

Resonansabsorbenter. Innflytelse av randbetingelser.

Eirik Tuftin

Master i elektronikk
Oppgaven levert: Juli 2007
Hovedveileder: Peter Svensson, IET
Biveileder(e): Tor Erik Vigran, IET

Oppgavetekst

Resonansabsorbenter består i prinsippet av en perforert plate mot et lukket hulrom. Hulrommet representerer stivheten i systemet og vil reduseres uten normale randbetingelser, dvs. at systemet er lukket. Samtidig synes diffraksjon langs randa å influere mindre på absorpsjonen enn ved andre typer av absorbenter, eksempelvis porøse typer.

Oppgaven er en undersøkelse av disse faktorer på en ny type av absorbenter basert på plater med mikroslisser. Undersøkelsen er hovedsakelig av eksperimentell art, og omfatter diffusfeltmålinger i klangrom, hvor absorpsjonen bestemmes som funksjon av absorbentens areal og form. Det antas at virkningen av et åpent hulrom delvis kan kompenseres ved å dempe hulrommet med en porøs absorbent, og dette skal undersøkes. Måleresultatene skal, så langt mulig, sammenlignes med beregninger.

Oppgaven gitt: 22. januar 2007

Hovedveileder: Peter Svensson, IET

Sammendrag

I denne rapporten er det undersøkt visse randbetingelser for mikroslisseeabsorbenter.

Det er gjort klangromsmålinger på to typer mikroslisseeabsorbenter, for å undersøke innvirkningen av lekkasjer fra bakrommet og om innvirkningen av lekkasjen kan motvirkes ved å tilføre en porøs absorbent i bakrommet. Målingene viser at absorpsjonsevnen svekkes for lave frekvenser dersom bakrommet ikke er tett og at denne svekkelsen kan motvirkes med en porøs absorbent. Måleresultatene for lekkasjeinnvirkningen er sammenliknet med beregninger gjort ved en elektrisk analogi og beregninger i WinFlag™.

Det er gjort målinger for å undersøke arealeffekten og innvirkningen av spredte enkeltflater for mikroslisseeabsorbenter. Målinger på spredte enkeltflater er gjort på en boksabsorbent fra DeAmp. Målinger av absorpsjonsfaktor på et stort og et lite areal av en mikroslisseeabsorbent i metall, med åpent og lukket bakrom, er gjort for å undersøke arealeffekten. Resultatene for arealvariasjonen viser ingen endring i målt absorpsjonsfaktor, med unntak av en liten økning for høye frekvenser for et oppsett med lukket bakrom. Resultatene for spredte enkeltflater viser variasjoner i absorpsjonsfaktor, men ingen konsistent trend for økt absorpsjon ved spredning av flatene. Måleresultatene for arealeffekten er sammenliknet med beregninger gjort i WinFlag™.

Forord

Denne rapporten er et resultat av masteroppgave i akustikk ved Institutt for elektronikk og telekommunikasjon ved NTNU. Oppgaven er utført i samarbeid med DeAmp AS.

Jeg vil gjerne takke alle som har hjulpet meg underveis i arbeidet med oppgaven. Spesielt vil jeg takke Asbjørn Ustad ved Sintef for gode tips og hjelp med målingene, Leif O. Malvik ved IET, for materialer og bygging av konstruksjonene brukt i målingene, DeAmp og spesielt Bjørn A. Fløtre for tilgang på absorbenter og hjelp med målingene, og Øyvind Lervik ved IET, som alltid har det man mangler av utstyr. Jeg vil også rette en stor takk til veileder Professor emeritus Tor Erik Vigran og faglærer Professor Peter Svensson.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning og bakgrunnsmateriale	1
1.1	Tidligere arbeid	1
1.2	Formål	2
1.3	Bakgrunnsteori	4
1.3.1	Resonansabsorbenter	4
1.3.2	Mikroslisseabsorbenter	6
1.3.3	Viskøse tap	7
1.3.4	Måling av absorpsjonsfaktor	7
1.3.5	WinFlag™	8
2	Målinger og beregninger	9
2.1	Målemetode	9
2.2	Måleoppsett	11
2.2.1	Boksabsorbent	11
2.2.2	Kassettert ramme	12
2.2.3	Frie metallplater	14
2.3	Kretsanalogien	15
2.4	Beregninger i WinFlag	17
3	Resultater og diskusjon	19

3.1	Lekkasjemålinger	19
3.1.1	Kassettert ramme	19
3.1.2	Slissede metallplater	21
3.1.3	WinFlag-beregninger	23
3.2	Arealeffekten og spredte enkeltflater	25
3.2.1	Spredte enkeltflater	25
3.2.2	Lite og stort areal	27
3.2.3	WinFlag-beregninger	28
3.3	Den porøse absorbenten	31
3.4	Lekkasjenes innvirkning	32
3.5	Arealeffekten og spredte flater	32
3.6	Målesikkerhet	33
4	Konklusjon	35
A	Vedlegg	39
A.1	Matlab filer	39
B	Utstyr	41

Tegnforklaring

a : Avstand brukt ved spredning av enkeltflater.

b : Spaltebredde

B : Senter-senter avstand for spalter

c : Lydhastighet $331 + 0,6T_c$, med T_c =lufttemperatur i °C

c_0 : Normal lydhastighet i luft, $344[m/s]$

d : Foringsdybde

t : Spaltedybde

U : Volumhastighet

P : Lydtrykk

W : Effekt

Z_0 : $\rho_0 c_0$, karakteristisk impedans for luft

Z : Impedans

ρ_0 : $1,2[kg/m^3]$, normal lufttetthet

ω : vinkelfrekvens[rad/s], $2\pi f$

μ : viskositetskoeffisient for luft $17,9 \cdot 10^{-5}[kg/(m \cdot s)]$

α : Absorpsjonsfaktor

τ : Transmisjonsfaktor

R : Reduksjonsindeks

Kapittel 1

Innledning og bakgrunnsmateriale

1.1 Tidligere arbeid

Mikroslisseabsorbenter er ny type absorberende som muliggjør god absorpsjon i et varierende frekvensområde. Prinsippet bak absorberenten bygger på gamle og kjente prinsipper som Helmholtz-resonatoren og termo-viskøse tap. En Helmholtz-resonator er et enkelt system bestående av en kavitet og en liten åpning. På midten av 1800-tallet benyttet Herman von Helmholtz resonatorer for å bestemme tone-innhold i lyder. I dag benyttes prinsippet i stor grad blant annet i lydabsorpsjon, for eksempel i panelabsorbenter.

For en distribuert resonator vil hver åpning ha et tilhørende kavitetvolum. Volumet kan endres ved å variere avstanden mellom åpningene. Dette gjør at frekvensområdet for absorpsjonen kan varieres uten å variere dybden i kaviteten, for eksempel ved å justere avstanden mellom åpningene.

