

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

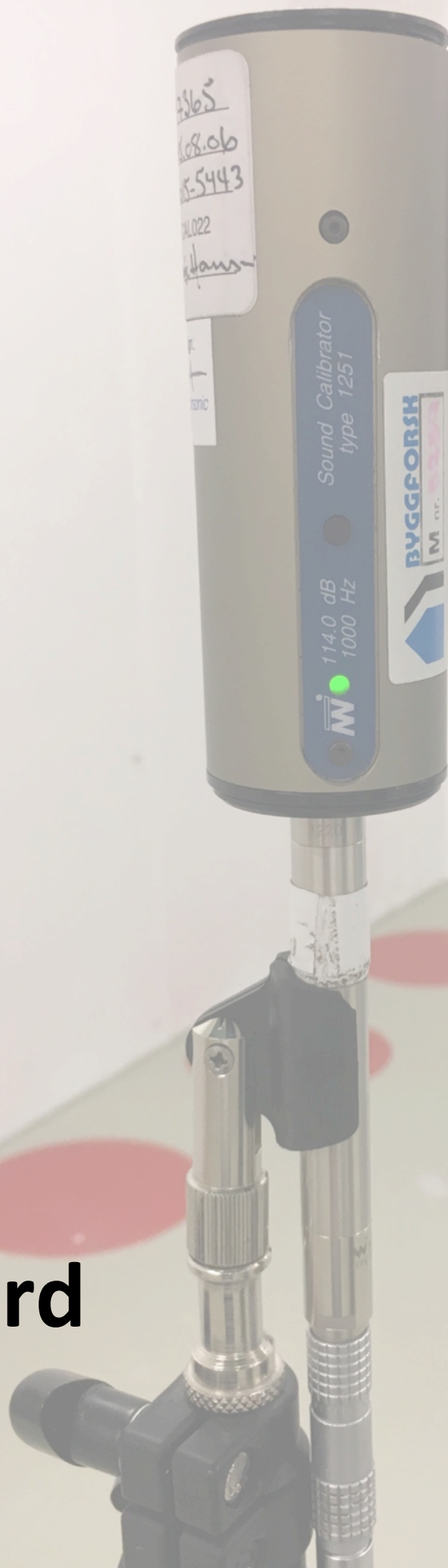
Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for Realfag og Teknologi

Laboratoriemåling av nye typer akustiske panel

Laboratory measurements of new types of acoustic
panels

Trine Svendsen Tindeland
Byggeteknikk og Arkitektur

Forord



Forord

Denne oppgaven er den avsluttende oppgaven på mitt 5-årige masterprogram innen Byggeteknikk og Arkitektur ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU), våren 2017. Oppgaven er skrevet av meg, Trine Svendsen Tindeland, på etterspørsel fra Sagtun Høvleri i Spydeberg.

Noe av det første jeg leste da jeg tok fatt på denne oppgaven om akustikk var:

”Det er fortsatt en del usikkerhet knyttet til hvilke fysiske forhold som kontrollerer opplevelsen av akustiske lydforhold. Dette er med på å gjøre akustikk til ”svart magi” siden gode opplevde forhold ikke så lett kan dokumenteres rent fysisk. Det hører også til at akustikk kan være både veldig fascinerende og frustrerende å jobbe med.” (Drammerud, 2013)

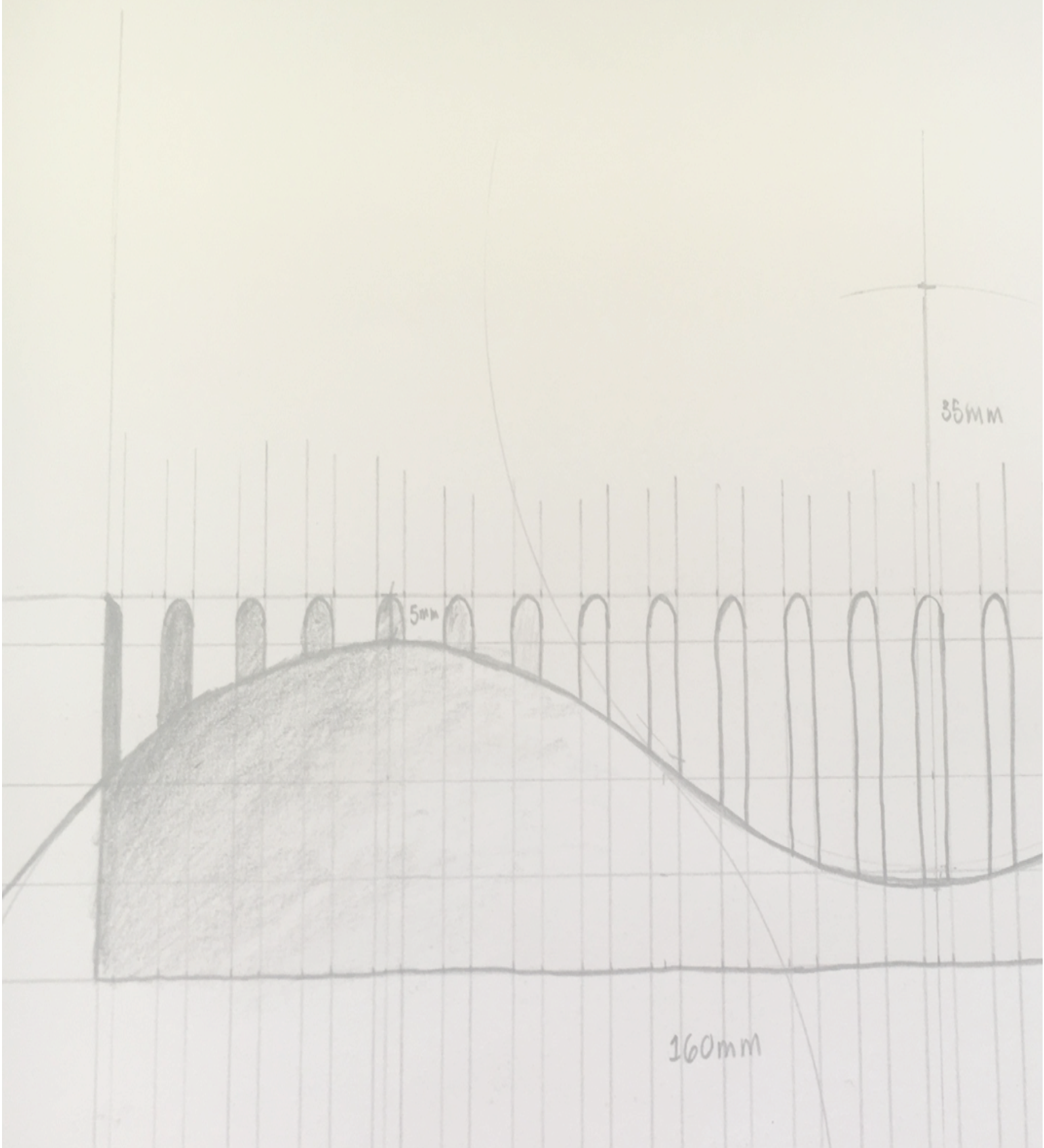
Og slik har det vært. Det har vært frustrerende til tider, men veldig fascinerende og spennende å skrive denne oppgaven.

Det er flere som har hjulpet meg på veien, både med faglig input og motivasjon. Jeg vil først og fremst rette en stor takk til Halvard Høiland-Kaupang ved Sintef Byggforsk i Oslo, for utrolig mye hjelp, tips og gode råd. Takk til min veileder Thomas Kringlebotn Thiis, for veiledning og ikke minst for å ha vist stor interesse for oppgaven, det har vært til stor motivasjon! Takk til Mamma, for alltid å ha tatt telefonen når jeg har vært frustrert, og tusen hjertelig takk til jentene i Collegium Alfa, ikke minst for støtte og hjelp under masterperioden, men for å ha gjort min studietid på Ås helt fantastisk!

Jeg håper oppgaven er tilfredsstillende og interessant lesestoff for alle interesserte!

Ås, 09.08.2017

Trine Svendsen Tindeland



Sammendrag/Abstract

Sammendrag

Denne oppgaven omhandler å finne en struktur på et innendørs veggpanel, som kan forbedre responsen til et rom ved å redusere etterklangstiden og øke absorpsjonsfaktoren.

Opgaven er gitt av Sagtun Høvleri i Spydeberg. Høvleriet har moderne utstyr, som gjør det mulig å enkelt produsere spesiell struktur på panelene.

For å øke absorpsjonsfaktoren er det i oppgaven valgt strukturer med varierende dybde, slik at innkommende lydbølger diffunderer i dybdene. På denne måten mister lydbølgene energi, og lyden absorberes her.

De tre strukturene valgt er forskjellige på den måten at de har ulik avstand mellom, og ulik høyde på stolpene, samt at ett av testobjektene har kurvet dalbunn, mens de to andre har spisse vinkler. To av strukturene har også hulrom bak panelene, hvis hensikt er at varmeenergien skal forplantes.

For å måle etterklangstid ble målinger gjort i klangrom hos Sintef Byggforsk i Oslo. Ut fra etterklangstid og absorpsjonsareal kan absorpsjonsfaktor regnes ut. Ca 10 m² av hvert panel ble lagt på betong, i henhold til krav i NS-EN ISO 354:2003. En lydkilde og en mikrofon var plassert i rommet, med ulike plasseringer, og det ble tatt 36 målinger av hver struktur. Av disse 36 målingene ble det regnet ut et aritmetisk gjennomsnitt for hver frekvens. Resultatet var altså etterklangstid og absorpsjonsfaktor for frekvenser i frekvensspekter 100-5000 Hz.

Ett av panelene ble også bygget opp med en standard veggkonstruksjon bak, slik at det totalt ble fire testobjekt.

Testobjekt 1 og 3, som ikke var bygget opp, viste ingen signifikante resultater for reduksjon av etterklangstid i forhold til referansemålingen eller krav gitt i NS-EN ISO 354:2003. Testobjekt 2 viste bedre resultater, men heller ikke her var resultatene tilfredsstillende.

Ved utregning av absorpsjonsfaktor så man at testobjekt 2, både montert rett på betong og oppbygget, viste tilfredsstillende resultater, med absorpsjonsfaktor som kan sammenlignes med absorberende materialer.

Testobjekt 2 kan alstå selges som et akustisk panel.

Testobjekt 1 viste seg å ha veldig lav absorpsjonsfaktor, og kan selges som et relekerende panel.

I forhold til salgpris på lignende panel på markedet, er produksjonskostnaden lav. Det koster heller ingenting å ha panelene på lager, da de produseres på bestilling. I forhold til alminnelige panel er prisen høy. Ser man på testobjekt 2, som har betydelig høyere absorpsjonsfaktor enn alminnelig panel, er avviket derimot ikke stort.

Abstract

This thesis involves developing a structure for an indoor wall panel that can improve a room's sound response by reducing reverberation time and increasing the absorption factor.

The assignment is written for Sagtun Høevleri in Spydeberg. Their production facility has equipment that makes it possible to produce special structure on the panels.

In order to increase the absorption factor, this task will look at chosen structures of varying depth, so that incoming sound waves diffuse in depths. In this way the sound waves lose energy and the sound is absorbed here.

The three structures chosen are different in the way that they have different distances between posts, and also different heights on them. One of the structures also has curved valley bottoms while the other two have pointed angles. Two of the structures also have cavities behind the panels, whose purpose is to propagate the heat energy.

In order to measure reverberation time, measurements were made in a reverberation room at Sintef Byggforsk in Oslo. Based on reverberation time and absorption area, the absorption factor can be calculated. About 10 m² of each panel was laid on concrete, according to the requirements of NS-EN ISO 354:2003. An audio source and a microphone were placed in the room, at different locations, and 36 measurements of each structure were taken. Of these 36 measurements, an arithmetic mean was calculated for each frequency. The result was thus reverberation time and absorption factor for frequencies in frequency range 100-5000 Hz. One of the panels was also built up with a standard wall structure behind, leaving a total of four test objects, plus a benchmark for comparison.

Test items 1 and 3, which were not built up, showed no significant reduction in reverberation time relative to the reference measurement, or the requirements of NS-EN ISO 354:2003. Test panel 2, when it was built up, showed better results, but still was not satisfactory.

When calculating the absorption factor, test object 2, both mounted on concrete and built up, showed satisfactory results, with absorption factor comparable to absorbent materials.

Test item 2 can already be sold as an acoustic panel.

Test item 1 was found to have very low absorption factor and can be sold as a relaying panel.

Compared to the selling price of a similar panel on the market, production costs are low. Compared with the standard panel, the price is high. Looking at test item 2, which has a significant higher absorption factor than the standard panel, the deviation is not large.

Innholdsfortegnelse

Forord	4
Sammendrag	8
Abstract	10
Innholdsfortegnelse	11
Figurliste	13
Tabelliste	13
1. Innledning	16
1.1 Oppgavens formål og problemstilling	16
1.2 Bakgrunn	16
1.3 Hvorfor noe nytt?	16
2. Teori	19
2.1 Akustikk og støy	19
2.2 Romakustikk	19
2.3 Absorpsjon	20
2.4 Diffusjon	20
2.4.1 Spekulær diffusjon	21
2.4.2 Geometrisk diffusjon	21
2.4.3 Schroeder-diffusor	21
2.5 Utregning av absorpsjonsfaktor	22
2.5.1 Avvik i utregning	23
3 Romakustikk i bygninger	24
3.1 Tiltak	24
3.2 Hva finnes fra før?	25
3.3 Grenseverdier	26
3.4 Sagtun Høvleri	27
4 Metode	29
4.1 Valg av overflatestruktur	29
4.2 Testobjekt 1	29
4.3 Testobjekt 2	30
4.4 Testobjekt 3	31
4.5 Testobjekt 4	32
4.6 Måling i klangrom	33
4.6.1 Klangrom	33
4.6.2 Forutsetninger for måling	33
4.6.3 Utførelse av målinger	34
4.6.4 Frekvensområde	35
4.7 Referansemåling	35
4.8 Måling av testobjekt 1	36
4.9 Måling av testobjekt 2	38
4.10 Måling av testobjekt 3	39
4.11 Måling av testobjekt 4	40
4.12 Sammenligningsgrunnlag	40
5 Resultater	43
6 Diskusjon	47

6.1 Avvik	47
6.2 Referansemåling	47
6.3 Testobjekt 1	47
6.4 Testobjekt 2	48
6.5 Testobjekt 3	49
6.6 Testobjekt 4	50
6.7 Generell diskusjon.....	51
6.8 Videre arbeid.....	51
8 Konklusjon	52
9 Referanser	53
Vedlegg.....	54
Vedlegg 1	54

Figurliste

FIGUR 1 FLUTTERFREE, EN QRD-DIFFUSOR, LEVERT AV LYD OG AKUSTIKK	25
FIGUR 2 GRENSEVERDIER FOR LYDNIVÅ INNENDØRS ((NS 8175:2012)	26
FIGUR 3 TVERRSNITT AV TESTOBJEKT 1	29
FIGUR 4 TVERRSNITT AV TESTOBJEKT 2	30
FIGUR 5 TVERRSNITT AV TESTOBJEKT 3	31
FIGUR 6 TESTOBJEKT 3, TVERRSNITT	31
FIGUR 7 TESTOBJEKT 4	32
FIGUR 8 LYDTRYKKNIVÅET SOM FUNKSJON AV AVSTAND I ROM MED DIFFUST LYDFELT	33
FIGUR 9 KLANGROM MED DIFFUST LYDFELT I HIMLING OG EN OPPHØYD HØYTTALER	35
FIGUR 10 TESTOBJEKT 1, MED PLANK I DEN ENE ENDE	36
FIGUR 11 TESTOBJEKT 1 MED PLASTELINA FOR Å TETTE HULL	37
FIGUR 12 TESTOBJEKT 2 MED PLANKE I DEN ENE ENDE FOR Å TETTE HULL	38
FIGUR 13 TESTOBJEKT 2 MED PLASTELINA FOR Å TETTE HULL	38
FIGUR 14 TESTOBJEKT 3 MED PLANKE I DEN ENE ENDE FOR Å TETTE HULL	39
FIGUR 15 TESTOBJEKT 4, TVERRSNITT MED PLASTELINA FOR Å TETTE HULL	40
FIGUR 16 SAMMENLIGNING AV ETTERKLANGSTID, REFERANSEMÅLING OG TESTOBJEKT 1-4	43
FIGUR 17 SAMMENLIGNING AV ABSORPSJONSFAKTOR, TESTOBJEKT 1-4 OG TYPISK ABSORBERENDE MATERIALER	44
FIGUR 18 SAMMENLIGNING AV ABSORPSJONSFAKTOR, TESTOBJEKT 1-4 OG TYPISK REFLEKTERENDE MATERIALER	44
FIGUR 19 SAMMENLIGNING AV ABSORPSJONSFAKTOR, BETONG OG TESTOBJEKT 1	48
FIGUR 20 SAMMENLIGNING AV ABSORPSJONSFAKTOR, MINERALULL OG TESTOBJEKT 2	49
FIGUR 21 SAMMENLIGNING AV ABSORPSJONSFAKTOR, PANEL OG TESTOBJEKT 2	49

Tabelliste

TABELL 1 HVORDAN REDUKSJON I LYDNIVÅ OPPLEVES	19
TABELL 2 ABSORPSJONSFAKTOR FOR DIVERSE MATERIALER	24
TABELL 3 GRENSEVERDIER FOR MÅLT ETTERKLANGSTID I KLANGROM (NS-EN ISO 345:2003)	27
TABELL 4 SENTERFREKVENSER FOR MÅLING I KLANGROM, SOM SPESIFISERT I NS-EN ISO 354:2003	35



Innledning

1. Innledning

1.1 Oppgavens formål og problemstilling

Det vil stadig forskes på nye metoder for å forbedre akustikken i et rom. Akustikk er et komplekst område, så fremt som at alle mennesker oppfatter lyd og støy på forskjellige måter. En generell metode å se på en god lydopplevelse, er å undersøke rommets respons; hvor godt rommet responderer på lyd. Det er flere faktorer som spiller inn på rommets respons; refleksjon i himling, vegger og gulv, hvor tett rommet er møblert og hvor mange mennesker som er i rommet, for å nevne noen.

