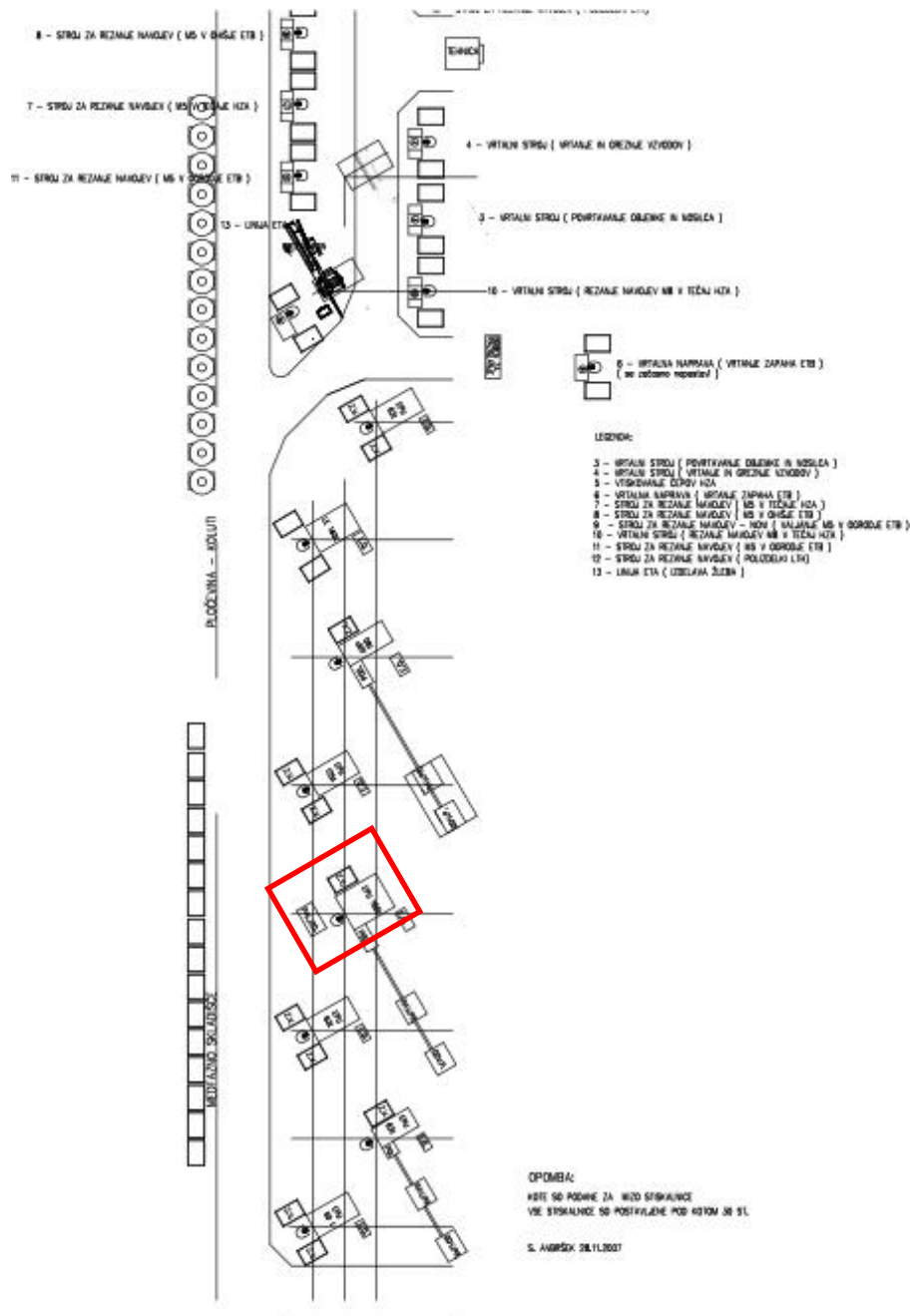
- strategijo obvladovanja hrupa,
- ukrepe za obvladovanje hrupa.

Potrebno bo upoštevati prioritetni red izvajanja protihrupnih ukrepov, tako da imajo kolektivni protihrupni ukrepi oz. ukrepi na samih virih prednost pred tistimi pri razširjanju hrupa, ti pa imajo zopet prednost pred uporabo osebne varovalne opreme. V kolikor delodajalec utemelji težavnost oziroma neizvedljivost ukrepov višjega prioritetnega reda, so možni tudi protihrupni ukrepi nižjega reda, kot npr. izboljšava prostorske akustike.

