

59. SREČANJE MLADIH RAZISKOVALCEV
SLOVENIJE

Aktivno izničenje zvoka (ang. Noise Canceling)

Raziskovalno področje: Fizika

Raziskovalna naloga

Avtor:

Urban Globevnik

Šola: OŠ Bojana Iliča Maribor

Mentor:

Jure Pikel

Maribor, april 2025

KAZALO POGLAVIJ

1	UVOD	7
2	NAMEN IN CILJ	7
3	NA SPLOŠNO O ZVOKU	8
3.1	ZAZNAVANJE ZVOKA	16
3.2	SLIŠNO FREKVENČNO OBMOČJE	17
4	MERILNA OPREMA	19
5	RAZISKOVALNA VPRAŠANJA	21
5.1	POIZKUS ŠT. 1	21
5.2	POIZKUS ŠT. 2	21
5.3	POIZKUS ŠT. 3	21
6	PREDVIDEVANJA	22
7	METODOLOGIJA	22
8	SEZNAM POJMOV, KRATIC	23
9	POIZKUSI	24
9.1	POIZKUS ŠT. 1	26
9.2	POIZKUS ŠT. 2	32
9.3	POIZKUS ŠT. 3	40
10	DRUŽBENA KORISTNOST IN ZAKLJUČEK	46
11	VIRI	47

KAZALO SLIK

Slika 1:	Zvok kot sinusno nihanje (vir: Lasten)	8
Slika 2:	Dvoje enakih valovanj brez faznega zamika ter njun seštevek – interferenca (vir: Lasten).....	12
Slika 3:	Dvoje enakih valovanj s faznim zamikom $\lambda/9$ ter njun seštevek – interferenca (vir: Lasten).....	12
Slika 4:	Dvoje enakih valovanj s faznim zamikom $\lambda/4,5$ ter njun seštevek – interferenca (vir: Lasten).....	12
Slika 5:	Dvoje enakih valovanj s faznim zamikom $\lambda/2,25$ ter njun seštevek – interferenca (vir: Lasten).....	13
Slika 6:	Dvoje enakih valovanj s faznim zamikom $\lambda/2$ ter njun seštevek – interferenca (vir: Lasten).....	13
Slika 7:	Troje različnih valovanj brez faznega zamika ter njihov seštevek – interferenca (vir: Lasten)	13
Slika 8:	Shematski prikaz seštevanja zvočnega valovanja v merilni točki (vir: Lasten)	14

Slika 9: Človeško uho, organ za zaznavanje zvoka (vir: https://www.audiobm.si/slugh/).....	16
Slika 10: Območje zaznave zvoka pri človeku (vir: https://sinapsa.org/eSinapsa/media/pics/2015-10/tinitus/slika_1.jpg)	17
Slika 11: Karakteristika A-filtra (vir: Lasten in https://sengpielaudio.com/calculator-dba-spl.htm)	18
Slika 12: Kalibracijski list mikrofona Bruel&Kjaer, tip 4189, ki je bil uporabljen pri meritvah	20
Slika 13: Postavitev za Poizkus št. 1 – pogled od strani (vir: lastni arhiv)	24
Slika 14: Postavitev za Poizkus št. 1 – pogled od zgoraj (vir: lastni arhiv)	24
Slika 15: Postavitev za Poizkus št. 2 (vir: lastni arhiv).....	24
Slika 16: Postavitev za Poizkus št. 3 (vir: lastni arhiv).....	24
Slika 17: Pravilna priključitev zvočnika, + → + in - → - (vir: lastni arhiv)	25
Slika 18: Obrnjena priključitev zvočnika, + → - in - → + (vir: lastni arhiv).....	25
Slika 19: Shematski prikaz postavitve zvočnikov in merilnih mest pri poizkusu št. 1 (vir: Lasten).....	26
Slika 20: Grafični prikaz rezultatov na merilnem mestu 1 za poizkus št. 1(vir: Lasten).....	28
Slika 21: Grafični prikaz rezultatov na merilnem mestu 2 za poizkus št. 1(vir: Lasten).....	29
Slika 22: Shematski prikaz postavitve zvočnikov in merilnih mest MM pri Poizkusu št. 2 (vir: Lasten).....	32
Slika 23: Potek normiranih faktorjev amplitud v odvisnosti od frekvence v merilnem mestu 3(vir: Lasten)	35
Slika 24: Potek normiranih faktorjev amplitud v odvisnosti od frekvence v merilnem mestu 12(vir: Lasten)	36
Slika 25: Potek normiranih faktorjev amplitud v odvisnosti od frekvence v merilnem mestu 7(vir: Lasten)	38
Slika 26: Shematski prikaz postavitve zvočnikov in merilnih mest MM pri Poizkusu št. 3 (vir: Lasten).....	40
Slika 27: Poizkus št. 3, potek normiranih faktorjev amplitud v odvisnosti od frekvence v merilnem mestu 1(vir: Lasten)	42
Slika 28: Poizkus št. 3, potek normiranih faktorjev amplitud v odvisnosti od frekvence v merilnem mestu 4 (vir: Lasten)	44

KAZALO TABEL

Tabela 1: Hitrosti zvoka v nekaterih materialih (pri 20°C) [vir št.2].....	8
Tabela 2: Frekvenčna območja in pripadajoče valovne dolžine	10
Tabela 3: Merilna in programska oprema.....	19
Tabela 4: Rezultati po frekvenčnih območjih za Poizkus št. 1	27
Tabela 5: Povzetek rezultatov, prikazani s statističnimi kazalci za Poizkus št. 1	29
Tabela 6: Poizkus št. 2, povzetek rezultatov za merilno mesto MM-3, $ Y_A = Y_B =0,8m$, $ X_A = X_B =0,0m$	34
Tabela 7: Poizkus št. 2, povzetek rezultatov za merilno mesto MM-12, $ Y_A =1m$, $ Y_B =0,6m$, $ X_A = X_B =0,0m$	35
Tabela 8: Poizkus št. 2, povzetek rezultatov za merilno mesto MM-7, $ Y_A =1,2m$, $ Y_B =0,4m$, $ X_A = X_B =0,4m$	37
Tabela 9: Povzetek rezultatov Poizkus št. 2	38
Tabela 10: Poizkus št. 3, povzetek rezultatov za merilno mesto MM-1, $ Y_A = Y_B =0,5m$, $ X_A = X_B =0,0m$	41
Tabela 11: Poizkus št. 3, povzetek rezultatov za merilno mesto MM-4, $ Y_A = Y_B =2,0m$, $ X_A = X_B =0,0m$	43
Tabela 12: Povzetek rezultatov Poizkus št. 3	44

POVZETEK

Zvok kot oblika valovanja je podvržen fizikalnim zakonom, tudi seštevanju zvočnih valov. Princip seštevanja zvočnih valovanj se da uporabiti za aktivno izničenje zvoka (ang. Noise Canceling) v kolikor zagotovimo pogoje, da v točki opazovanja pride do srečanja »vala« in njegovega »anti-vala«

Ker je možnost aktivnega izničenja zvoka željeno dosežati v realnih okoliščinah, sem posledično opravil vse poizkuse opisane v nalogi v realnih pogojih, torej v dnevni sobi, ki je opremljena za vsakodnevno uporabo (op. tepih, zavese, pohištvo,...).

Opravljene so bile trije poizkusi, ki so se razlikovali v postavitvi in orientaciji zvočnikov. Prav tako so se razlikovali po postavitvi merilnih mest, ki so ležali simetrično ali nesimetrično na zvočnika.

Pri vseh treh poizkusih je ugotovljeno, da v točki opazovanja pride do aktivnega izničenja zvoka (ang. Noise Canceling) v kolikor te točke ležijo tako, da je zadoščeno pogoju razdalje $d_A = d_B$, pri čemer imamo opraviti z dvema zvočnikom A in B.

Jakost aktivnega izničenja je tudi odvisna od oddaljenosti točke opazovanja oz. merilnega mesta od zvočnikov. Ugotovil sem, da bližje kot so točke opazovanja zvočnikoma, večja je stopnja izničenja. Pri večjih razdaljah med točkami opazovanja in zvočniki začnejo igrati pomembno vlogo še drugi dejavniki, kot npr. odboji od domačih mejnih površin, drugih elementov v prostoru, zvočnika nista popolnoma enaka, zato se njuna emisija na večjih oddaljenostih lahko razlikuje, ipd...

S poizkusi sem dokazal, da je v določenih točkah v realnih okoliščinah mogoče aktivno izničenje zvoka, kar bi bilo mogoče uporabiti v praktične namene.

Ključne besede:

zvok, noise canceling, aktivno izničenje zvoka, valovanje, interferenca zvoka

ABSTRACT

Sound waves can cancel each other out when a wave and its anti-wave meet, enabling active noise cancellation (ANC). Experiments were conducted in a real-world living room with typical furnishings. Three tests were made with varied speaker positions and measurement points.

Results showed that noise cancellation occurs when the observation point is equally distant from both speakers ($dA=dB$). The effect is stronger when closer to the speakers, while reflections and speaker differences reduce cancellation at greater distances.

This confirms that ANC is achievable in real environments, suggesting practical applications.

Key words:

sound, noise canceling, sound wave, interference

ZAHVALA

Zahvala podjetju A-PROJEKT, d.o.o., ki mi je omogočilo izvedbo vseh potrebnih meritev z njihovo profesionalno merilno opremo ter uporabo njihove bogate strokovne literature iz katere sem črpal potrebne podatke ter za pomoč pri izvedbi meritev in obdelavi podatkov.

1 UVOD

Idejo za raziskovalno nalogo sem dobil pri preučevanju različnih slušalk za poslušanje glasbe. Boljše slušalke imajo funkcijo »Noise Canceling«. Ker te funkcije nisem poznal, sem si jo želel raziskati od teorije do praktične uporabe. Pri raziskovanju bistva funkcije, sem ugotovil, da slušalke omogočajo izločanje okoliškega hrupa, pri tem postane poslušana glasba jasnejša ter čistejša. Poslušanje glasbe postane kvalitetnejše, saj jo ne moti zunanji zvok, ki je prisoten v okolici. Slušalke hrup identificirajo in ga nato programsko minimizirajo. Opisana funkcija aktivnega izničenja zvoka (ang. Noise Canceling) je pri slušalkah naprednejša, izpopolnjena. Deluje po fizikalnem principu seštevanja dveh valovanj, pri čemer je eno valovanje inverzno prvemu. Doseganje tega je odvisno od aplikacije. V mnogih primerih je takšna regulacija zvoka dodatno podprta še programsko z vključevanjem dodatnih mikrofonov za analizo hrupa okolice.

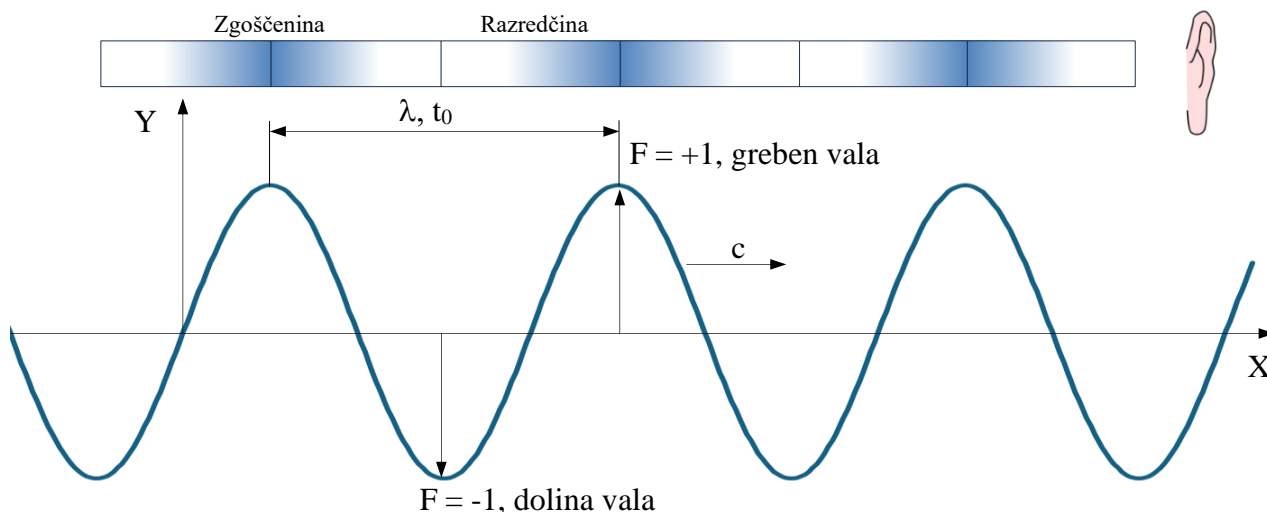
2 NAMEN IN CILJ

Namen raziskovalne naloge je najprej raziskati zvok kot fizikalni pojav in raziskati, kaj pomeni »Noise Canceling«, oz. izničenje zvoka ter v praksi preveriti, pod kakšnimi pogoji pride do izničenja zvoka.

Cilj naloge je takšne pogoje ustvariti, proučiti in oceniti, ali so ugotovitve glede izničenja zvoka uporabna v praksi.

3 NA SPLOŠNO O ZVOKU

Zvok je longitudinalno valovanje, ki za širjenje potrebuje sredstvo. Zvok se po sredstvu širi s t.i. zgoščeninami in razredčinami, kar lahko ponazorimo tudi s sinusnim nihanjem (op. glej Slika 1).



Slika 1: Zvok kot sinusno nihanje (vir: Lasten)

Hitrost širjenja zvoka je odvisna od snovi po kateri se zvok širi. Nekaj teh materialov in pripadajoče hitrosti so prikazane v spodnji tabeli. [povzeto po: vir št. 7]

Tabela 1: Hitrosti zvoka v nekaterih materialih (pri 20°C) [vir št.2]

Snov	c [m/s]	Snov (kovina)	c [m/s]
voda	1.485	Al	5.100
led (-4°C)	3.200	Cu	3.800
les – mehak	4.500	Fe	5.200
les – trd	3.400	Hg	1.430
pluta	500	Ni	4.900
guma	50	Pb	1.300
opeka	3.600	Sn	2.600
steklo	5.000	Zn	3.700
zrak	343		

Iz zgornje tabele je moč videti, da se zvok najpočasneje širi skozi pline, hitreje skozi tekočine, najhitreje pa skozi trde snovi. Najhitreje se širi skozi trde snovi, saj so najmanj stisljive.

Dejstvo je tudi, da se hitrost zvoka povečuje s temperaturo, saj so molekule v snoveh pri povišani temperaturi bolj gibljive. [povzeto po: vir št. 5]

Zvočna hitrost v plinih se izračuna po enačbi [povzeto po: vir št.2]:

$$c = \sqrt{\frac{\kappa \cdot R \cdot T}{M}} \quad (1)$$

pri čemer je: κ – koeficient stisljivosti plina (op. za zrak 1,40), R – splošna plinska konstanta, ki znaša 8,314 J/(K·mol), T – absolutna temperatura [°K], M – molska masa plina (op. za zrak 0,02897 kg/mol).

Za zvok so pomembni še t.i. valovna dolžina λ , frekvenca valovanja f in hitrost zvoka c . Vse tri parametre hitrost c , valovno dolžino λ in frekvenco f povezuje enačba:

$$c = \lambda \cdot f \quad (2)$$

pri čemer je: c – hitrost zvoka [m/s], λ - valovna dolžine [m], f – frekvenca [1/s].