En resonator i seg selv har svært lite absorpsjon og det har tradisjonelt vært nødvendig å tilføre resistans i form av en porøs absorberende i hulrommet eller en tynn porøs duk bak åpningene mot kaviteten. For svært små åpninger ($<0,5\text{mm}$) gir viskøse tap tilstrekkelig resistans til å gi god absorpsjon [16]. Dette benyttes i mikroperforerte absorbenter og mikroslisseabsorberenten som undersøkes i denne rapporten.

Godoy et al. [3] har gjort målinger for å undersøke forskjellige monteringer i klangrom for porøs absorberende i himling, der det vises at det har liten innvirkning om man forsegler konstruksjonen mot gulvet eller ikke, for en montering på et ujevnt gulv i etterklangsrom med gliper på inntil $2 - 5\text{mm}$ på enkelte steder langs monteringsrammen. For resonansabsorbenter vil dette kunne ha større innvirkning, ettersom det for den porøse absorberenten hovedsaklig

er avstanden til bakveggen som er viktig og ikke stivheten i kaviteten. Det finnes også litteratur om høyttalerkabinetter med bassrefleksport [10], som likner på systemet man har ved lekkasje fra kaviteten i en spalteresonator. Grunnet koblingen mellom elektronikk og akustikk i høyttalere er det utbredt å modellere høyttalerkabinett med bassrefleksport ved en elektrisk analogikrets.

Det er tidligere gjort målinger og beregninger på innvirkningen av flatestørrelse og form på prøveflate for absorpsjonsfaktoren.

Paul E. Sabine viste eksperimentelt at små flater gir større absorpsjon per flateareal enn store flater. Fenomenet var kjent fra tidligere forsøk gjort av W.C. Sabine [9]. Parkinson [8] viste eksperimentelt at arealeffekten var påvirket av hvor mye absorpsjon måleprøvene hadde i utgangspunktet, og at effekten varierte for forskjellige typer absorbenter. Chrisler [1] gjorde liknende forsøk med spredning av små enkeltflater av porøs absorbent, og fant at absorpsjonsfaktoren var større for spredte enkeltflater enn én sammenhengende flate. Både Parkinson, Chrisler og Daniel [2], relaterte sine funn til diffraksjonseffekter ved kantene. Areal-effekten eller kanteffekten er en årsak til at det i ISO-standarden for prøveareal i klangromsmålinger skal være $10 - 12m^2$ prøveflate [12].

Forskjellige metoder for å beregne arealeffekten eksisterer. Thomasson beskriver en metode for å beregne absorpsjonskoeffisienten ved variasjonsregning [13], og viser ved eksperimenter at beregningen stemmer overens med arealeffekten for kvadratiske flater [[14] sitert i [4] og [16]]. Holmberg, Hammer og Nilsson benytter sammenhengen mellom strålingsimpedans og absorbentens impedans for å beregne absorpsjon for spredte enkeltflater og absorbenter med tilfeldig form [4], og viser at beregningene samsvarer godt med målinger gjort av T.E. Vigran [16]. Det er også gjort beregninger ved å benytte "Boundary Integral Equations (BEM)" [6], som viser at absorpsjonsfaktoren er avhengig av forholdet mellom bølgelengde og kantlengde i kombinasjon med absorbentens impedans i utgangspunktet.

1.2 Formål

Formålet med denne rapporten er å se på visse randbetingelser for mikroslisteabsorbenten; nærmere bestemt hvilken innvirkning lekkasjer fra kaviteten har på absorpsjonsfaktoren, om innvirkningen kan motvirkes ved å tilføre en porøs absorbent i kaviteten, og innvirkningen av spredte enkeltflater eller små arealer.

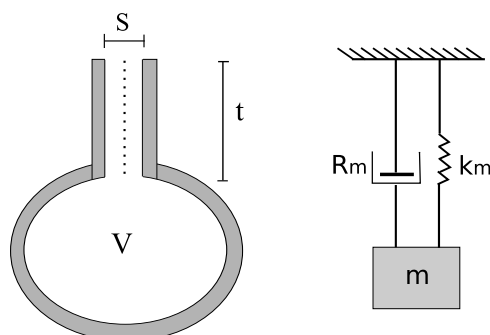
Kunnskap om lekkasjenes innvirkning på absorpsjonsegenskapene vil være nyttig for eksempel for å vite hvilken innflytelse en lekkasje, påført ved an-

net enn ideell montering, har på romakustikken. Dersom eventuell negativ innflytelse på absorpsjonsegenskapene fra lekkasjer kan motvirkes ved å benytte en porøs absorbent i bakrommet, kan dette være anvendelig i tilfeller der lekkasjer er vanskelig å unngå. Forbedret absorpsjon fra små arealer kan være kostnadseffektivt ved at det samme arealet av absorbent kan gi bedre absorpsjon dersom mindre flater av absorbenten monteres med noe avstand mellom.

1.3 Bakgrunnsteori

1.3.1 Resonansabsorbenter

En typisk resonansabsorbent består av en åpning og en kavitet, eller en rekke åpninger i et panel med felles kavitet, da kalt en distribuert resonator. Absorpsjon skjer ved at resistans tilføres systemet i form av en tynn duk eller annet porøst materiale, eller i tilfellet ved svært små åpninger der viskøse effekter gir tilstrekkelig resistans. Helmholtz-resonatoren er den klassiske modellen for en akustisk resonator.



Figur 1.1: Helmholtz-resonator og tilsvarende mekanisk analogi i form av et masse-fjær system

I figur 1.1 sees en typisk Helmholtz-resonator og den tilsvarende mekaniske analogien, masse-fjær systemet. Massen i halsen av resonatoren er gitt av $m = \rho S l$, mens den mekaniske stivheten i kaviteten er gitt av $k_m = \rho_0 c_0^2 S^2$. Grunnet treghet vil luften i området rundt en åpning utgjøre en tilleggs-masse. Dette tillegget blir tatt hensyn til ved å benytte en effektiv lengde $t' = t + \Delta t$, der Δt er en såkalt endekorreksjon.

