



DEGREE PROJECT IN TECHNOLOGY,
FIRST CYCLE, 15 CREDITS
STOCKHOLM, SWEDEN 2019

Determination of absorption factor for new composite material

EMELIE ROSENBERG

RASMUS LYSELL



EXAMENSARBETE INOM TEKNIK,
GRUNDNIVÅ, 15 HP
STOCKHOLM, SVERIGE 2019

Beräkning av absorptionskoefficient för kompositmaterial

RASMUS LYSELL

EMELIE ROSENBERG

Sammanfattning

I artikeln behandlas mätningar av absorptionskoefficienten, parametern som beskriver hur ljud absorberas, för ett nytt kompositmaterial framtaget för bland annat installation i Globen. De metoder som användes begränsades till mätning i efterklangsrumsrum samt mätningar med en ljudintensitetsprob. Frågeställningen var vad för värde på absorptionskoefficienten de olika metoderna gav samt för - och nackdelar mellan metoderna. Båda metoderna gav en koefficient på $\alpha \approx 0.8$ för flertalet frekvensband. Trots likheter i resultat ansågs mätningen i efterklangsrumsrummet som mer pålitligt i och med dess noggranna standard. För båda metoderna ansågs resultatet ha störst användbarhet i jämförelsesyfte för att jämföra materialet med andra material framtagna för liknande användningsområden.

Nyckelord: absorptionskoefficient, efterklangsrumsrum, ljudintensitet

Abstract

This article is about measurements of the absorption factor, describing how well a material absorbs sound, for a new composite material meant to be installed in, for instance, Globen. The methods used were measurements in a reverberation room and measurements with sound intensity. Questions dealt with were what the value of the absorption factor would be for both the methods and pros and cons between them. For both methods, an absorption factor of $\alpha \approx 0.8$ was obtained in several of the frequencies. Despite the similar results, the measurement in the reverberation room was regarded as more reliable due to its more rigorous standard. The result was, for both the methods, said to be most reliable to compare the material with other materials meant to have similar characteristics to see which is best to use.

Key words: absorption factor, reverberation room, sound intensity

Förord

Artikeln behandlar ett kandidatexamensarbete inom ljud och vibrationer vid Kungliga Tekniska Högskolan, vårterminen 2019. Läsaren förväntas vara bekant med grundläggande teori inom ljud och vibrationer och grundläggande högskolematematik.

Vi vill tacka vår handledare Andreas Håkansson på LN akustik för den ovärderliga hjälpen vi fått genom hela projektet. Tack för att du fått oss att se hur en framtid som akustiker kan se ut. Vi vill fortsätta med att tacka vår handledare Leping Feng för det stöd du gett oss under våra mätningar. Ett sista tack till vår huvudhandledare Hans Bodén för de intressanta seminarier vi haft under detta halvår.

Kapitel 1 går igenom lite bakomliggande teori samt syftet med artikeln. Kapitel 2 går igenom själva mätningarna samt vilka antaganden som tagits hänsyn till. I kapitel 3 presenteras resultatet av mätningarna och i kapitel 4 diskuteras dessa för att i kapitel 5 kunna presentera en slutsats.

Innehåll

1 Inledning	4
1.1 Bakgrund	4
1.2 Syfte och begränsningar	4
1.3 Frågeställning	4
1.4 Material	4
2 Utförande	4
2.1 Mätning i efterklangsrum	4
2.1.1 Bakomliggande teori	4
2.1.2 Metodbeskrivning	5
2.2 Mätning med ljudintensitet	6
2.2.1 Bakomliggande teori	6
2.2.2 Metodbeskrivning	7
2.2.3 Begränsningar	7
3 Resultat	8
3.1 Mätning med efterklangsrummet	8
3.2 Mätning med intensitet	9
4 Diskussion	9
5 Slutsats	11
6 Appendix	12
Referenser	12

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Den ikoniska arenan Globen i Stockholm ska byggas om då ljudkvalitén inte håller önskad kvalitet. Arenan används idag till konserter och sportarrangemang, främst ishockeymatcher, något som i framtiden kommer bli än fler då Hovet ska rivas. För att hitta en bra lösning har man valt att titta på just Hovet som har ett fungerande ljudisoleringsystem. Där finns det en absorber i taket som effektivt reflekterar ljud från frekvenser i mänskligt tal (frekvensområdet 250-4000 Hz) [1] och absorberar övrigt ljud. Nu vill man skapa den effekten i Globen också, för att på så sätt göra Globen till en attraktiv hockeyarena.[2] LN akustik har då, tillsammans med ett konstruktionsföretag, tagit fram en kompositabsorbent som ska ha de önskade egenskaperna. Absorptionskoefficienten är en parameter som beskriver hur bra ett material absorberar ljud och är definierad som skillnaden mellan infallande och reflekterade ljud. De vanligaste metoderna för framtagandet av absorptionsabsorbenten är de två standardiserade metoderna "Mätning av ljudabsorption i efterklangsrum" samt "Bestämning av ljudabsorptionsfaktor i impedansrör".[3] Bestämning av absorptionskoefficient med hjälp av ljudintensitet är inte en standardiserad metod.