Običajno frekvenčno območje, ki se ga obravnava v klasični akustiki je od 6,3 Hz do 20.000 Hz. Slednje se deli še na podobmočja: nizko frekvenčno območje, srednje frekvenčno območje in visoko frekvenčno območje. Zvok z frekvencami pod 20 Hz imenujemo infrazvok, zvok z frekvencami nad 20.000 Hz pa ultrazvok

Posebno mesto zavzema t.i. govorno območje, ki zaobjema približno polovico visokega frekvenčnega območja, celotno srednje frekvenčno območje in približno polovico nizkega frekvenčnega območja, oz. $100 \leq f \leq 8.000$ Hz. Valovna dolžina se izračuna po preoblikovani enačbi (2):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3)$$

Frekvenčna območja in pripadajoče frekvence v primeru širjenja zvoka po zraku prikazuje sledeča tabela.

Tabela 2: Frekvenčna območja in pripadajoče valovne dolžine

Frekvenčno območje	Frekvenca [Hz]	Valovna dolžina [m]	
Govorno območje	Nizko frekvenčno območje $f < 100$ Hz	6,3	54,0
		8	42,5
		10	34,0
		12,5	27,2
		16	21,3
		20	17,0
		25	13,6
		31,5	10,8
		40	8,5
		50	6,8
		63	5,4
		80	4,3
		Srednje frekvenčno območje $500 < f < 2.000$ Hz	100
	125		2,7
	160		2,1
	200		1,7
	250		1,4
	315		1,1
	400		0,85
	500		0,68
	630		0,54
	800		0,43
	1.000		0,34
	1.250		0,27
	1.600		0,21
	2.000	0,17	
	Visoko frekvenčno območje $f > 2.000$ Hz	2.500	0,14
		3.150	0,11
		4.000	0,085
		5.000	0,068
6.300		0,054	
8.000		0,043	
10.000		0,034	
12.500		0,027	
16.000		0,021	
20.000		0,017	

Zvok kot takšen je kombinacija mnogih posamičnih sinusnih nihanj. Stohastičnemu naključnemu zvoku pravimo hrup, urejen zvok pa poznamo pod pojmi kot npr: govor, glasba, petje,...

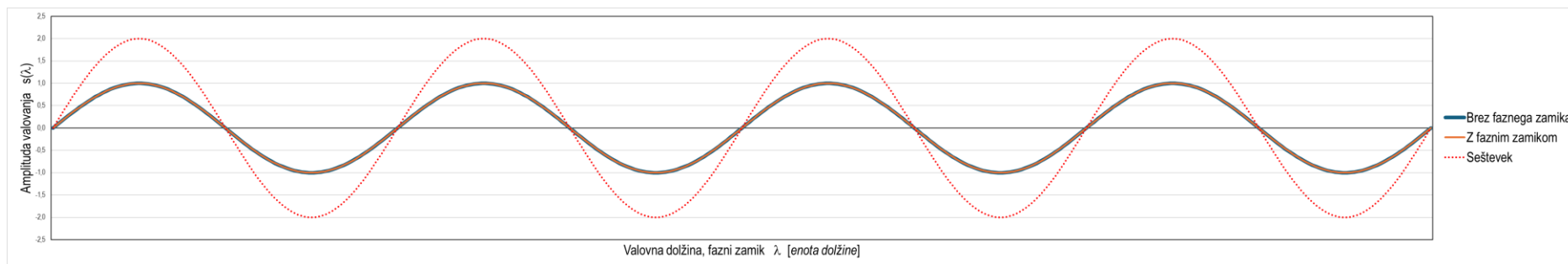
Glede na kompleksnost valovanja, zvok delimo na tri vrste

- ton
- zven
- šum

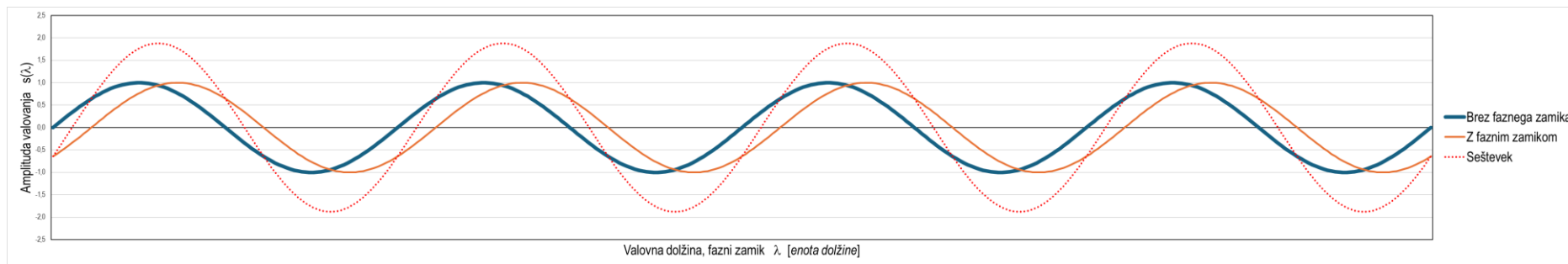
Ton je osnovna oblika zvočnega valovanja, ki ga zapišemo z enostavno sinusno krivuljo, z določeno valovno dolžino, amplitudo, fazo in frekvenco. Zven in šum sta kompleksnejši obliki zvočnega valovanja, kjer prvi predstavlja periodično obliko zvoka, drugi pa neperiodično. Zven in šum lahko oba razstavimo na več osnovnih oblik - tonov.

Seštevanje posamičnih sinusnih valovanj je prikazano na sledečih slikah. Slika 2 prikazuje dvoje sinusnih valovanj, kjer ni faznega zamika(0°) ter višini amplitude in njun seštevek, ki je po valovni dolžini enak, amplituda pa je $2x$ večja. Na Slika 3, kjer sta enaki sinusni valovanji, pri čemer je eno zamaknjeno za 40° . Slika 6 prikazuje sinusni valovanji, pri čemer ima ena fazni zamik 180° , kar pomeni, da je inverzna drugemu valovanju. Posledično je njuna vsota enaka 0.

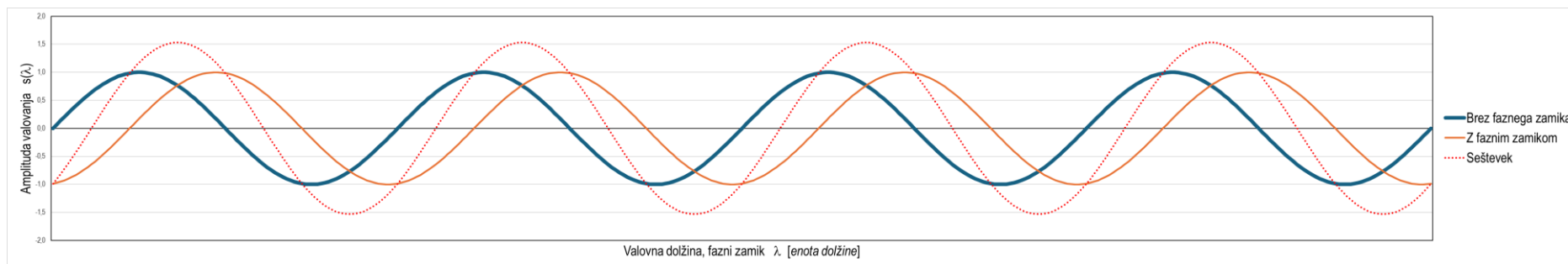
Namen Slika 7 je prikaz treh valovanj, ki so po valovni dolžini različne ($1x$, $2x$ in $3x$) in njihov seštevek, ki pa je novo, bolj kompleksno valovanje.



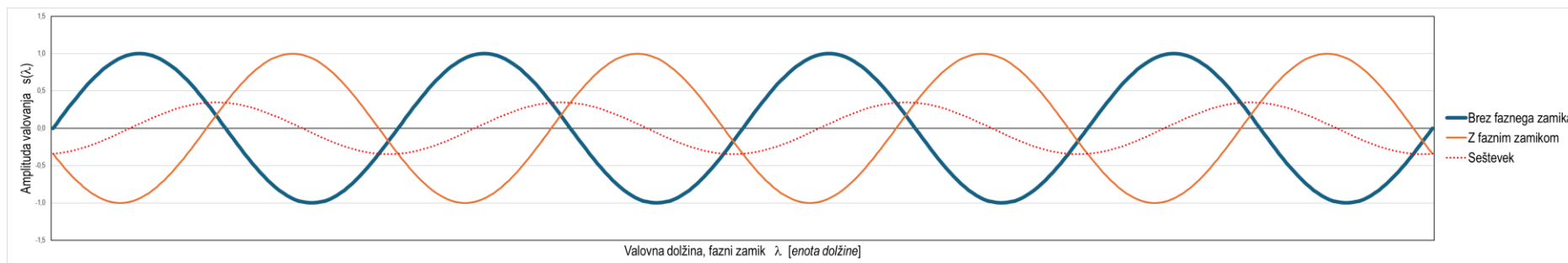
Slika 2: Dvoje enakih valovanj brez faznega zamika ter njun seštevek – interferenca (vir: Lasten)



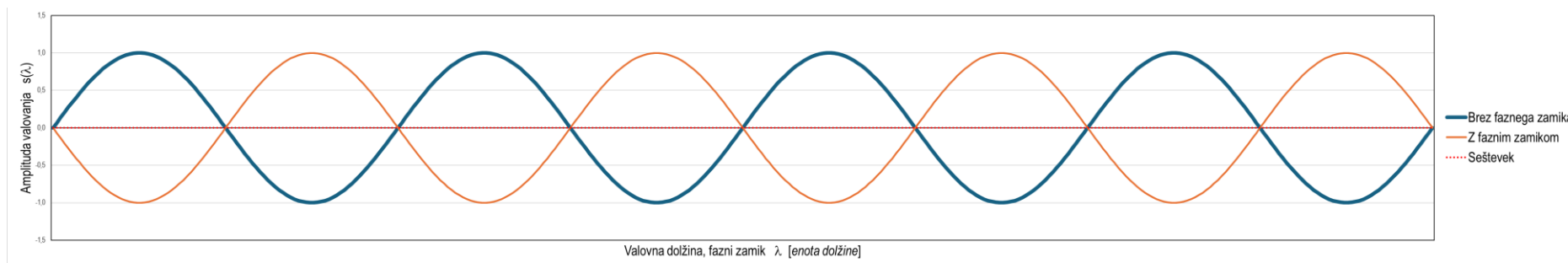
Slika 3: Dvoje enakih valovanj s faznim zamikom $\lambda/9$ ter njun seštevek – interferenca (vir: Lasten)



Slika 4: Dvoje enakih valovanj s faznim zamikom $\lambda/4,5$ ter njun seštevek – interferenca (vir: Lasten)



Slika 5: Dvoje enakih valovanj s faznim zamikom $\lambda/2,25$ ter njun seštevek – interferenca (vir: Lasten)



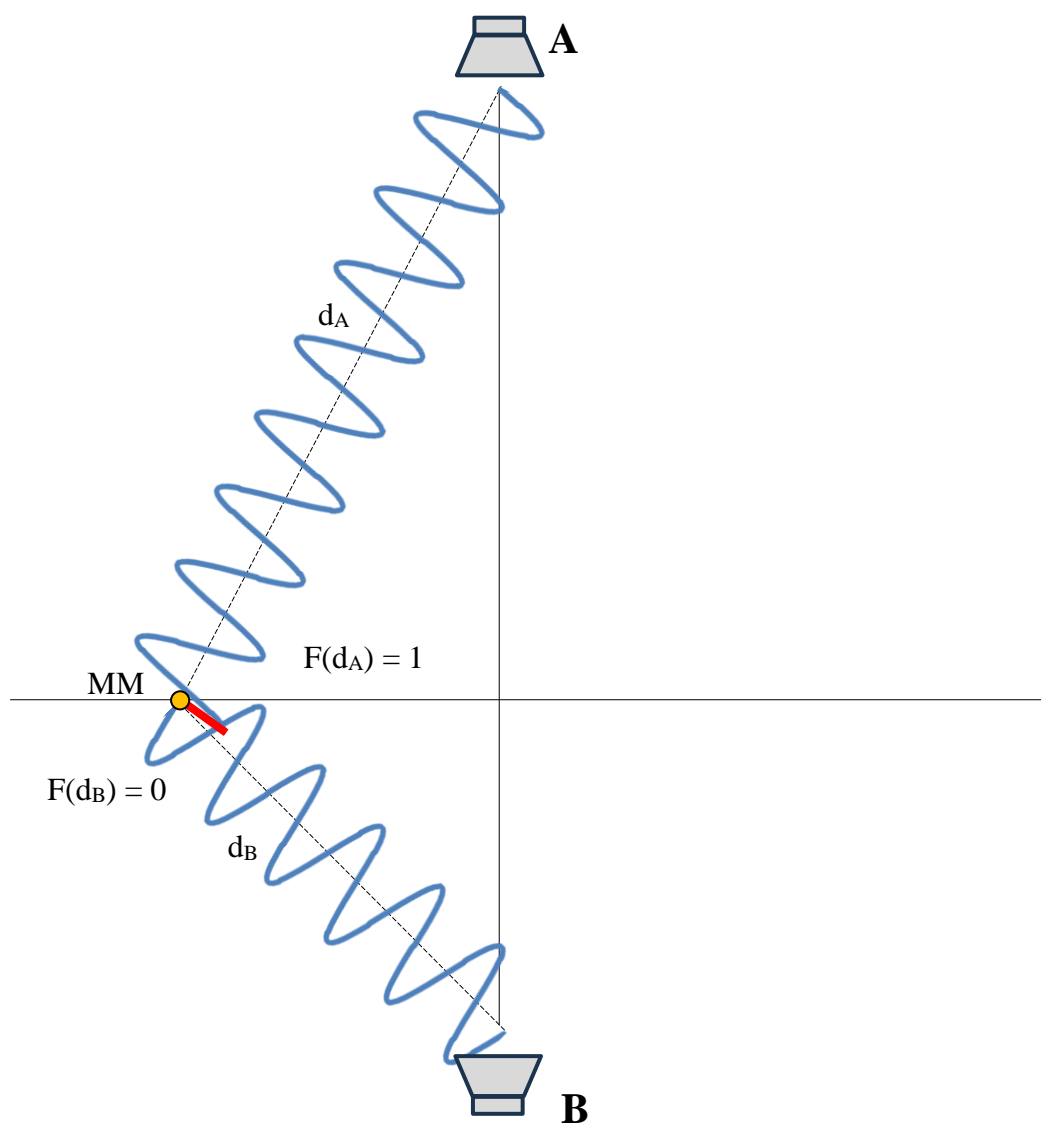
Slika 6: Dvoje enakih valovanj s faznim zamikom $\lambda/2$ ter njun seštevek – interferenca (vir: Lasten)



Slika 7: Troje različnih valovanj brez faznega zamika ter njihov seštevek – interferenca (vir: Lasten)

Na isti osnovi kot je prikazano na zgornjih slikah prihaja do interference valovanja iz dveh zvočnikov (seštevanje dveh zvočnih valovanj). Kot seštevke dveh valovanj nastane novo valovanje.

Slika 8 prikazuje primer seštevanja zvočnih valovanj, ki se širita iz zvočnikov A in B. Do seštevanja pride v merilnem mestu (MM). Amplituda valovanja iz zvočnika A je v tej točki maksimalna zato je normirani faktor valovanja $F(A)$ v tem primeru $+1$. Normiran faktor amplitude valovanja zvoka, ki ga širi zvočnik B pa je v tem primeru $F(B) = 0$. Do maksimalnega izničenja zvoka v merilni točki MM pride v kolikor se srečata valovanji z nasprotnim normiranim faktorjem amplitude, konkretno v tem primeru $F(A) = +1$ in $F(B) = -1$ ali $F(A) = -1$ in $F(B) = +1$. Faktor amplitud posameznega valovanja v konkretni merilni točki, je odvisno od razdalje in frekvence valovanja. S frekvenco valovanja je povezana valovna dolžina – glej Tabela 2.



Slika 8: Shematski prikaz seštevanja zvočnega valovanja v merilni točki (vir: Lasten)

3.1 ZAZNAVANJE ZVOKA

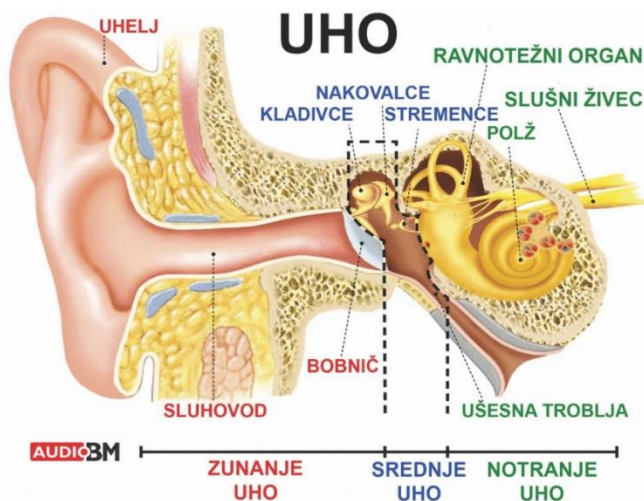
Kot omenjeno, se zvok širi po zraku preko zgoščenin in razredčin v obliki superpozicijskega sinusnega valovanja. Zgoščenine in razredčine predstavljajo lokalne mikrospremembe zvočnega tlaka, katerega človeško uho zaznava in ga preko slušnega živca prenaša v možgane, kjer se tvori akustična – zvočna slika.

Zaznavanje zvoka s človeškim ušesom ima logaritemsko karakteristiko zaradi česar se je referenčno določila tudi enota, dB (decibel). Zvočna raven tlaka je referenčno [3] določena na način:

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

pri čemer je: p_0 – referenčna jakost tlak, ki znaša $20 \mu\text{Pa}$, p – sprememba tlaka, ki nastane zaradi aktivnega vira zvoka.

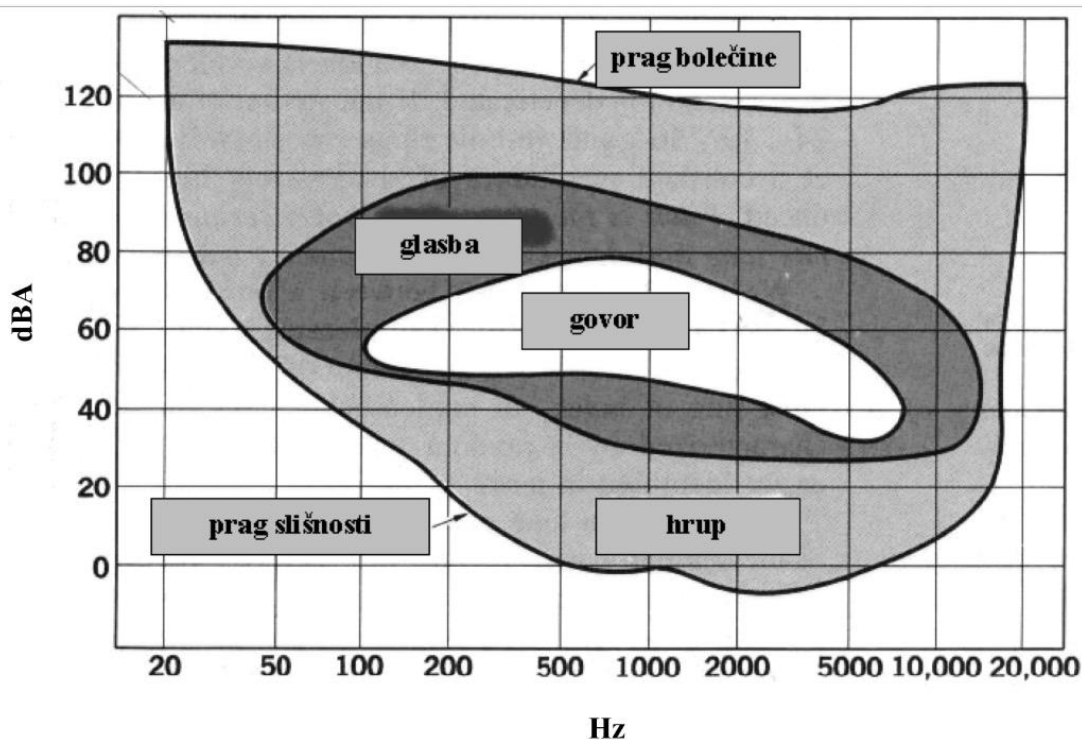
Zvok nastane tako, da se zvočilo, to je naprava za oddajanje zvoka (npr. struna, glasilke, membrana...) zatrese. To tresenje se prenese na snov (največkrat gre za zrak), kar povzroči nihanje delcev v tej snovi. To nihanje se širi v vse smeri. Valovanje zaznajo sprejemniki zvoka (npr. mikrofoni, uho...), tako da nihajoči delci zadevajo ob membrano oz. opno sprejemnika, ki zaniha. V ušesu se vibracije bobniča, ki predstavlja opno oz. membrano prenesejo preko srednjega ušesa (op. klavice, nakovalce in stremence) na notranje uho (polž), od tam pa preko slušnega živca do možganov). V tekočinah se precejšnji delež valovanja prenese tudi skozi lobanjo. Po kosti se vibracije širijo naravnost do bobniča (slušni kanal in uhelj nista vključena). Slika 9 v nadaljevanju prikazuje uho, človeški organ za zaznavanje zvoka. [5]



Slika 9: Človeško uho, organ za zaznavanje zvoka (vir: <https://www.audiobm.si/sluh/>)

3.2 SLIŠNO FREKVENČNO OBMOČJE

Slišno območje človeka ni omejeno le z ravno zvočnega tlaka, ampak tudi s frekvenco zvoka. Zdravo človeško uho mlade osebe bi naj zaznalo frekvence vse od ~20 Hz do ~20.000 Hz. S starostjo ter obolenji se to slišno obočje občutno skrči. Ljudje najbolje slišimo frekvence v območju od ~100 Hz vse do ~8.000 Hz. V frekvenčnem spektru je to območje največkrat poimenovano govorno območje. Zvok z nižjimi frekvencami imenujemo infrazvok, zvok z višjimi pa ultra zvok. Slika v nadaljevanju ponazarja kombinacijo frekvenc in ravni zvočnega tlaka za katere se domneva, da jih zdrav človek zaznava. Iz slike je razvidno, da mora biti jakost zvoka v nizkem frekvenčnem območju precej višja, da jo človeško uho zazna, npr. pri frekvenci 100 Hz mora zvok dosegati jakost cca 35 dBA ali več, pri 50 Hz mora biti za zaznavo s človeškim ušesom jakost že več kot 50 dBA, itd... Pri jakostih 120 dBA in več, pa človek hrup dojema že kot bolečino in že krajše zadrževanje v takšnem okolju, brez zaščitnih sredstev lahko povzroči trajno poškodbo sluha.



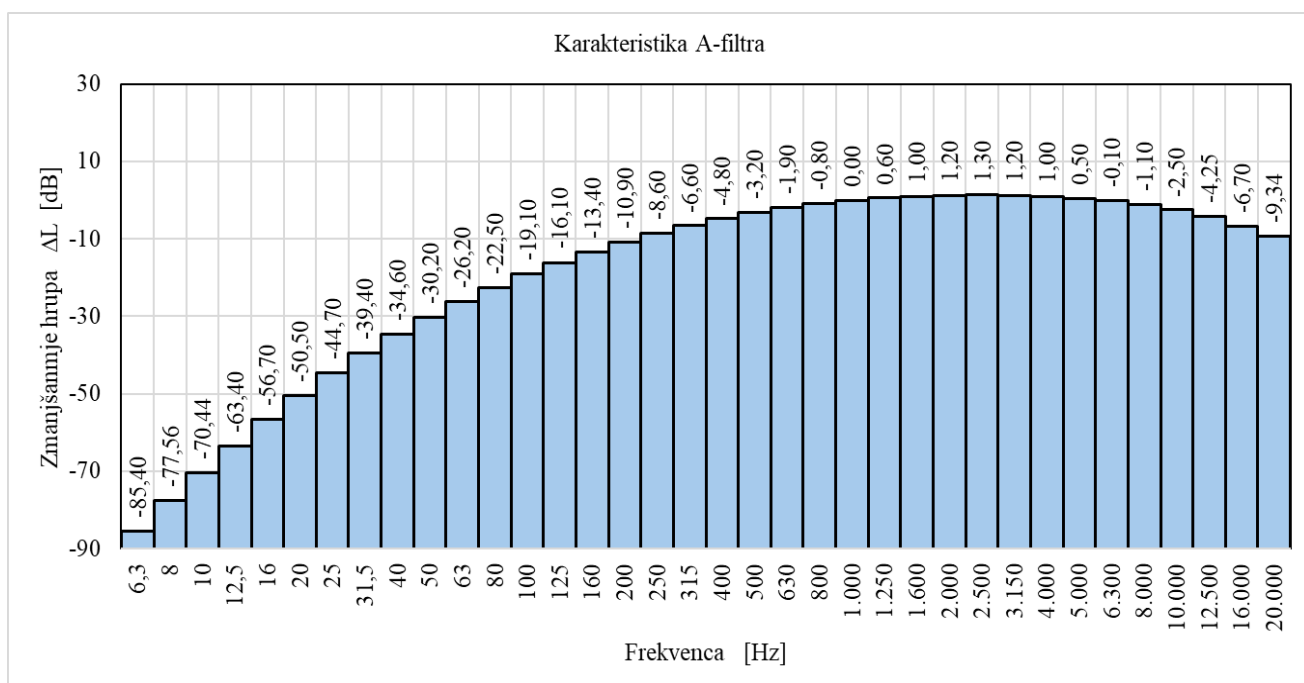
Slika 10: Območje zaznave zvoka pri človeku (vir: https://sinapsa.org/eSinapsa/media/pics/2015-10/tinitus/slika_1.jpg)

Človeško uho ni enako dovzetno za vse frekvence. Občutljivost človeškega ušesa ponazarja t.i. **A-filer**, ki ga prikazuje Slika 11. Vrednosti nad stolpiči v grafu prikazujejo popravke pri določeni frekvenci. Npr. pri 1.000 Hz je popravek 0,0 dB, kar pomeni, da človek sliši to kar vir hrupa pri 1.000

Hz oddaja. Pri 100 Hz je iz grafa razviden popravek -19,1 dB kar pomeni, da bo človek v primeru dejanskega hrupa 100 dB slišal $100 - 19,1 = 80,9$ dBA, itd...[povzeto po: vir št. 4]

Pomembno:

Pri akustičnih merjenih je potrebno vedeti ali so rezultati podani z upoštevanjem A-filtra ali ne. Že pri opisu parametra naj bi bila dodana črka A, npr. LAeq (ekvivalentna raven hrupa z A-filtrom) ali LpA (raven zvočnega tlaka z A-filtrom), itd... Mnogokrat je v opisu simbola črka A izpuščena, jo pa zasledimo v enoti dBA ali dB(A) ali dB/A. Če črke A niti v zapisu enote ni, je velika verjetnost, da A-filter pri meritvah ni bil upoštevan.



Slika 11: Karakteristika A-filtra (vir: Lasten in <https://sengpielaudio.com/calculator-dba-spl.htm>)

4 MERILNA OPREMA

Za izvedbo meritev hrupa sem uporabil sledečo merilno opremo:

Tabela 3: Merilna in programska oprema

Zap. št.	Merilni instrument (<i>tip</i>) Programska oprema	Serijska številka instrumenta Št. verzije programa	Kalibracija	Veljavnost do:
1.	Bruel&Kjaer, tip 2270, Bruel&Kjaer, tip 4189	Merilnik hrupa ser.št.: 3008103 Mikrofon ser.št.: 3004618	Lotrič d.o.o., št. 275-520-23-1, datum: 18.12.2023	18.12.2025
2.	Bruel&Kjaer, tip 4231	Kalibrator ser.št.: 2579298	Lotrič d.o.o., št. 275-276-24-1, datum: 21.06.2024	21.06.2025
3	Bruel&Kjaer, tip BZ-5503 Program za obdelavo rezultatov	5.0.0.140 – 19.12.2024	/	/
4.	Bruel&Kjaer, tip 7820, Program za obdelavo rezultatov	ver. 4.16.8	/	/


Za predvajanje glasbe se je uporabila sledeča oprema:

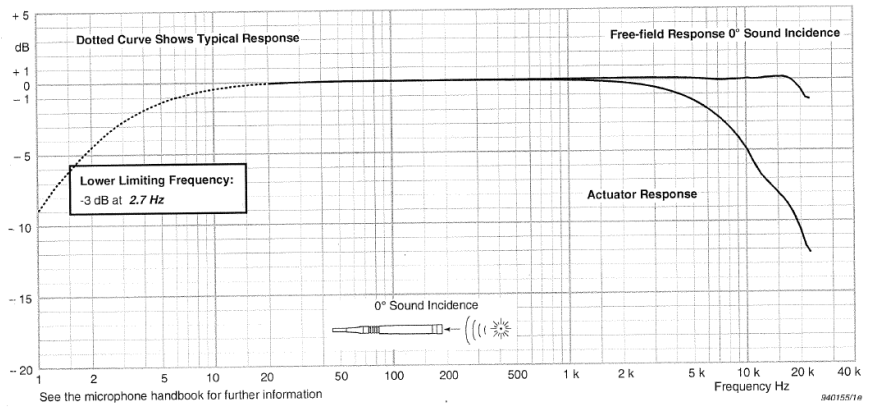
- ojačevalac NAD M33,
- CD/DVD predvajalnik OPPO BDP-105D
- dva zvočnika Audio Physic, model Spark. Oba zvočnika sta bila priključena na en izhod iz ojačevalca z namenom, da je bilo zagotovljeno enako igranje glasbe na obeh zvočnikih (op. na ta način je bilo izključeno stereo izvajanje posnetka glasbe).
- Delovanje mikrofona

Uporabljen je bil kapacitivni mikrofon Bruel&Kjaer, tip 4189, optimiziran za natančne meritve v prostem polju.

Deluje tako, da zvočni tlak povzroča premik zelo tanke membranske folije, ki spremeni kapacitivnost med membrano in zadnjo elektrodo. Ta sprememba se nato pretvori v električni signal. Mikrofon potrebuje napajanje preko predojačevalca, ki je bil v mojem primeru Bruel&Kjaer, tip ZC 0032. Konkreten mikrofon ima širok frekvenčni obseg (20 Hz – 20.000 Hz) in meri z visokim dinamičnim razponom, zato je idealen za natančne zvočne analize v laboratorijih ali terenskih pogojih.

Priložen je tovarniški izpis lastnosti za konkreten mikrofon. Iz priloženega diagrama je razvidno, da sprememba 1 Pa povzroči spremembo električne napetosti velikosti 52,0 mV.

B K
Brüel & Kjær
Prepolarized Free-field
1/2" Microphone Type 4189
Calibration Chart
Serial No: 2933200
Open-circuit Sensitivity*, S₀: -25.7 dB re 1V/Pa
 Equivalent to: 52.0 mV/Pa
 Uncertainty, 95 % confidence level: 0.2 dB
Capacitance: 14.0 pF
Valid At:
 Temperature: 23 °C
 Ambient Static Pressure: 101.3 kPa
 Relative Humidity: 50 %
 Frequency: 251.2 Hz
 Polarization Voltage, external: 0 V
Sensitivity Traceable To:
 DPLA: Danish Primary Laboratory of Acoustics
 NIST: National Institute of Standards and Technology, USA
IEC 61094-4: Type WS 2 F
Environmental Calibration Conditions:
 101.5 kPa 23 °C 48 % RH
Procedure: 704215 **Date:** 28. Oct. 2014 **Signature:** 
 *K₀ = -26 - S₀ Example: K₀ = -26 - (-26.2) = +0.2 dB



Slika 12: Kalibracijski list mikrofona Brüel&Kjær, tip 4189, ki je bil uporabljen pri meritvah

[Lastni vir]

5 RAZISKOVALNA VPRAŠANJA

V sklopu raziskovalne naloge sem naredil tri karakteristično različne poskuse. Za vsak poskus sem predpostavil eno ali več raziskovalnih vprašanj.

5.1 POIZKUS ŠT. 1

Raziskovalno vprašanje št. 1 (RV1):

Aktivno izničenje zvoka (ang. Noise Canceling) je mogoče doseči tudi v realnem (domačem) okolju z uporabo glasbenih zvočnikov, če enemu zamenjamo polariteto priključka.

Raziskovalno vprašanje št. 2 (RV2):

Aktivno izničenje zvoka bo opazno po celotnem frekvenčnem območju med 20 Hz in 20.000 Hz.

5.2 POIZKUS ŠT. 2

Raziskovalno vprašanje št. 3 (RV3):

Aktivno izničenje zvoka bo najbolj opazno v opazovanih točkah, merilnih mestih, katerih skupna značilnost je, da so enako oddaljena od zvočnikov A in B, torej pri pogoju: $d_A = d_B$.

Raziskovalno vprašanje št. 4 (RV4):

Aktivno izničenje zvoka bo v opazovanih točkah, merilnih mestih, za katere velja pogoj $d_A \neq d_B$ opazno, vendar manj izrazito.

5.3 POIZKUS ŠT. 3

Raziskovalno vprašanje št. 5 (RV5):

Aktivno izničenje zvoka se bo z oddaljevanjem opazovanih točk, merilnih mest od zvočnikov postopno zmanjševalo.

6 PREDVIDEVANJA

Poizkusi so opravljeni v vsakdanjih pogojih (opremljena dnevna soba, dodatni predmeti v prostoru), zaradi česar so prisotni dodatni odboji. Mejne površine z različnimi absorpcijskimi lastnosti bodo na rezultate gotovo imeli določen vpliv. Za bolj točne rezultate bi bilo potrebno poizkus opraviti v akustično izolirani sobi.

Menim, da je pojav aktivnega izničenja zvoka možno izvesti v realnih prostorih, zato je za ta namen bila izbrana dnevna soba mojega stalnega prebivališča.

Ker imajo dejanske okoliščine različne vplive na rezultate, sem se odločil za tri vrste poizkusov, različnih konfiguracij postavitve zvočnikov.

7 METODOLOGIJA

Bistvo vsem trem poizkusom je, da se za vsako mesto ocenjevanja izvedeta dve meritvi. Pri prvi meritvi sta oba zvočnika pravilno priključena, kar pomeni, da je na obeh zvočnikih polariteta $+ \rightarrow +$ oz. $- \rightarrow -$. Pri drugi meritvi pa je polariteta na enem izmed zvočnikov zamenjana, torej $+ \rightarrow -$ oz. $- \rightarrow +$. V tem primeru to pomeni, da bo valovanje zvoka inverzno glede na valovanje zvoka iz prvega zvočnika (op. glej Slika 6). Teoretično bi tako moralo priti do efekta bistvenega utišanja zvoka. Namen poizkusa je ugotoviti v kolikšni meri se bo efekt pokazal v večih opazovalnih oz. merilnih točkah. Pri vseh merjenjih so bile prisotne manjše napake pri postavitvi mikrofona (1 cm levo, desno, naprej, nazaj). Ta napaka vpliva predvsem na rezultate visokih frekvenc, saj 1 cm predstavlja bistveno večji del valovne dolžine pri visokih frekvencah, kot pri nizkih frekvencah.

8 SEZNAM POJMOV, KRATIC

Normiran faktor amplitude valovanja F – vrednost F se giblje od -1 do +1. Vrednost +1 je v fazi maksimalne »zgoščenine«, vrednost -1 pa v fazi maksimalne »razredčine« oz. v kolikor je zvočno valovanje prikazano kot sinusno valovanje je faktor $F = +1$ v času faznega zamika $n \cdot \pi/2$ oz. $n \cdot 90^\circ$, $F = -1$ pa v času faznega zamika $n \cdot 3/2 \cdot \pi$ oz. $n \cdot 270^\circ$ ter $F = 0$ pri faznem zamiku $n \cdot \pi$ oz. $n \cdot 180^\circ$, pri čemer je n – večkratnik, celo število 1, 2, 3,.... Gre za vrednost brez enote

L_p – raven zvočnega tlaka [dB]

L_{Aeq} – A-povprečne ekvivalentne ravni hrupa za frekvenčno območje 6,3 – 20.000 Hz, enota dBA,

ΔL_{Aeq} – sprememba A-povprečne ekvivalentne ravni hrupa za frekvenčno območje 6,3 – 20.000 Hz, enota dBA,

L_{Zeq} – linearna (op. brez utežnostnih faktorjev) ekvivalentne ravni hrupa za frekvenčno območje 6,3 – 20.000 Hz, enota dB,

ΔL_{Zeq} – sprememba linearne ekvivalentne ravni hrupa za frekvenčno območje 6,3 – 20.000 Hz, enota dB,

$L_{Z(i)}$ – linearna raven hrupa (op. brez utežnostnih faktorjev) pri posamezni frekvenci znotraj govornega frekv. območja 100 – 8.000 Hz, enota dB,

$\Delta L_{Z(i)}$ – sprememba linearne ravni hrupa (op. brez utežnostnih faktorjev) pri posamezni frekvenci znotraj govornega frekv. območja 100 – 8.000 Hz, enota dB,

A – simbol za A-filter, ki ponazarja občutljivost človeškega ušesa

St.dev. – standardna deviacija, merilo statističnega raztrosa.

$$St. dev. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

x_i – i -ti vzorec, \bar{x} – povprečna vrednost, N – število vseh vzorcev,

9 POIZKUSI

Opravljeni so bili trije poizkusi, z različnimi postavitvami zvočnikov. Slike v nadaljevanju prikazujejo postavitve zvočnikov in položajev mikrofona v času poizkusov.



Slika 13: Postavitev za Poizkus št. 1 – pogled od strani
(vir: lastni arhiv)



Slika 14: Postavitev za Poizkus št. 1 – pogled od zgoraj
(vir: lastni arhiv)



Slika 15: Postavitev za Poizkus št. 2 (vir: lastni arhiv)



Slika 16: Postavitev za Poizkus št. 3 (vir: lastni arhiv)



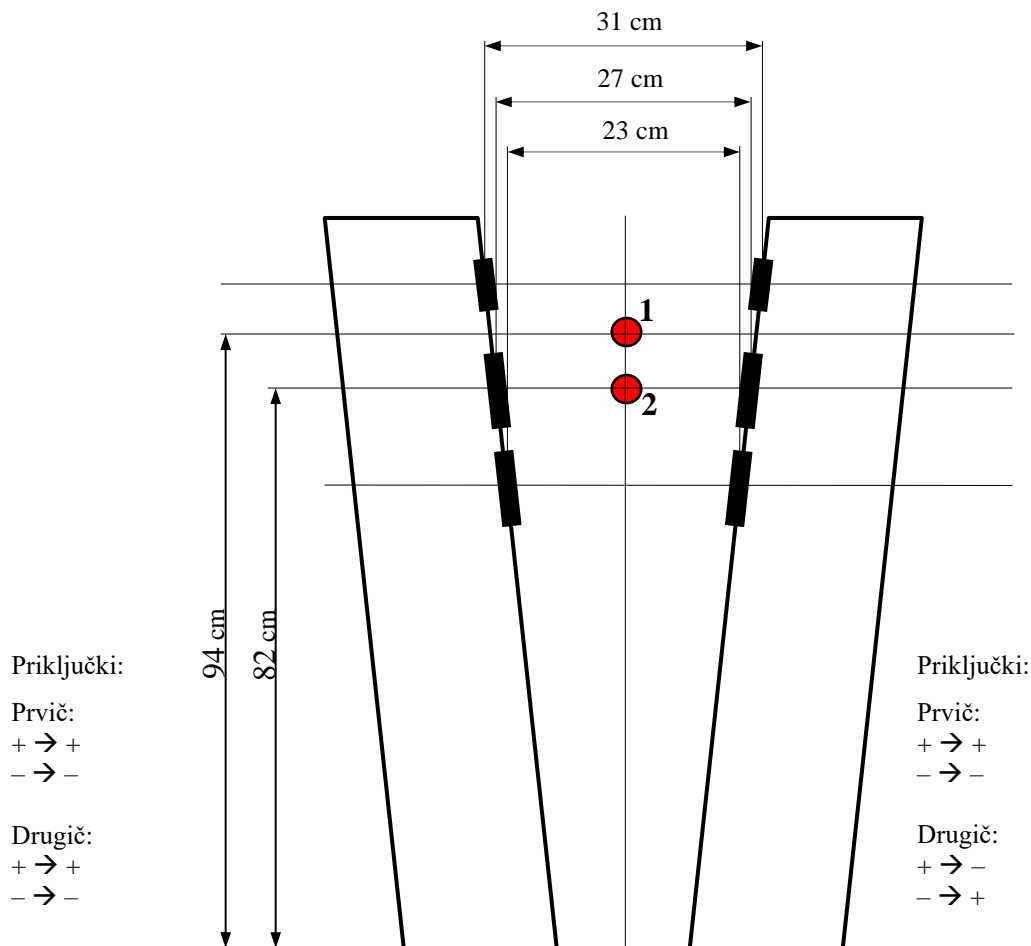
Slika 17: Pravilna priključitev zvočnika, + → + in - → -
(vir: lastni arhiv)



Slika 18: Obrnjena priključitev zvočnika, + → - in - → +
(vir: lastni arhiv)

9.1 POIZKUS ŠT. 1

Slika v nadaljevanju prikazuje shematski prikaz postavitve zvočnikov in merilnih mest pri poizkusu št. 1 (op. glej Slika 13 in Slika 14).



Slika 19: Shematski prikaz postavitve zvočnikov in merilnih mest pri poizkusu št. 1 (vir: Lasten)

Opis postopka:

Merilni mesti 1 in 2 sta postavljeni na simetralo, na sredino med zvočnikoma. Razdalje med posameznimi zvočniki so relativno majhne, tako se da je zaključiti, da gre za relativno enostavno geometrijo poizkusa.

Oba zvočnika sta bila vezana na en izhod ojačevalca, z namenom da se glasba ne predvaja v stereo izvedbi. Na takšen način je zagotovljeno, da oba zvočnika teoretično igrata enako, v kolikor sta pravilno priklopljena, torej na obeh priključki $+ \rightarrow +$ in $- \rightarrow -$.

Opravljenе so bile štiri meritve, po dve na vsako merilno mesto. Prva meritev na vsakem merilnem mestu je bila izvedena tako, da sta bila oba zvočnika enako priklopljena, torej $+ \rightarrow +$ in $- \rightarrow -$ (op. glej Slika 19). Druga meritev na vsakem merilnem mestu pa je bila izvedena na način, da je bil en zvočnik priklopljen na način $+ \rightarrow +$ in $- \rightarrow -$, drugi pa z obrnjeno polarizacijo na način $+ \rightarrow -$ in $- \rightarrow +$.

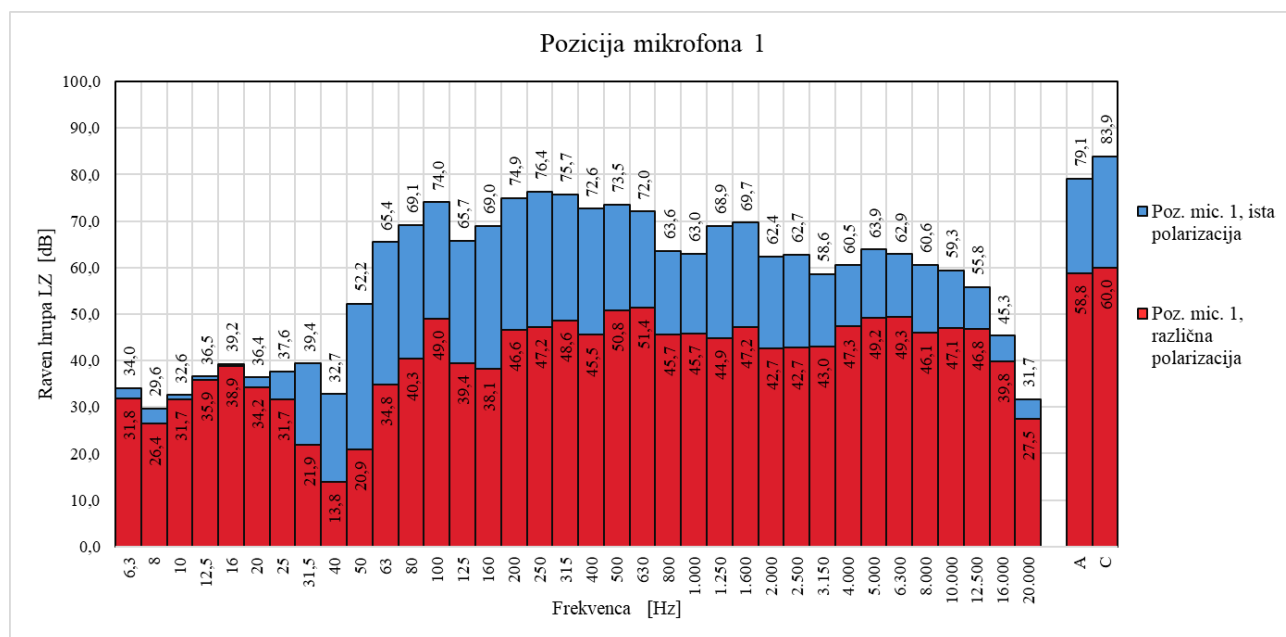
Rezultati vseh štirih merjenj so bili preneseni iz merilnega instrumenta v programsko orodje Excel, kjer so se rezultati obdelali za celotno frekvenčno območje od 6,3 Hz do 20 kHz v 1/3 oktavnem spektru.

Tabela v nadaljevanju prikazuje rezultate za dve merilni mesti za poizkus št. 1. Za vsako merilno mesto so podani rezultati, enkrat za primer, ko sta polariteti priključkov na zvočnikih enaki in drugič, ko je polariteta priključkov na enem zvočniku zamenjana (op. glej Slika 17 in Slika 18).