For en elektrisk impedansanalogi trengs den akustiske impedansen $Z_A = Z_M/S^2$, som for resonatoren blir

$$Z_A = j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + R, \quad (1.1)$$

der $L = \frac{\rho t'}{S}$, $R = R_m$ og $C = \frac{V}{\rho_0 c_0^2}$ da $C = 1/k_m$ [7]. For en distribuert resonator med spalteåpning, med senter-senter avstand B mellom spaltene og utforing d , blir $C = Bd/\rho_0 c_0^2$ og $L = \rho t'/B$. Smits og Kosten [11] gir følgende uttrykk for endekorreksjonen for en uendelig spalte:

$$\Delta_{t,dist} = \frac{2b}{\pi} \ln\left[\csc\left(\frac{\pi t}{2B}\right)\right]. \quad (1.2)$$

Resonansfrekvensen for et slikt system vil være gitt av at reaktansen for den spesifikke impedansen Z_A blir lik null slik at

$$f_{resonans} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\text{sqrt}(L_{dist}C_{dist})}, \quad (1.3)$$

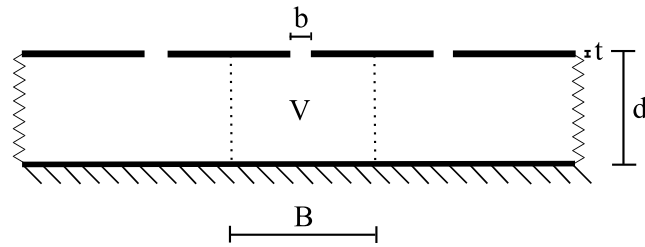
eller gitt av perforeringsgrad og dybde

$$f_{resonans} = \left(\frac{c}{2\pi}\right) \sqrt{\frac{\epsilon}{d(l + \delta_{dist,tot})}}, \quad (1.4)$$

der c er lydhastigheten, $\epsilon = b/B$ er perforeringsgraden for spaltebredde b , B er senter-senter avstand mellom spaltene og $\Delta_{dist,tot}$ er endekorreksjonen fra likning (1.2). Resonansfrekvensen vil altså øke med spaltebredde og perforeringsgrad.

Halsen og kaviteten av resonatoren er energilagre. Halsen er et lager for kinetisk energi, mens kaviteten er et lager for potensiell energi. Energitalp i resonanssystemet vil være gitt av termiske og viskøse effekter. Dersom resonatoren har akustisk harde overflater vil eventuelle tap i systemet være dominert av viskøse effekter ved veggene. Tapene vil avhenge av geometrien i systemet, og resistansen for tilfellet med mikroslisser er gitt i seksjon 1.3.2.

1.3.2 Mikroslisseeabsorbenter



Figur 1.2: Mikroslisselag og hard bakvegg. En distribuert resonator.

Figur 1.2 viser en skisse av et distribuert system av mikroslisser og kaviteter, karakterisert av spaltebredden b , senter-senter avstand mellom spaltene B , spaltedybde t og kavitetsdybde d .

Den spesifikke inngangsimpedansen for en distribuert spalte er gitt av Vi-gran og Pettersen [17],

$$Z' = j\rho\omega t, \quad (1.5)$$

der ρ er en effektiv lufttetthet grunnet viskøse effekter og gitt som

$$\rho = \frac{\rho_0}{\left(1 - \frac{\tan(k'b)}{\frac{k'b}{2}}\right)} \quad (1.6)$$

med

$$k' = \sqrt{\frac{\omega\rho_0}{j\mu}} \quad (1.7)$$

der $\rho_0 = 1,2[\text{kg}/\text{m}^3]$ er lufttetthet, t er spaltedybde, b er spaltebredde og $\mu = 1,79 \cdot 10^{-5}[\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}]$ er luftens viskositetskoeffisient. Impedansen for spalten med endekorleksjon blir

$$Z_{spalte} = \frac{1}{\epsilon}[Z' + j\rho_0\omega\Delta t], \quad (1.8)$$

og impedansen for den luftfylte kaviteten

$$Z(d) = -jZ_0 \cot\left(d\frac{\omega}{c_0}\right), \quad (1.9)$$

der $Z_0 = \rho_0 c_0$ er luftens karakteristiske impedans dersom kaviteten forutsettes luftfylt, d er avstanden mellom spaltepanelet og bakveggen, $\epsilon = \frac{b}{B}$ er perforeringsgraden og Δt er endekorleksjonen for spaltedybden gitt av

(1.2). Inngangsimpedansen for kombinasjonen av spaltepanelet og luftkaviteten blir

$$Z_i = Z_{spalte} + Z(d), \quad (1.10)$$

slik at absorpsjonsfaktoren kan finnes ved et kjent uttrykk [17],

$$\alpha = \frac{4\mathcal{R}e\left\{\frac{Z_i}{Z_0}\right\}}{\left|\frac{Z_i}{Z_0}\right|^2 + 2\mathcal{R}e\left\{\frac{Z_i}{Z_0}\right\} + 1}. \quad (1.11)$$

1.3.3 Viskøse tap

Viskøse tap i en kanal henger sammen med viskøst "boundary layer". Viskøse effekter vil ha innvirkning innenfor dette laget som er gitt av avstanden

$$d_v = \sqrt{\frac{\mu}{\omega\rho_0}} \approx \frac{2.2}{\sqrt{f}}[mm], \quad (1.12)$$

gitt i [5]. Ser man da på en mikroslette med spaltebredde $0,18mm$, i kombinasjon med en kaviteten slik at resonansfrekvensen blir $300Hz$, vil viskøse effekter ha signifikant effekt i hele spalten, da $d_v = 0,13mm$ utgjør mer enn halve spaltebredden.

I realdelen av rekkeutviklingen av likning (1.8) [17], finnes den akustiske resistansen for en spalte.

$$\mathcal{R}e\{Z'\} \approx \frac{12\mu t}{b^2} + \frac{1}{700} \frac{tb^2\rho_0^2\omega^2}{\mu}. \quad (1.13)$$

For svært smale spalter dominerer konstantleddet, som tilsvarer flytresistans ved konstant Poiseuille flyt for parallelle plater. Konstantleddet er også gyldig for oscillatorisk flyt for frekvenser der d_v utgjør omtrent halve spaltebredden [5].

1.3.4 Måling av absorpsjonsfaktor

Måling av absorpsjonsfaktor med etterklangsmetoden baserer seg på Sabines berømte formel der etterklangstiden for et rom med antatt diffust lydfelt er

$$T_{60} \approx \frac{55,26V}{cA}, \quad (1.14)$$

der V er volum av rommet og $A = S\bar{\alpha}$ er ekvivalent absorpsjonsareal, c er lydhastigheten beregnet ved $c = 331 + 0.6 \times T_c$ (T_c = lufttemperatur i celsius), S er flateareal og $\bar{\alpha}$ er midlere absorpsjonsfaktor [16].