1.2 Syfte och begränsningar

Syftet med projektet, är att mäta absorptionskoefficienten för en kompositabsorbent med två olika metoder, efterklangstid och ljudintensitet. Metoderna ska även diskuteras samt det ska undersökas om materialet är användbart för det ändamål som eftertraktas och beskrivs i bakgrunden.

Projektet är begränsat till två mätmetoder och endast ett material på grund av storleken på kandidatexamensarbetet. Att just dessa metoder valdes beror på att mätning i efter-

klangsrum är en standardiserad metod och borde därför ge bra resultat och mätning med ljudintensitet valdes med hänsyn till att beställaren (LN akustikmiljö) önskade jämförelse mellan metoderna.

1.3 Frågeställning

- Vad blir absorptionskoefficienten för absorbenten vid mätning med hjälp av ljudintensitet?
- Vad blir absorptionskoefficienten för absorbenten vid mätning med hjälp av efterklangstid?
- Hur väl fungerar metoderna och har materialet önskade egenskaper?

1.4 Material

Absorptionskoefficienten studeras för en lamellmatta med armerad aluminumfolie med ullens huvudsakliga fiberriktning vinkelrätt mot beklädnaden. Ett prov av materialet är 2500 x 1000 x 100 mm.

2 Utförande

2.1 Mätning i efterklangsrum

I detta avsnitt behandlas mätningen som utfördes i efterklangsrummet. Ett efterklangsrum är ett stort rum med hårda ytor som är framtaget för att producera ett diffust ljudfält överallt i rummet. Det betyder att energitätheten är samma överallt i rummet. Vid användning av denna metod bestäms Sabiners absorptionskoefficient, vilket är absorptionskoefficienten för diffusa fält.[4]

2.1.1 Bakomliggande teori

Metoden bygger på att man mäter efterklangstiden utan absorbent och sedan mäter man efterklangstiden med absorbent. Efterklangstiden är ett mått på hur lång tid det tar för ljudtrycksnivån att minska med 60 dB. Oftast använts rosa brus. Det går att mätas i RT60 men även RT20 eller RT30

där 60, 20 respektive 30 står för hur mycket minskning av ljudtrycksnivån som man mäter. Vid användning av RT20 multipliceras efterklangstiden med en faktor 3 och vid RT30 multipliceras det med en faktor 2. RT60 används nästan aldrig utan det vanligaste är att beräkna det från RT20 eller RT30. Med hjälp av efterklangstiden utan absorber, T_1 (s) och efterklangstiden med absorber T_2 (s) går det att beräkna den ekvivalenta absorptionsarean enligt

$$A_T = \frac{55.3V}{c} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (2.1)$$

där $A_T(m^2)$ är den ekvivalenta absorptionsarean för provet, c (s) är ljudhastigheten och V (m^3) är det tomma rummets volym. Absorptionskoefficienten blir då

$$\bar{\alpha}_s = \frac{A_T}{S} \quad (2.2)$$

där $S(m^2)$ är provets area. Med ekvation 2.1 och 2.2 får vi Sabines formel enligt

$$\alpha = \frac{55.3V}{Sc} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (2.3)$$

Vid användning av Sabines formel antas idealt diffust fält. Testet ger inte sann mätning av absorptionskoefficienten på materialet utan ger endast ett mått på hur mycket materialet påverkar efterklangstiden i rummet.[3] [5] Beräkning av resultatet i oktavband från tersband görs enligt ekvation 2.4.