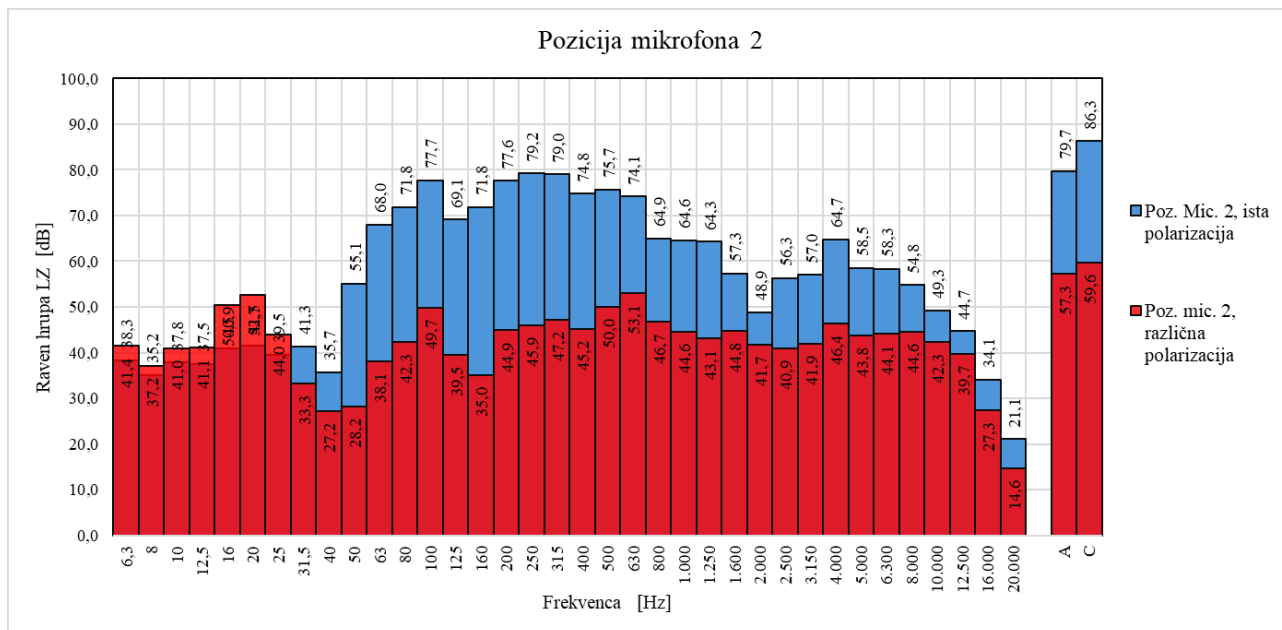
Tabela 4: Rezultati po frekvenčnih območjih za Poizkus št. 1

Frekvenčna območja	Frekvenca [Hz]	Merilno mesto 1			Merilno mesto 2		
		Oba zvočnika enako priklopljena $+ \rightarrow +$ $- \rightarrow -$	Na enem zvočniku sta zamenjana priključka $+ \rightarrow -$ $- \rightarrow +$	ΔL_{Zeq} [dB]	Oba zvočnika enako priklopljena $+ \rightarrow +$ $- \rightarrow -$	Na enem zvočniku sta zamenjana priključka $+ \rightarrow -$ $- \rightarrow +$	ΔL_{Zeq} [dB]
		LZeq [dB]	LZeq [dB]		LZeq [dB]	LZeq [dB]	
Nizko frekvenčno območje $f < 100$ Hz	6,3	34,0	31,8	2,3	38,3	41,4	-3,1
	8	29,6	26,4	3,3	35,2	37,2	-2,0
	10	32,6	31,7	0,9	37,8	41,0	-3,1
	12,5	36,5	35,9	0,6	37,5	41,1	-3,6
	16	39,2	38,9	0,3	40,9	50,5	-9,6
	20	36,4	34,2	2,2	41,5	52,7	-11,2
	25	37,6	31,7	5,9	39,5	44,0	-4,5
	31,5	39,4	21,9	17,5	41,3	33,3	8,1
	40	32,7	13,8	18,9	35,7	27,2	8,6
	50	52,2	20,9	31,4	55,1	28,2	26,8
	63	65,4	34,8	30,7	68,0	38,1	30,0
	80	69,1	40,3	28,8	71,8	42,3	29,5
	Govorno	100	74,0	49,0	25,0	77,7	49,7
	125	65,7	39,4	26,4	69,1	39,5	29,6
	160	69,0	38,1	30,9	71,8	35,0	36,8
	200	74,9	46,6	28,3	77,6	44,9	32,7

Frekvenčna območja	Frekvenca [Hz]	Merilno mesto 1			Merilno mesto 2		
		Oba zvočnika enako priključena + → + - → -	Na enem zvočniku sta zamenjana priključka + → - - → +	ΔL_{Zeq} [dB]	Oba zvočnika enako priključena + → + - → -	Na enem zvočniku sta zamenjana priključka + → - - → +	ΔL_{Zeq} [dB]
		LZeq [dB]	LZeq [dB]		LZeq [dB]	LZeq [dB]	
Srednje frekvenčno območje $500 \leq f < 2.000$ Hz	250	76,4	47,2	29,2	79,2	45,9	33,3
	315	75,7	48,6	27,1	79,0	47,2	31,9
	400	72,6	45,5	27,1	74,8	45,2	29,7
	500	73,5	50,8	22,7	75,7	50,0	25,8
	630	72,0	51,4	20,7	74,1	53,1	21,1
	800	63,6	45,7	17,9	64,9	46,7	18,3
	1.000	63,0	45,7	17,2	64,6	44,6	20,1
	1.250	68,9	44,9	24,1	64,3	43,1	21,2
	1.600	69,7	47,2	22,5	57,3	44,8	12,5
	2.000	62,4	42,7	19,7	48,9	41,7	7,1
Visoko frekvenčno območje $f > 2.000$ Hz	2.500	62,7	42,7	20,0	56,3	40,9	15,4
	3.150	58,6	43,0	15,5	57,0	41,9	15,2
	4.000	60,5	47,3	13,2	64,7	46,4	18,4
	5.000	63,9	49,2	14,6	58,5	43,8	14,7
	6.300	62,9	49,3	13,6	58,3	44,1	14,3
	8.000	60,6	46,1	14,5	54,8	44,6	10,2
	10.000	59,3	47,1	12,3	49,3	42,3	7,0
	12.500	55,8	46,8	9,0	44,7	39,7	5,0
	16.000	45,3	39,8	5,5	34,1	27,3	6,7
	20.000	31,7	27,5	4,3	21,1	14,6	6,5



Slika 20: Grafični prikaz rezultatov na merilnem mestu 1 za poizkus št. 1 (vir: Lasten)



Slika 21: Grafični prikaz rezultatov na merilnem mestu 2 za poizkus št. 1 (vir: Lasten)

Tabela v nadaljevanju prikazuje statistične kazalce, kot povzetek poizkusa št. 1.

Tabela 5: Povzetek rezultatov, prikazani s statističnimi kazalci za Poizkus št. 1

Statistični kazalci	Absolutne razlike na merilnem mestu 1	Absolutne razlike na merilnem mestu 2
	Nizko frekvenčno območje ($f \leq 500$ Hz)	
Min [dB]	0,3	2,0
Max [dB]	31,4	36,8
Povprečje [dB]	18,0	19,4
Stand. deviacija [dB]	12,4	12,8
	Srednje frekvenčno območje (cca 500 Hz $< f \leq 2.000$ Hz)	
Min [dB]	17,2	7,1
Max [dB]	24,1	21,2
Povprečje [dB]	20,3	16,7
Stand. deviacija [dB]	2,6	5,7
	Visoko frekvenčno območje (cca > 2.000 Hz)	
Min [dB]	4,3	5,0
Max [dB]	20,0	18,4
Povprečje [dB]	12,2	11,3
Stand. deviacija [dB]	2,5	2,6
	Govorno območje (cca 100 Hz $\leq f \leq 8.000$ Hz)	
Min [dB]	13,2	7,1
Max [dB]	30,9	36,8
Povprečje [dB]	21,5	21,8
Stand. deviacija [dB]	5,6	8,6

Iz rezultatov (op. Tabela 4, Tabela 5, Slika 20 in Slika 21) je razvidno sledeče:

- v obeh primerih (op. na obeh merilnih mestih, 1 in 2) je moč opaziti precejšnje znižanje ravni hrupa, ko se na enem zvočniku spremeni priključitev iz $+$ \rightarrow $+$, $-$ \rightarrow $-$ na $+$ \rightarrow $-$ in $-$ \rightarrow $+$ (Slika 17 in Slika 18), in sicer v frekvenčnem območju od cca 31,5 Hz do 20.000 Hz. V tem frekvenčnem območju so valovne dolžine med 10,8 m (31,5 Hz) in 0,017 m (20 kHz) – glej Tabela 2,
- povprečno znižanje ravni hrupa na merilnih mestih 1 in 2 je najbolj opazno v srednjem frekvenčnem območju ($500 \text{ Hz} < f \leq 2.000 \text{ Hz}$) kjer je znižanje med 16,7 – 20,3 dB. V govornem frekvenčnem območju ($100 \text{ Hz} \leq f \leq 8.000 \text{ Hz}$) je povprečno znižanje kar med 21,5 in 21,8 dB. V nizkem frekvenčnem območju ($f < 500 \text{ Hz}$) je znižanje zelo raznoliko, na kar kaže zelo velika standardna deviacija $> 12 \text{ dB}$, ki predstavlja statističen raztros rezultatov. Pri frekvencah nad 500 Hz je standardna deviacija bistveno nižja, oz. se s frekvenco znižuje. Ta pojav pripisujem zelo velikim valovnim dolžinam v nizkem frekvenčnem območju (54m pri 31,5 Hz oz. 0,68 m pri 500 Hz – glej Tabela 2.

Pred pričetkom poizkusa št. 1 sta bili postavljeni dve raziskovalni vprašanji:

Raziskovalno vprašanje št. 1 (RV1):

Aktivno izničenje zvoka (ang. Noise Canceling) je mogoče doseči tudi v realnem (domačem) okolju z uporabo glasbenih zvočnikov, če enemu zamenjamo polariteto priključka.

Raziskovalno vprašanje št. 2 (RV2):

Aktivno izničenje zvoka bo opazno po celotnem frekvenčnem območju med 20 Hz in 20.000 Hz.

Glede na izvedene rezultate lahko na zastavljene hipoteze odgovorim:

Odgovor na raziskovalno vprašanje št. 1 (RV1)

Aktivno izničenje zvoka je bilo prisotni oz. najdeno v obeh merilnih točkah, vendar ne po celotnem frekvenčnem območju. Za nizko frekvenčno območje tja do cca 25 Hz izničenja ni bilo, kar pripisujem problematiki nizkih frekvenc v zaprtih prostorih. Študij slednjega prepuščam nadaljnjim raziskavam in poizkusom. Vsekakor pa je bilo znatno izničenje ugotovljeno v govornem območju t.i. območje $100 \text{ Hz} \leq f \leq 8.000 \text{ Hz}$.

Raziskovalno vprašanje št. 1 lahko potrdim s pojasnilom in predvidenimi nadaljnjimi raziskavami.

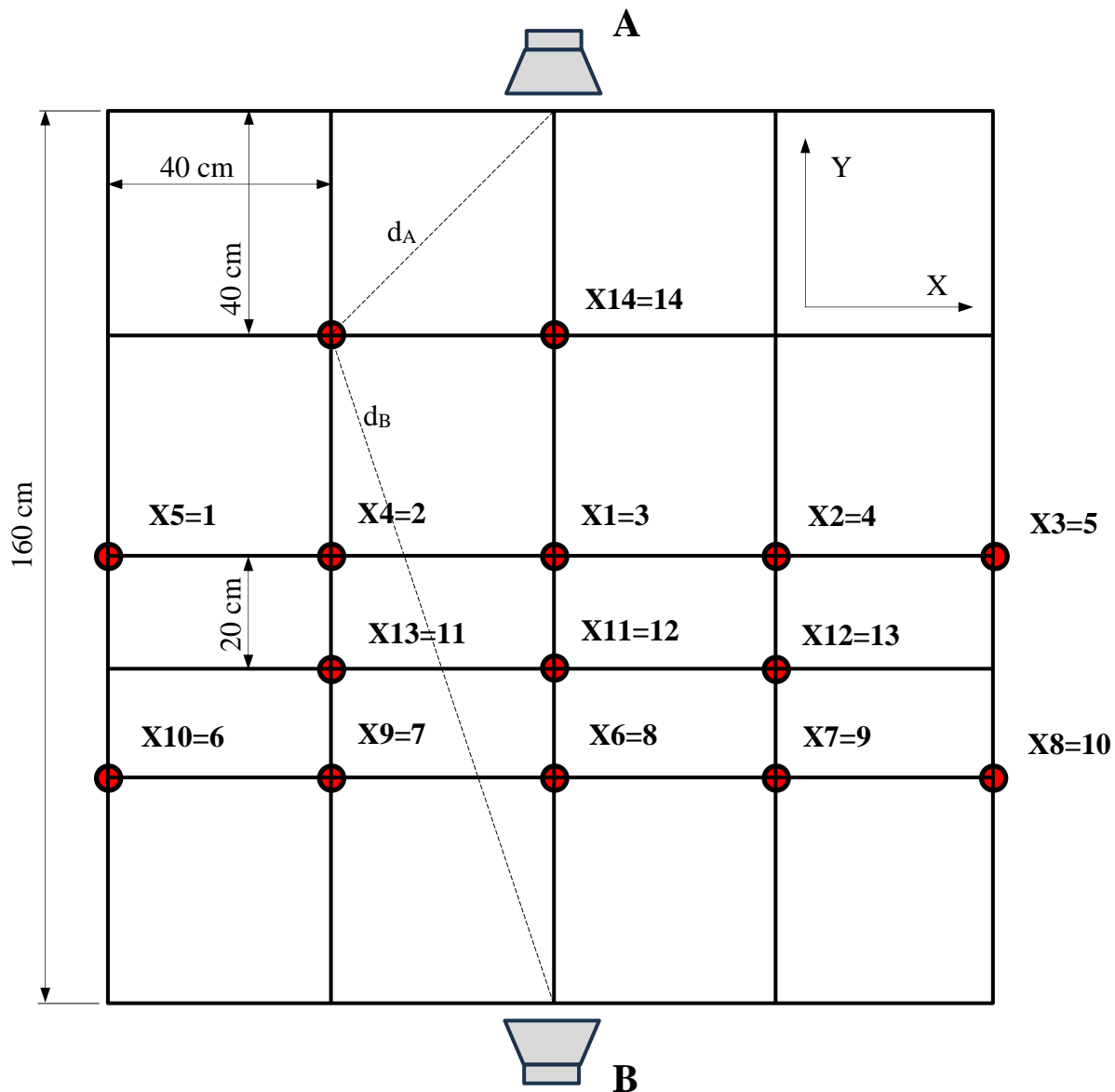
Odgovor na raziskovalno vprašanje št. 2 (RV2)

Odgovor na raziskovalno vprašanje št. 2 je deloma že podan pri odgovoru na raziskovalno vprašanje št. 1. Torej, izničenje zvoka pri Poizkusu št. 1 je bilo ugotovljeno po večjem delu frekvenčnega spektra, razen za del spektra pod 25 Hz. Najbolj izrazito utišanje je bilo ugotovljeno v območju med cca 40 Hz in 8.000 Hz, vsekakor v govornem območju, za katerega je človeško uho najbolj dojemljivo.

Raziskovalno vprašanje št. 2 lahko potrdim s pojasnilom in predvidenimi nadaljnjimi raziskavami.

9.2 POIZKUS ŠT. 2

Slika v nadaljevanju prikazuje shematski prikaz postavitve zvočnikov in merilnih mest pri Poizkusu št. 2 (op. glej Slika 15).



Slika 22: Shematski prikaz postavitve zvočnikov in merilnih mest MM pri Poizkusu št. 2 (vir: Lasten)

Razdalji d_A in d_B se določita pa enačbi:

$$d = \sqrt{|X|^2 + |Y|^2}$$

Opis postopka:

Merilna mesta so v primeru Poizkusa št. 2 bila razporejena v mreži med zvočnikoma A in B (Slika 22). Merilna mesta 1, 2, 3, 4 in 5 so postavljene na simetrali veznice med zvočnikoma A in B, za katere velja pogoj $d_A = d_B$.

Na vsakem merilnem mestu sta bili opravljeni dve meritvi in sicer, prva meritev je bila izvedena na način, da sta bila oba zvočnika enako priklopljena, torej $+ \rightarrow +$ in $- \rightarrow -$ (op. glej Slika 19). Druga meritev pa je bila izvedena na način, da je bil en zvočnik priklopljen na način $+ \rightarrow +$ in $- \rightarrow -$, drugi pa z obrnjeno polarizacijo na način $+ \rightarrow -$ in $- \rightarrow +$.