Denne oppgaven er gitt av Sagtun Høvleri i Spydeberg, og har som formål å utvikle en struktur på et innendørs veggpanel, i heltre, som kan forbedre responsen i et rom.

Ut fra oppgavens formål og bakgrunn har følgende problemstilling blitt utformet: Er det mulig å redusere absorpsjonskoeffisienten i et veggpanel ved å endre strukturen på panelet?

1.2 Bakgrunn

Flere og flere bedrifter tar i bruk kontorlandskap som arbeidsplass for sine ansatte. Dette er en god løsning med tanke på plassutnyttelse, men kan skape problemer når det kommer til støy. I et slikt rom ønsker man noe refleksjon fra veggene, men i mindre grad enn for eksempel i en konsertsal, hvor man gjerne ønsker å spre lyden ut i rommet. Refleksjonene man ikke ønsker kan dempes ved hjelp av absorbenter i vegger eller himling.

Absorbenter er i hovedsak laget av tradisjonelt absorberende materiale, som for eksempel polyesterfibre. Diffusorer er derimot laget av mer reflekterende materiale, som for eksempel tre eller hardplast. Hensikten med denne oppgaven er å kombinere en absorbator og en diffusor, som kun er laget av ett materiale; tre, ved å produsere en spesiell struktur på panelet. Altså lage en diffusor i tre, med en struktur som gjør at absorpsjonskoeffisienten reduseres.

1.3 Hvorfor noe nytt?

Per i dag er det ingen akustiske panel i heltre som blir produsert i Norge. Sagtun Høvleri har utstyret for å lage nesten hvilket som helst struktur på panel. Tre er estetisk pent, i tillegg til at det er populært å bygge med tre.

Teori

2. Teori

2.1 Akustikk og støy

Lyd, eller lydbølger, er trykkvariasjoner i luften, som kan oppfattes av øret. Lyd måles i frekvens, med enheten Hertz (Hz), hvor 1 Hz tilsvarer en svingning per sekund. Menneskeøret oppfatter bare trykkvariasjoner i et begrenset frekvensområde, som normalt er 20-20.000 Hz. (Glasø, 2011) Lydtrykk måles i Pascal, men oppgis ofte i desibel [dB] i forhold til et referansetrykk på $20 \cdot 10^{-6}$ Pa. Hørselsterskelen for menneskeøret er 0 dB, og smerteterskelen er normalt 120 dB. Lydtrykk over smerteterskelen kan høres, men oppfattes ofte som ubehagelig. Vanlig tale, på cirka en meters avstand, er målt til 60 dB. (Edvardsen et al, 2006)

Støy er lyd som forstyrrer stillhet eller uønsket lydoppfattelse. Enheten, og kravgrensen, som vanligvis brukes som kravgrense for støy er dB(A), hvor (A) representerer at lydtrykknivået er vektlagt etter en veiekurve som er tilpasset ørets følsomhet for ulike frekvenser. (Edvardsen et al, 2006) Mennesker opplever støy forskjellig, så det er vanskelig å finne grenseverdier som tilfredsstiller alle. Det finnes likevel en tabell i BKS 421.421, som viser hvordan reduksjon i lydnivå oppleves:

Tabell 1 Hvordan reduksjon i lydnivå oppleves

Reduksjon (dB)	Forbedring/nivåforskjell
Ca 1	Lite merkbar
2-3	Merkbar
4-5	Godt merkbar
5-6	Vesentlig
8-10	Oppfattes som en halvering av lydnivået

2.2 Romakustikk

Et roms respons er definert som hvordan rommet responderer på en impulsiv lyd. Alt som er av lyd etter den korte impulsen er rommets respons. Dette kan også kalles et ekkogram eller reflektogram, og viser til nivået til refleksjonene fra alle flater i rommet. De to effektene som flest opplever i et rom er etterklang og nivå. (Drammerud, 2013)

Etterklang er summen av flere refleksjoner i et rom. Den er preget av hele rommet og alle flatene i det. Etterklangen er den totale responsen av refleksjoner fra alle flatene som reflekteres på nytt og på nytt. Normalt sett ønsker vi noe etterklang. Uten etterklang vil lydkilden ofte oppleves som dimensjonsløs og flat. (Drammerud, 2013)

Etterklangstid er den tiden det tar lydtrykknivået å fall 60 dB etter at lydkilden har sluttet å sende ut lydbølger. Denne definisjonen er basert på at det er en lineær sammenheng mellom lydtrykknivået og tiden, og at bakgrunnsstøy er tilstrekkelig lav. (ISO 354:2003) Tidligere etterklangstid (EDT) måles fra fallet på de første 10 dB, men begrenses også som tiden det tar for et 60 dB fall.

(Edvardsen et al, 2006) I følge ISO 3382 anbefales det, i tillegg til etterklangstid, å måle EDT, fordi etterklangstid nødvendigvis ikke er i samsvar med den

subjektive følelsen av etterklang. (Edvardsen et al, 2006) For at tale skal kunne høres og forstås med tilstrekkelig styrke og tydelighet, bør rommet ha en etterklangstid på omkring ett sekund. (BKS 527.300, 1998) Lengre etterklangstid vil gjøre at stemmen fyller rommet bedre, men for lang etterklangstid vil minke tydeligheten og forståelsen av talen. (BKS 527.300, 1998) I rom for tale bør etterklangstiden ha omtrent samme verdi i frekvensområde 125-4000 Hz. Som retningslinje bør ikke etterklangstiden variere mer enn +/- 20% ved andre frekvenser i oktavbånd mellom 125-4000 Hz.

2.3 Absorpsjon

At lyden absorberes vil si at den "suges" inn i materialet. Lydenergien vil da bli omgjort til varmeenergi. Endringen i energi skjer når partiklene møter motstand mot sin bevegelse. Absorpsjon skjer mest effektivt når motstanden befinner seg der de svingende luftpartiklene har størst hastighet. Når lydbølgene treffer en reflekterende, hard flate vil trykket være høyt, men partikkelhastigheten lik null. Det er ønskelig med en del absorpsjon, da det blant annet kan fjerne støy, og regulere etterklangstiden. Hovedmekanismene for absorpsjon av lyd er (Drammerud):

- Å bremse ned luftpartiklene når de svinger frem og tilbake med lydbølgen. Dette har best effekt for steder hvor luftpartiklene har høy partikkelhastighet. Slike absorbenter kalles friksjonsabsorbenter.
- Å gjøre en reflekterende flate elastisk, noe som vil redusere trykket som kan oppstå i flaten. Lydbølgen vil miste energi ved å dytte mot den elastiske flaten. Lydabsorpsjonen vil være høyest ved resonansfrekvensen til den elastiske flaten.
- Helmholtzresonans vil også hindre maksimal oppbygging av trykk når lydbølgen treffer flaten. Også denne type absorberent har høyest absorpsjon ved resonansfrekvensen.

Den første hovedmekanismen går inn under porøse og mikroperforerte absorbenter. De to siste går inn under resonante absorbenter. En panelabsorbent er basert på mekanisk resonans. Panelet er elastisk og sammen med hulrommet bak panelet vil panelet svinge som et lodd hengt opp i en fjær.

Absorpsjonskoeffisienten, α , forteller hvor stor andel av lydenergien som blir absorbert, altså omgjort til varmeenergi. Dersom absorpsjonskoeffisienten er lik 0 betyr det at overflaten ikke absorberer noe. Absorpsjonskoeffisient lik 1 betyr at all lyd blir absorbert.

Absorpsjonsareal vil si det arealet som absorberer lydenergi. Enhet for absorpsjonsareal er Sabine (Sa), og vil variere med frekvens.

En lydabsorbent er et konstruksjonsvirke med formål å absorbere lydenergi.

Kvaliteten på en absorberent blir beskrevet av størrelsen på absorpsjonsfaktoren.

2.4 Diffusjon

En bølge som sendes inn i et rom vil formere seg til flere bølger, samtidig som nivået til lyden vil minke på grunn av sfærisk demping. Antall refleksjoner i et rom er avhengig av volum. Volumet vil spre refleksjonene ut i tid. Diffusjon endrer nivået til reflektert lyd i en bestemt retning. Å endre flatens evne til å absorbere og diffusere vil derfor forandre hvordan rommet setter sitt preg på lyden. (Drammerud, 2013) Hvor mange, og hvor mye av lydbølgen, som blir

reflektert og bygger seg opp til et høyt nivå, er styrt av hvor mye veggen absorberer lydbølgene og diffuserer lyd vekk fra den parallelle veien mellom de to veggene. David Griesinger (Griesinger, 2005) har foreslått som en tommelfingerregel at samlet nivå til tidlige refleksjoner ikke bør være sterkere enn -6 til -4 dB relativt til direktelyden. Diffusjon kan altså føre til at lyd blir sendt mot absorberende flater. Det finnes tre måter lydenergi kan spres på (Drammerud, 2013):

- Ved overgang fra diffraksjon til refleksjon
- På grunn av geometrisk form til en flate
- På grunn av interferens mellom ulike reflekterte bølger fra en og samme flate som har betydelige faseforskjeller

Det finnes flere forskjellige typer diffusorer. De vanligste er Schroeders diffusorer; MLS og QRD. Manfred Schroeder forsket på forskjellige diffusorer på 1970-tallet, og kom opp med disse to prinsippene.

2.4.1 Spekulær diffusjon

Spekulær diffusjon kan oppstå dersom bølgen treffer et objekt som er veldig stort i forhold til bølgelengden, og helt flatt. Bølgen vil da bli reflektert i en bestemt retning, på samme måte som skjer når et lys treffer et flatt speil. Det betyr at i de tilfeller hvor vi har spekulær refleksjon kan vi bruke lover som er utviklet for lys og optikk. Snells lov sier at utfallsvinkelen til den reflekterte lysstråle er lik innfallsvinkelen til den innkommende lysstråle. Dersom en overflate har store elementer som er vinklede, vil den spekulære refleksjonen gå i ulike retninger ved forskjellige deler av flaten. Dette er ofte den enkleste måten å gi diffusjon for lyd. (Drammerud, 2013)

2.4.2 Geometrisk diffusjon

Både konvekse og konkave overflateformer vil bidra til å spre lyden, men på forskjellige måter. En konveks overflate vil bidra til å spre lyden, men bare for frekvenser hvor vi har spekulær refleksjon. I tillegg vil to konvekse flater ved siden av hverandre skape fokusering. En konkav overflate vil ha et fokuspunkt, et fokuspunkt. Dette gjør at flaten gir spredning andre steder enn fokuspunktet, slik at den kan bidra positivt til diffusjon, kun dersom det finnes en mottaker i fokuspunktet. (Drammerud, 2013)

Lydsprende flater kan bli brukt for å dempe lydrefleksjoner. En lydsprende flate kan dempe lydrefleksjonen selv om overflaten er hard og fullstendig lukket. Dette er spesielt gunstig til utendørs lydskjermer, der bruk av lydabsorberende materialer med porøs overflate kan være problematisk. (BKS 543.424, 1999)

2.4.3 Schroeder-diffusor

En Schroeder-diffusor er geometrisk diffusorer med varierende dybde eller bredde. Varierer bredden vil den gi jevnere spredning i ulike retninger, som betyr en mer omnidireksjonell direktivitet til den reflekterte lyden. Varierende dybde vil gi en mer bredbåndet diffusjon. Dette brukes ofte, ettersom man gjerne ønsker bredbåndet diffusjon. (Drammerud, 2013)

MLS-diffusor (Maximum length sequence) er en diffusor med to forskjellige dybder, som brytes av lange rekker. Bredden og plasseringen av rekkene bestemmes ved frekvensen der den maksimale spredningseffekten er ønsket. QRD-diffusor (Quadrativ-Residue Diffuser) kom senere enn MLS-diffusoren, og har flere enn to varierende dybder, som gjør at bredere båndbredde kan diffunderes. Det er QRD-diffusoren som i dag kalles Schroeder-diffusoren.

2.5 Utregning av absorpsjonsfaktor

Alle utregninger i henhold til NS-EN ISO 345:2003.

Ekvivalent absorpsjonsareal for tomt klangrom, til referansemåling:

$$A_1 = \frac{55,3V}{cT_1} - 4Vm_1$$

Hvor:

A_1 er ekvivalent absorpsjonsareal, i m^2

V er volum av tomt klangrom, i m^3

c er forplantningstid av lyd i luft, i m/s

T_1 er etterklangstid i tomt klangrom, i sekunder

m_1 er effektdempningskoeffisienten, beregnet i henhold til ISO 9613-1, ved bruk av klimatiske forhold som har vært tilstede i det tomme klangrommet under målingen. Verdien kan beregnes ut fra dempningskoeffisienten a , i henhold til formelen

$$m = \frac{a}{10 \log e}$$

Ekvivalent absorpsjonsareal for klangrom som inneholder et testobjekt:

$$A_2 = \frac{55,3V}{cT_2} - 4Vm_2$$

Hvor:

A_2 er ekvivalent absorpsjonsareal, i m^2

V er volum av tomt klangrom, i m^3

c er forplantning av lyd i luft, i m/s

T_1 er etterklangstid i tomt klangrom, i sekunder

m_1 er effektdempningskoeffisienten, beregnet i henhold til ISO 9613-1, ved bruk av klimatiske forhold som har vært tilstede i det tomme klangrommet under målingen. Verdien kan beregnes ut fra dempningskoeffisienten a , i henhold til formelen

$$m = \frac{a}{10 \log e}$$

Ekvivalent absorpsjonsareal for testobjekt:

$$A_T = A_2 - A_1 = 55,3 \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1)$$

Hvor:

c_1 er forplantning av lyd i luft for temperatur t_1

c_2 er forplantning av lyd i luft for temperatur t_2

Absorpsjonskoeffisienten for testobjekt:

$$a_s = \frac{A_T}{S}$$

Hvor:

A_T er ekvivalent absorpsjonsareal for testobjekt, i m^2 , regnet ut ved formlene over

S er areal, i m^2 , dekket av testobjekt

2.5.1 Avvik i utregning

Fordi det kan være vanskelig å måle et 60 dB fall i nivå før man når bakgrunnsstøynivået innenfor alle relevante frekvenser, måles det etterklangstiden innenfor et fall på 20 (fra -5 til -25 dB) og 30 (fra -5 til -35 dB) dB. Dette ganges så med henholdsvis 3 og 2. Her antas det at nivået faller like hurtig for de resterende 40 og 30 dB. Disse verdiene kalles T_{20} og T_{30} , og er output-resultatene i en klangromsmåling, basert på hvilket nivåfall det er målt innenfor. Oppgitt resultat representerer likevel et nivåfall på 60 dB. Relativt like verdier for T_{20} og T_{30} indikerer et diffust lydfelt, og at resultatene kan være pålitelige. (Drammerud, 2013)

3 Romakustikk i bygninger

3.1 Tiltak

For å forbedre akustikken i et rom er det vanlig å gjøre noe med vegg eller himling. Tiltak må gjøres med utgangspunkt i bruksområdet for rommet. For eksempel i et bibliotek vil det være hensiktsmessig å kle himling, vegg eller begge i absorberende materiale, mens i en konsertsal vil lyden spre seg bedre med lydspredende plater på veggene, for å fordele lyden bedre i rommet.