$$\alpha_{oct} = \frac{\sum_i \alpha_i f_i}{\sum_i f_i} \quad (2.4)$$

2.1.2 Metodbeskrivning

Efterklangsmätningarna är baserade på diffust ljudfält. Ljudvågor infaller på materialet godtycklig från alla vinklar. Enligt standard måste

$$10 m^2 \leq S \leq 12 m^2 \quad (2.5)$$

där S (m^2) sedan tidigare är känt som provets area, varför en yta på $S = 10.5 m^2$

användes för mätningen. Vidare gäller att volymen V (m^3) måste uppfylla

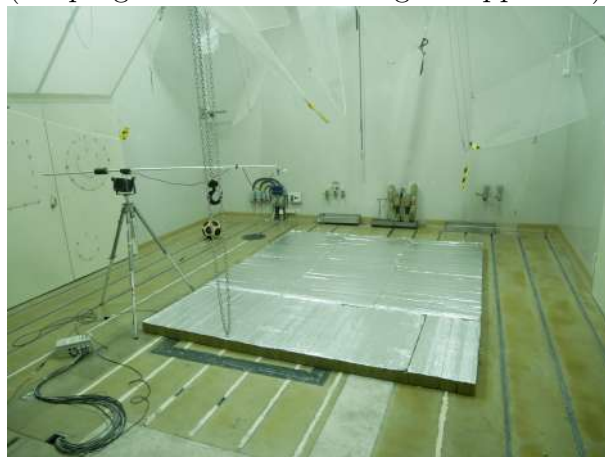
$$V \geq 200 m^3 \quad (2.6)$$

vilket efterklangsrummet i MWL på KTH uppfyller i och med dess volym på $V \approx 247 m^3$. Efterklangsrummet i MWL är inte kvalificerat för mätning under 100 Hz. En mikrofon placerades på ett avstånd på drygt en och en halv meter ifrån provet och en högtalare med flera strålningsriktningar placerades på tolv olika ställen, alla med ett avstånd på minst två meter från mikrofonen. Allt enligt standarden för mätningar i efterklangsrum. Vid mätningen var det 19.70 °C, luftfuktigheten låg på 20.56 % och lufttrycket var 1007.14 hPa. Trots att luftfuktigheten inte uppfyllde standarden (30 – 90%) antogs detta inte påverka resultatet nämnvärt då alla mätningar gjordes under samma dag och luftfuktigheten inte förändrades under dagen.[5] Uppställningen visas i figur 2.1.

Efterklangstiden beräknades genom att mäta tiden för vilket det tog ljudnivån att minska 60 dB. Det sker genom att beräkna effektivvärdet av ljudtrycket som ett medelvärde enligt

$$\tilde{p}^2(t) = \frac{1}{T_{av}} \int_{t-T_{av}}^t p^2(\tau) d\tau \quad (2.7)$$

där T_{av} (s) måste vara mycket kortare än efterklangstiden.[4] Då kan efterklangstiden bestämmas genom regressionsanalys av ljudtrycksnivån vid två olika tidpunkter. Med hjälp av MATLAB kunde denna regressionsanalys genomföras (för programmets utformning se Appendix).



Figur 2.1: Efterklangersrummet med materialet utplacerat

2.2 Mätning med ljudintensitet

I detta avsnitt behandlas mätningen som utfördes med hjälp av ljudintensitet. Vid denna typ av metod mäts en annan typ av absorptionskoefficient, den så kallade normal incidence absorption coefficient.

2.2.1 Bakomliggande teori

Vid mätning av ljudintensitet antas harmoniska, plana vågor och teorin bakom mätningarna bygger på kända samband kring ljudintensiteten som funktion av positionen och tiden, nämligen att

$$\vec{I}(\vec{r}, t) = p(\vec{r}, t) \cdot \vec{u}(\vec{r}, t) \quad (2.8)$$

där \vec{I} (W/m^2) är ljudintensiteten, p (Pa) är ljudtrycket och \vec{u} (m/s) är partikelhastigheten. Notera att både intensiteten och partikelhastigheten är vektorer med en viss riktning medan ljudtrycket saknar riktning. Att mäta ljudtryck är tämligen rättfram, medan mätning av partikelhastighet är betydligt svårare. Lösningen är att mäta ljudtrycket vid två närliggande punkter och approximera partikelhastigheten indirekt genom att mäta ljudtrycket vid två närliggande punkter och approximera partikelhastigheten utifrån det. Om plan vågutbredning antas kan vågekvationen formuleras som

$$\frac{\partial p(t)}{\partial r} + \rho_0 \frac{\partial u_r(t)}{\partial t} = 0 \quad (2.9)$$