Fra denne klassiske formelen kan man finne absorpsjonsfaktor for en prøveflate ved klangromsmålinger, ettersom $\bar{\alpha} = \frac{1}{S_{tot}} \sum \alpha_i S_i$, der S_i og α_i er henholdsvis areal og absorpsjonsfaktor for prøveflaten. Absorpsjonsfaktor for prøveflaten beregnes da ved

$$A = (55.3V(\frac{1}{cT} - \frac{1}{cT_0})) \quad (1.15)$$

$$\alpha = \frac{A}{S} \quad (1.16)$$

der T er etterklangstiden målt i rommet uten prøven, T_0 er etterklangstiden målt med prøven tilstede, V er romvolum og c er lydhastigheten beregnet ved $c = 333 \cdot 0,6T_c$ hvor T_c er lufttemperatur i °C, A er absorpsjonsareal, S er areal av prøveflaten og α er absorpsjonsfaktor. Det antas at varierende luftabsorpsjon kan neglisjeres i utregningen dersom den relative luftfuktigheten er høy (> 70%) og forholdsvis lik i alle målingene.

Standarden gir en metode for å beregnet repeterbarheten, eller relativt standardavvik mellom påfølgende målinger,

$$\epsilon_{T30}/T = \sqrt{\frac{2,42 + 3,59/N}{fT}}, \quad (1.17)$$

der ϵ_{T30} er standardavviket fra målinger, T er målte etterklangsverdier, N er antall repeterte målinger og f er senterfrekvens for 1/3 oktavnåb. Standarden krever 12 måleposisjoner (kombinasjon av mikrofon og høyttalerposisjon) og 3 repetisjoner i hver posisjon for området $f < 250\text{Hz}$ [12].

1.3.5 WinFlag™

WinFlag™ er utviklet av Tor Erik Vigran. Programmet benytter transfermatriser for å beregne blant annet absorpsjonsfaktorer, impedans og reduksjonsindeks for lag av materialer. Lagene er uendelig i utstrekning, men tilnærming til endelige flater og simulering av målinger i etterklangsrom gjøres av programmet ved å ta gjennomsnittet for alle innfallsvinkler, og ved å benytte resultater fra Thomasson [13] for å ta hensyn til areal- og kanteffekter [15].

Kapittel 2

Målinger og beregninger

Kapittelet beskriver målemetoden og oppsettene benyttet for å finne etterklangstider. Det beskrives også en elektrisk analogi, som er benyttet for å beregne lekkasjeinnvirkningen, og det beskrives en metode for beregning av lekkasjeinnvirkningen med WinFlag.

2.1 Målemetode

Målingene ble gjort med ”interrupted noise”-metoden gjennom en analyser fra Norsonic. Måleområdet av energitapet var fra -5 til -35dB (T30), der analysatoren benytter en vektfunksjon som legger mer vekt på den midterste delen av utdøendeforløpet, se figur 2.1. Det ble brukt bredbåndet, rosa støy, og et krav om minimum 10dB mellom måleavslutning og støygulv. Målingene ble utført i etterklangshallen ved instituttet. Hallen har et romvolum på $268m^3$ og parallelle vegger. Det er montert en rekke diffusorer i rommet for å sørge for tilstrekkelig diffusitet.

Ved tilfeller der analysatoren er usikker på verdien den har målt, blir måleresultatet markert med et spørsmålstegn eller ikke registrert. Ved tilfeller der måleresultat uteble, ble målingene gjentatt inntil verdier ble registrert for alle frekvenser. For målefeil av den første typen, tvilsomt resultat, er resultatet tatt med i midlingen av etterklangstider. En årsak til tvilsomt resultat er dersom avstandskravet til støygulvet er overskredet, analysatoren forsøker da allikevel å angi en verdi for etterklangstiden, basert på T20-verdien(-5 til -25db).

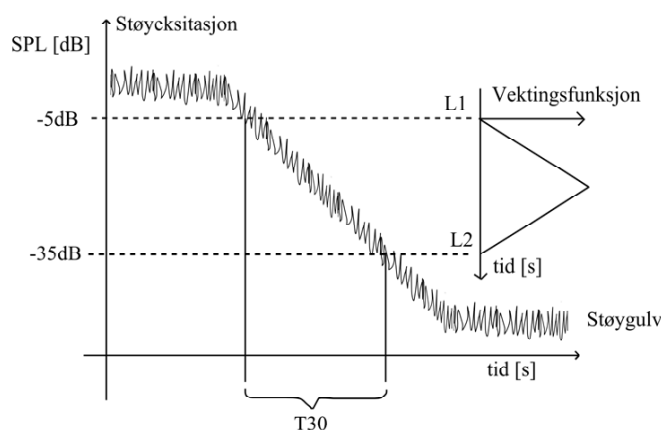
Individuelle målinger ble gjort i 6 forskjellige mikrofonposisjoner og med to forskjellige høyttalerposisjoner. For hver måleposisjon/høyttaler ble det gjort 5 målinger, dette gir totalt 60 målinger for hvert måleoppsett. Midlingen av de individuelle målingene er gjort for etterklangstidene med

$$T_{30} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{30,i}, \quad (2.1)$$

der $T_{30,i}$ er målt etterklangstid i 1/3 oktavbånd, N er antall målinger i måleserien. Det høye antallet målinger er med på å midle ut stokastiske variasjoner uunngåelige ved ”interrupted noise”-målinger, og det reduserer innvirkningen av gale enkeltresultater fra analysatoren.

Standarden for målinger i etterklangsrom, ISO 354 [12], ble forsøkt fulgt så langt som mulig, men på en del områder avviker oppsettet fra standarden ettersom det i målingene var nødvendig å fravike arealkravet på $10 - 12m^2$ og kravet om at absorbenten skal være én sammenhengende flate. Monteringsanvisningene i standarden er ikke fulgt, ettersom disse krever å unngå lekkasjer, hvilket var det som skulle undersøkes i enkelte av målingene.

Før hver måling ble det notert temperatur og relativ luftfuktighet i etterklangshallen. Temperaturene lå mellom $15,6$ og $17,6^\circ\text{C}$. Temperaturene er brukt i beregning av absorpsjonsfaktor, mens luftfuktigheten ble forsøkt holdt over $70\%RH$, ved at rommet ble fuktet opp av en luftfukter når fuktigheten ble lavere. Underveis ble det passet på at luftfukteren ikke startet opp mens målinger pågikk. Noterte verdier for luftfuktigheten ligger mellom 70 og $73\%RH$. Målingene er gjort over en lengre periode fra januar til mars. Temperaturene utendørs svingte kraftig i denne perioden, fra -20 til 12°C . Da klangromshallen er en stor betonghall og ligger i en kjeller, satt kulden i veggene mens varm luft fra det oppvarmede området utenfor hallen strømmet inn. Det er rimelig å tro at det dermed er lokale temperaturvariasjoner i hallen. Det ble gjort stikkprøver av temperatur to steder i hallen. Forskjellen mellom temperaturen brukt i beregning av absorpsjonsfaktor og stikkprøvene kunne variere med inntil 1°C .



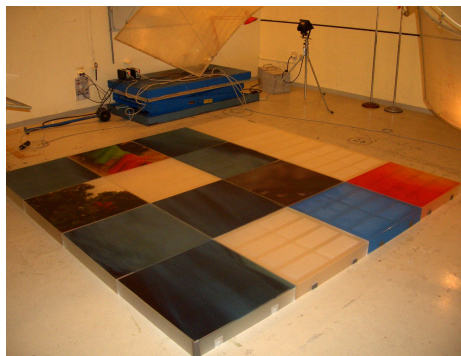
Figur 2.1: Illustrasjon av ”interrupted noise”-metoden og vektelfunksjonen benyttet av analysatoren.

2.2 Måleoppsett

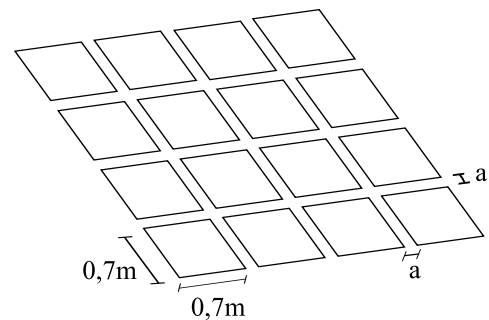
2.2.1 Boksabsorbent

Dimensjoner	
Lengde	700mm
Bredde	700mm
Platetykkelse	4mm
Spaltebredde	$\approx 0.23mm$
Dybde	100mm
Samlet areal	$7,84m^2$

Målinger ble gjort på en samlet flate av boksene og deretter med økende avstand mellom dem, som vist i figur 2.2(b). Det ble gjort tilsvarende målinger med en plate av porøs absorbent i bakrommet. De porøse platene hadde sidekanter $600 \times 600mm$ og var $20mm$ tykke. Målinger av absorpsjonsfaktor for platene for seg er gjengitt i resultatdelen. Avstandene benyttet i målingene var $a = 0, 47, 94, 200$ og $500mm$.



(a) Foto samlet



(b) Skisse av spredning



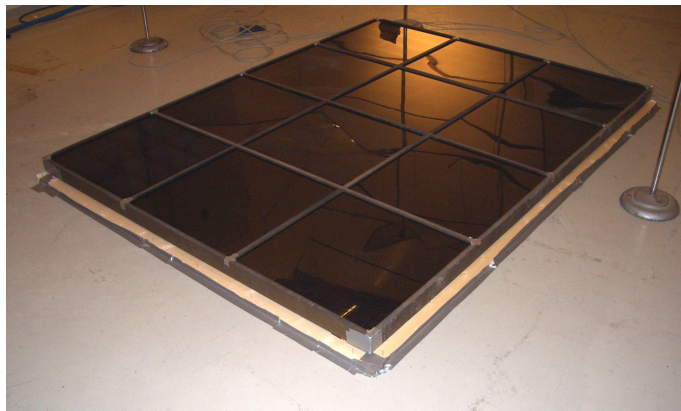
(c) Foto av spredning

Figur 2.2: Foto av oppsett i klangrom og skisse av spredning av boksene.

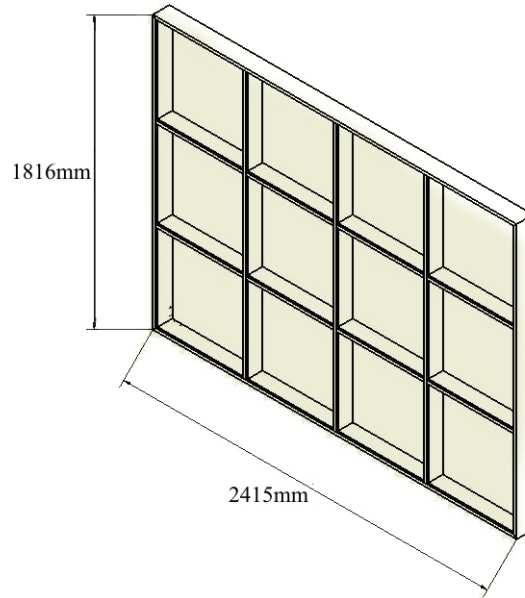
2.2.2 Kassettert ramme

Dimensjoner	
Lengde ramme	2415mm
Bredde ramme	1816mm
Platetykkelse	4mm
Rammedybde	60mm
Støttedybde	105mm
Spaltebredde	$\approx 0.23\text{mm}$
Areal	4.39m^2

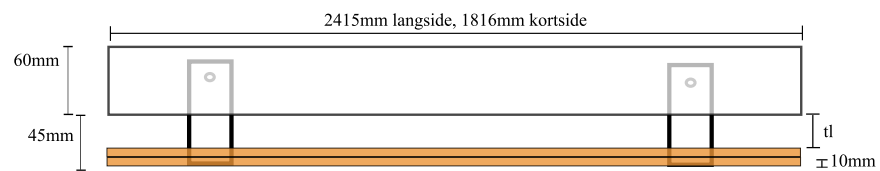
Den kassetterte absorbenten bestod av en ramme i et presset fibermateriale med enkeltseksjoner av akrylplater på 600x600mm. For å få en glippe som kunne brukes til varierende lekkasje ble rammen påmontert støtter slik at avstanden fra platene til gulvet ble 105mm. Avstanden fra bunnen av rammen til gulvet var 45mm. Det var ønskelig å holde volumet i bakrommet konstant under lekkasjeforsøkene. Under glipen mellom ramma ble det bygget opp med trelister, og gjort målinger underveis med gradvis mindre lekkasje fra bakrommet. Det ble brukt 5 lister, der 4 var 10mm tykke og én var 5mm. Listene ble stablet på hverandre og stiftet sammen. Denne metoden gav målinger for lekkasjer på 0, 5, 15, 25, 35 og 45mm. Det ble også gjort målinger med porøs absorbent i bakrommet for $tl = 45\text{mm}$.



Figur 2.3: Kassettert ramme, oppsett i klangrom.



Figur 2.4: Kassettert ramme, modifisert skisse fra DeAmp.



Figur 2.5: Kassettert ramme, opplegg av lister for varierende lekkasje.