For å kunne gjøre tiltak uten å utføre laboratoriemålinger først, har BKS 543.414 noen standardiserte absorpsjonsfaktorer for diverse materialer og konstruksjoner. Blant disse er typiske absorberende materialer:

- Mineralull limt på vegg
- Mineralull på betong
- Perforerte bygningsplater, montert med hulromsavstand til konstruksjon og porøs absorbent i hulrommet, 10 mm plate, 25 mm mineralull

En rekke typisk reflekterende materialer er også representert:

- Trefiberplate montert med hulromsavstand til konstruksjon
- Kryssfinerplate montert med hulromsavstand til konstruksjon med 25-50 mm mineralull i hulrom
- Panel, not og fjær, med hulromsavstand til konstruksjon med 50 mm mineralull i hulrom
- Gipsplatekledning på stenderverk, montert med hulromsavstand til konstruksjon, med 100 mm mineralull i hulrom, 13 mm gipsplate
- Finkornet flis eller sparkel
- 14x145 mm spaltepanel i tre, montert med hulromsavstand til konstruksjonen, med 100 mm mineralull i hulrom, 20 mm spaltebredde
- Betong

En oversikt over absorpsjonsfaktor for de forskjellige frekvensene er gitt i tabell 3.

Tabell 2 Absorpsjonsfaktor for diverse materialer

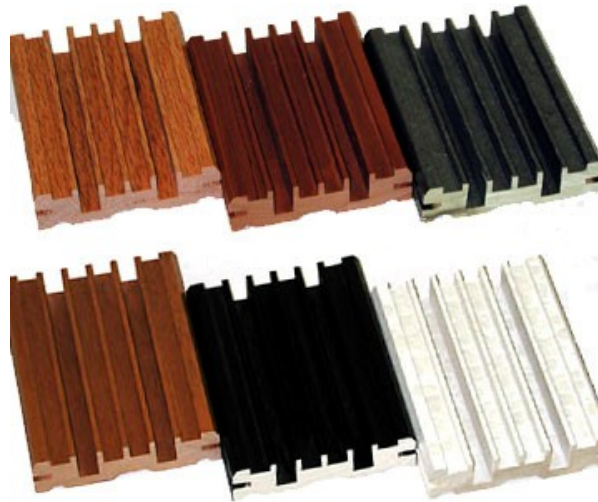
	Mineralull limt på vegg	Mineralull på betong	Perforerte bygningsplater	Trefiberplate	Kryssfinerplate	Panel, not og fjær	Gipsplatekledning	Finkornet flis eller sparkel	14x145 mm spaltepanel i tre	Betong
125	0,15	0,21	0,5	0,3	0,5	0,25	0,3	0,01	0,74	0,02
250	0,7	0,66	0,75	0,2	0,3	0,15	0,12	0,01	0,96	0,03
500	0,6	0,95	0,7	0,2	0,1	0,1	0,08	0,01	0,79	0,03
1000	0,6	0,95	0,6	0,1	0,05	0,09	0,06	0,02	0,47	0,03
2000	0,75	0,91	0,5	0,05	0,05	0,08	0,06	0,02	0,33	0,04
4000	0,75	0,89	0,45	0,05	0,05	0,07	0,05	0,02	0,27	0,07

3.2 Hva finnes fra før?

Det finnes flere aktører på markedet som allerede produserer lyddempende veggpanel. Disse er for det meste produsert i lydabsorberende materiale, som for eksempel polyesterfibre og veggplater i heltre med spalter, og lydabsorberende materiale i spaltene. Lydabsorberende bilder er også blitt populært, hvor det er mulig å få sitt eget motiv på bildene.

Det finnes også aktører som forhandler diffusorer som til en viss grad fungerer som absorbenter, i heltre. Disse panelene blir ikke produsert i Norge, men importeres fra utlandet.

FlutterFree er en akustisk diffusor levert av Lyd og Akustikk og er avbildet i figur 1. Dette er en QRD-diffusor, som i følge Lyd og Akustikk sin nettside vil diffundere de høyere frekvensene. FlutterFree leveres i målene 1000x100x26 mm, og kan fås i blant annet ask, eik og lønn. En lengde i ask koster 280 kr eks moms. Dette gir en kvadratmeterpris på 2800 kr/m² eks moms. Produksjonskostnaden på disse panelene er uvisst.



Figur 1 FlutterFree, en QRD-diffusor, levert av Lyd og Akustikk

3.3 Grenseverdier

Norsk Standard har grenseverdier for lydnivåer. Her er oppgitt maksimal etterklangstid som bør finne sted i forskjellige rom. Figur 2 viser en oversikt over disse grenseverdiene.

Bygningskategori	Lydnivå (dB) fra tekniske installasjoner (brukstid, T), se pkt. 23		Lydnivå (dB) fra utendørs kilder (brukstid, T)		Etterklangstid (s), se pkt. 24	
	Klasse B	Klasse C	Klasse B	Klasse C	Klasse B	Klasse C
Boliger						
– oppholds- og soverom ²⁴⁾	$L_{p,Aeq,T} = 25$ $L_{p,AFmaks} = 27^{1)}$	$L_{p,Aeq,T} = 30$ $L_{p,AFmaks} = 32^{1)}$	$L_{p,Aeq,24h} = 25$ $L_{p,AFmaks} = 40^{3)}$	$L_{p,Aeq,24h} = 30$ $L_{p,AFmaks} = 45^{3)}$		
– bad, kjøkken	$L_{p,CFmaks} = 42^{1)}$ $L_{p,AFmaks} = 32^{1)}$	$L_{p,CFmaks} = 47^{1)}$ $L_{p,AFmaks} = 37^{1)}$				
– trapperom, fellesareal, fellesgang	$L_{p,CFmaks} = 47^{1)}$	$L_{p,CFmaks} = 52^{1)}$			1,0	1,3
Skoler						
– undervisningsrom, vanlig klasserom, møterom (krav i større undervisningsrom fastsettes spesielt)	$L_{p,AFmaks} = 28$	$L_{p,AFmaks} = 32$	$L_{p,Aeq,T} = 28$	$L_{p,Aeq,T} = 32$	0,5 0,3	0,6 0,4
– undervisningslandskap						
– undervisningsrom for synshemmede og hørselshemmede	$L_{p,AFmaks} = 25$	$L_{p,AFmaks} = 30$	$L_{p,Aeq,T} = 28$	$L_{p,Aeq,T} = 32$	0,5	0,6
– fellesareal, korridor trapperom					0,8 1,0	0,9 1,3
– gymnastikksal, $V < 6\ 000\ m^3$					1,2	1,5
– svømmehall, $V < 2\ 000\ m^3$					1,8	2,0
Barnehage, skolefritidsordning og førsteklasserom						
– oppholdsrom	$L_{p,AFmaks} = 28$	$L_{p,AFmaks} = 32$	$L_{p,Aeq,T} = 28$	$L_{p,Aeq,T} = 32$	0,5	0,6
– trapperom/fellesgang					0,8	0,9
Sykehus og pleieinstitusjon						
– sengerom, beboerom, fellesrom	$L_{p,A,Fmaks} = 27$ $L_{p,CFmaks} = 45$	$L_{p,AFmaks} = 32$ $L_{p,CFmaks} = 50$	$L_{p,Aeq,24h} = 25$ $L_{p,AFmaks} = 40^{3)}$	$L_{p,Aeq,24h} = 30$ $L_{p,AFmaks} = 45^{3)}$		
– trapperom					1,0	1,3
– fellesareal/korridor					0,9	1,0
Overnattingssted						
– gjesterom	$L_{p,AFmaks} = 28$	$L_{p,AFmaks} = 32$	$L_{p,Aeq,24h} = 30$	$L_{p,Aeq,24h} = 35$		
– fellesareal/-rom	$L_{p,AFmaks} = 30$	$L_{p,AFmaks} = 35$	$L_{p,Aeq,24h} = 30$	$L_{p,Aeq,24h} = 35$	1,0	1,3
– trapperom, fellesgang					1,0	1,3
Kontor						
– kontor, møtelokale	$L_{p,AFmaks} = 35$	$L_{p,AFmaks} = 40$	$L_{p,Aeq,T} = 35$	$L_{p,Aeq,T} = 40$	0,6	0,8
– fellesareal, fellesgang	$L_{p,AFmaks} = 35$	$L_{p,AFmaks} = 40$			0,8	1,0
– trapperom					1,0	1,3
Arbeidslokale					Laveste verdi for midlere absorpsjonsfaktor ⁵⁾	
– lokale for industri, håndverk, forretning, kantine, restaurant o.l.					0,25	0,20

Figur 2 Grenseverdier for lydnivå innendørs ((NS 8175:2012)

Det finnes også grenseverdier for målt etterklangstid i klangrom. Det vil si at objekter målt i klangrom ikke skal ha en etterklangstid overskridende verdiene i tabell 2.

Tabell 3 Grenseverdier for målt etterklangstid i klangrom (NS-EN ISO 345:2003)

Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Equivalent reverberation time, s	4,89	4,88	4,86	4,83	4,79	4,73	4,67	4,61	4,54

Hz	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Equivalent reverberation time, s	4,47	4,11	3,79	3,49	2,91	2,57	2,17	1,88	1,61

Grenseverdier for rom og grenseverdier for målt etterklangstid i klangrom er forskjellige fordi etterklangstid i et rom vil avhenge av alle objekter i et rom, mens under en måling i klangrom vil kun testobjektet være tilstede.

3.4 Sagtun Høvleri

Sagtun Høvleri i Spydeberg har drevet i høvelbransjen siden 1947. De driver både med tradisjonell høvling, men også med moderne høvellinje og beis. Som eneste i Norge produserer de også spesialstrukturert panel. De har utstyr som kan produsere høvelstålene som skal til for å produsere strukturene på de forskjellige panelene. Produksjonen foregår slik at en mal til høvelstålet blir tegnet og laget. Denne plasseres i høvelmaskinen, slik at det er enkelt å produsere panelene. I følge Sagtun Høvleri er produksjonskostnaden på de akustiske panelene rundt 620 kr/m² eks mva. Produksjonskostnaden på et standard veggpanel er rundt 220 kr/m² eks mva.



Metode

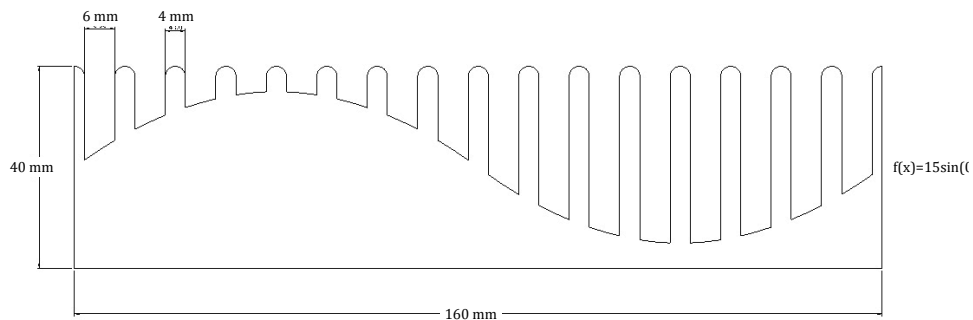
4 Metode

4.1 Valg av overflatestruktur

Overflatestrukturene på panelene som er valgt i denne oppgaven tar utgangspunkt i både absorpsjon og diffusjon. Det er valgt fire forskjellige overflatestrukturer, som i oppgaven blir kalt testobjekt 1, testobjekt 2, testobjekt 3 og testobjekt 4. Alle overflatestrukturene tar utgangspunkt i daler mellom stolper. Disse dalene og stolpene har ulike mellomrom, tykkelser og høyder. Hensikten dalene er at lydbølgene fanges mellom dem. Når lydbølgene treffer stolpene, vil de reflekteres til andre stolper eller dalbunnene. For hver gang lydbølgene treffer en overflate vil noe av den bli absorbert, samt at frekvensen i lydbølgene reduseres, og man vil få en mer bredbåndet refleksjon. Teoretisk sett vil dette føre til diffusjon av lydbølger, samt at en del lydbølger blir fanget mellom stolpene, altså vil de absorberes.

4.2 Testobjekt 1

Den første overflatestrukturen valgt i oppgaven er en typisk Schroeder-diffusor av typen QRD, med varierende dybde. Et tverrsnitt av panelet kan ses i figur 3.



Figur 3 Tverrsnitt av testobjekt 1

Her er det både konkave og konvekse flater i dalene mellom stolpene. Både konvekse og konkave overflateformer vil bidra til å spre lyden. En konkav flate, eller to konvekse flater ved siden av hverandre kan skape fokuspunkt, noe som er uheldig. De konkave og konvekse flatene i dette tilfellet er ikke store nok til å skape et fokuspunkt, men vil sende lydbølgene til andre steder på stolpene eller i bunnen. Mellomrommet mellom stolpene, samt tykkelsen på stolpene er også veldig smale, men tykke nok til å kunne ta opp noe av energien.

Dette er også et forsøk på å gjøre de tynne stolpene elastiske, som nevnt i kapittel 3.1. Lydbølgene vil her miste energi ved å trykke på den elastiske flaten, og har enklere for å bli absorbert.

Bølgen som er valgt i tverrsnittet av testobjekt 1 er valgt for å få størst mulig forskjell på den tykke og smale delen av panelet, uten at dette gikk ut over

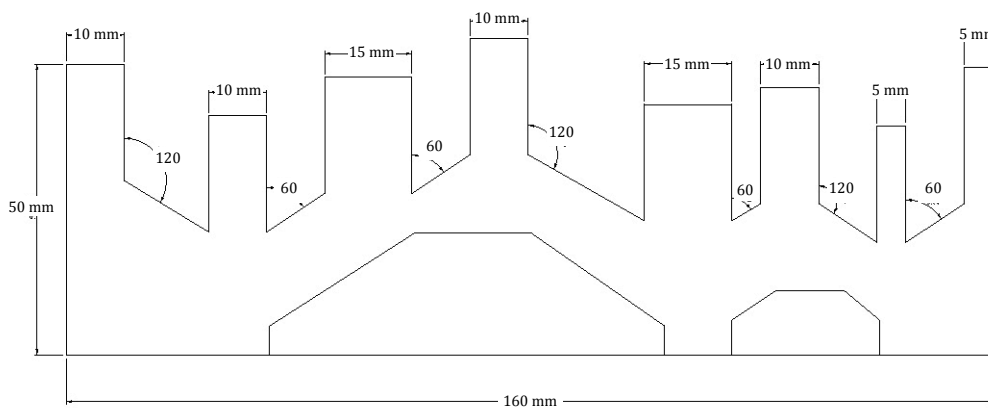
stivheten på det tynneste området. Ettersom stolpene også er tynne, var det viktig å ikke lage disse for lange, slik at de lett knekkes.

Dette er et panel med betydelig estetisk verdi. Tykkelsen mellom stolpene varierer, noe som vil skape et bølgende preg på veggen.