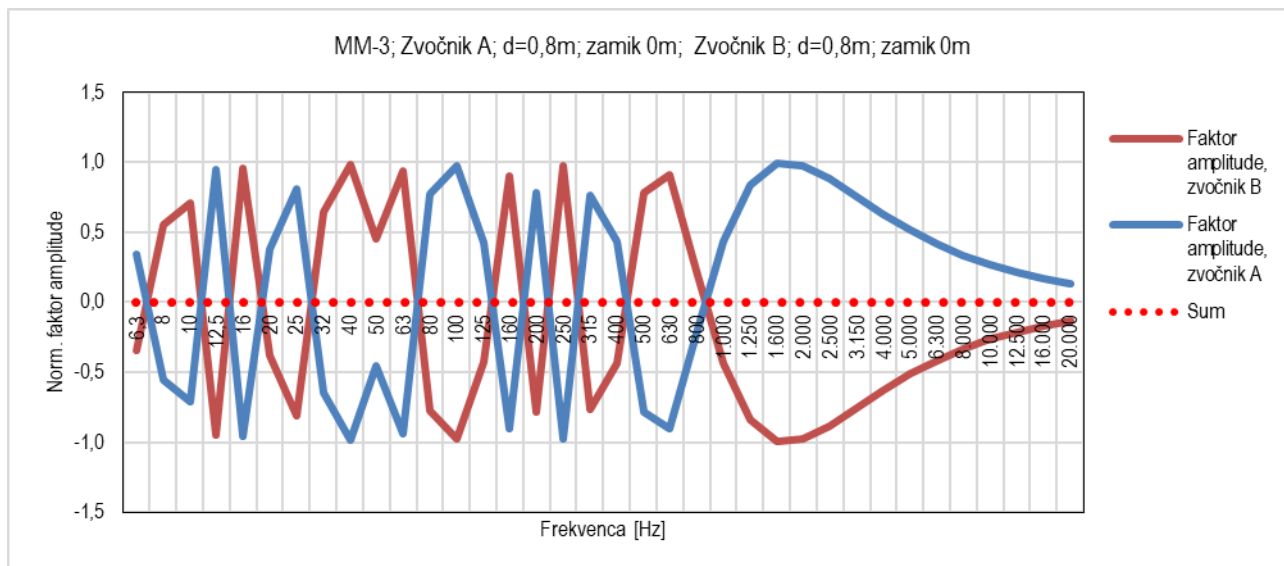
Največje izničenje zvoka je pričakovati na merilnih mestih, ki ležijo na simetrali veznice med zvočnikoma A in B, saj za ta merilna mesta velja pogoj $d_A = d_B$ (op. glej Slika 22). V konkretnem primeru gre za merilna mesta 1, 2, 3, 4 in 5,

Na ostalih merilnih mestih, do katerih razdalja d_A in d_B od zvočnikov A in B ni enaka, je izničenje odvisno od tega ali sta v opazovani točki valovanji, ki prihajata iz zvočnikov, fazno zamaknjeni (op. glej Slika 8).

V nadaljevanju so prikazani podrobni rezultati za merilno mesto 3 (op. glej Slika 22, leži na simetrali veznice med zvočnikoma A in B, velja pogoj $d_A = d_B$), za merilno mesto 12 (op. glej Slika 22, leži na veznici med zvočnikoma A in B in velja $d_A \neq d_B$) in za merilno mesto 7 (op. glej Slika 22, ne leži niti na simetrali in niti na veznici med zvočnikoma A in B in velja $d_A \neq d_B$).

Tabela 6: Poizkus št. 2, povzetek rezultatov za merilno mesto MM-3, $|Y_A|=|Y_B|=0,8\text{m}$, $|X_A|=|X_B|=0,0\text{m}$

Frekvenca [Hz]	Oba zvočnika enako priključena + → + - → -	Na enem zvočniku sta zamenjana priključka + → - - → +	Razdalji od zvočnikov do merilnega mesta		Norm. faktor amplitude Zvočnik A	Norm. faktor amplitude Zvočnik B	ΔL_{Zeq} [dB]
	LZeq [dB]	LZeq [dB]	d _A [m]	d _B [m]			
1	2	3	4	5	6	7	8
6,3	34,6	31,3	0,8	0,8	0,3	-0,3	3,3
8	30,3	23,0	0,8	0,8	-0,6	0,6	7,3
10	36,6	35,7	0,8	0,8	-0,7	0,7	0,9
12,5	36,2	35,7	0,8	0,8	1,0	-1,0	0,6
16	36,4	38,4	0,8	0,8	-1,0	1,0	-2,1
20	34,2	36,8	0,8	0,8	0,4	-0,4	-2,6
25	32,3	38,7	0,8	0,8	0,8	-0,8	-6,4
31,5	25,0	26,5	0,8	0,8	-0,6	0,6	-1,5
40	27,6	20,0	0,8	0,8	-1,0	1,0	7,6
50	42,2	32,7	0,8	0,8	-0,5	0,5	9,5
63	55,8	39,1	0,8	0,8	-0,9	0,9	16,7
80	61,1	48,4	0,8	0,8	0,8	-0,8	12,6
100	67,5	59,1	0,8	0,8	1,0	-1,0	8,4
125	50,3	47,0	0,8	0,8	0,4	-0,4	3,3
160	51,4	44,7	0,8	0,8	-0,9	0,9	6,7
200	60,2	52,6	0,8	0,8	0,8	-0,8	7,6
250	62,4	52,5	0,8	0,8	-1,0	1,0	9,8
315	61,4	54,7	0,8	0,8	0,8	-0,8	6,7
400	59,1	49,1	0,8	0,8	0,4	-0,4	10,0
500	53,5	49,6	0,8	0,8	-0,8	0,8	3,8
630	50,7	48,2	0,8	0,8	-0,9	0,9	2,5
800	49,5	44,5	0,8	0,8	-0,2	0,2	5,0
1.000	46,7	45,1	0,8	0,8	0,4	-0,4	1,6
1.250	45,6	45,7	0,8	0,8	0,8	-0,8	-0,1
1.600	38,3	38,8	0,8	0,8	1,0	-1,0	-0,5
2.000	32,3	33,3	0,8	0,8	1,0	-1,0	-1,0
2.500	33,2	38,6	0,8	0,8	0,9	-0,9	-5,3
3.150	36,1	39,3	0,8	0,8	0,8	-0,8	-3,2
4.000	38,7	35,2	0,8	0,8	0,6	-0,6	3,4
5.000	40,8	32,3	0,8	0,8	0,5	-0,5	8,5
6.300	38,7	40,9	0,8	0,8	0,4	-0,4	-2,2
8.000	34,1	37,3	0,8	0,8	0,3	-0,3	-3,2
10.000	37,4	31,7	0,8	0,8	0,3	-0,3	5,6
12.500	29,5	34,7	0,8	0,8	0,2	-0,2	-5,2
16.000	23,3	19,2	0,8	0,8	0,2	-0,2	4,1
20.000	11,4	10,6	0,8	0,8	0,1	-0,1	0,8
A	61,3	55,8					5,5
Povprečje							3,1
St. dev.							4,7

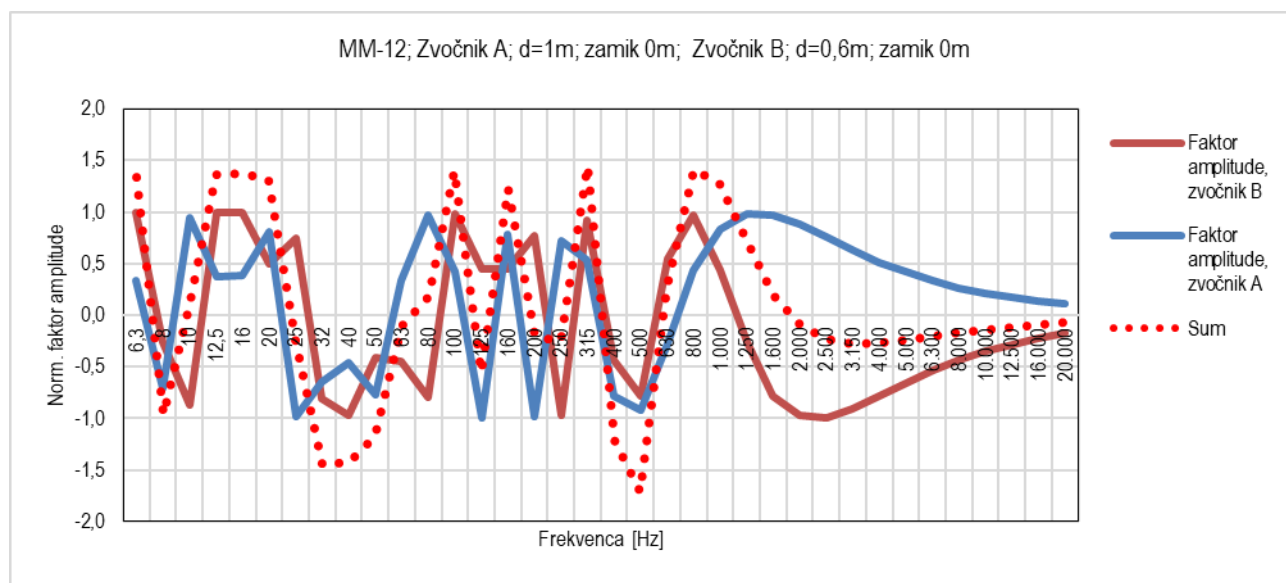


Slika 23: Potek normiranih faktorjev amplitud v odvisnosti od frekvence v merilnem mestu 3(vir: Lasten)

Tabela 7: Poizkus št. 2, povzetek rezultatov za merilno mesto MM-12, $|Y_A|=1\text{m}$, $|Y_B|=0,6\text{m}$, $|X_A|=|X_B|=0,0\text{m}$

Frekvenca [Hz]	Oba zvočnika enako priključena + → + - → -	Na enem zvočniku sta zamenjana priključka + → - - → +	Razdalji od zvočnikov do merilnega mesta		Norm. faktor amplitude Zvočnik A	Norm. faktor amplitude Zvočnik B	ΔL_{Zeq} [dB]
	LZeq [dB]	LZeq [dB]	d_A [m]	d_B [m]			
1	2	3	4	5	6	7	8
6,3	37,2	38,2	1,0	0,6	0,3	1,0	-1,0
8	27,7	30,4	1,0	0,6	-0,7	-0,3	-2,6
10	35,8	39,5	1,0	0,6	1,0	-0,9	-3,7
12,5	37,2	40,5	1,0	0,6	0,4	1,0	-3,2
16	37,8	41,3	1,0	0,6	0,4	1,0	-3,6
20	39,0	43,1	1,0	0,6	0,8	0,5	-4,1
25	38,0	42,2	1,0	0,6	-1,0	0,7	-4,2
31,5	25,6	30,4	1,0	0,6	-0,6	-0,8	-4,7
40	23,4	22,4	1,0	0,6	-0,5	-1,0	1,0
50	42,6	35,3	1,0	0,6	-0,8	-0,4	7,3
63	55,9	40,3	1,0	0,6	0,3	-0,4	15,6
80	59,7	48,7	1,0	0,6	1,0	-0,8	11,0
100	67,1	63,3	1,0	0,6	0,4	1,0	3,8
125	48,8	50,2	1,0	0,6	-1,0	0,4	-1,4
160	53,1	51,7	1,0	0,6	0,8	0,4	1,4
200	58,5	58,6	1,0	0,6	-1,0	0,8	-0,2
250	58,2	58,1	1,0	0,6	0,7	-1,0	0,1
315	59,3	61,6	1,0	0,6	0,5	0,9	-2,3
400	54,5	57,3	1,0	0,6	-0,8	-0,4	-2,8
500	56,8	54,3	1,0	0,6	-0,9	-0,8	2,5
630	49,1	49,2	1,0	0,6	-0,3	0,5	-0,1
800	49,5	44,7	1,0	0,6	0,4	1,0	4,8
1.000	46,9	46,4	1,0	0,6	0,8	0,4	0,6
1.250	42,7	47,5	1,0	0,6	1,0	-0,3	-4,8
1.600	36,7	36,9	1,0	0,6	1,0	-0,8	-0,1
2.000	31,7	31,6	1,0	0,6	0,9	-1,0	0,0

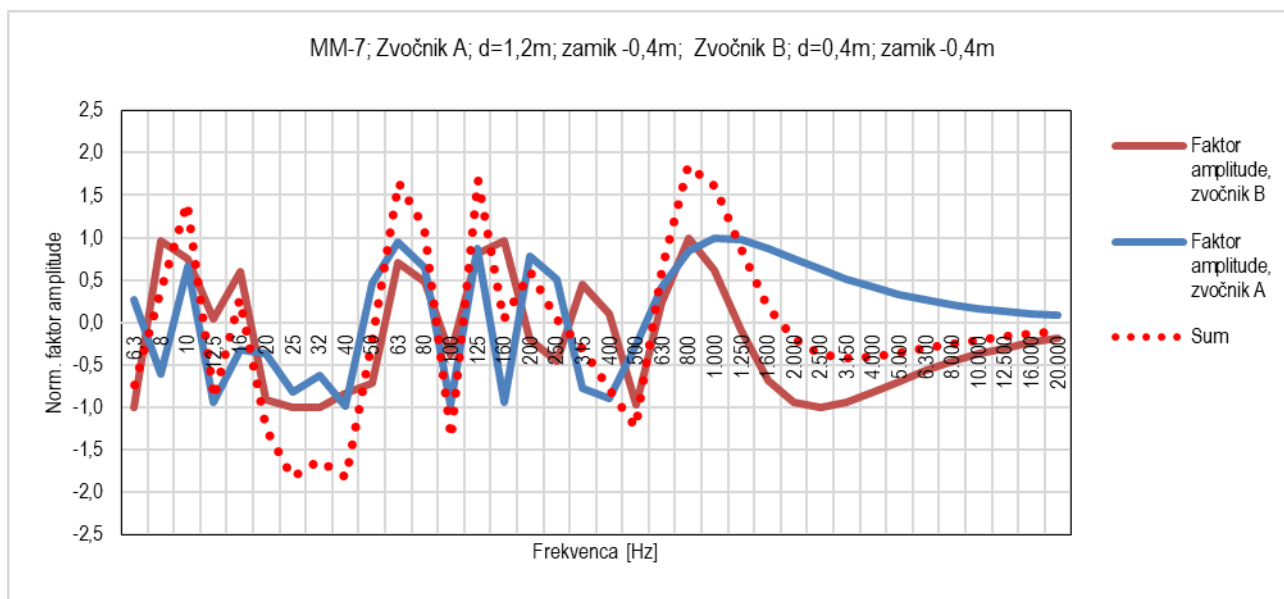
Frekvenca [Hz]	Oba zvočnika enako priključena + → + - → -	Na enem zvočniku sta zamenjana priključka + → - - → +	Razdalji od zvočnikov do merilnega mesta		Norm. faktor amplitude Zvočnik A	Norm. faktor amplitude Zvočnik B	ΔL_{Zeq} [dB]
	LZeq [dB]	LZeq [dB]	d _A [m]	d _B [m]			
1	2	3	4	5	6	7	8
2.500	40,4	35,2	1,0	0,6	0,8	-1,0	5,2
3.150	36,3	38,5	1,0	0,6	0,6	-0,9	-2,3
4.000	35,4	37,5	1,0	0,6	0,5	-0,8	-2,1
5.000	38,7	38,2	1,0	0,6	0,4	-0,7	0,6
6.300	37,6	41,0	1,0	0,6	0,3	-0,5	-3,5
8.000	36,5	35,3	1,0	0,6	0,3	-0,4	1,3
10.000	36,3	36,4	1,0	0,6	0,2	-0,4	-0,2
12.500	32,6	32,2	1,0	0,6	0,2	-0,3	0,4
16.000	21,1	21,4	1,0	0,6	0,1	-0,2	-0,3
20.000	14,5	15,7	1,0	0,6	0,1	-0,2	-1,2
A	59,8	60,1					-0,3
Povprečje							0,0
St. dev.							2,7



