

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**METODIČNO ZMANJŠEVANJE ZVOČNE MOČI PRALNEGA
STROJA**

ROK SATLER

VELENJE, 2017

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**METODIČNO ZMANJŠEVANJE ZVOČNE MOČI PRALNEGA
STROJA**

ROK SATLER

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: izr. prof. dr. NIKOLA HOLEČEK

VELENJE, 2017

Številka: 726-8/2015-2
Datum: 28. 5. 2015

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

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

Metodično zmanjševanje zvočne moči pralnega stroja.

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

Methodical reduction of sound power of a washing machine.

Mentor: doc. dr. Nikola Holeček.

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Navodili za izdelavo diplomskega dela.

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



Doc. dr. Boštjan Pokorny
dekan

Visoka šola za varstvo okolja
Trg mladosti 7 | 3320 Velenje
t: 03 898 64 10 | f: 03 89864 13 | e: info@vsvo.si
www.vsvo.si





Izjava o avtorstvu

Podpisani Rok Satler, z vpisno številko 34080072, študent visokošolskega strokovnega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtor diplomskega dela z naslovom Metodično zmanjševanje zvočne moči pralnega stroja, ki sem ga izdelal pod mentorstvom izr. prof. dr. Nikole Holeček.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- da oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili VŠVO;
- da 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 lektorirala prof. Milena Furek;
- da dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- da sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

V Velenju, dne 08.05.2017

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Nikoli Holečku za vso strokovno pomoč pri nastanku diplomskega dela.

Zahvala tudi podjetju Gorenje, d.d., ki mi je omogočilo izdelavo diplomskega dela.

IZVLEČEK

Hrup predstavlja fiziološko negativno obliko zvoka, ki lahko drastično spremeni kakovost bivanja vseh živih bitij. Negativno vpliva na zdravje ljudi in povzroča različne zdravstvene težave. V današnjem tempu življenja imamo za lajšanje življenja zaradi različnih dejavnikov v naših domovih vse več naprav, ki ustvarjajo določen hrup in tako si ljudje sami zmanjšujemo našo kakovost bivanja in s tem povečujemo možnost zdravstvenih zapletov zaradi hrupnosti oz. zvočne moči, ki jih oddajajo naši domači gospodinjski aparati in druge elektronske naprave. V nalogi smo se osredotočili na zmanjševanje zvočne moči oz. hrupnosti pralnega stroja, opravili smo raziskovalne meritve na pralnem stroju, na katerega smo pri prvem sklopu meritev namestili dna iz različnih materialov. V drugem sklopu meritev smo na ohišje elektromotorja pralnega stroja namestili absorpcijski material in zvočno zaveso. Meritve so potekale v akustičnem laboratoriju podjetja Gorenje po precizijski metodi določanja zvočne moči ter po najnovejši metodi akustične holografije, ki nam na osnovi zvočne intenzivnosti prikaže emisijo hrupa in vir hrupa ter njegovo smer. Rezultati so pokazali, da nam je v obeh raziskovalnih meritvah uspelo zmanjšati zvočno moč pralnega stroja.

Ključne besede: hrup, zvok, zvočna moč, akustična holografija, zvočna intenzivnost, pralni stroj.

ABSTRACT

Noise is a negative form of sound, which can drastically change the quality of life for all living beings. It has a negative impact on people's health and causes various health problems. In today's rapid pace of life, we strive to make it easier due to various factors, so we have many devices in our homes that generate certain noise, and that is how we ourselves reduce our quality of living and increase the chance of health complications due to noise and sound power produced by our household appliances and other electronic devices. In the thesis we focused on reducing sound power and noise produced by a washing machine. We conducted two different research measurements of the washing machine; in the first set of measurements we installed bottoms consisting of different materials, and in the second set we installed absorbent material and a sound curtain on the housing of electric motor of the washing machine. Measurements were conducted in the acoustic laboratory of the company Gorenje with precision method for determining sound power, and with the newest method of acoustic holography, which displays the noise emission, source, and its direction, based on the sound intensity. The results revealed we managed to reduce sound power of the washing machine in both research measurements.

Key words: noise, sound, sound power, acoustic holography, sound intensity, washing machine.

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	OPREDELITEV PODROČJA IN OPIS PROBLEMA	1
1.2	NAMEN CILJI IN PREDVIDENE METODE DELA	1
1.3	DELOVNE HIPOTEZE, KI SMO SI JIH ZASTAVILI PRI IZDELAVI DIPLOMSKEGA DELA, SO NASLEDNJE	1
2	SPLOŠNE ZNAČILNOSTI ZVOKA IN HRUPA	2
2.1	KAJ JE ZVOK	2
2.2	IZVORI ZVOKA	2
2.3	OPIS ZVOKA	2
2.4	ZVOČNI TLAK	3
2.5	ZVOČNA MOČ	4
2.5.1	Zvočna intenzivnost	4
2.6	HITROST ZVOČNEGA VALOVANJA OZ. HITROST ZVOKA IN VALOVNA DOLŽINA	4
2.6.1	Valovna dolžina	5
2.7	GOSTOTA ZVOČNEGA VALOVANJA	5
2.7.1	Jakost zvoka	5
2.8	ZAZNAVANJE ZVOKA	6
2.9	ZVOK KOT HRUP	7
2.9.1	Hrup kot moteč dejavnik	7
2.9.2	Učinki hrupa na zdravje	8
2.9.3	Raven hrupa	8
3	GORENJE, D. D.	11
3.1	PREDSTAVITEV PODJETJA IN VAROVANJE OKOLJA	11
3.2	VARSTVO OKOLJA	11
4	ENERGIJSKA NALEPKA	12
4.1	NAMEN ENERGIJSKE NALEPKE	12
4.2	ENERGIJSKA NALEPKA ZA PRALNI STROJ	12
5	MATERIALI IN METODE	14
5.1	PRALNI STROJ	14
5.1.1	Delovanje pralnega stroja	14
5.2	ISO-STANDARDI	15
5.2.1	SIST EN ISO 3745 – Določanje ravni zvočne moči in ravni zvočne energije virov hrupa z zvočnim tlakom – Precizijska metoda za gluhe in polgluhe prostore	15
5.3	METODE ZA DOLOČEVANJE ZVOČNE MOČI OZ. RAVNI HRUPNOSTI GOSPODINJSKIH APARATOV	16
5.3.1	Primerjalna metoda	16
5.3.2	Metoda določanja zvočne moči z meritvijo hitrosti vibracij	16
5.3.3	Določanje zvočne moči po metodi merjenja zvočne intenzivnosti s sondo	16
5.3.4	Določanje zvočne moči po absolutni metodi	17
6	AKUSTIČNI LABORATORIJ IN POLGLUHA KOMORA	18
6.1	MERILNA OPREMA V LABORATORIJU IN MERJENJE ZVOČNE MOČI PO ABSOLUTNI METODI OZ. PRECIZIJSKI METODI	18
6.2	IDENTIFIKACIJA ZVOČNIH VIROV IN DOLOČITEV ZVOČNE MOČI Z AKUSTIČNO HOLOGRAFIJO	19
6.2.1	Merilna oprema za akustično holografijo:	20
	Programska oprema in aplikacije	20
6.2.2	Merilna veriga akustične holografije	20
6.3	DELO V LABORATORIJU	21
6.3.1	Priprava aparatov na meritev	21
6.4	POSTOPEK MERITVE PO ABSOLUTNI METODI	22
6.5	POSTOPEK MERITVE Z AKUSTIČNO HOLOGRAFIJO	23

6.6	OPIS MERITEV HRUPNOSTI HLADILNO-ZAMRZOVALNIH APARATOV IN PRALNIH STROJEV PO ABSOLUTNI METODI DOLOČANJA ZVOČNE MOČI	26
6.7	MERITEV HRUPNOSTI PRALNIH STROJEV PO ABSOLUTNI METODI DOLOČANJA ZVOČNE MOČI	27
7	ZMANJŠEVANJE ZVOČNE MOČI PRALNEGA STROJA	28
7.1	AKTIVNA OZ. PRIMARNA METODA ZMANJŠEVANJA HRUPA.....	28
7.2	SEKUNDARNA PASIVNA METODA ZMANJŠEVANJA HRUPA.....	28
7.2.1	Zmanjševanje prenosa hrupa po konstrukciji z izolacijo	28
8	EKSPERIMENTALNE MERITVE.....	30
8.1	PRIPRAVA NA MERITEV	30
8.2	POTEK MERITEV	31
8.2.1	Rezultati meritev.....	31
8.3	RAZISKOVALNA MERITEV ZVOČNE INTENZIVNOSTI IN ZVOČNE MOČI Z METODO AKUSTIČNE HOLOGRAFIJE.....	32
8.4	POTEK MERITVE IN PODATKI O MERITVI	32
8.5	REZULTATI MERITEV	35
8.6	ZVOČNE SLIKE ZVOČNE INTENZIVNOSTI IN ZVOČNE MOČI MERITEV Z AKUSTIČNO HOLOGRAFIJO V ODVISNOSTI OD FREKVENCE	37
9	ANALIZA MERITEV IN REZULTATOV.....	40
9.1	MERITEV ZVOČNE MOČI PRALNEGA STROJA Z RAZLIČNIM DNOM.....	40
9.2	MERITEV ZVOČNE MOČI Z AKUSTIČNO HOLOGRAFIJO	40
10	RAZPRAVA IN SKLEPI	41
11	POVZETEK	42
12	LITERATURA IN VIRI.....	43

KAZALO SLIK

Slika 1:	Vzdolžno (longitudinalno) valovanje zvoka (Vir: medmrežje 1).....	2
Slika 2:	Zvočni spekter glede na frekvenco (Vir: Toplak, 2010)	3
Slika 3:	Hitrosti zvoka v zraku v odvisnosti od temperature (Vir: medmrežje 2)	5
Slika 4:	Zgradba ušesa (Vir: medmrežje 3)	6
Slika 5:	Slišno frekvenčno območje človeškega sluha (Vir: Čudina, 2001).....	7
Slika 6:	Krivulje vrednotenja v odvisnosti od frekvence (Vir: Križaj, 2009).....	9
Slika 7:	Raven hrupa korelacija med zvočnim tlakom in ravno zvočnega tlaka (Vir: Okolijski hrup, 2012).....	9
Slika 8:	Raven zvočne moči (Vir: medmrežje 4)	10
Slika 9:	Energijska nalepka za pralni stroj (Vir: medmrežje 7)	13
Slika 10:	Pralni stroj Gorenje W 8824 (Vir: medmrežje 8)	15
Slika 11:	Sonda za merjenje zvočne intenzivnosti (Vir: Lasten).....	17
Slika 12:	Ključne komponente aplikacije PULSE za določitev zvočne moči po precizijski metodi (Vir: Lasten)	19
Slika 13:	Mikrofoni razporejeni po ovojnici polkrogle v pol gluhi sobi (Vir: Lasten)	19
Slika 14:	Ključne komponente za metodo akustične holografije (Vir: Lasten)	20
Slika 15:	Meritev kompresorske enote hladilnika z akustično holografijo (Vir: Lasten)	21
Slika 16:	Pripravljen HZA v polgluhi sobi na meritev po absolutni metodi določanja zvočne moči (Vir: Lasten)	21
Slika 17:	Graf časovne meritve zvočne moči mencanja pralnega stroja (Vir: Lasten)	22
Slika 18:	Graf stvarne meritve zvočne moči 1/3 oktava 10 s črpanje vode PS (Vir: Lasten)	23
Slika 19:	Nastavitve parametrov za izvedbo meritve (Vir: Lasten)	24
Slika 20:	Prikaz parametrov za preračun in analizo meritve (Vir: Lasten).....	24
Slika 21:	Prenos meritve v okno za prikaz rezultatov (Vir: Lasten)	25
Slika 22:	Prikaz rezultatov meritve (Vir: Lasten)	25
Slika 23:	Prikaz dveh zvočnih virov na podlagi meritve zvočne intenzivnosti z akustično holografijo (Vir: Lasten).....	25

Slika 24: Prikaz meritev hladilnika z vseh strani z akustično holografijo (Vir: Lasten)	26
Slika 25: Hladilno-zamrzovalni aparat, pripravljen za meritev zvočne moči (Vir: Lasten).....	27
Slika 27: Univerzalni elektromotor (Vir: Ljubojević, 2008).....	28
Slika 28: Glavni sestavni deli in viri hrupa pralnega stroja (Vir: Ljubojević, 2008)	29
Slika 29: Pripravljen merjenec na meritev zvočne moč (Vir: Lasten)	30
Slika 30: Primerjave vseh meritev (Vir: Lasten)	31
Slika 31: Izolirano dno iz pločevine (Vir: Lasten)	32
Slika 32: Leva stranica PS, na kateri so bile opravljene meritve (Vir: Lasten).....	33
Slika 33: Meritev zvočne intenzivnosti z akustično holografijo na PS, izoliran motor PS (Vir: Lasten).....	34
Slika 34: Časovni zapis signala PS brez izolacije – ožemanje (Vir: Lasten)	34
Slika 35: Časovni zapis signala PS z izolacijo – ožemanje (Vir: Lasten)	34
Slika 36: Časovni zapis signala PS z zvočno zaveso– ožemanje (Vir: Lasten).....	35
Slika 37: Prikaz zvočne slike merjenca z metodo akustične holografije (Vir: Lasten)	35
Slika 38: Nameščena zvočna zavesa okoli ohišja elektromotorja PS (Vir: Lasten)	36
Slika 39: Graf primerjave zvočne moči pralnega stroja po posameznih frekvencah (Vir: Lasten).....	36
Slika 40: Graf primerjave skupne zvočne moči po posameznih frekvencah leva stran pralnega stroja (Vir: Lasten)	37
Slika 41: Zvočna slika akustične holografije pralnega stroja levo brez izolacije, v sredini z izolacijo, desno z zvočno zaveso na ohišju elektromotorja 500 Hz (Vir: Lasten)..	37
Slika 42: Zvočna slika akustične holografije 1.000 Hz (Vir: Lasten)	38
Slika 43: Zvočna slika akustične holografije 1.600 Hz (Vir: Lasten)	38
Slika 44: Zvočna slika akustične holografije 2.000 Hz (Vir: Lasten)	38
Slika 45: Zvočna slika akustične holografije 2.500 Hz (Vir: Lasten)	38
Slika 46: Zvočna slika akustične holografije 3.150 Hz, s pripadajočima grafoma trenutne in skupne zvočne moči (Vir: Lasten)	39

KAZALO TABEL

Tabela 1: Rezultati raziskovalnih meritev zvočne moči pralnega stroja v režimu ožemanja ..	31
Tabela 2: Primerjava zvočne moči	36
Tabela 3: Primerjava skupne zvočne moči (leva stran pralnega stroja)	37

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PODROČJA IN OPIS PROBLEMA

Hrup predstavlja težavo, ki se je ljudje dolgo niti nismo zavedali. Dejstvo je, da z napravami za lažje življenje ustvarjamo določeno količino hrupa, s tem pa smo ustvarili pravo civilizacijsko težavo. Dejstvo je, da imamo ljudje radi nadzor nad dejavniki svojega življenja in nadzor hrupa tu ni nobena izjema. Potreba po nadzoru hrupa se je pojavila zaradi zavedanja, da ohranimo čistejšo, kakovostno in ljudem prijaznejšo okolje. Zaradi različnih dejavnikov prihaja, do vse strožjih smernic, priporočil in standardov na področju hrupa, ki določajo največje ravni hrupa za različne izdelke. Pri tem je seveda vključen tudi ekonomski vidik zaradi tišjih in bolj prodajanih izdelkov. Podjetja, ki proizvajajo in prodajajo različne vrste aparatov, vlagajo velika finančna sredstva v raziskave in razvoj čim tišjih in čim mirnejših oz. konstrukcijsko bolj togih aparatov, saj to predstavlja konkurenčno prednost na dandanašnjem zahtevnem prodajnem trgu. Prav tako raste tudi ozaveščenost ljudi glede hrupnosti gospodinjskih in drugih aparatov, za kar je poskrbela različna evropska zakonodaja na področju hrupnosti naprav, ki je z določenimi vzvodi približala oz. poenostavila področje hrupa laikom. Tukaj je mišljena predvsem uvedba energetske nalepke na strojih in napravah, ki omogoča preprosto spremljanje oz. odčitavanje vrednosti hrupa in drugih parametrov za dotične naprave pred nakupom izdelka. Če pa želimo razumeti pojem hrupa, moramo najprej razumeti pojem zvoka, ki je temelj vsega našega dojemanja izražanja čustev in v bistvu prvinska interakcija med ljudmi in naša prvinska komunikacija.

1.2 NAMEN CILJI IN PREDVIDENE METODE DELA

Diplomska naloga je plod dela v akustičnem laboratoriju v podjetju Gorenje. Namen in cilj diplomskega dela je s pomočjo opravljenih meritev zvočne moči in zvočne intenzivnosti prikazati možne načine zmanjševanja hrupnosti gospodinjskih aparatov z različnimi metodologijami in tehnikami, ki se uporabljajo na področju obvladovanja akustike gospodinjskih aparatov. Osredotočili smo se na meritev in zmanjševanje zvočne moči pralnega stroja, opisana je tudi meritev zvočne moči hladilno-zamrzovalnega aparata. V nalogi je prav tako predstavljen Standard ISO 3745 in pomen energetske nalepke, ki pomembno pripomore k ozaveščanju kupca aparata o njegovi energetsko in posledično ekološki učinkovitosti.

Pri nastanku diplomskega dela smo uporabili deskriptivno metodo raziskovanja, s študijem domače in tuje literature in različnih dokumentov s področja akustike, prav tako pa smo uporabili eksperimentalno metodo, kjer smo s pomočjo metod zmanjševanja zvočne moči in raziskovalnih meritev zvočne moči po absolutni metodi ter metodi akustične holografije izmerili zvočno moč pralnega stroja.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE, KI SMO SI JIH ZASTAVILI PRI IZDELAVI DIPLOMSKEGA DELA, SO NASLEDNJE

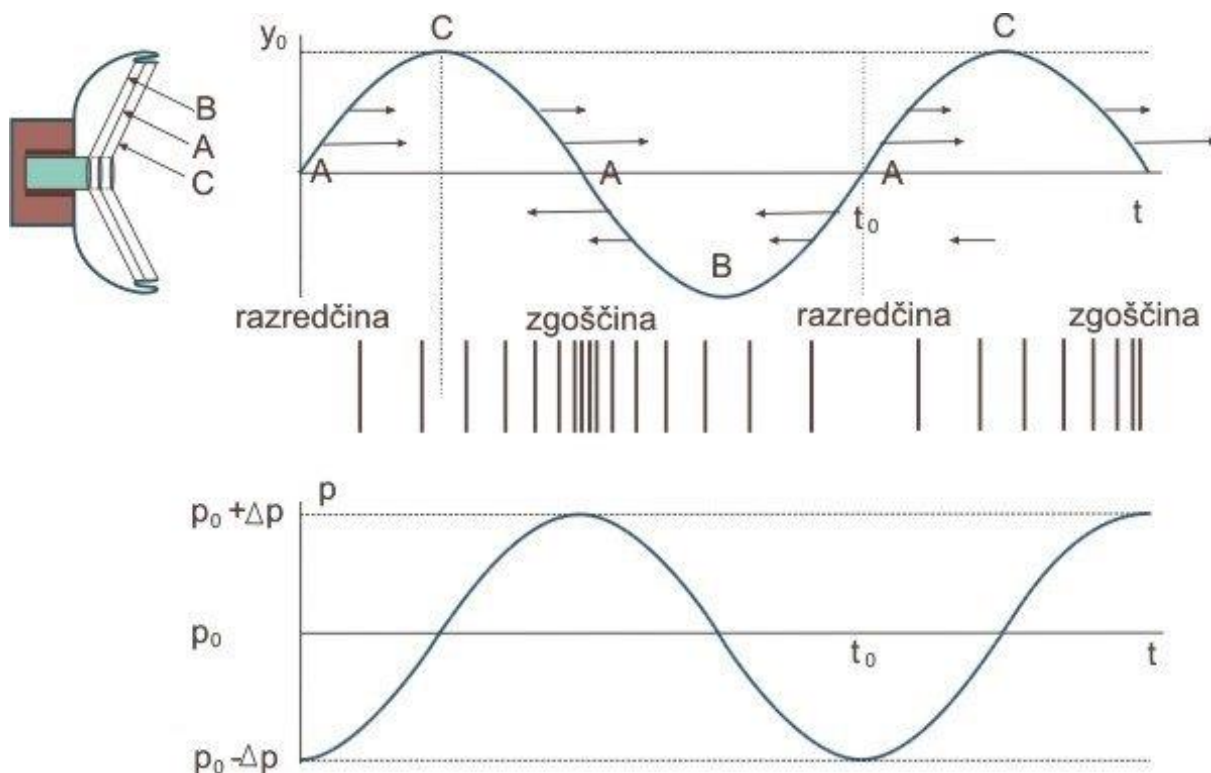
H1: S spremembo materiala dna pralnega stroja bomo dosegli zmanjšanje zvočne moči pralnega stroja.