Testobjekt 1 ble produsert i ett stykke, med forskjellige lengder. Stolpene i testobjektet er tynne, og kan ikke tåle mye vertikal belastning.

4.3 Testobjekt 2

Testobjekt 2 ble utviklet med stolper, på samme måte som testobjekt 1, men i dette tilfellet varierer høyden, tykkelsen, og vinklene på dalbunnene. Dette er også en typisk Schroeder-diffusor. Et tverrsnitt av testobjekt 2 kan ses i figur 4.



Figur 4 Tverrsnitt av testobjekt 2

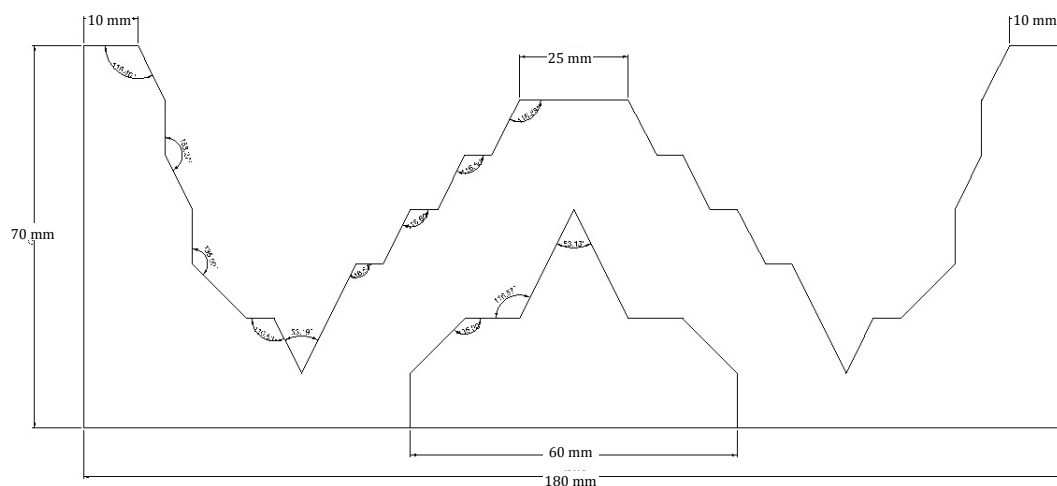
Alle vinklene i tverrsnittet har enten 90 eller 60 grader, og alle linjene er rette. Det er med andre ord ingen kurver i panelet. Vinklene 90 og 60 grader er valgt for å gi panelet et helt annet uttrykk enn testobjekt 1. Alle stolpene er 20 mm. 60 graders vinkel ble valgt for at flest mulig av lydbølgene skal reflekteres til stolpene, og ikke ut tilbake ut i rommet. Overflatene i testobjekt 2 er relativt store – her vil effekten av spekulær refleksjon være vesentlig. Lydbølgene vil bli reflektert til andre steder på stolpene flere ganger. Dette fører til at lydbølgene mister energi, og lydtryknivået reduseres.

Det er også laget hulrom bak panelet. Hensikten med hullene er at de få lydbølgene som absorberes skal ha enklere for å trenge gjennom, og at varmeenergien kan lagres her.

Testobjekt 2 ble høvlet i ett samlet stykke. Stolpene i testobjektet er såpass tykke at det ikke er fare for at de knekker under frakt.

4.4 Testobjekt 3

I motsetning til testobjekt 1 og 2, testobjekt 3 større og færre daler. Testobjekt 3 har kun to daler, og vinklene er større. Et tverrsnitt av testobjekt kan ses i figur 5.



Figur 5 Tverrsnitt av testobjekt 3

Hensikten med de vide dalene er å utnytte spekulær refleksjon. Overflatene er store, og kan reflektere lydbølgene. Også dette panelet har et hulrom bak panelet, hvor hensikten er at varmeenergien kan lagres. De store åpningene i strukturen vil gjøre at lydbølgene som reflekteres har en lengre vei til neste flate. Dette kan utnyttes, da energien til lydbølgene vil reduseres på veien.

Testobjekt 3 var for stort for å produsere i ett stykke. Det ble derfor delt opp i tre deler som ble satt sammen ved not og fjær. Dette kan ses i figur 6.



Figur 6 Testobjekt 3, tverrsnitt

4.5 Testobjekt 4

Testobjekt 4 er samme panel som testobjekt 2. I dette tilfellet er det bygget opp vegg bak panelet. Det er bygget opp tre vegger med forskjellig tykkelse.

Bakgrunnen for oppbyggingen er å prøve panelet over en annen konstruksjon enn betong, da konstruksjonen bak kan ha noe å si for resultatene.

Testobjekt 4 er det samme panelet som testobjekt 2, men etter måling av testobjekt 2 ble det montert vegger under panelet. Veggene er standard vegger med bindingsverk i tre og med mineralull som isolasjon. Vegg 1 har en tykkelse på 10 cm, vegg 2 en tykkelse på 14,5 cm og vegg 3 en tykkelse på 5 cm. Dette kan ses i figur 7.



Figur 7 Testobjekt 4

4.6 Måling i klangrom

4.6.1 Klangrom

Et klangrom er et rom med tilnærmet diffust lydfelt. Dette kan oppnås ved lydreflekterende begrensingsflater og lydspredende elementer. (BKS 421.402, 2004) Klangrom brukes for å gjøre akustiske målinger.

Et diffust lydfelt er uavhengig av romposisjon og retning. (BKS 421.402, 2004)

Lyden i et rom med diffust lydfelt, en kilde som utsender en konstant lyd i alle retninger, dempes med avstanden som vist i figur 8. (BKS 527.300, 1998)

Lydtrykknivået i det diffuse lydfeltet reduseres med 3 dB, hvis det ekvivalente absorpsjonsarealet fordobles.

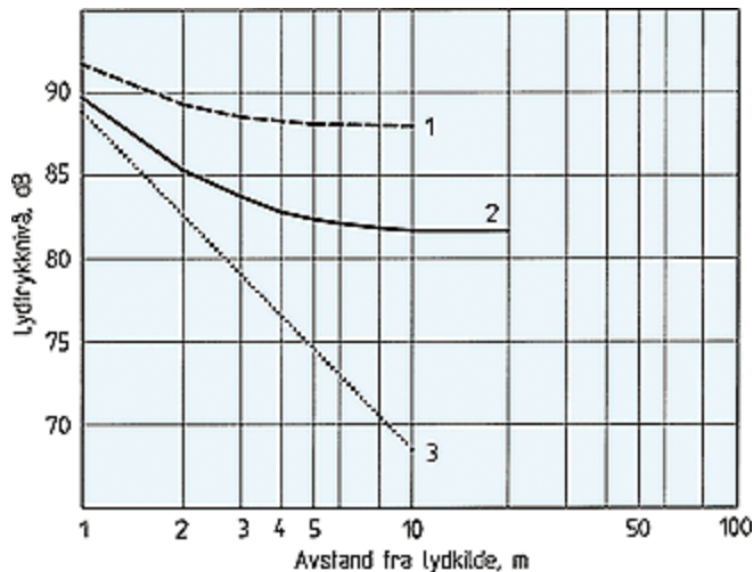


Fig. 151

Lydtrykknivået som funksjon av avstanden i rom med diffust lydfelt, typiske eksempler

- 1) Rom på 15 m · 15 m · 5 m, A = 60 m²
- 2) Rom på 30 m · 30 m · 12 m, A = 260 m²
- 3) Direkte lydfelt alene

Figur 8 Lydtrykknivået som funksjon av avstand i rom med diffust lydfelt

4.6.2 Forutsetninger for måling

All testing ble gjort i henhold til Norsk Standard NS-EN ISO 354 Akustikk, Måling av Lydabsorpsjon i Klangrom (ISO 354:2003), hvis hensikt er å fremme likhet i metoder og betingelser for måling av lydabsorpsjon i klangrom. Forutsetningene for testing i henhold til standard er:

- Volum på rommet skal være minst 150 m³, med følgende betingelse oppfulgt:

$$I_{max} = 1,9V^{\frac{1}{3}}$$

Hvor:

I_{max} er lengden av den lengste rette linje som passer inn i grensen til

- rommet, i meter
V er volumet av rommet, i kubikkmeter
- Rommet er dekket med diffust lydfelt i himling
 - Testobjektet skal være mellom 10-12 m². Det skal være rektangulært, med bredde/lengde-forhold på mellom 0,7-1. Objektet skal ikke plasseres mindre enn 1 m fra veggen
 - Klimatiske betingelser: Relativ fuktighet mellom 30-90%, temperatur på minst 15°C
 - For hvert objekt som testes skal lydkilden og mikrofonen plasseres forskjellig. Mikrofonen skal alltid være minst 1,5 meter fra forrige posisjon, minst 2 meter fra lydkilden, og minst 1 meter fra testobjektet og veggen.
 - Lydkilden skal være rundstrålende, og hver posisjon skal være minst 3 meter fra forrige posisjon.
 - Det skal tas minst 12 tester av hver posisjon for både lydkilde og mikrofon. Det vil si at lydkilden skal ha minst 3 posisjoner, og mikrofonen minst 4. Dette gir 12 testresultater.
 - For å få et fullverdig resultat skal det bli gjort 3 målinger for hver posisjon. Dette gir totalt 36 testresultater.

4.6.3 Utførelse av målinger

Alle målingene ble utført på Sintef Byggforsk sitt klangrom i på Blindern i Oslo, som tilfredsstiller Norsk Standard sine krav til både størrelse, og har et diffust lydfelt i himling.

Før målingene kunne foretas måtte det skje en kalibrering av mikrofon, samt at de klimatiske forholdene måtte sjekkes. Det være seg temperatur, trykk og relativ fuktighet.

Kalibreringen ble gjort ved å sjekke at frekvensen inn i mikrofonen var den samme som ble målt i måleapparatet. Det ble sendt en gitt frekvens inn i mikrofonen og sjekket at dette var den samme som ble målt.

Temperatur og relativ fuktighet ble målt før hver test, inne i klangrommet. Sintef Byggforsk i Oslo har et barometer, hvor trykket ble lest av på begynnelsen og slutten av dagen.

Panelene ble lagt inne i rommet, i henhold til Norsk Standard sine krav. Lydkilde og mikrofon ble også plassert etter disse kravene. Alle plasseringene kan ses under hvert testobjekt. Det ble utførte tre målinger for hver plassering av lydkilde og mikrofon. Totalt 36 målinger ble utført for hvert testobjekt.

Resultatene ble samlet opp i et Excel-dokument, som etterpå blebehandlet. Alle disse resultatene ligger som vedlegg, i vedlegg 1.

Etterklangstiden til rommet i hvert frekvensområde uttrykkes av det aritmetiske gjennomsnittet av det totale antall etterklangstidsmålinger i det frekvensbåndet.

Gjennomsnittlig etterklangstid i hvert frekvensbånd skal kalkuleres og uttrykkes med to desimaler.

4.6.4 Frekvensområde

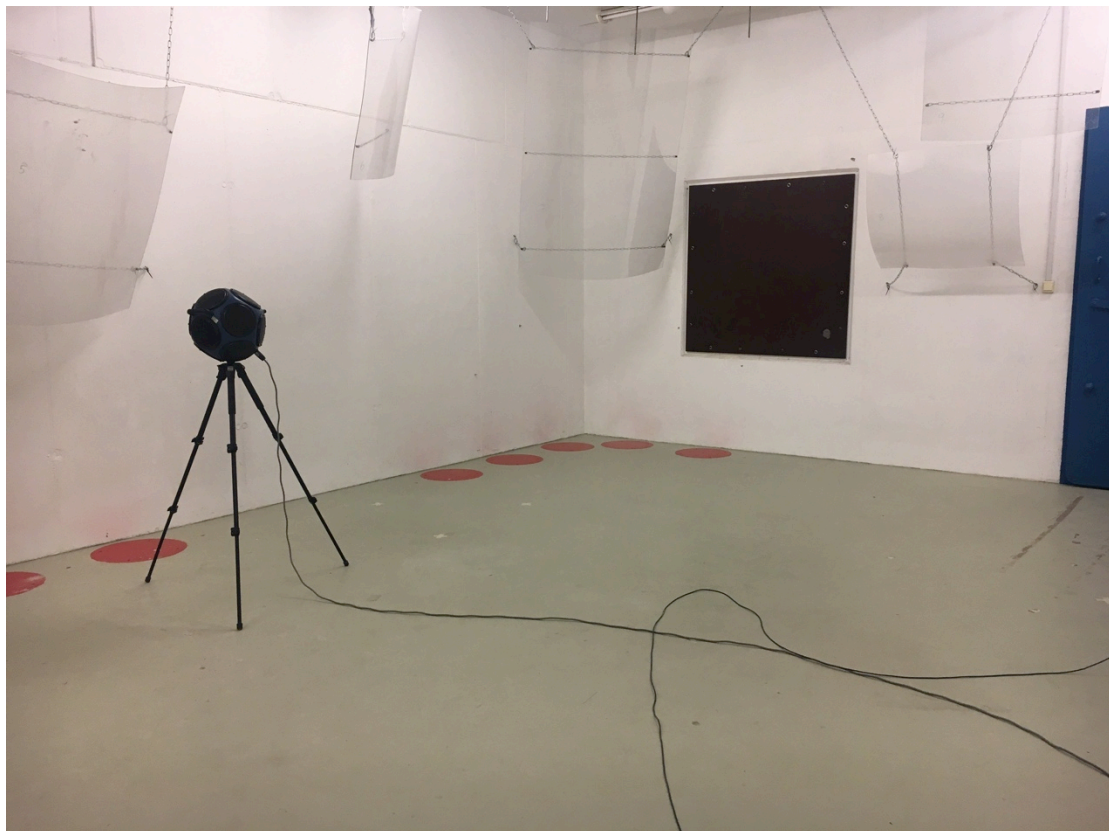
Alle målinger skal gjøres i en tredjedels oktavnåb med senterfrekvenser som vist i tabell 4, i Hertz, som spesifisert i NS-EN ISO 354:2003 (ISO 354:2003)

Tabell 4 Senterfrekvenser for måling i klangrom, som spesifisert i NS-EN ISO 354:2003

100	125	160	200	250	315
400	500	630	800	1000	1250
1600	2000	2500	3150	4000	5000

4.7 Referansemåling

Det ble først tatt en referansemåling, for sammenligning av etterklangstid. Her var det ingen objekter i rommet, det var fullstendig tomt, foruten mikrofon, lydkilde og diffusorer i himling, som kan ses i figur 9. 36 målinger ble tatt, alle oppfylte forutsetningene for målinger oppgitt i kapittel 4.6.2 var tilfredsstillende, foruten luftfuktigheten, som lå noe under 30%.



Figur 9 Klangrom med diffust lydfelt i himling og en opphøyd høyttaler

4.8 Måling av testobjekt 1

Testobjekt 1 lå rett på betong under målingen. Det totale arealet på testobjektet var 104144 mm^2 . Ettersom panelet var litt bøyd under transporten ble det lagt en planke på den ene siden av panelet, som kan ses i figur 10. På den andre siden var lengdene forskjellige. Her ble det lagt plastelina for å dekke hullene, som kan ses på figur 11.