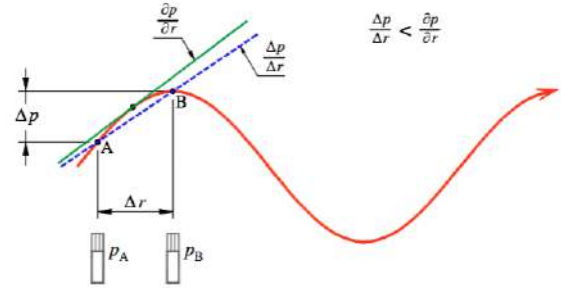
vilket ger partikelhastigheten som funktion av tiden enligt

$$u_r(t) = -\frac{1}{\rho_0} \int_{-\infty}^t \frac{\partial p(\tau)}{\partial r} d\tau \quad (2.10)$$

$$u_r(t) \approx -\frac{1}{\rho_0} \int_{-\infty}^t \frac{\Delta p(\tau)}{\Delta r} d\tau \quad (2.11)$$

$$u_r(t) \approx -\frac{1}{\rho_0} \int_{-\infty}^t \frac{p_2(\tau) - p_1(\tau)}{\Delta r} d\tau \quad (2.12)$$

där ρ (kg/m^3) är luftens densitet, p_1 och p_2 (Pa) är trycken uppmätta av respektive mikrofon och Δr (m) är avståndet mellan dem. Denna approximation på hastigheten fungerar ifall mikrofonerna A och B är monterade nära varandra i förhållande till våglängden $\Delta r < \lambda$, se figur 2.2



Figur 2.2: Finita differens approximation på tryckgradienten

Ljudtrycket mitt i proben kan då approximeras till ekvation 2.8.

$$p(t) = \frac{p_1(t) + p_2(t)}{2} \quad (2.13)$$

[6] [7] Vi antar plana vågor och att testytan är en homogen plan yta. Vid dessa antaganden kan vi även anta att de reflekterade vågorna är plana. Ljudintensitet i riktningen av ljudvågutbredningen har relationen med ljudtrycket enligt

$$I_{tot} = \frac{\hat{p}^2}{\rho_0 c} \quad (2.14)$$

där ρ_0 (kg/m^3) är rummets densitet. Den uppmätta intensiteten är sedan skillnaden mellan den infallande och den reflekterande intensiteten enligt

$$I_{meas} = \frac{\hat{p}_i^2}{\rho_0 c} - \frac{\hat{p}_r^2}{\rho_0 c} \quad (2.15)$$

där \hat{p}_i och \hat{p}_r (Pa) är det infallande och reflekterande bidraget till ljudtrycket respektive. Absorptionskoefficienten är definierad enligt

$$\alpha = 1 - \frac{W_r}{W_i} \quad (2.16)$$

vilket är ekvivalent med

$$\alpha = 1 - \frac{I_r}{I_i} \quad (2.17)$$

där I_i och I_r (W/m^2) är infallande respektive reflekterade intensitet. Med antagande om att p_i och p_r för olika frekvenser, när de exciteras mot brus, inte är koherenta samt insikten från ekvation 2.15 att

$$I_i = \frac{p_i^2}{\rho_0 c}, \quad I_r = \frac{p_r^2}{\rho_0 c} \quad (2.18)$$

fås från ekvation 2.17 med antagandet om att rumsmedelvärdet av $p_i \cdot p_r = 0$ att

$$\alpha = \frac{2 \cdot I_{meas}}{I_{tot} + I_{meas}} \quad (2.19)$$

Med antagande om att $L_{I_{tot}} \approx L_p$ fås slutligen att

$$\alpha = \frac{2}{1 + 10^{\frac{L_p - L_I}{10}}} \quad (2.20)$$

där L_p och L_I (dB) är ljudtrycksnivån och ljudintensitetsnivån respektive. [4][7]

2.2.2 Metodbeskrivning

Mätning av intensiteten gjordes med en probe av typen face-to-face och ljudtrycksmätaren Bruel Kjaer modell 2270.

Ett prov på $2.5 m^2$ av absorbenten placerades mot väggen och mellan vägg och absorbent placerades en träplanka. Träplankan placerades så att testet skulle efterlikna mätningen i efterklangsrummet då provet placerades på golvet. Figur 2.3 visar uppställningen.



Figur 2.3: Mätning i ekofriarummet

En högtalare som alstrade rosa brus placerades sedan cirka tre meter från provet. Proben cirkulerades sedan mellan högtalaren och provet för att mäta ljudintensiteten och ljudtrycket. Vid mätning rörde proben i vertikal- och horisontell led för att få ett rumsmedelvärde. Då mätningen gjordes tvådimensionellt, med antagandet om plana vågor, var det viktigt att proben alltid var parallellt med det infallande ljudet. Instrumentet gav skillnaden mellan ljudtrycksnivå och ljudintensitetsnivå som ett PI-index enligt

$$PI = L_p - L_I \quad (2.21)$$

från vilket absorptionskoefficientern kan beräknas från ekvation 2.20.