H2: Z aplikacijo dušilnih oz. absorpcijskih materialov na elektromotorju bomo zmanjšali zvočno moč pralnega stroja.

2 SPLOŠNE ZNAČILNOSTI ZVOKA IN HRUPA

2.1 KAJ JE ZVOK

Zvok je mehanska energija, ki nastane, ko izvor zraka povzroči gibanje molekul elastičnega medija, v katerem se delci širijo v obliki vzdolžnega valovanja. Znano je, da se zvočno valovanje oz. njegova hitrost spreminja glede na vrsto medija, v katerem prehaja. V zraku je hitrost valovanja 340 m/s, v vodi je hitrost valovanja 1.500 m/s, v trdnih snoveh pa je hitrost valovanja različna (Bilban 2011).



Slika 1: Vzdolžno (longitudinalno) valovanje zvoka (Vir: medmrežje 1)

2.2 IZVORI ZVOKA

Zvok lahko ustvarimo na različne načine. Predstavili bomo najpreprostejše izvore zvoka.

- **Nihanje telesa:** na primer membrane na bobnu oz. strune na kitari, saj pri tem pride do spremembe tlaka v okolici, to motnjo pa zaznamo kot zvok.
- **Govorjenje in petje:** za ljudi najpogostejši proces proizvodnje zvoka, ki se ustvari, ko izdihan zrak zaniha glasilke, spremeni se zračni pretok in se to nihanje se prenese v žrelno, ustno in nosno votlino, kjer se zvok značilno obarva in oblikuje vokale. Nato s pomočjo jezika in zob ter ustnic tvorimo različne konzonante, takšen zvok se nato širi v okolico (Gosak 2005).

2.3 OPIS ZVOKA

Zvok lahko opišemo s frekvenco in z zvočnim tlakom. Frekvenca zvoka nam podaja število nihajev v eni sekundi, medtem zvočni tlak podaja tlačno amplitudo zvočnega nihanja (Šoster 2010).

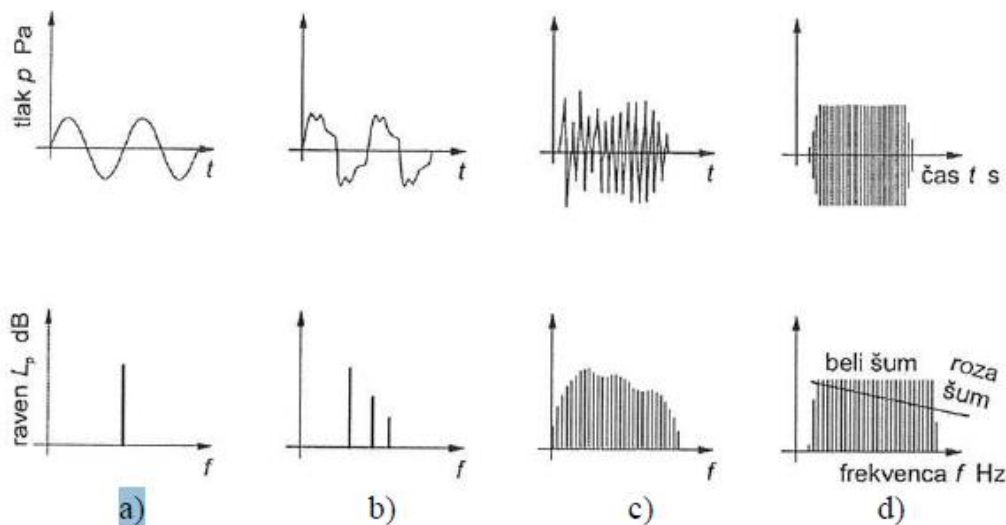
$$t_0 = \frac{1}{f} \quad (s^{-1}) \quad (1)$$

t_0 – perioda podana v s^{-1} upoštevamo, da sta frekvenca in perioda recipročni.
 f - frekvenca se podaja v s^{-1} oziroma v Hz (Hertz), poimenovano po nemškem fiziku.

1 Hz je enako 1 dogodek (nihaj) na sekundo.

Zvoke pa lahko ločimo glede frekvence na:

- ton: zvok z eno samo frekvenco, nihanje je sinusno, ton lahko oblikujejo glasbene vilice (slika 2a);
- zven: zvok z nekaj frekvencami, nihanje je periodično, a ni sinusno (slika 2b);
- šum: zvok z velikim številom nepovezanih frekvenc, nihanje ni periodično (slika 2c, d);
- oktava: je frekvenčni interval, katerega mejni frekvenci f_1 in f_2 sta v razmerju $\frac{f_1}{f_2} = 2$;
- terca: je frekvenčni interval širine ene tretjine oktave (Toplak 2010).



Slika 2: Zvočni spekter glede na frekvenco (Vir: Toplak, 2010)

2.4 ZVOČNI TLAK

Zvočni tlak je definiran kot sprememba količine zračnega tlaka, ki je povzročen s strani vira zvoka, kar zaznamo kot glasnost zvoka. Z zvočnim tlakom opisujemo zvočno polje na izbranem in določenem merilnem mestu. Z ravni zvočnega tlaka prikažemo amplitudo nihanja zvočnega tlaka, s pomočjo katere lahko opisujemo človeško zaznavanje zvoka (Prezelj 2012).

Če udarjamo na boben in nanj udarimo z manjšo močjo, se površina premakne za zelo majhno razdaljo; to povzroči majhne spremembe tlaka, kar se odraža v šibkem zvoku. Ko pa na boben udarimo močnejše, se površina bobna premakne dlje od začetnega položaja, kar posledično vodi v povečanje tlaka in glasnejši zvok. Zvočni tlak je odvisen od okolice, v kateri je vir. Zvok bobna je v majhnem prostoru glasnejši od tistega v odprtem prostoru, čeprav smo od vira enako oddaljeni, upoštevati pa je potrebno tudi oddaljenost sprejemnika od vira, saj moč zvoka upada z oddaljenostjo od vira. Dlje kot gremo od vira, manjša bo zaznava zvoka.

Enačba za izračun ravni zvočnega tlaka:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (dB). \quad (2)$$

Desetkratni logaritem z osnovo 10 razmerja kvadrata zvočnega tlaka p s kvadratom referenčne vrednosti tlaka p_0 izražen v dB, kjer je referenčna vrednost $p_0 = 20 \mu Pa$ (ISO 3745).

2.5 ZVOČNA MOČ

Zvočna moč je merilo zvočne energije, ki jo seva določen zvočni vir (Holeček 2003a).

Zvočne moči ne moremo meriti neposredno, lahko pa jo pridobimo iz meritve ravni zvočnega tlaka. Zvočni tlak je fizikalna količina, s katero opišemo zvok oziroma jakost zvočnega polja. Zvočni tlak je veličina, s katero opišemo človeško zaznavanje zvoka. Za opisovanje karakteristike emisije zvočnega vira pa ni primerna, saj je odvisna od transmisije, to pomeni, od razdalje vira do opazovalca in od merilne okolice.

Moč zvočnega vira je edini praktični način za kvantificiranje zvočnega vira. Zvočna moč vira je neodvisna od okolice in od razdalje opazovalca.

Zvočna moč in zvočni tlak sta merjena v logaritmičnih enotah, kjer je referenčna vrednost 0 dB zvočne moči enaka 1pW (pikowatt = 10^{-12} W) (Brüel & Kjaer 2012).

V veliki večini stroji in naprave delujejo pod različnimi pogoji obratovanja, zato je treba meritve zvočne moči opravljati pri tipičnih obratovalnih pogojih, ki jih predpisujejo standardi in veljavna zakonodaja (Prezelj 2012).

Splošna enačba za izračun ravni zvočne moči:

$$L_w = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad (dB) \quad (3)$$

Desetkratni logoritem z osnovo 10 razmerja med zvočno močjo P , ki jo seva zvočni vir in referenčno vrednostjo zvočno močjo P_0 , izraženo v dB, pri čemer je referenčna vrednost $P_0 = 1$ pW ((ISO 3745).

2.5.1 Zvočna intenzivnost

Zvočna intenzivnost je pretok akustične energije skozi enoto površine v enoti časa. Je vektorska veličina in nam s tem prikaže smer (Holeček 2003). Medtem ko sta zvočni tlak in zvočna moč skalarni veličini, zvočno intenzivnost izračunamo z enačbo:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi r^2} \quad \left(\frac{W}{m^2}\right), \quad (4)$$

kjer je W moč v vatih, r radij sferične merilne površine v m^2 .

2.6 HITROST ZVOČNEGA VALOVANJA OZ. HITROST ZVOKA IN VALOVNA DOLŽINA

Hitrost razširjanja zvoka je odvisna predvsem od medija, po katerem zvok oz. zvočno valovanje potuje. Po zraku lahko zvok potuje od 330 do 350 m/s, odvisno od zračnega tlaka, temperature in delcev v zraku. Ker pa je zvok vrsta valovanja, lahko zanj uporabimo valovno enačbo:

$$c = f\lambda \quad \left(\frac{m}{s}\right), \quad (5)$$

kjer je c hitrost valovanja, f frekvenca in λ valovna dolžina valovanja, kar pomeni razdaljo med dvema zaporednima delcema valovanja, ki sta v fazi. Hitrost zvočnega valovanja je podana v m/s (Šoster 2010).

Hitrost zvoka ali hitrost širjenja akustične motnje skozi tekočino je funkcija termodinamičnih veličin stanja in tudi sama predstavlja veličino stanja. Podana je z naslednjo enačbo:

$$c = \sqrt{\frac{kp}{\rho}} = \sqrt{kRT} \quad \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right), \quad (6)$$

pri čemer je k razmerje specifičnih toplot pri konstantnem tlaku in volumnu, ρ je gostota medija kg/m^3 , R plinska konstanta J/kg K , T absolutna temperatura K , p tlak v Pa (Holeček 2003).

2.6.1 Valovna dolžina

Valovna dolžina zvočnega valovanja je razdalja med analognima točkama valovanja in je odvisna od vira valovanja in od medija, v katerem se valovanje širi in je kvocient med hitrostjo zvoka in frekvenco zvoka in je podana z enačbo:

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT \quad (\text{m}), \quad (7)$$

pri čemer je c hitrost zvoka in T čas, ki je potreben za celoten cikel oz. nihajni čas (Holeček 2003).

ϑ [°C]	c [m/s]	ρ [kg/m ³]	Z [N·s/m ³]
-10	325,4	1,341	436,5
-5	328,5	1,316	432,4
0	331,5	1,293	428,3
+5	334,5	1,269	424,5
+10	337,5	1,247	420,7
+15	340,5	1,225	417,0
+20	343,4	1,204	413,5
+25	346,3	1,184	410,0
+30	349,2	1,164	406,6

Slika 3: Hitrosti zvoka v zraku v odvisnosti od temperature (Vir: medmrežje 2)

2.7 GOSTOTA ZVOČNEGA VALOVANJA

Gostota zvočnega valovanja (j) nam poda, kolikšna moč tlačnih zvočnih valov deluje na 1 m^2 površine sprejemnika zvoka. Primer: bobnič v našem ušesu:

$$j = \frac{P}{S} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right), \quad (8)$$

kjer je P (W) moč in S (m^2) površina sprejemnika zvoka (Šoster 2010).

2.7.1 Jakost zvoka

S pomočjo gostote zvočnega valovanja lahko izračunamo jakost zvoka (J), ki je v logaritemski odvisnosti od gostote (j).

$$J = 10 \log \frac{j}{j_0} \quad (\text{dB}) \quad (9)$$

Z j_0 je označena spodnja meja slišnosti oz. referenčna vrednost, kar za zdravega mladega človeka pomeni $j_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, medtem ko še dopustna zgornja meja gostote zvočnega tlaka znaša 1 W/m^2 . Obe vrednosti sta orientacijski in sta odvisni od frekvence in zvočnega valovanja.

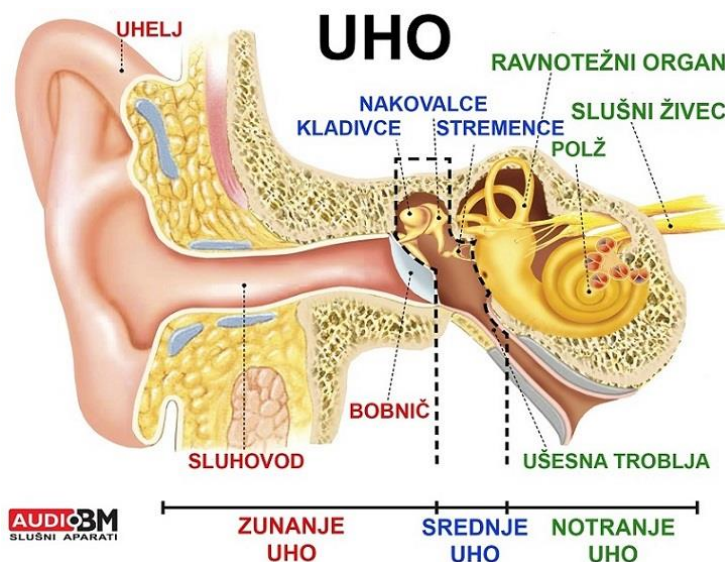
Gostota zvočnega polja ter z njo tudi jakost zvoka sta odvisni tudi od razdalje med virom in sprejemnikom. Za točkast vir, ki oddaja zvok simetrično v vse smeri, lahko za površino, po kateri se zvok razširja, uporabimo kar površino krogelne lupine, po kateri se zvok razširja s polmerom r . Za takšen vir zvočna gostota pada s kvadratom razdalje.

Jakost zvoka je sicer vpeljana kot brezdimenzijska količina, ampak jo označujemo z mersko enoto (dB) decibel, ki je ime dobila po A. G. Bellu, izumitelju telefona. Referenčna vrednost oziroma meja slišnosti je pri 0 dB, zgornja meja oz. meja bolečine pa je pri vrednosti 120 dB (Šoster 2010).

2.8 ZAZNAVANJE ZVOKA

Ljudje imamo razvita različna čutila. V tem pogledu čutilo za zaznavo zvoka ni nobena izjema. Človeško uho je specifičen receptor, ki sprejema vzdolžno valovanje zraka. Zvok se širi v obliki sferičnih valov, tako da v določenem trenutku potisne oz. privlači zrak v svoji okolici in tako ustvarja plasti z različnim tlakom, kar pomeni, da se ustvari zvočni val.

Zunanje uho sprejema zvočno valovanje, ki nato potuje po sluhovodu do bobniča. Ta posreduje tresljaje slušnim koščicam: kladivcu, nakovalcu in stremencu, te pa jih skozi membrano ovalnega okenca posredujejo v notranje uho, v tekočino, ki je v polžu. Zatresejo se membrane osrednjega kanala, še zlasti je tu pomembno, da se zatrese osrednja membrana, na kateri so slušne celice. Ob stiku dlačic teh celic s krovno membrano se sproža električni impulz, ki ga nato slušni živec prenese do slušnega središča v velikih možganih. Lahko rečemo, da je proces sluha sodelovanje zunanjega srednjega in notranjega ušesa ter živčnega sistema in možganov.

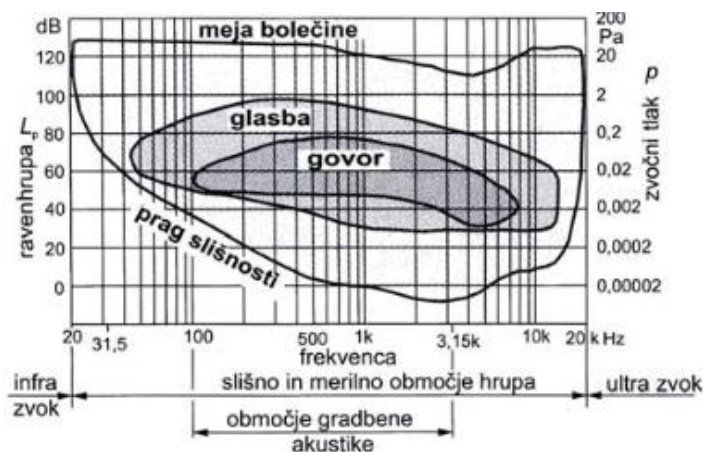


Slika 4: Zgradba ušesa (Vir: medmrežje 3)

Človeško uho lahko zazna najrazličnejše zvoke in njihove lastnosti, ampak to lahko stori le v določenem obsegu frekvenc in gostote zvočnega valovanja. Povprečen zdrav človek sliši frekvenčni spekter od 20 Hz do 20 kHz. V frekvenčnem območju pod 20 Hz je tako imenovano območje **infra zvoka**, frekvenčno območje nad 20 kHz pa imenujemo območje **ultra zvoka**.

To frekvenčno območje je še slišno za določene živali (žuželke, netopirje, delfine, slone, pse ...).

Najboljši sluh imajo otroci, saj se z leti človeški spekter oža, kar pomeni, da nam prožnost membrane slabi. Uho najbolje zaznava zvoke v frekvenčnem območju med 1.000 in 4.000 Hz, najbolj je občutljivo pri 1.000 Hz. Tu je tudi definirana meja slišnosti 10^{-12} W/m^2 in meja bolečine pri 10 W/m^2 . V primeru, ko imamo korelacijo med dB in Pa, je meja slišnosti $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$, medtem ko je meja bolečine pri 20 Pa, slika 5 (Šoster 2010).



Slika 5: Slišno frekvenčno območje človeškega sluha (Vir: Čudina, 2001)

2.9 ZVOK KOT HRUP

Hrup je vrsta zvoka, ki je sestavljen iz množice tesno povezanih zvokov, ki so si različni po frekvenci, jakosti in faznem premiku. V našem vsakdanjem življenju hrup povzroča nemir, škodo, gre za negativno obliko zvoka. Škodljivo vpliva na okolje in ljudi, povzročajo ga različne naprave, stroji, transportna sredstva, prav tako tudi naprave, ki jih imamo v naših domovih. Pri raziskavi, ki je bila opravljena o obremenjenosti prebivalstva s hrupom, je bilo ugotovljeno, da je največji povzročitelj hrupa cestni promet (60 %), v raziskavi je bilo ugotovljeno, da je kar 20 % ljudi izpostavljenih nesprejemljivim ravnom hrupa. Izpostavljeni so predvsem tisti, ki se nahajajo v bližini mestnih vpadnic, in v mestnih središčih, ki so s hrupom zelo obremenjena. Ker pa hrup seveda ni zaželen, ga poskušamo zmanjšati na najnižjo možno raven (Šoster 2010).

2.9.1 Hrup kot moteč dejavnik

Škodljivi vplivi hrupa na ljudi so odvisni od različnih dejavnikov:

- ravni hrupa;
- vrste hrupa;
- frekvence hrupa;
- trajanja izpostavljenosti;
- oddaljenosti od vira hrupa;
- dejavnosti, ki jo izvajamo;
- značilnosti posameznika in njegovega subjektivnega dožemanja hrupa.

Hrup je lahko škodljiv tudi zaradi neakustičnih dejavnikov:

- asociativne vsebine zvoka;
- preteklih izkušenj;
- potrebnosti hrupa;
- pripravljenosti na hrup;
- dejavnosti poslušalca;

- od prostora, v katerem smo.

2.9.2 Učinki hrupa na zdravje

Poznano je, da hrup negativno vpliva na zdravje ljudi, njegove učinke na zdravje pa lahko razdelimo na primarne, sekundarne in terciarne učinke.

Primarni učinki

Pojavijo se med izpostavljenostjo hrupu: zbujanje iz spanja zaradi hrupa v okolici, ob nenadnem hrupu ali zaradi kopičenja posledic skozi hrup cele noči, t. i. kumulativne posledice (Bilban 2011).

Sekundarni učinki

Pojavijo se med izpostavljenostjo hrupu in trajajo še po prenehanju hrupa, pojavi se razdražljivost zaradi motene komunikacije, oz. se pojavijo šele po prenehanju delovanja hrupa, predvsem utrujenosti zaradi motenj spanja zaradi hrupa (Bilban 2011).

Terciarni učinki

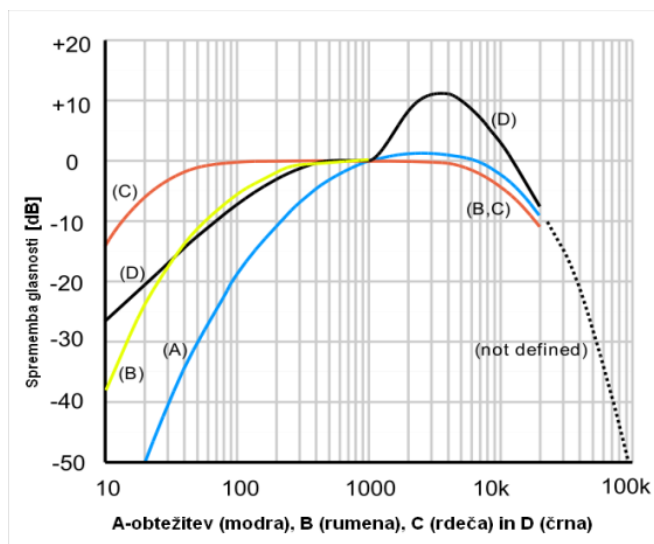
Primarne in sekundarne učinke lahko določen čas še toleriramo, po daljšem obdobju pa ti povzročijo, da se nam pojavijo določene bolezni, kot so kronična razdražljivost in motnje v obnašanju (Bilban 2011).

Čezmerni hrup povzroča razne zdravstvene težave, lahko pride do poškodbe sluha, utrujenost vpliva na zbranost pri delu, študiju, počitku, še posebej problematičen je hrup impulzivnega značaja, ki vpliva na spremembo psihofizičnega stanja in povzroča prestrašenost, razdražljivost, motnje v krvnem obtoku, vnetje želodčne sluznice, povišan krvni tlak ipd. (Lesjak 2011).

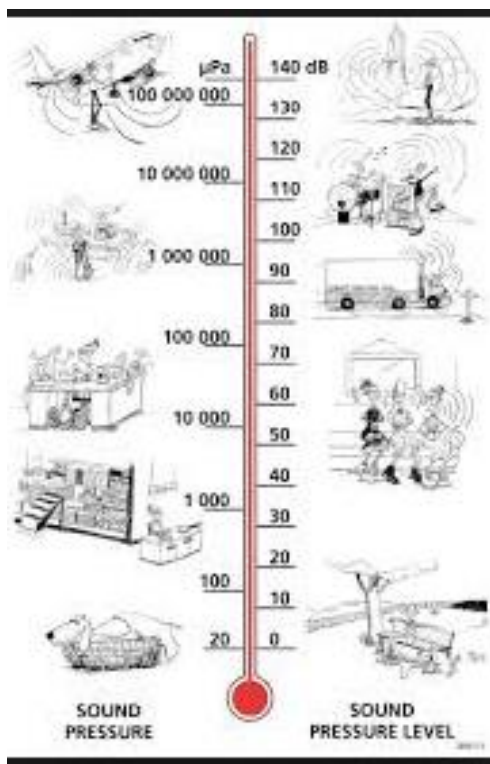
2.9.3 Raven hrupa

Raven hrupa oziroma glasnost hrupa izražamo v decibelih. Vrednosti ravni hrupa lahko pridobimo s pomočjo meritev zvočnega tlaka, zvočne moči in zvočne intenzivnosti. Občutljivost človeškega ušesa na določene zvoke je odvisna od frekvence zvoka, določene frekvence slišimo bolje kot druge. Če slišimo dva zvoka, ki sta enako glasna, vendar imata različno visoka tona, je mogoče, da bomo en zvok dojemali glasneje kot drugega. To se zgodi zaradi dojemanja zvočne frekvence pri 1.500 Hz, ki je veliko boljše kot npr. pri 300 Hz. To posebnost upoštevamo pri meritvah ravni hrupa z uporabo posebnega filtra A, ki je prirejen tako, da se odziva na zvok vključno s frekvenco približno tako, kot zvok zaznava naše uho (Tratnik 2009).

Poznamo še tri filtre, B, C in D, pri čemer gre za območje večje občutljivosti na določene frekvence. Raven hrupa pa označimo dB (A), dB (B), dB (C), dB (D), odvisno od tega, kateri filter uporabimo. Najpogosteje se seveda uporablja dB (A) obtežitev, B in C obtežitvi sta opuščena standarda pri meritvah hrupa, D-obtežitev oz. ovrednotenje pa se uporablja v letalstvu (slika 6).



Slika 6: Krivulje vrednotenja v odvisnosti od frekvence (Vir: Križaj, 2009)



Slika 7: Raven hrupa korelacija med zvočnim tlakom in ravno zvočnega tlaka (Vir: Okolijski hrup, 2012)

izvir zvoka	zvočna moč na m ² , pri 1 kHz	gladina hrupa	kolikokrat več kot na meji slišnosti
- meja slišnosti -	10 ⁻¹² W/m ²	0 dB	izhodišče (10 ⁻¹² W/m ²)
šelest listja	10 ⁻¹¹ W/m ²	10 dB	10 (desetkrat)
šepet	10 ⁻¹⁰ W/m ²	20 dB	100 (stokrat)
normalni pogovor	10 ⁻⁶ W/m ²	60 dB	10 ⁶ (milijonkrat)
prometna ulica	10 ⁻⁵ W/m ²	70 dB	10 ⁷ (desetmilijonkrat)
sesalnik za prah	10 ⁻⁴ W/m ²	80 dB	10 ⁸ (stomilijonkrat)
velik orkester pri <i>tutti fff</i>	≈ 6,3 × 10 ⁻³ W/m ²	≈ 98 dB	≈ 6,3 · 10 ⁹ (6,3-milijardokrat)
walkman na maksimum	0,01 W/m ²	100 dB	10 ¹⁰ (desetmilijardokrat)
prva vrsta rock koncerta	0,1 W/m ²	110 dB	10 ¹¹ (stomilijardokrat)
meja bolečine	10 W/m ²	130 dB	10 ¹³ (desetbilijonkrat)
vzlet reakcijskega letala	100 W/m ²	140 dB	10 ¹⁴ (stobilijonkrat)
predrtje bobniča!	10 000 W/m²	160 dB	10¹⁶ (desettisočbilijonkrat)

Slika 8: Raven zvočne moči (Vir: medmrežje 4)

3 GORENJE, D. D.

3.1 PREDSTAVITEV PODJETJA IN VAROVANJE OKOLJA

Gorenje predstavlja največjega slovenskega proizvajalca gospodinjskih aparatov, ki je predvsem izvozno usmerjen. Ima več kot 60-letno tradicijo in je s svojo blagovno znamko sinonim za kakovost in prepoznavnost Slovenije v svetu. Njegova ustanovitev sega v leto 1950. Spada med osem največjih proizvajalcev gospodinjskih aparatov v Evropi (medmrežje 5). Ima več kot deset tisoč zaposlenih. Ukvarja se s proizvodnjo in z razvojem gospodinjskih aparatov, informacijske in industrijske opreme, prav tako v njihovo paletu izdelkov spadajo različne elektro komponente (Čatak 2015). Vizija in poslanstvo podjetja je izdelava kakovostnih, vrhunsko oblikovanih, okolju prijaznih in dovršenih izdelkov za dom. Njihova osredotočenost temelji na povečevanju zadovoljstva potrošnika, ob tem pa na družbeno odgovoren način ustvarjajo vrednost za lastnike podjetja, zaposlene in druge udeležence v podjetju (Lesjak 2011).

3.2 VARSTVO OKOLJA

Varstvo okolja je v skladu z načeli trajnostnega razvoja v podjetju pomemben del družbene odgovornosti ter je vključeno v celoten obseg načrtovanja in odločitve. Načelo trajnostnega razvoja obsega okolijsko poslovanje celotnega življenjskega cikla izdelka, od razvoja, izdelave, uporabe ter ravnanja z izdelkom po njegovi uporabi. Stalnica v podjetju je uvajanje okolju prijaznih najboljših razpoložljivih tehnik in metod, ki imajo velik vpliv na okolje in na sam dvig produktivnosti v podjetju. Leta 2004 je Gorenje nadgradilo sistem ISO 14001 s sistemom, ki je predpisan s strani evropske sheme EMAS in uspešno opravilo vse potrebne presoje za uveljavitev omenjenega standarda. Oba sistema sta namenjena ocenjevanju in izboljševanju okolijskega učinka, v podjetjih, prav tako sta namenjena informiranju javnosti in drugih zainteresiranih skupin na tem področju.

Pomembne vplive podjetja na okolje so prvič objavili leta 2000, po vpeljavi sistema EMAS pa so podatki o vplivih na okolje objavljeni v letnih Okolijskih izjavah. Po izkušnjah je bilo ugotovljeno, da sta oba sistema, ISO 14001 in EMAS, najprimernejše vodilo za učinkovito okolijsko poslovanje v skladu, ki ga predpisuje okolijska zakonodaja. Varstvo okolja je za celotno Gorenje vodeno centralno v samostojnem oddelku in ima svetovalno, nadzorno, razvojno ter operativno vlogo v celotni skupini Gorenja. Pod varovanje okolja pa spada tudi primerno akustično okolje. Hrup namreč negativno vpliva na zdravje ljudi in drugih živih bitij. Zato ima Gorenje svoj akustični laboratorij, kjer se opravljajo meritve hrupa oz. zvočne moči gospodinjskih aparatov, saj je pomembno, kako hrupni so aparati, ki jih imamo v naših domovih, prav tako pa tišji gospodinjski aparati predstavljajo konkurenčno prednost na trgu (Lesjak 2011).

4 ENERGIJSKA NALEPKA

4.1 NAMEN ENERGIJSKE NALEPKE

Poraba energije v gospodinjstvih predstavlja kar četrtno vseh energetske potreb v Evropi. Vse višji življenjski standard, pogosti nakupi električnih naprav, želja po hlajenju, ogrevanju prostorov s klimatskimi napravami so med največjimi vzroki za porast porabe električne energije, k tej skupini prištevamo še naprave za zabavno elektroniko in računalnike. Vsekakor je znano, da električno energijo porabljajo številni drugi aparati na drugih področjih, od industrije do storitvenega sektorja, kjer k povečanju najbolj prispeva rast gospodarske dejavnosti. Za omejitev negativnih posledic povečane uporabe aparatov, ki so priključeni v električno omrežje, je evropska komisija izvedla dva ukrepa:

- z uvedbo energijskih nalepk;
- s postavitvijo minimalnih zahtev po učinkovitosti že v fazi načrtovanja.

Sistem označevanja z energetsko nalepko je bil v Evropi vzpostavljen pred 20 leti, skozi leta pa se je nadgradil glede porasta porabe in razvoja izdelkov. Dodajali so se novi aparati in novi energijski razredi. Večje spremembe pa so bile uvedene z direktivo 2010/30/EU.

Glavne spremembe, ki so bile uvedene z novo direktivo, so:

- merila, da izdelek doseže mejo določenega razreda, so prilagodili tehnološkemu razvoju;
- energijska nalepka je dobila novo grafično podobo, predstavljena je bila različica, ki je neodvisna od jezika, namesto besedila vsebuje slike;
- pri številnih izdelkih so dodani novi energetski razredi A+ do A+++, pri čemer se zgodi, da izdelkov nižjih razredov ni več v prodaji;
- energijska nalepka se širi na vse več izdelkov, v uporabi je že za televizorje, grelnike vode, kotle itd. (medmrežje 6).

Energijske nalepke so obvezne za naslednje izdelke:

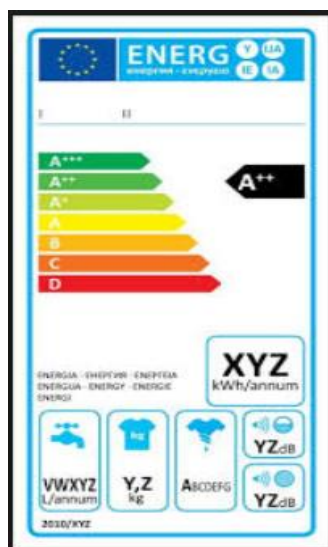
- svetila in svetilnike,
- klimatske naprave,
- televizorje,
- sušilne stroje,
- pralne in pomivalne stroje,
- pečice,
- sesalnike,
- hladilnike,
- pnevmatike.

4.2 ENERGIJSKA NALEPKA ZA PRALNI STROJ

Na energijski nalepki za pralni stroj so naslednji podatki:

- barvna skala z dodanimi energijskimi razredi učinkovitosti od D do A+++, kar pomeni: D najmanj učinkovit in A+++ najbolj učinkovit, tudi do 40 % manjša poraba električne energije od razreda A;
- letna poraba energije;
- letna poraba vode;
- maksimalna zmogljivost stroja pri vložnem perilu v boben prikazuje majica;
- učinek ožemanja, ki ga prikazuje majica med ožemanjem;
- glasnost stroja med ožemanjem prikazuje zvočnik z vrtečim bobnom;
- glasnost stroja med mencanjem prikazuje zvočnik nad podatkom za ožemanje.

Podatka o pralnem učinku ni več, ker morajo vsi aparati v prodaji dosegati najmanj pralni učinek razreda A.



Slika 9: Energijska nalepka za pralni stroj (Vir: medmrežje 7)

5 MATERIALI IN METODE

5.1 PRALNI STROJ

V sodobnem gospodinjstvu je pralni stroj nepogrešljiv gospodinjski aparat, saj je najbolj razbremenil gospodinje in jim pomagal pri zamudnem in napornem delu. Zaradi mnogokratne uporabe ga uvrščamo med trajne dobrine in zapletene strojne sestave, ki so priključeni na električno in vodovodno omrežje v naših domovih.

5.1.1 Delovanje pralnega stroja

Glavna naloga pralnega stroja je odstranjevanje umazanije in madežev z vodno raztopino pralnih sredstev, toplote in mehanske energije. Samo pranje je skozi čas ostalo nespremenjeno, medtem ko so se programi pranja spreminjali oz. se še vedno spreminjajo in prilagajajo novim proizvodnim spoznanjem, zahtevam na področju tkanin. V zadnjem času, ko se okolijska ozaveščenost ljudi povečuje, so na razpolago tudi ekološko prijaznejši pralni stroji. To pomeni, da je treba v čim večji meri preprečiti onesnaževanje okolja z odpadnimi vodami, ki nastajajo pri pranju, in povečati učinkovitost pralnega stroja pri porabi vode in električne energije (Petrinjak 2011).

V fazi pranja nastopajo štirje procesi, ki se med seboj povezujejo in prepletajo in odločilno vplivajo na učinek pranja perila:

- kemični proces,
- temperatura,
- mencanje oz. mehansko delovanje,
- čas pranja.

Pralni program je sestavljen iz naslednjih faz:

Predpranje: Uporablja se za odstranjevanje površinske umazanije pri bolj umazanem perilu in odmakanju beljakovinske umazanije. Čas, ki je potreben za predpranje, je 15–30 minut, pri temperaturi 40 °C. Na trgu so stroji, ki imajo za zelo umazano perilo tudi podaljšano predpranje oz. BIO-predpranje. Ta vrsta predpranja je predvsem učinkovita za čiščenje trdovratnejših madežev, kot so kri, mleko, jajca. Temperatura je nekoliko višja, predpranje se zaključi z izčrpanjem vode brez ožemanja (Petrinjak 2011).

Gretje: Glavno pranje se začne z dotokom sveže vode in pralnega sredstva po omakanju perila, sledi segrevanje pralne raztopine do določene temperature pranja in bolj ali manj intenzivno mencanje. Hitrost segrevanja pralne raztopine je odvisna od moči grelca, ki je vgrajen v pralnem stroju, in količine vode v stroju, temperatura je odvisna od programa, ki smo ga izbrali za pranje (Petrinjak 2011).

Pranje: je proces, v katerem se odstrani večji del umazanije s perila s pomočjo kemijskega in mehanskega delovanja. Najintenzivnejše pranje sledi končanemu segrevanju, v tej fazi pranja je kemijsko delovanje najmočnejše. Ta faza pranja traja od 15 do 60 minut. Pred izpiranjem je še faza ohlajevanja. Namen te faze je, da se z dotokom sveže vode pred izčrpavanjem pralne raztopine ta postopoma ohladi, s čimer preprečimo močno mečkanje perila (Petrinjak 2011).

Izpiranje z vmesnimi ožemanji: V tem koraku se odstrani umazanija skupaj s pralno raztopino. Večina vode, ki se porabi v pralnem procesu, se porabi v fazi izpiranja, potek in število posameznih izpiranj se razlikujeta od izbranega programa, običajno so od dve do štiri izpiranja na pranje. Izpiranje se začne z dotokom sveže vode ter se zaključi z izčrpavanjem razredčene pralne raztopine. Z ožemanji med posameznimi izpiranji se proces razredčenja pospešuje in s tem poveča izpiralni učinek. Novejši pralni stroji imajo senzor, ki zazna, če je

potrebno dodati izpiranje oz. če izprana voda nima potrebne čistosti oz. manjša število izpiranj, če zazna, da je izprana voda že dovolj čista (Petrijak 2011).

Ožemanje: Pri strojih z vrtljaji nad 800 vrtljajev na minuto je v večini primerov omogočena izbira nižjih vrtljajev ožemanja, kar je priporočljivo za občutljivejše tkanine,. Pri večini novih pralnih strojev lahko izbiramo poljubno število vrtljajev na minuto. Znano je, da volne in občutljive tkanine ne ožemamo pri visokih vrtljajih oz. takšne tkanine naj ne bi ožemali z več kot 700 vrtljaji na minuto, medtem ko pa neobčutljive tkanine ožemamo pri čim višjih vrtljajih, tudi do 2.000 vrtljajih na minuto, saj s tem izločimo čim več vode iz perila. Po končanem ožemanju, ne glede na število vrtljajev ožemanja na minuto, vedno ostane še določen del vlage v tkanini, ki pa ga izločimo z naravnim sušenjem oz. s sušenjem v sušilnem stroju. Vedeti je potrebno, da višji kot so vrtljaji pri ožemanju, več vlage odstranimo iz perila oz. tkanine, ki jo peremo (Petrijak 2011).



Slika 10: Pralni stroj Gorenje W 8824 (Vir: medmrežje 8)

Na sliki 10 je prikazan pralni stroj, na katerem smo opravljali raziskovalne meritve v tej diplomski nalogi.

5.2 ISO-STANDARDI

ISO je mednarodna organizacija za standardizacijo, ki pripravlja standarde, ki so prikazani skozi dokumente ISO in izpolnjujejo določene tehnične obveznosti. Vsak član organa, ki se zanima za določen objekt, za katerega je bil ustanovljen, in tehnični odbor imata pravico biti zastopana v odboru. Vse mednarodne organizacije, vladne in nevladne, z licencami ISO najdejo mesto pri delu. ISO sodeluje z organizacijo *International Electrotechnical Commission (IEC)* na področjih, ki zadevajo elektrotehnične standardizacije (Lesjak 2011). Evropske in mednarodne standarde Sloveija sprejema z aklamacijo (z razglasitvijo originala kot slovenski standard SIST ISO).