Figur 10 Testobjekt 1, med plank i den ene enden

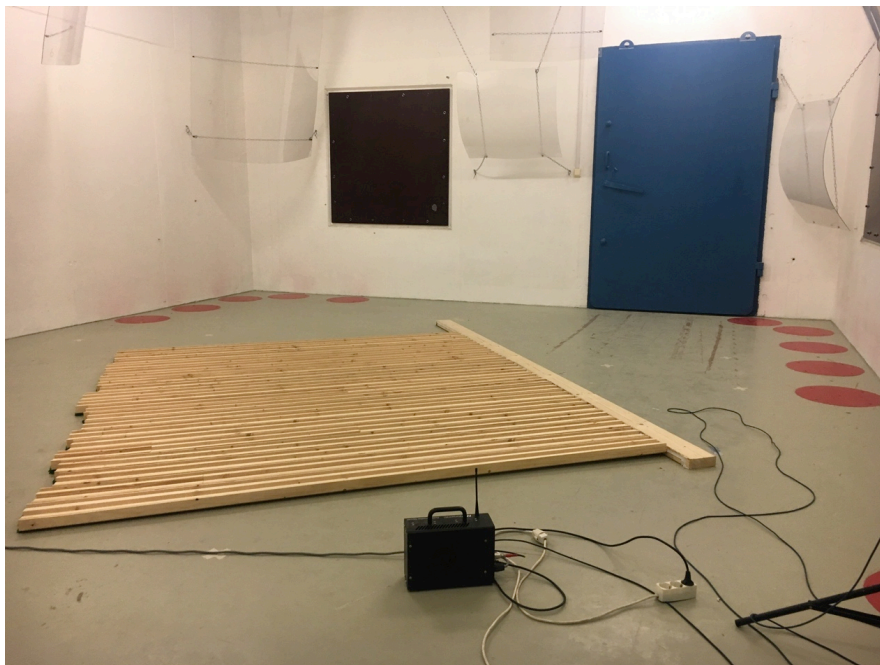


Figur 11 Testobjekt 1 med plastelina for å tette hull

Alle forutsetninger for måling, som oppgitt i kapittel 4.6.2 var oppfylt, foruten luftfuktigheten, som var noe under 30%.

4.9 Måling av testobjekt 2

Testobjekt 2 lå rett på betong under målingen. Dette panelet hadde hulrom bak panelet, så også her ble det lagt en planke i den ene enden av panelet, som kan ses i figur 12. I den andre enden var lengdene forskjellige, så for å dekke hull, samt hullene som er bak panelet, ble det lagt plastelina her, som kan ses i figur 13.



Figur 12 Testobjekt 2 med planke i den ene enden for å tette hull



Figur 13 Testobjekt 2 med plastelina for å tette hull

Totalt areal på panelet var 84684,23 m². Bortsett fra areal, og luftfuktighet, var alle forutsetninger oppgitt i kapittel 4.6.2 oppfylt.

4.10 Måling av testobjekt 3

Testobjekt 3 lå rett på betong under målingen. Også dette panelet hadde hulrom bak panelet, og ulike lengder, så det ble tettet med plank i den ene enden og plastelina i den andre. Dette kan ses på figur 14.



Figur 14 Testobjekt 3 med planke i den ene enden for å tette hull

Totalt testareal for testobjekt 3 var 80208,75 mm². Foruten areal og luftfuktighet var alle forutsetningene nevnt i kapittel 4.6.2 oppfylt.

4.11 Måling av testobjekt 4

Testobjekt 4 er det samme som testobjekt 2, men med oppbygging under. Bilder av oppbygging kan ses i figur 7. Alle hulrom ble tettet med plastelina, som kan ses på figur 15.

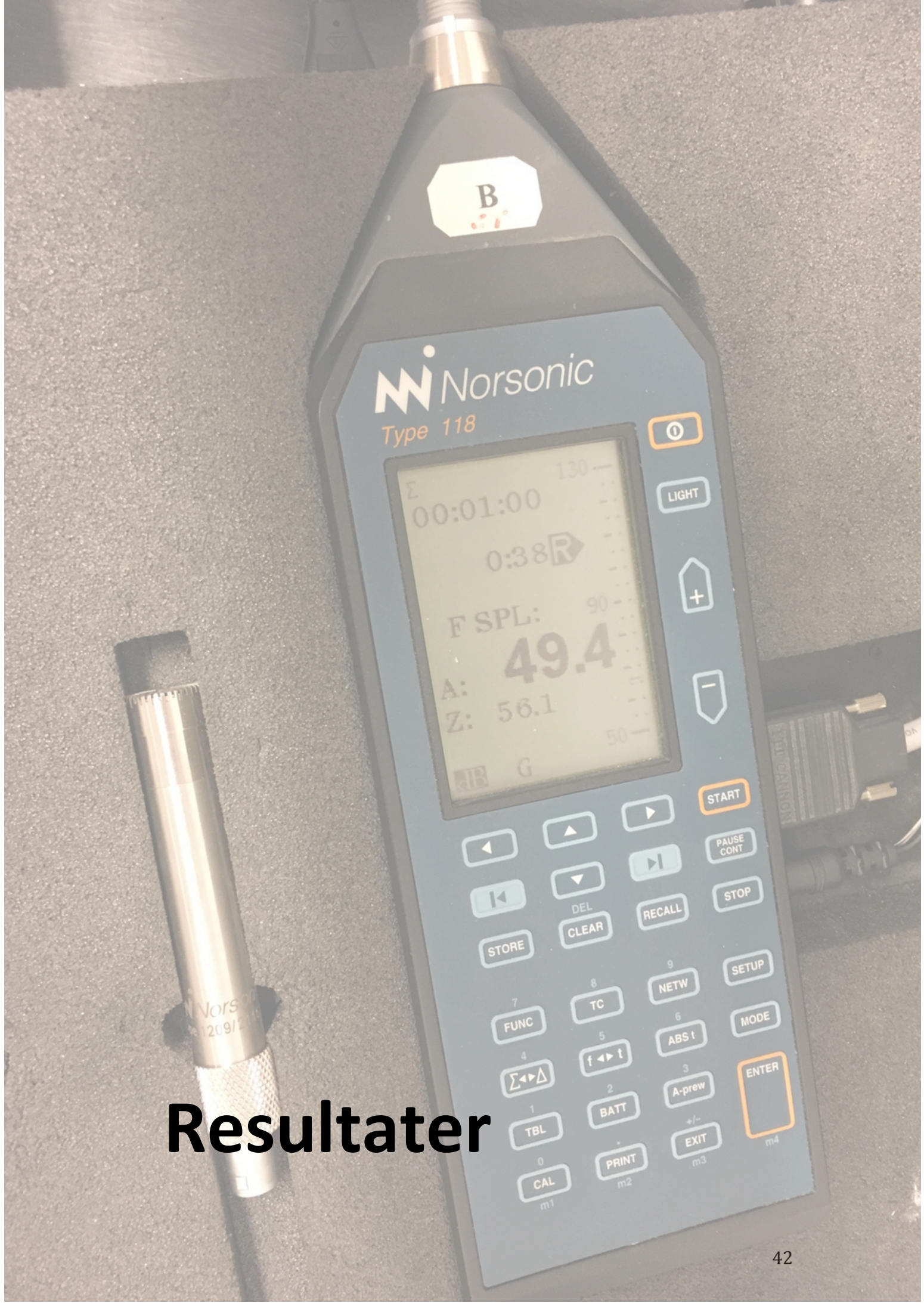


Figur 15 Testobjekt 4, tverrsnitt med plastelina for å tette hull

Totalt areal på testobjektene er 9,33 m². Foruten areal og luftfuktighet er alle forutsetninger oppgitt i kapittel 4.6.2 oppfylt.

4.12 Sammenligningsgrunnlag

Absorpsjonskoeffisienten blir sammenlignet med standardiserte absorpsjonskoeffisienter for diverse materialer i henhold til BKS 543.414 tabell 21-25 (BKS 543.414, 2014), oppgitt i kapittel 3.1. Etterklangstiden blir sammenlignet med referansemålingen samt grenseverdiene oppgitt i kapittel 3.3.



B

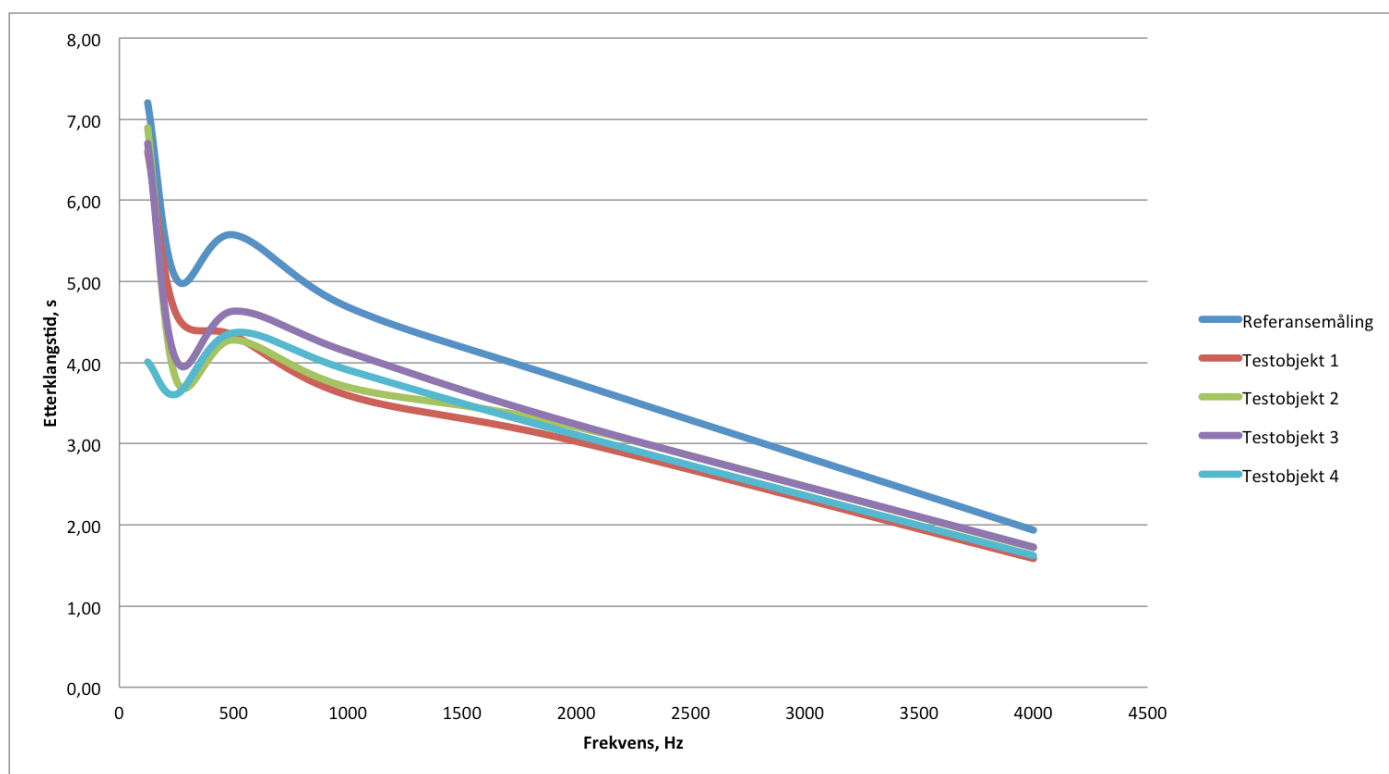
Norsonic
Type 118

Σ 130
00:01:00
0:38 R
F SPL: 90
A: 49.4
Z: 56.1
50

Resultater

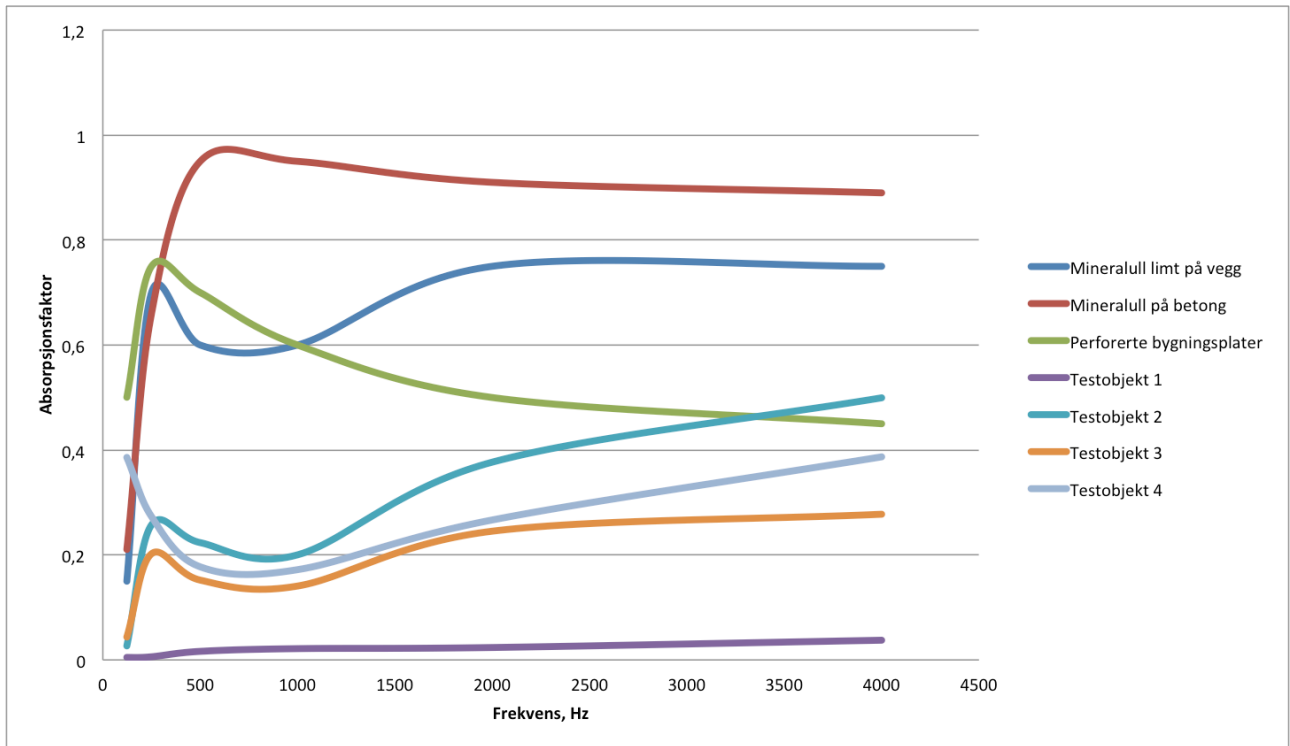
5 Resultater

Alle resultater kan ses i vedlegg 1. Representert i figur 16 er etterklangstid for testobjekt 1-4 samt referansemåling.

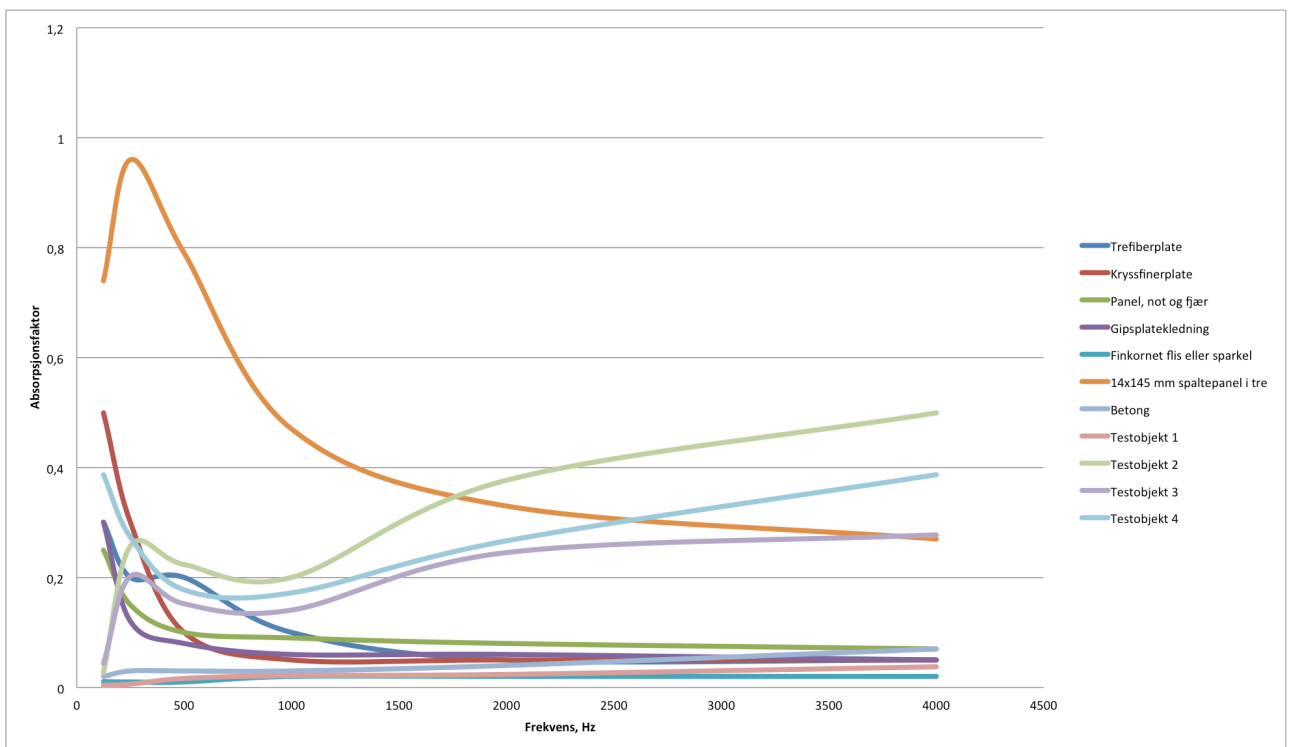


Figur 16 Sammenligning av etterklangstid, referansemåling og testobjekt 1-4

Representert i figur 17 er absorpsjonsfaktor for testobjekt 1-4 samt standardiserte absorpsjonskoeffisienter til typisk absorberende materialer. Figur 18 representerer absorpsjonsfaktor for testobjekt 1-4 samt standardiserte absorpsjonskoeffisienter til følgende typisk materialer. Alle materialene er oppgitt i kapittel 3.1. (BKS 543.414?)