Prvi in največji problem je impulzni hrup, ki je prisoten v surovinski hali. Na drugem mestu je prisotnost komponent hrupa, ki so na najobčutljivejšem frekvenčnem področju. Na tretjem mestu je odmevnost prostora, saj je v velikih in močno odmevnih halah poleg neposrednega hrupa iz samih virov prisotna tudi odmevna komponenta hrupa. Zaradi velikosti prostora, njegove geometrijske oblike in slabe absorpcije se v takšnih prostorih pojavijo stoječa valovanja, ki v določenih točkah močno ojačijo hrup določenih frekvenc. Odmevna komponenta je z oddaljenostjo od vira izrazitejša. To odmevnost je možno znižati s povečanjem absorpcije v prostoru oz. oblaganjem sten in stropa z zvočno absorpcijskimi materiali.

6.1 Surovinska hala

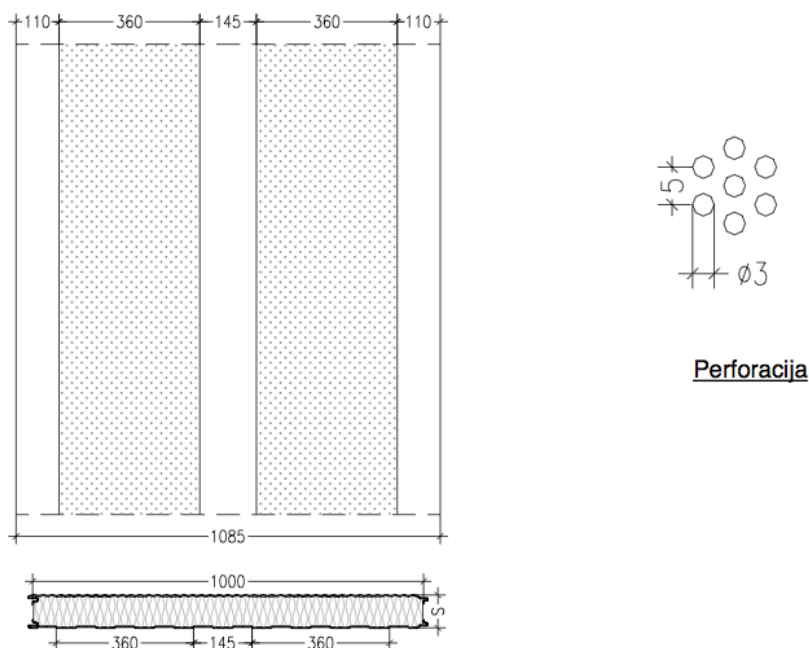
Kot prvi in dominantni ukrep v surovinski hali predlagamo izdelavo bariere iz zvočno izolacijsko-absorpcijskih panelov. Zaslони so izdelani iz modulnih "sendvič" elementov, debeline 120 mm, ki so vstavljeni v premični nosilce. Zunanja stran elementov je iz polne pločevine, notranja iz perforirane, vmes je vstavljeno zvočno izolacijsko negorljivo polnilo.



Slika 6.1: Lokacija zvočne izolacijsko absorpcijske bariere – ograje

Trimoterm akustični paneli

Možna je izvedba v klasični varianti Trimoterm FTV, kot tudi v varianti Trimoterm INVISIO.



Tehnične karakteristike TRIMOTERM fasadnih in akustičnih panelov

s debelina panela (mm)		60	80	100	120	150	200
teža FTV panela 1000 (kg/m ²)	Fe 0.6/0.6	17.5	19.9	22.4	24.8	28.4	34.4
teža FTV panela 1200 (kg/m ²)	Fe 0.6/0.6	17.3	19.8	22.2	24.6	28.2	34.2
teža akustičnega panela 1000 (kg/m ²)	Fe 0.6/0.6	16.8	19.2	21.7	24.1	27.7	34.7
toplotna prehodnost (W/m ² K)**		0.6	0.44	0.35	0.29	0.23	0.17
požarna odpornost* (min)		30	60	90	120	180	180
gorljivost	negorljivo polnilo iz mineralne volne, razred A1						
zvočna izolativnost* (dB)		32					
dolžina panelov		Do 14 m					