5.2.1 SIST EN ISO 3745 – Določanje ravni zvočne moči in ravni zvočne energije virov hrupa z zvočnim tlakom – Precizijska metoda za gluhe in polgluhe prostore

Mednarodni standard ISO 3745 je standard za področje akustike in je le eden izmed serije ISO-standardov iz skupine ISO-standardov 3740, ki določajo različne metode za določanje

zvočne moči strojev, opreme ter drugih elementov. Ko izbiramo eno izmed metod, je najpomembneje, da izberemo najustreznejšo glede na pogoje in namen testa, ki ga bomo opravljali. Za pomoč lahko uporabljamo ISO 12001 in ISO 3740, v katerih so zapisana splošna navodila za izbiro metod. Serija standardov ISO 3740 nam poda splošna navodila oz. napotke, ki se nanašajo na namestitvene in delovne pogoje testnega zvočnega vira.

ISO 3745 določa laboratorijske metode za določanje ravni zvočne moči in ravni zvočne energije zvočnega vira. Za posamezne izbruhe zvočne energije minljivih zvokov se raven zvočne moči ne more določiti, zato je treba zajeti raven zvočne energije za potrebe določitve oddajnika s pomočjo časovne zgodovine. Metoda, ki jo opredeljuje ta standard, je primerna samo za notranje meritve v posebnih komorah. Ta standard določa specifično metodo za merjenje ravni zvočnega tlaka na merilni površini, vira hrupa in daje priporočila za testno okolje in merilnike kakor tudi tehniko za pridobitev površine ravni zvočnega tlaka, iz katerega izračunamo raven zvočne moči oz. raven zvočne energije. Vse to nas privede do rezultatov, ki sodijo v 1. razred točnosti, kar pomeni, da je ta metoda tudi najnatančnejša metoda določanja zvočne moči. Metoda je primerna za meritve vseh vrst hrupa, zvočni vir je lahko naprava, stroj oz. določen del aparata, ki ga merimo. Največja velikost testnega vira je odvisna od polmera krogelne oz. polkrogelne površine, ki se uporablja za omejitev merilne površine v komori (Lesjak 2011).

5.3 METODE ZA DOLOČEVANJE ZVOČNE MOČI OZ. RAVNI HRUPNOSTI GOSPODINJSKIH APARATOV

5.3.1 Primerjalna metoda

Ta metoda temelji na načelu primerjalnih meritev zvočne moči referenčnega vira, ki mora ustrezati standardu ISO 6962 in preizkušene vira v enakih razmerah. Referenčni vir mora izpolnjevati naslednje pogoje: zvočni signal, ki ga oddaja, mora biti kar se da široko pasoven in enakomerno spektralno porazdeljen. Mora imeti visoko časovno konstanto in ne sme imeti močno izražene usmerjene karakteristike. V praksi se največkrat uporabita dve vrsti referenčnih zvočnih virov, in sicer zvočniki in izvori, kjer nastane zvok s turbulenco. Takšen zvok je neodvisen od parametrov okolice, temperature, vlage (Holeček in Semoprmožnik 2003).

5.3.2 Metoda določanja zvočne moči z meritvijo hitrosti vibracij

Izsevano zvočno moč lahko določimo z merjenjem hitrosti vibracij na zunanjih površinah vibrirajoče strukture. Postopek meritve je opisan v standardu ISO 7849. Do sevanja iz površine konstrukcije pride zaradi pretvorbe vibracij vzbujene konstrukcije v pulzirajoče stiskanje zraka v okolici. Majhna telesa, ki vibrirajo, ne sevajo tako učinkovito kot velika. To se najbolj odraža v območju nizkih frekvenc. Sevalni dejavnik uporabimo za karakterizacijo sposobnosti konstrukcije, da seva zvok. Odvisen je od velikosti sevalne površine v primerjavi z valovno dolžino zvoka za dane frekvence, od oblike sevalne površine ter od modalnih lastnih oblik v frekvenčnem pasu (Holeček in Semoprmožnik 2003).

5.3.3 Določanje zvočne moči po metodi merjenja zvočne intenzivnosti s sondo

Zvočna intenzivnost daje podatek o zvoku tako po smeri kot po vrednosti. Zvočni tlak je skalarna veličina, zvočna intenzivnost pa vektorska. Za razliko od meritev zvočnega tlaka, ki se meri z mikrofoni, določamo zvočno intenzivnost v stvarnem času z merjenjem zvočnega tlaka in hitrosti delcev. Odjemnik, ki simultano meri zvočni tlak in hitrost delcev, je sonda za zvočno intenzivnost. Pri merjenju zvočne intenzivnosti mora sonda biti usmerjena pravokotno na površino. Velikost vmesnika med mikrofonom je odvisna od frekvenčnega območja, akustične okolice in celotne faze neprilagojenosti sonde in analizatorja. Najnižja frekvenca, na kateri se še lahko meri, je odvisna od velikosti vmesnika, kazalnika polja, fazne usklajenosti

sonde in analizatorja ter zelenih natančnosti. Za določanje zvočne moči z merjenjem zvočne intenzivnosti obstajata metodi merjenja v nespremenljivih točkah in metoda skeniranja. Pri metodi merjenja v diskretnih točkah z zeleno stopnjo natančnosti je treba meritve izvajati na način, kot kaže diagram meritve, podan v ISO 9614-1. Ta postopek predpisuje štiri kazalnike polja, ki ocenjujejo kakovost določitve zvočne moči in nakazujejo ukrepe za izboljšanje meritve, kadar ni dosežena zelena natančnost. Gre za interaktivni postopek merjenja, kjer opravimo meritve na začetni izbrani površini in pri začetnih izbranih merilnih parametrih, nato pa z dejavniki polja ugotavljamo, ali je meritev dovolj natančna. Če ni, moramo meritve ponoviti s spremenjenimi merilnimi parametri in ponovno preveriti natančnost meritve. Merilna površina mora obdajati vir hrupa, ki ga merimo. Meritve lahko opravljamo v bližnjem polju, če je merilna sonda izdelana za takšne meritve. Merilna površina je lahko paralelepiped, polkrogla ali kakšna druga ustrezna površina. Vsaka površina je razdeljena na odseke z enako površino (Holeček in Semprimožnik 2003).

5.3.4 Določanje zvočne moči po absolutni metodi

Po tej metodi določamo raven zvočne moči vira z merjenjem ravni zvočnega tlaka v gluhi sobi, polgluhi sobi ali v odmevnici oz. reverzibilni sobi, pri vseh frekvenčnih pasovih, kakor tudi A-vrednoteno raven zvočne moči. Največja prostornina zvočnega vira ne sme preseči 0,5 čiste prostornine gluhe sobe in 1 % odmevnice. Naslednja omejitev je spodnja mejna frekvenca gluhe sobe, ki je določena s prostornino gluhe sobe. Pri spodnji mejni frekvenci in pri višjih frekvencah je koeficient vpijanja sten gluhe sobe večji od 0,99. Najmanjša dimenzija gluhe sobe mora biti večja od največje valovne dolžine, npr. pri frekvenci 100 Hz mora biti dimenzija najmanj 3,4 m. Spada v razred natančnosti 1, kar je laboratorijska metoda (Holeček in Semprimožnik 2003).



Slika 11: Sonda za merjenje zvočne intenzivnosti (Vir: Lasten)

6 AKUSTIČNI LABORATORIJ IN POLGLUHA KOMORA

Akustični laboratorij je bil zgrajen leta 1991 za potrebe podjetja Gorenje, in sicer za sistematično preverjanje hrupnosti izdelkov podjetja. Pred izgradnjo laboratorija so za Gorenje meritve hrupnosti predvsem gospodinjskih aparatov opravljali zunanji izvajalci, kar je za podjetje predstavljalo veliko logistično in ekonomsko breme.

Temeljni element laboratorija za akustiko in vibracije je polgluha soba. Karakteristike in tehnične zahteve polgluhe sobe so predpisane v standardu ISO 3745, ki zahteva, da je prostornina sobe vsaj 200-krat večja od prostornine merjenca. Po lastnostih simulira odprt prostor oz. prosto zvočno polje, kar pomeni, da z dvojno razdaljo od vira hrupa pade raven zvočnega tlaka za 6 dB (inverzni zakon za tlak).

Polgluha komora te velikosti je edina v Sloveniji, njene zunanje dimenzije so 9,40 x 8,70 x 5,60 m. Soba je neodvisno gradbeno telo in ima neodvisne temelje, ki so izdelani iz armiranega betona skupne mase pribl. 350 ton. Merilna površina oz. tla so zgrajena iz zglajene armirane betonske plošče, debeline 20 cm, na 10 cm plasti stiropora, s tem je onemogočeno prenašanje vibracij iz bližnjih proizvodnih obratov.

Soba je obložena z debelo plastjo absorpcijskega materiala (ipren) v obliki klinov, ki onemogoča refleksijo zvočnega valovanja, razen od tal. Dimenzija in oblika klinov sta določeni na osnovi meritev v Kundtovi cevi, klini morajo biti v sorazmerju z velikostjo sobe, da se doseže želen učinek. Klini so dolgi 80 cm, neto volumen sobe pa je 220 m³, med klini in stenami je 5 cm plast zraka, t. i. Helmholtzov resonator. Da koeficient vpijanja, ki mora biti vsaj 0,99, ne bi bil odvisen od vpadnega kota vala, so klini pritrjeni tako, da so medsebojno obrnjeni za 90 stopinj. Frekvenčno območje komore je od 90-20000 Hz, raven hrupa v najneugodnejših pogojih je 13 dB (A) (Holeček 2003).

$$L_w = L_p + 10 \log \left(\frac{S_2}{S_0} \right) + C \quad (\text{dB}) \quad (11)$$

Enačba se uporablja za izračun zvočne moči v akustičnem laboratoriju podjetja Gorenje.

V njej spremenljivke pomenijo:

L_p – časovno povprečna površinska raven zvočnega tlaka za preizkusni vir hrupa (dB);

S_2 – ploščina polkrogelne merilne površine (m²);

S_0 – 1 m²;

C – faktor meteoroloških odstopanj (Kotnik 2007).

6.1 MERILNA OPREMA V LABORATORIJU IN MERJENJE ZVOČNE MOČI PO ABSOLUTNI METODI OZ. PRECIZIJSKI METODI

V laboratoriju se za meritve zvočnega tlaka in posredno zvočne moči uporablja merilna oprema podjetja Bruel & Kjaer. Gre za precizijski sistem za merjenje zvočnega tlaka Mediator 2238 in sistem za meritve zvočne moči Pulse. Celoten merilni sistem izpolnjuje pogoje 1. razreda instrumentov v skladu z IEC 6065, vključno z mikrofoni, filtri ter kabli. Merilni sistem omogoča meritve v 1/1 in 1/3 oktave. V laboratoriju se uporabljajo meritve v 1/3 oktavi. Pulse pa je programska oprema za multianalizo, ki uporablja obdelavo signala v stvarnem času.

Osnovne komponente merilnega sistema Brüel & Kjær so naslednje:

- analizator hrupa in vibracij 7771,
- aplikacija za zvočno moč 7799,
- 20 x mikrofonski predojačevalnik delta tron-type 2671,
- 20 x mikrofoni model Falcon tm range ½" TIP 4189 A21.



Slika 12: Ključne komponente aplikacije PULSE za določitev zvočne moči po precizijski metodi (Vir: Lasten)

Meritve zvočne moči v prostem zvočnem polju nad odbojno površino v polgluhi sobi se izvajajo v skladu z navodili standarda ISO 3745. Raven zvočnega tlaka se meri hkrati na 20 različnih mestih, spiralno porazdeljenih po ovojnici polkrogle. Vsak od dvajsetih mikrofонов je od središča polkrogle oddaljen 2 m. Celoten postopek meritve se izvaja znotraj PULSE programa z nameščeno CPB-aplikacijo. Rezultati meritev 20 mikrofонов so zabeleženi v funkciji SPL za določitev zvočne moči, od koder jih program preko ActiveX povezave prenese v standardno Excelovo preglednico.



Slika 13: Mikrofoni razporejeni po ovojnici polkrogle v pol gluhi sobi (Vir: Lasten)

6.2 IDENTIFIKACIJA ZVOČNIH VIROV IN DOLOČITEV ZVOČNE MOČI Z AKUSTIČNO HOLOGRAFIJO

Laboratorij za akustiko in vibracije v Gorenju ima v lasti tudi merilno opremo za merjenje zvočne intenzivnosti. Ta metoda ni standardizirana in je za zdaj namenjena predvsem v raziskovalno razvojne namene. Akustična holografija podjetja Bruel & Kjaer je merilna tehnologija, ki nam omogoča opravljanje več vrst meritev na področju akustike. Omogoča nam vizualizacijo zvoka. Odlikuje jo hitrost, ponovljivost in natančnost (Bruel & Kjaer 2015). Z akustično holografijo lahko merimo intenzivnost zvoka, z njo lociramo in identificiramo ter analiziramo zvočni vir, ki ga oddaja merjenec. Meritev se opravlja na osnovi zvočne intenzivnosti, ki je vektor, in nam prikazuje smer širjenja zvoka in nastanke zvočnih virov preko zvočne intenzivnosti. Nato pridobimo tudi podatke o zvočni moči merjenca. Meritve se opravljajo v bližnjem oziroma oddaljenem polju, kar je odvisno od karakteristike meritve in metode, ki se pri meritvi uporabi. Poznamo več vrst metod, ki se uporabljajo za merjenje zvočne intenzivnosti in identifikacije zvočnih virov in s tem tudi posredno določanja zvočne moči gospodinjskih ali drugih aparatov:

- AKUSTIČNA HOLOGRAFIJA V BLIŽNJEM POLJU
- ŠIROKO PASOVNA AKUSTIČNA HOLOGRAFIJA

6.2.1 Merilna oprema za akustično holografijo:

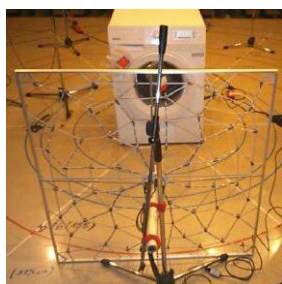
- mikrofonska matrika Tip: WL 1297-W-011,
- mikrofoni 60 x Bruel&Kjaer Tip: 4957,
- LAN XI sistem ohišje Bruel&Kjaer Tip: 3660- C-00,
- 5 x 12-kanalni modul Bruel& Kjaer Tip: 3053-B-12/0,
- 10 x večkanalni mikrofonski kabli Tip: 2014W19,
- USB-kabel za integrirano kamero,
- LAN-kabel,
- računalnik DELL LATITUDE E6540,
- stojalo tripod Manfrotto.

Programska oprema in aplikacije:

- PULSE Lab Shop Fast Track 18.1.1.9,
- PULSE 18 Array Acoustic Post-processing,
- PULSE FFT Analizator 7770 N,
- PULSE Array Acoustic Holography 8607,
- PULSE Array Acoustic Beamforming 8608,
- PULSE Array Acoustic Transient Calculations BZ 5636-N,
- PULSE Array Acoustic Wide Band Holography BZ 5644-N.

6.2.2 Merilna veriga akustične holografije

Mikrofonska matrika dimenzije 1 x 1 m z integrirano kamero, ki nam omogoča sliko merjenca, je v središču matrike, ki je povezana z računalnikom preko USB-kabla in 60 mikrofoni, ki so razporejeni v mrežo z medsebojnimi razmiki približno 15 cm, preko 10 izhodov povezana z večkanalnimi kabli z ohišjem s petimi moduli, ki imajo vsak po 12 vhodov. Tako ima celotno ohišje 60 vhodov. Računalnik in ohišje z moduli sta povezana z LAN-kablom. Akustični signal potuje od mikrofonske matrike do ohišja z moduli oz. multi analizatorjev, kjer se akustični signal zajame in digitalizira in nadalje procesira. S programsko opremo **PULSE Lab Shop Fast Track 18.1.1.9** nastavimo parametre za meritev in opravimo meritev, ki se nam nato shrani v podatkovno bazo meritev. Nato v okviru programa **PULSE 18 Array Acoustic Post-processing** opravimo kalkulacijo meritve, analizo in poročilo meritve.



Pot zvočnega signala po večkanalnih vodnikih do modulov oz. analizatorjev.



Slika 14: Ključne komponente za metodo akustične holografije (Vir: Lasten)

Na slikah so prikazane ključne komponente akustične holografije v laboratoriju za akustiko in vibracije Gorenje. Na levi strani je na sliki 14 prikazana postavitev mikrofonske matrike in merjenca, pripravljenega za meritev sprednje strani pralnega stroja. Akustični signal 60 mikrofonskih elementov izmeri emisijo zvočnega vira in nato potuje po večkanalnih vodnikih do modulov oz. analizatorjev (slika 14 desno), kjer se signal zajame in s pomočjo računalnika in programske opreme PULSE nadalje procesira. Kot rezultat dobimo sliko zvočne intenzivnosti, velikost emisije zvoka ter smer gibanja zvoka in zvočne vire glede na frekvenco, ki so prikazani z barvnim spektrom, glede na zvočno moč, izračunano iz zvočne intenzivnosti. S pomočjo te merilne tehnologije lahko določimo zvočno moč vsakemu zvočnemu viru posamično. Ta

metoda ne potrebuje posebnih pogojev, saj je minimalno odvisna od dejavnikov okolice, saj meri zvočno emisijo neposredno iz zvočnega vira.



Slika 15: Meritev kompresorske enote hladilnika z akustično holografijo (Vir: Lasten)

6.3 DELO V LABORATORIJU

V laboratorij na meritve zvočne moči prihajajo izdelki zaradi različnih vzrokov:

- zaradi preizkušanja novih komponent, vgrajenih v izdelke;
- zaradi reklamacijskih potreb;
- zaradi sprememb na že obstoječih izdelkih;
- zaradi uvajanja novih tipov izdelkov;
- zaradi meritev hrupnosti aparatov, ki mora biti deklarirana na energijski nalepki;
- laboratorij je podpora razvojno raziskovalnemu oddelku;
- laboratorij opravlja meritve za zunanje naročnike.

6.3.1 Priprava aparatov na meritve

Ko gospodinjski aparat prispe v laboratorij, ga moramo najprej postaviti v predprostor laboratorija, ga vključiti in ga pustiti delovati 24 ur. To velja za hladilno-zamrzovalne aparate. Celoten postopek predpisuje standard, saj se mora aparat pred opravljanjem meritev namestiti. Pralni stroj mora pred meritvijo opraviti vsaj en celoten cikel delovanja z ustrezno polnitvijo perila. Tudi ostale vrste aparatov in merilni objekti morajo biti ustrezno pripravljene za meritve, kot je predpisano s standardom. Ko pridejo aparati v laboratorij, je na njih evidenčni list, na katerem je zapisano, zakaj je aparat prišel na meritve, kdo ga poslal na meritve itd. Ko je aparat nameščen, se zabeležijo njegovi osnovni podatki, ki služijo za identifikacijo (tip, ser. številka, model, kompresor oz. motor, ki je vgrajen, ter njegove lastnosti). Če je vgrajen motor, moramo zapisati tudi število vrtljajev motorja med meritvijo. Vse te podatke je treba prenesti v računalnik, v delovni list za meta podatke v Excelu, ki je vnaprej prirejen. Po 24 urah, ko je aparat nameščen, se ga prestavi v polgluho komoro, v središčno točko komore, okoli katere so razporejeni mikrofoni.

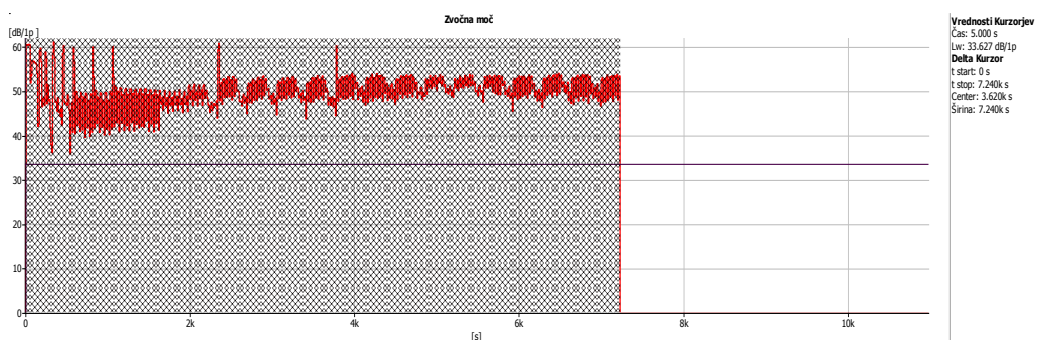


Slika 16: Pripravljen HZA v polgluhi sobi na meritve po absolutni metodi določanja zvočne moči (Vir: Lasten)

6.4 POSTOPEK MERITVE PO ABSOLUTNI METODI

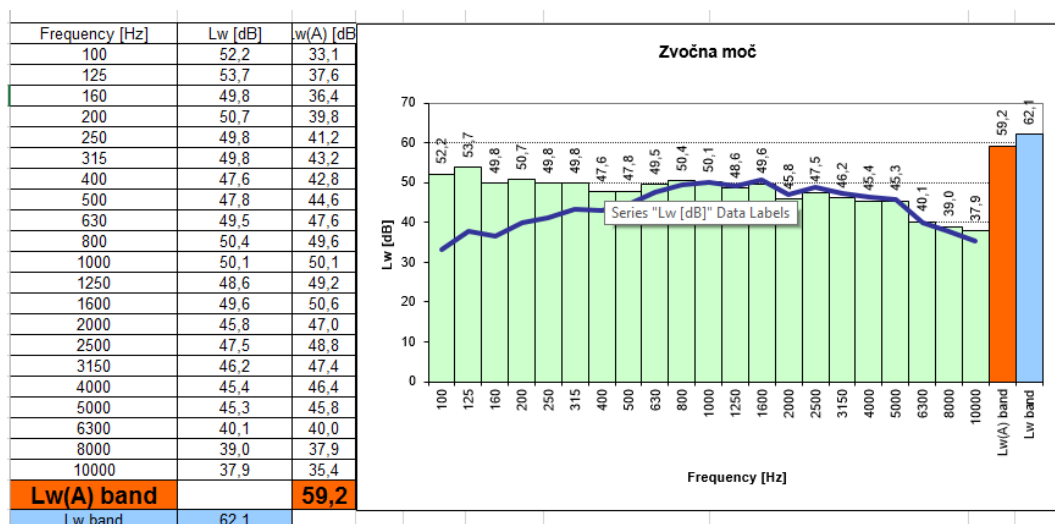
Meritev v akustičnem laboratoriju potekajo po predpisih standarda ISO 3745. Meritev je torej standardizirana, kar pomeni, da jo lahko primerjamo z drugimi meritvami, ki so bile opravljene v drugih laboratorijih in lahko javno poročamo o rezultatih ter podamo deklarirano zvočno moč za energijsko nalepko. Ko je aparat pripravljen za meritev, je potrebno v polgluhi komori s senzorji izmeriti vlažnost, temperaturo in atmosferski tlak, zaradi vpliva teh dejavnikov na rezultat jih moramo upoštevati pri meritvi, tako da jih zapišemo v Meta Date delovni list, ki je namenjen izračunu umerjenosti in vpisu meta podatkov, ki je namenjen shranjevanju podatkov v bazo in izdelavo poročila o meritvah. Delovni listi, kamor se vpisujejo podatki in se kasneje prenesejo iz PULSE-programa rezultati meritev ozadja in merjenega objekta, so standardizirani in vnaprej prirejeni. Iz pridobljenih okolijskih parametrov se izračunajo popravki, ki se skupaj s hrupom ozadja upoštevajo pri izračunu zvočne moči. Rezultat zvočne moči je prikazan tabelarično po celotnem frekvenčnem spektru od 100 Hz do 10.000 Hz. V stolpcu je izračunana zvočna moč z A-vrednotenjem, kar pomeni, da je 1/3 oktavi frekvenčni spekter prilagojen človeškemu sluhu. V drugem stolpcu je podana skupna zvočna moč brez A-ovrednotenja. Ena izmed ključnih komponent je programska oprema PULSE, s katero analiziramo zvok in vibracije in je nadgrajena s številnimi aplikacijami, med katerimi merjenje zvočne moči predstavlja le eno izmed možnosti meritev zvoka ter vibracij. Opravljamo lahko dve vrsti meritev.

Časovna meritev: uporablja se za daljše merjenje, ko merimo celoten cikel delovanja, izračunava se povprečna zvočna moč cikla. Nastavimo časovno meritev in vrsto aparata (hladilnik, pralni stroj). Minimalni merilni interval je 10 s. Vsakih 10 s dobimo vrednost, ki je povprečje teh 10 s in se nam izrisuje graf. Pri tej meritvi ni frekvenčne porazdelitve, samo časovna.



Slika 17: Graf časovne meritve zvočne moči mencanja pralnega stroja (Vir: Lasten)

Meritev v stvarnem času: uporablja se za merjenje trenutnih pojavov, npr. ožemanje pri PS, prikaže nam frekvenčne karakteristike, interval meritve je običajno 10 s, običajno se uporabljajo 1/3 oktave in 10 s povprečje ter frekvenčni spekter od 100 Hz do 10.000 Hz oz. 10 kHz. Slika 18 prikazuje meritev v stvarnem času pri črpanju vode pralnega stroja. V tabeli zraven grafa je prikazan frekvenčni spekter, celotna zvočna moč L_w in zvočna moč z A-ovrednotenjem $L_w(A)$, ki se upošteva pri poročanju rezultatov.

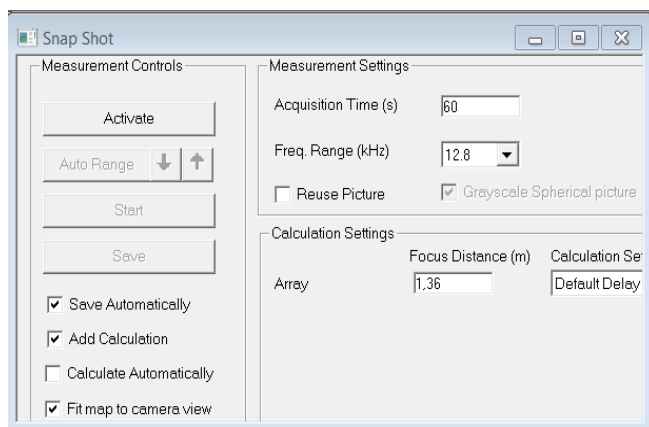


Slika 18: Graf stvarne meritve zvočne moči 1/3 oktava 10 s črpanje vode PS (Vir: Lasten)

Po opravljenih meritvah se rezultati shranijo v bazo podatkov, izdelata se dve poročili z vsemi pripadajočimi podatki in tabelami. Eno poročilo ostane v laboratoriju za arhiv, drugo pa pošljemo nazaj z aparatom, od koder je prišel na meritve.

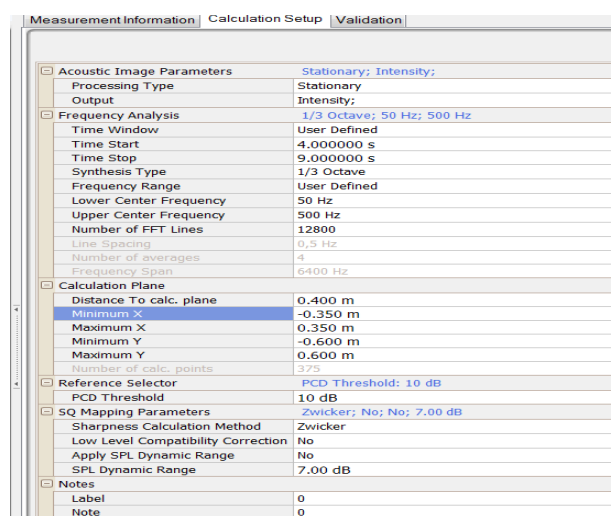
6.5 POSTOPEK MERITVE Z AKUSTIČNO HOLOGRAFIJO

Laboratorij za akustiko je pridobil najsodobnejšo merilno opremo akustične holografije, ki ni standardizirana metoda in je namenjena predvsem raziskovalnim in razvojnim meritvam in lahko služi tudi kot primerjava meritvi po absolutni metodi. Akustična holografija nam na osnovi meritve intenzivnosti zvoka omogoča vizualizacijo zvoka in iz intenzivnosti pridobimo tudi zvočno moč naprave oz. virov, ki jih merimo. Merjenec postavimo v prostor za merjenje in ga pripravimo za meritev. Lahko je v višjem položaju ali na tleh. Lahko ga obračamo po želji, vedeti moramo, katero površino želimo meriti. Ko to vemo, postavimo merjenec tako, da se bomo lahko z mikrofonsko matriko približali oz. oddaljevali od merilne ploskve. Mikrofonsko matriko postavim pred merilno ploskev merjenca in vključimo module v ohišju. Aktiviramo program PULSE Lab Shop Fast Track 18.1.1.9. S pomočjo kamere, ki je v središču mikrofonske matrike, postavimo matriko tako, da zajamemo celotno želeno merjeno površino v objektiv kamere in izmerimo razdaljo mikروفonov do merjene površine. Nato v zavihku Meta data vpišemo podatke o merjencu podobno kot pri absolutni metodi. Ko imamo podatke o merjencu vpisane (ime, tip, ser. številka, naslov preizkusa ipd.), nastavimo parametre za izvedbo meritve (slika 19).



Slika 19: Nastavitve parametrov za izvedbo meritve (Vir: Lasten)

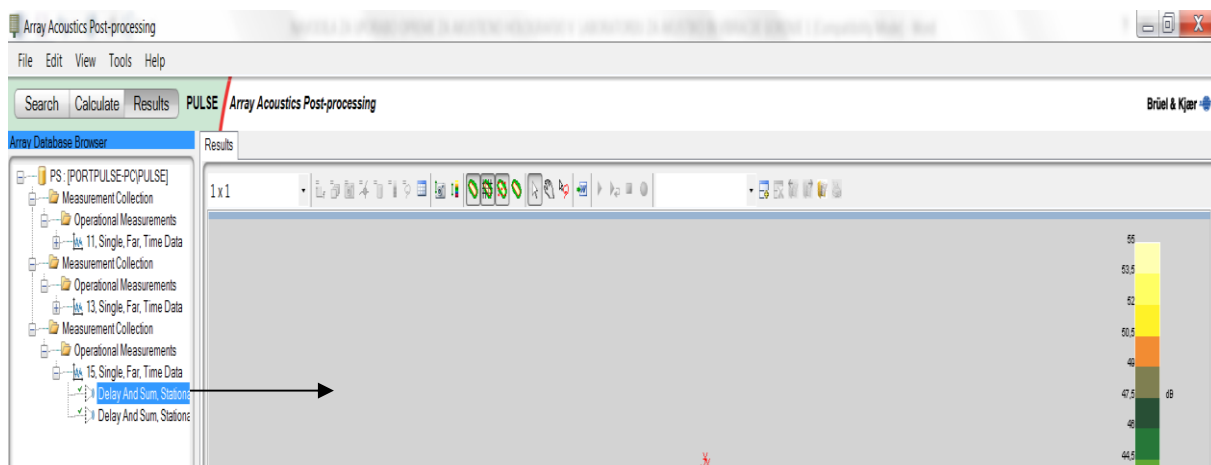
Čas meritve nastavimo poljubno, kolikor časa želimo, da se meritev izvaja, frekvenčno območje zajema in vpišemo podatke o oddaljenosti mikrofонов do merjene površine. Nato z gumbom Activate aktiviramo meritev in z gumbom start začnemo meritev izvajati. Kamera slika merilno ploskev, ki jo merimo, in se shrani skupaj z meritvijo 60 mikrofонов. Meri zvočni tlak in hitrost delcev in s tem zvočno intenzivnost, ki je vektor in nam prikaže smer in velikost zvočnega vira na sliki. Akustični signal potuje do modulov v ohišju, kjer se signal zajame in nadalje procesira. Ko poteče čas, ki smo ga določili za dolžino meritve, je meritev zaključena. Meritev se shrani v skupno bazo. Po zaključeni meritvi aktiviramo program za poprocesiranje PULSE 18 Array Acoustic Post-processing, ki nam omogoča opraviti kalkulacijo, analizo, prikaz rezultatov in izvoz poročila meritve. Meritev je shranjena v programu, nato vnesemo parametre za preračun opravljene meritve (slika 20).



Slika 20: Prikaz parametrov za preračun in analizo meritve (Vir: Lasten)

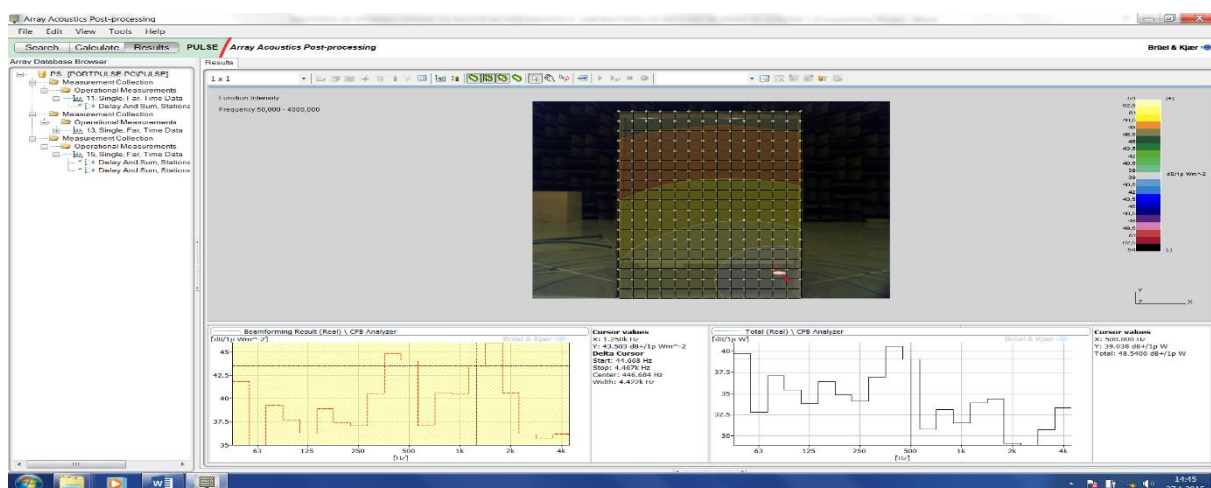
Vnesemo parametre od izhodne veličine, za katere želimo, da nam jih program prikaže na sliki (intenzivnost, hitrost delcev, zvočni tlak, čas meritve, ki ga želimo podrobneje analizirati, frekvenčno območje analize ipd.). Ko imamo parametre vpisane, opravimo izračun meritve, s klikom na gumb 'preračun' se opravi izračun.

Ko je izračun končan, je čas za prikaz rezultatov. V programu PULSE 18 Array Acoustic Post-processing kliknemo na zavihek 'rezultati' in prekalkulirano meritev prenesemo v okno za prikaz rezultatov meritev (slika 21).



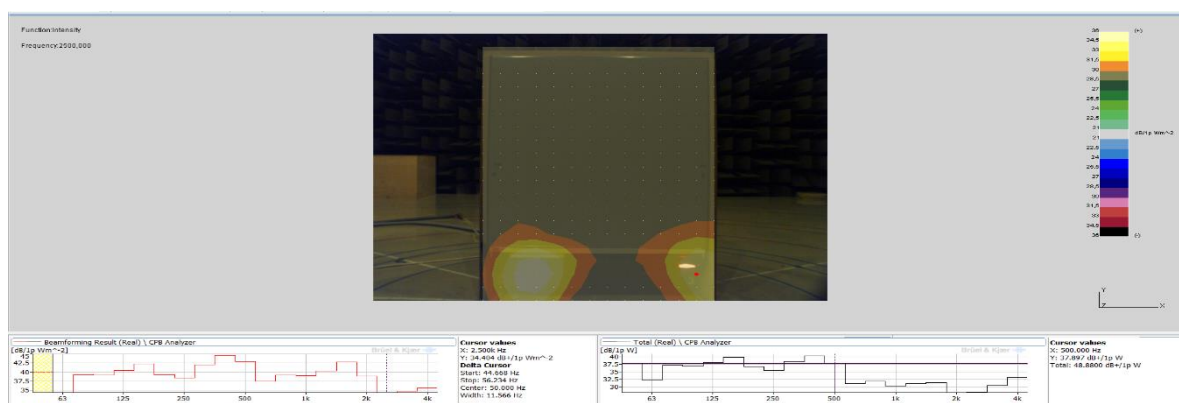
Slika 21: Prenos meritve v okno za prikaz rezultatov (Vir: Lasten)

Ko prenesemo meritev v okno za prikaz rezultatov, se nam prikažejo barvni spekter, zvočne moči in intenzivnosti zvoka, ki je projicirana na sliki merjene površine pod sliko grafa Zvočne moči v dani točki (levi graf) in skupna zvočna moč (desni graf) (slika 22).



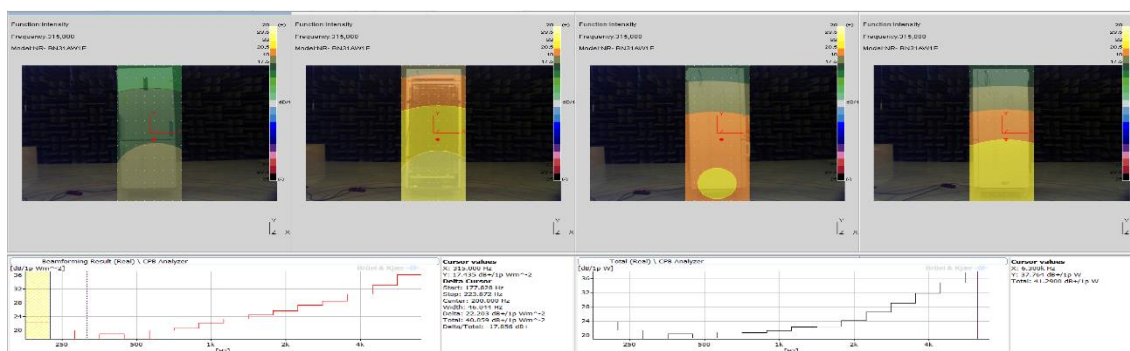
Slika 22: Prikaz rezultatov meritve (Vir: Lasten)

S premikanjem levo in desno po grafu lahko opazujemo gibanje zvoka glede na frekvenco in v vsaki točki na merjeni površini lahko določimo zvočno moč.



Slika 23: Prikaz dveh zvočnih virov na podlagi meritve zvočne intenzivnosti z akustično holografijo (Vir: Lasten)

Na sliki 23 je prikazano sevanje dveh zvočnih virov, ki se pojavita pri pomivalnem stroju na sprednji površini, pri frekvenci 2.500 Hz. Z rdečo piko na sliki zgoraj se lahko postavimo v katerokoli točko na sliki in se nam bo sproti narisal graf zvočne moči v dani točki s pripadajočimi podatki v tej točki. Meritev zvočne intenzivnosti nam omogoča tudi, da lahko določimo zvočno moč vsakemu viru posebej. Z rdečo piko se postavimo v središče enega ali drugega vira in odčitamo vrednosti zvočne moči. Ta metoda nam omogoča posnetek zvoka merjenca med meritvijo in še mnogo drugih možnosti. Lahko primerjamo več meritev hkrati, pomerimo npr. hladilnik z vseh strani, primerjamo meritve in opazujemo smer in jakost zvoka po celotnem hladilniku glede na različne frekvence (slika 24).



Slika 24: Prikaz meritev hladilnika z vseh strani z akustično holografijo (Vir: Lasten)

Po zaključeni analizi rezultatov se celoten obseg meritve samodejno shrani v bazo podatkov, nato naredimo poročilo, ki vključuje vse bistvene elemente meritve (karakteristike meritve, slike, grafe, tabele, komentarje, pripombe rezultatov ipd.).

6.6 OPIS MERITEV HRUPNOSTI HLADILNO-ZAMRZOVALNIH APARATOV IN PRALNIH STROJEV PO ABSOLUTNI METODI DOLOČANJA ZVOČNE MOČI

V času mojega strokovnega praktičnega izobraževanja so bile najpogosteje opravljene meritve hrupnosti na hladilno-zamrzovalnih aparatih in pralnih strojih, zato bom te podrobneje opisal, opravljale pa so se še meritve hrupnosti drugih naprav, npr. pomivalnih, sušilnih strojev, pečic itn.

Meritve hrupnosti hladilno-zamrzovalnih aparatov so bile v času opravljanja mojega diplomskega dela ene najpogostejših meritev, aparati so v laboratorij prihajali iz različnih virov in iz posameznih služb, kontrole, razvoja, proizvodnje. Merili smo tudi tuje vzorce, konkurenčne vzorce ipd. Meritev ne moremo opravljati, če ne poznamo glavnih virov hrupa pri aparatu, zato sem moral preučiti literaturo s področja zmanjševanja hrupa pri gospodinjskih aparatih in ugotovil, kaj so glavni sestavni deli hladilnika in kaj so glavni viri hrupa pri hladilno-zamrzovalnih aparatih. Glavni sestavni deli kombiniranega hladilno-zamrzovalnega aparata so: kondenzator, kompresorska enota, uparjalnik, ohišje in vrata. Glavni viri hrupa pa so: kondenzator, kompresor, ventilator, kapilara, tlačna in sesalna cev. Sčasoma smo sposobni ločiti zvoke, ki jih aparati oddajajo in niso v mejah normalnega delovanja. Pomembno je, da zvoke, ki jih aparat oddaja, identificiramo, saj se pri meritvi v opombe pri poročilu zapišejo odstopanja in so s tem možne izboljšave. Meritve hladilno-zamrzovalnih časov se izvajajo v stvarnem in časovnem načinu. Stvarna meritev je takrat, ko želimo videti, kakšno zvočno moč oz. proces delovanja npr. enega vklopa kompresorske enote v desetih sekundah ima delovanje samega ventilatorja. Pri meritvi celotnega cikla zvočne moči hladilnika uporabimo časovno meritev. Začnemo meriti takrat, ko kompresorska enota deluje 1 minuto, aparat mora biti seveda nameščen in končamo meritev hrupa po končanem delovanju kompresorja. To pomeni en cikel. Izmeriti je potrebno vsaj tri cikle delovanja kompresorske enote, nato upoštevamo samo aktivni del delovanja in podamo povprečje vseh treh ciklov. Hladilno-

zamrzovalni aparati morajo delovati pri opravljanju meritev po standardu EN 28960 in po standardu IEC 60704 -2-14.



Slika 25: Hladilno-zamrzovalni aparat, pripravljen za meritev zvočne moči (Vir: Lasten)

6.7 MERITEV HRUPNOSTI PRALNIH STROJEV PO ABSOLUTNI METODI DOLOČANJA ZVOČNE MOČI

Podobno kot pri hladilno-zamrzovalnih aparatih sem se seznanil z glavnimi sestavnimi deli in delovanjem pralnega stroja. Najpogostejši viri hrupa pri pralnem stroju so:

- motor,
- pogon klinastega jermena,
- kroglični ležaji bobna,
- premikanje perila v tekočini,
- črpalka za črpanje luga (Holeček 2003a).

Meritve zvočne moči pralnih strojev se izvajajo časovno in v stvarnem času. Izmeriti moramo zvočno moč mencanja s časovno meritvijo, ki lahko traja tudi do dve uri, odvisno od tipa pralnega stroja, ki ga merimo. Meritev začnemo, ko začne pralni stroj odmerjati vodo, zaključimo pa jo pred pripravo v fazo izpiranja. Meritev se opravi s polnim bobnom perila. Izmeriti je potrebno tudi zvočno moč ožemanja oz. centrifuge, ki jo opravimo s stvarno meritvijo, in jo začnemo, ko pralni stroj doseže najvišje število obratov. Ta meritev se po 10 s samodejno zaključi. Pred meritvijo je treba v program PULSE vnesti podatke o meritvi in podatke o merjencu in treba je nastaviti stvarno oz. časovno meritev. Pri meritvi zvočne moči ožemanja moramo biti pozorni, da pralni stroj doseže maksimalno število vrtljajev, drugače moramo meritev ponoviti. Meritev zvočne moči ožemanja se izvaja s perilom, s praznim bobnom in z utežmi in jo je treba izvesti, ko je motor segret na delovno temperaturo. Meritev ožemanja s praznim bobnom poteka enako kot s polnim bobnom perila in z utežmi. Ko pralni stroj doseže najvišje število vrtljajev, opravimo meritev zvočne moči v stvarnem času. Po opravljenih meritvah in obdelavi podatkov s pomočjo programa PULSE podatke prenesemo v Excel, nato na grafu določimo, za katero časovno obdobje želimo, da nam Excel izračuna zvočno moč; to velja pri časovni meritvi. Pri stvarni meritvi pa nam program samodejno izračuna vrednosti zvočne moči za 10 s in nam poda skupno zvočno moč in zvočno moč z A-ovrednotenjem v 1/3 oktavnem frekvenčnem spektru. Pri opravljanju meritev zvočne moči pralnih strojev po absolutni metodi morajo merjenci delovati v skladu s standardom IEC 60704 -2-4).

7 ZMANJŠEVANJE ZVOČNE MOČI PRALNEGA STROJA

Hrup pri gospodinjskih aparatih in tako tudi pri pralnem stroju lahko zmanjšamo na različne načine:

- s spremembo mase;
- s spremembo togosti;
- z blažilnikom konstrukcije;
- z uporabo različnih materialov, obliko samega stroja, položaj, če so uporabljeni na pravilne načine, lahko s tem v veliki meri zmanjšamo emisijo hrupa oz. vibracij oz. širjenje hrupa samega stroja (Holeček 2003b).

7.1 AKTIVNA OZ. PRIMARNA METODA ZMANJŠEVANJA HRUPA

Hrup na viru zmanjšamo s spremembo razne korekcije geometrije, geometrijske oblike oz. s spremembo obratovalnih razmer (vrtilna frekvenca in obremenitve, sprememba oblike črpalke, sprememba kapilare pri hladilniku ipd., zamenjava elektromotorja) (Holeček 2003b).

7.2 SEKUNDARNA PASIVNA METODA ZMANJŠEVANJA HRUPA

Pomeni zmanjševanje hrupa na poti širjenja s sekundarnimi pasivnimi ukrepi, hrup aktivnega zvočnega vira se ne spremeni, t. i. ukrepi temeljijo na principu odboja oz. absorpcije zvoka. Tu se predvsem uporabljajo različne vrste izolacij, različni materiali na ohišju, npr.: različni materiali in izolirana dna na pralnih strojih, dodajanje izolacije na ohišju pralnega stroja (Holeček 2003b).

7.2.1 Zmanjševanje prenosa hrupa po konstrukciji z izolacijo

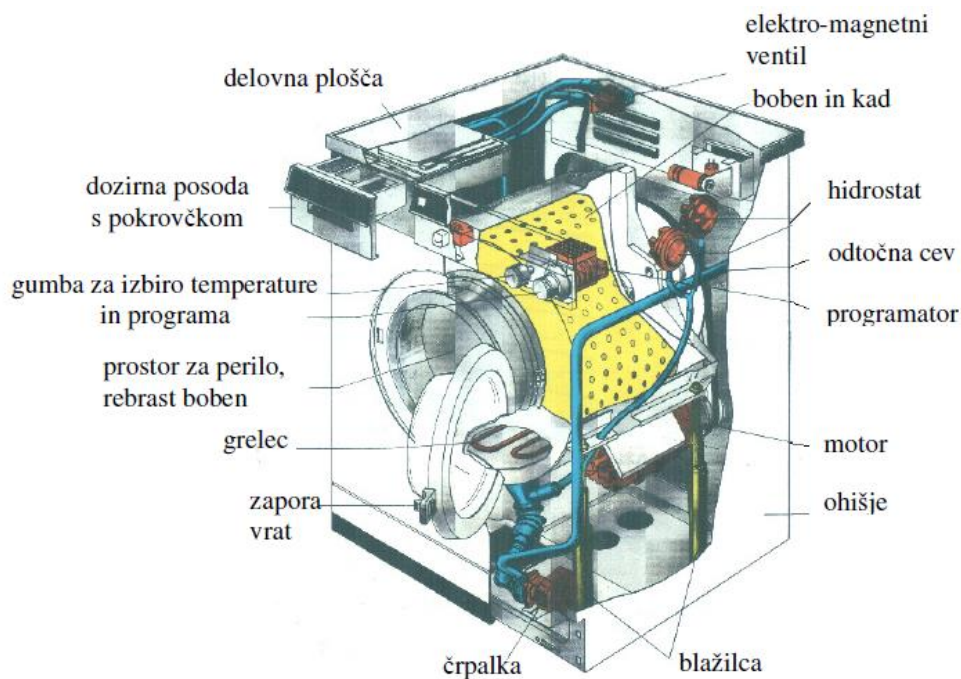
Zmanjševanje hrupa po konstrukciji je preiščljena sprememba mehaničnih parametrov konstrukcijskih elementov, tako da se pojavi odboj strukturalnega zvoka. Zato uporabimo:

- mehke ali elastične elemente med relativno togimi strukturnimi komponentami;
- dodatne mase na poti prenosa zvoka, ki se prenaša po konstrukciji;
- togost elastičnega materiala mora biti veliko manjša od togosti konstrukcijske komponente;
- več vrst izolacije. Pomembna je gostota izolacije, saj je premo sorazmerna z učinkom vpijanja hrupa, izolacija ne sme biti preveč gladka, saj lahko v tem primeru pride do odboja zvočnega valovanja in s tem do izničenja absorpcijske sposobnosti (Holeček 2003b).



Slika 26: Univerzalni elektromotor (Vir: Ljubojević, 2008)

Na sliki 27 je prikazan univerzalni elektromotor, ki ima na nogicah nameščene gumice, ki zmanjšajo prenos vibracij in hrupa v pralnem stroju kot primer ene izmed metod za zmanjševanje hrupa oz. zvočne moči in vibracij v pralnem stroju.



Slika 27: Glavni sestavni deli in viri hrupa pralnega stroja (Vir: Ljubojević, 2008)

8 EKSPERIMENTALNE MERITVE

Predstavljam bom rezultate konkretnih eksperimentalnih meritev, ki smo jih opravljali na pralnem stroju v času mojega praktičnega izobraževanja. Raziskovalne meritve smo opravili na zahtevo oddelka za razvoj pralno-pomivalnih strojev. Najprej bodo prikazani rezultati meritev po absolutni metodi določanja zvočne moči, nato pa bom dodal še rezultate meritev, ki je bila opravljena z akustično holografijo in je bila opravljena na istem merjencu. Meritve so bile opravljene v režimu centrifuge z namenom zmanjševanja hrupnosti aparata, z uporabo različnih metod za zmanjševanje hrupnosti aparatov.

8.1 PRIPRAVA NA MERITEV

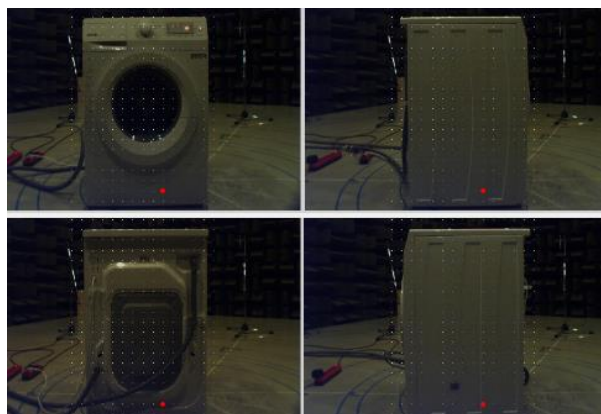
Meritve so bile izvedene v polgluhi komori akustičnega laboratorija v Gorenju in opravljene po absolutni metodi, ki je predpisana s standardom SIST EN ISO 3745. Določanje ravni zvočne moči in ravni zvočne energije virov hrupa z zvočnim tlakom je potekalo po precizijski metodi za gluhe in polgluhe sobe. Pralni stroj je deloval v skladu s standardom IEC 60704 -2-4.

Podatki o merilni opremi:

- enota za zajem,
- program Pulse lab shop verzija: 10.1.0,
- Modul 7771,
- aplikacija 7799,
- 20 x mikrofonski predojačevalnik Delta tron-type 2671,
- 20 x mikrofonski model Falcon tm range 1/2,, TIP 4189 A21,
- senzor za meritev temperature in vlage.

Podatki o merjencu:

- datum meritev: 5. 3. 2015,
- merjenec: pralni stroj,
- tip: PS 10/25 120,
- model: W 8424,
- serijska številka: 44760001,
- režim delovanja: ožemanje 1.200 obratov/min,
- nameščene uteži 2 x 1,5 kg, 1 x 1,7 kg v bobnu.



Slika 28: Pripravljen merjenec na meritev zvočne moč (Vir: Lasten)

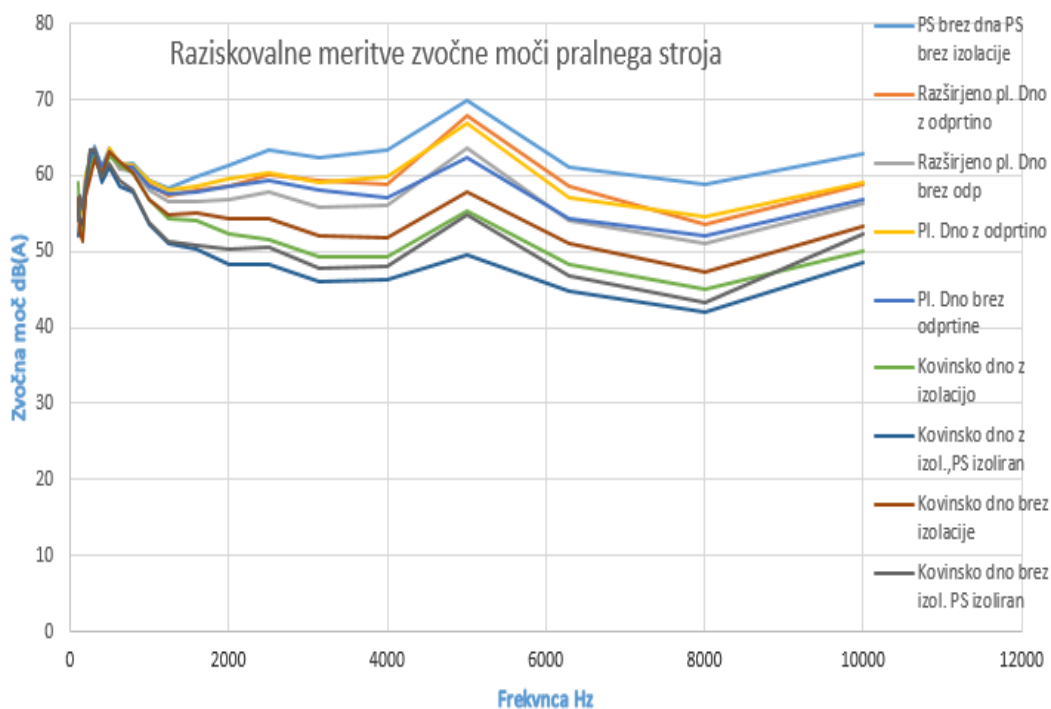
8.2 POTEK MERITEV

Meritev je potekala po precizijski metodi določanja zvočne moči. Vse meritve so bile opravljene v režimu ožemanja. V notranjosti bobna so bile nameščene 2 x 1,5 kg in 1 x 1,7 kg težke uteži. Meritve so bile opravljene s stvarno meritvijo 10 s v 1/3 oktavnem spektru v frekvenčnem območju od 100 do 10 kHz. Uporabili smo različna dna za pralni stroj: kovinsko in plastično dno, z odprtino in brez odprtine in razširjeno plastično dno, nato smo uporabili še absorpcijski material, ki smo ga namestili na kovinsko dno in na ohišje pralnega stroja. Pralni stroj je bil nameščen.

8.2.1 Rezultati meritev

Tabela 1: Rezultati raziskovalnih meritev zvočne moči pralnega stroja v režimu ožemanja (Vir: Lasten)

Dno pralnega stroja	Izolacija na pralnem stroju	Nivo zvočne moči Lw dB(A)
	Uteži 4,7 kg	Ožemanje 1.200 obratov/min
Brez dna.	Brez izolacije.	75,6
Razširjeno plastično dno z odprtino.	Brez izolacije.	73,8
Razširjeno plastično dno brez odprtine.	Brez izolacije.	72,5
Plastično dno z odprtino.	Brez izolacije.	73,9
Plastično dno brez odprtine.	Brez izolacije.	72,8
Kovinsko dno brez izolacije.	Brez izolacije.	71
Kovinsko dno z izolacijo.	Levo, desno, spredaj.	69,9
Kovinsko dno z izolacijo.	Brez izolacije.	70,8
Kovinsko dno brez izolacije.	Levo, desno, spredaj.	70,6



Slika 29: Primerjave vseh meritev (Vir: Lasten)



Slika 30: Izolirano dno iz pločevine (Vir: Lasten)

8.3 RAZISKOVALNA MERITEV ZVOČNE INTENZIVNOSTI IN ZVOČNE MOČI Z METODO AKUSTIČNE HOLOGRAFIJE

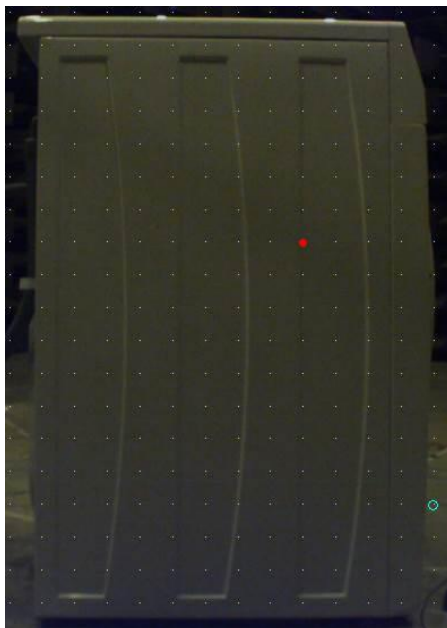
V sklopu moje študijske prakse smo opravili več raziskovalnih meritev različnih aparatov s pomočjo akustične holografije. Predstavljam meritev, ki je bila opravljena na pralnem stroju. Zanimala nas je zvočna moč brez dodanega izolacijskega materiala in z njim in z zvočno zaveso na ohišju motorja pralnega stroja.

8.4 POTEK MERITVE IN PODATKI O MERITVI

Meritev je bila opravljena v polgluhi komori v Gorenju s pomočjo metode akustične holografije in standardizirane meritve absolutne metode, ki nam je služila za primerjavo. Meritve so bile opravljene na levi strani pralnega stroja. Pralni stroj je deloval v režimu ožemanja. Opravili smo tri meritve, prva meritev je bila opravljena brez dušenja motorja, druga meritev je bila opravljena potem, ko smo na ohišje motorja namestili absorpcijsko sredstvo, pri tretji meritvi smo namestili na ohišje elektromotorja akustično zaveso ter primerjali, dobljene rezultate.

Podatki o merjenju in meritvi:

- datum meritev: 5. 3. 2015,
- merjenec: pralni stroj,
- tip: PS 10/25 120,
- model: W 8424,
- serijska številka: 44760001,
- režim delovanja: ožemanje 1200 obratov/min.



Slika 31: Leva stranica PS, na kateri so bile opravljene meritve (Vir: Lasten)

Uporabljena merilna oprema in aplikacije:

- enota za zajem,
- program Pulse lab shop verzija: 10.1.0,
- Modul 7771,
- aplikacija 7799,
- 20 x mikrofonski predojačevalnik Delta tron-type 2671,
- 20 x mikrofoni model Falcon tm range 1/2, TIP 4189 A21,
- mikrofonska matrika Tip: WL 1297-W-011,
- mikrofoni 60x Bruel&Kjaer Tip: 4957,
- LAN XI sistem ohišje Bruel & Kjaer. Tip: 3660- C-00,
- 5 x 12-kanalni modul Bruel & Kjaer. Tip: 3053-B-12/0,
- 10 x večkanalni mikrofonski kabli. Tip: 2014W19,
- USB-kabel za integrirano kamero,
- LAN-kabel,
- računalnik DELL LATITUDE E6540,
- stojalo tripod Manfrotto,
- PULSE Lab Shop Fast Track 18.1.1.9,
- PULSE 18 Array Acoustic Post- processing,
- PULSE FFT Analizator 7770 N,
- PULSE Array Acoustic Holography 8607,
- PULSE Array Acoustic Beamforming 8608,
- PULSE Array Acoustic Transient Calculations BZ 5636-N,
- PULSE Array Acoustic Wide Band Holography BZ 5644-N,
- senzorji za meritev temperature in vlage.



Slika 32: Meritev zvočne intenzivnosti z akustično holografijo na PS, izoliran motor PS (Vir: Lasten)

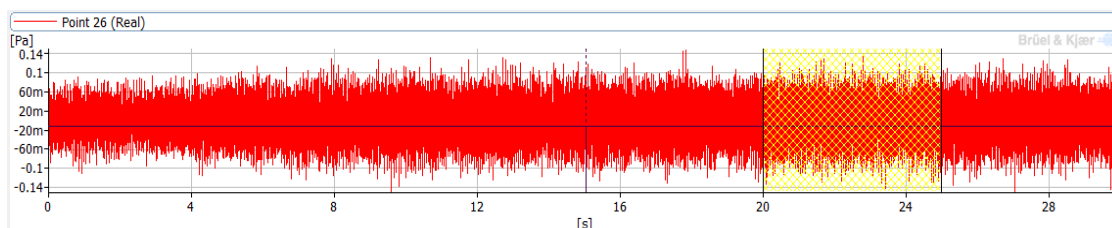
Uporabljeni parametri meritev in analiza rezultatov za meritve, narejene 9. 3. 2015:

- oddaljenost naprave od mikروفonov: 1,31 m;
- čas zajema meritve: 30 s;
- frekvenčno območje zajema: 50–12.800 Hz.

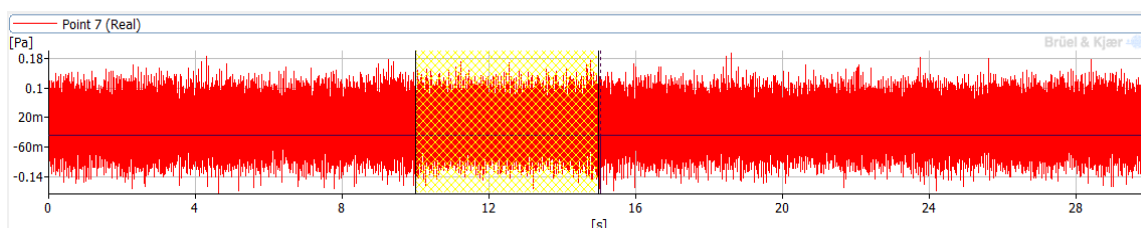
Analiza rezultatov:

- izračun: zvočna moč in intenziteta;
- območje analize časovnega signala: izbrana območja glede na potek cikla;
- območje analize frekvenčnega signala: izbrano območje 50–8.000 Hz (1/3 oktave);
- območje izračuna in prikaza rezultatov (kamera je v koordinatnem izhodišču):
 - mikrofonska matrika je bila pri tleh;
 - x-os: +- 0,34 m;
 - y-os: + 0,85m, -0.12m.

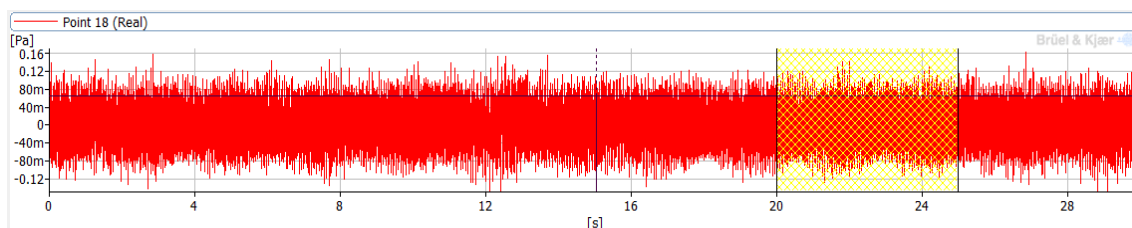
Časovni zapis izmerjenega signala:



Slika 33: Časovni zapis signala PS brez izolacije – ožemanje (Vir: Lasten)



Slika 34: Časovni zapis signala PS z izolacijo – ožemanje (Vir: Lasten)



Slika 35: Časovni zapis signala PS z zvočno zaveso– ožemanje (Vir: Lasten)

Zvočni zapis meritev:



PS z izolacijo.wav



PS brez izolacije.wav

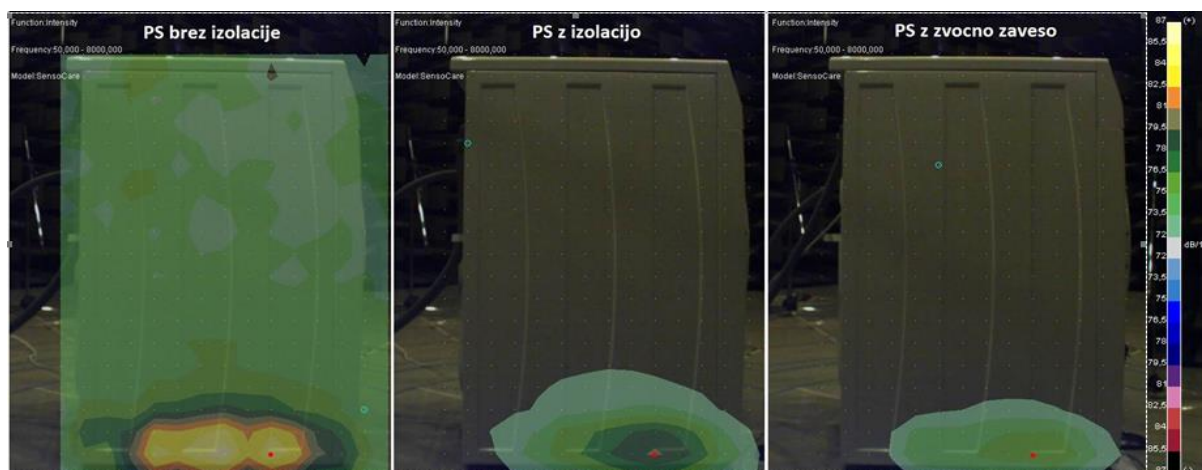


PS z zvočno zaveso.wav

(Vir: Lasten)

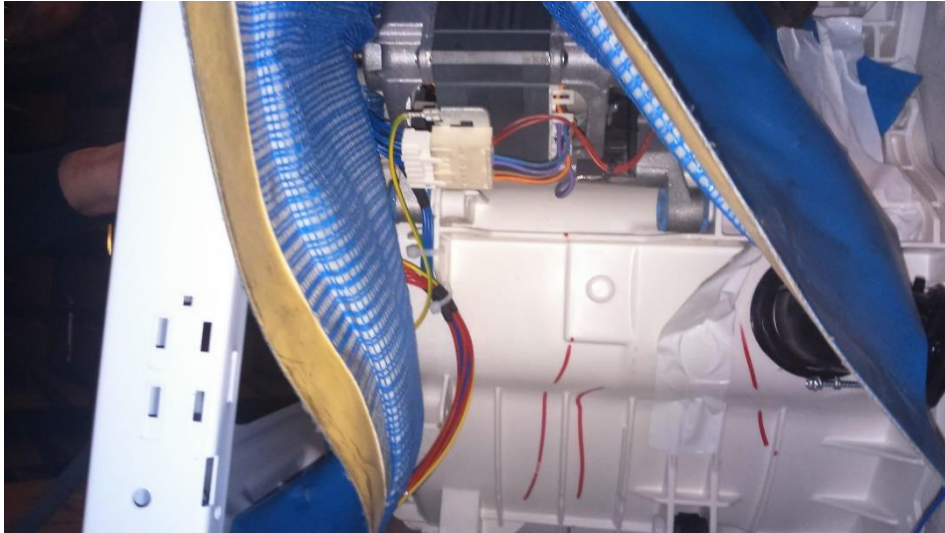
Na prvem posnetku je posnet zvok pralnega stroja z izolativnim materialom na elektro motorju, na drugem posnetku je zvok pralnega stroja, brez izolativnega materiala na elektromotorju, ter na tretjem posnetku je posnet zvok pralnega stroja, okoli katerega smo namestili zvočno zaveso.

8.5 REZULTATI MERITEV



Slika 36: Prikaz zvočne slike merjenja z metodo akustične holografije (Vir: Lasten)

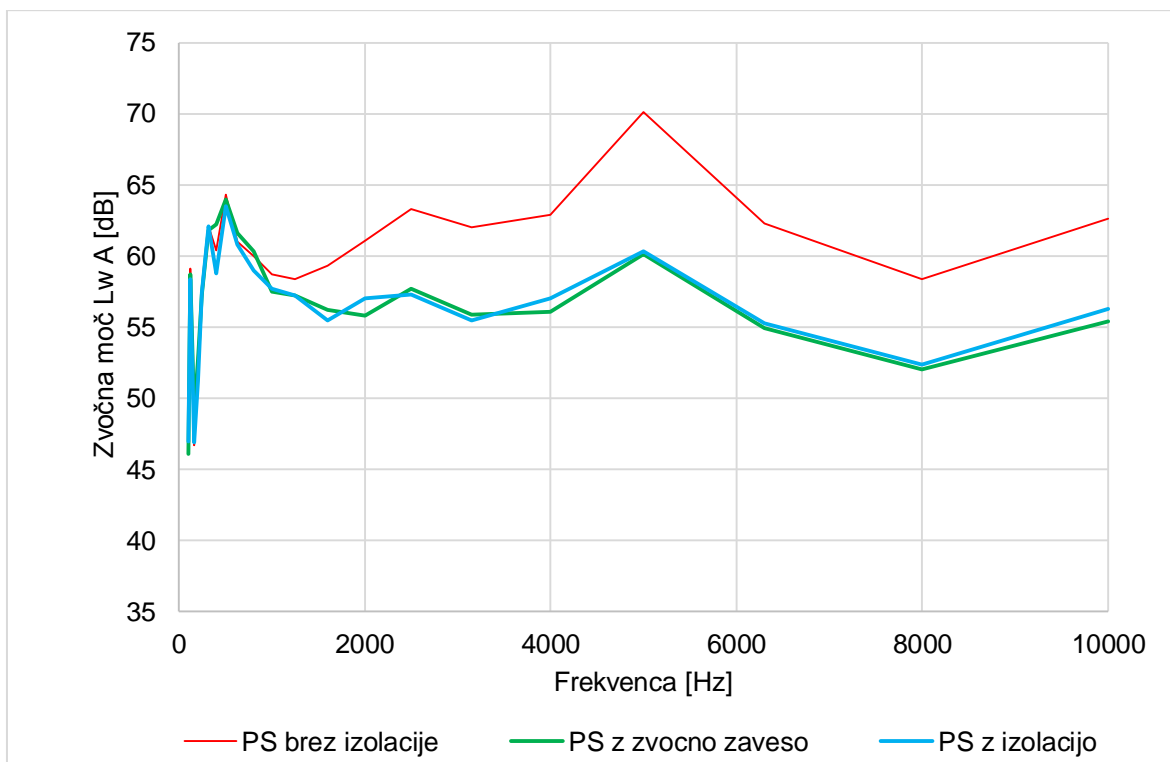
Na sliki 37 so predstavljene meritve akustične holografije pralnega stroja v režimu ožemanja. Na skrajni levi je skupna zvočna moč leve stranice pralnega stroja brez izolacije na ohišju elektromotorja, v sredini je predstavljena skupna zvočna moč pralnega stroja z izolacijo, na desni pa z zvočno zaveso, nameščeno na ohišju elektromotorja.



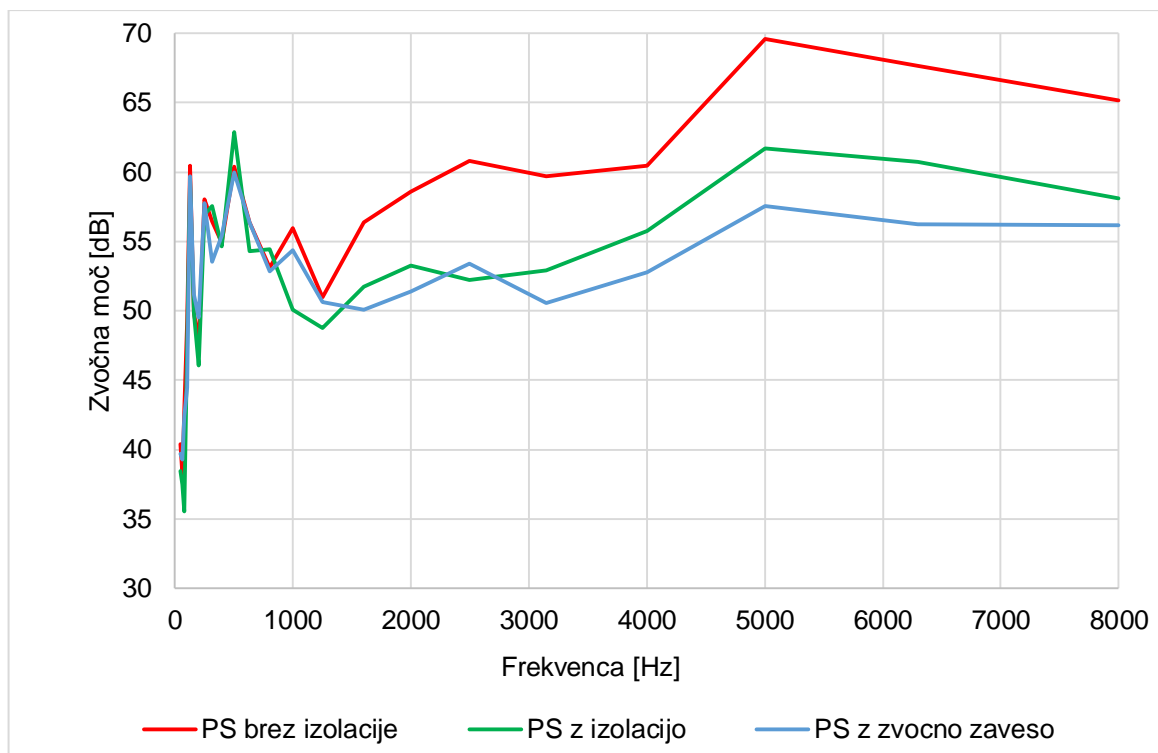
Slika 37: Nameščena zvočna zavesa okoli ohišja elektromotorja PS (Vir: Lasten)

Tabela 2: Primerjava zvočne moči (Vir: Lasten)

PS (ožemanje)	Lw (A) [dB]
PS brez izolacije	75,2
PS z izolacijo	71,7
PS z zvočno zaveso	71,7



Slika 38: Graf primerjave zvočne moči pralnega stroja po posameznih frekvencah (Vir: Lasten)

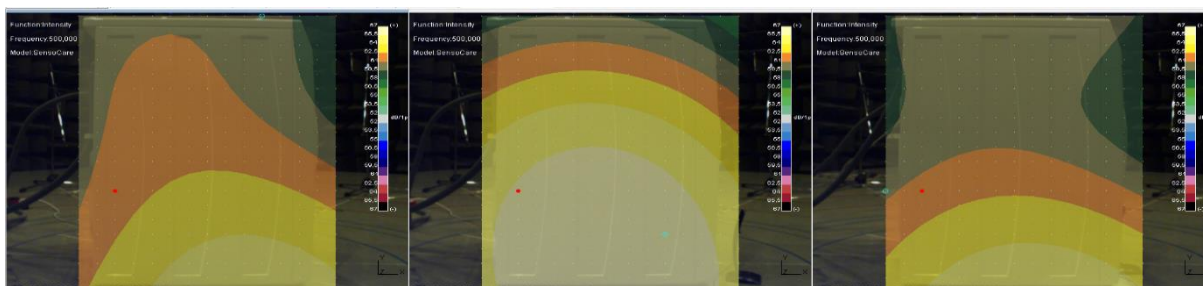


Slika 39: Graf primerjave skupne zvočne moči po posameznih frekvencah leva stran pralnega stroja (Vir: Lasten)

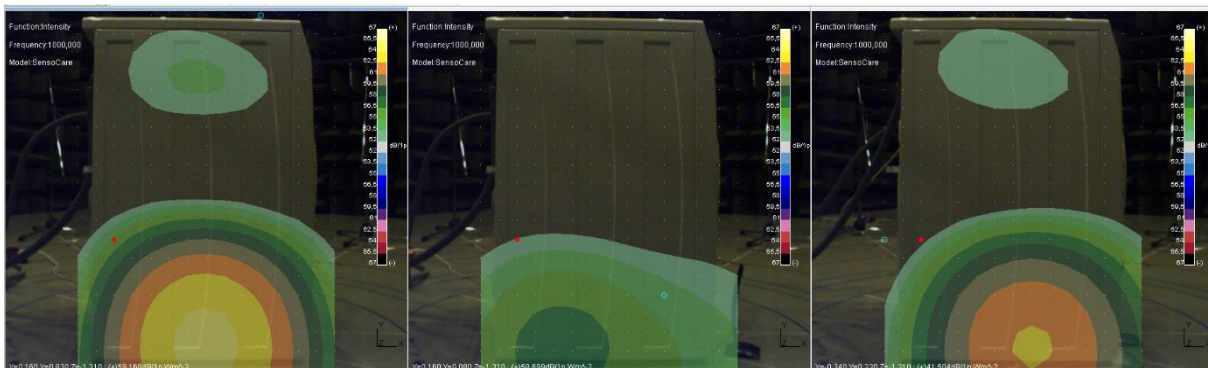
Tabela 3: Primerjava skupne zvočne moči (leva stran pralnega stroja) (Vir: Lasten)

	PS brez izolacije	PS z izolacijo	PS z zvočno zaveso
Skupna zvočna moč [dB]	74,41	69,78	68,17

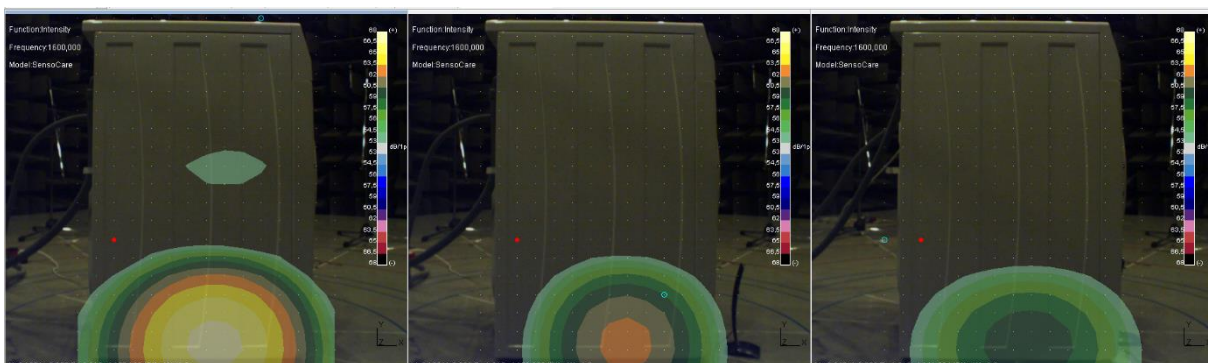
8.6 ZVOČNE SLIKE ZVOČNE INTENZIVNOSTI IN ZVOČNE MOČI MERITEV Z AKUSTIČNO HOLOGRAFIJO V ODVISNOSTI OD FREKVENCE



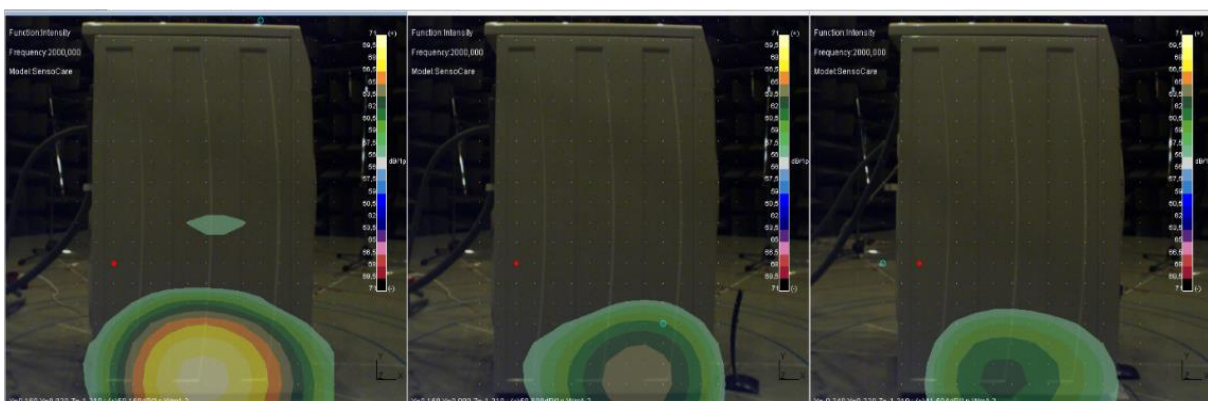
Slika 40: Zvočna slika akustične holografije pralnega stroja levo brez izolacije, v sredini z izolacijo, desno z zvočno zaveso na ohišju elektromotorja 500 Hz (Vir: Lasten)



Slika 41: Zvočna slika akustične holografije 1.000 Hz (Vir: Lasten)



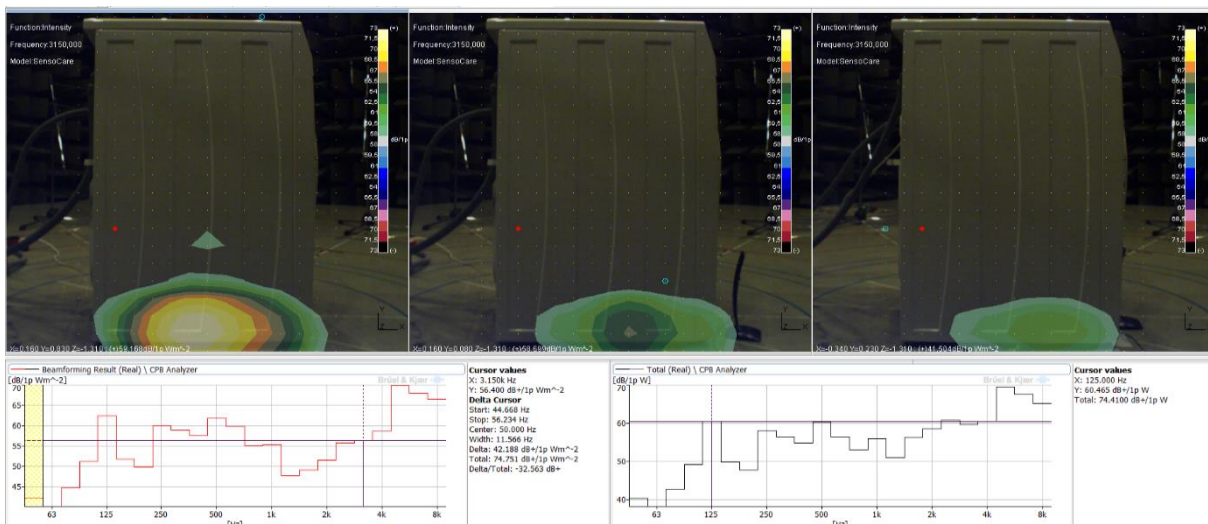
Slika 42: Zvočna slika akustične holografije 1.600 Hz (Vir: Lasten)



Slika 43: Zvočna slika akustične holografije 2.000 Hz (Vir: Lasten)



Slika 44: Zvočna slika akustične holografije 2.500 Hz (Vir: Lasten)



Slika 45: Zvočna slika akustične holografije 3.150 Hz, s pripadajočima grafoma trenutne in skupne zvočne moči (Vir: Lasten)

9 ANALIZA MERITEV IN REZULTATOV

9.1 MERITEV ZVOČNE MOČI PRALNEGA STROJA Z RAZLIČNIM DNOM

Meritve, ki so bile predstavljene v tej diplomski nalogi, so bile raziskovalnega tipa in so služile za pomoč pri prihodnjem snovanju komponent za zmanjševanje zvočne moči pralnih strojev.

Pri meritvi po absolutni metodi nas je zanimala vrednost zvočne moči, če na pralni stroj namestimo dna iz različnih materialov. Uporabili smo dno iz pločevine in dno iz plastične mase. V drugi fazi meritev pa smo na ohišje pralnega stroja namestili še izolacijski material iz tekstilja z vezivom. Naša predvidevanja so bila, da se bo raven zvočne moči najbolj znižala, ko bomo namestili na ohišje pralnega stroja kovinsko dno.

Po končanih meritvah smo pridobili rezultate, ki so pokazali, da je najučinkovitejše dno za znižanje zvočne moči pralnega stroja dno iz pločevine, na katero smo namestili absorpcijski material iz tekstilja z vezivom, prav tako smo na ohišje pralnega stroja (levo, desno, sprednjo stran) namestili absorpcijski material in dosegli najnižjo raven skupne zvočne moči 69,9 dB (A), medtem ko je bila vrednost skupne zvočne moči pralnega stroja brez dna in brez absorpcijskega materiala 75,6 dB (A).

Rezultati meritev z nameščenim dnom iz plastične mase so prav tako pokazali zmanjšanje zvočne moči pralnega stroja, ampak zmanjšanje je bilo dosti manjše kot pri nameščenem dnem iz pločevine. Vsekakor pa smo pri teh meritvah dosegli cilj, saj smo v obeh primerih dosegli zmanjšanje zvočne moči pralnega stroja, tako z dnom iz pločevine kot z dnom iz plastične mase.

9.2 MERITEV ZVOČNE MOČI Z AKUSTIČNO HOLOGRAFIJO

Meritve z akustično holografijo je bila posebna izkušnja, saj smo to tehnologijo šele uvajali v proces laboratorijskih meritev v Gorenju. Opravljene so bile tri meritve: meritev brez dušenja elektromotorja, z dušenjem elektromotorja in meritev, pri kateri smo elektromotor obdali s posebno zvočno zaveso, ki se uporablja za zmanjševanje hrupa v industrijskih objektih. Meritev je bila opravljena tudi po absolutni metodi določanja zvočne moči, ki nam je služila za primerjavo. Po končani meritvi z akustično holografijo, kjer smo merili zvočno intenzivnost in zvočno moč, je bila na slikah prikazana smer zvočne emisije od 500 Hz do 3.160 Hz. Rezultati so pokazali, da se zvočna emisija pri 1.000 Hz postopoma centralizira v spodnji predel pralnega stroja na predel elektromotorja, in pri višjih frekvencah je razvidno stanje še izrazitejše. Od frekvence 2.000 Hz do 3.150 Hz je lepo razvidno zmanjšanje sevanja vira, ki ima nameščen izolacijski oz. absorpcijski material in zvočno zaveso in s tem zmanjšanje zvočne moči pralnega stroja. Rezultati so pokazali, da je imel pralni stroj brez izoliranega elektromotorja skupno zvočno moč 75,2 dB (A), medtem ko je znašala skupna zvočna moč pralnega stroja po aplikaciji izolacijskega oz. absorpcijskega materiala in zvočne zaveso 71,7 dB (A). Akustična holografija nam je prikazala skupno zvočno moč samo leve stranice brez izolacijskega materiala 74,4 dB, po aplikaciji izolacije na elektromotorju 69,8 dB in z aplikacijo zvočne zaveso na elektromotorju 68,2 dB. Te vrednosti so brez A-otežitve. Iz rezultatov meritev je razvidno, da smo zmanjšali zvočno moč pralnega stroja z apliciranjem izolacijskega oz. absorpcijskega materiala in zvočne zaveso na elektromotorju pralnega stroja. Rezultati meritev z akustično holografijo v tem diplomskem delu, niso neposredno vplivale na energetske nalepke pralnega stroja, ampak so služile predvsem za znanstveno raziskovalni namen za nadaljnji razvoj komponent zmanjševanja hrupa pralnih strojev.

10 RAZPRAVA IN SKLEPI

V diplomski nalogi je obravnavana tema hrupa in zvočne moči ter določene metode, ki se uporabljajo za zmanjševanje zvočne moči oz. hrupnosti gospodinjskih aparatov. Naša osredotočenost je temeljila na zmanjševanju zvočne moči pralnega stroja.

Vse naprave, ki jih imamo v svojih domovih in jih napaja električna energija, oddajajo določeno emisijo zvočne moči oz. hrupa. Z današnjim tempom življenja so te naprave nepogrešljiv del našega življenja in z njihovo vsakodnevno uporabo in s čezmernim hrupom iz naprav nehoti onesnažujemo svoje domače okolje. Veliko časa se ljudje niti niso zavedali te problematike, ampak se je z vse večjim potrošništvom in z vse številčnejšimi nakupi različnih gospodinjskih in drugih električnih naprav to zavedanje začelo spreminjati. Zaradi vse številčnejših naprav, ki so pristale v naših domovih, so se pri ljudeh začele pojavljati določene zdravstvene težave, povezane s čezmernim hrupom. Da bi omejili problematiko hrupnosti naprav, so se začela določena sprejemanja zakonodaje o omejevanju čezmernega hrupa. Prav tako se je začela spreminjati zakonodaja o zelo potratnih napravah in korak v pravo smer je bil narejen z uvedbo energijske nalepke, s katero so omejili in primorali proizvajalce različnih električnih naprav, da so začeli izdelovati učinkovitejše in s tem tudi tišje in okolju prijaznejše električne naprave. V tem primeru tudi podjetje Gorenje, ki ima uvedeno najboljšo razpoložljivo tehniko v celotnem procesu izdelave gospodinjskih aparatov. Njihovi gospodinjski aparati so izdelani iz 90 % materialov, ki jih je mogoče reciklirati in so s tem okolju prijaznejši. Prav tako je Gorenje podjetje, ki namenja veliko pozornosti raziskavam in razvoju, ki je dandanes nujno potreben za preživetje na prodajnem trgu. V podjetju imajo najsodobnejši laboratorij za merjenje zvočne moči gospodinjskih in drugih naprav po najnatančnejši absolutni metodi merjenja zvočne moči, ki spada v 1. razred natančnosti meritev in najnovejšo opremo za merjenje zvočne intenzivnosti akustično holografijo, s katero lahko identificiramo zvočni vir v samem aparatu. Dejstvo je, da je področje akustike posebno in zahtevno področje. Za razumevanje in meritve v akustiki pa so potrebne izkušnje in posebna znanja in poznavanje aparatov, treba pa se je zavedati, da če želimo imeti tišje aparate, se proces redukcije zvočne moči mora začeti že v fazi razvoja in konstruiranja aparata.

Po opravljenih prvih raziskovalnih meritvah zvočne moči pralnega stroja po absolutni metodi, na katerega smo namestili dna pralnega stroja iz različnih materialov ter dosegli zmanjšanje zvočne moči, lahko potrdimo prvo hipotezo.

V drugih raziskovalnih meritvah smo opravili meritve zvočne moči po absolutni metodi določanja zvočne moči in meritev zvočne intenzivnosti, kjer smo z dušenjem elektromotorja z absorpcijskim materialom in z zvočno zaveso znižali zvočno moč pralnega stroja, s tem tudi potrjujemo drugo hipotezo.

11 POVZETEK

Naše okolje je vedno bolj onesnaženo s hrupom, zato je za ljudi in za naše zdravje pomembno, kakšne gospodinjske in druge aparate, brez katerih si življenja praktično ne moremo več predstavljati, pošiljajo podjetja na trg. Pomembno je, da so aparati pri delovanju čim tišji, energetsko učinkoviti in prijazni uporabniku.

V diplomskem delu je predstavljen osnovni opis zvoka in hrupa in metode določanja zvočne moči, ki se uporabljajo v akustiki. Predstavljeno je delo, ki sem ga opravljal v času svojega študijskega izobraževanja, prav tako so predstavljene metode za zmanjševanje hrupa pri gospodinjskih aparatih, naloga zajema raziskovalne meritve, s katerimi smo želeli zmanjšanje hrupnosti na pralnem stroju. Opravili smo jih brez dušenja, z dušenjem z izolacijskim materialom oz. absorpcijskim materialom ter z dušenjem elektromotorja z akustično zaveso, meritve so potekale po absolutni metodologiji določanja zvočne moči, ki je predpisana s strani standarda ISO 3745 Ugotavljanje ravni zvočne moči virov hrupa - precizijska metoda za gluhe in polgluhe prostore. V nalogi je prav tako prikazano zmanjševanje hrupa pralnega stroja z različnim materialom dna pralnega stroja, meritev smo opravljali v režimu ožemanja. Pri raziskovalnih meritvah je bila uporabljena novejša metodologija določanja in identifikacije zvočnih virov, metoda akustične holografije, ki omogoča meritev zvočne intenzivnosti, ki nam poda zvočno sliko, ki se pojavi ob delovanju gospodinjskega aparata ter omogoči lažje lociranje izvorov oz. virov ter vizualizacijo gibanja zvoka po ohišju naprave in v napravi v odvisnosti od frekvence. V nalogi smo podali osnovni opis in namen standarda ISO 3745 ter predstavili namen energijske nalepke, ki se uporablja v prvi vrsti za povečanje energetske učinkovitosti vseh vrst naprav in gospodinjskih aparatov, ter prikazuje pomembne podatke s področja akustike oz. hrupnosti aparata, v našem primeru pralnega stroja.

12 LITERATURA IN VIRI

Bilban, M. (2011). *Hrup kot spremljevalec sodobnega življenja*. Medmrežje: http://www.osha.mdds.gov.si/resources/files/pdf/kampanje/drBilban_Spremljevalec_sodobnega_zivljenja.pdf (22. 2. 2017).

Brüel & kjaer. (2012). *Okoljski hrup*. Ljubljana, IMS industrijski merilni sistemi, 91 str.

Brüel & Kjær. (2015). *Maximizing productivity for Gorenje with rapid noise mapping, case study*, Velenje, 3 str. Medmrežje: <http://www.bksv.com/> (20. 2. 2017).

Čatak, E. (2015). *Pomen in uporaba metode LCA na primeru pralnih strojev*, diplomska naloga, Maribor, Ekonomsko-poslovna fakulteta, 63 str. Medmrežje: <https://dk.um.si/Dokument.php?id=73090> (29. 5. 2017).

Čudina, M. (2001). *Tehnična Akustika*. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo.

Gosak, M. (2005). *Spektralna analiza glasbil*, Maribor, 12 str. Medmrežje: <http://fizika.fnm.uni-mb.si/files/seminarji/04/sag.pdf> (22. 2. 2017).

Holeček, N. (2003a). *Razpoznavanja in karakterizacija zvočnih virov pri gospodinjskih aparatih*, magistrsko delo, Ljubljana, Fakulteta za strojništvo, 125 str.

Holeček, N. (2003b). *Priporočena praksa za zmanjševanje hrupa pri metodičnem razvoju gospodinjskih aparatov*. Velenje, 46 str.

Holeček, N., Semprimožnik M. (2003). *Primerjava metod določanja zvočne moči vira z merjenjem zvočnega tlaka, zvočne intenzivnosti in hitrosti vibracij, ALPS Adria Acoustic Association*. Congress Proceedings of the First Congress of Alps Adria, 561-568 str.

IEC 60704 -2-14. (2007). *Household and similar electrical appliances – Test code for the determination of airborne acoustical noise. Part 2-14 Particular requirements for refrigerators, frozen food storage cabinets and food freezers*, 10 str.

IEC 60704 -2-4. (2011). *Household and similar electrical appliances – Test code for the determination of airborne acoustical noise. Part 2 -4 Particular requirements for washing machines and spin extractors*, 13 str.

ISO 3745. (2012). *Acoustic – Determination of sound power level of noise source using sound pressure – Precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms*, 65 str.

Kotnik, M. (2007). *Meritve hrupa v različnih okoljih in pregled standardov*. Maribor, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 5 str. Medmrežje: http://www.aig.si/07/Prispevki/S4_Kotnik.pdf (22. 2. 2017).

Križaj, K. (2009). *Protihrupna zaščita, seminar pri izbranih poglavij, iz uporabne fizike*. Ljubljana, Fakulteta za matematiko in fiziko, 17 str. Medmrežje: <http://www-f1.ijs.si/~ziherl/ProtihrupnaZascita.pdf> (22. 2. 2017).

Lesjak, K. (2011). *Analiza in aplikacija precizijske metode za ugotavljanje ravni virov hrupa*. diplomska naloga, Velenje, Šolski center Velenje, Višja strokovna šola, 40 str.

Ljubojević, U. (2008). *Modifikacija pralnega stroja glede porabe vode*. diplomska naloga, Maribor, Fakulteta za strojništvo, 66 str. Medmrežje: <https://dk.um.si/Dokument.php?id=7232> (22. 2. 2017).

Medmrežje 1: http://si.openprof.com/wb/longitudinalno_valovanje_zvoka?ch=337 (22. 2. 2017).

Medmrežje 2: https://sl.wikipedia.org/wiki/Hitrost_zvoka (6. 3. 2017).

Medmrežje 3: <http://www.uho.si/> (6. 3. 2017).

Medmrežje 4: <http://www.delo.si/clanek/68748> (4. 3. 2017).

Medmrežje 5: <http://www.gorenjegroup.com/si/gorenje-group/o-skupini-gorenje> (4. 3. 2017).

Medmrežje 6: <http://www.zeleniprihranki.si/vem-vec/energijska-nalepka> (4. 3. 2017).

Medmrežje 7: <http://www.bodieko.si/nove-energijske-nalepke> (4. 3. 2017).

Medmrežje 8: <https://www.ceneje.si/lzdelek/3095954/dom-in-vrt/umivanje-in-pranje/pralni-stroji/gorenje-pralni-stroj-w8424> (4. 3. 2017).

Petrinjak, D. (2011). *Energijska učinkovitost pralnega stroja*, magistrska naloga, Maribor, Fakulteta za energetiko, 71 str. Medmrežje: <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=18056> (22. 2. 2017).

Prezelj, J. (2012). *Meritve zvočne moči, tehniška akustika*, Ljubljana, 12 str. Medmrežje: http://lab.fs.unilj.si/lستا/old_page/vaje/ta/Tehnicna%20Akustika%20MERITVE%20ZVOCNE%20MOCI%20-%20Cobiss.pdf (22. 2. 2017).

Šoster, V. (2010). *Hrupno onesnaženje Celja*, raziskovalna naloga, 70 str. Medmrežje: <http://www.ce.sik.si/raziskovalne/4201003884.pdf> (14.12. 2016).

Toplak, S. (2010). *Zvočna izolirnost opečnih zidov*, diplomska naloga, Maribor, Ekonomsko-poslovna fakulteta, 85 str. Medmrežje: <https://dk.um.si/lscanje.php?type=napredno&stl0=Avtor&niz0=Sebastijan+Toplak&lang=slv> (15. 2. 2017).

Tratnik, E. (2009). *Prenehajte s tem hrupom*. Ljubljana, Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve, 50 str. Medmrežje: <http://www.osha.mdds.gov.si/resources/files/pdf/prenehajte-s-hrupom-2009.pdf> (10. 2. 2017).