Figur 17 Sammenligning av absorpsjonsfaktor, testobjekt 1-4 og typisk absorberende materialer



Figur 18 Sammenligning av absorpsjonsfaktor, testobjekt 1-4 og typisk reflekterende materialer



Diskusjon

6 Diskusjon

6.1 Avvik

Det finnes avvik i oppgaven som kan ha påvirket resultatene. Relativ fuktighet i klangrommet var under 30%, som i utgangspunktet står i standarden at det skal være. Den er likevel tilnærmet konstant i alle forsøkene, og ettersom oppgaven på et punkt ser på en sammenligning av resultatene vil det ha lite og si.

Testobjekt 2, 3 og 4 tilfredsstilte ikke kravet om areal på 10-12 m². Alle er litt under. Dette kan ha ført til at resultatet har blitt noe dårligere enn om man hadde hatt fulle 10 m².

Under måling av testobjekt 4, som var oppbygd, var det også noe støy utenfor klangrommet. Det ble gjort tiltak for å slippe at dette virket inn på resultatene, men det kan likevel ha gjort det.

Det er heller ikke målt EDT i denne målingen. Dette hadde gjort resultatene mer virkelighetsnære.

Kun T30 er representert i oppgaven. T20 kan ses i vedlegg 1. Avvikene mellom de to nivåfallene er såpass små at det kan antas diffust lydfelt, og ettersom avvikene er små, representeres kun ett av resultatene.

6.2 Referansemåling

Referansemålingen viser, som ventet, høye resultater. Etterklangstiden er langt over Norsk Standard sitt krav, som vises i tabell 3. Klangrommet er i dette tilfellet et helt tomt betongrom, med diffust lydfelt i himling. Tilnærmet alle flater er reflekterende, noe som vil sende lydbølgene i alle retninger, og lyden vil forplante seg i rommet. Vi får derfor høy etterklangstid, og store avvik fra kravene til Norsk Standard.

6.3 Testobjekt 1

Etterklangstid for testobjekt 1 er lave i forhold til referansemålingen, som vil si at for alle frekvenser er etterklangstiden redusert i forhold til referansemålingen.

I forhold til Norsk Standard, som oppgitt i figur 2 og tabell 3, er resultatene for høye.

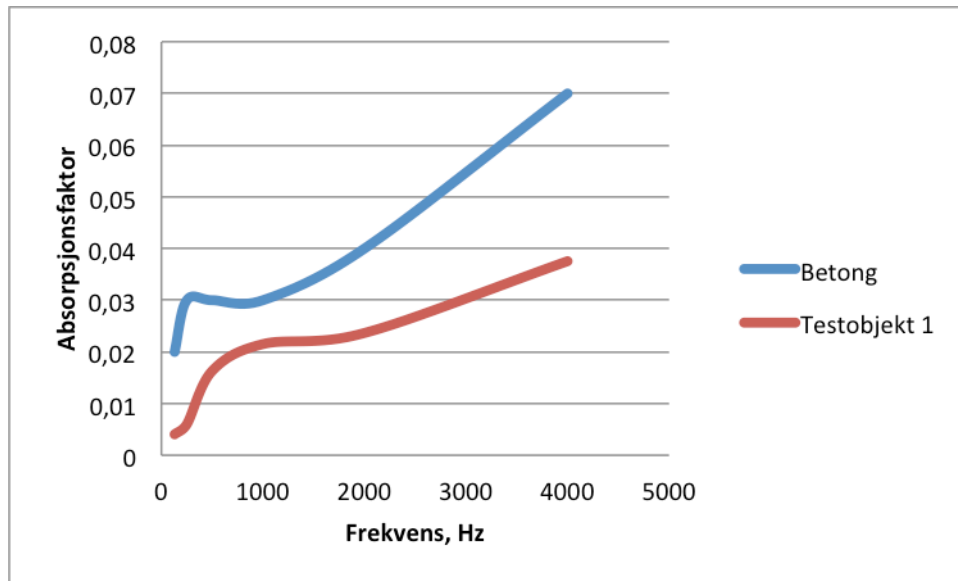
Dette vil si at panelet ikke vil dempe etterklangstiden tilstrekkelig, i et rom av betong, med en vegg med panel.

Absorpsjonsfaktoren til testobjekt 1 er målt til maksimalt 0,043 og gjennomsnittlig 0,018. Dette er veldig lavt, og vil si at panelet gjennomsnittlig absorberer 1,8 % av innkommende lydbølger. Absorpsjonsfaktor er regnet til å være lav over hele frekvensområdet. Det er lite forskjell på de høye og de lave frekvensene.

Resultatene for testobjekt 1 kan sammenlignes med absorpsjonskoeffisienten til betong, som kan ses i figur 19. Det er med andre ord ikke noen hensikt i å montere dette panelet for lyddempende grunner.

Verken målt etterklangstid eller absorpsjonsfaktor er i dette tilfellet tilfredsstillende for produksjon av lyddempende veggpanel.

Absorpsjonsfaktoren er veldig lav, til og med lavere enn betong, som betyr at det kan selges som reflekterende panel, men ikke absorberende.



Figur 19 Sammenligning av absorpsjonsfaktor, betong og testobjekt 1

6.4 Testobjekt 2

Ser man på testobjekt 2 i forhold til referansemålingen, er avvikene i etterklangstid positive, som vil si at for alle frekvenser reduseres etterklangstiden i dette tilfellet.

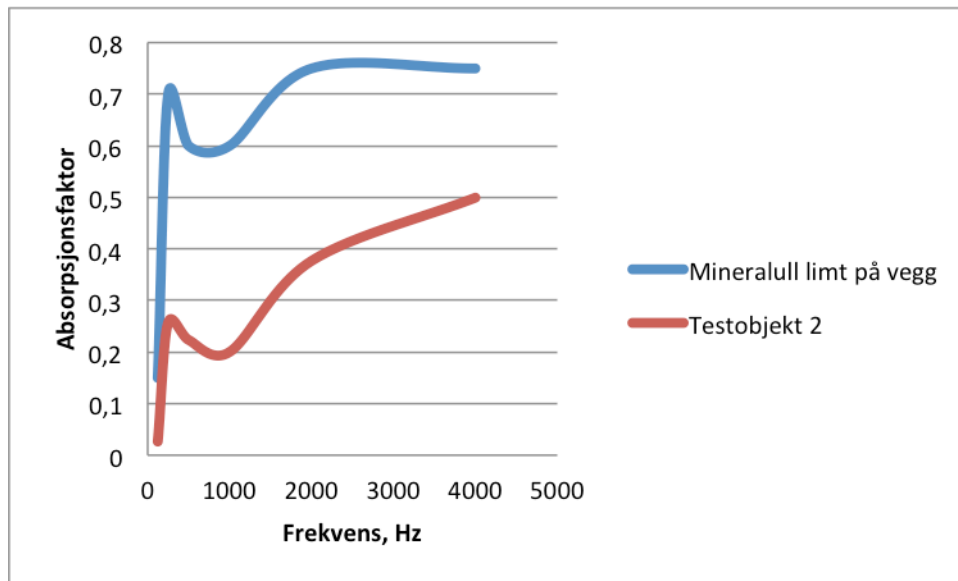
I forhold til Norsk Standard er avvikene negative for de lave frekvensene 100 Hz, 125 Hz og 160 Hz, samt for 1600 Hz, 2000 Hz og 2500 Hz. Vi ser også her at etterklangstiden er høy i forhold til kravene i NS 8175 i figur 2.

Om man ser utelukkende på etterklangstiden vil altså ikke testobjekt 2 være egnet for å forbedre responsen i et rom.

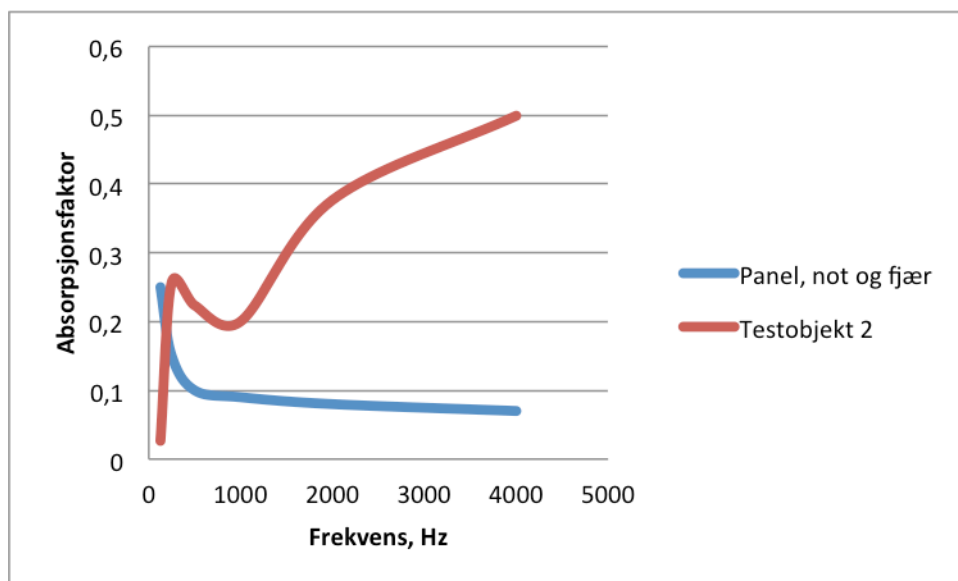
Ser man på absorpsjonskoeffisienten for testobjekt 2 er denne regnet til maksimalt 0,561, og gjennomsnittlig 0,258. Den maksimale absorpsjonskoeffisienten er regnet for 3150 Hz. De høyeste absorpsjonskoeffisientene er regnet for frekvensene i dette området. Sammenligner man disse resultatene med absorpsjonskoeffisientene for andre materialer, som vist i figur 17 og 18, ser man at de ligner mest på absorberende materialer som mineralull. Frekvensene er lave i de lave frekvensene, og stiger mot de høyere. Dette er også tilfelle for absorpsjonsfaktoren for mineralull lint på vegg, som vi kan se i figur 20. Verdiene er lavere for trepanelene, men man ser samme stigning når man kommer opp i de høye frekvensene. Ser man på absorpsjonskoeffisienten for andre treprodukter, som er oppgitt i figur 21, for panel med not og fjær, ser man at absorpsjonskoeffisienten for testobjekt 2 er høyere.

Etterklangstiden i dette tilfellet er noe høy, mens absorpsjonskoeffisienten er bedre enn for andre treprodukter. Det vil si at dette panelet kan være gunstig å

produsere med lyddeppe hensikt, spesielt i miljø med høye frekvenser, hvor både etterklangstiden og absorpsjonskoeffisienten er tilfredsstillende.



Figur 20 Sammenligning av absorpsjonsfaktor, mineralull og testobjekt 2



Figur 21 Sammenligning av absorpsjonsfaktor, panel og testobjekt 2

6.5 Testobjekt 3

For testobjekt 3 er Norsk Standard sine krav ikke oppfylt for de lave frekvensene.

For frekvensene 100 Hz, 125 Hz og 160 Hz er avviket stort. For de resterende er ikke avviket veldig stort, som for eksempel for 400 Hz og 500 Hz, er avviket minimalt. I forhold til referansemålingen er heller ikke avviket stort. Her hadde man ønsket et mye større avvik.

Grunnen til dette kan være er for lite areal, eller at strukturen på panelet er for åpen, og lydbølgene reflekteres ut igjen i rommet.

Absorpsjonskoeffisienten for testobjekt 3 er regnet ut til å være maksimalt 0,281 og gjennomsnittlig 0,174. Her ser man at absorpsjonskoeffisienten er lav i de lave frekvensene, og øker mot de høye.

I dette tilfellet ser man at etterklangstiden er høy for både de lave og de høye frekvensene. Absorpsjonskoeffisienten er heller ikke tilfredsstillende for produksjon av panelet.

6.6 Testobjekt 4

For testobjekt 4 er resultatene jevnt over bedre enn for de andre testobjektene, på linje med testobjekt 2. For frekvensene 2000 og 2500 Hz er avviket fra standarden negativt. Omkring dette er avvikene små, men positive. Det vil si at panelet er godkjent i henhold til standard. Avvikene fra referansemålingen er veldig høye for de små frekvensene, og synker mot de høyere, men kommer aldri under 0. Også dette panelet hadde for lite areal i forhold til standard. Det vil si at resultatene ved et større areal trolig vil bli enda bedre.

Dette er også den eneste testen hvor man får virkelig høye verdier i forhold til referansemålingen. Her er det største avviket på 4,89. I tabell 1 kan man se at dette tilsvarer en forbedring på "godt merkbar".

Det var også ulik tykkelse på isolasjonen i bakveggene. Det kommer ikke fram i testen, men det er trolig best demping av etterklangstid i veggen med tykkeste isolasjon, ettersom flest lydbølger kan fanges her.

Absorpsjonskoeffisienten for testobjekt 4 er regnet til å være maksimalt 0,511, og gjennomsnittlig 0,271. Her er absorpsjonskoeffisienten høy for de lave frekvensene og lavt for de høye frekvensene. Med tanke på at strukturen i dette forsøket er lik strukturen i testobjekt 2, er dette bemerkelsesverdig. Her ligger panelene over absorberende materiale, altså mineralull, så man skulle trodd at resultatet her skulle ligne mer på absorpsjonskoeffisienten for mineralull som er montert direkte på betong. Derimot er testobjekt 4 mer likt dette tilfellet, mens resultatene for testobjekt 2 med oppbygning er mer likt absorpsjonskoeffisienten for spaltepanel i tre, som man kan se i figur 18. Resultatene kan også minne om absorpsjonskoeffisienten for kryssfinerplate montert med hulromsavstand til konstruksjon, med mineralull i hulrommet. Konstruksjonsmessig ligner også de to tilfellene. Man kan derfor si at dette forsøket er mest virkelighetsnært, og man har en konstruksjonsmessig riktig tilnærming, da panel sjeldent blir montert direkte på betong, uten hulrom bak.

For testobjekt 4 er både etterklangstiden og absorpsjonsfaktoren mest tilfredsstillende for lave frekvenser. Som nevnt er arealet i dette forsøket for lite i henhold til standard, så det er trolig at også resultatene i de høyere frekvensene hadde blitt bedre om man hadde hatt et større areal.

6.7 Generell diskusjon

For testobjekt 1-3, uten oppbygging, ble resultatene for dårlige i forhold til Norsk Standard. Dette var ventet. De er likevel bedre i forhold til referansemålingen, noe som også var ventet. Det at det ble brukt samme strukturen på testen med oppbygging, i testobjekt 4, viser at oppbyggingen hjelper på etterklangstiden. Dette er naturlig, da lydbølgene her vil ha noe å forplante seg i. Det er heller ikke konstruksjonsmessig gunstig å feste et trepanel direkte i en betongvegg, så det har heller ingen praktisk hensikt.