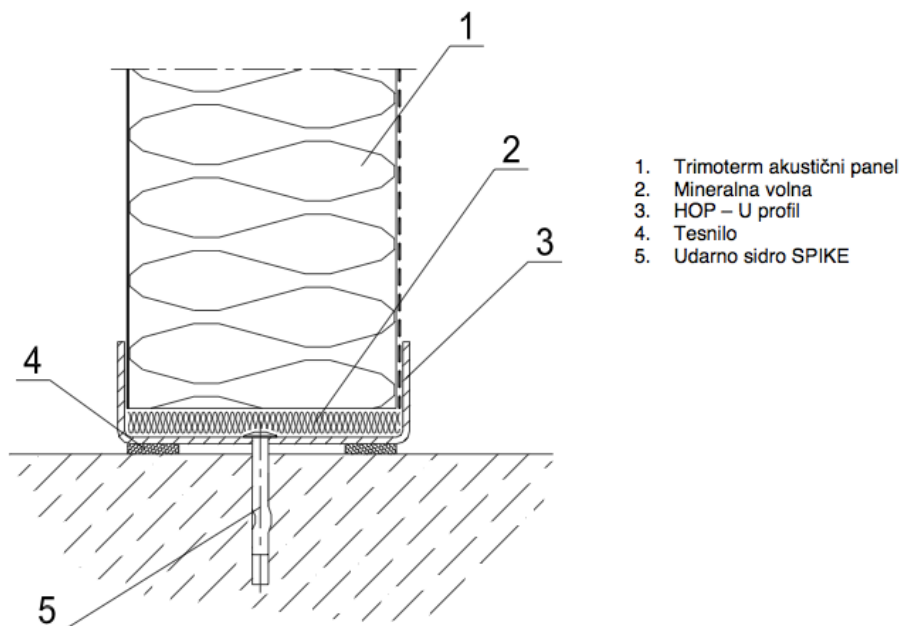
*- izmerjeno na panelih FTV; možna odstopanja glede na zakonodajo posamezne države

** - izmerjeno na panelih FTV; možna odstopanja glede na zakonodajo posamezne države

Slika 6.2: Tehnične karakteristike Trimotrem panelov

Vir: medmrežje <http://www.trimo.com>, 2014

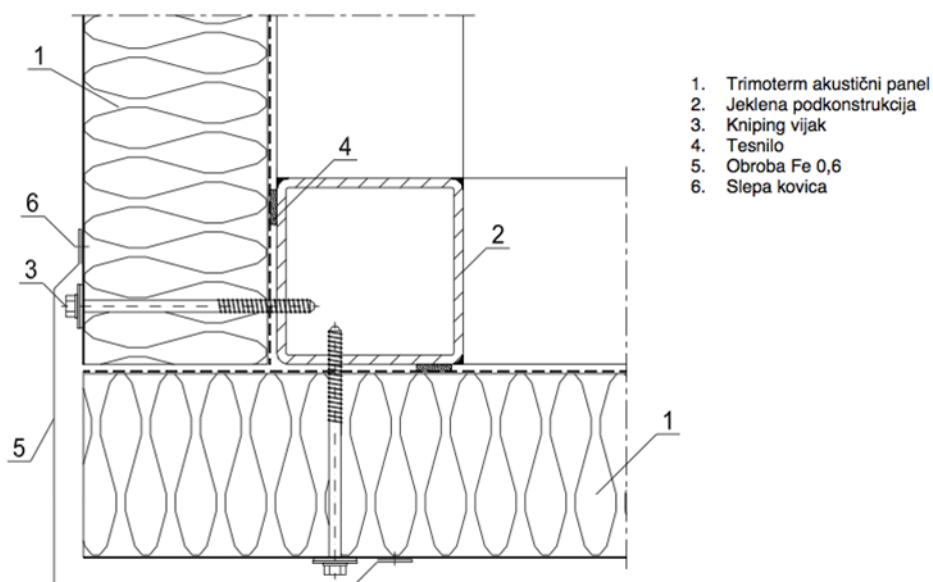
Priključevanje panelov na tla



Detajl priključevanja panelov na tla

Vogalni zaključek

Detajl vogalnega zaključka je enak kot detajl zaključka med steno in stropom kabine.



Detajl vogalnega zaključka

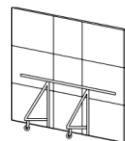
Slika 6.3: Detajli pritrditve po navodilih proizvajalca panelov
Vir: medmrežje <http://www.trimo.com>, 2014



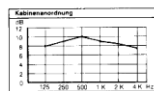
Slika 6.4: Postavitev panelov, ki se fiksirajo v tla z dodanim naklonskim absorberjem
Vir: medmrežje <http://www.bequiet.com/en/accessories/62>, 2014

Na osnovi priloženih skic je možno izdelati premične nosilce na kolesih in naročiti industrijsko izdelane panele, npr. Trimoterm akustične panele.

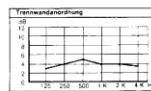
Mobiles Schallschutz
Trennwand-System



Schallpegelreduzierung



Kabinengröße 4500 x 2200 mm
Kabinehöhe 2500 mm
Deckenhöhe 5000 mm



Wandbreite 5000 mm
Wandhöhe 2500 mm
Deckenhöhe 5000 mm

Durch Anwendung dieses mobilen Systems sind je nach Anordnung Schallpegelreduzierungen bis 15 dBA möglich.

Die stabile, fahrbare Unterkonstruktion mit Lenkrollen wird in verzinkter Ausführung geliefert.
Stahlkonstruktion und Schallschutzwand sind unbrennbar nach DIN 4102.

Die Höhe und die Breite der Schallschutzwände kann dem jeweiligen Bedarfsfall angepasst werden.
Alle anderen Ausführungen auf Anfrage.

Maße für die mobile
Schallschutzwand
Höhe Breite Dicke
2500 x 2500 x 120
2500 x 2000 x 120

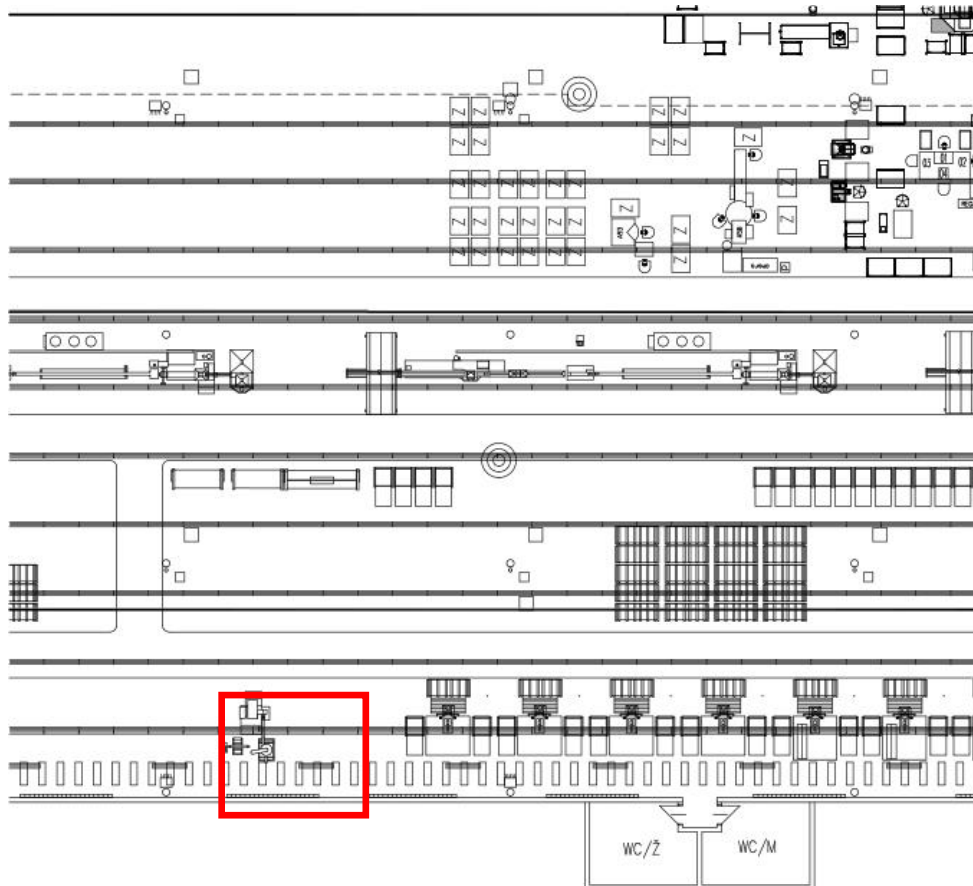
Slika 6.5: Premični nosilci na kolesih

Vir: medmrežje <http://www.bequiet.com/en/accessories/62>, 2014

6.2 Hala A

Iz izobelne mape hale A je razvidno eno kritično mesto (lokacija stroja za mletje tesnil) in drugo, ki je na meji priporočenih vrednosti, in sicer delovno mesto zatiskanja grelcev.

Priporočamo postavitev premičnih zvočnih izolacijsko-absorpcijskih panelov v skladu s skico, prikazano na sliki 6.4.



Slika 6.6: Prikaz lokacije premičnih panelov na delovnem mestu mletja tesnil v hali A
Vir: originalni načrt hale

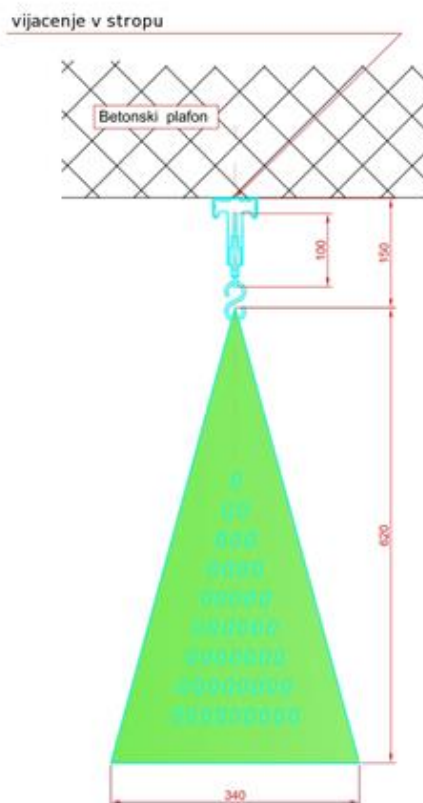
6.3 Skice stropnih absorberjev

Odmevnost v obeh halah lahko zmanjšamo z uporabo stropnih absorberjev zvoka. Z vgradnjo prizmatičnih in cilindričnih absorberjev na strop hal bomo dosegli naslednje učinke:

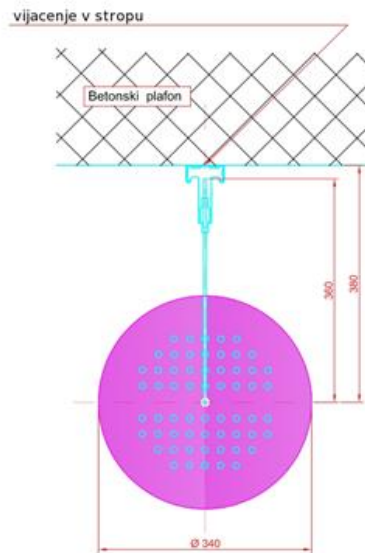
- bistveno se bo izboljšala zvočna absorpcija hale,
- skrajšal se bo čas odmeva (reverberacije),
- bistveno se bo izboljšala razumljivost govora,
- izboljšala se bo ocena smeri, iz katere prihaja zvok, kar bo pripomoglo k boljši varnosti delavcev, ki bodo v hali v času notranjega prometa.



Slika 6.7: Namestitev stropnih absorberjev zvoka
Vir: Tadić, 2014



Slika 6.8: Skica stropnih absorberjev zvoka
Vir: Gorenje d. d., Laboratorij za akustiko



Slika 6.9: Skica stropnih absorberjev zvoka
Vir: Gorenje d. d., Laboratorij za akustiko

6.4 Predvideni doseženi učinki

Proizvajalec panelov (debelina 200 mm, širina 1000 mm, površinska masa 28,6 kg/m²) zagotavlja, da so ognje-odporni po DIN 4102, razred A1 in imajo zvočno izolacijo $R_w > 32$ dBA.

Na osnovi podatkov proizvajalca panelov predvidevamo, da bo zgrajena komora z vgrajenimi vrati omogočila zvočni izolacijski efekt pred hrupom v hali največ 10 dBA. Zaradi absorpcijskega efekta se bo hrup pri izvajalcu operacije udarjanja zmanjšal za ≥ 5 dBA.

Z montažo stropnih absorberjev neposredno nad lociranimi kritičnimi mesti bi dosegli še dodatne efekte:

- bistveno bi se izboljšala zvočna absorpcija hale,
- skrajšal bi se čas odmeva (reverberacije),
- bistveno bi se izboljšala razumljivost govora,
- izboljšala bi se ocena smeri, iz katere prihaja zvok, kar bo pripomoglo k boljši varnosti delavcev, ki bodo v hali v času notranjega prometa.

7 ZAKLJUČEK

Opravila proizvodnih in drugih operacij ter delovanja strojev in ročnega orodja v industrijskem obratu učinkujejo, da so delavci in ostali prisotni izpostavljeni škodljivemu vplivu hrupa. Med temi zvočnimi viri so najizrazitejši in najnevarnejši impulzni viri hrupa (delovanje stiskalnic v surovinski hali).