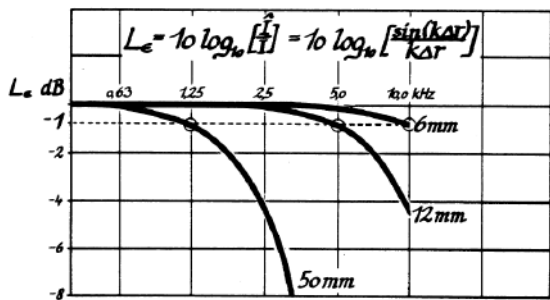
Mätningarna gjordes i tersband mellan 50-5000 Hz och upprepades sex gånger för varje avstånd mellan mikrofonerna (50 mm och 12mm). Proceduren upprepades i oktavband för frekvenserna 31.5-8000 Hz där även ett ytterligare avstånd på 6 mm användes.

2.2.3 Begränsningar

För att kunna använda ekvation 2.12 krävs det att mikrofonerna A och B är monterade nära varandra i förhållande till den akustiska våglängden, se figur 2.2. Den uppmätta approximativa tryckgradienten $\frac{\Delta p}{\Delta r}$ kommer alltid vara mindre än den exakta tryckgradienten $\frac{\partial p}{\partial r}$ vilket innebär att den uppmätta tryckgradienten alltid kommer vara för låg. Det systematiska felet i den mätta ljudintensitetsnivån som resultat av detta kan uttryckas som

$$L_\epsilon = 10 \text{Log} \left(\frac{\sin(k\Delta r)}{k\Delta r} \right) \quad (2.22)$$

där k är vågtalet och Δr är avståndet mellan mikrofonerna. Felet för olika avstånd mellan mikrofonerna visas i figur 2.4.

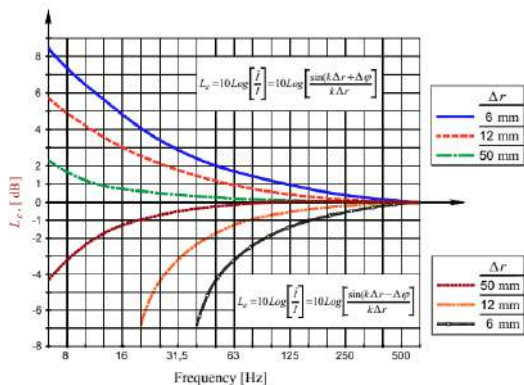


Figur 2.4: Systematiska felet i den mätta ljudintensitetsnivån för olika avstånd på mikrofonerna (Bruel & Kjaer).

Vid mätning med en probe som använder FFT-metoden kommer det finnas slumpvisa fel i det uppmätta krosspektrumet mellan signalerna. Detta fel ger en lägre gräns för användbar frekvens vid ett visst avstånd mellan mikrofonerna Δr . Felet orsakas av fasskillnader och är relevant vid $\Delta\phi > 0.2k\Delta r$. Detta fel kan skrivas som ekvation 2.23

$$L_e = 10 \text{Log} \left(\frac{\sin(k\Delta r \pm \Delta\phi)}{k\Delta r} \right) \quad (2.23)$$

Felet i ljudintensitetsnivån kan vara både negativt och positivt beroende på fasfelet. Ett exempel på hur felen kan se ut vid ett en vinkel på 0.2° visas i figur 2.5.



Figur 2.5: Negativa och positiva fassfelen vid en fas omatchning på 0.2°

3 Resultat

I detta avsnitt presenteras de resultat som mätningarna gav.

3.1 Mätning med efterklangsrummet

För mätning i tersband blir medelabsorptionskoefficienterna enligt tabell 1. Resultaten i oktavbandet är uträknade med hjälp av data från tersbandsmätningarna. Dessa värden presenteras i tabell 2.

Det plottade resultatet från tabell 1 och tabell 2 går att beskåda i figur 3.1 där absorptionskoefficienten är plottad mot frekvenserna i de relevanta ters- respektive oktavbanden.