Det er også lite realistisk å se på et helt tomt rom når man ser på etterklangstid, selv om det er dette som må gjøres ved en måling. Alt som er i et rom vil være med å dempe og spre lyden. Mennesker, møbler og alt annet. Man ser likevel på disse målingene for å se på forskjellen mellom dem, og sammenligne disse resultatene med resultatene for utregning av absorpsjonskoeffisienten.

Ser man på både etterklangstiden og absorpsjonskoeffisienten ser man at det er ett panel som skiller seg ut fra de andre. Overflatestruktur 2, i testobjekt 2 og 4 har tilfredsstillende resultater både når det er montert direkte på betong, og når det er oppbygget. Dette panelet har også en betydelig estetisk verdi, og er ulikt mye annet man får på markedet.

Når det gjelder økonomi er det stor forskjell i produksjonskostnaden på oppgavens paneler og salgsprisen eksempel FlutterFree. Det er naturlig at salgsprisen er høyere, men i dette tilfellet er den 4,5 ganger høyere. Det er derfor trolig at testobjekt 2 kan selges billigere enn de akustiske panelene som er på markedet i dag.

6.8 Videre arbeid

I starten av arbeidet med oppgaven var ønsket å med å prøve å tegne veggene i Rhinoceros, et dataprogram for teknisk tegning, samt visualisering. Det finnes en Plug-in til programmet, Pachyderm, som skal kunne visualisere og simulere lyd og få resultater på både absorpsjonsfaktor og etterklangstid i et rom. Her kan man tegne rommet man ønsker, samt strukturen på veggen. Jeg brukte veldig mye tid på å lære meg programmet, men det viste seg at det dessverre ikke var ferdig utviklet, så jeg fikk ikke gjort noen simulering. Jeg valgte derfor strukturene på teoretisk grunnlag, uten å simulere dem først. Det kan være en fordel å simulere panelene først, ettersom å teste dem i klangrom er mye arbeid, tar mye tid og er kostbart.

For alle testobjektene kunne det også ha vært en ide å sprøyte inn et absorberende materiale i bunnen av dalene i strukturene. Dette gjør igjen at panelene ikke blir i heltre, men det ville trolig ha bedret resultatene. Spesielt for struktur 2 og 3, hvor lydbølgene faktisk trenger inn mellom stolpene.

Det hadde også vært interessant og sett hvordan disse panelene fungerer utendørs, for eksempel for å redusere støy fra jernbane. Ettersom materialet er heltre, tåler det å være ute.

8 Konklusjon

Målet med denne oppgaven var å finne en struktur på et innendørs veggpanel i heltre, som forbedrer responsen i et rom ved å redusere absorpsjonskoeffisienten. Det ble også sett på etterklangstiden til testobjektene, i forhold til en referansemåling av et tomt rom.

Etterklangstiden viser at panelene ikke er gunstig å produsere for å selge som akustisk panel. Ser man derimot på etterklangstid og absorpsjonskoeffisient samlet, er det ett panel som skiller seg vesentlig ut fra de andre. Testobjekt 2 samt testobjekt 4 som har samme struktur, med ujevne mellomrom mellom, og forskjellig høyde på stolpene, viser at etterklangstiden blir redusert, og har en relativt høy absorpsjonsfaktor i forhold til andre trebaserte panel. Denne kan faktisk sammenlignes med absorberende materialer.

Når det kommer til økonomi er produksjonskostnaden på andre akustiske veggpanel uvisst, men salgsprisen på panelene fra Lyd og Akustikk er 4,5 ganger høyere enn produksjonskostnaden på oppgavens panel. Dette er også panel som produseres på bestilling, som vil si at det ikke koster noe å ha dem i sortimentet.

Denne oppgaven viser at det er mulig å øke absorpsjonskoeffisienten ved å endre strukturen på panelet.

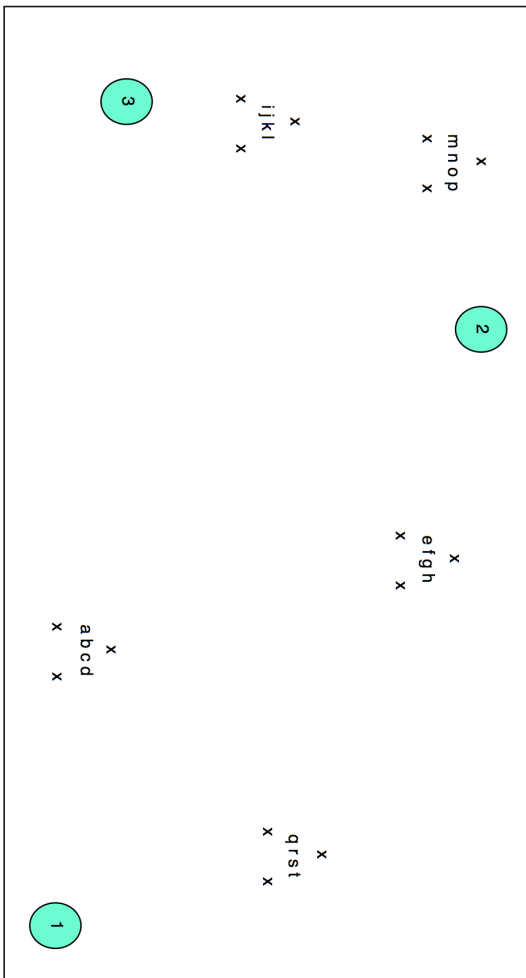
9 Referanser

- Edwardsen, K. I., Helle, K., Grindalen, P. E., Ramstad, T., Saltnes, J. (2006), Trehus – håndbok 53, Sintef Byggforsk
(Edwardsen et al, 2006)
- Drammerud, Jens Jørgen (2013), Romakustikk, NISS
(Drammerud, 2013)
- BKS 527.300 (1998), Romakustikk, Sintef Byggforsk
(BKS 527.300, 1998)
- BKS 527.304 (1999), Lydregulering i rom med tilhørere, Sintef Byggforsk
(BKS 527.304, 1999)
- BKS 421.402 (2004), Romakustikk og lydisolering, Sintef Byggforsk
(BKS 421.402, 2004)
- BKS 421.421 (2010), Grenseverdier for innendørs og utendørs lydnivåer, Sintef Byggforsk
(BKS 421.421, 2010)
- BKS 421.401 (2004), Lydutbredelse og støy. Grunnbegreper
(BKS 421.401, 2004)
- BKS 543.424 (1999), Lydspredende flater (diffusorer), Sintef Byggforsk
(BKS 543.424, 1999)
- BKS 543.414 (2014), Bruk av lydabsorbenter i bygninger. Prinsipper og datasamling
(BKS 543.414, 2014)
- NS-EN ISO 354:2003 (2003), Akustikk – Måling av lydabsorpsjon i klangrom
(ISO 354:2003)
- NS 8175:2012 (2012), Lydforhold i bygninger – Lydklasser for ulike bygningstyper
(NS 8175:2012)
- Haraldsson, *nettbutikk*, <http://www.haraldsson.no/MOBLER-FOR-BEDRIFTEN/Produkter/Skillevegg/Veggpanel/Bits> (hentet 07.07.2017)
- Good Sound Proof, *nettbutikk*, <http://www.goodsoundproof.com/acoustic-panels/wood-acoustic-panel/mdf-groove-wooden-acoustic-panel-28-4-.html>
(hentet 07.07.2017)
- Akustikksenter, *nettbutikk*,
https://www.akustikksenter.no/butikk/lyddempende-produkter/lyddemping-med-dekor/?gclid=CjwKEAjw4vzKBRct9Zmg8f2blgESJADN5fDgu2WZZnRyANdLm8USuPZrjz0EJOVQzKTxYRhk6Ng2KBoChsTw_wcB (hentet 07.07.2017)
- http://www.lydogakustikk.no/?page_id=1481&lang=nb#produktid_12
(hentet 07.08.2017)
- <http://www.lydogakustikk.no/?product=flutterfree> (hentet 08.08.2017)

Vedlegg

Vedlegg 1

Plassering, høyttaler		Plassering, mottaker		Film (04.05.17)
1	e	nr 7-9		
1	n	nr 10-12		
1	j	nr 13-15		
1	d	nr 16-18		
2	h	nr 19-21		
2	s	nr 22-24		
2	i	nr 25-27		
2	c	nr 28-30		
3	f	nr 31-33	høy høyttaler	
3	m	nr 34-36	høy høyttaler	
3	t	nr 37-39	høy høyttaler	
3	b	nr 40-42	høy høyttaler	
Temperatur		20,5 C		
RF		25,6 %		
Trykk		1017,8 hPa		
Lyd sendt inn		-15 dB		

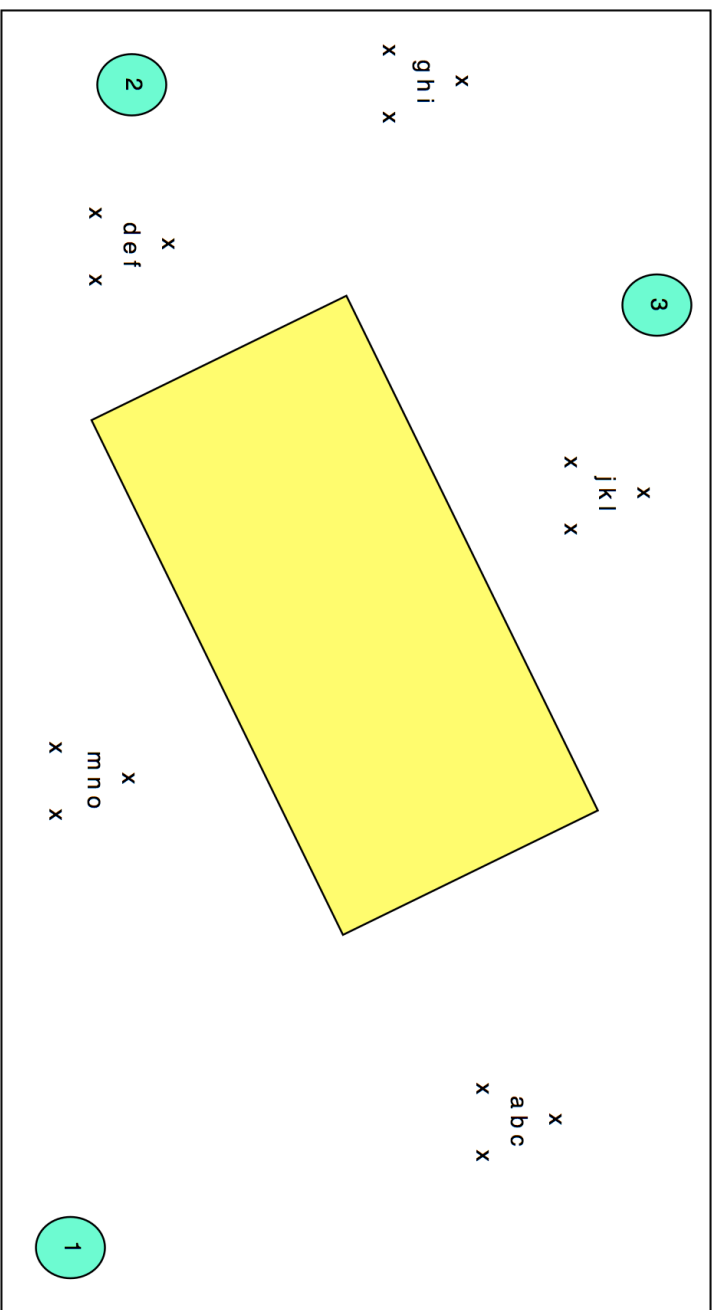


a, i, m, e, q laveste nivå på mikrofon
 b, j, n, f, r litt under midten av høyest og lavest
 c, k, o, g, s litt over midten av høyest og lavest
 e, o, f, i, l høyeste nivå på mikrofon

lassering, høyttaler Plassering, mottaker Flnr (02.05.17__)

1 b	43-46	
1 j	47-49	høy høyttaler
1 i	50-52	høy høyttaler
1 e	53-55	høy høyttaler
2 m	56-58	høy høyttaler
2 b	59-61	høy høyttaler
2 k	62-64	høy høyttaler
2 i	65-67	høy høyttaler
3 c	68-70	høy høyttaler
3 h	71-73	høy høyttaler
3 f	74-76	høy høyttaler
3 d	77-79	høy høyttaler

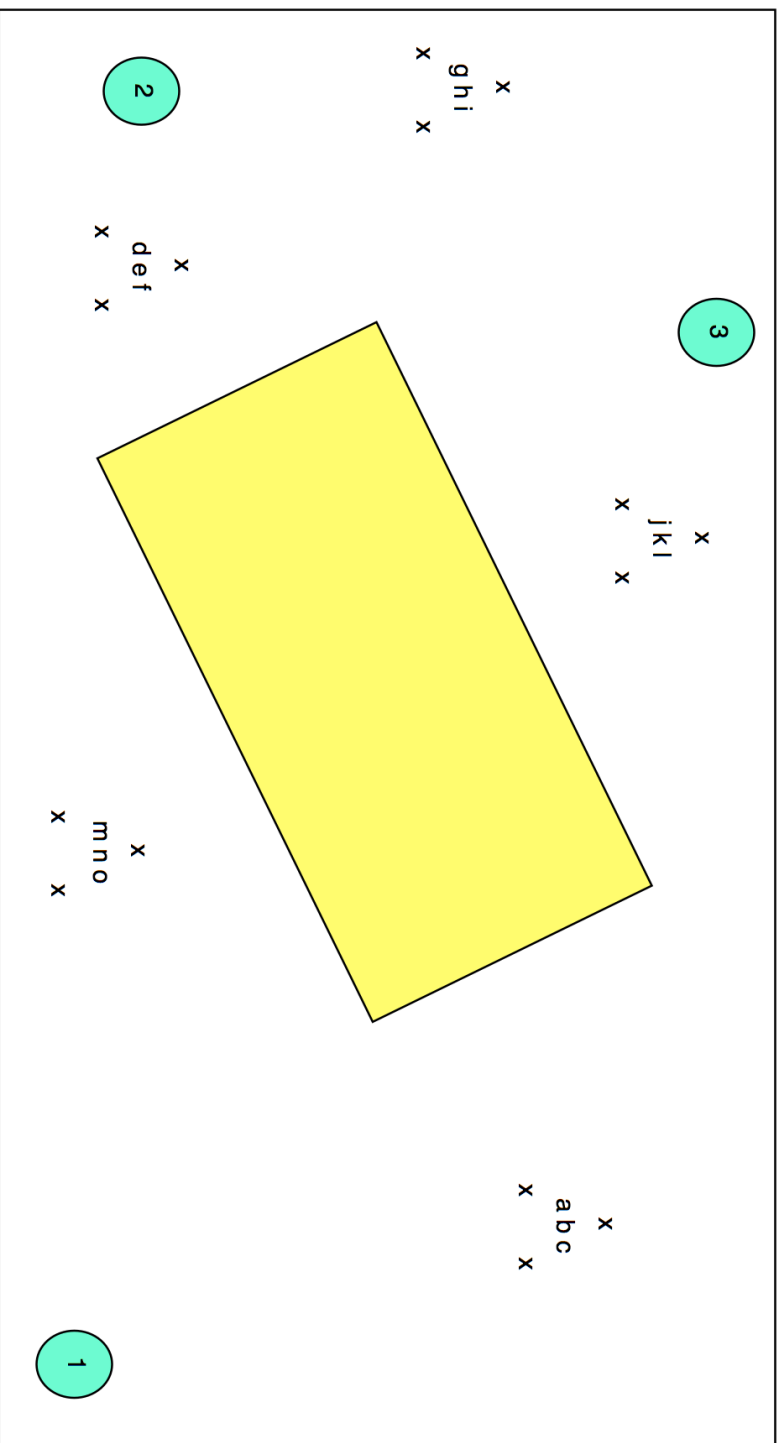
emperatur	20,9 C
F	26,6 %
rykk	1017,8 hPa
bsorpsjonsareal	104,14 m2
yd sendt inn	-15 dB
real	104144 mm2



a, m, d, g, j laveste nivå på mikrofon
 b, n, e, h, k et sted ca midt mellom høyest og lavest
 c, o, f, i, l høyeste nivå på mikrofon