Slika 24: Potek normiranih faktorjev amplitude v odvisnosti od frekvence v merilnem mestu 12(vir: Lasten)

Tabela 8: Poizkus št. 2, povzetek rezultatov za merilno mesto MM-7, $|Y_A|=1,2\text{m}$, $|Y_B|=0,4\text{m}$, $|X_A|=|X_B|=0,4\text{m}$

Frekvenca [Hz]	Oba zvočnika enako priključena + → + - → -	Na enem zvočniku sta zamenjana priključka + → - - → +	Razdalji od zvočnikov do merilnega mesta		Norm. faktor amplitude Zvočnik A	Norm. faktor amplitude Zvočnik B	ΔL_{Zeq} [dB]
	L_{Zeq} [dB]	L_{Zeq} [dB]	d_A [m]	d_B [m]			
1	2	3	4	5	6	7	8
6,3	35,5	47,1	1,265	0,566	0,3	-1,0	-11,6
8	30,4	43,5	1,265	0,566	-0,6	1,0	-13,1
10	36,0	47,7	1,265	0,566	0,7	0,7	-11,7
12,5	36,5	49,3	1,265	0,566	-0,9	0,0	-12,9
16	35,6	54,0	1,265	0,566	-0,3	0,6	-18,4
20	38,8	58,7	1,265	0,566	-0,4	-0,9	-19,9
25	27,8	44,6	1,265	0,566	-0,8	-1,0	-16,9
31,5	23,3	36,9	1,265	0,566	-0,6	-1,0	-13,6
40	22,6	37,2	1,265	0,566	-1,0	-0,8	-14,6
50	41,2	38,3	1,265	0,566	0,5	-0,7	2,9
63	55,1	43,9	1,265	0,566	0,9	0,7	11,2
80	59,8	49,2	1,265	0,566	0,6	0,5	10,6
100	64,2	63,6	1,265	0,566	-1,0	-0,4	0,6
125	48,0	52,4	1,265	0,566	0,9	0,8	-4,4
160	49,3	51,7	1,265	0,566	-0,9	1,0	-2,4
200	57,4	54,6	1,265	0,566	0,8	-0,2	2,7
250	57,5	57,8	1,265	0,566	0,5	-0,5	-0,3
315	57,5	60,6	1,265	0,566	-0,8	0,5	-3,0
400	53,5	55,6	1,265	0,566	-0,9	0,1	-2,0
500	58,2	52,0	1,265	0,566	-0,3	-1,0	6,2
630	47,6	46,0	1,265	0,566	0,4	0,2	1,7
800	42,5	47,5	1,265	0,566	0,8	1,0	-5,0
1.000	46,8	43,2	1,265	0,566	1,0	0,6	3,6
1.250	43,4	44,7	1,265	0,566	1,0	-0,1	-1,2
1.600	36,3	36,5	1,265	0,566	0,9	-0,7	-0,2
2.000	31,3	32,0	1,265	0,566	0,8	-0,9	-0,6
2.500	37,9	34,0	1,265	0,566	0,6	-1,0	3,9
3.150	33,4	35,1	1,265	0,566	0,5	-0,9	-1,7
4.000	34,7	34,8	1,265	0,566	0,4	-0,8	-0,1
5.000	35,1	34,6	1,265	0,566	0,3	-0,7	0,6
6.300	36,4	37,3	1,265	0,566	0,3	-0,6	-0,9
8.000	33,5	31,7	1,265	0,566	0,2	-0,5	1,8
10.000	29,9	30,4	1,265	0,566	0,2	-0,4	-0,4
12.500	25,7	25,8	1,265	0,566	0,1	-0,3	-0,1
16.000	14,7	14,9	1,265	0,566	0,1	-0,2	-0,2
20.000	15,1	14,9	1,265	0,566	0,1	-0,2	0,2
A	59,1	58,5					0,6
Povprečje							0,0
St. dev.							2,8



Slika 25: Potek normiranih faktorjev amplitud v odvisnosti od frekvenca v merilnem mestu 7(vir: Lasten)

Tabela v nadaljevanju prikazuje povzetek rezultatov za 14 merilnih mest v okviru Poizkusa št. 2.

Tabela 9: Povzetek rezultatov Poizkus št. 2

Merilno mesto	Oddaljenost zvočnika A [m]	Oddaljenost zvočnika B [m]	Simetrija*	ΔL_{Aeq} [dBA]	Povpr. ΔL_z [dB]	St.dev. ΔL_z [dB]
1	1,13	1,13	Simetrija	4,4	4,2	2,8
2	0,89	0,89	Simetrija	5,7	6,7	2,6
3	0,80	0,80	Simetrija	5,5	3,1	4,7
4	0,89	0,89	Simetrija	6,6	3,7	4,5
5	1,13	1,13	Simetrija	6,0	3,0	3,6
6	1,44	0,89	Ni simetrično	-0,2	1,0	2,9
7	1,26	0,57	Ni simetrično	0,6	0,0	2,8
8	1,20	0,40	Ni simetrično	-0,4	-0,8	2,5
9	1,26	0,57	Ni simetrično	-0,3	-1,1	2,5
10	1,44	0,89	Ni simetrično	-0,3	0,1	2,8
11	1,08	0,72	Ni simetrično	0,7	0,7	2,9
12	1,00	0,60	Ni simetrično	-0,3	0,0	2,7
13	1,08	0,72	Ni simetrično	-0,3	-0,1	3,3
14	0,40	1,20	Ni simetrično	-0,1	0,1	2,0

* položaj mikrofona je označen kot »simetrija« v primeru $d_A = d_B$.

Iz zgornje tabele je razvidno, da je v primeru zamenjave polarizacije na enem izmed zvočnikov za merilna mesta na simetrali daljice, ki povezuje zvočnika A in B (op. »Simetrija«), opazno znatno izničenje zvoka ($\Delta L_{Aeq} = 4,4 - 6,6$ dBA). Povprečno izničenje po posameznih frekvencah slišnega

spektra je $\Delta L_Z = 3,0 - 6,7$ dB, standardna deviacija kot kazalec razpršenosti za parameter ΔL_Z pa znaša $2,8 - 4,7$ dB.

Pri ostalih merilnih mestih, ki ne ležijo na simetrali daljice, ki povezuje zvočnikov A in B, je ugotovljeno, da do bistvenega izničenja sploh ne pride; ponekod je celo opazno povečanje ($\Delta L_{Aeq} < 0$ in ($\Delta L_Z < 0$), kar pripisujem temu, da se v merilni točki srečata valovanji z isto smerjo amplitude (op. glej stolpec 6 in 7 v Tabela 7 in Tabela 8).

Pred pričetkom Poizkusa št. 2 sta bili postavljeni dve raziskovalni vprašanji:

Raziskovalno vprašanje št. 3 (RV3):

Aktivno izničenje zvoka bo najbolj opazno v opazovanih točkah, merilnih mestih, katerih skupna značilnost je ta, da so enako oddaljena od zvočnikov A in B, torej pri pogoju: $d_A = d_B$.

Raziskovalno vprašanje št. 4 (RV4):

Aktivno izničenje zvoka bo v opazovanih točkah, merilnih mestih, za katere velja pogoj $d_A \neq d_B$ opazno, vendar manj izrazito.

Glede na izvedene rezultate lahko na zastavljeno raziskovalno vprašanje odgovorim:

Odgovor na raziskovalno vprašanje št. 3 (RV3)

Rezultati Poizkusa št. 2 potrjujejo raziskovalno vprašanje RV3, torej da je največje izničenje zaznano v opazovanih točkah, ki so enako oddaljene od obeh zvočnikov, pri pogoju $d_A = d_B$.

Raziskovalno vprašanje št. 3 lahko tako v celoti potrdim.

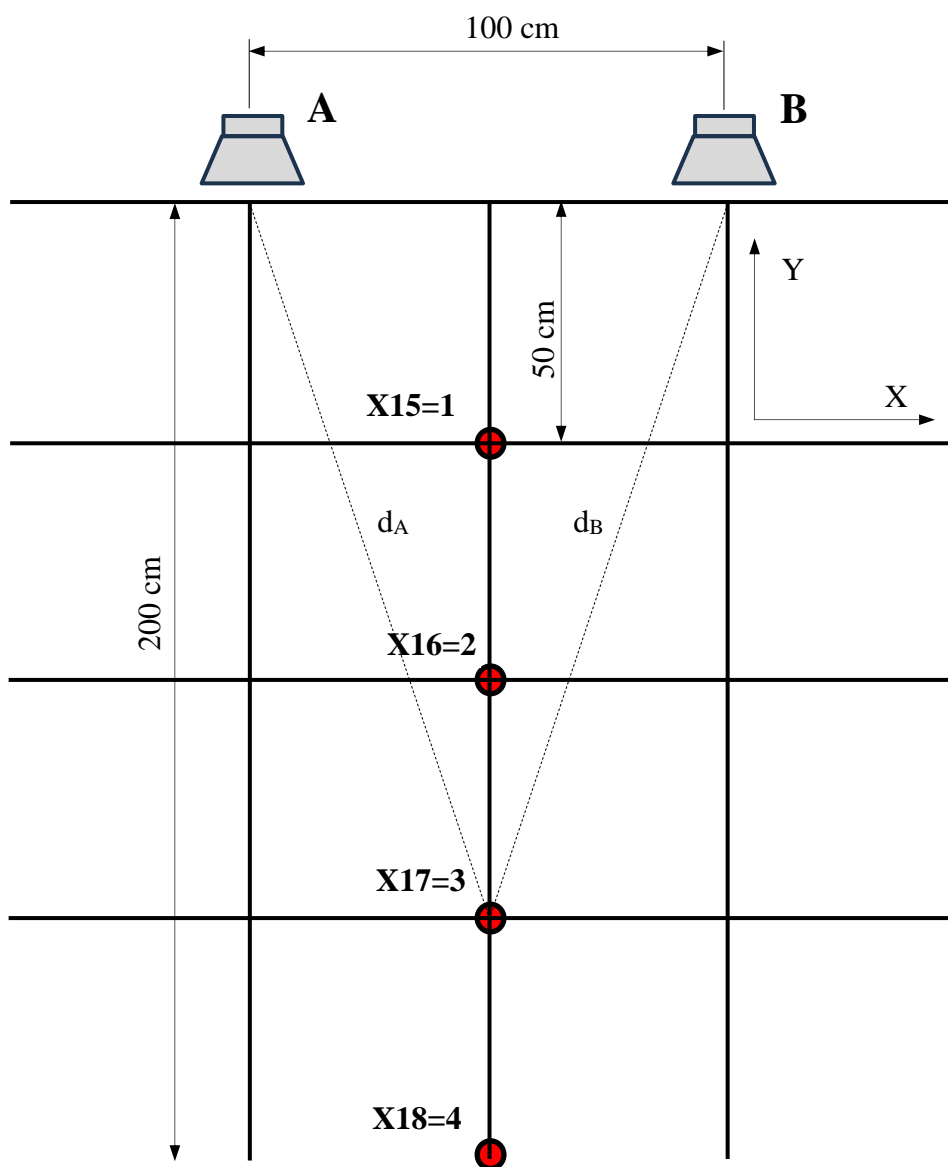
Odgovor na raziskovalno vprašanje št. 4 (RV4)

Iz rezultatov Poizkusa št. 2 je ugotovljeno, da je v točkah v katerih velja pogoj $d_A \neq d_B$ izničenje zvoka naključno, oz. odvisno ali je v točkah opazovanja, merilnih točkah dvoje valovanj v fazi oz. za koliko je eno valovanje napram drugemu v faznem zamiku (op. glej Slika 2 do Slika 6).

Raziskovalno vprašanje št. 4 ni mogoče potrditi, ker je izničenje odvisno od geometrije in valovnih dolžin. Če so razdalje od zvočnikov pravilno izbrane glede na frekvenco valovanja oz. na valovno dolžino, lahko prav tako pride do maksimalnega možnega izničenja zvoka.

9.3 POIZKUS ŠT. 3

Slika v nadaljevanju prikazuje shematski prikaz postavitve zvočnikov in merilnih mest pri Poizkusu št. 2 (op. glej Slika 16). Pri Poizkusu št. 3 je postavitve zvočnikov A in B vzporedna, za razliko od Poizkusa št. 1 in 2, kjer sta bila zvočnika A in B obrnjena drug proti drugemu.



Slika 26: Shematski prikaz postavitve zvočnikov in merilnih mest MM pri Poizkusu št. 3 (vir: Lasten)

Opis postopka:

Merilna mesta so v primeru Poizkusa št. 3 bila razporejena na simetrali daljice, ki povezuje zvočnika A in B, kar pomeni, da za vsa merilna mesta velja pogoj $d_A = d_B$. (op. glej Slika 26).

Na vsakem merilnem mestu sta bili opravljeni dve meritvi in sicer, prva meritev je bila izvedena na način, da sta bila oba zvočnika enako priklopljena, torej $+ \rightarrow +$ in $- \rightarrow -$ (op. glej Slika 19). Druga meritev pa je bila izvedena na način, da je bil en zvočnik priklopljen na način $+ \rightarrow +$ in $- \rightarrow -$, drugi pa z obrnjeno polarizacijo na način $+ \rightarrow -$ in $- \rightarrow +$.

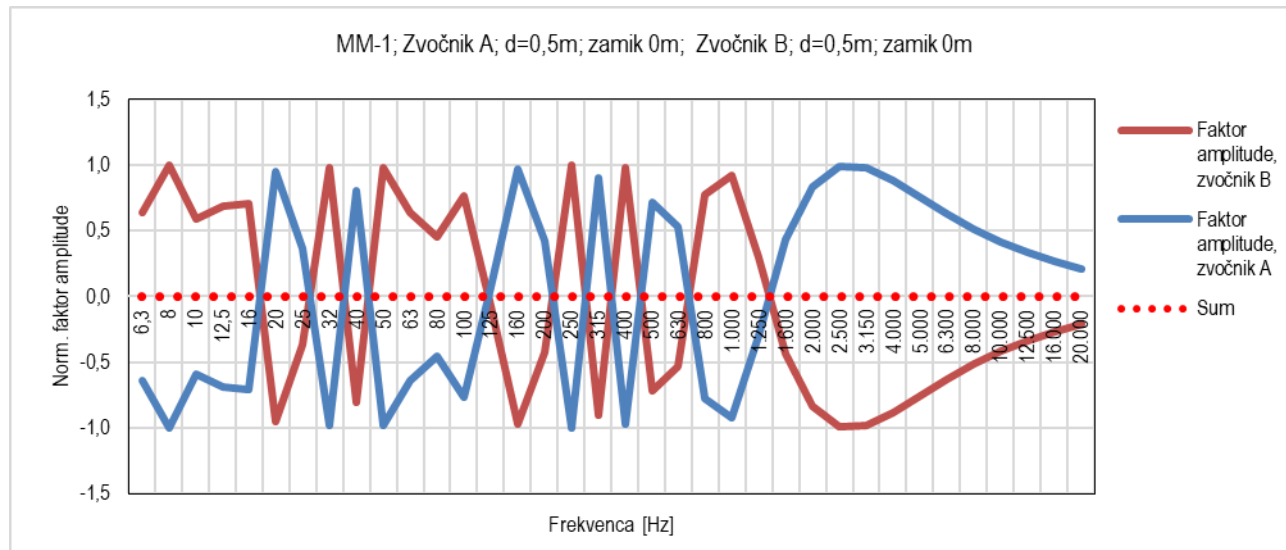
Glede na rezultate predhodnih poizkusov je pričakovati, da bo tudi na merilnih mestih v poizkusu št. 3 prišlo do občutnega izničenja zvoka, v kolikor se bo enemu zvočniku zamenjala polariteta priključka (op. glej Slika 17 in Slika 18), saj za vsa merilna mesta velja pogoj $d_A = d_B$.

V nadaljevanju so podani rezultati za najbližje merilno mesto MM-1 in za najbolj oddaljeno merilno mesto MM-4 (op. glej Slika 26).

Tabela 10: Poizkus št. 3, povzetek rezultatov za merilno mesto MM-1, $|Y_A|=|Y_B|=0,5\text{m}$, $|X_A|=|X_B|=0,0\text{m}$

Frekvenca [Hz]	Oba zvočnika enako priključena $+ \rightarrow +$ $- \rightarrow -$	Na enem zvočniku sta zamenjana priključka $+ \rightarrow -$ $- \rightarrow +$	Razdalji od zvočnikov do merilnega mesta		Norm. faktor amplitude Zvočnik A	Norm. faktor amplitude Zvočnik B	ΔL_{Zeq} [dB]
	L_{Zeq} [dB]	L_{Zeq} [dB]	d_A [m]	d_B [m]			
1	2	3	4	5	6	7	8
6,3	40,9	47,6	0,707	0,707	-0,6	0,6	-6,7
8	36,7	47,9	0,707	0,707	-1,0	1,0	-11,3
10	42,3	58,6	0,707	0,707	-0,6	0,6	-16,3
12,5	40,2	47,9	0,707	0,707	-0,7	0,7	-7,7
16	45,6	51,5	0,707	0,707	-0,7	0,7	-5,9
20	49,7	53,9	0,707	0,707	1,0	-1,0	-4,1
25	31,3	37,4	0,707	0,707	0,4	-0,4	-6,0
31,5	23,8	26,3	0,707	0,707	-1,0	1,0	-2,5
40	25,4	31,8	0,707	0,707	0,8	-0,8	-6,4
50	43,6	33,4	0,707	0,707	-1,0	1,0	10,2
63	56,2	41,2	0,707	0,707	-0,6	0,6	15,0
80	59,4	47,6	0,707	0,707	-0,5	0,5	11,7
100	67,2	53,5	0,707	0,707	-0,8	0,8	13,7
125	53,7	49,7	0,707	0,707	0,1	-0,1	4,0
160	51,5	52,7	0,707	0,707	1,0	-1,0	-1,2
200	57,0	54,4	0,707	0,707	0,4	-0,4	2,7
250	61,5	55,3	0,707	0,707	-1,0	1,0	6,2
315	61,4	57,1	0,707	0,707	0,9	-0,9	4,3
400	56,3	47,9	0,707	0,707	-1,0	1,0	8,4
500	54,0	49,2	0,707	0,707	0,7	-0,7	4,7
630	48,0	42,9	0,707	0,707	0,5	-0,5	5,1

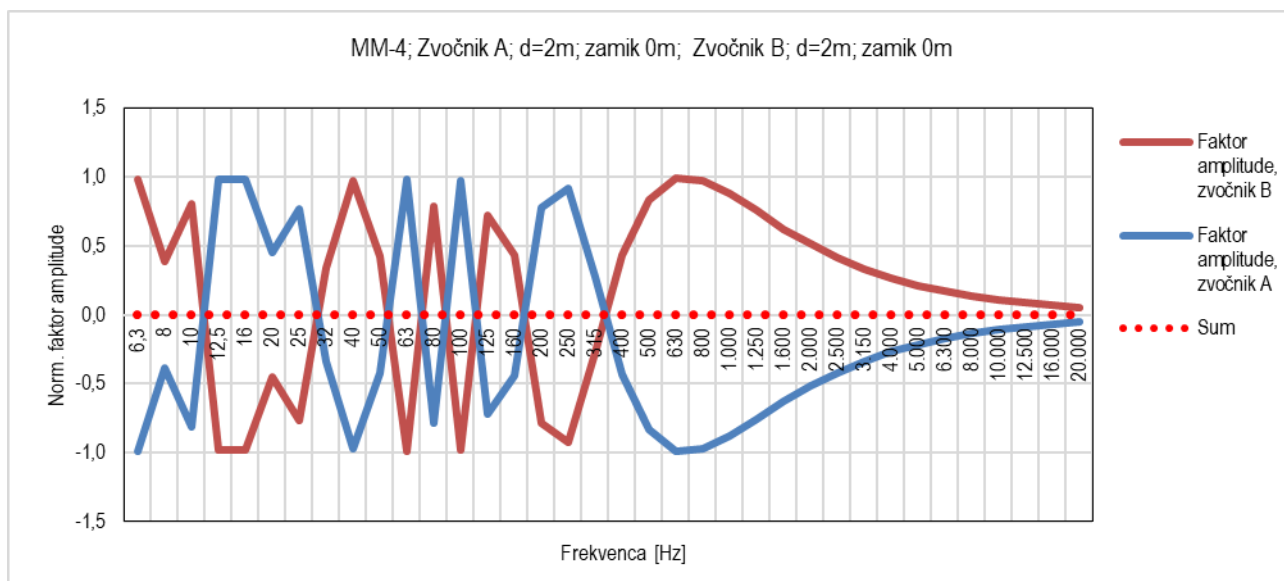
Frekvenca [Hz]	Oba zvočnika enako priključena + → + - → -	Na enem zvočniku sta zamenjana priključka + → - - → +	Razdalji od zvočnikov do merilnega mesta		Norm. faktor amplitude Zvočnik A	Norm. faktor amplitude Zvočnik B	ΔL_{Zeq} [dB]
	LZeq [dB]	LZeq [dB]	d _A [m]	d _B [m]			
1	2	3	4	5	6	7	8
800	46,1	41,1	0,707	0,707	-0,8	0,8	5,0
1.000	46,7	42,0	0,707	0,707	-0,9	0,9	4,7
1.250	45,6	42,1	0,707	0,707	-0,3	0,3	3,6
1.600	38,3	35,8	0,707	0,707	0,4	-0,4	2,5
2.000	31,9	31,4	0,707	0,707	0,8	-0,8	0,4
2.500	33,1	35,4	0,707	0,707	1,0	-1,0	-2,3
3.150	30,3	35,4	0,707	0,707	1,0	-1,0	-5,1
4.000	32,2	37,4	0,707	0,707	0,9	-0,9	-5,3
5.000	33,4	36,5	0,707	0,707	0,8	-0,8	-3,2
6.300	42,3	36,0	0,707	0,707	0,6	-0,6	6,4
8.000	34,8	27,5	0,707	0,707	0,5	-0,5	7,3
10.000	27,1	31,9	0,707	0,707	0,4	-0,4	-4,7
12.500	24,0	27,9	0,707	0,707	0,3	-0,3	-3,9
16.000	16,7	14,1	0,707	0,707	0,3	-0,3	2,6
20.000	10,8	10,6	0,707	0,707	0,2	-0,2	0,2
A	60,2	55,2					5,0
Povprečje							3,1
St. dev.							4,7



Slika 27: Poizkus št. 3, potek normiranih faktorjev amplitud v odvisnosti od frekvenca v merilnem mestu 1 (vir: Lasten)

Tabela 11: Poizkus št. 3, povzetek rezultatov za merilno mesto MM-4, $|Y_A|=|Y_B|=2,0\text{m}$, $|X_A|=|X_B|=0,0\text{m}$

Frekvenca [Hz]	Oba zvočnika enako priključena + → + - → -	Na enem zvočniku sta zamenjana priključka + → - - → +	Razdalji od zvočnikov do merilnega mesta		Norm. faktor amplitude Zvočnik A	Norm. faktor amplitude Zvočnik B	ΔL_{Zeq} [dB]
	LZeq [dB]	LZeq [dB]	d _A [m]	d _B [m]			
1	2	3	4	5	6	7	8
6,3	40,5	37,1	2,062	2,062	-1,0	1,0	-3,4
8	41,8	37,1	2,062	2,062	-0,4	0,4	-4,6
10	44,5	41,6	2,062	2,062	-0,8	0,8	-2,9
12,5	33,6	29,0	2,062	2,062	1,0	-1,0	-4,7
16	36,3	31,8	2,062	2,062	1,0	-1,0	-4,5
20	36,7	28,1	2,062	2,062	0,5	-0,5	-8,6
25	28,9	27,1	2,062	2,062	0,8	-0,8	-1,8
31,5	26,7	24,9	2,062	2,062	-0,3	0,3	-1,9
40	41,4	38,7	2,062	2,062	-1,0	1,0	-2,7
50	37,0	40,5	2,062	2,062	-0,4	0,4	3,6
63	40,6	46,3	2,062	2,062	1,0	-1,0	5,7
80	44,8	51,8	2,062	2,062	-0,8	0,8	7,0
100	52,9	62,5	2,062	2,062	1,0	-1,0	9,7
125	41,9	50,3	2,062	2,062	-0,7	0,7	8,4
160	48,9	52,6	2,062	2,062	-0,4	0,4	3,8
200	48,8	52,5	2,062	2,062	0,8	-0,8	3,8
250	49,9	54,7	2,062	2,062	0,9	-0,9	4,8
315	53,4	52,2	2,062	2,062	0,3	-0,3	-1,2
400	45,2	49,2	2,062	2,062	-0,4	0,4	4,1
500	46,4	53,1	2,062	2,062	-0,8	0,8	6,7
630	42,9	46,3	2,062	2,062	-1,0	1,0	3,4
800	43,0	43,2	2,062	2,062	-1,0	1,0	0,2
1.000	40,1	42,3	2,062	2,062	-0,9	0,9	2,2
1.250	38,6	42,0	2,062	2,062	-0,8	0,8	3,5
1.600	33,7	35,0	2,062	2,062	-0,6	0,6	1,3
2.000	28,9	30,0	2,062	2,062	-0,5	0,5	1,1
2.500	33,3	34,5	2,062	2,062	-0,4	0,4	1,2
3.150	31,3	32,3	2,062	2,062	-0,3	0,3	1,0
4.000	31,4	30,7	2,062	2,062	-0,3	0,3	-0,8
5.000	33,3	30,3	2,062	2,062	-0,2	0,2	-3,1
6.300	36,5	31,0	2,062	2,062	-0,2	0,2	-5,5
8.000	34,1	24,4	2,062	2,062	-0,1	0,1	-9,8
10.000	33,8	29,7	2,062	2,062	-0,1	0,1	-4,2
12.500	28,3	30,3	2,062	2,062	-0,1	0,1	2,1
16.000	14,4	22,2	2,062	2,062	-0,1	0,1	7,8
20.000	11,0	11,3	2,062	2,062	-0,1	0,1	0,3
A	52,3	55,3					3,1
Povprečje							1,7
St. dev.							4,5



Slika 28: Poizkus št. 3, potek normiranih faktorjev amplitud v odvisnosti od frekvence v merilnem mestu 4 (vir: Lasten)

Tabela v nadaljevanju podaja povzetek rezultatov za Poizkus št. 3.

Tabela 12: Povzetek rezultatov Poizkus št. 3

Merilno mesto	Razdalja [Y] [m]	Oddaljenost zvočnika A [m]	Oddaljenost zvočnika B [m]	Simetrija*	ΔL_{Aeq} [dBA]	Povpr. ΔL_z [dB]	St.dev. ΔL_z [dB]
1	0,5	0,71	0,71	Simetrija	5,0	3,1	4,7
2	1,0	1,12	1,12	Simetrija	3,4	2,5	5,4
3	1,5	1,58	1,58	Simetrija	3,7	2,7	5,0
4	2,0	2,06	2,06	Simetrija	3,1	1,7	4,5

* položaj mikrofona je označen kot »simetrija« v primeru $d_A = d_B$.

Pred pričetkom Poizkusa št. 3 je bilo postavljeno eno raziskovalno vprašanje:

Raziskovalno vprašanje št. 5 (RV5):

Aktivno izničenje zvoka se bo z oddaljenostjo opazovanih točk, merilnih mest od zvočnikov postopno zmanjševalo.

Glede na prikazane rezultate lahko na zastavljeno raziskovalno vprašanje odgovorim:

Odgovor na raziskovalno vprašanje št. 5 (RV5)

V primeru Poizkusa št. 3 so bile izvedene meritve na 4 merilnih mestih. Na vseh opazovanih točkah, merilnih mestih je bilo ugotovljeno občutno izničenje zvoka. Tendenca velikosti izničenja pa nakazuje, da se slednje zmanjšuje z oddaljenostjo, kar potrjuje raziskovalno vprašanje.

Raziskovalno vprašanje št. 5 lahko potrdim.

10 DRUŽBENA KORISTNOST IN ZAKLJUČEK

Namen raziskovalne naloge je bil dokazati, da je aktivno izničenje zvoka (ang. Noise Canceling) mogoče doseči z uporabo zgolj domačih zvočnikov z enostavno spremembo polaritete priključkov na enem izmed dveh zvočnikov tudi v realnih okoliščinah.

Omejitve takšnega pristopa so, da so ugodni rezultati omejeni na posamezne opazovane točke za katere velja, da so od zvočnikov enako oddaljene, saj samo v tem primeru pride do izničenja »vala« in »vala z obrnjenim faznim zamikom«.

Menim, da velja možnost aktivnega izničenja zvoka še naprej razvijati in raziskovati.

Zagotovo je hrup zvok, ki je ljudem neprijeten. Želimo ga vsaj v omejiti ali se mu izogniti. A ne bi bilo najlepše, da bi hrup sam sebe uničil z »anti-hrupom«?

Na tem mestu vidim veliko možnosti za iskanje praktičnih rešitev, ki bi bile družbeno koristne. Na primer so npr: ustvariti tiho okolje v osebnih avtomobilih, kljub temu, da avto vozi in se v notranjosti kabine sliši hrup motorja ali hrup okolice. Ali npr. ustvariti tiho sobo v hotelu, ki je v neposredni bližini prometne ceste, železnice ali letališča.

Dosedanje delo je temeljilo na ustvarjanju »anti zvoka, inverznega zvoka, ...«, ki se je širil od enega zvočnika, med tem ko se je iz drugega zvočnika širil originalni zvok. To sem dosegel tako, da sem obrnil polariteto na priključku enega zvočnika. Omejitev tega pristopa je bila, da izničenja zvoka nisem mogel ustvariti prostorsko, ampak je bilo omejeno na izbrane točke, ki so ustrezale določenim pogojem.

Razmišljam, da bi zvok posnel z mikrofoni, ga računalniško obdelam, ustvarim inverzni posnetek in ga v realnem času predvajam preko zvočnikov. Menim, da bi v tem primeru lahko dobil prostorsko izničenje zvoka, ki bi bilo iz vidika družbene koristnosti zelo dobrodošlo.

Ob branju strokovne literature so takšni poizkusi v svetu že prisotni, kdo bo bolj uspešen pa je odvisno od zagnanosti in znanja. Takšen izziv sem pripravljen sprejeti v bližnji prihodnosti.

11 VIRI

[1]	https://si.openprof.com/wb/longitudinalno_valovanje_zvoka
[2]	Strojniški priročnik, Bojan Kraut, Tehnična knjiga, Zagreb, 1987
[3]	Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control, Cyril M. Harris, 3th edition, ISBN 1-56396-774-X, 1998
[4]	Application of B&K Equipment to Architectural Acustics, Bruel & Kjaer, 1st edition ISBN 87-87355-18-3, 1978
[5]	NOISE CONTROL Principles and Practice, Bruel & Kjaer, 2nd edition, ISBN 87-87355-09-4 (ib.), ISBN 87-87355-11-6 (hf.), 1986
[6]	Technischer Larmschutz, Werner Schirmer, ISBN 3-18-401339-1, 1996
[7]	Energija toplota zvok svetloba fizika za srednješolce 2, Rudolf Kladnik, 1.izd, ISBN 978-86-341-1420-1, Ljubljana : DZS, 2008