Na osnovi meritev in terčne analize izmerjenega hrupa smo sklepali naslednje:

- raven hrupa v industrijskega obrata se giblje med $L_{Aeq} = 73$ do 90 dBA,
- impulzne ravni dosegajo 110 dBA,
- prisotne so frekvence, ki so posebej neugodne za govorno sporazumevanje (500 Hz) in poškodbe sluha delavcev (1000 Hz),
- akustične karakteristike proizvodne hale so zelo neugodne. Zaradi pretežno odbojnih površin in povzročene odmeva (reverberacije) se hrup poveča ter širi po vsej proizvodni hali,
- čas reverberacije (odmeva) se v hali A giblje okoli 2–2,5 s. Tako dolg čas reverberacije trajno povečuje raven osnovnega hrupa za 2–3 dB in ga širi po vsej proizvodni hali,
- na posameznih delovnih mestih v hali prihaja do pojavov stoječih valov (akustične resonance), pri čemer se raven hrupa poveča za nekaj decibelov.



Slika 7.1: Izvedba meritev v industrijski hali

Vir: Tadić, 2014

V skladu z zakonom, ki ureja varnost in zdravje pri delu, je bilo potrebno izvesti meritve, katerih cilj je bilo presoditi razmere glede hrupa v industrijskem obratu, ki so mu delavci izpostavljeni. Presoja je bilo treba utemeljiti z analizo rezultatov meritev hrupa in predlagati aktivnosti za sanacijo hrupa. Rezultati meritev in predlog redukcije hrupa so združeni v tem diplomskem delu.

Prvo hipotezo, da hrup v proizvodni hali presega določene ravni glede na veljavne predpise, lahko tako potrdimo.

Potrebna investicija za postavitev predlaganih rešitev za sanacijo hrupa ni bila odobrena in tako nam je preostala le možnost simulacije znižanja hrupa v primeru, da se predlagane rešitve aplicirajo.

V literaturi smo prebrali, da je povezava med izolacijskimi karakteristikami panelov in predvidenimi učinki v prostoru zelo kompleksna in zahteva modeliranje z ustrezno programsko opremo. Ker nismo imeli na razpolago ustrezne programske opreme, so naša predvidevanja slonela zgolj na izkušnjah, ki jih imajo v podjetju Gorenje, d. d., v podobnih primerih izvedb sanacije hrupa znotraj proizvodnje. Na osnovi tega lahko delno potrdimo drugo hipotezo (H2), da bi se hrup z nekaterimi ukrepi znižal pod zakonsko dovoljeno mejo, ki zanaša 85 dB. Glede na predlagano rešitev izvedbe zvočno izoliranih barier (ograd) ugotavljamo, da bo izvedba le-teh omogočila, da bo raven hrupa na zakonsko dovoljeni ravni.

8 POVZETEK

Zelo pomembnemu, a v preteklosti velikokrat zapostavljenemu področju izboljševanja delovnega okolja, je zadnje čase namenjena zaslužena pozornost, in sicer govorimo o inženiringu obvladovanja hrupa. V prikazani industrijski hali so bile akustične razmere zelo neugodne. Obstaja veliko virov hrupa, ki so presegali dovoljene meje. Merjeni srednji ekvivalentni nivoji hrupa so bili v intervalu od 72 do 109 dB. Iz ogleda in orientacijskih meritev je bilo razvidno, da gre za zahtevnejši problem z visokimi prekoračitvami ravni hrupa, ki je obenem še impulznega značaja. Prisotne so tudi zdravju najškodljivejše frekvence. Primarni viri hrupa so sestavljeni iz večjih virov hrupa, kot so pogonski mehanizem, pnevmatike, hidravlike, orodja, mehanizem za vhod-izhod materiala, mehanične zavore itd.

Glede na rezultate meritev predlagamo rešitve v obliki postavitve zvočno izoliranih barier (ograd) in zvočno absorpcijskih elementov. Glede na podatke, pridobljene iz literature, v kateri so opisani rezultati izvedenih poskusov z barierami v drugih industrijskih halah, ugotavljamo, da bodo te rešitve omogočile, da bo raven hrupa na zakonsko dovoljeni ravni.

8 SUMMARY

Highly important, yet in the past often neglected area of improving the working environment, has finally been given the attention that it deserves, thus meaning the engineering noise control. Acoustic circumstances which were portrayed in the industrial hall were very unfavorable. There are many sources of noise that have exceeded the permitted limits. Measured noise indicators were in the range from 72 to 109 dB. On the spot examination and orientation measurements have indicated that we are dealing with a serious problem regarding the high level of noise excesses, which are at the same time of impulsive character. Frequencies which are the most hazardous to health are also present. The primary noise sources are composed of other major sources of noise: the drive mechanism, tires, hydraulics, tools, mechanism of input-output material, mechanical brakes, etc.

Given the measurement results the implementation of soundproof barriers (fences) and sound-absorption elements is suggested as a solution. According to the data obtained from the literature, which describes the results of implemented experiments with barriers in other industrial halls, it has been established that these solutions will enable the level of noise at legally allowed level.

VIRI IN LITERATURA

1. Bilban, M. 2011: Hrup kot spremljevalec sodobnega življenja. Medmrežje: http://www.osha.mddsz.gov.si/resources/files/pdf/kampanje/drBilban_Spremljevalec_sodobnega_zivljenja.pdf (20. 9. 2016)
2. Cigale, D., Lampič, B. 2004. Hrup kot okoljski problem. Medmrežje: www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:doc-DFROHVPY/390519ce.../PDF (27. 9. 2015)
3. Crocker, M. J., (2007). Handbook of noise and vibration control. V: *Introduction to transportation noise and vibration sources*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
4. Čudina, M. (2003). Tehnična akustika: Merjenje, vrednotenje in zmanjševanje hrupa in vibracij. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo.
5. Holeček, N. (2003). Magistrsko delo: Razpoznavanje in karakterizacija zvočnih virov pri gospodinjskih aparatih. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo.
6. HOLEČEK, Nikola. Noise control by sound isolation at Gorenjes manufacturing plant. V: The 37th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Shanghai, China, October 26–29, 2008. Proceedings of Inter-Noise 2008 : from silence to harmony. [S. l.]: [Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences], 2008, 9 str. [COBISS.SI-ID 484648]
7. HOLEČEK, Nikola. Noise reduction in the Gorenje industrial hall. V: 15th International Congress on Sound and Vibration, ICSV15, Daejeon, Korea, 6–10 July, 2008. Proceedings. Seoul: The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, cop. 2008, str. 2269–2276. [COBISS.SI-ID 456232],
8. HOLEČEK, Nikola, MUNDA, Jurij, ZAZULA, Damjan,. Aktivno dušenje hrupa s sistemom Silentium S-Cube = Active noise control using Silentium's S-Cube. V: ZAJC, Baldomir (ur.), TROST, Andrej (ur.). Zbornik triindvajsete mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2014, 22.–24. september 2014, Portorož, Slovenija, (Zbornik ... Elektrotehniške in računalniške konference ERK ..., ISSN 1581-4572, 23). Ljubljana: IEEE Region 8, Slovenska sekcija IEEE, 2014, zv. A, str. 301–304,. [COBISS.SI-ID 18107158]
9. Uredba o hrupu v naravnem in življenjskem okolju, Ur. l. RS, št. 45/2000
10. Medmrežje 2: [file:///C:/Users/doma/Downloads/Prispevek_za_JON_hrup%20\(7\).pdf](file:///C:/Users/doma/Downloads/Prispevek_za_JON_hrup%20(7).pdf) (27. 9. 2015)
11. Medmrežje 3: <http://www.akustikforschung.de/en/leistungen/umweltakustik/strassenlarm/cpx-rollgerauschmessung/> (3. 10. 2015)
12. Medmrežje 4: <http://novice.najdi.si/predogled/novica/e43eb206ea8ec4451a237b58cd02c58a/Radio-1/Savinjska/Zahtevajo-hitro-cesto> (5. 10. 2015)
13. Medmrežje 5: http://www.di.gov.si/fileadmin/di.gov.si/pageuploads/Prometni_podatki/Prometne_obremenitve_2013_NOO.pdf (6. 10. 2015)
14. Medmrežje 6: <http://en.datonginc.com/noise-barriers.html> (9. 10. 2015)
15. Medmrežje 7: <http://www.akripol.si/znamke/soundstop/aglas-soundstop-plosce-vrsta-produktov/> (9. 10. 2015)
16. Medmrežje 8: <http://www.winstarplastic.com/decorative-fence-19875.html> (9. 10. 2016)