1 a	80-82	
1 k	83-85	
1 i	86-88	
1 f	89-91	
2 l	92-94	
2 b	95-97	
2 n	98-100	
2 o	101-103	
3 j	104-106	høy høyttaler
3 c	107-109	høy høyttaler
3 m	110-112	høy høyttaler
3 e	113-115	høy høyttaler

temperatur	20,7 C
lf	32,3 %
trykk	1017 hPa
absorpsjons:	8,47 m2
yd sendt inr	-15 dB
vreal	88648 mm2

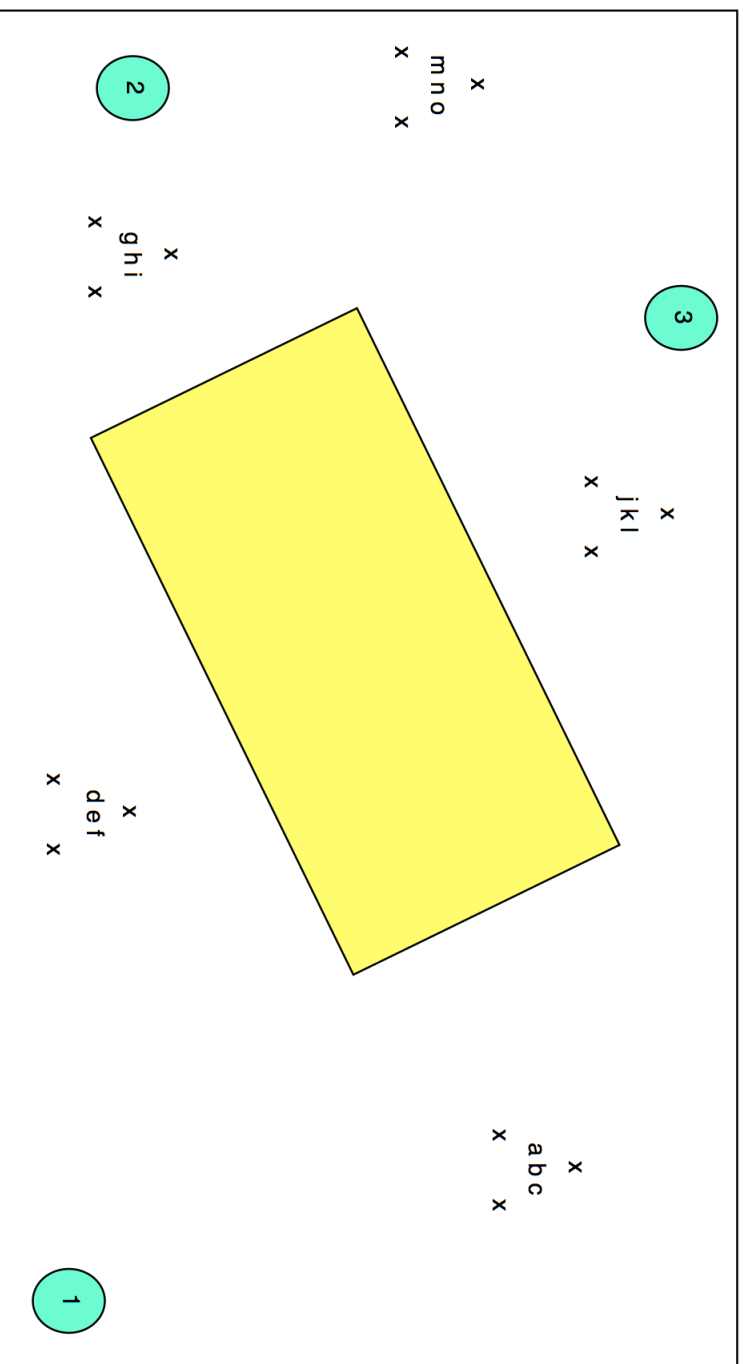


a, m, d, g, j laveste nivå på mikrofon
 b, n, e, h, k et sted ca midt mellom høyest og lavest
 c, o, f, i, l høyeste nivå på mikrofon

lassering, h, Plassering, nr Filnr (03.05.17 ___)

1 a	nr 1-3	høy høyttaler
1 l	nr 4-6	høy høyttaler
1 n	nr 7-9	høy høyttaler
1 h	nr 10-12	høy høyttaler
2 d	nr 13-15	høy høyttaler
2 b	nr 16-18	høy høyttaler
2 k	nr 19-21	høy høyttaler
2 o	nr 22-24	høy høyttaler
3 c	nr 25-27	høy høyttaler
3 e	nr 28-30	høy høyttaler
3 g	nr 31-33	høy høyttaler
3 n	nr 34-36	høy høyttaler

temperatur 21,9 C
 F 26,2 %
 trykk 1021,2 hPa
 bsortsjons: 8,02 m2
 yd sendt inr -15 dB
 real 80208 mm2



a, m, d, g, j laveste nivå på mikrofon
 b, n, e, h, k et sted ca midt mellom høyest og lavest
 c, o, f, i, l høyeste nivå på mikrofon

lassering, h: Plassering, nr: Filnr (04.05.17 ___)

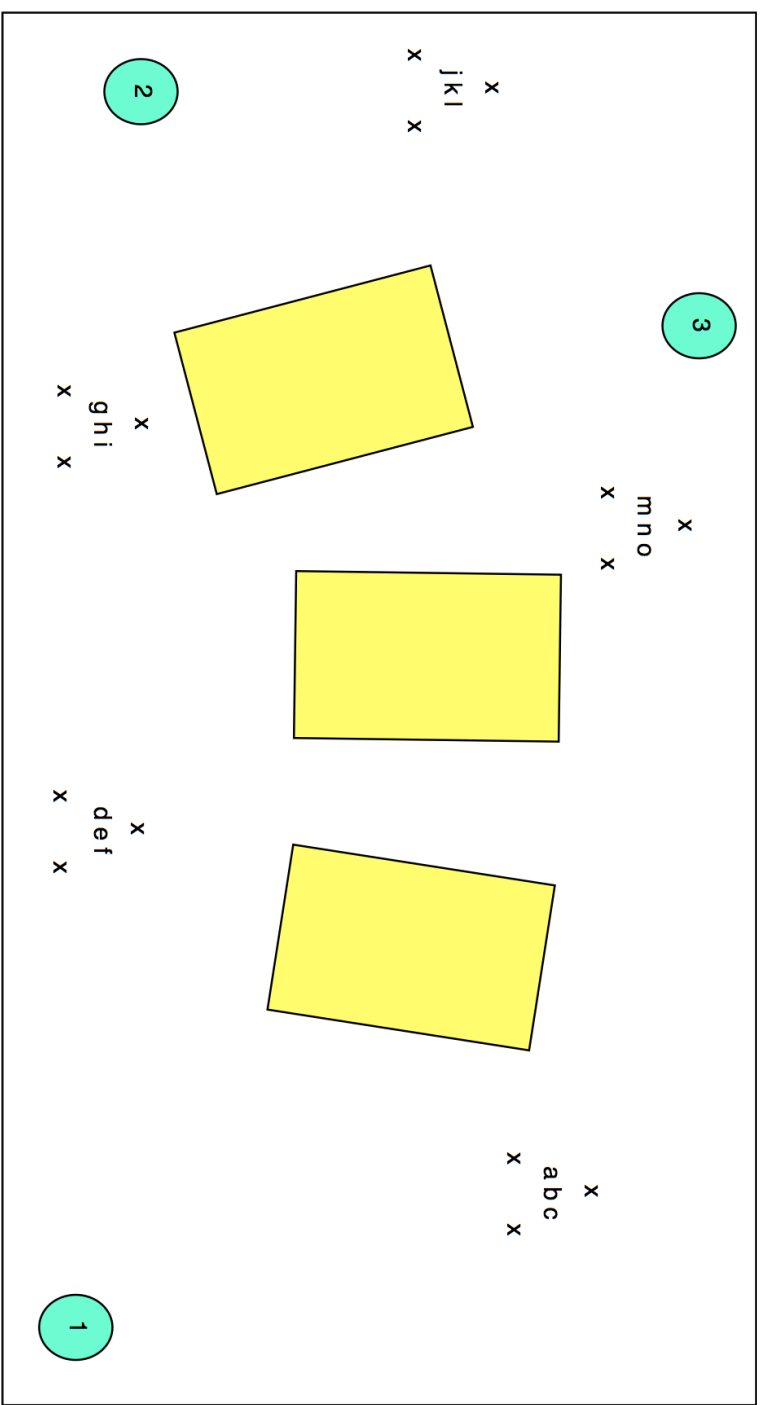
1 a	nr 1-3	
1 h	nr 4-6	
1 k	nr 7-9	
1 o	nr 10-12	høy høyttaler
2 c	nr 13-15	høy høyttaler
2 e	nr 16-18	høy høyttaler
2 h	nr 19-21	høy høyttaler
2 m	nr 22-24	høy høyttaler
3 b	nr 25-27	høy høyttaler
3 d	nr 28-30	høy høyttaler
3 k	nr 31-33	høy høyttaler
3 l	nr 34-36	høy høyttaler

temperatur 21,7 C
 F 26,8 %
 ykk 1021,2 hPa
 bsortsjonse 9,33 m2
 /d sendt innr -15 dB

	lengde	bredde	areal
egg 1	2,45	1,27	3,1115
egg 2	2,45	1,27	3,1115
egg 3	2,45	1,27	3,1115

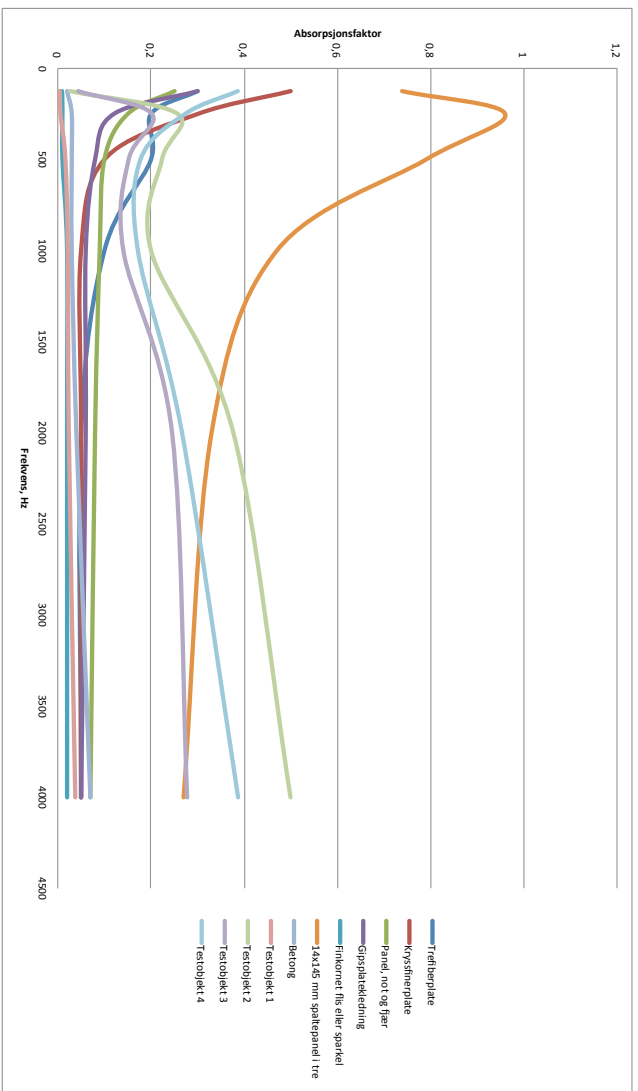
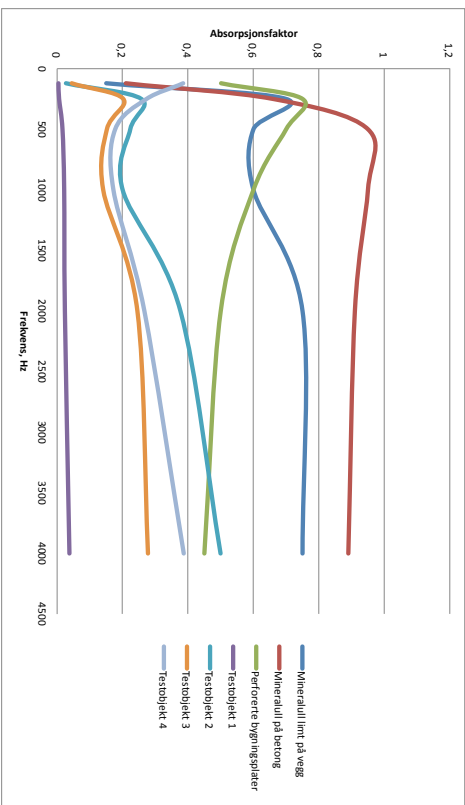
areal, tot 9,3345

Tykkelse
 egg 1 10 cm
 egg 2 14,5 cm
 egg 3 5 cm



a, m, d, g, j laveste nivå på mikrofon
 b, n, e, h, k et sted ca midt mellom høyest og lavest
 c, o, f, i l høyeste nivå på mikrofon

Mineralull lin	Mineralull på	Perforerte bj	Trefiberplate	Kvystfiberplate	Panel, not	og fiber	Gipsplateledning	Finkornet flis	14x145 mm	betong	Testobjekt 1	Testobjekt 2	Testobjekt 3	Testobjekt 4
125	0,15	0,21	0,5	0,3	0,3	0,25	0,3	0,01	0,74	0,02	0,004	0,027	0,043	0,387
250	0,7	0,66	0,75	0,12	0,15	0,12	0,01	0,01	0,96	0,03	0,006	0,257	0,202	0,273
500	0,6	0,95	0,7	0,2	0,2	0,1	0,08	0,01	0,79	0,03	0,016	0,224	0,152	0,177
1000	0,6	0,95	0,6	0,1	0,05	0,06	0,02	0,47	0,03	0,022	0,200	0,141	0,172	0,172
2000	0,75	0,91	0,5	0,05	0,08	0,06	0,02	0,33	0,04	0,024	0,377	0,245	0,267	0,267
4000	0,75	0,89	0,45	0,05	0,05	0,05	0,02	0,27	0,07	0,038	0,499	0,278	0,387	0,387

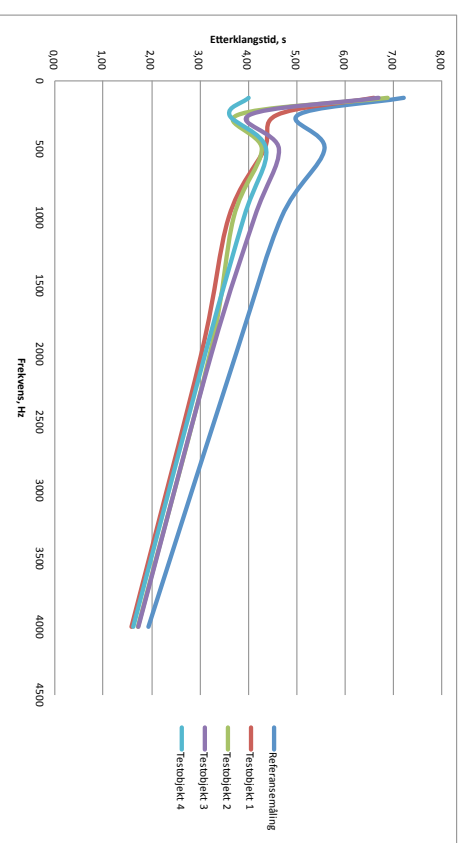


Etterklangstid

Frekvens/tes	Referansen	Testobjekt 1	Testobjekt 2	Testobjekt 3	Testobjekt 4
125	7,20	6,59	6,89	6,70	4,01
250	5,03	4,59	3,78	4,02	3,61
500	5,58	4,34	4,28	4,64	4,37
1000	4,69	3,60	3,70	4,13	3,91
2000	3,75	3,03	3,21	3,24	3,11
4000	1,94	1,59	1,72	1,73	1,62

Testobjekt 1

ref	7,2	5,03
test 1	6,59	4,59





Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway