

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Miha MRAVLAK

**VPLIV DEBELINE IN GOSTOTE IVERNIH IN VLAKNINSKIH PLOŠČ NA  
NJIHOVE AKUSTIČNE LASTNOSTI**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**ACOUSTICAL PROPERTIES OF  
PARTICLE AND FIBREBOARD REGARDING ON THEIR THICKNESS AND  
DENSITY**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za žagarstvo, ter na Katedri za mehanske obdelovalne tehnologije Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile v laboratoriju za iverna in vlakninska tvoriva izdelane in testirane plošče.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, za somentorja prof. dr. Bojana Bučarja ter recenzentko doc. dr. Dominiko Gornik Bučar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Miha MRAVLAK

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn  
DK UDK 630\*862.2:630\*812.12  
KG iverna plošča/vlaknena plošča/akustika/akustične lastnosti  
AV MRAVLAK, Miha  
SA MEDVED, Sergej (mentor)/BUČAR, Bojan (somentor)/GORNIK BUČAR, Dominika (recenzentka)  
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/24  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo  
LI 2009  
IN VPLIV DEBELINE IN GOSTOTE IVERNIH IN VLAKNINSKIH PLOŠČ NA NJIHOVE AKUSTIČNE LASTNOSTI  
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)  
OP XII, 72 str., 8 pregl., 65 sl., 3 pril., 22 vir.  
IJ si  
JI sl/en  
AI Ugotavljali smo, kako velikost iveri in zgradba iverne plošče vplivata na akustične lastnosti. Enoslojne plošče smo izdelali iz frakcij: 6.14-2, 1.5-1, 0.6-0, 0.237-0. Srednji sloj prve večslojne plošče smo naredili iz frakcije 6.14-2 ter zunanjega iz 0.237-0; srednji sloj druge pa iz frakcije 4-2 ter zunanji iz 0.6-0. Testne plošče smo testirali z izolirano testno komoro. Notranjost komore smo oblepili s plamofonom, vpeli zvočnike ter na obod testne komore pritrdili preizkušanece. Na testno ploščo smo pred izvajanjem meritev pritrdili pospeškomer; v oddaljenosti 0,5 m od testne plošče pa postavili mikrofona, in tako izmerili zvočno valovanje, ki je prešlo testno ploščo. Do razlik med posameznimi enoslojnimi ploščami prihaja zaradi praznih medprostorov med delci ter različnih velikosti delcev. Poroznost zelo variira med ploščami, na kar vpliva velikost delcev, ki ploščo sestavljajo. Poroznost vpliva na prehod zvoka med posameznima slojema znotraj plošče. Med sestavnimi delci enoslojnih plošč večjih frakcij je več praznih medprostorov, zato se energija lažje absorbira ter pretvori v toploto. Pri ploščah iz finejših frakcij se več zvočnega valovanja odbije nazaj v komoro. Do razlik med posameznima večslojnima ploščama prihaja zaradi praznih medprostorov med delci ter različnih velikosti delcev. Poroznost variira med ploščami, na kar vpliva velikost delcev, ki sestavljajo večslojno ploščo. Hkrati poroznost večslojne plošče vpliva na prehod zvoka med posameznima slojema znotraj plošče.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
DC UDC 630\*862.2:630\*812.12  
CX particleboard/fibreboard/acoustics/acoustical properties  
AU MRAVLAK, Miha  
AA MEDVED, Sergej (supervisor)/BUČAR, Bojan (co-supervisor)  
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/24  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology  
PY 2009  
TI ACOUSTICAL PROPERTIES OF PARTICLE- AND FIBREBOARDS REGARDING THICKNESS AND DENSITY  
DT Graduation Thesis (University studies)  
NO XII, 72 p., 8 tab., 65 fig., 3 ann., 22 ref.  
LA si  
AL sl/en  
AB The paper discusses how particle size and texture influence acoustical properties of particle boards. Single layer boards were produced from different particle sizes: 6.14-2, 1.5-1, 0.6-0, 0.237-0. The middle layer of 1<sup>st</sup> middle layer board was manufactured from particle sizes 6.14-2, and the outer from 0.237-0; the other board had middle layer made from particle sizes 4-2, and outer from 0.6-0. Tests were carried out, with the help of testing chamber. Interior of chamber was covered with sound absorbing foam, and speakers were mounted. On the outer surface of the chamber, the sample with the sample accelerometer was mounted, in a distance of 0.5 m a microphone was positioned to detected sound waves, which went through the board. It was discovered that different particle sizes and free spaces between particles are significant factors for acoustical properties of single layer boards. The particle size has a very important influence on single layer boards, because it determines the porosity of the board. Porosity also has an effect on sound transmission through the board itself. A single layer board made out of larger particles, has free space among particles. These free spaces allow energy to be easily absorbed and converted into heat. In boards from finer particles, more sound pressure bounces back into testing chamber. Particle sizes and variety of free spaces in multi-layer boards dictate differences among multi-layer boards. Particle sizes varying through the multi-layer board also dictate porosity of the multi-layer board. Porosity of the multi-layer board also influences sound transmission between different layers inside multi-layer board.

## KAZALO VSEBINE

|                                                                          | str.      |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA                                      | III       |
| KEY WORDS DOCUMENTATION                                                  | IV        |
| KAZALO VSEBINE                                                           | V         |
| KAZALO PREGLEDNIC                                                        | VII       |
| KAZALO SLIK                                                              | VIII      |
| KAZALO PRILOG                                                            | X         |
| <b>1 UVOD</b>                                                            | <b>1</b>  |
| 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA                                                 | 2         |
| 1.2 CILJI RAZISKOVANJA                                                   | 2         |
| 1.3 DELOVNE HIPOTEZE                                                     | 3         |
| <b>2 PREGLED OBJAV</b>                                                   | <b>4</b>  |
| 2.1 ABSORPCIJA ZVOKA                                                     | 6         |
| 2.2 PARAMETRI, KI DOLOČAJO ZVOČNO ABSORPCIJSKI KOEFICIENT                | 7         |
| 2.2.1 Poroznost                                                          | 8         |
| 2.2.2 Upornost in upor proti toku                                        | 9         |
| 2.2.3 Zgradbeni oz strukturni faktor                                     | 10        |
| 2.2.4 Zaprtost in odprtost površine                                      | 11        |
| 2.2.5 Vlažnost plošče                                                    | 11        |
| 2.3 VPLIV MORFOLOGIJE                                                    | 11        |
| 2.3.1 Vpliv debeline poroznih zvočnih absorberjev na akustične lastnosti | 11        |
| 2.3.2 Vpliv gostote poroznih zvočnih absorberjev na akustične lastnosti  | 12        |
| 2.4 MEHANIZEM ABSORPCIJE ZVOČNEGA VALOVANJA V VLAKNASTIH MATERIALIH      | 13        |
| 2.5.1 Glasnost, foni in decibeli ( dB)                                   | 15        |
| 2.5.2 Zvočni tok                                                         | 16        |
| <b>3 MATERIAL IN METODE</b>                                              | <b>18</b> |
| 3.1 IZDELAVA LABORATORIJSKIH PLOŠČ                                       | 18        |
| 3.2 IZDELAVA IZOLIRANE KOMORE                                            | 18        |
| 3.3 POSTOPEK IZVAJANJA MERITEV                                           | 19        |
| <b>4 REZULTATI</b>                                                       | <b>26</b> |
| 4.1. TESTNA KOMORA                                                       | 26        |
| 4.1.1 Notranjost testne komore                                           | 26        |
| 4.1.2 Zunanost testne komore                                             | 27        |
| 4.2 ENOSLOJNE PLOŠČE                                                     | 30        |
| 4.2.1 Plošča frakcije med 6.14 in 2                                      | 30        |
| 4.2.2 Plošča frakcije med 1.5 in 1                                       | 31        |
| 4.2.3 Plošča frakcije med 0.6 in 0                                       | 33        |
| 4.2.4 Plošča frakcije med 0.237 in 0                                     | 35        |
| 4.3 VEČSLOJNE PLOŠČE                                                     | 37        |

|              |                                                                            |           |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4.3.1</b> | <b>Večslojna plošča zunanji sloj 6.14 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.237</b> | <b>37</b> |
| <b>4.3.2</b> | <b>Večslojna plošča notranji sloj 4 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.6</b>     | <b>39</b> |
| <b>5</b>     | <b>RAZPRAVA IN SKLEPI</b>                                                  | <b>41</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>RAZPRAVA</b>                                                            | <b>41</b> |
| <b>5.1.1</b> | <b>Enoslojne plošče</b>                                                    | <b>41</b> |
| <b>5.1.2</b> | <b>Večslojne plošče</b>                                                    | <b>45</b> |
| <b>5.2</b>   | <b>SKLEPI</b>                                                              | <b>48</b> |
| <b>5.2.1</b> | <b>Enoslojne plošče</b>                                                    | <b>48</b> |
| <b>5.2.2</b> | <b>Večslojne plošče</b>                                                    | <b>48</b> |
| <b>6</b>     | <b>POVZETEK</b>                                                            | <b>49</b> |
| <b>7</b>     | <b>VIRI</b>                                                                | <b>50</b> |
|              | <b>ZAHVALA</b>                                                             |           |
|              | <b>PRILOGE</b>                                                             |           |

## KAZALO PREGLEDNIC

|                                                                                                               | str. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Preglednica 1: Absorpcijski koeficient á lesnih materialov                                                    | 6    |
| Preglednica 2: Karakteristika mikrofona                                                                       | 21   |
| Preglednica 3: Karakteristika pospeškomera                                                                    | 22   |
| Preglednica:4: Prikaz maksimalnih vrednosti tlaka v posameznih<br>frekvenčnih razredih pri enoslojnih ploščah | 42   |
| Preglednica 5: Prikaz maksimalnih vrednosti tlaka v posameznih<br>frekvenčnih razredih pri večslojnih ploščah | 45   |

## KAZALO SLIK

|                                                                                                          | str. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Slika 01 : Dušenje v steni                                                                               | 1    |
| Slika 02: Absorpcija v steni                                                                             | 2    |
| Slika 03: Vpliv poroznosti na zvočno absorpcijo                                                          | 4    |
| Slika 04: Vpliv debeline na zvočno absorpcijo                                                            | 4    |
| Slika 05: Vpliv gostote na zvočno absorpcijo                                                             | 5    |
| Slika 06: Vpliv izpostavljene teksture materiala na zvočno absorpcijo                                    | 5    |
| Slika 07: Prehod zvoka skozi steno                                                                       | 6    |
| Slika 08: Prikaz razlik med $u$ in $u'$                                                                  | 9    |
| Slika 09: Prikaz upornosti proti toku pri različnih absorpcijskih materialih                             | 10   |
| Slika 10: Vpliv debeline na absorpcijski koeficient                                                      | 12   |
| Slika 11: Vpliv gostote na absorpcijski koeficient                                                       | 13   |
| Slika 12: Shema trenutnih odmikov delcev snovi vzdolž smeri širjenja za harmonični zvok                  | 14   |
| Slika 13: Zgoščine in razredčina nastajajo v legah, kjer je trenutni odmik nič                           | 15   |
| Slika 14: Razpon zvočnega tlaka in decibelne lestvice                                                    | 15   |
| Slika 15: Notranjost testne komore                                                                       | 19   |
| Slika 16: Prostopoljni odziv mikrofona tipa 4939                                                         | 22   |
| Slika 17: Frekvenčni odziv pospeškometra                                                                 | 23   |
| Slika 18: Visokofrekvenčni odziv pospeškometra                                                           | 23   |
| Slika 19: Frekvenčni generator, ojačevalci signala, ojačevalec in računalnik                             | 24   |
| Slika 20: Pozicija pospeškometra in mikrofona                                                            | 24   |
| Slika 21: Akustično polje v komori                                                                       | 25   |
| Slika 22: Karakteristična odzivnost notranjosti testne komore v območju med 10Hz in 1000Hz               | 26   |
| Slika 23: Karakteristična odzivnost notranjosti testne komore v območju med 31.5Hz in 16kHz              | 27   |
| Slika 24: Karakteristična odzivnost zunanosti testne komore v območju med 10Hz in 1000Hz                 | 28   |
| Slika 25: Karakteristična odzivnost zunanosti testne komore v območju med 31.5Hz in 16kHz                | 28   |
| Slika 26: Sprememba zvočnega pretoka ter absorpcijski koeficient pri komori v območju med 10Hz in 1000Hz | 29   |
| Slika 27: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 6.14 in 2 v območju med 10Hz in 1000Hz           | 30   |
| Slika 28: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 6.14 in 2 v območju med 31.5Hz in 16kHz          | 30   |
| Slika 29: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri enoslojni plošči 6.14 - 2            | 31   |
| Slika 30: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 1.5 in 1 v območju med 10Hz in 1000Hz            | 32   |
| Slika 31: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 1.5 in 1 v območju med 31.5Hz in 16kHz           | 32   |

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 32: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri enoslojni plošči 1.5 – 1                                             | 33 |
| Slika 33: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 0.6 in 0 v območju med 10Hz in 1000Hz                                            | 33 |
| Slika 34: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 0.6 in 0 v območju med 31.5Hz in 16kHz                                           | 34 |
| Slika 35: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri enoslojni plošči 0.6 – 0                                             | 34 |
| Slika 36: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 0.237 in 0 v območju med 10Hz in 1000Hz                                          | 35 |
| Slika 37: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 0.237 in 0 v območju med 31.5Hz in 16kHz                                         | 35 |
| Slika 38: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri enoslojni plošči 0.237 - 0                                           | 36 |
| Slika 39: Karakteristična odzivnost večslojne plošče notranji sloj 6.14 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.237 v območju med 10Hz in 1000Hz    | 37 |
| Slika 40: Karakteristična odzivnost večslojne plošče notranji sloj 6.14 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.237 v območju med 31.5Hz in 16kHz   | 38 |
| Slika 41: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri večslojni plošči notranji sloj 6.14 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.237 | 38 |
| Slika 42: Karakteristična odzivnost večslojne plošče zunanji sloj 4 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.6 območju med 10Hz in 1000Hz            | 39 |
| Slika 43: Karakteristična odzivnost večslojne plošče zunanji sloj 4 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.6 v območju med 31.5Hz in 16kHz         | 40 |
| Slika 44: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri večslojni plošči notranji sloj 4 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.6      | 40 |
| Slika 45: Nihanje tlaka pri posameznih enoslojnih ploščah                                                                                | 41 |
| Slika 46: Prikaz razlik med tlakom znotraj komore in tlakom v okolici, za pregrado smo uporabili enoslojne plošče različnih frakcij      | 42 |
| Slika 47: Prikaz razlik med glasnostjo znotraj komore, ter zunaj komore v dB - enoslojne plošče                                          | 43 |
| Slika 48: Razlika med zunanostjo komore, ter zunanostjo plošč v dB                                                                       | 44 |
| Slika 49: Absorpcijski koeficienti enoslojnih plošč                                                                                      | 44 |
| Slika 50: Primerjava vrednosti tlaka pri večslojnih ploščah, pri posameznem frekvenčnem razdelku                                         | 45 |
| Slika 51: Prikaz razlik med notranostjo komore ter večslojne plošče v dB                                                                 | 46 |
| Slika 52: Prikaz razlik med zunanostjo komore, ter zunanostjo plošč v dB                                                                 | 47 |
| Slika 53: Absorpcijski koeficienti večslojnih plošč                                                                                      | 47 |

## KAZALO PRILOG

- Priloga A: Karakteristika plošče frakcije med 1.5 in 1 v območju med  
10Hz in 1000Hz
- Priloga B: Karakteristika plošče frakcije med 1.5 in 1 v območju med  
31.5Hz in 16kHz
- Priloga C: Receptura za pripravo plošče

## 1 UVOD

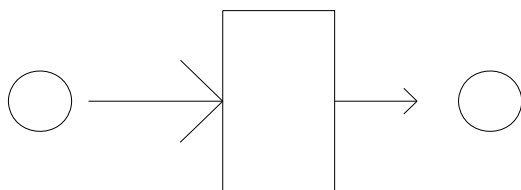
V okolju, kjer živimo in delamo, je vse več nezaželenih zvokov in šumov, ki močno obremenjujejo človekovo telo in tudi okolje. Dokazano je, da dolgotrajni hrup povzroča zdravstvene težave in fizične okvare človekovega organizma (Izvedba akustične izolacije, 2006).

Hrup je vsak nezaželen zvok, ki lahko prihaja od različnih virov: strojev za obdelavo lesa, prometa, raznih naprav, gospodinjskih pripomočkov. Sistem hrupa lahko razdelimo v naslednje kategorije: izvor hrupa (to je vir hrupa, ki svoje nihanje odda mediju za prenos hrupa), pot hrupa (to je medij, ki prenaša vibracije hrupa), sprejemnik hrupa oz. poslušalec hrupa (oseba, ki posluša in se pritožuje zaradi hrupa).

Da bi hrup zmanjšali oz. odpravili, moramo preučiti najmanj en sestavni del sistema hrupa. Z zmanjševanjem stopnje hrupa pri izvoru ali na poti dosežemo, da je pri poslušalcu stopnja hrupa zelo zmanjšana. Pri preučitvi vsakega poslušalca posebej je možno zelo zmanjšati raven hrupa. Ta se ne uporablja, saj je predraga, ker bi morali spremeniti razvoj in obliko. Obravnavanje poti hrupa je lažje in je zato največkrat uporabljen pristop k reševanju tega problema. Rešitev problema je, da vstavimo material na poti hrupa. Največkrat postavimo material na poti med oddajnikom in sprejemnikom hrupa in s tem znižamo stopnjo hrupa na strani sprejemnika oz. poslušalca. Največkrat uporabljeni pristopi za zmanjševanje hrupa so štiri: izolacija, absorpcija, izolacija vibracij in zmanjševanje vibracij (Harris, 1979).

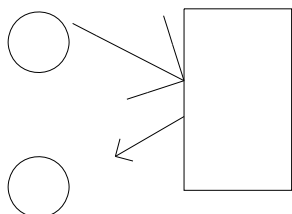
Pri ploščah iz ivernih in vlakninskih lesnih tvoriv sta odločilni dve lastnosti, in sicer: dušenje in absorpcija zvoka. Dušenje zvoka dosežemo z uporabo plošč z višjo prostorninsko maso, medtem ko absorpcijo zvoka z uporabo plošč z nižjo prostorninsko maso.

Dušenje zvoka uporabimo pri zvočnih izolacijah. Zvočilo in sprejemnik se nahajata v različnih prostorih. Pri sprejemu se jakost zvoka zmanjša z dušenjem. Boljše dušenje dosežemo z uporabo plošč z višjo prostorninsko maso. Višjo prostorninsko maso imajo vlakninske plošče (MDF, HDF).



Slika 1 : Dušenje v steni

Absorpcijo zvoka uporabimo, če želimo čim bolj čist zvok. Zvočilo in sprejemnik se nahajata v istem prostoru. Pri sprejemu se jakost zvoka zmanjša z vpijanjem. Boljše vpijanje dosežemo z uporabo plošč z nižjo prostorninsko maso. Nižjo prostorninsko maso imajo iverne plošče (OSB, iverna plošča z nizko gostoto).



Slika 2: Absorpcija v steni

V deželah, kjer je razvita lesna industrija in imajo hkrati mnogo gozdov, se je uveljavila gradnja manjših lesenih objektov. Ti objekti imajo za osnovno konstrukcijo lesen okvir, ki tvori osnovo, na katero je pritrjena fasada na zunanji strani, na notranji strani pa je pritrjena stena in tudi strop. Zvočna izolativnost in dušenje udarcev lesene okvirne konstrukcije, se močno razlikuje od objektov, zgrajenih iz kamna, opeke in betona. Pri okvirni konstrukciji zvok preide v sredico plošče, zapolnjene z zvočnim izolatorjem, ki ustavi zvočno valovanje. Pri gradnji iz opeka in betona, se zvočno valovanje neovirano giblje skozi ta material in ne izgublja energije. Ker se je v zadnjih letih močno povečala uporaba montažnih hiš, ki imajo v okvirju tudi vedno več izvrtin za različne napeljave, pa postaja vse pomembnejša dobra zvočna izolacija takšnih hiš. Zvočna izolacija naj bi preprečevala zunanjim zvokom prehod v hišo in notranjim iz hiše (Ballagh, 2003).

Večji del hrupa v stavbah se prenaša skozi tla, stene in vrata. V primeru plavajočih tal (to so tla, s pod-konstrukcijo ločena od betonske plošče) se del valovanja čez pohodno površino prenese na spodnjo stran plošče. Če imamo medprostor zapolnjen z zvočno izolacijskim materialom, lahko dosežemo zelo dobro dušenje zvoka, ki nastaja na površini tal. Če medprostor ni zapolnjen, pa se lahko zvok prenaša na betonsko ploščo in nato naprej po betonski konstrukciji v druge prostore (Stewart, Craik, 2000).

## 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Z uporabo različnih frakcij pri izdelavi ivernih in vlaknenih plošč pridobimo plošče z različnimi akustičnimi lastnostmi. Akustične lastnosti izhajajo iz povezanosti delcev in praznih prostorov v plošči. Želeli smo ugotoviti, kako velikosti delcev vplivajo na akustične lastnosti.

## 1.2 CILJI RAZISKOVANJA

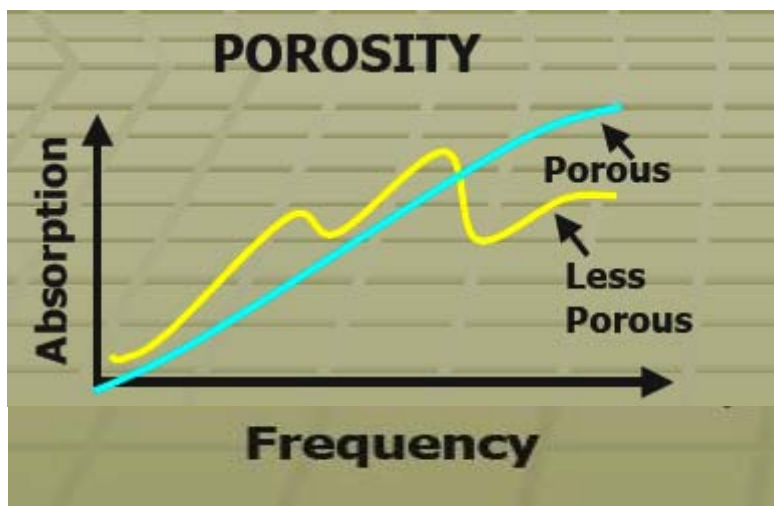
Namen raziskave je ugotoviti, kako velikost delcev, ki sestavljajo ploščo, gostota plošč ter gostotni profil vpliva na njihove akustične lastnosti. Primerjali bomo akustične lastnosti plošč med posameznimi ploščami.

## 1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Glede na podatke iz literature predvidevamo, da bodo akustične lastnosti odvisne od gostote plošče.

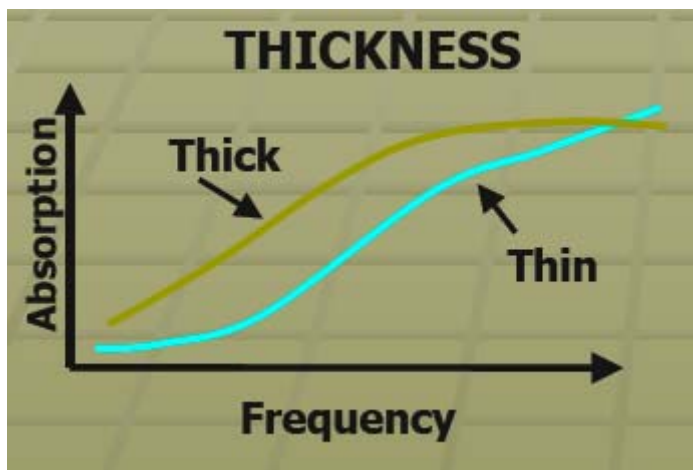
## 2 PREGLED OBJAV

Wyerman in sodelavci (2003) so predstavili pomen in vpliv akustike v avtomobilski industriji. Na akustične lastnosti uporabljenih materialov vplivajo: poroznost, gostota in debelina materiala ter površina, ki je izpostavljena zvočnemu valovanju.



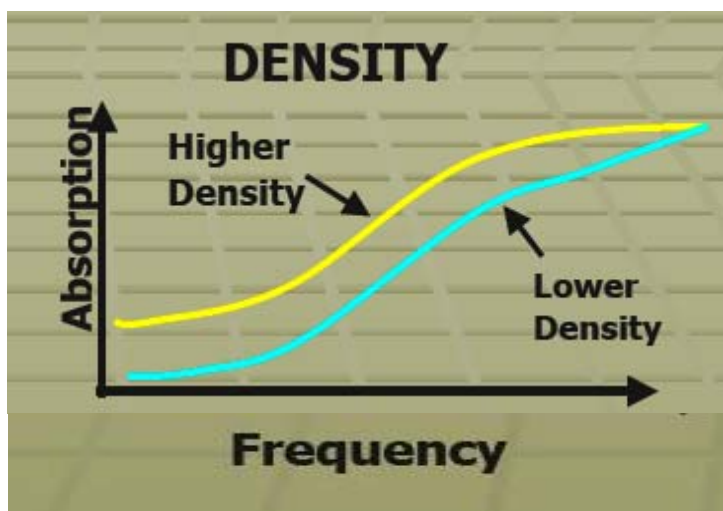
Slika 3: Vpliv poroznosti na zvočno absorpcijo ( Delo z akustičnimi materiali, 2003 )

Pri poroznem materialu se z naraščanjem frekvence povečuje absorpcija zvoka. Pri manj poroznem materialu pa absorpcija zvoka niha. Kako niha, je odvisno od frekvence zvoka. Prikazano na sliki 3.



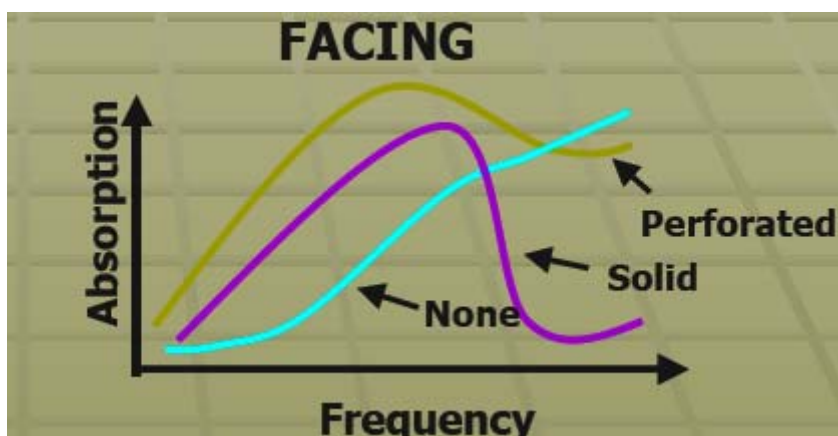
Slika 4: Vpliv debeline na zvočno absorpcijo ( Delo z akustičnimi materiali, 2003 )

Tanek material ima slabo absorpcijo zvoka, pri nizkih frekvencah. Slabo absorpcijo ima zaradi valovne dolžine zvoka pri nizkih frekvencah in ga zvok zlahka preide. Z višanjem frekvence pa valovna dolžina pada in lažje duši valovanje. Nizke frekvence težje preidejo debel material in tudi večji delež zvoka se zaduši. Prikazano na sliki 4.



Slika 5: Vpliv gostote na zvočno absorpcijo ( Delo z akustičnimi materiali, 2003 )

Debelejši material zvočnemu valovanju nudi več odpora proti prodiranju v notranjost. Hkrati ga bolje zaduši. Materiale z nizko gostoto pa zvok zlahka preide in ne nudijo večjega upora pri prodiranju v globlje sloje materiala. Prikazano na sliki 5.



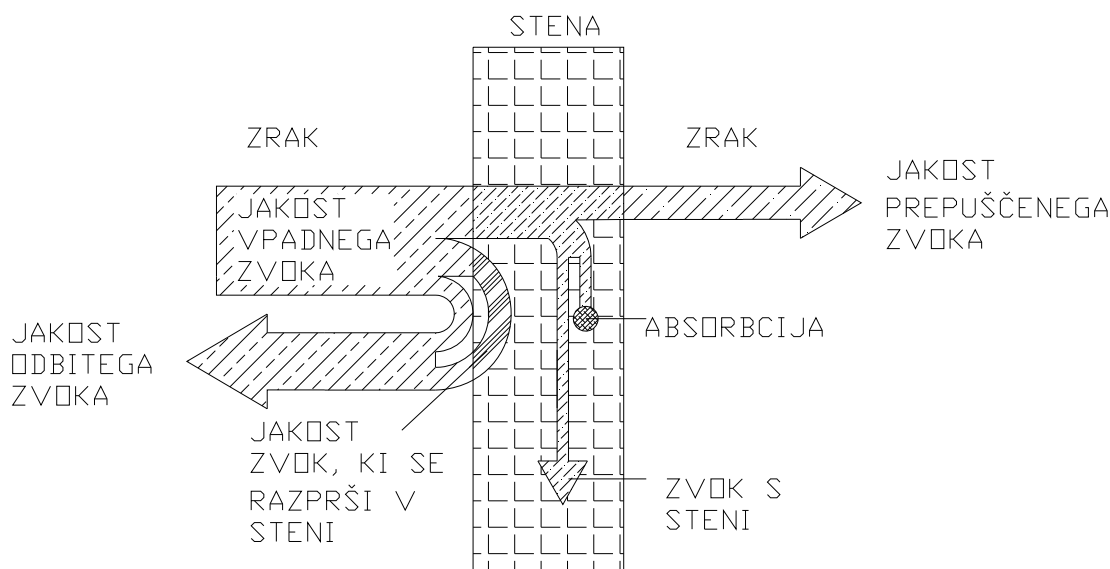
Slika 6: Vpliv izpostavljene teksture materiala na zvočno absorpcijo ( Delo z akustičnimi materiali, 2003 )

Avtor Xu in sod. (2004), so prav tako odkrili povezavo med zvočno absorpcijskim koeficientom, frekvenco zvočnega valovanja ter debelino in gostoto plošče pri ivernih ploščah. Ugotovili so, da se je zvočno absorpcijski koeficient povečal z manjšanjem gostote vlaknene plošče. Kar je po mnenju avtorjev posledica nizke gostote plošče in povečanega trenja med ploščo in zvočnim valovanjem. Zaradi povečanega trenja pa se je lahko večji del energije zvočnega valovanja pretvoril v toplotno energijo. Pri povečanju gostote pa so ugotovili, da je zvočno absorpcijski koeficient upadal. Pri ploščah z gostoto  $0,15 \text{ g/cm}^3$  so ugotovili, da se lahko zvočno absorpcijski koeficient primerja z izolativnostjo plošče.

Preglednica 1: Absorpcijski koeficient á lesnih materialov (Xu J. in sod., 2004)

| Material                         | gostota<br>( g/cm <sup>3</sup> ) | debelina<br>( mm ) | frekvenca zvoka ( Hz ) |      |      |      |      |
|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------------------|------|------|------|------|
|                                  |                                  |                    | 125                    | 250  | 500  | 1000 | 2000 |
| Masivni les ( bor )              | 0,52                             | 19                 | 0,09                   | 0,1  | 0,12 | 0,08 | 0,08 |
| Vezan les                        | 0,55                             | 12                 | 0,25                   | 0,14 | 0,07 | 0,04 | 0,1  |
| Iverna plošča                    | 0,65                             | 20                 | 0,26                   | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,08 |
| Nizko gostotna iverna plošča     | 0,3                              | 30                 | 0,06                   | 0,15 | 0,37 | 0,65 | 0,52 |
| Izolacijska vlakninska plošča    | 0,22                             | 12,7               | 0,04                   | 0,06 | 0,14 | 0,38 | 0,69 |
| Nizko gostotna vlakninska plošča | 0,25                             | 12                 | 0,006                  | 0,02 | 0,08 | 0,35 | 0,71 |
| Vezan les                        | 0,55                             | 9,5                | 0,28                   | 0,22 | 0,17 | 0,09 | 0,1  |

## 2.1 ABSORPCIJA ZVOKA



Slika 7: Prehod zvoka skozi steno (Breuer, 1993)

Zvok pri prehodu skozi snov oslabi. Pri tem jakost zvoka ( $j$ ) eksponentno pojema:

$$j = j_0 \exp(-\mu X) \quad \dots(1)$$

in prav tako amplituda ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \lambda_0 \exp\left(-\frac{1}{2} \mu X\right) \quad \dots(2)$$

Pri tem sta  $j_0$  jakost zvoka in  $\lambda_0$  amplituda ob vstopu v snov in  $j$  jakost in

$$\lambda_0 \exp\left(-\frac{1}{2}\mu X\right) \quad \dots(3)$$

amplituda v globini  $X$ ,  $\mu$  pa je absorpcijski koeficient. Za pline je absorpcijski koeficient približno tisočkrat manjši kot za kapljevine in trdnine.

Absorpcijski koeficient lahko razložimo tudi kot učinkovitost površine ali materiala, da absorbira oz. vpije zvok.

Absorpcijski koeficient materiala se spreminja s frekvenco in kotom, pod katerim zvok vpada na površino materiala. V ustvarjenem zvočnem polju sobe zvok potuje v vseh možnih smereh. Kar potrebujemo v izračunih, je absorpcijski koeficient iz vseh možnih kotov, pod katerimi lahko zvok vpade na površino.

Poznamo dve vrsti absorpcijskega koeficienta. Eden temelji na povprečnem aritmetičnem odbojnem koeficientu, ki so ga pridobili z večjim številom meritev absorpcijskega koeficienta absorpcijskih površin; oznaka je  $a$ . Drugi temelji na povprečnem geometrijskem zvočnem odbojnem koeficientu; oznaka je  $\alpha$ .

Absorpcijski koeficient materiala  $\alpha$  je razmerje med absorbiranim zvokom  $I_A$  v materialu in odbitim zvokom,  $I_R$ , ki se širi nazaj v prostor.

$$\alpha = \frac{I_A}{I_R} . \quad \dots(4)$$

Če površina ali material vpije oz. absorbira 55 odstotkov zvočne energije, lahko rečemo, da je zvočno absorpcijski koeficient 0,55. En kvadraten čevljev (ustreza površini 0,092903 m<sup>2</sup>) takšnega materiala ima absorpcijo 0,55 absorpcijskih enot oz. sabinov. Odprto okno imamo lahko za primer popolnega oz. perfektnega absorberja, ker se zvok, ki potuje skozi okno, nikoli ne vrne v sobo. V tem primeru je absorpcijski koeficient 1,0.

Relacijo med obema pa lahko zapišemo v enačbi:

$$a = -\log_e(1 - \alpha) , \quad \dots(5)$$

pri čemer je  $a$  Sabinov absorpcijski koeficient in  $\alpha$  energijski zvočno absorpcijski koeficient. Energijski absorpcijski koeficient ima vrednosti med 0 in 1. Pri  $\alpha=0$  se vsa zvočna energija odbije nazaj v prostor, pri  $\alpha=1$  pa se vsa zvočna energija popolnoma vpija v absorbent.

Vrednost absorpcijskega koeficienta je odvisna od frekvence zvočnega valovanja. Pri podajanju koeficienta  $\alpha$  je treba navesti frekvenco zvoka, pri katerem je koeficient  $\alpha$  podan.

Kawasaki in sod. (1998) navajajo, da je zvočno absorpcijski koeficient vlaknenih plošč z nizko gostoto precej odvisen od gostote in frekvence zvočnega valovanja. Pri nizko gostotnih ploščah ( $0,05\text{--}0,2\text{ g/cm}^3$ ), so ugotovili, da se zvočno absorpcijski koeficient postopoma veča s frekvenco zvočnega valovanja in gostoto plošče. Pri ploščah z gostoto, višjo od  $0,30\text{ g/cm}^3$ , pa se je zvočno absorpcijski koeficient zniževal do frekvence 1250 Hz, nato pa se je povečal. Pri ploščah z nizko gostoto so ugotovili, da pomembno vpliva količina vlaken. Posledica je nižji koeficient trenja na površini plošče. Posledica nižjega koeficienta trenja je zmanjšanje količine zvočne energije, ki se pretvori v toplotno energijo. Pri ploščah z gostoto, višjo od  $0,30\text{ g/cm}^3$ , pa so ugotovili, da se zvok odbije, kar so pripisali zaprtosti površine, ki onemogoča penetracijo zvočnega valovanja s površine plošče proti sredini le-te. Pri vlaknenih ploščah z nižjo gostoto se je zvočno absorpcijski koeficient povečeval s frekvenco in gostoto.

Wassilief (1996), je obravnaval zvočno absorpcijo materialov iz lesa. Zvočno absorpcijo materiala iz lesa je mogoče opisati z Rayleighevim modelom. V Rayleighevem modelu sta iverna in vlakanena plošča opisani kot večslojna struktura, postavljena vzporedno glede na smer zvočnega valovanja. Za opisani model je treba poznati naslednje parametre: upornost in upor proti zvočnemu toku, poroznost ter zgradbeni oz. strukturni faktor. Na koncu pa je podal približne povezave med temi elementi.

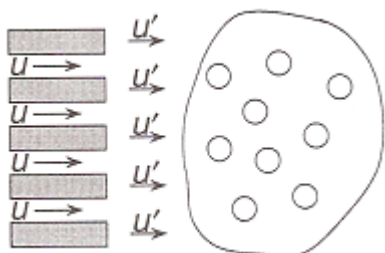
## 2.2 PARAMETRI, KI DOLOČAJO ZVOČNO ABSORPCIJSKI KOEFICIENT

Veliko eksperimentalnih študij je preučevalo obnašanje navadnih zvočno absorpcijskih materialov. Njihovi sklepi so bili togi; ugotovili so, da o zvočno absorpcijski karakteristiki odločajo predvsem trije dejavniki: poroznost, odpornost in upor proti toku ter zgradbeni oz. strukturni faktor.

### 2.2.1 Poroznost

Poroznost je definirana kot razmerje med volumnom telesa in volumnom praznega prostora v tem telesu. Simbol je  $h$  in enota herein. Pri mineralni in stekleni volni ter pri poroznih plastičnih penah se giblje okoli 0,95, kadar ima poroznost manjši vpliv na stisljivost. Pri akustičnih penah večjih debelin pa ima veliko manjši vpliv. Kot je razvidno iz slike, je lahko povprečna hitrost delca v prečnem prerezu oz. volumen toka, ki preteče prečni prerez  $u'$  in je odvisen od povprečne hitrosti delca  $u$  znotraj materiala.

$$u = u' / h \quad \dots(6)$$



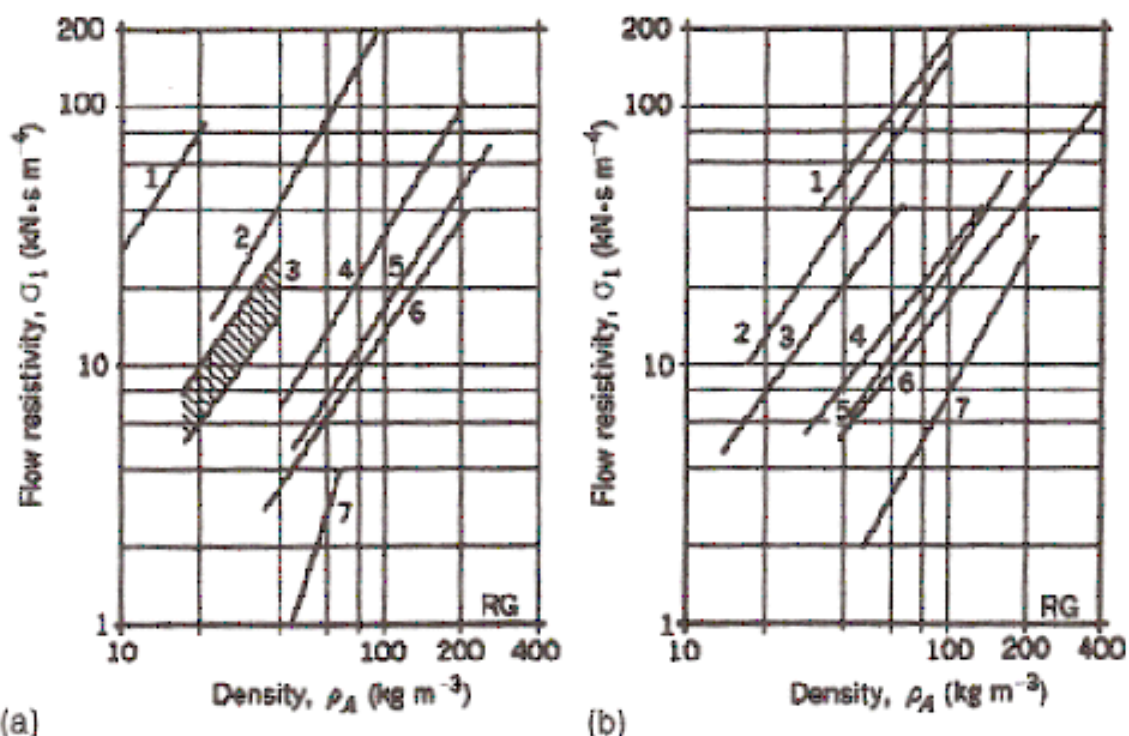
Slika 8: Prikaz razlik med  $u$  in  $u'$  (Fahy, 2001)

## 2.2.2 Upornost in upor proti toku

V vseh znanih oblikah porozno zvočno absorpcijskih materialov sila viskoznosti (viskoznost je odpor proti tečenju) prevladuje nad silami negibljivosti pri frekvencah v nižjem območju zanimanja za nadziranje hrupa. Te frekvence obsegajo območje od 20 pa do nekaj 100 Hz. Zanka, pri viskoznem odporu uveljavljena z materialom, se na nizko frekvenčni oscilatorni tok odziva tako, da izvede enakomeren pretok z nizko hitrostjo enake velikosti. Prehod v Helmholtzev tip hitrostnega profila v ceveh, kadar frekvenca naraste, skupaj z rezultati trenutnih raziskav, pa predlaga, da to ne velja za frekvence nad nekaj 100 Hz. Takšen upor je mogoče zaznati že pri pihanju skozi plast porozne pene. Viskoznostni upor pri ustvarjanju prehoda zraka skozi peno je proporcionalen s hitrostjo zraka ter debelino plasti pene. Posledično pa je pri debelejših materialih primernejša meritev upora proti toku, katera definira konstantno razliko  $\Delta p$  čez celotno debelino. Ta razlika je nato normalizirana s produktom hitrosti na enoto površine  $u'$  in debelino plasti  $t$ :

$$\sigma = \Delta p / u' t = (\partial p / \partial x) / u' \quad \dots(7)$$

Odpornost proti toku pri plasti materiala, debeline  $t$  je podana z  $\sigma t$ . V primeru tankega poroznega materiala, je sprememba v tlaku na volumensko enoto hitrosti na površino. Vrednosti upornosti proti toku znašajo med  $2 \cdot 10^3$  in  $2 \cdot 10^5 \text{ kgm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ .



Slika 9: Prikaz upornosti proti toku pri različnih absorpcijskih materialih; (a) 1, ISOVER steklena vlakna (zelo fina); 2, bombaž; 3, poliuretanska pena; 4, KLIMALIT, mineralna volna; 5, steklena vlakna (ne tkana); 6, steklena volna (tkana); 7, aluminijasta volna. (b) 1, Kaoline volna; 2, steklena vlakna (zelo fina); 3, ISOVER steklena vlakna; 4, ISOVER balastna volna; 5, balastna volna; 6, SILLNA mineralna volna; 7, steklena vlakna (debela). (Fahy, 2001)

### 2.2.3 Zgradbeni oz. strukturni faktor

Viskoznotermalni fenomen spremeni efektivno gostoto in stisljivosti plina znotraj trdnega skeleta, ki je bil izpostavljen oscilatornemu gibanju, v primerjavi s tistim, ki ni bil podvržen tem spremembam. Vsekakor pa na hitrost zvoka znotraj absorbirnega materiala vplivajo zgoraj naštetih dejavniki. Hitrost zvoka v absorbirnem materialu je vedno manjša od hitrosti zvoka, ki se širi po prostoru neovirano. Ta lastnost zvoka ima zelo pomemben vpliv na absorpcijo zvoka v porozne materiale, ki so vstavljeni na odsevno zvočno površino. Porozni materiali absorbirajo celoten spekter zvočnega valovanja, in tudi vsa ojačanja in dušitve zvočnega valovanja. Te dušitve in ojačanja pa so lihi večkratniki ene četrte valovne dolžine in hkrati večkratniki ene polovice valovne dolžine zvoka, ki se nahaja znotraj poroznega absorbirnega materiala.

Že sama geometrija ogrodja ima za posledico efektivno gostoto in stisljivost, že sama geometrija ogrodja ima za posledico efektivno gostoto in stisljivost, ki pa je vključena v zgradbeni oz. strukturni faktor, katerega označimo z  $s$ . Pomeni razmerje med efektivno gostoto fluida glede na njegovo vrednost praznega prostora. Različne geometrijske oblike lahko prispevajo k naslednjim strukturnim faktorjem:

- kadar se pojavijo nenadne spremembe v prečnem prerezu povezljivih prehodov znotraj absorberja. Največkrat se to zgodi

pri križanju med kanali in luknjami. Vse to pa povzroči, da pride do pojava ne oscilatornega toka v teh predelih, in zato nastanejo lokalna območja z večjo gostoto fluida.

- Kadar se kanali križajo pod kotom  $\Theta$  stopinj, glede na smer valovanja, je tlačni gradient glede na smer valovanja večji od tistega na osi  $x$ , kot kaže spodnja skica. Prav tako pa je pospešek fluida v smeri osi  $x$  večji od komponente v smeri valovanja.
- Nekateri zvočni absorberji, kot sta porozna malta in mavčne plošče, pa vsebujejo izredno majhne luknjice, ki so povezane z ravnimi kanali. Takšne povezave vsebujejo veliko plina, katere pripomorejo k stisljivosti. Nekatere luknjice pa se lahko naredijo v stranskih žepih, v katerih plin ne sodeluje pri oscilirajočem toku. Tlak, ki ga generirajo te luknjice fluida, pa vplivajo na zanko tako, da povečajo efektivno stisljivost in zmanjšajo hitrost zvoka.

#### **2.2.4 Zaprtost in odprtost površine**

Absorpcijski koeficient lahko razložimo kot učinkovitost površine ali materiala, da absorbira oz. vpije zvok. Torej je zaprtost in odprtost površine zelo pomembna. Materiali, ki zagotavljajo dobro absorpcijo, imajo odprto površino in so ponavadi slabi izolatorji. Z absorptivnimi materiali preprečimo kopičenje zvoka v zaprtih prostorih, hkrati pa zmanjšujemo moč odsevanega zvoka.

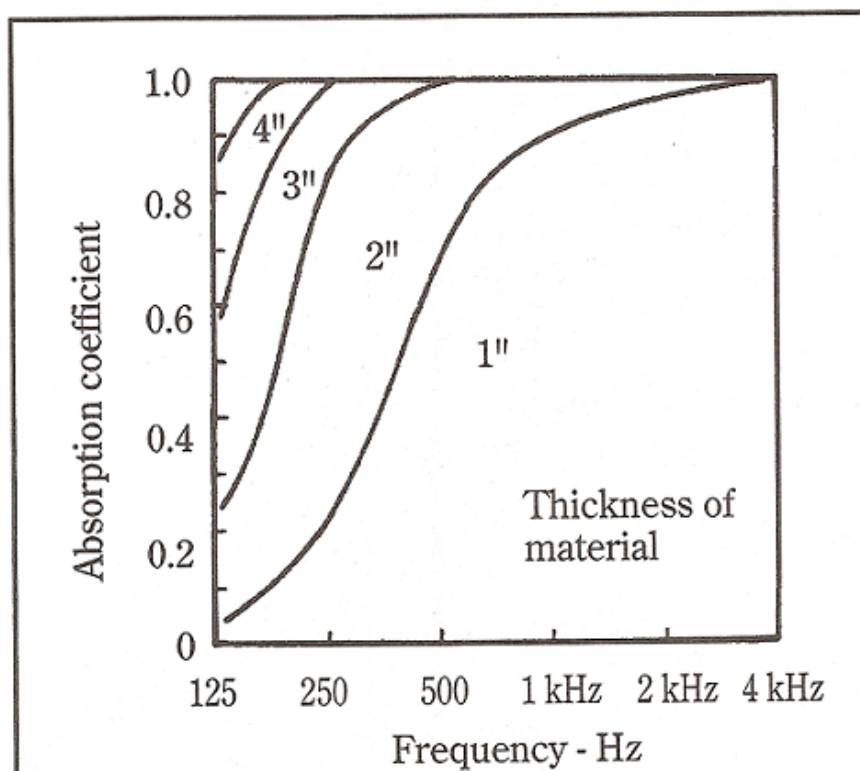
#### **2.2.5 Vlažnost plošče**

Dušenje zvoka dosežemo z uporabo plošč z višjo prostorninsko maso, kar pomeni, da z vezano vodo dosegamo višjo gostoto lesa. Vendar ne smemo pozabiti, da je hitrost zvoka konstanta za dani medij in je pri vodi večja kot pri zraku. Torej pri navlaževanju nad točko nasičenosti celičnih sten zvočna izolativnost lesa slabi, v območju do točke nasičenosti celičnih sten pa je izolativnost nekoliko boljša, saj se voda vriva v les in ne izpodriva zraka, hitrost širjenja zvoka skozi vodo je slabša kot skozi les.

### **2.3 VPLIV MORFOLOGIJE**

#### **2.3.1 Vpliv debeline poroznih zvočnih absorberjev na akustične lastnosti**

S spreminjanjem debeline lahko proizvedeno iverno ali vlakneno ploščo, katera ima različne absorpcijske lastnosti. Pričakujemo boljšo absorpcijo pri debelejši plošči, a to velja le pri nizkih frekvencah. Spodnji graf na sliki 10 prikazuje, kako se spreminja absorpcijski koeficient pri spreminjanju se frekvenci in debelini. Pri tem velja poudariti, da je bil zvočni absorbent pritrjen neposredno na podlago. (Master handbook of acoustics, 2001)

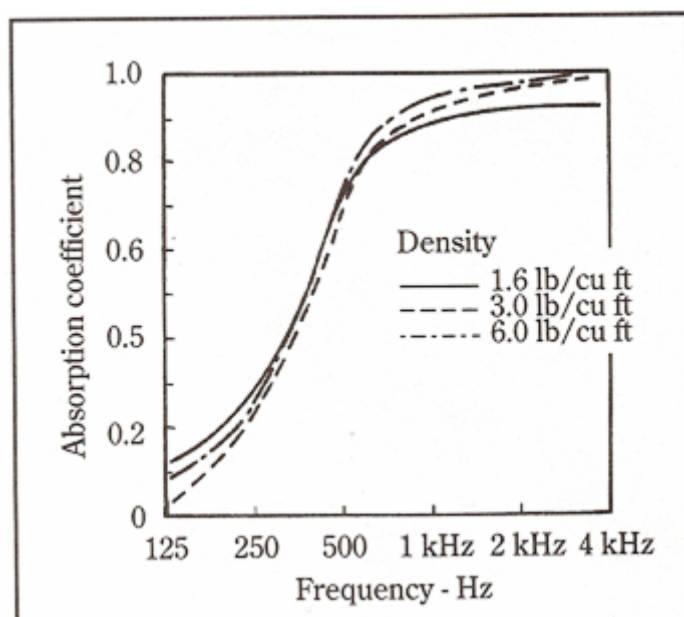


Slika 10: Vpliv debeline na absorpcijski koeficient (Alton Everest , 2001)

Iz grafa je razvidno, da je razlika v absorpcijskem koeficientu pri frekvenci 500 Hz majhna, ter da ne pride do občutnejše absorpcije zvočnega valovanja, če debelino povečamo z 2 palcev (50,8 mm) na 4 palce (101,6 mm).

### 2.3.2 Vpliv gostote poroznih zvočnih absorberjev na akustične lastnosti

Iverne in vlaknene plošče lahko izdelamo v različnih gostotnih razredih. Ti gostotni razredi lahko segajo od zelo lahkih, ki so dobri toplotni izolatorji, vse do srednje trdnih in zelo trdnih, ki so zelo široko uporabljeni v industriji. Vsi ti materiali imajo vsak svoje mesto v akustičnem pogledu na prostor. Glavno vprašanje pa je "Kako gostota oz. razporeditev vlaken vpliva na zvočno absorpcijski koeficient?" oz. Ali je zvočno valovanje zmožno penetrirati v medprostor pri zelo gostih materialih, tako kot pri puhastih. Odgovor najdemo na sliki 11, ki prikazuje zelo majhno razliko v absorpcijskem koeficientu, čeprav gostota variira med 1 in 4. Pri zelo majhnih gostotah je medprostor med vlakni zelo velik, in zaradi tega absorpcija ni optimalna. To se pojavlja pri osb ter ivernih ploščah. Pri razmeroma velikih gostotah pa je površinski odboj zvočnega valovanja tako velik, da je penetracija zvočnega valovanja v globino zelo majhna. Kar je možno zaslediti pri MDF ter HDF ploščah.



Slika 11: Vpliv gostote na absorpcijski koeficient (Alton Everest 2001)

Pri povečevanju gostote vlaknenim ploščam med  $0,05 \text{ g/cm}^3$  in  $0,30 \text{ g/cm}^3$  lahko pričakujemo povečevanje zvočno absorpcijskega koeficienta, pri gostoti  $0,40 \text{ g/cm}^3$  pa se pojavi upadanje zvočno absorpcijskega koeficienta. (Kawasaki in sod. 1998)

Pri ivernih ploščah, pa je pojav obraten, saj z večanjem gostote zvočno absorpcijski koeficient pada. (Xu in sod. 2004)

## 2.4 MEHANIZEM ABSORPCIJE ZVOČNEGA VALOVANJA V VLAKNASTIH MATERIALIH

Absorpcija zvoka se odraža s pretvorbo zvočne energije v toplotno energijo. Kadar zvočno valovanje vstopi v porozen material in ima zvočno valovanje zvočni tlak, molekule zanihajo z enako frekvenco, kot jo ima zvočno valovanje. Prehod valovanja skozi delce povzroči izgubo zaradi trenja med delci snovi. Sprememba smeri valovanja pa skupaj s stiskanjem in raztezanjem povzroči tok skozi prazne prostore in s tem izgubo momenta.

S tem ko zvočno valovanje deluje na molekule zraka v porah, pa so le-te izpostavljene periodičnemu stiskanju in raztezanju. Rezultat je sprememba v temperaturi. Zaradi dolgega časa izpostavljenosti, velike površine glede na volumen in nizke toplotne prevodnosti vlaken pa na območju nizkih frekvenc prihaja do izotermične izmenjave toplote pri stiskanju. Pri visokih frekvencah, pa je tvorba toplote adiabatni proces. Če poteka stiskanje na območju med nizkimi in visokimi frekvencami, je to izotermičen in adiabatni pojav, pri katerem prihaja do izgube energije zvočnega valovanja. Izgube so visoke, če prihaja zvočno valovanje pravokotno na čela vlaken, in lahko doseže tudi do 40 % izgub energije zvočnega valovanja.

Do izgube energije zvočnega valovanja, kadar zvok potuje skozi absorpcijski material, pride zaradi: izgub s trenjem, izgub momenta in temperaturnega gradienta.

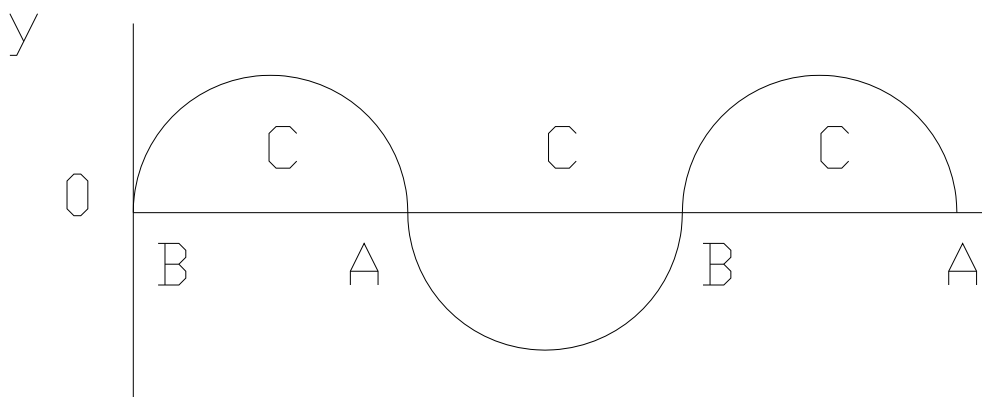
## 2.5 AKUSTIKA, ZVOK IN MATERIALI

Akustika je znanstvena veda, ki proučuje naslednje zvočne efekte: odboj, lom, absorpcijo, motnje, uklon in prehod zvoka.

Zvok je longitudinalno valovanje v zraku s frekvenco na območju od 16 do 20000  $\text{s}^{-1}$ . Nižjo frekvenco ima infrazvok in višjo ultrazvok, ki pa ju ne moremo zaznati z ušesi.

V longitudinalnem ali vzdolžnem valovanju ležijo odmiki delov snovi v smeri potovanja valovanja. Longitudinalno valovanje potuje po plinih, kapljevinah in trdninah.

Zvok v snovi pomeni, da delci snovi nihajo okrog njihovih ravnovesnih leg v smeri širjenja zvoka. Ker ne nihajo sočasno, ampak vsak nekoliko zakasnjeno glede na predhodnega, nastajajo v snovi zgoščine (v teh se tlak in gostota povečata) in razredčine (v teh se tlak in gostota zmanjšata). Količina  $y$  pomeni odmik delca snovi od ravnovesne lege na oddaljenosti  $x$  od izvora zvoka v trenutku  $t$ , le da je pri zvoku merjen v smeri osi  $x$ . Pozitiven  $y$  pomeni odmik v smeri zvoka (smer  $+x$ ), negativen pa v nasprotni. Na sliki 12 so skicirani trenutni odmiki delcev snovi, vzdolž smeri širjenja za harmonični zvok z amplitudo  $y_0$  in frekvenco  $\nu$ . S puščicami so označene smeri gibanja delcev. V legah A nastajajo zgoščine (tem se delci snovi približujejo z obeh strani), v legah B pa razredčine (od teh se delci oddaljujejo, v legah C pa ni spremembe gostote snovi).



Slika 12: Shema trenutnih odmikov delcev snovi vzdolž smeri širjenja za harmonični zvok



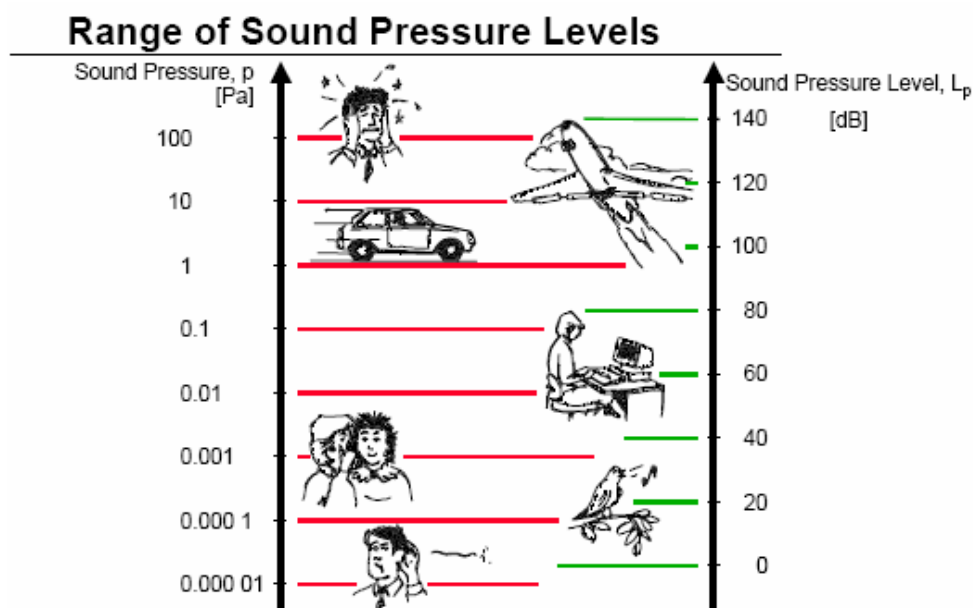
Slika 13: Zgoščine in razredčina nastajajo v legah, kjer je trenutni odmik nič

### 2.5.1 Glasnost, foni in decibeli ( dB)

Decibel je enota, s katero izražamo zvočni tlak. Enačba se glasi:

$$L_p = 20 \times \log \frac{p_1}{p_0} . \quad \dots(8)$$

V enačbi predstavlja:  $L_p$  zvočni tlak v decibelih,  $p_0=20\mu\text{Pa}$ , ki pomeni slišni prag,  $p_1$  je izmerjen zvočni tlak.



Slika 14: Razpon zvočnega tlaka in decibelne lestvice (Merjenje zvoka in vibracij, 2007)

Glasnost vpeljemo tako, da večja glasnost ustreza izdatnejšemu občutku:

$$glasnost = 10 \times \log \frac{j}{j_0} . \quad \dots(9)$$

Pri tem je  $j$  jakost zvoka in  $j_0=10^{-12} \text{ W/m}^2$  jakost zvoka, ki ga pri frekvenci  $10^3 \text{ s}^{-1}$  komaj še zaznamo. Tedaj izražamo glasnost v fonih, čeprav ima sicer enoto 1. Med frekvencama  $2 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$  in  $3 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$  uho zazna še nekoliko šibkejši zvok.

Če vpeljemo

$$glasnost = 10 \times \log \frac{j(\nu)}{j_0(\nu)} , \quad \dots(10)$$

tako da upoštevamo pri jakosti zvoka s frekvenco  $\nu$  v imenovalcu jakost zvoka  $j_0(\nu)$ , ki ga pri tej frekvenci komaj še zaznamo. V tem primeru merimo glasnost v decibelih.

Glasnost merimo z mikrofonom, ojačevalnikom in galvanometrom. Galvanometer prej umerimo s primerjalnim zvočilom s frekvenco  $1000 \text{ s}^{-1}$ .

### 2.5.2 Zvočni tok

Z zvokom se skozi snov razširja energija nihajočih delcev snovi: zvočno energijski tok  $P$ . Zvočno energijski tok  $P$  ( $\text{J/s}=\text{W}$ ) pove, koliko energije steče skozi prečni prerez v enoti časa:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} . \quad \dots(11)$$

Energija  $\Delta W$  zvoka v prostorninskem elementu:

$$\Delta V = Sc\Delta t \quad \dots(12)$$

je energija nihajočih delcev v tem elementu. Ker je energija nihanja enaka največji kinetični energiji, pri kateri se delci gibljejo z največjo hitrostjo

$$v_0 = y_0 \omega , \quad \dots(13)$$

vsebuje prostorninski element  $\Delta V$  zvočno energijo

$$1/2 \Delta m v_0^2 = 1/2 \rho \Delta V (y_0 \omega)^2 : \quad \dots(14)$$

$$\Delta W = 1/2 \rho y_0^2 \omega^2 \Delta V = 1/2 \rho y_0^2 \omega^2 Sc \Delta t \quad \dots(15)$$

Zvočni tok lahko izrazimo z :

$$P = 1/2 \rho y_0^2 \omega^2 S c \quad \dots(16)$$

Gostoto zvočnega toka pa lahko izrazimo z:

$$j = 1/2 \rho y_0^2 \omega^2 c \quad \dots(17)$$

Namesto amplitude odmika delcev pa lahko kot merilo zvoka uporabimo tudi amplitudo zvočnega tlaka:  $(\Delta p)_0$ . Ti količini sta povezani z enačbo

$$(\Delta p)_0 = \rho c v_0 = \rho c y_0 \omega \quad \dots(18)$$

in tako je:

$$j = \frac{(\Delta p)_0^2}{2 \rho c} \quad \dots(19)$$

### 3 MATERIAL IN METODE

#### 3.1 IZDELAVA LABORATORIJSKIH PLOŠČ

S sejalno analizo smo ločili iverje na posamezne frakcije, in sicer: 6.14, 4, 2, 1.5, 1.27, 1, 0.6, 0,237 in 0. Skupine frakcij, pa smo nato uporabili za izdelavo posameznih plošč. Uporabljene frakcije za izdelavo enoslojne plošče: – med 0 in 0.237,

- med 0.6 in 1,
- med 1 in 1.5 in
- med 2 in 6.14.

Uporabljene frakcije za izdelavo večslojne plošče: – srednji sloj iz frakcije od 6.14 do 2 ter od 4 do 2,

- zunanji sloj iz frakcije od 0 do 0.6.

Potrebne plošče za izvedbo eksperimenta smo izdelali v laboratorijskih pogojih. Vlažnost iverja je bila med 3 in 4 %, masa iverja pri H=0 % je znašala 1955,80 g. Uporabljeno lepilo je bilo urea formaldehidno lepilo z vsebnostjo suhe snovi 224,92 g. Faktor oblepljanja je pri: – enoslojnih ploščah 11,50 % in

- večslojni 11,50 % za zunanji sloj in 7,50 %

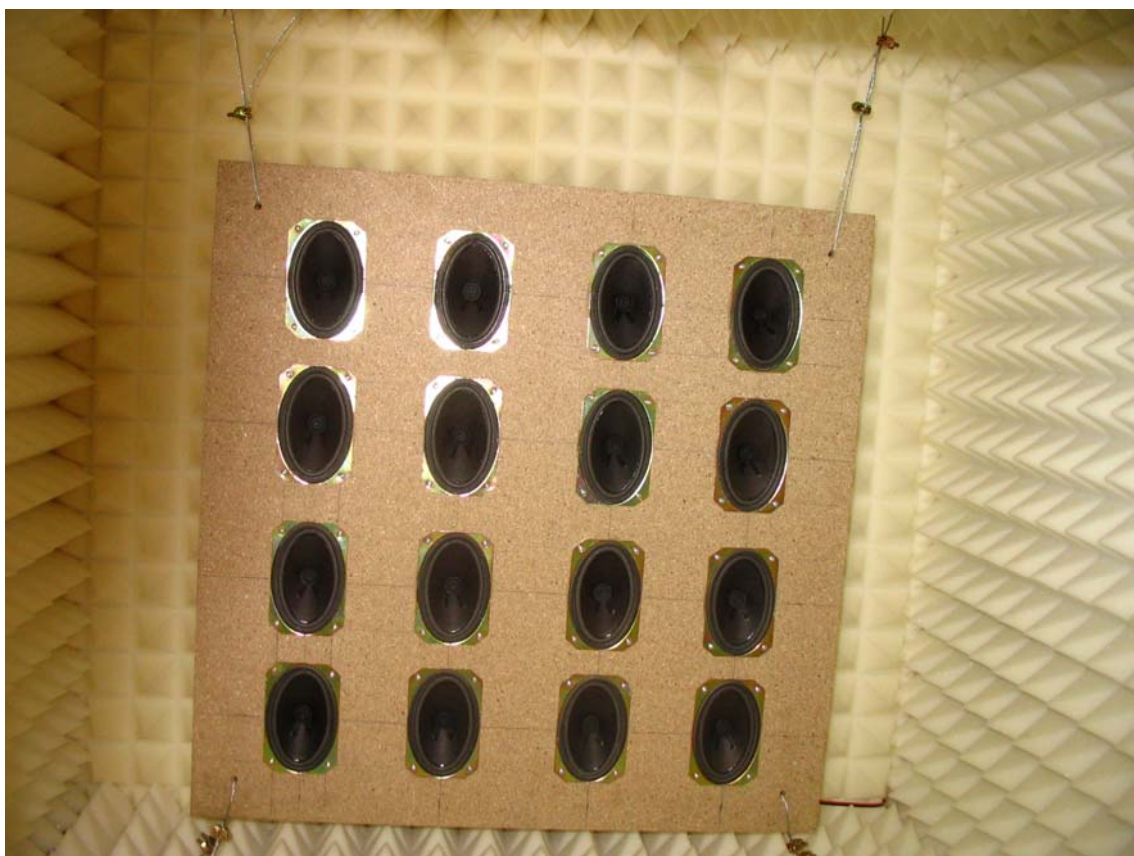
za srednji sloj.

Nato smo pripravili pogačo, ki smo jo ročno natresli v okvir dimenzije 500x500x16 mm. Pogačo smo stisnili v stiskalnici, ki smo jo prej ogreli na 180 °C. Čas stiskanja je bil 6 minut. Med 5. in 6. minuto pa smo stiskalnico počasi popuščali.

Ko so se vse plošče ohladile, smo jih vstavili v komoro, ki je imela temperaturo 20 °C in 65-odstotno relativno zračno vlažnost. V komoro smo jih vstavili zato, da so se izenačile vlaga in napetosti, da se je lepilo popolnoma utrdilo in so se umirile notranje napetosti med srednjim in zunanjim slojem.

#### 3.2 IZDELAVA IZOLIRANE KOMORE

Izdelali smo 6 plošč velikosti 1 m x 1 m, izmed katerih smo 4 plošče oblepili z plamofonom in jih sestavili v kvader. Plamofon je penasti absorbens, ki se uporablja za absorpcijo in dušenje zvoka. Uporabili smo ga zato, da v komori ni bilo odmevov ter da smo komoro akustično ločili od preostalega prostora. V 6. ploščo, ki smo jo uporabili kot dno, smo izrezali luknjo velikosti 40 cm x 40 cm. Stične robove kvadra in dna smo prav tako oblepili z plamofonom, da smo preprečili prenos vibracij z dna na kvader. Na nasprotni konec dna smo montirali ploščo, na kateri so bili zvočniki. Zvočnike smo vpeli tako, da se nikjer niso dotikali ohišja. Nato pa smo celoten kvader obesili pod strop. S tem ko smo ga dvignili, se vibracije niso prenašale po tleh, do merilnih naprav.



Slika 15: Notranjost testne komore

### 3.3 POSTOPEK IZVAJANJA MERITEV

S frekvenčnim generatorjem smo nastavili želeno frekvenco in amplitudo, ki smo jo ojačali v ojačevalcu in peljali do zvočnikov v komori. Zvočniki so oddajali zvok z določeno frekvenco in amplitudo. Odčitke mikrofona in pospeškometera smo prek ojačevalcev signala vpeljali v računalnik, ki jih je preračunal v uporabne podatke. Na ojačevalcu signala smo nastavili vrednost ojačitve. S to vrednostjo smo ojačitev signala nastavili toliko, da nismo poškodovali mikrofona in pospeškometera. Nastavljena vrednost je služila za preračun odčitanih vrednosti pospeška in tlaka v pravilne vrednosti.

Ploščo, ki smo jo želeli testirati, smo vpeli na dno. Nanjo smo pritrdili pospeškometer. 0,5 m od testnega vzorca pa smo postavili mikrofona. Nato smo testirali pri frekvencah: 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 16 kHz. V območju med 10 Hz in 1000 Hz smo frekvenco merili s korakom 10 Hz, tako da smo podrobneje izmerili karakteristiko plošče. Amplituda zvočnega valovanja pa je znašala 0,350 m. Med testiranjem smo izmerili frekvence in amplitude, ki sta jih zaznala pospeškometer in mikrofona. Izmerili smo karakteristiko komore, pa tudi vseh plošč, izdelanih v laboratoriju.

Pri meritvah je moralo biti v prostoru čim tišje, saj se je vsak šum, glas ali ropot iz okolice odražal na meritvah. Odražal se je tako, da je na zaslonu vrednost naglo

poskočila, nato pa se je umirila, do dejanske vrednosti, ki je bila izmerjena ob tišini.

Pri meritvah pospeška mora biti komora čim bolj pri miru, saj se je vsak tresljaj in nihanje komore odražal na prebranih vrednostih pospeška. Zaradi tega smo morali komoro pred testiranjem umiriti.

Pri merjenju karakteristik plošč je v območju med 10 Hz in 100 Hz prihajalo do anomalij. Anomalije so se odražale tako, da sta mikrofoni in pospeškometer pokazala vsak svojo frekvenco, čeprav je bila na generatorju frekvence nastavljena točno določena frekvenca v območju med 10 Hz in 100 Hz. Ta pojav imenujemo brum efekt, kar pomeni, da frekvenca zvočnega valovanja sovpada z lastno frekvenco testne komore. Pri tem je prišlo do nihanja komore, zato ni bilo mogoče izmeriti akustičnih lastnosti plošč v območju med 10 Hz in 100 Hz. Pospeškometer in mikrofoni sta v območju med 10 Hz in 100 Hz pokazala karakteristiko brum efekta, in ne akustičnih lastnosti plošč.

V frekvenčnem območju med 380 Hz in 430 Hz je prihajalo od resonančnega odziva opreme. Na meritve to ni imelo vpliva.

Preglednica 2: Karakteristika mikrofona ( Brüel & Kjær )

|                                          |                                                                                                    |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Naziv:                                   | Prostopoljni 1/4" mikrofona tipa 4939                                                              |
| Tip:                                     | 4393                                                                                               |
| Serijska št.:                            | 2345972                                                                                            |
| Datum:                                   | 15. 5. 2002                                                                                        |
| Referenčna temperatura:                  | 23 °C                                                                                              |
| Referenčni zračni tlak:                  | 101,3 kPa                                                                                          |
| Referenčna zračna vlažnost:              | 50 %                                                                                               |
| Odprto zračna občutljivost:              | −47,31 dB re 1 V/Pa                                                                                |
| Odprto zračna občutljivost:              | 4,31 mV/Pa                                                                                         |
| Absolutna napaka:                        | 0,2 dB                                                                                             |
| Občutljivost umerjena pri:               | Danski laboratorij za akustiko (DPLA)<br>Nacionalni inštitut za standarde in tehnologijo (NIST)    |
| Občutljivost umerjena pri frekvenci:     | 251,2 Hz                                                                                           |
| Kapacitivnost:                           | 6,4 pF                                                                                             |
| Spodnja meja zaznavnosti:                | 0,7 Hz                                                                                             |
| Napetost:                                | 200 V                                                                                              |
| Temperatura umerjanja:                   | 23 °C                                                                                              |
| Tlak pri umerjanju:                      | 101,3 kPa                                                                                          |
| Relativna zračna vlažnost pri umerjanju: | 46 %                                                                                               |
| Naziv:                                   | Prosto poljni 1/4" mikrofona tipa 4939                                                             |
| Tip:                                     | 4393                                                                                               |
| Serijska št.:                            | 2345972                                                                                            |
| Datum:                                   | 15.5.2002                                                                                          |
| Referenčna temperatura:                  | 23°C                                                                                               |
| Referenčni zračni tlak:                  | 101.3kPa                                                                                           |
| Referenčna zračna vlažnost:              | 50%                                                                                                |
| Odprto zračna občutljivost:              | −47.31dB re 1V/Pa                                                                                  |
| Odprto zračna občutljivost:              | 4.31mV/Pa                                                                                          |
| Absolutna napaka:                        | 0.2dB                                                                                              |
| Občutljivost umerjena pri:               | Danski laboratorij za akustiko ( DPLA )<br>Nacionalni Institut za standarde in tehnologijo (NIST ) |
| Občutljivost umerjena pri frekvenci:     | 251.2Hz                                                                                            |
| Kapacitivnost:                           | 6.4pF                                                                                              |
| Spodnja meja zaznavnosti:                | 0.7Hz                                                                                              |
| Napetost:                                | 200 V                                                                                              |
| Temperatura umerjanja:                   | 23°C                                                                                               |
| Tlak pri umerjanju:                      | 101.3kPa                                                                                           |
| Relativna zračna vlažnost pri umerjanju: | 46%                                                                                                |

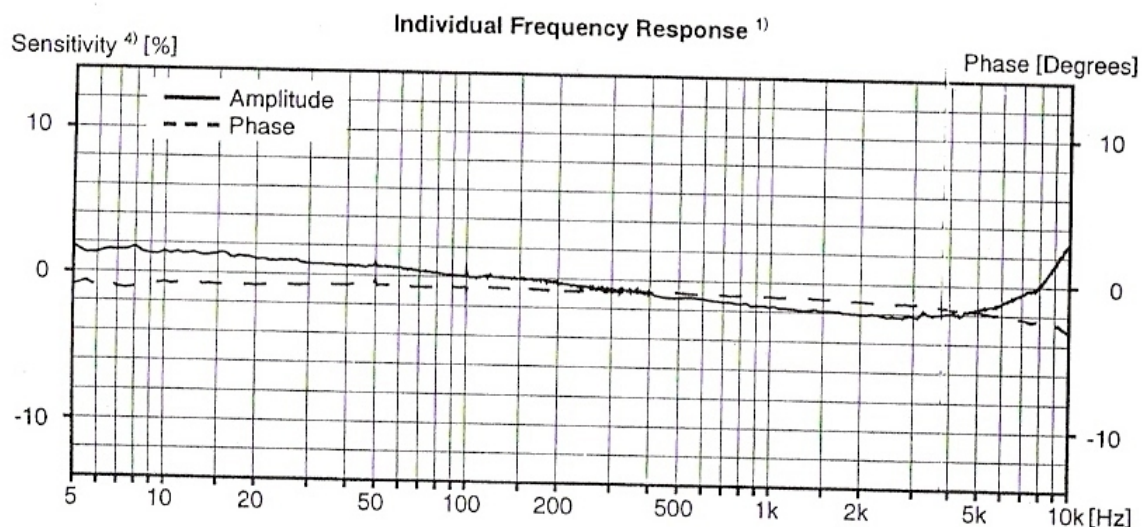


Slika 16: Prostopoljni odziv mikrofona tipa 4939 ( Brüel & Kjær )

Z mikrofonom smo merili zvočno valovanje, ki je prešlo ploščo. Z uporabo teh podatkov smo dobili vpogled v akustično karakteristiko plošče.

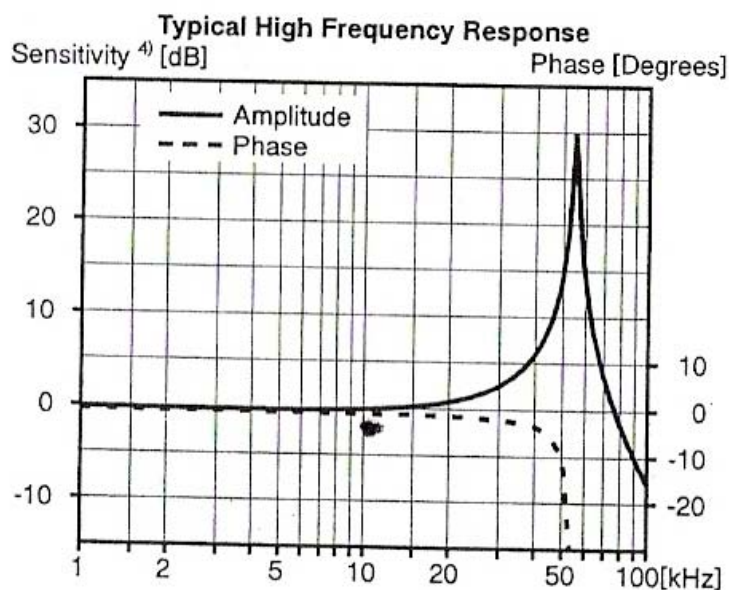
Preglednica 3: Karakteristika pospeškomera ( Brüel & Kjær )

|                                                                     |                                       |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Serijska številka:                                                  | 10578                                 |
| Referenčna občutljivost pri 159,2 Hz ( $\omega=1000\text{s}^{-1}$ ) |                                       |
| 20 ms <sup>-2</sup> RMS ter 24 °C                                   | 0,3120 pC/ms <sup>-2</sup> 3,060 pC/g |
|                                                                     | določa,      jo      uporabljeni      |
| Najnižja frekvenca:                                                 |                                       |
| Najvišja frekvenca ( +10 % ):                                       | 16,5 kHz                              |
| Resonančna frekvenca v primeru vgradnje:                            | 55 kHz                                |
| Pravokotna občutljivost (maksimalno 30 Hz                           |                                       |
| 100 ms <sup>-2</sup> ):                                             | 0,8 % referenčne občutljivosti        |
|                                                                     | Kot 130°                              |
| Pravokotna resonančna frekvenca:                                    | 18 kHz                                |



Slika 17: Frekvenčni odziv pospeškomera ( Brüel & Kjær )

S pospeškomerom smo merili zvočno valovanje znotraj komore. Z uporabo teh podatkov pridobili pogled, kaj se je dogajalo v sami komori.



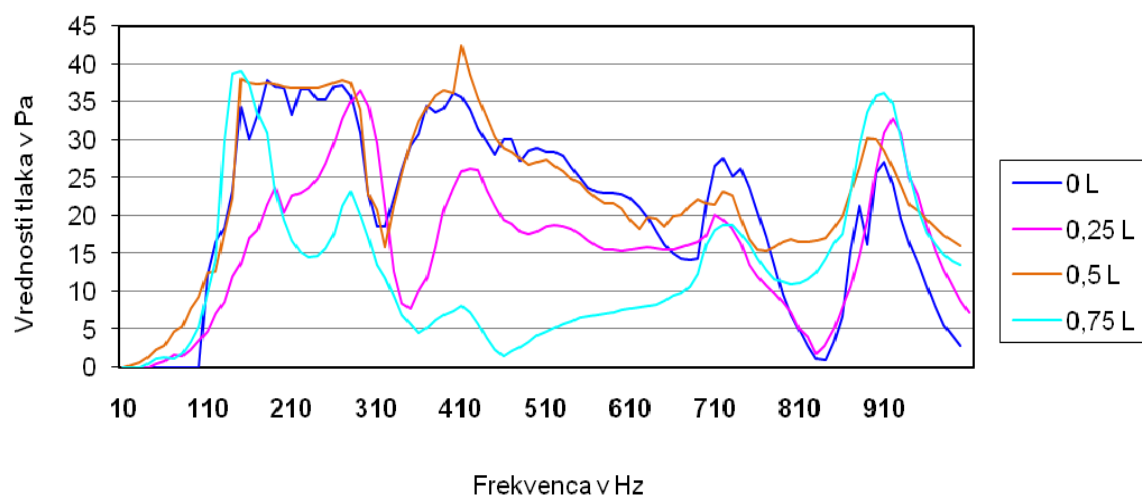
Slika 18: Visokofrekvenčni odziv pospeškomera ( Brüel & Kjær )



Slika 19: Frekvenčni generator, ojačevalci signala, ojačevalec in računalnik



Slika 20: Pozicija pospeškometra in mikrofona



Slika 21: Akustično polje v komori

## 4 REZULTATI

Testirali smo eno- in večslojne plošče. Rezultati so predstavljeni po frakcijah plošč, in sicer od grobe do fine frakcije, ter po frekvencah. Najprej je predstavljena karakteristika plošče v območju med 31,5 Hz in 16 kHz, nato pa še v območju med 10 Hz in 1000 Hz. V območju med 31,5 Hz in 16 kHz smo pridobili splošni odziv plošče. V območju med 10 Hz in 1000 Hz smo natančneje testirali, zaradi lažjega določanja razlik med ploščami.

Ker smo testirali po dve plošči, ki sta imeli enako frakcijo, in ker sta plošči dosegli približno enake podatke, predstavljamo grafe, le za eno ploščo.

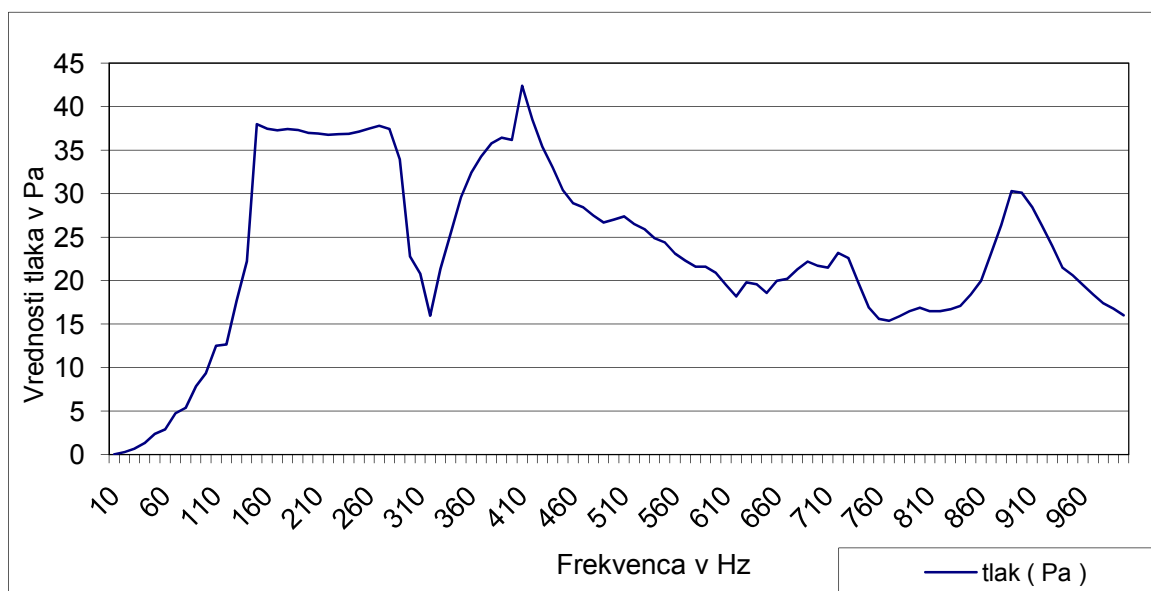
### 4.1 TESTNA KOMORA

Podatki, navedeni za notranjost komore, so bili izmerjeni v komori in predstavljajo akustično polje v komori.

Podatki, navedeni za zunanost komore, pa so bili izmerjeni po enakem postopku, kot so bile kasneje plošče.

#### 4.1.1 Notranjost testne komore

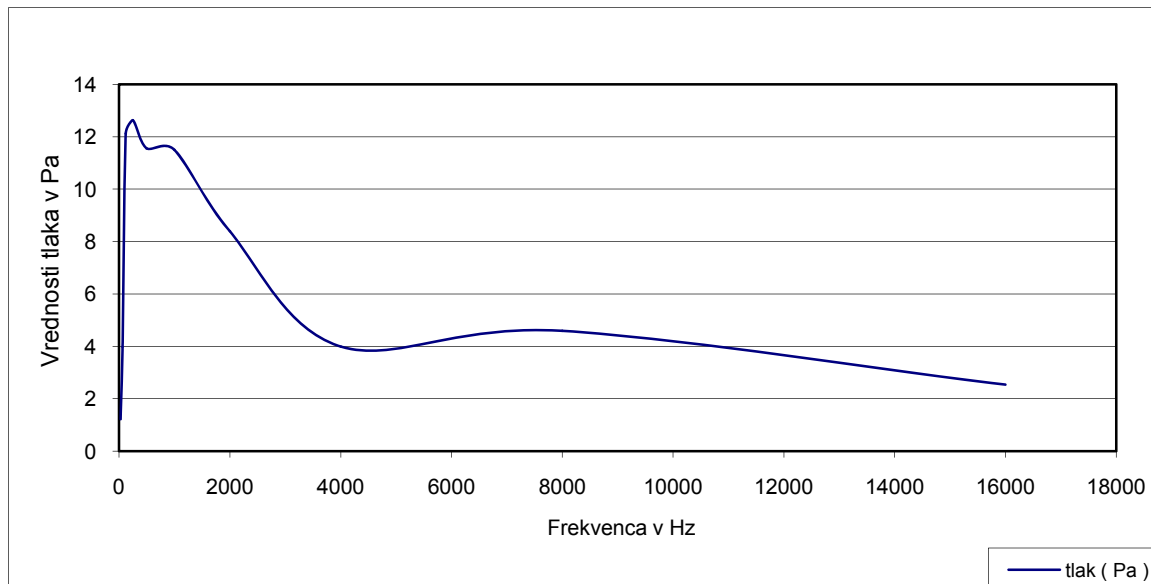
Na sliki 22 in 23 sta prikazana frekvenčna odziva v notranjosti testne komore. Slika 22 prikazuje frekvenčni odziv testne komore v območju med 10 Hz in 1000 Hz. Slika 23 pa frekvenčni odziv testne komore v območju med 31,5 Hz in 16 kHz.



Slika 22: Karakteristična odzivnost notranjosti testne komore v območju med 10Hz in 1000Hz

Iz slike 22 lahko razberemo, da je bila največja zvočno tlačna obremenitev komore v celotnem območju med 150 Hz in 280 Hz, nato pa le še točkovno pri 410 Hz, 510 Hz, 730 Hz, 890 Hz in 900 Hz.

Iz slike 22 lahko razberemo, da je pospeškometer zaznal največje pospeške pri frekvencah v območju med 150 Hz in 280 Hz, nato pa še točkovno pri 410 Hz in pri 900 Hz.

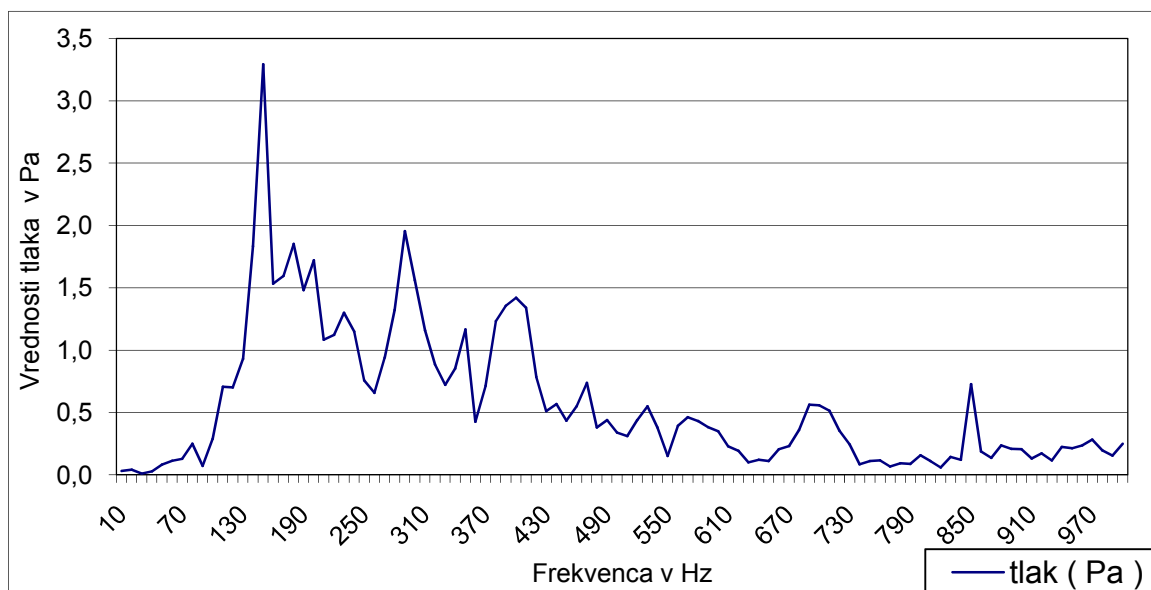


Slika 23: Karakteristična odzivnost notranjosti testne komore v območju med 31.5Hz in 16kHz

Iz slike 23 lahko razberemo, da je v območju med 0 Hz in 250 Hz krivulja na grafu naraščala ter pri vrednosti 250 Hz dosegla maksimalno vrednost. V območju med 500 Hz in 1 kHz krivulja poteka v ravni horizontalni črti, med 1 kHz do 4 kHz krivulja pada. Od 4 kHz do 8 kHz krivulja ponovno narašča, od 8 kHz do 16 kHz pa pada.

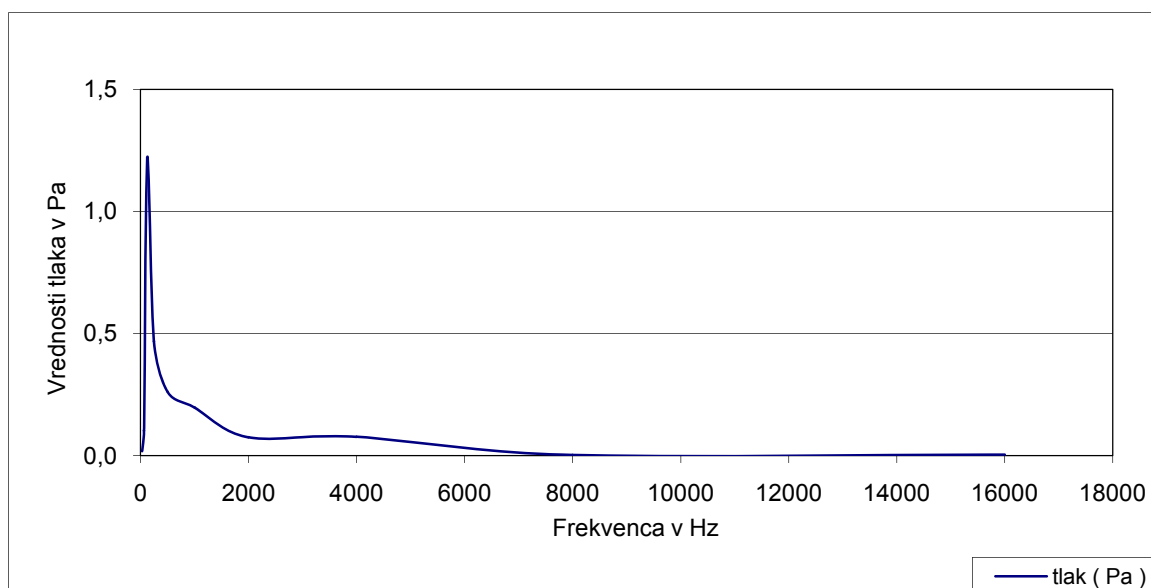
#### 4.1.2 Zunanost testne komore

Na sliki 24 in 25 sta prikazana frekvenčna odziva zunanosti testne komore. Slika 24 prikazuje frekvenčni odziv zunanosti testne komore v območju med 10 Hz in 1000 Hz. Slika 25 pa frekvenčni odziv zunanosti testne komore v območju med 31,5 Hz in 16 kHz.



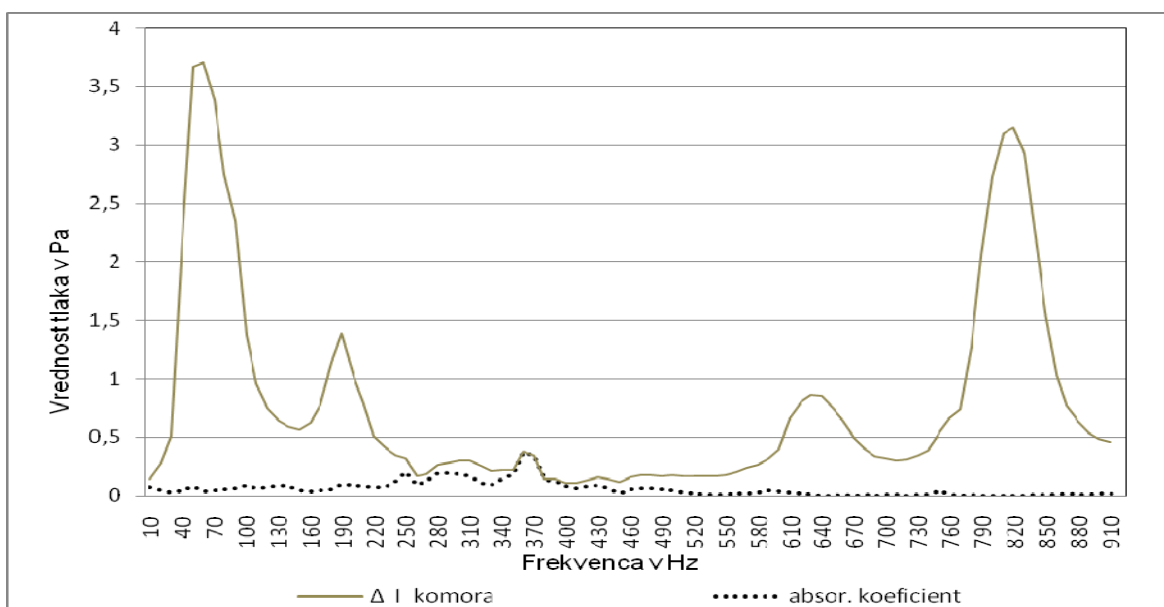
Slika 24: Karakteristična odzivnost zunanosti testne komore v območju med 10Hz in 1000Hz

Največji delež zvočnega valovanja je iz komore prešel pri frekvencah 150 Hz, 290 Hz, 350 Hz, 400 Hz ter 850 Hz, kar lahko razberemo iz slike 24.



Slika 25: Karakteristična odzivnost zunanosti testne komore v območju med 31.5Hz in 16kHz

Iz slike 25 lahko razberemo, da je v območju med 0 Hz in 125 Hz krivulja na grafu strmo narasla, med 125 Hz in 500 Hz pa je krivulja linearno padala. Med 500 Hz in 1 kHz je krivulja malenkostno padla, med 1 kHz pa do 16 kHz je eksponentno padala.



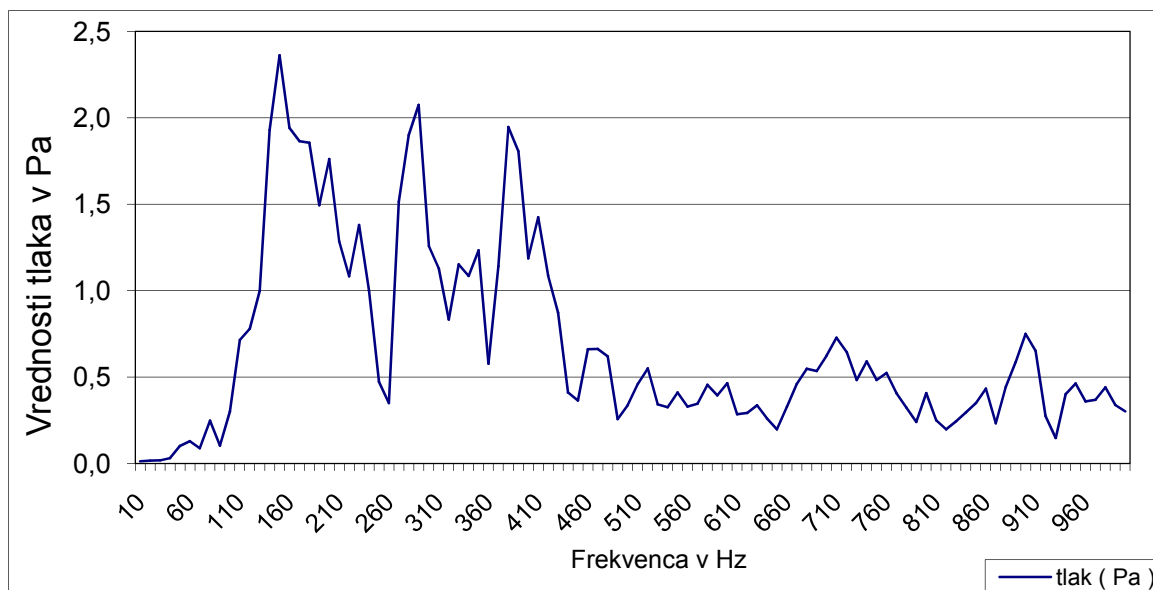
Slika 26: Sprememba zvočnega pretoka ter absorpcijski koeficient pri komori v območju med 10Hz in 1000Hz

Absorpcijski koeficient pove, koliko zvoka je plošča vpila. Sama sprememba pretoka ne pove veliko, ker je treba upoštevati tudi sestavo plošče in moč zvočila.

## 4.2 ENOSLOJNE PLOŠČE

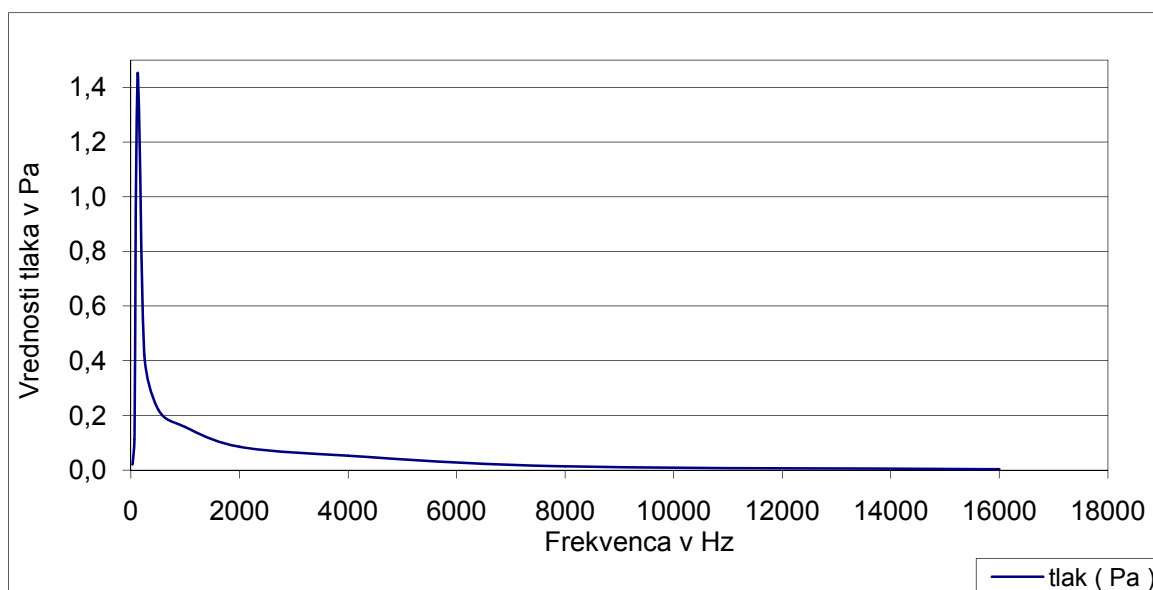
### 4.2.1 Plošča frakcije med 6.14 in 2

Na sliki 27 in 28 sta prikazana frekvenčna odziva plošče frakcije med 6.14 in 2. Slika 27 prikazuje frekvenčni odziv plošče frakcije med 6.14 in 2 v območju med 10 Hz in 1000 Hz. Slika 28 pa prikazuje frekvenčni odziv plošče frakcije med 6.14 in 2 v območju med 31,5 Hz in 16 kHz.



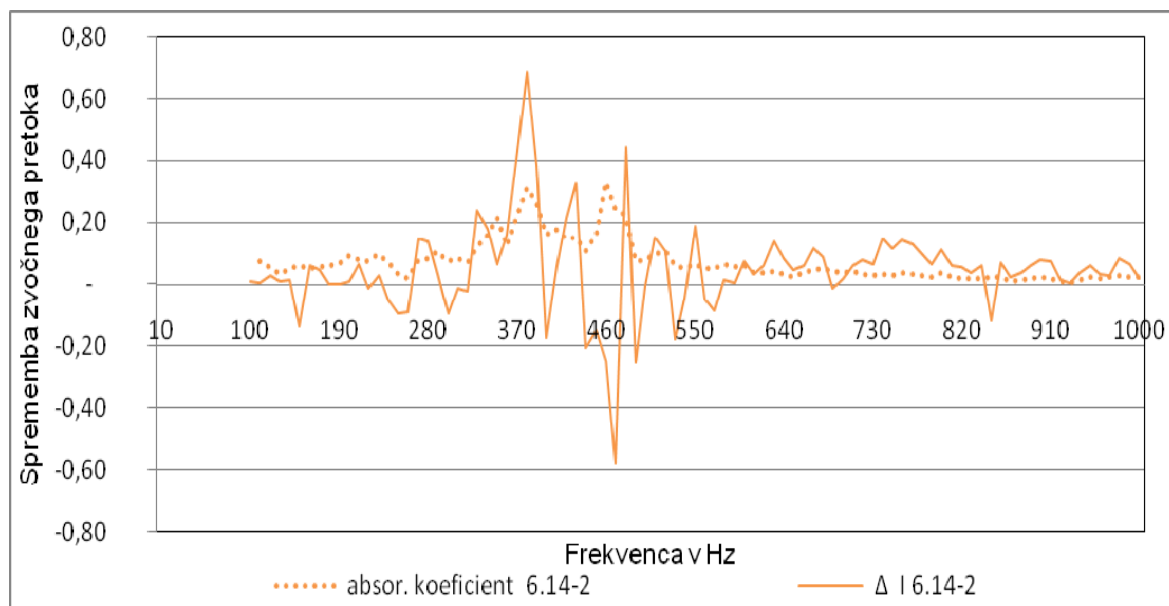
Slika 27: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 6.14 in 2 v območju med 10Hz in 1000Hz

Največji delež zvočnega valovanja je ploščo prešel pri frekvencah: 150 Hz, 290 Hz, 400 Hz in 680 Hz, kar lahko razberemo z slike 27.



Slika 28: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 6.14 in 2 v območju med 31.5Hz in 16kHz

Iz slike 28 lahko razberemo, da je v območju med 0 in 125 Hz krivulja strmo narasla in dosegla maksimum, nato je do vrednosti 4 kHz eksponentno padala. V območju med 4 kHz in 8 kHz je linearno padla in do vrednosti 16 kHz potekala horizontalno.

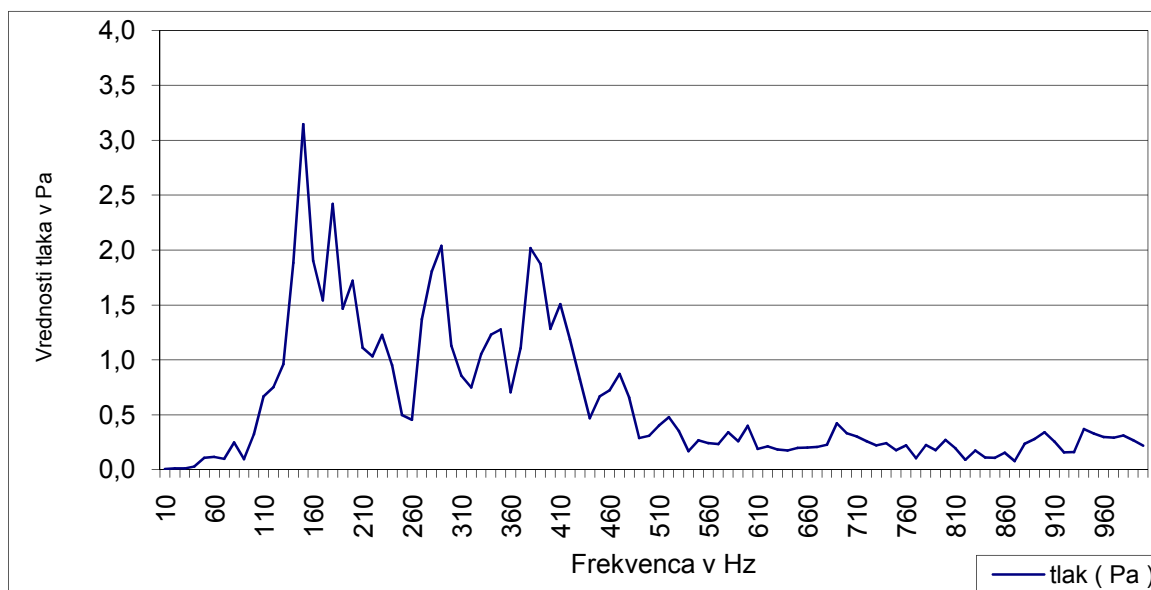


Slika 29: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri enoslojni plošči 6.14 - 2

Absorpcijski koeficient pove, koliko zvoka je plošča vpila. Sama sprememba pretoka ne pove veliko, ker je treba upoštevati tudi sestavo plošče in moč zvočila.

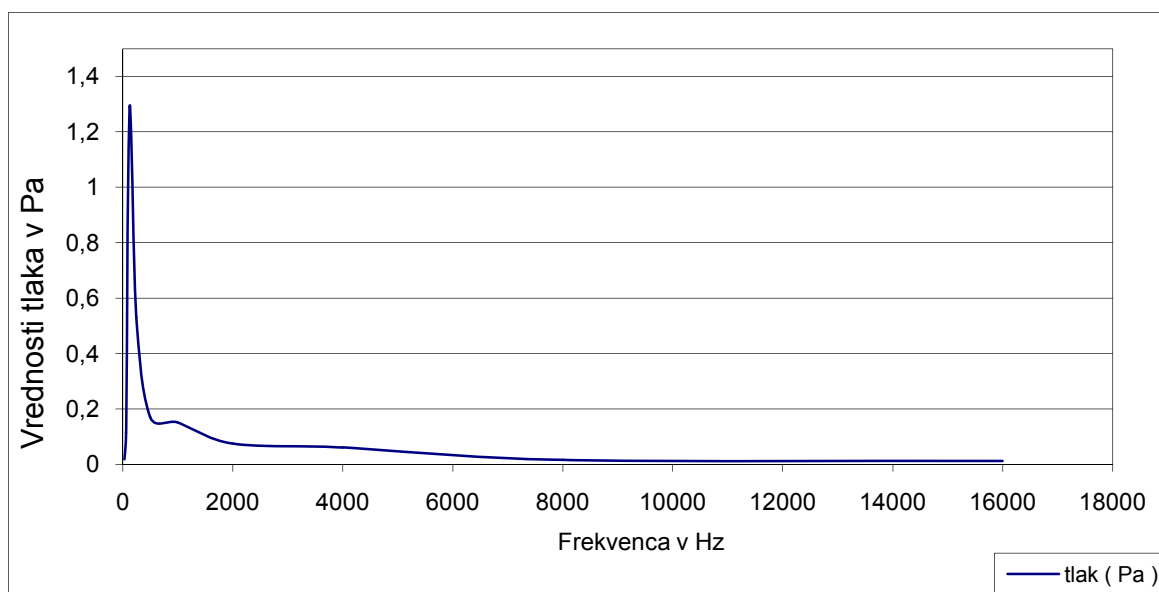
#### 4.2.2 Plošča frakcije med 1.5 in 1

Na sliki 30 in 31 sta prikazana frekvenčna odziva plošče frakcije med 1.5 in 1. Slika 30 prikazuje frekvenčni odziv plošče frakcije med 1.5 in 1 v območju med 10 Hz in 1000 Hz. Slika 31 pa frekvenčni odziv plošče frakcije med 1.5 in 1 v območju med 31,5 Hz in 16 kHz.



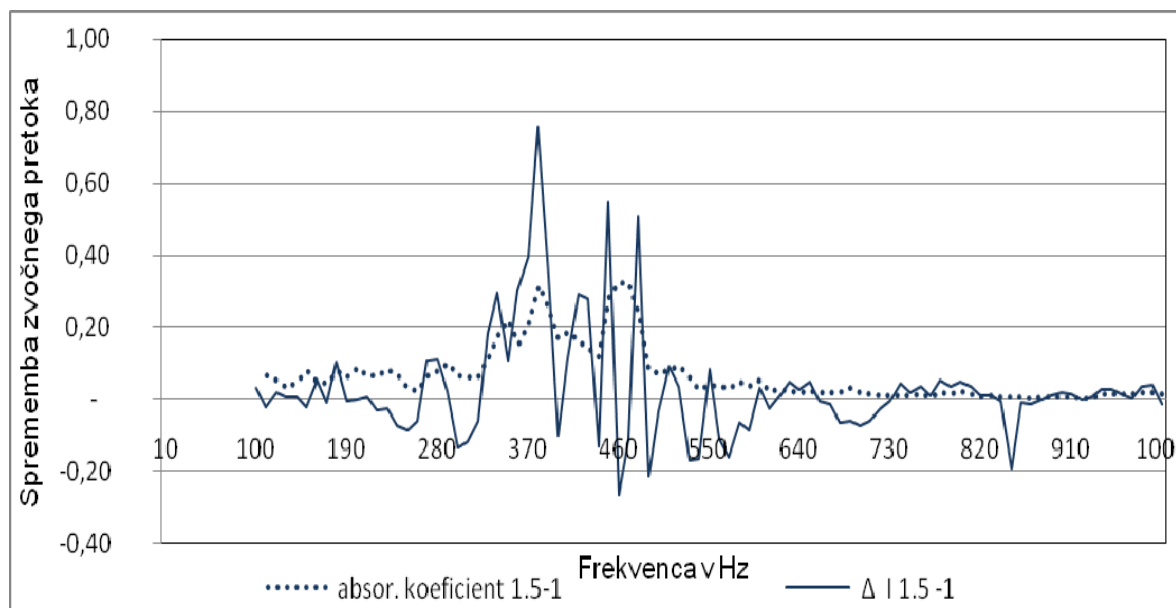
Slika 30: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 1.5 in 1 v območju med 10Hz in 1000Hz

Največji delež zvočnega valovanja je ploščo prešel pri frekvencah: 150 Hz, 180 Hz, 290 Hz, 380 Hz in 460 Hz, kar lahko razberemo iz slike 30.



Slika 31: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 1.5 in 1 v območju med 31.5Hz in 16kHz

Iz slike 31 lahko razberemo, da je v območju med 0 in 250 Hz krivulja strmo narasla in dosegla maksimum, nato je do vrednosti 8 kHz eksponentno padala. V območju med 8 kHz in 16 kHz krivulja poteka horizontalno.

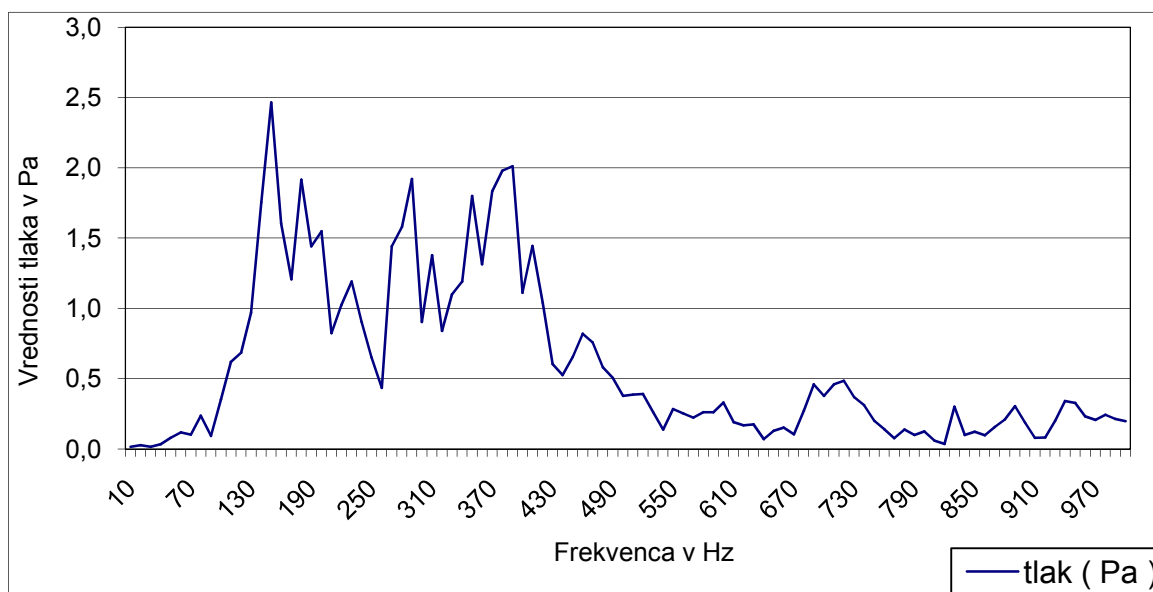


Slika 32: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri enoslojni plošči 1.5 – 1

Absorpcijski koeficient pove, koliko zvoka je plošča vpila. Sama sprememba pretoka ne pove veliko, ker je treba upoštevati tudi sestavo plošče in moč zvočila.

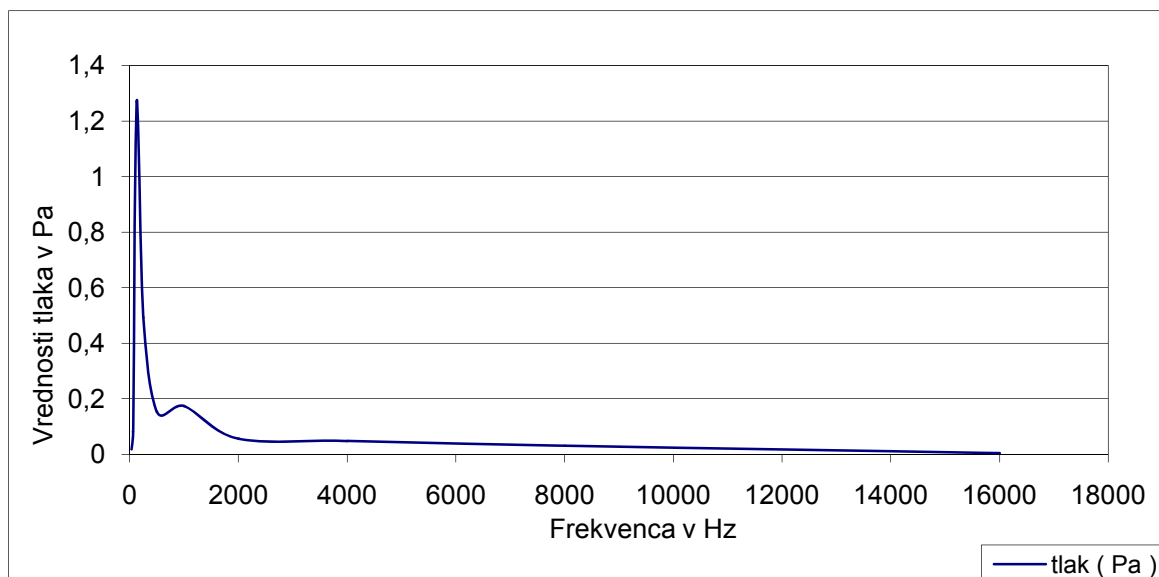
#### 4.2.3 Plošča frakcije med 0.6 in 0

Na sliki 33 in 34 sta prikazana frekvenčna odziva plošče frakcije med 0.6 in 0. Slika 33 prikazuje frekvenčni odziv plošče frakcije med 0.6 in 0 v območju med 10 Hz in 1000 Hz. Slika 34 pa prikazuje frekvenčni odziv plošče frakcije med 0.6 in 0 območju med 31,5 Hz in 16 kHz.



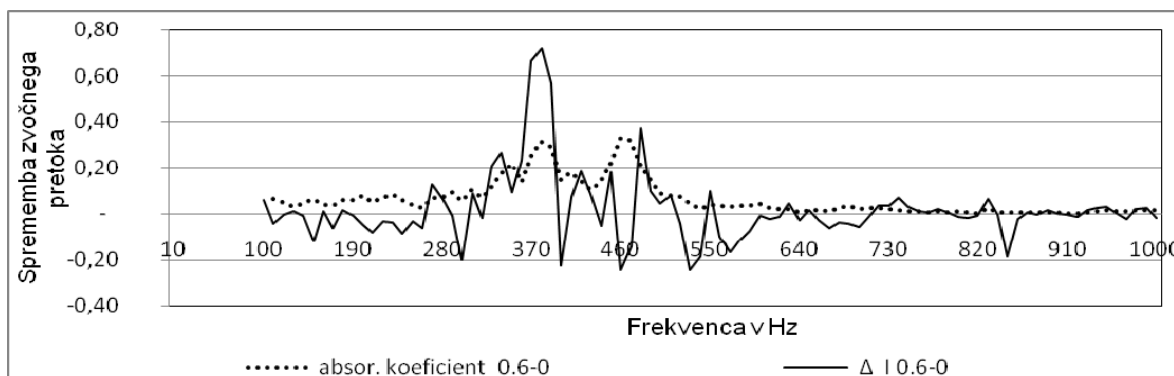
Slika 33: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 0.6 in 0 v območju med 10Hz in 1000Hz

Največji delež zvočnega valovanja je ploščo prešel pri frekvencah: 150 Hz, 180 Hz, 290 Hz ter 390 Hz, kar lahko razberemo iz slike 33.



Slika 34: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 0.6 in 0 v območju med 31.5Hz in 16kHz

Iz slike 34 lahko razberemo, da je v območju med 0 in 250 Hz krivulja strmo narasla in dosegla maksimum, nato je do vrednosti 1 kHz linearno padala. V območju med 1 kHz in 2 kHz je krivulja potekala horizontalno. Med 2 kHz in 8 kHz je krivulja linearno padala, od 8 kHz do 16 kHz pa je potekala linearno.

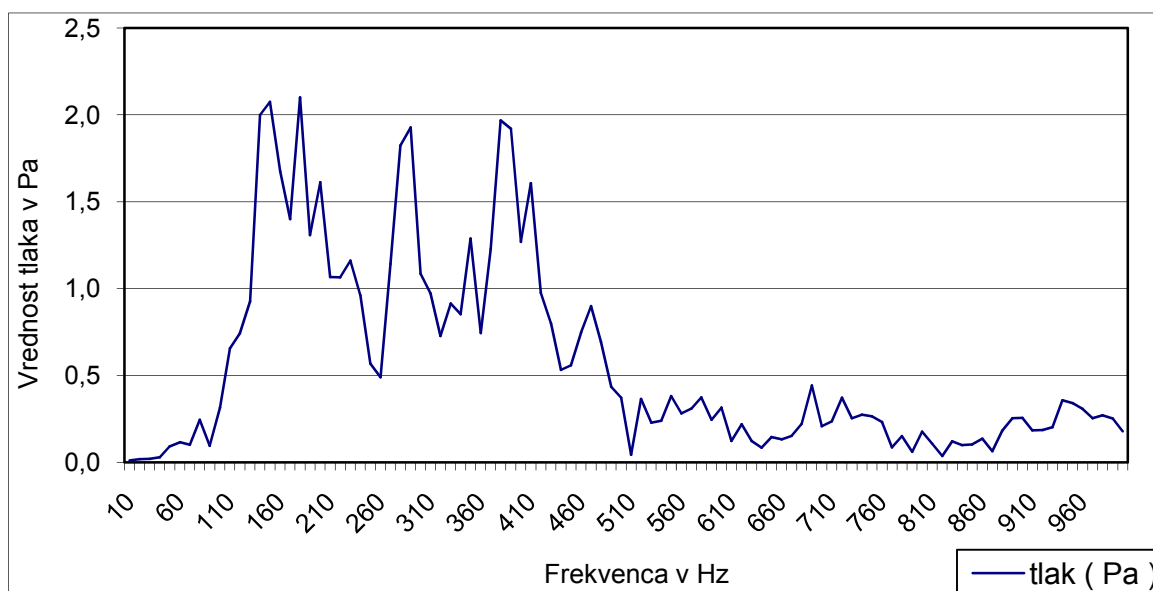


Slika 35: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri enoslojni plošči 0.6 – 0

Absorpcijski koeficient pove, koliko zvoka je plošča vpila. Sama sprememba pretoka ne pove veliko, ker je treba upoštevati tudi sestavo plošče in moč zvočila.

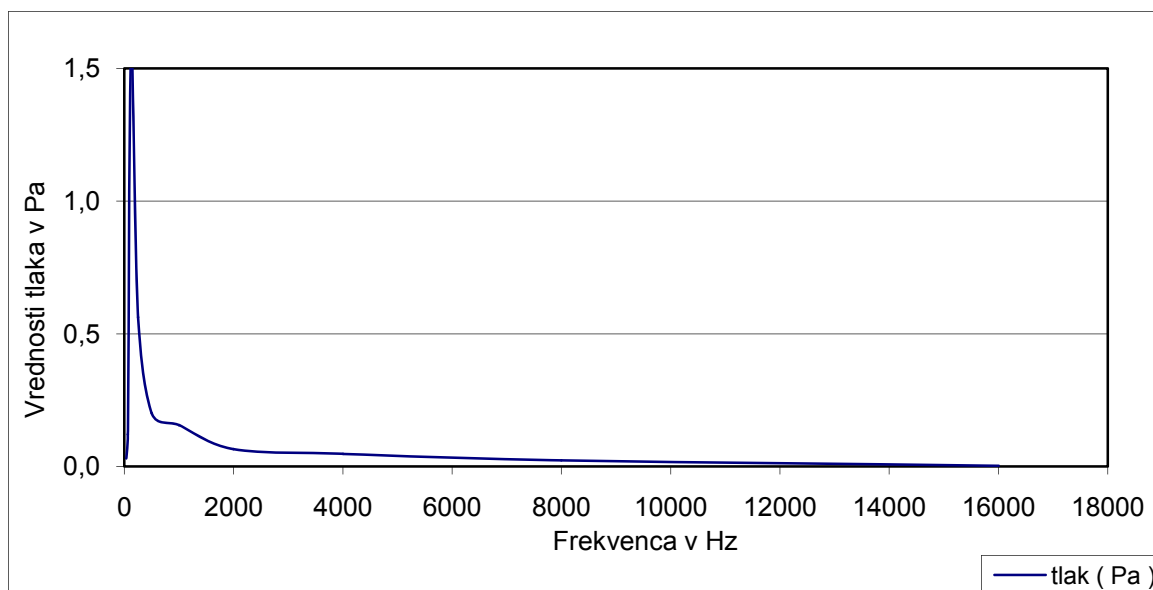
#### 4.2.4 Plošča frakcije med 0.237 in 0

Na sliki 36 in 37 sta prikazana frekvenčna odziva plošče frakcije med 0.2 in 0. Slika 36 prikazuje frekvenčni odziv plošče frakcije med 0.237 in 0 v območju med 10 Hz in 1000 Hz. Slika 37 pa frekvenčni odziv plošče frakcije med 0.237 in 0 v območju med 31,5 Hz in 16 kHz.



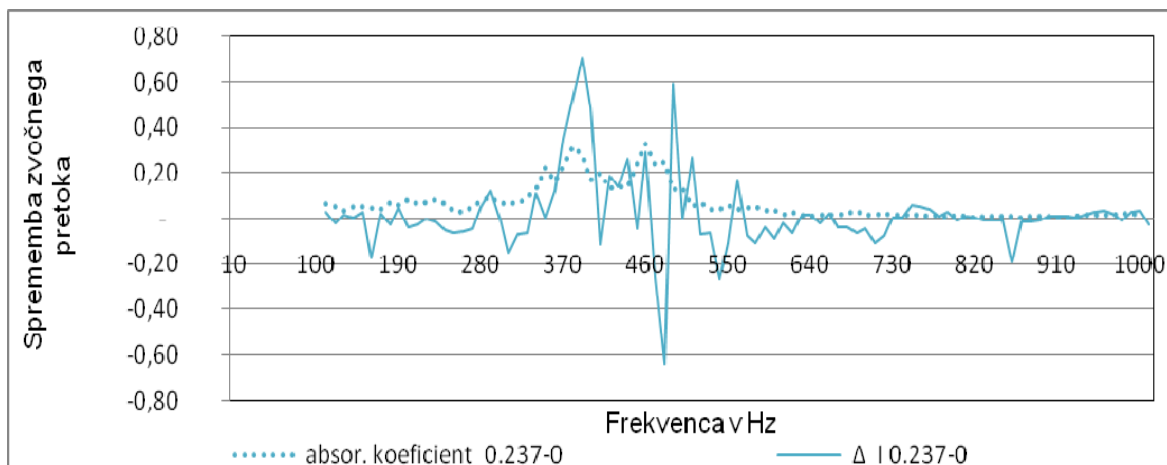
Slika 36: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 0.237 in 0 v območju med 10Hz in 1000Hz

Največji delež zvočnega valovanja je ploščo prešel pri frekvencah: 150 Hz, 180 Hz, 290 Hz ter 380 Hz, kar lahko razberemo iz slike 36.



Slika 37: Karakteristična odzivnost plošče frakcije med 0.237 in 0 v območju med 31.5Hz in 16kHz

Iz slike 37 lahko razberemo, da je v območju med 0 in 125 Hz krivulja strmo narasla in dosegla maksimum, nato je do vrednosti 4 kHz eksponentno padala. V območju med 4 kHz in 8 kHz je krivulja linearno padala. Med 8 kHz in 16 kHz krivulja poteka horizontalno.



Slika 38: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri enoslojni plošči 0.237 - 0

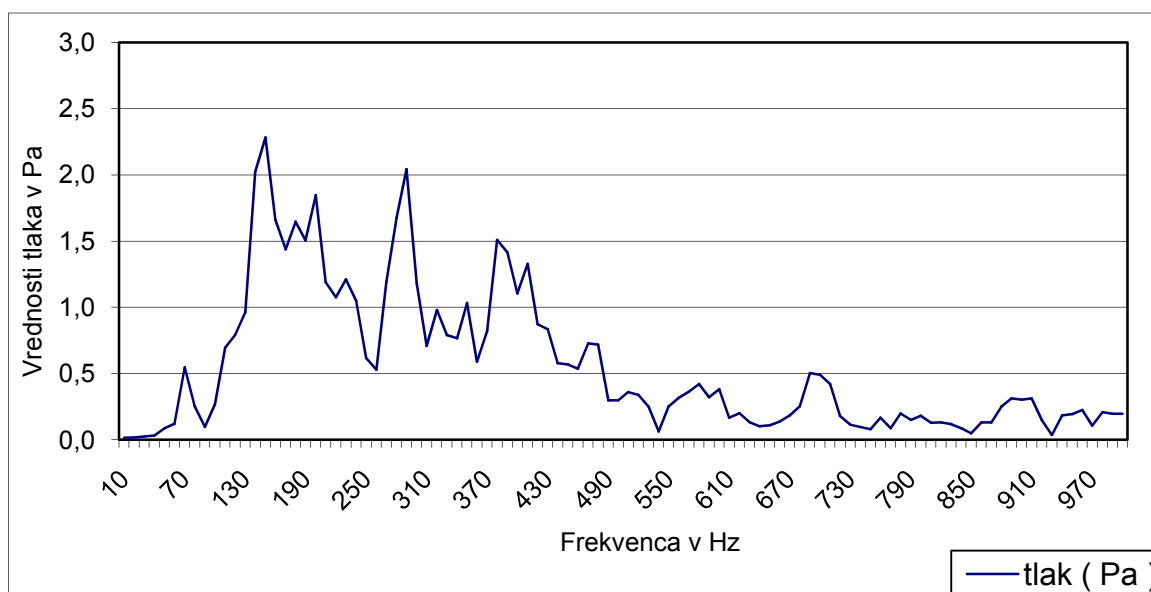
Absorpcijski koeficient pove, koliko zvoka je plošča vpila. Sama sprememba pretoka ne pove veliko, ker je treba upoštevati tudi sestavo plošče in moč zvočila.

### 4.3 VEČSLOJNE PLOŠČE

#### 4.3.1 Večslojna plošča zunanji sloj 6.14 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.237

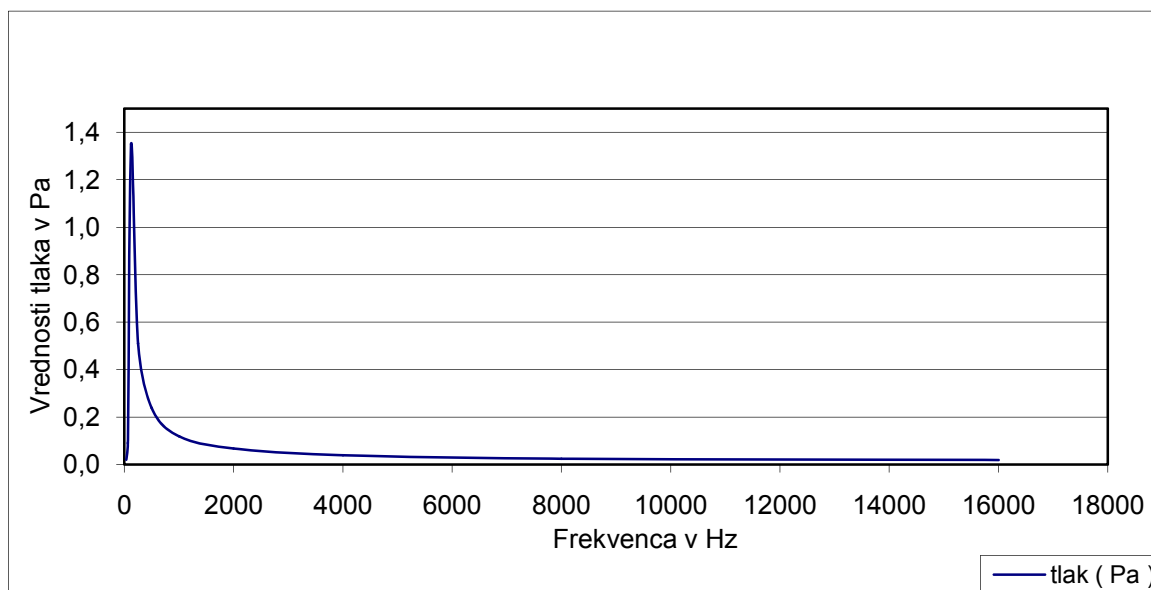
Na sliki 39 in 40 sta prikazana frekvenčna odziva večslojne plošče, katera ima zunanji sloj sestavljen iz delcev frakcij 6.14 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.237

Slika 39 prikazuje frekvenčni odziv plošče večslojne plošče, katera ima zunanji sloj sestavljen iz delcev frakcij 6.14 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.237, v območju med 10Hz in 1000Hz. Slika 40 pa frekvenčni odziv plošče večslojne plošče, katera ima zunanji sloj sestavljen iz delcev frakcij 6.14 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.237, območju med 31.5Hz in 16kHz.



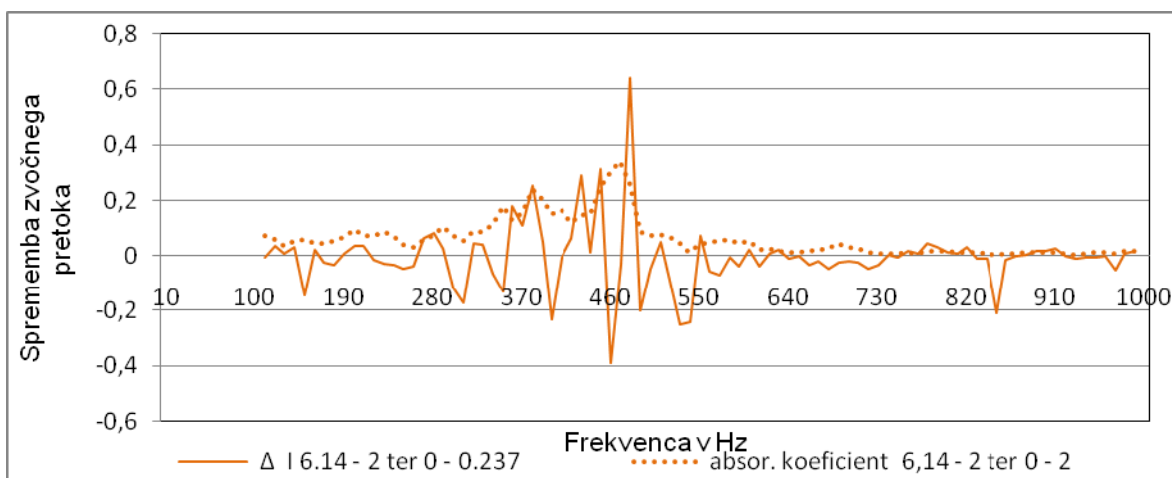
Slika 39: Karakteristična odzivnost večslojne plošče notranji sloj 6.14 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.237 v območju med 10Hz in 1000Hz

Največji delež zvočnega valovanja je iz komore prešel pri frekvencah: 150Hz, 200Hz, 290Hz ter 380Hz, kar lahko razberemo z slike 39.



Slika 40: Karakteristična odzivnost večslojne plošče notranji sloj 6.14 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.237 v območju med 31.5Hz in 16kHz

Iz slike 40 lahko razberemo, da je v območju V območju med 0 do 125Hz krivulja 51 strmo narasla in dosegla maksimum, nato do vrednosti 8kHz eksponentno padala. V območju med 8kHz in 16kHz krivulja poteka horizontalno



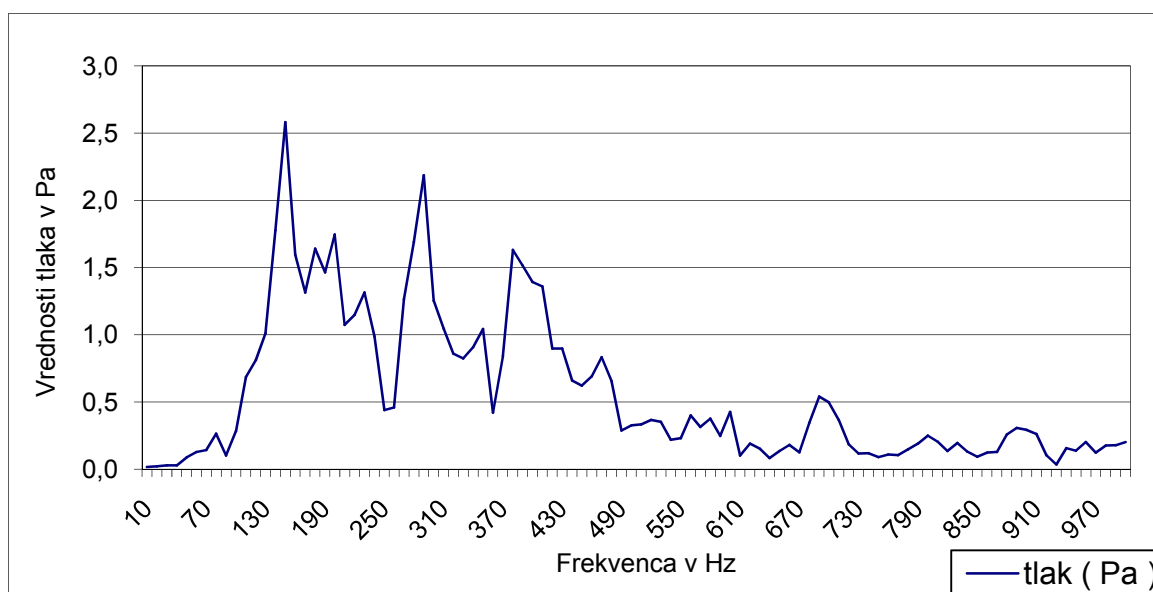
Slika 41: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri večslojni plošči notranji sloj 6.14 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.237

Absorpcijski koeficient pove, koliko zvoka je plošča vpila. Sama sprememba pretoka ne pove veliko, ker je potrebno upoštevati tudi sestavo plošče in moč zvočila.

#### 4.3.2 Večslojna plošča notranji sloj 4 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.6

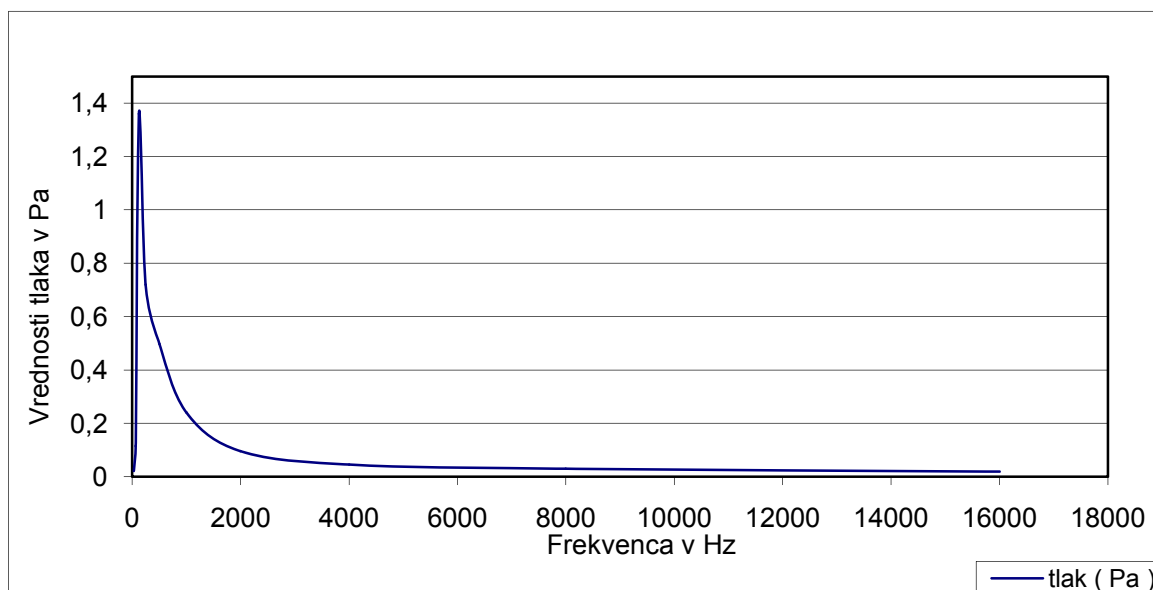
Na sliki 42 in 43 sta prikazana frekvenčna odziva večslojne plošče, ki ima zunanji sloj sestavljen iz delcev frakcij 4 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.6.

Slika 42 prikazuje frekvenčni odziv plošče večslojne plošče, ki ima zunanji sloj sestavljen iz delcev frakcij 4 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.6, v območju med 10 Hz in 1000 Hz. Slika 43 pa frekvenčni odziv večslojne plošče, ki ima zunanji sloj sestavljen iz delcev frakcij 4 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.6, v območju med 31,5 Hz in 16 kHz.



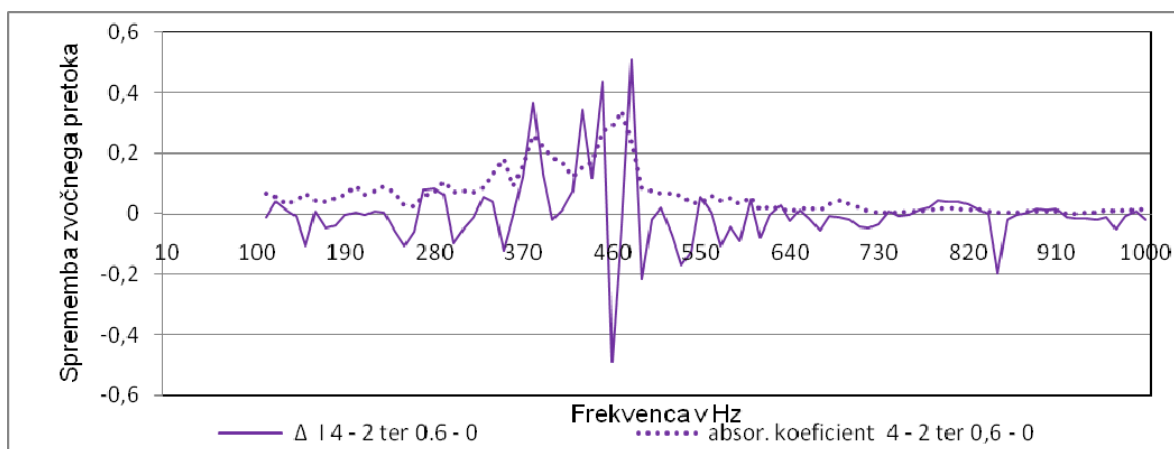
Slika 42: Karakteristična odzivnost večslojne plošče zunanji sloj 4 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0.6 območju med 10Hz in 1000Hz

Največji delež zvočnega valovanja je iz komore prešel pri frekvencah: 150 Hz, 290 Hz ter 380 Hz, kar lahko razberemo iz slike 42.



Slika 43: Karakteristična odzivnost večslojne plošče zunanji sloj 4 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0,6 v območju med 31,5 Hz in 16 kHz

Iz slike 43 lahko razberemo, da je v območju med 0 in 125 Hz krivulja strmo narasla in dosegla maksimum, nato je do vrednosti 16 kHz eksponentno padala.



Slika 44: Sprememba zvočnega pretoka in absorpcijski koeficient pri večslojni plošči notranji sloj 4 do 2 ter zunanji sloj 0 do 0,6

Absorpcijski koeficient pove, koliko zvoka je plošča vpila. Sama sprememba pretoka ne pove veliko, ker je treba upoštevati tudi sestavo plošče in moč zvočila.

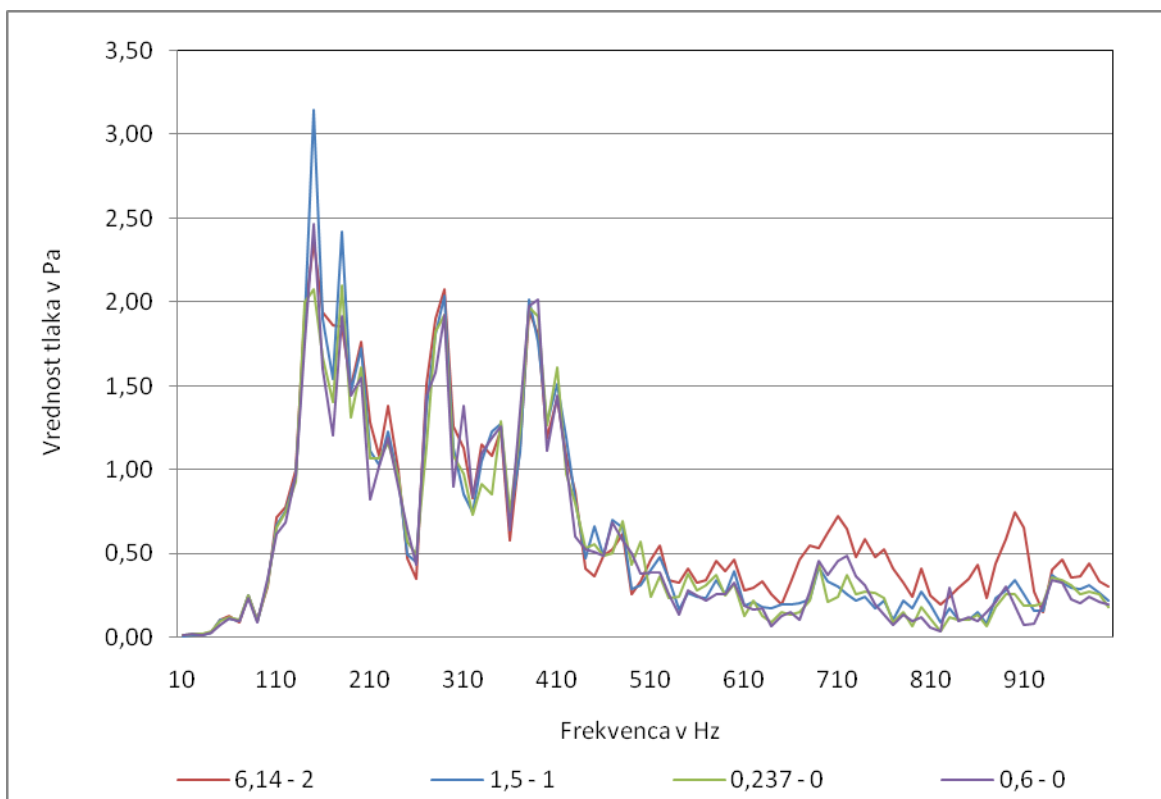
## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Dušenje zvoka je sestavljeno iz več dejavnikov: absorpcije zvoka in razpršitve zvoka. Pri razpršitvi gre zvok skozi prehode v materialu in se na drugi strani razprši po večji površini in tako izgubi energijo. Pri absorberju pa se valovanje, kolikor je največ možno, ustavi. Energija se iz zvočne pretvori v druge oblike, nato se v drugačni obliki razprši po volumnu materiala, ki opravi absorpcijo.

### 5.1 RAZPRAVA

Na povprečne vrednosti tlaka in pospeška pri enoslojnih ploščah imajo vpliv naslednji parametri: povezanost in prepletenost delcev ter prazni prostori med posameznimi delci. Z mikrofonom smo merili zvočno valovanje katero je prešlo ploščo. Z uporabo teh podatkov smo dobili vpogled v akustično karakteristiko plošče. S pospeškometerom smo merili valovanje same testne plošče. Podatke pospeškometra in mikrofona smo primerjali. Ugotovili smo, da so se meritve pospeškometra in mikrofona ujemale kar kaže, da je plošča nihala z isto frekvenco kot zvočilo znotraj komore.

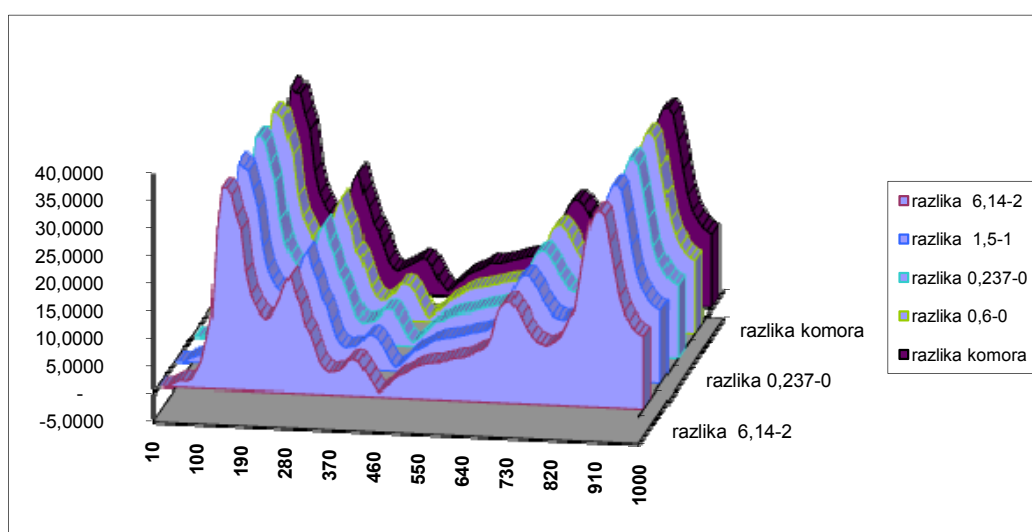
#### 5.1.1 Enoslojne plošče



Slika 45: Nihanje tlaka pri posameznih enoslojnih ploščah

Preglednica 4: Prikaz maksimalnih vrednosti tlaka v posameznih frekvenčnih razredih

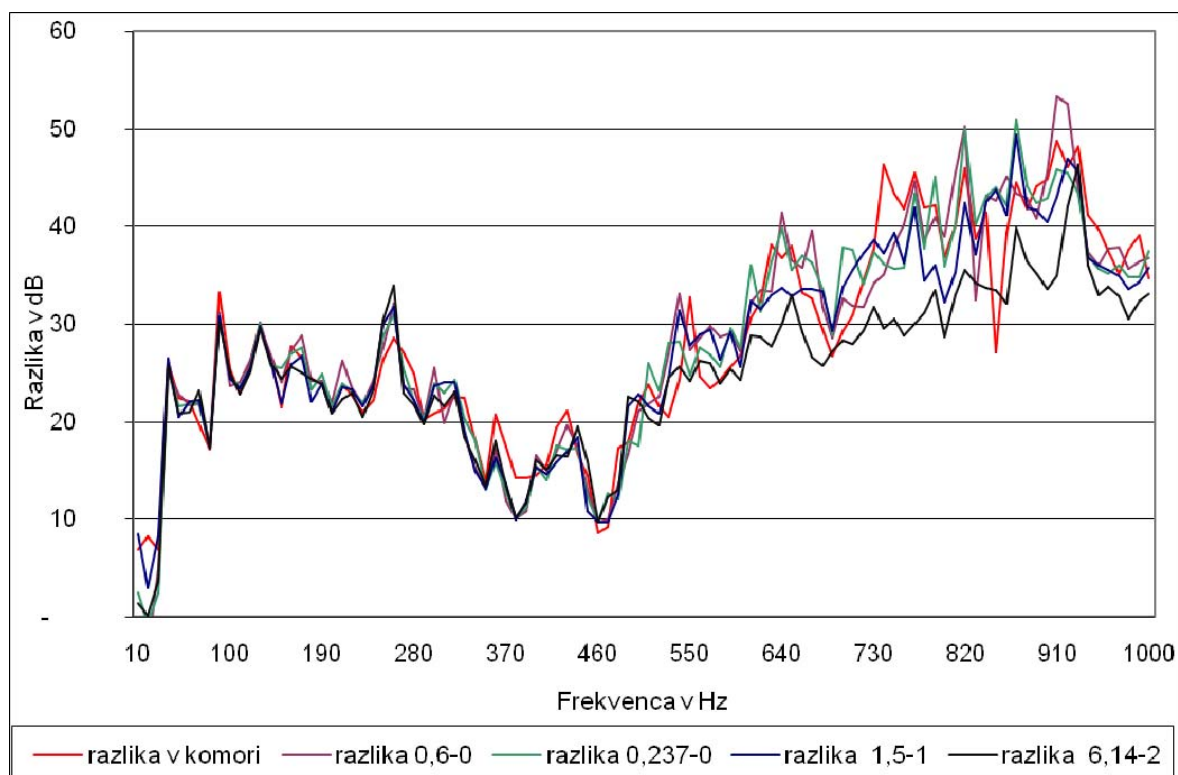
| frakcija | frekvenca |         |         |         |         |          |
|----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|
|          | 10-100    | 110-230 | 240-350 | 360-470 | 480-790 | 800-1000 |
| 0-0.237  | 0,3159    | 2,1066  | 1,9277  | 1,9679  | 0,6937  | 0,3588   |
| 0-0.6    | 0,3537    | 2,4641  | 1,9187  | 2,01023 | 0,5812  | 0,3416   |
| 1-1.5    | 0,3226    | 3,1451  | 2,0378  | 2,0172  | 0,6542  | 0,3394   |
| 2-6.14   | 0,3020    | 2,3614  | 2,0753  | 1,9473  | 0,7266  | 0,7489   |



Slika 46: Prikaz razlik med tlakom znotraj komore in tlakom v okolici, za pregrado smo uporabili enoslojne plošče različnih frakcij

Sprememba tlaka je pri vseh ploščah enaka, kar kaže na podobne lastnosti kot jih ima komora; to je razvidno s slike 46. Glede na podobnost razlik tlakov lahko sklepamo, da ni večjega vpliva velikosti delcev na prepustnost zvoka. Padec tlaka ne pomeni, da je glasnost izvora upadla.

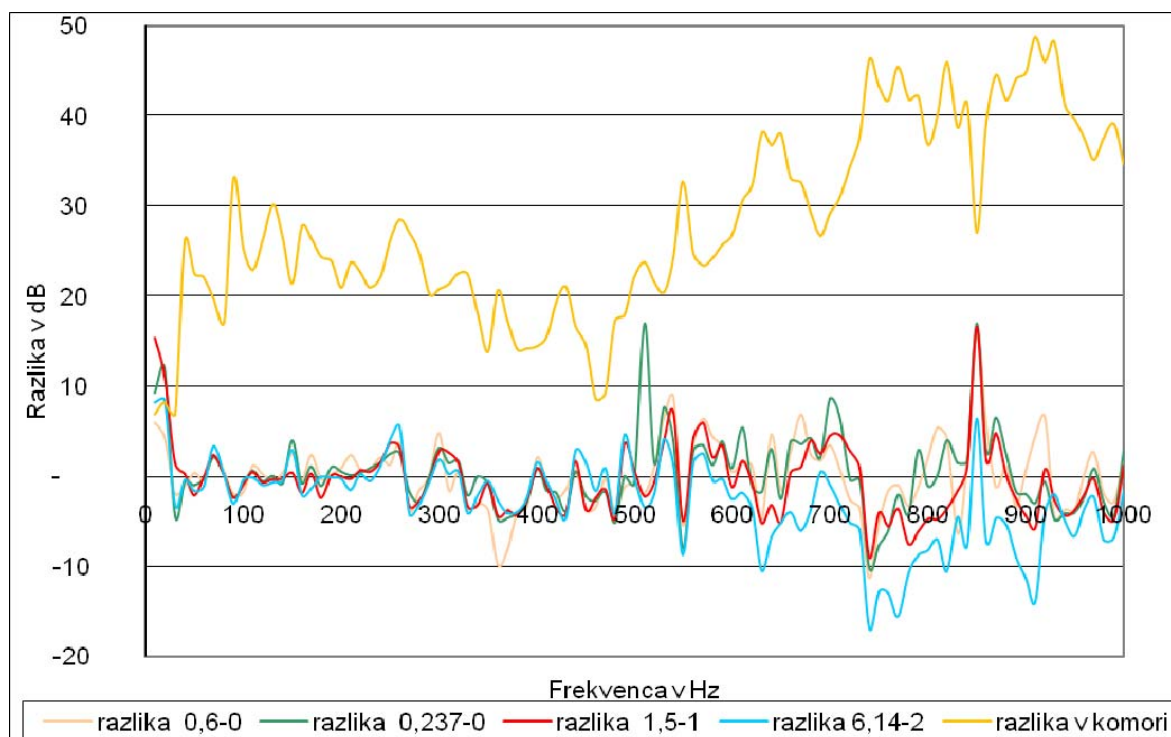
Za doseganje opaznejših razlik med ploščami, bi morali izdelati plošče z različnimi debelinami in gostotami. Z večanjem debeline bi dosegli, da bi postali bolj opazni dve lastnosti: stisljivost in poroznost. Pri frakcijah med 6,14-2 in 1,5-1 bi bila stisljivost majhna in poroznost velika. To bi ploščama omogočilo dobro zvočno izolativnost. Med prehodom plošče bi zvočno valovanje pri vstopu v ploščo hitro izgubljalo energijo, nato pa vedno manj. Pri frakcijah 0,6-0 ter 0,237-0 bi bila stisljivost velika in poroznost majhna. To bi energiji omogočilo dokaj neoviran prehod skozi ploščo, saj je plošča homogena in je posledično poroznost majhna. Z večanjem gostote pa velikost delcev ne bi imela večjega vpliva, saj bi bili delci v vseh približno enako stisnjeni. Če plošče izdelamo z enako debelino in gostoto, dobimo zgornje rezultate.



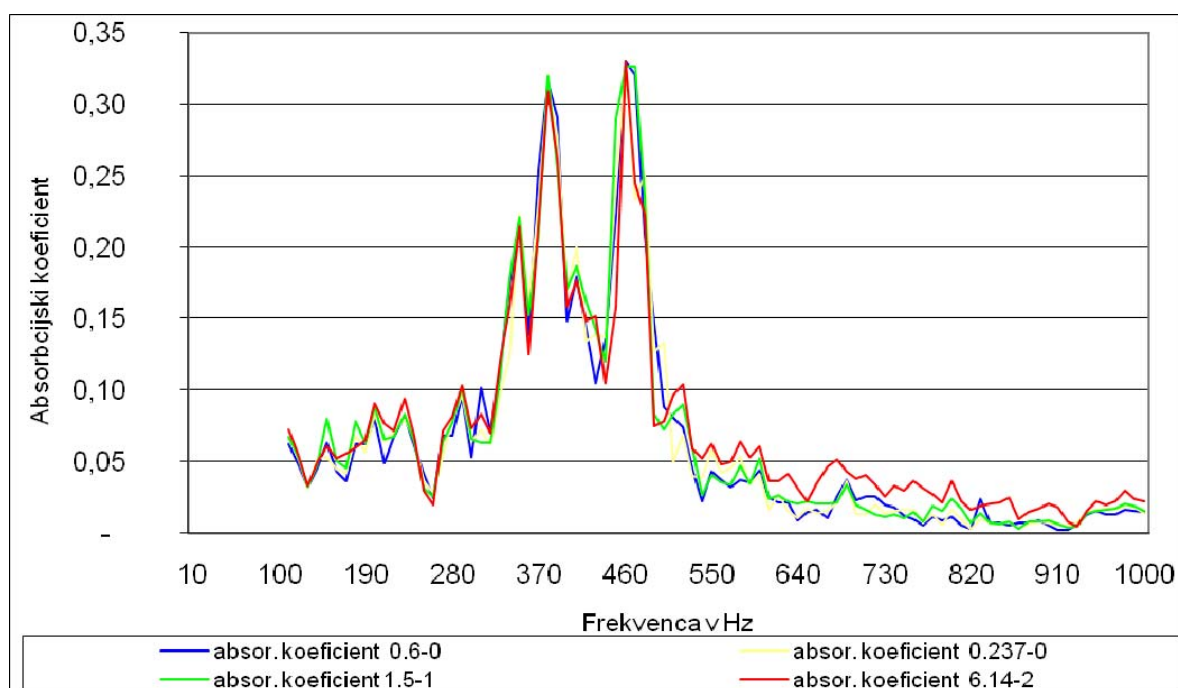
Slika 47: Prikaz razlik med glasnostjo znotraj komore, ter zunaj komore v dB - enoslojne plošče

Na podlagi slike 47 lahko razberemo razlike med glasnostjo znotraj in zunaj komore. Pri prehodu zvočnega valovanja, ki iz zraka prestopi v ploščo, se pri prehodu deloma odbije, nekaj pa prestopi v enoslojno ploščo. Na količino zvočnega valovanja, ki je prešel iz zraka v enoslojno ploščo, pa vpliva odpornost proti toku. Če je odpornost proti toku previsoka, se bo velik del valovanja odbil nazaj v komoro. Pri prehodu skozi ploščo se nekaj energije pretvori v toploto, preostanek pa potuje skozi ploščo. Tudi pri prehodu skozi ploščo vpliva odpornost proti toku. Ko zvočno valovanje prepotuje celotno debelino, preide v zrak.

Z dviganjem frekvenca se je povečeval tudi vpliv plošče na zaznano glasnost. Višja ko je bila frekvenca, več glasnosti je plošča zaustavila oz. zadušila. Pri nižjih frekvencah pa je bila razlika v glasnostih med ploščami izenačena.



Slika 48: Razlika med zunanostjo komore, ter zunanostjo plošč v dB

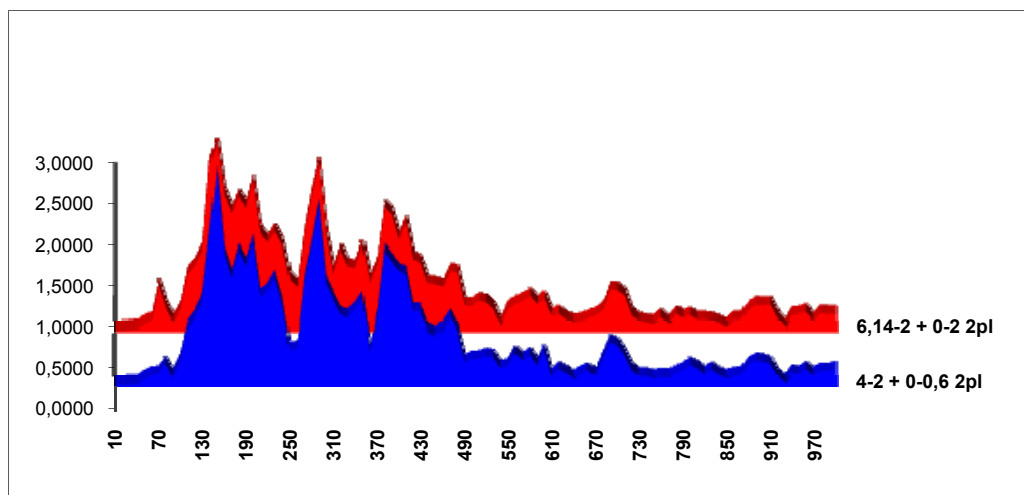


Slika 49: Absorpcijski koeficienti enoslojnih plošč

Do razlik med posameznimi ploščami prihaja zaradi praznih medprostorov med delci ter različnih velikosti delcev. Pri nekaterih ploščah so medprostori majhni in številčni, pri drugih jih je malo, a so veliki. Poroznost zelo variira med ploščami, na kar vpliva velikost delcev iz katerih je sestavljena plošča. Plošči frakcij 6,14-2 ter

1,5-1 sta v primerjavi s ploščama 0,237-0 ter 0,6-0 zelo porozni in nehomogeni. Plošči, sestavljeni iz nižjih frakcij, pa delujeta homogeno. Med sestavnimi delci plošč večjih frakcij, je več praznih medprostorov, zato se energija lažje absorbira ter posledično pretvori v toploto. Pri ploščah, sestavljenih iz finejših frakcij, se več zvočnega valovanja odbije nazaj v komoro. To pomeni, da imata plošči večjo odpornost proti prehodu zvočnega valovanja ter manjšo poroznost.

### 5.1.2 Večslojne plošče



Slika 50: Primerjava vrednosti tlaka pri večslojnih ploščah, pri posameznem frekvenčnem razdelku

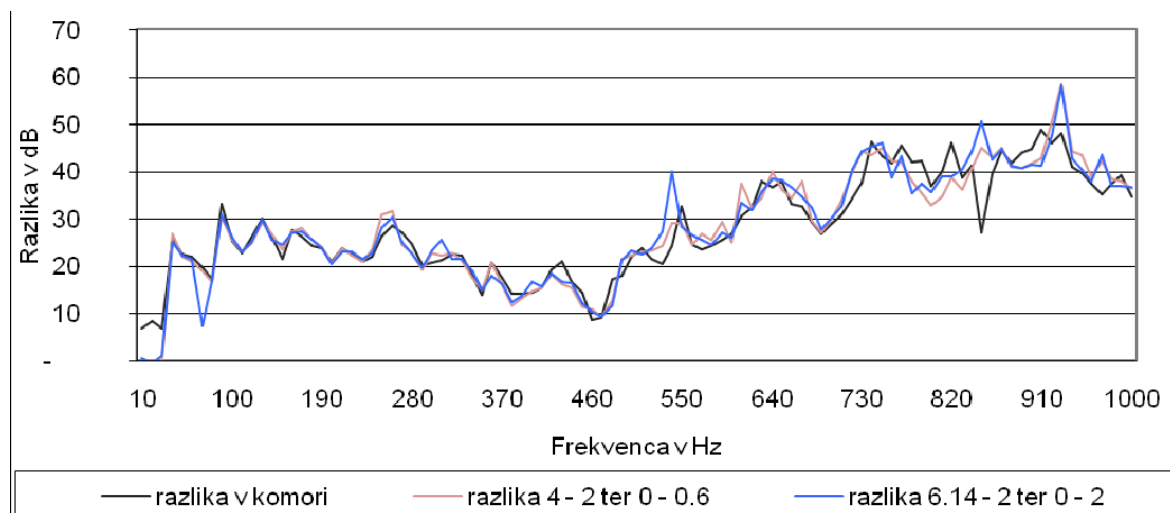
Preglednica 5: Prikaz maksimalnih vrednosti tlaka v posameznih frekvenčnih razredih pri večslojnih ploščah

| frakcija   | frekvenca |         |         |         |         |          |
|------------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|
|            | 10-100    | 110-230 | 240-350 | 360-470 | 480-790 | 800-1000 |
| 6.14-2+0-2 | 0,2674    | 2,28044 | 2,042   | 1,5077  | 0,718   | 0,3113   |
| 4-2+0-0.6  | 0,284     | 2,5811  | 2,1846  | 1,5175  | 0,6539  | 0,2489   |

Sprememba tlaka, ki smo ga izmerili z mikrofonom, nam kaže, da je zvočna moč zvočnega valovanja, pri prehodu skozi večslojni plošči upadla. To pomeni, da obe večslojni plošči dobro dušita zvočno valovanje. Dušenje zvočnega valovanja se na grafu vidi kot minimalna vrednost tlaka, na sliki 50. K dobremu dušenju zvočnega valovanja pripomore sestava večslojne plošče. V zunanjem sloju so majhni delci, ki tvorijo homogeno strukturo in s tem oslabijo zvočno valovanje. Srednji sloj pa ni tako homogen kot zunanji in ga je zvočno valovanje prešlo neovirano v primerjavi z zunanjim.

Pri večslojnih ploščah je rezultate možno izboljšati tudi z debelino in gostoto. Večslojna plošča ima lahko posamezne sloje različno debele, s čimer lahko dosežemo različne akustične lastnosti. Če je srednji sloj debel in porozen je plošča lahko dober zvočni izolator. Zvočno valovanje v srednjem sloju zelo oslabi, v

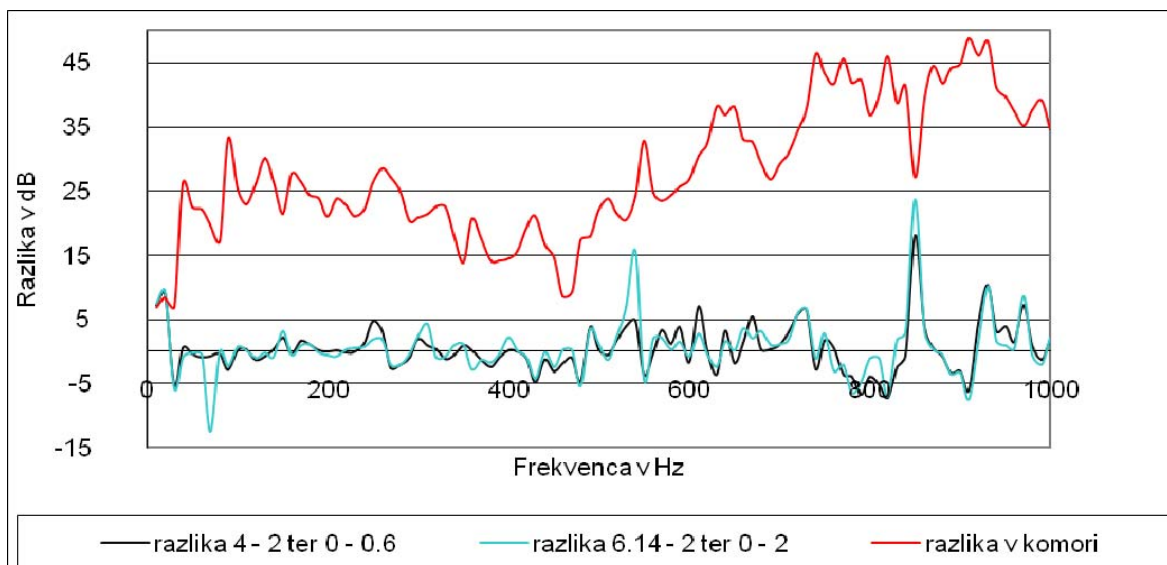
zunanjih pa manj. Če povečamo debelino zunanjih slojev, pa plošča nekoliko izgubi zvočno izolativnost ter pridobi prepustnost zvočnega valovanja.



Slika 51: Prikaz razlik med notranjostjo komore ter večslojne plošče v dB

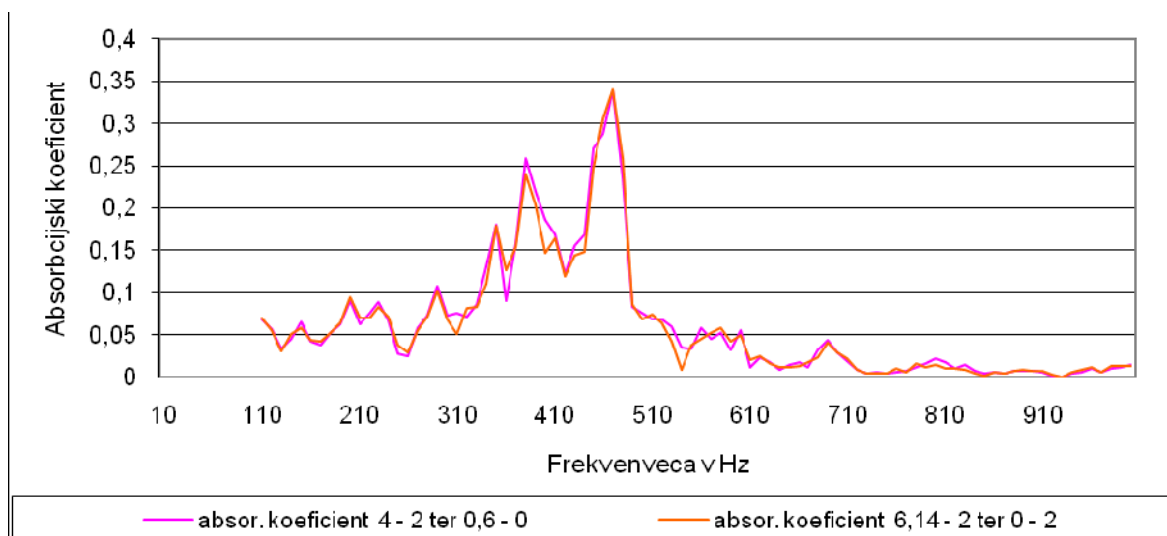
Pojav je mogoče pojasniti tudi tako: zvočno valovanje, ki iz zraka prestopi v ploščo, se pri prehodu deloma odbije, nekaj pa ga prestopi v zunanji sloj večslojne plošče. Zvok potuje čez zunanji sloj večslojne plošče, na koncu katerega pride do srednjega sloja večslojne plošče. Pri prestopu iz zunanjega v srednji sloj večslojne plošče pride do podobnega pojava kot pri prehodu iz zraka v zunanji sloj. Pri prehodu se nekaj zvočnega valovanja odbije v zunanji sloj, del pa potuje v srednji sloj. Na to, koliko zvočnega valovanja bo prešlo iz notranjosti plošče, vpliva odpornost proti toku. Če je odpornost proti toku previsoka, se bo velik del valovanja odbil ali v okolico ali v srednji sloj. V nasprotnem primeru pa lahko zvočno valovanje, neovirano preide srednji sloj in ne izgubi energije. Ko zvočno valovanje preide srednji sloj, pa ponovno naleti na zunanji sloj. Tudi pri tem prehodu vpliva odpornost proti toku. Iz zunanjega sloja večslojne plošče pa zvočno valovanje preide v zrak. (vir: Foundations of engineering acoustics, 2001:168)

Obe plošči sta imeli podobni razliki v glasnosti, kar pomeni, da imata podobni lastnosti pri zmanjševanju glasnosti in posledično hrupa, kar je razvidno s slike 51. Pri nižjih frekvencah sta prepustili večjo glasnost, medtem ko sta pri višjih zaustavili več energije kot komora.



Slika 52: Prikaz razlik med zunanostjo komore, ter zunanostjo plošč v dB

Slika 52 prikazuje razlike med notranostjo in zunanostjo komore (rdeče), ter razlike med zunanostjo komore in zunanostjo plošč (črno in turkizno modro).



Slika 53: Absorpcijski koeficienti večslojnih plošč

Do razlik med posameznima večslojnima ploščama prihaja zaradi praznih medprostorov med delci ter različnih velikosti delcev. Poroznost zelo variira med ploščami, na kar vpliva velikost delcev, iz kateri je sestavljena plošča. Hkrati pa vpliva, prehod zvoka med posameznima slojema znotraj plošče.

## 5.2 SKLEPI

Z raziskavo smo ugotovili: vpliv frakcije, slojnatosti plošče ter povezavo med akustičnimi lastnostmi in gostoto.

### 5.2.1 Enoslojne plošče

Pri enoslojnih ploščah smo prišli do sklepa, da plošča frakcije 6.14-2 slabo duši, a dobro absorbira zvočno valovanje. Plošča frakcije 1.5-1 slabo duši, a dobro absorbira zvočno valovanje, medtem ko plošča frakcije 0.6-0 dobro duši, a slabše absorbira zvočno valovanje. Plošča, izdelana iz frakcije 0.237-0, pa dobro duši in absorbira zvočno valovanje. Večslojni plošči dobro dušita zvočno valovanje, absorpcija zvočnega valovanja pa je slaba.

Do razlik med posameznimi ploščami prihaja zaradi praznih medprostorov med delci ter različnih velikosti delcev. Poroznost zelo variira med ploščami, na kar vpliva velikost delcev, iz katerih je sestavljena plošča. Plošči frakcij 6.14-2 ter 1.5-1 sta v primerjavi s ploščama 0.237-0 ter 0.6-0 zelo porozni in nehomogeni. Plošči, sestavljeni iz nižjih frakcij, pa delujeta homogeno. Med sestavnimi delci plošč večjih frakcij je več praznih medprostorov, zato se energija lažje absorbira ter posledično pretvori v toploto. Pri ploščah, ki so sestavljene iz finejših frakcij, se več zvočnega valovanja odbije nazaj v komoro. To pomeni, da imata plošči večjo odpornost proti prehodu zvočnega valovanja ter manjšo poroznost.

### 5.2.2 Večslojne plošče

Prva večslojna plošča je imela izdelan srednji sloj iz frakcij 6.14-2 ter zunanji sloj 0.237-0. Druga večslojna plošča je imela srednji sloj izdelan iz frakcij 4-2 ter zunanji sloj 0.6-0. Do razlik med ploščama prihaja zaradi praznih medprostorov med delci ter različnih velikosti delcev. Pri večslojni plošči frakcij 6.14-2 ter z zunanjim slojem 0.237-0, je zunanji sloj dobro zadušil zvočno valovanje in absorbiral zvočno valovanje. Srednji sloj pa je dodatno absorbiral zvočno valovanje. Pri večslojni plošči frakcij 4-2 ter z zunanjim slojem 0.6-0, je zunanji sloj dobro dušil zvočno valovanje, a absorbiral nekoliko slabše v primerjavi s prvo ploščo. Srednji sloj pa je slabo dušil, a dobro absorbiral zvočno valovanje. Prihajalo je do dopolnjevanja posameznih slojev. Poroznost zelo variira med ploščama, na kar vpliva velikost delcev, iz katerih je sestavljena plošča. Hkrati pa vpliva prehod zvoka med posameznima slojema znotraj plošče. Pri plošči frakcij 6.14-2 ter z zunanjim slojem 0.237-0 je prihajalo do podvajanj lastnosti, pri plošči frakcij 4-2 ter z zunanjim slojem 0.6-0 pa do dopolnjevanja.

## 6 POVZETEK

Namen naloge je ugotoviti, katere velikosti delcev prinašajo katere akustične lastnosti.

Izdelali smo eno- in večslojne plošče različnih frakcij. Enoslojne plošče so bile izdelane iz frakcij: 6.14-2, 1.5-1, 0.6-0, 0.237-0. Prva večslojna plošča je imela srednji sloj izdelan iz frakcij 6.14-2 ter zunanji sloj 0.237-0. Druga večslojna plošča je imela srednji sloj izdelan iz frakcij 4-2 ter zunanji sloj 0.6-0. Testne plošče smo testirali v izolirani testni komori. Notranjost komore smo oblepili s plamofonom ter vpeli zvočnike, na obod testne komore pa smo vpeli preizkušane. Na testno ploščo smo pred izvajanjem meritev pritrdili pospeškometer, 0,5 m od testne plošče pa smo postavili mikrofona, s katerim smo merili zvočno valovanje, ki je prešlo testno ploščo.

Rezultate meritev smo pred prikazom v grafikonih preračunali ter jih nato prikazali v ustreznem grafu. Grafi so imeli območje med 10 Hz in 1000 Hz, ter med 31,5 Hz in 16 kHz. Grafa tlaka in glasnosti sovpadata, saj smo glasnost izračunali iz izmerjenih tlakov. S pospeškom pa smo lažje določili absorpcijske lastnosti testnih plošč.

Pri enoslojnih ploščah smo prišli do sklepa, da plošča frakcije 6.14-2 slabo duši, a dobro absorbira zvočno valovanje. Plošča frakcije 1.5-1 slabo duši, a dobro absorbira zvočno valovanje, medtem ko plošča frakcije 0.6-0 dobro duši, a slabše absorbira zvočno valovanje. Plošča, izdelana iz frakcije 0.237-0, pa dobro duši in absorbira zvočno valovanje. Večslojni plošči dobro dušita zvočno valovanje, absorpcija zvočnega valovanja pa je slaba.

Pri večslojni plošči frakcij 6.14-2 ter z zunanjim slojem 0.237-0 je zunanji sloj dobro zadušil zvočno valovanje in absorbiral zvočno valovanje. Srednji sloj pa je dodatno absorbiral zvočno valovanje. Pri večslojni plošči frakcij 4-2 ter z zunanjim slojem 0.6-0 je zunanji sloj dobro dušil zvočno valovanje, a absorbiral nekoliko slabše v primerjavi s prvo ploščo. Srednji sloj pa je slabo dušil, a dobro absorbiral zvočno valovanje. Prihajalo je do dopolnjevanja med posameznima slojema.

## 7 VIRI

- Alton Everest F. 2001. Master handbook of acoustics. 4th edition. New York, McGraw-Hill: 615 str.
- Ballagh K. 2003. Sound insulation of timber framed structures. V: The eighth western pacific acoustics conference Wespac. Melbourne, Australia 7–9 April 2003.
- Boutin C., Royer P., Auriault J. L. 1998. Acoustic absorption of porous surfacing with dual porosity. *Int. J. Solids Structures*, 35: 4709–4737
- Breuer H. 1993. Atlas klasične in moderne fizike. Ljubljana, DZS: 400 str.
- Castagnede B., Aknine A., Brouard B., Tarnow V. 2000. Effects of compression on the sound absorption of fibrous materials. *Applied Acoustics*, 61: 173–182
- Fahy F. 2001. Foundations of engineering acoustics. London, Academic Press: 443 str.
- Harris C. M. 1979. Handbook of noise control. 2nd edition, New York: McGraw-Hill
- Hongisto V. 2000. Sound insulation of doors-part1: prediction models for structural and leak transmission. *Journal of sound and vibration*, 230: 133–148
- Jayaraman K. A. 2005. Acoustical Absorptive Properties of Nonwovens. Raleigh. Textile Management And Technology: 123 str.
- Kawasaki T., Zhang M., Kawai S. 1998. Manufacture and properties of ultra-low-density fiberboard. *Journal of wood science*, 44: 354–360
- Omran T. A., El-Sayed A. B., El-Shorbagy K. A. 1980. Sound absorption by wood in relation to anatomical and mechanical properties. *Applied Acoustics*, 13: 449–456
- Park J., Mongeau L., Siegmund T. 2003. Influence of support properties on the sound radiated from the vibrations of rectangular plates. *Journal of sound and vibration*, 264: 775–794
- Sakagami K., Uyama T., Morimoto M., Kiyama M. 2005. Prediction of the reverberation absorption coefficient of finite-size membrane absorbers. *Applied Acoustics*, 66: 653–668
- Stewart M. A., Craik R. J. M. 2000. Impact sound transmission through a floating floor on a concrete slab. *Applied Acoustics*, 59: 353–372

Wassilief C. 1996. Sound absorption of wood-based materials. Applied acoustics, 48, 4: 339–356

Wang C.-N., Torng J.-H. 2001. Experimental study of the absorption characteristics of some porous fibrous materials. Applied Acoustics, 62: 447–459

Xu J., Widyorini R., Han G., Kawai S., Sugawara R. 2004. Manufacture and properties of low-density binderless particleboard from kenaf core. Journal of wood science, 50: 62–67

Izvedba akustične izolacije, 2008

<http://gradimo.com/gradimo.html?lev0=2&lev1=15&lev2=89&lev3=549>

( 16.1.2008)

Raven zvoka v industriji, 2008

<http://www.gp.com/build/documentwiever.aspx?repository=bp&elementid=3804>

(15.1.2008 )

Delo z akustičnimi materiali, 2008

[http://www.me.mtu.edu/courses/meem4704/class/SAE\\_material\\_property\\_measurements.pdf](http://www.me.mtu.edu/courses/meem4704/class/SAE_material_property_measurements.pdf) ( 16.1.2008 )

Merjenje zvoka in vibracij, 2007

[http://www.noiseoff.org.nz/resources/bruel\\_kjaer\\_sound\\_and\\_vibration\\_measurment\\_as.pdf](http://www.noiseoff.org.nz/resources/bruel_kjaer_sound_and_vibration_measurment_as.pdf) (15.12.2007)

Decibel, 2007

<http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/dB.html> (15.1.2008)

Brüel & Kjær, Specifikacija pospeškomera

Brüel & Kjær, Specifikacija mikrofona



## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se Oddelku za lesarstvo, katedri za žagarstvo in lesna tvoriva, da so mi omogočili izdelavo diplomskega dela.

Za strokovno vodenje pri izdelavi diplome bi se zahvalil mentorju doc. dr. Sergeju Medvedu ter somentorju prof. Bojanu Bučarju. Zahvaljujem se tudi vsem ostalim zaposlenim na Oddelku za lesarstvo, ki so mi kakor koli pomagali.

Zahvaljujem se tudi domačim, ki so me spodbujali v času študija.

## PRILOGE

### Priloga A:

Karakteristika plošče frakcije med 1.5 in 1 v območju med 10Hz in 1000Hz

| Hz  | det.<br>amplitude: |    | tlak ( Pa ) | pospešek ( mm/s-2) |
|-----|--------------------|----|-------------|--------------------|
| 10  | 1,74               | mV | 0,005506329 |                    |
|     | 7,2                | mV |             | 0,02278481         |
| 20  | 3,75               | mV | 0,011867089 |                    |
|     | 7,22               | mV |             | 0,022848101        |
| 30  | 3,29               | mV | 0,010411392 |                    |
|     | 12,65              | mV |             | 0,040031646        |
| 40  | 8,85               | mV | 0,028006329 |                    |
|     | 58,94              | mV |             | 0,186518987        |
| 50  | 33,45              | mV | 0,10585443  |                    |
|     | 150,54             | mV |             | 0,476392405        |
| 60  | 36,25              | mV | 0,11471519  |                    |
|     | 138,31             | mV |             | 0,437689873        |
| 70  | 31,15              | mV | 0,098575949 |                    |
|     | 222,94             | mV |             | 0,705506329        |
| 80  | 77,9               | mV | 0,246518987 |                    |
|     | 217,41             | mV |             | 0,688006329        |
| 90  | 30,3               | mV | 0,095886076 |                    |
|     | 114,36             | mV |             | 0,361898734        |
| 100 | 101,93             | mV | 0,322563291 |                    |
|     | 317,92             | mV |             | 1,006075949        |
| 110 | 210,81             | mV | 0,667120253 |                    |
|     | 187,97             | mV |             | 0,594841772        |
| 120 | 237,8              | mV | 0,752531646 |                    |
|     | 1,29               | V  |             | 4,082278481        |
| 130 | 303,97             | mV | 0,96193038  |                    |
|     | 1,62               | V  |             | 5,126582278        |
| 140 | 594,87             | mV | 1,8825      |                    |
|     | 2,31               | V  |             | 7,310126582        |
| 150 | 993,84             | mV | 3,145063291 |                    |
|     | 5,33               | V  |             | 16,86708861        |
| 160 | 600,98             | mV | 1,901835443 |                    |
|     | 4,85               | V  |             | 15,34810127        |
| 170 | 486,75             | mV | 1,540348101 |                    |
|     | 2,75               | V  |             | 8,702531646        |
| 180 | 764,12             | mV | 2,418101266 |                    |
|     | 2,19               | V  |             | 6,930379747        |

se nadaljuje...

nadaljevanje...

|     |        |    |             |
|-----|--------|----|-------------|
| 190 | 463,66 | mV | 1,467278481 |
|     | 1,6    | V  | 5,063291139 |
| 200 | 543,67 | mV | 1,720474684 |
|     | 1,22   | V  | 3,860759494 |
| 210 | 351,06 | mV | 1,110949367 |
|     | 810,54 | mV | 2,565       |
| 220 | 326,05 | mV | 1,031803797 |
|     | 1,71   | V  | 5,411392405 |
| 230 | 387,29 | mV | 1,225601266 |
|     | 1,4    | V  | 4,430379747 |
| 240 | 300,66 | mV | 0,951455696 |
|     | 984,8  | mV | 3,116455696 |
| 250 | 156,79 | mV | 0,496170886 |
|     | 1,14   | V  | 3,607594937 |
| 260 | 142,95 | mV | 0,452373418 |
|     | 142,89 | mV | 0,452183544 |
| 270 | 432,79 | mV | 1,369588608 |
|     | 1,23   | V  | 3,892405063 |
| 280 | 571,39 | mV | 1,808196203 |
|     | 1,94   | V  | 6,139240506 |
| 290 | 643,95 | mV | 2,037816456 |
|     | 2,09   | V  | 6,613924051 |
| 300 | 356,61 | mV | 1,128512658 |
|     | 1,03   | V  | 3,259493671 |
| 310 | 270,82 | mV | 0,857025316 |
|     | 273,98 | mV | 0,867025316 |
| 320 | 236,9  | mV | 0,749683544 |
|     | 1,66   | V  | 5,253164557 |
| 330 | 332,73 | mV | 1,052943038 |
|     | 1,21   | V  | 3,829113924 |
| 340 | 388,24 | mV | 1,228607595 |
|     | 696,14 | mV | 2,202974684 |
| 350 | 403,17 | mV | 1,27585443  |
|     | 395,12 | mV | 1,250379747 |
| 360 | 222,76 | mV | 0,704936709 |
|     | 315,93 | mV | 0,999778481 |
| 370 | 348,87 | mV | 1,104018987 |
|     | 503,93 | mV | 1,59471519  |
| 380 | 637,45 | mV | 2,017246835 |
|     | 329,07 | mV | 1,041360759 |
| 390 | 592,41 | mV | 1,87471519  |
|     | 117,39 | mV | 0,371487342 |
| 400 | 405,59 | mV | 1,283512658 |
|     | 253,88 | mV | 0,803417722 |

se nadaljuje...

nadaljevanje...

|     |        |    |             |
|-----|--------|----|-------------|
| 410 | 476,29 | mV | 1,507246835 |
|     | 429,53 | mV | 1,359272152 |
| 420 | 374,83 | mV | 1,186170886 |
|     | 645,7  | mV | 2,04335443  |
| 430 | 260,8  | mV | 0,825316456 |
|     | 706,15 | mV | 2,234651899 |
| 440 | 147,89 | mV | 0,468006329 |
|     | 614,95 | mV | 1,946044304 |
| 450 | 210,48 | mV | 0,666075949 |
|     | 468,1  | mV | 1,481329114 |
| 460 | 228,1  | mV | 0,721835443 |
|     | 297,15 | mV | 0,940348101 |
| 470 | 274,75 | mV | 0,869462025 |
|     | 129,62 | mV | 0,410189873 |
| 480 | 206,74 | mV | 0,654240506 |
|     | 149,83 | mV | 0,47414557  |
| 490 | 91,11  | mV | 0,288322785 |
|     | 192,03 | mV | 0,607689873 |
| 500 | 97,69  | mV | 0,30914557  |
|     | 269,81 | mV | 0,853829114 |
| 510 | 126,72 | mV | 0,401012658 |
|     | 392,02 | mV | 1,24056962  |
| 520 | 150,71 | mV | 0,47693038  |
|     | 602,85 | mV | 1,907753165 |
| 530 | 110,87 | mV | 0,35085443  |
|     | 876,69 | mV | 2,774335443 |
| 540 | 52,75  | mV | 0,16693038  |
|     | 1,18   | V  | 3,734177215 |
| 550 | 84,61  | mV | 0,267753165 |
|     | 1,57   | V  | 4,96835443  |
| 560 | 75,86  | mV | 0,240063291 |
|     | 1,81   | V  | 5,727848101 |
| 570 | 73,8   | mV | 0,233544304 |
|     | 1,62   | V  | 5,126582278 |
| 580 | 107,45 | mV | 0,340031646 |
|     | 1,31   | V  | 4,14556962  |
| 590 | 81,34  | mV | 0,257405063 |
|     | 1,06   | V  | 3,35443038  |
| 600 | 125,63 | mV | 0,397563291 |
|     | 821,96 | mV | 2,601139241 |
| 610 | 59,66  | mV | 0,188797468 |
|     | 737,51 | mV | 2,333892405 |

se nadaljuje...

nadaljevanje...

|     |        |    |             |
|-----|--------|----|-------------|
| 620 | 66,82  | mV | 0,211455696 |
|     | 781,65 | mV | 2,473575949 |
| 630 | 57,94  | mV | 0,18335443  |
|     | 779,79 | mV | 2,467689873 |
| 640 | 54,52  | mV | 0,172531646 |
|     | 500,25 | mV | 1,58306962  |
| 650 | 62,73  | mV | 0,198512658 |
|     | 536,62 | mV | 1,698164557 |
| 660 | 62,87  | mV | 0,198955696 |
|     | 461,32 | mV | 1,459873418 |
| 670 | 65,1   | mV | 0,206012658 |
|     | 625,32 | mV | 1,978860759 |
| 680 | 71,67  | mV | 0,226803797 |
|     | 935,82 | mV | 2,961455696 |
| 690 | 132,8  | mV | 0,420253165 |
|     | 865,43 | mV | 2,738702532 |
| 700 | 104,85 | mV | 0,331803797 |
|     | 525,35 | mV | 1,6625      |
| 710 | 95,62  | mV | 0,302594937 |
|     | 643,09 | mV | 2,035094937 |
| 720 | 81,96  | mV | 0,259367089 |
|     | 1,08   | V  | 3,417721519 |
| 730 | 69,35  | mV | 0,219462025 |
|     | 1,45   | V  | 4,588607595 |
| 740 | 75,89  | mV | 0,240158228 |
|     | 1,43   | V  | 4,525316456 |
| 750 | 55,62  | mV | 0,176012658 |
|     | 1,11   | V  | 3,512658228 |
| 760 | 69,78  | mV | 0,220822785 |
|     | 1,01   | V  | 3,196202532 |
| 770 | 32,66  | mV | 0,10335443  |
|     | 1,21   | V  | 3,829113924 |
| 780 | 70,5   | mV | 0,223101266 |
|     | 1,48   | V  | 4,683544304 |
| 790 | 55,86  | mV | 0,176772152 |
|     | 1,54   | V  | 4,873417722 |
| 800 | 85,63  | mV | 0,270981013 |
|     | 1,45   | V  | 4,588607595 |
| 810 | 60,95  | mV | 0,192879747 |
|     | 1,07   | V  | 3,386075949 |
| 820 | 27,97  | mV | 0,088512658 |
|     | 607,92 | mV | 1,923797468 |
| 830 | 54,94  | mV | 0,173860759 |
|     | 691,84 | mV | 2,189367089 |

se nadaljuje...

nadaljevanje...

|      |        |    |             |
|------|--------|----|-------------|
| 840  | 34,19  | mV | 0,108196203 |
|      | 779,12 | mV | 2,46556962  |
| 850  | 33,91  | mV | 0,107310127 |
|      | 984,75 | mV | 3,116297468 |
| 860  | 48,43  | mV | 0,153259494 |
|      | 1,09   | V  | 3,449367089 |
| 870  | 24,76  | mV | 0,07835443  |
|      | 1,13   | V  | 3,575949367 |
| 880  | 74,42  | mV | 0,235506329 |
|      | 1,16   | V  | 3,670886076 |
| 890  | 88,12  | mV | 0,278860759 |
|      | 1,27   | V  | 4,018987342 |
| 900  | 107,26 | mV | 0,33943038  |
|      | 1,42   | V  | 4,493670886 |
| 910  | 80,45  | mV | 0,254588608 |
|      | 1,45   | V  | 4,588607595 |
| 920  | 49,63  | mV | 0,157056962 |
|      | 1,28   | V  | 4,050632911 |
| 930  | 50,27  | mV | 0,159082278 |
|      | 1,15   | V  | 3,639240506 |
| 940  | 116,48 | mV | 0,368607595 |
|      | 1,01   | V  | 3,196202532 |
| 950  | 103,48 | mV | 0,327468354 |
|      | 1,03   | V  | 3,259493671 |
| 960  | 93,52  | mV | 0,295949367 |
|      | 940,58 | mV | 2,976518987 |
| 970  | 91,95  | mV | 0,290981013 |
|      | 862,93 | mV | 2,730791139 |
| 980  | 97,95  | mV | 0,309968354 |
|      | 705,53 | mV | 2,232689873 |
| 990  | 84,44  | mV | 0,26721519  |
|      | 568,27 | mV | 1,798322785 |
| 1000 | 68,86  | mV | 0,217911392 |
|      | 608,33 | mV | 1,925094937 |

## Priloga B:

Karakteristika plošče frakcije med 1.5 in 1 v območju med 31.5Hz in 16kHz

| Hz    | det. amplitude: |    | tlak ( Pa ) | pospešek ( mm/s-2) |
|-------|-----------------|----|-------------|--------------------|
| 31,5  | 18,45           | mV | 0,01845     |                    |
|       | 28,53           | mV |             | 0,09028481         |
| 63    | 113,53          | mV | 0,11353     |                    |
|       | 92,15           | mV |             | 0,291613924        |
| 125   | 1,29            | V  | 1,29        |                    |
|       | 1,26            | V  |             | 3,987341772        |
| 250   | 531,56          | mV | 0,53156     |                    |
|       | 962,71          | mV |             | 3,046550633        |
| 500   | 171,11          | mV | 0,17111     |                    |
|       | 397,12          | mV |             | 1,256708861        |
| 1000  | 151,63          | mV | 0,15163     |                    |
|       | 349,57          | mV |             | 1,106234177        |
| 2000  | 75,32           | mV | 0,07532     |                    |
|       | 268,75          | mV |             | 0,850474684        |
| 4000  | 60,82           | mV | 0,06082     |                    |
|       | 213,34          | mV |             | 0,675126582        |
| 8000  | 15,78           | mV | 0,01578     |                    |
|       | 15,97           | mV |             | 0,050537975        |
| 16000 | 12,08           | mV | 0,01208     |                    |
|       | 2,73            | mV |             | 0,008639241        |

## Priloga C:

### Receptura za pripravo plošče

#### OSNOVNI PODATKI

|                       |     |    |
|-----------------------|-----|----|
| Dolžina plošče ( L )  | 50  | cm |
| Širina plošče ( B )   | 50  | cm |
| debelina plošče ( D ) | 1,6 | cm |
| Vlaga plošče ( U )    | 8   | %  |

#### PARAMETRI

|                                           | Iverje  | Fak. obl.         | P.E.  | Utrjevalec | U <sub>iv.</sub> | U <sub>obl. iv.</sub> |
|-------------------------------------------|---------|-------------------|-------|------------|------------------|-----------------------|
|                                           | 100,00% | 11,50%            | 1,00% | 0,000%     | 0,00%            | 13,00%                |
| Koncentracija PE                          | 60,00%  |                   |       |            |                  |                       |
| Koncentracija trdilca                     | 20,00%  |                   |       |            |                  |                       |
| S.S. lepilne smole                        | 65,50%  |                   |       |            |                  |                       |
| Atro prost. masa plošče (ρ <sub>0</sub> ) | 0,550   | g/cm <sup>3</sup> |       |            |                  |                       |
| Masa atro iveri                           | 1956    | g                 |       |            |                  |                       |

atro = v absolutno suhem stanju

#### MATERIAL ( atro )

|            | g       |
|------------|---------|
| Iverje     | 1955,80 |
| Lepilo     | 224,92  |
| Parafin    | 19,56   |
| Utrjevalec | 0       |
| Σ          | 2200,28 |

#### MATERIAL

|            | ZS      |                                                        |
|------------|---------|--------------------------------------------------------|
|            | g       |                                                        |
| Iverje     | 1955,8  | potrebni material za izdelavo ene plošče               |
| Lepilo     | 343,38  |                                                        |
| Parafin    | 32,60   |                                                        |
| Utrjevalec | 0       |                                                        |
| Voda       | 154,53  |                                                        |
| Σ          | 2486,31 | skupna masa, katera je potrebna za izdelavo ene plošče |

ŠTEVILO PLOŠČ 2,2

| <b><u>MATERIAL</u></b> | <b>ZS</b>      |                                                        |
|------------------------|----------------|--------------------------------------------------------|
|                        | <b>g</b>       |                                                        |
| Iverje                 | 4302,76        | potrebni material za izdelavo dveh plošč               |
| Lepilo                 | 755,45         |                                                        |
| Parafin                | 71,71          |                                                        |
| Barvilo / Utrjevalec   | 0              |                                                        |
| Voda                   | 339,96         |                                                        |
| <b>Σ</b>               | <b>5469,88</b> | skupna masa, katera je potrebna za izdelavo dveh plošč |
| čas stiskanja          | 6              | min                                                    |
| temperatura stiskanja  | 180°           | C                                                      |
| tlak stiskanja         | 90             | bar                                                    |

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Miha MRAVLAK

**VPLIV DEBELINE IN GOSTOTE IVERNIH IN VLAKNINSKIH  
PLOŠČ NA NJIHOVE AKUSTIČNE LASTNOSTI**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2009