PRILOGA A. Opis merilne opreme in merjene fizikalne količine

Meritve cestnega hrupa smo opravljali z inštrumentom za merjenje hrupa znanega danskega proizvajalca Brüel & Kjær, tip 2238 Mediator (slika A1), ki je med najboljšimi tovrstnimi na trgu. Namenjen je merjenju okoljskega in industrijskega hrupa in je zelo enostaven za uporabo. Inštrument je bil približno mesec dni pred opravljanjem meritev na kalibraciji, za kar je tudi izdan priložen certifikat (slika A2). Njegove osnovne lastnosti so:

- usklajen je z vsemi mednarodnimi standardi (razred 1 do IEC in ANSI),
- hkrati meri povprečno in konično raven hrupa,
- nameščenih ima pet jezikov (angleščina, nemščina, francoščina, španščina in italijanščina),
- vsebuje dva AUX DC izhodna / AC vhodna kanala,
- omogoča prenos podatkov in daljinski nadzor preko serijskega RS 232 vmesnika,
- merilni podatki se lahko prenesejo za nadaljnjo analizo,
- vgrajen ima korekcijski filter za neželene efekte,
- vključuje programske module za merjenje ravni zvoka, okrepljeno merjenje ravni zvoka, rezanje ravni zvoka in 1/1 ter 1/3 frekvenčna analiza oktave (Brüel & Kjær, 2014).



Slika A1: Inštrument za merjenje hrupa Brüel & Kjær, tip 2238 Mediator
Vir: Tadič, 2014

CERTIFIKAT O KALIBRACIJI / CERTIFICATE OF CALIBRATION

Certifikat št.: / Certificate No: 275-262-15-1

Stran / Page 1 od / of 22

MERILO / CALIBRATION OF:

Merilnik / Sound Level Meter:	2238-4188-B27126	No: 2163610
Mikrofon / Microphone:	4188	No: 2201026
Datum prejema / Date of receipt:	2015-09-10	
Certifikat / Certificate No:	275-262-15-1	

NAROCNIK / CLIENT:

UL, Fakulteta za strojninstvo
Askerceva cesta 6
1000 Ljubljana
Slovenija

Narocilo št. / Order No: 00335

POGOJI OKOLJA / CALIBRATION CONDITIONS:

Prilava / Preconditioning:	6 hours at 23 °C
Temperatura:	23.5 °C ± 3 °C
Zr. tlak:	98.7 kPa ± 3 kPa
Relativna vlaga:	42.0 %RH ± 20 %RH

KALIBRACIJSKI POSTOPEK / PROCEDURE:


Kalibracija je bila izvedena skladno s standardoma SIST IEC 60651 in 60804 ter internim navodilom ML10N60.
Calibration was performed according to the standards: SIST IEC 60651 and 60804 and internal manual ML10N60.

REZULTATI / RESULTS:

Rezultati in merilna negotovost so navedeni na strani 2. / Results with uncertainty are stated from the page 2 onward.

Datum Kalibracije / Date of Calibration: 2015-09-11

Certifikat izdan / Certificate issued: 2015-09-11


Franc Celestina
Calibration Technician

Digitally Signed by Franc
Celestina
Date: 14.09.2015 08:10


Luka Dolenc
Approved signatory



Digitally Signed by Luka
Dolenc
Date: 2015.09.14 09:54:47
+0200

Reproduction of the complete certificate is allowed. Parts of the certificate may only be reproduced with approval of the Calibration Laboratory

Slika A2: Certifikat o kalibraciji merilnega inštrumenta 11. 9. 2015

Vir: Lotrič meroslovje, 2015

Merjene fizikalne količine:

- L_{AEQ} A-vrednotena ekvivalentna vrednost hrupa v dB,
- L_{CPK} C-vrednotena maksimalna trenutna konična vrednost hrupa v dB, (C-vrednotena raven peak L_C , peak),
- $L_{AF MAX}$ maksimalna vrednost hrupa v časovnem intervalu merjenja v dB, (A-vrednotena raven z dinamiko *fast*).

Ekvivalentna raven hrupa L_{Aeq, T_e} je časovno povprečna raven zvočnega tlaka tekom časovnega intervala T_e , izražena v dB(A):

$$L_{Aeq, T_e} = 10 \log \left(\frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right)$$

- $p_{A(t)}$ je trenutna A-vrednotena raven zvočnega tlaka v paskalih, ki mu je izpostavljen delavec,
- p_0 je referenčni zvočni tlak (20 μ Pa),
- t je čas,
- T_e je dnevno trajanje osebne izpostavljenosti delavca hrupu,
- T_0 je referenčni čas.