Från tabell 1 och 2 samt figur 3.1 går det att avläsa att materialet har god absorption för de högre frekvenserna där absorptionskoefficienten $\alpha \approx 0.8$. Bäst absorption får materialet dock vid frekvenser mellan 500 – 1000 Hz där absorptionskoefficienten visar på nästintill totalabsorbption ($\alpha \approx 1$).

f [Hz]	α
50	0.18
63	0.30
80	0.40
100	0.49
125	0.78
160	0.82
200	0.76
250	0.62
315	0.66
400	0.72
500	0.85
630	0.96
800	0.87
1000	0.78
1250	0.81
1600	0.81
2000	0.77
2500	0.77
3150	0.79
4000	0.71
5000	0.71

Tabell 1: Absorptionskoefficienterna från efterklangsrummet i varje tersband

f [Hz]	α
63	0.31
125	0.72
250	0.67
500	0.86
1000	0.82
2000	0.78
4000	0.73

Tabell 2: Absorptionskoefficienterna från efterklangsrummet i varje oktavband

3.2 Mätning med intensitet

Medelabsorptionkoefficienterna i tersband från intensitetsmätningarna presenteras i tabell 3. Det är koefficienten för båda avstånden mellan mikrofonerna (12 mm respektive 50 mm, se kapitel 2.2.3).

f [Hz]	α 12 mm	α 50 mm
50	0.83	0.81
63	0.95	0.93
80	0.98	1.00
100	1.00	1.00
125	0.98	0.98
160	0.76	0.76
200	0.78	0.79
250	0.87	0.86
315	0.94	0.97
400	0.89	0.90
500	0.95	0.93
630	0.90	0.93
800	0.90	0.92
1000	0.77	0.81
1250	0.80	0.79
1600	0.93	0.99
2000	0.96	1.00
2500	0.94	1.00
3150	0.86	1.00
4000	0.73	0.64
5000	0.68	1.00

Tabell 3: Absorptionskoefficienterna från intensitetsmätningen i varje tersband

På samma sätt i oktavband går resultatet att beskåda i tabell 4 där ytterligare ett mellanrum på 6 mm finns med (återigen, se mer ovan).

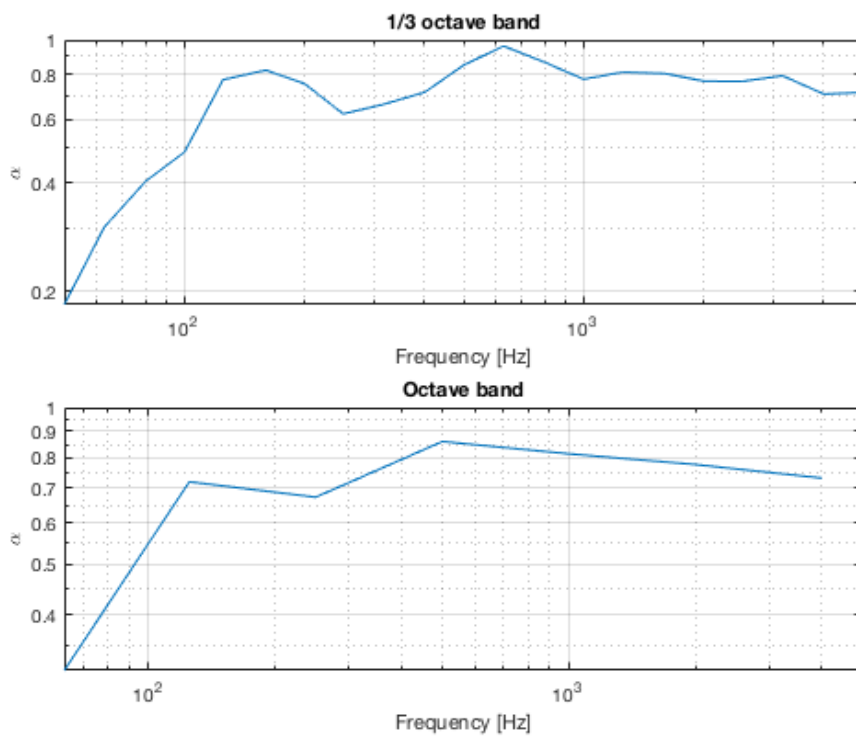
f [Hz]	α 6 mm	α 12 mm	α 50 mm
31.5	1.00	0.91	0.88
63	1.00	1.00	1.00
125	1.00	0.96	0.94
250	1.00	0.89	0.89
500	1.00	0.92	0.93
1000	1.00	0.85	0.86
2000	1.00	0.94	1.00
4000	0.97	0.76	0.17
5000	0.97	0.78	1.00

Tabell 4: Absorptionskoefficienterna från intensitetsmätningen i varje oktavband

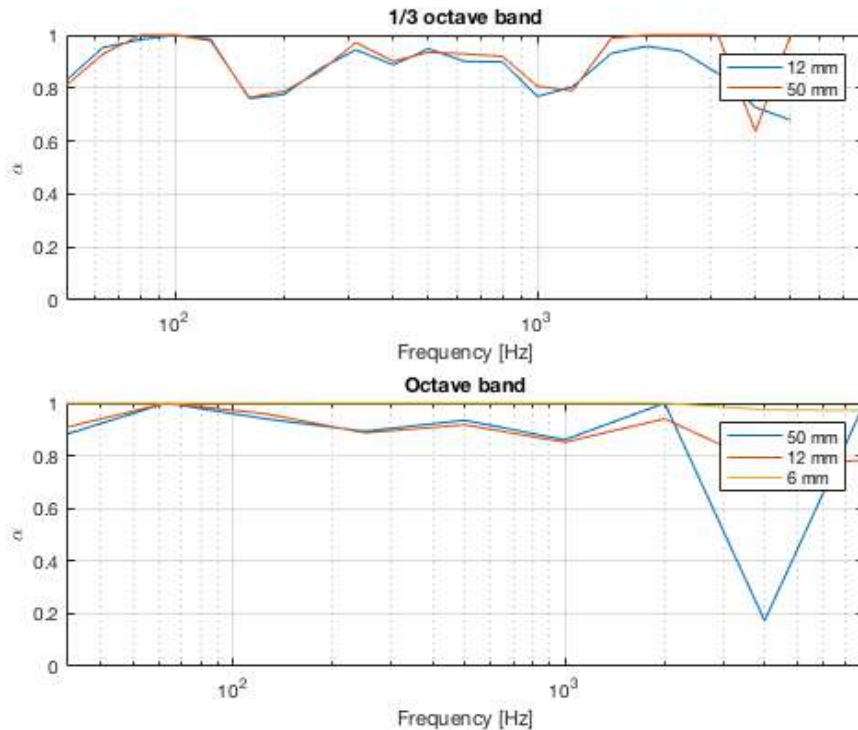
Dessa resultat finns plottade i figur 3.2 där absorptionskoefficienten plottad mot frekvenserna i de relevanta ters- respektive oktavbanden för de olika mellanrummen mellan mikrofonerna. Viktigt att belysa är att mätningarna är oberoende för intensitetsmetoden och att värdena i oktavband, till skillnad från efterklangsmätningen, inte är uträknade från tersbanden. Detta är anledningen till att de olika graferna ser olika ut, de är från två oberoende mätningar. Från tabell 3 och 4 samt figur 3.2 går det att se att absorptionskoefficienten verkar anta godtyckligt blandande värden med den här metoden och inte visa på ett tydligt samband mellan frekvensband och absorption, något som kommer diskuteras vidare i kapitel 4.

4 Diskussion

Sammanställning av resultaten från de båda metoderna visar att materialet visar på god absorption för de frekvenser som är ligger runt mänskligt tal. Tydligt är också att metoden med mätning i efterklangsrummet ger ett mer enhälligt resultat medan metoden med intensitetsprob har ett lite mer varierande resultat vilket går att se vid jämförelse av figur 3.1 och 3.2. Viktigt att ha i åtanke



Figur 3.1: Absorptionskoefficient (α) mot tersband för mätning efterklangsrummet



Figur 3.2: Absorptionskoefficient (α) för mätning med intensitetsprob

är att mätning i efterklangsrummet är en noga standardiserad metod där det största problemet med mätningen har att göra med

högtalaren skulle placeras på avstånd från rummets väggar som inte gick att uppfylla på grund av rummet begränsande storlek.

Vår tolkning av standardiseringen var att högtalaren var tvungen att flyttas 3 m från den plats den stod varje gång vi genomförde en ny mätning vilket inte gick ihop med storleken på rummet. Mätningen med intensitetsprob däremot bygger på ett antagande om endimensionell vågutbredning vilket är svårt att uppfylla i ett tredimensionellt rum. Proben var även tvungen att befinna sig i rätt vinkel med materialet, vilket adderar felet från den mänskliga faktorn. För att inte påverkas av absorption från andra ytor borde ytan bakom absorbenten varit mycket hård, vilket den (en träskiva) inte var. Allt för att efterlikna mätningarna som ägde rum i efterklangsrummet, där provet ligger på ett massivt betonggolv. En åtgärd som kan tillämpas nästa gång för att kompensera för denna skillnad mellan mätmetoderna vore att använda en större och mer solid objekt bakom provet under mätningen i det ekofriarummet.

De inneboende mätfelen i proben kommer bidra till fel vid högre och lägre frekvenser. Det är fel som varierar med avståndet mellan proben och visas i figur 2.4 och 2.5. Detta kommer bidra till små inneboende fel i mätningarna. Vi kan även utläsa att olika avstånd fungerar olika bra för olika frekvensspann. Om man undersöker figur 3.2 lite närmre går det att se att kortare avstånd verkar ge mer stabila värden för högre frekvenser och vice versa. Dock är mätningarna generellt dåliga för låga frekvenser vid mätning i tersband vilket delvis kan bero på att det är svårt att mäta vid längre våglängder. För att kunna få total absorption vid mätning i ekofriarummet för lägre frekvenser (under 100 Hz) behöver kilarna i rummet vara en bit över 1 meter. Kilarna är endast 110 cm vilket bidrar med att mätningarna vid lägre frekvenser kommer bli mindre tillförlitliga mätningar. Däremot fungerar metoden bättre än förväntat vid mätning i oktavband. Metoden är effektiv och ekonomisk fördelaktig då det enda som behövs är en intensitetsprobe.

I figur 3.1 går det att se att även i efterklangsrummet är det svårt att mäta lägre frekvenser. Som vi nämnde i kaptitel 2.1.2 är efterklangsrummet vi använde inte kvalificerat för mätningar under 100 Hz. Resultaten som presenteras för längre frekvenser än 100 Hz bör därför endast användas som referens. Detta kan även vara en anledning till resultaten vid frekvenser under 100 Hz har det utseende som de har. Utöver det så finns det vissa brister med efterklangsrummet i MWL till exempel att dörren är gjord av stål, vilket medför en viss absorption, samt att det finns springor i golvet. Detta medför att mätning av lägre frekvenser blir mindre korrekta. Resultatet borde visa att absorbenten har en hög absorptionskoefficient vid lägre frekvenser men på grund av svårigheter vid mätning av dessa blir resultatet annorlunda.

Då de två olika mätmetoderna mäter olika typer av absorptionskoefficienter är det svårt att jämföra dem. En annan metod som beräknar normal incidence absorption coefficient är den standardiserade metoden "BB-estämning av ljudabsorption i impedansrör", ISO 10534-2. Denna metod skulle vara en bra ersättningsmetod för ljudintensitetsmetoden då ISO 10534-2 är en standardiserad och välprövad metod.

För att kunna svara på frågeställningen kring hur väl materialet uppfyller önskade egenskaper behövs mer kunskap kring hur den ska appliceras.

5 Slutsats

För båda metoderna är ett generellt värde på $\alpha = 0.8$, för flera frekvenser, en bra approximation för materialets absorption. Mätningen i efterklangsrummet är mer pålitlig då den är standardiserad vilket gör att det bör vara lättare att få liknande resultat om mätningarna upprepas. Bestämning av absorptionskoefficient med hjälp av intensitetsmätning är inget vi rekommenderar då resultaten varierar starkt och metoden är

känslig för fel. Det är bättre att använda sig av standardiserade metoder som genererar mer tillförlitliga svar. Möjligtvis skulle intensitetsmetoden kunna vara en billigare och enklare metod när man vill jämföra olika material då det är enkelt och endast kräver en intensitetsprob. Läsaren uppmanas att läsa vidare kring absorptionskoefficienten för andra material mätta med liknande metoder för att kunna avgöra om materialet uppfyller de önskade egenskaperna.

6 Appendix

MATLAB-programmet som användes vid mätning av efterklangstid och all rådata från mätningarna hittas på vår Githubsida.

Länk: <https://github.com/roosenberg/>
Kandidatexamensarbete

Referenser

- [1] Special pedagogiska skolmyndigheterna, “Talbanan”, <https://www.spsm.se/stodmaterial-horselnedsattning/fakta/horsel/talbananen/>, [2019-04-26]
- [2] R Högberg, 2018, *Stockholm Direkt*, “Så blir nya Globen – största lyftet på 30 år”, <https://www.stockholmdirekt.se/nyheter/sa-blir-nya-globen-storsta-lyftet-pa-30-ar/reprap!jazwSzEOLdbS0w08op41NA/>, [2019-03-19]
- [3] M J Crocker, 2007, “Handbook of Noise and Vibration Control”, ISBN: 9780471395997, Kapitel 57, [2019-04-10]
- [4] H P Wallin, U Carlsson, M Åbom, H Bodén, R Glav, 2017, “Ljud och vibrationer”, *Marcus Wallenberg Laboratoriet för Ljud- och Vibrationsforskning*, Kungliga Tekniska Högskolan, [2019-04-10]
- [5] Svensk Standard SS-EN ISO 354, 2003,
- [6] H Bodén, U Carlsson, K Ahlin, u å, “Applied Signal Analysis”, Kapitel 15, [2019-03-29]
- [7] M J Crocker, 2007, “Handbook of Noise and Vibration Control”, ISBN: 9780471395997, Kapitel 45, [2019-04-10]