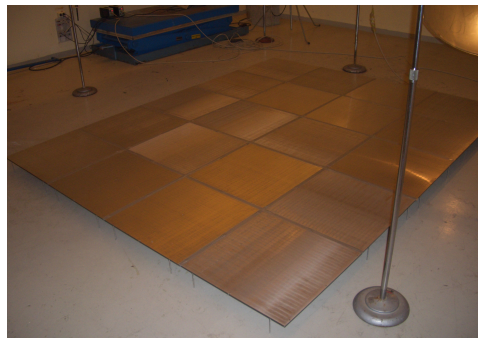
2.2.3 Frie metallplater

Dimensjoner	
Lengde	600mm
Bredde	600mm
Platetykkelse	1mm
Spaltebredde	$\approx 0.18mm$
Dybde	100mm

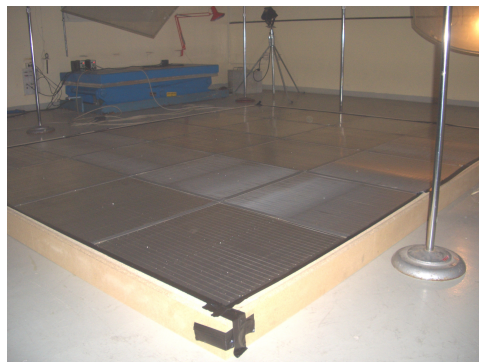
De frie metallplatene var kvadratiske flater på $600 \times 600mm$, $1mm$ tykke med $100mm$ lange støtter bestående av tynne metallskruer. Metallplatene ble plassert som en sammenhengende flate på 5×4 plater eller et areal $S = 7,2m^2$. Det ble gjort målinger med platene og den porøse absorbenten i bakrommet, og med lukket eller åpent bakrom. Et dobbelt lag sponplater $100mm$ høyt og $40mm$ bredt ble brukt til å lukke bakrommet. Det ble brukt gaffateip for å tette mellom sponplatene og metallplatene, og mellom metallplatene. Det ble også gjort målinger på et mindre areal $S = 3,4m^2$ for åpen og lukket bakrom.



(a) Med porøs



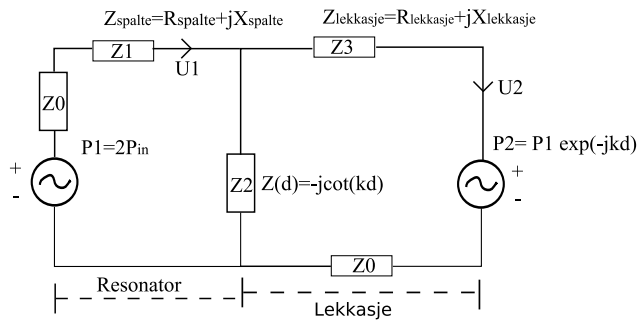
(b) Uten porøs



(c) lukket løsning

Figur 2.6: Oppsett i klangrom, for målingene på metallplatene.

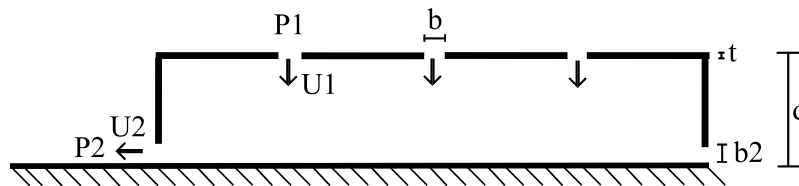
2.3 Kretsanalogien



Figur 2.7: Analogikrets for en mikroslissepanel med en spaltepanel i avstand d .

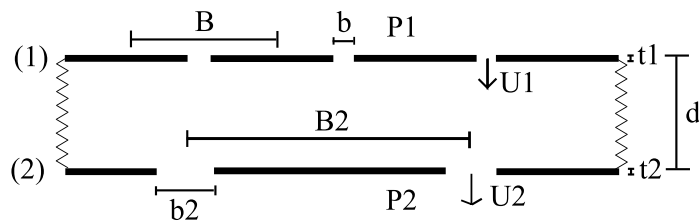
Beregninger av lekkasjer fra kaviteten ble gjort med den elektriske kretsanalogien vist i figur 2.7. Komponentene i kretsen er innfallende lydtrykk $P1$, mikroslissepanel $Z1$, kaviteten $Z2$ og karakteristisk impedans for luft $Z0 = \rho_0 c_0$. Kretsen har også med komponenter som er ment å representere lekkasje fra kaviteten. Lekkasjen er et spaltepanel med impedans $Z3$. Lekkasjen er koblet til det innkommende lydtrykket ved $P2$, som er like stort som $P1$, men avhengig av k og d . Trykket er $2Pin$ grunnet innfallende og reflektert bølge ved panelet. Lekkasje-representasjonen likner det som benyttes for å modellere høyttalerkabinetter med bass-refleksport, der systemet er drevet av høyttalerelementet, i stedet for av innfallende lyd som her.

Analogien blir en tilnærming til det virkelige systemet lik det brukt i målingene, som vist i figur 2.8. Analogien tilsvarer det fysiske systemet vist i figur 2.9, med forutsetning om plant innfall.



Figur 2.8: Resonansabsorbent med lekkasje. $U1$ og $U2$ angir volumhastighet i spaltene og i lekkasjen, $P1$ og $P2$ er lydtrykk, $b2$ er lekkasjebredde, b er spaltebredde i panelet, t er paneltykkelse. Figuren er ikke proporsjonsmessig korrekt, da b og $t \ll B, d$ og $b2$.

Energitalpet i mikroslissene antas å være proporsjonalt med effektutviklingen i realdelen av den spesifikke impedansen for mikroslissene



Figur 2.9: Mikroslisselag og lekk bakvegg. U_1 og U_2 angir volumhastighet i spaltene, P_1 og P_2 er lydtrykk. Mellom og utenfor lag 1 og 2 er det luft, med $Z_0 = \rho_0 c_0$.

$$W_{abs} = R_{spalte} \cdot |U_{1_{rms}}|^2, \quad (2.2)$$

$$W_{inn} = \frac{P_{inn}^2}{\rho_0 c_0}, \quad (2.3)$$

$$R_{spalte} = Re \{ Z_{spalte} \}, \quad (2.4)$$

$$|U_{1_{rms}}|^2 = U_1 \cdot U_1^*. \quad (2.5)$$

Absorpsjonsfaktoren er da beregnet som

$$\alpha = \frac{W_{abs}}{W_{inn}}. \quad (2.6)$$

Løsningen for U_1 i analogikretsen blir

$$Z_{temp1} = Z_0 + Z_1 + \frac{Z_2(Z_3 + Z_0)}{Z_2 + Z_3 + Z_0} \quad (2.7)$$

$$Z_{temp2} = (Z_1 + Z_{air} + Z_2) \left(\frac{Z_3 + Z_{air}}{Z_2} \right) + Z_{air} + Z_1 \quad (2.8)$$

$$U_1 = \frac{P_1}{Z_{temp1}} - \frac{P_2}{Z_{temp2}}. \quad (2.9)$$

der $Z_0 = \rho_0 c_0$, Z_1 er som Z_{spalte} i (1.8) og Z_2 er lik $Z(d)$ i (1.9).

Beregningene ved kretsanalogien er gjort i Matlab. I digitalt vedlegg finnes .m-filene.

2.4 Beregninger i WinFlag

Beregninger for diverse arealvariasjoner og et forsøk på å beregne lekkasjer med en lekk bakplate i stedet for en hard vegg er gjort i WinFlag. Lekkasjeberegningen er gjort ved å beregne absorpsjonsfaktor og reduksjonsindeks, for deretter å anta at

$$\alpha_{faktisk} = \alpha - \tau, \quad (2.10)$$

der

$$\tau = 10^{(-R/10)}, \quad (2.11)$$

hvor α er absorpsjonsfaktor, τ er transmisjonsfaktor og R er reduksjonsindeks i dB , beregnet i WinFlag.

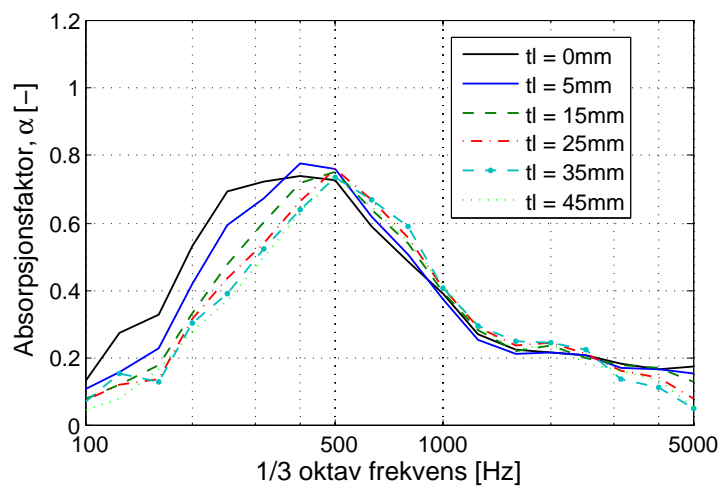
Kapittel 3

Resultater og diskusjon

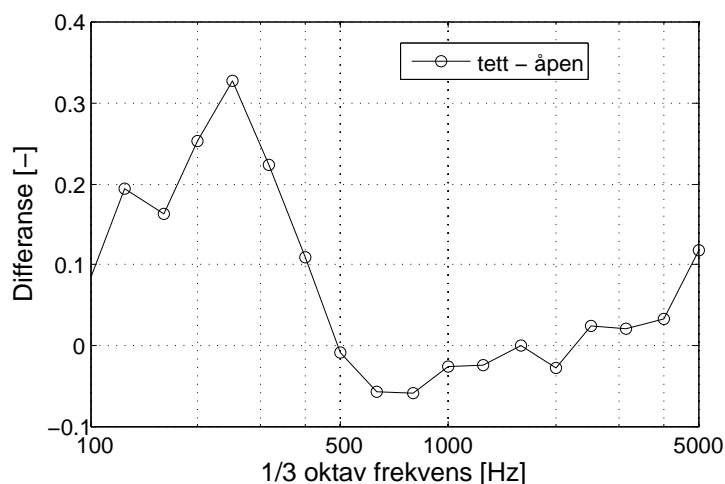
Kapittelet gjengir resultatene som er funnet ved målinger og beregninger utført med metodene og oppsettene vist i kapittel 2. Lekkasjemålinger gjengis i seksjon 3.1 og målinger av arealeffekten og innvirkningen av spredte enkeltflater gjengis i seksjon 3.2. Det presenteres også resultater fra WinFlag- og analogiberegninger.

3.1 Lekkasjemålinger

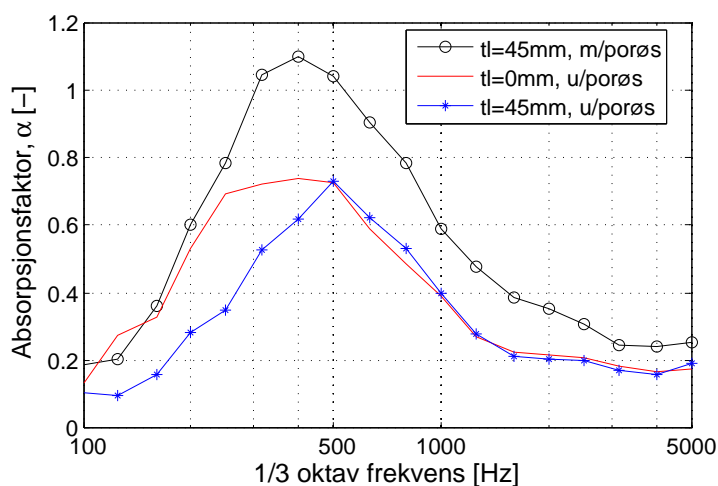
3.1.1 Kassettert ramme



Figur 3.1: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavnband, fra målinger på kassettert ramme med varierende lekkasje tl . Oppsettet er som vist i 2.2.2.



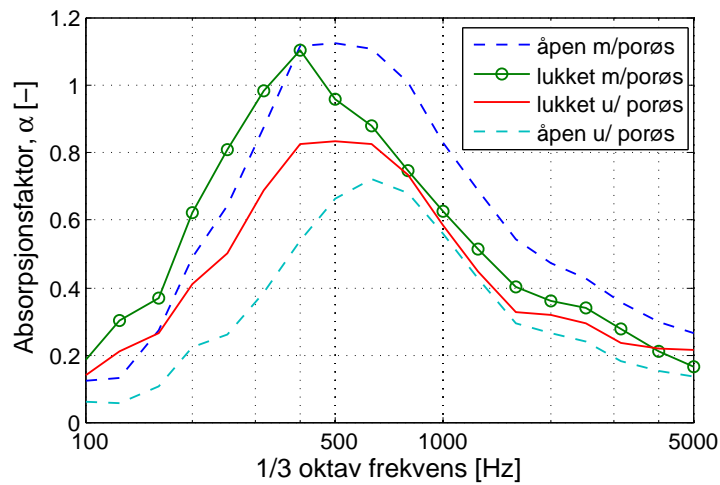
Figur 3.2: Differanse mellom målinger fra tett og åpent bakrom. Målinger på kassettert ramme for $tl = 0\text{mm}$ og $tl = 45\text{mm}$.



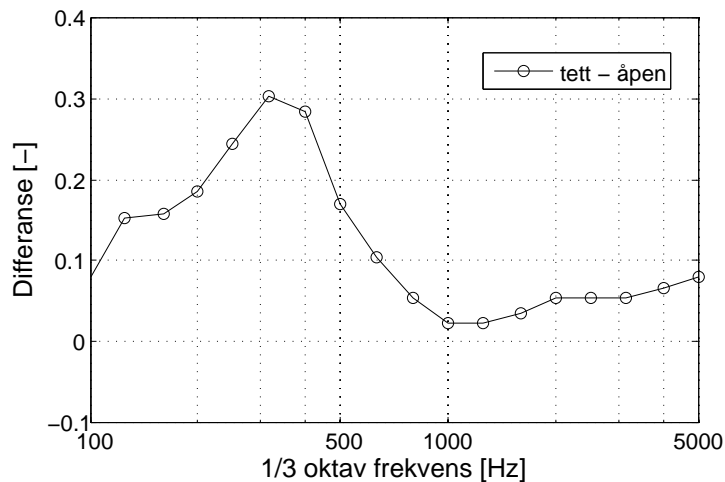
Figur 3.3: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavbånd, fra målinger på kassettert ramme med og uten porøs absorbent i bakrommet, med lekkasje $tl = 45\text{mm}$.

Resultatene i figur 3.1, og figur 3.2 som viser differansen mellom tett og åpen konstruksjon, viser at absorpsjonsfaktoren reduseres for frekvenser under 500Hz, men holder seg ganske likt for frekvenser over 500Hz. Resonanstoppene blir smalere. Målingene viser at det fremdeles er god absorpsjon ved lave frekvenser med 5mm lekkasje, mens absorpsjonsfaktoren synker fra 0,8 for 0mm lekkasje til 0,4 for 15mm lekkasje. For $25 - 45\text{mm}$ lekkasje ser resultatene ut til å stabilisere seg. Det antas at dette er den maksimale reduksjonen i absorpsjonsfaktor. Større lekkasje var ikke mulig å undersøke ettersom rammen var kassettert og det ikke var ønskelig å bore hull i ramme eller plater. Figur 3.3 viser resultater for den kassetterte rammen med og uten porøs absorbent i bakrommet. Det ser ut til at lekkasjen motvirkes av den porøse absorbenten, og absorpsjonen er mye høyere for den åpne kaviteten med porøs absorbent enn for det lukkede tilfellet uten.

3.1.2 Slissede metallplater

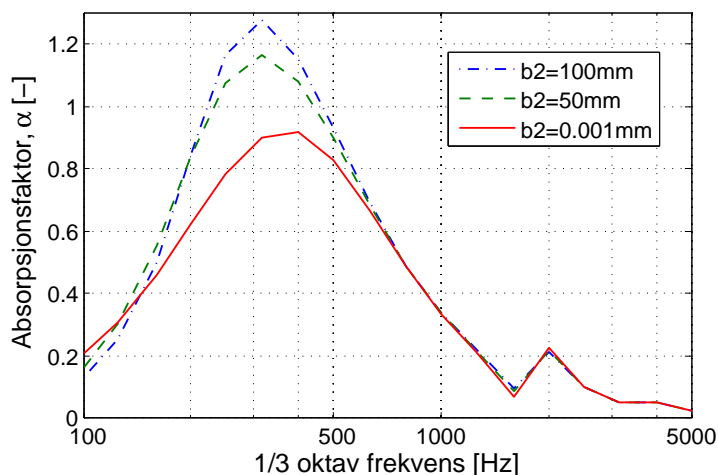


Figur 3.4: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavnband, fra målinger på metallplater for åpen og lukket løsning, med og uten porøs absorbent i bakrommet. Oppsett som vist i 2.2.3



Figur 3.5: Differanse mellom målinger fra tett og åpent bakrom for metallplatenene.

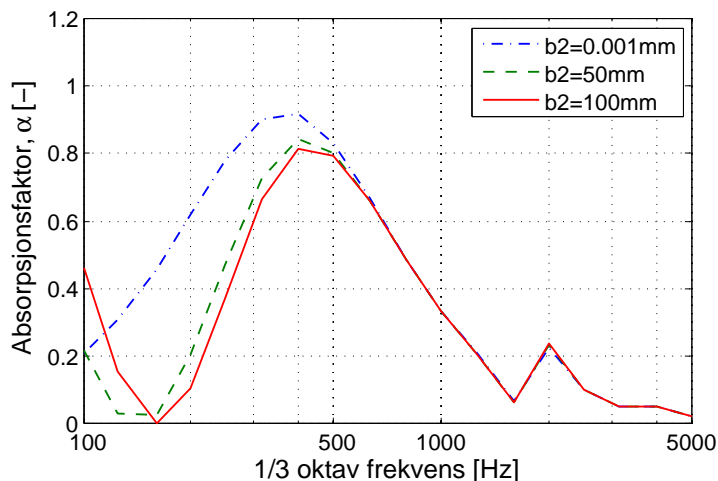
Figur 3.4 viser at åpent bakrom fører til tap av absorpsjonsevne ved lave frekvenser, og at porøs absorbent i bakrommet fører til en kraftig økning av absorpsjonsfaktoren. Høyest absorpsjon sees for tilfellet med åpent bakrom med porøs absorbent. Differansen mellom absorpsjonsfaktor for åpent og lukket bakrom er vist i figur 3.5, og det sees at det er mindre svekkelse over 630Hz.



Figur 3.6: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavbånd, kretsanalogiberegninger for varierende lekkasje b_2 , med spalteavstand $B_2 = 1000\text{mm}$.

Analogiberegninger

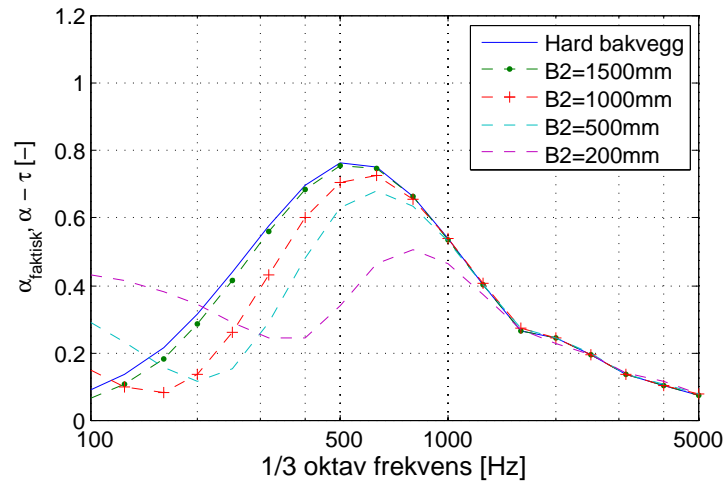
Analogikretsen brukt til å beregne innvirkningen av lekkasjer viste seg å gi gale resultater, som ikke stemmer overens med måleresultatene. I figur 3.6 sees at beregningen gir høyere absorpsjon med lekkasje, enn for tett bakrom. For svært liten lekkasje eller tett bakrom, gir analogiberegningen korrekt resultat, identisk med WinFlag-beregninger for samme dimensjoner og plant innfall eller løsning med likning (1.11). Det virker altså som at denne enkle kretsen, med beregninger for normalt innfall, ikke er tilstrekkelig for å representere lekkasjen.



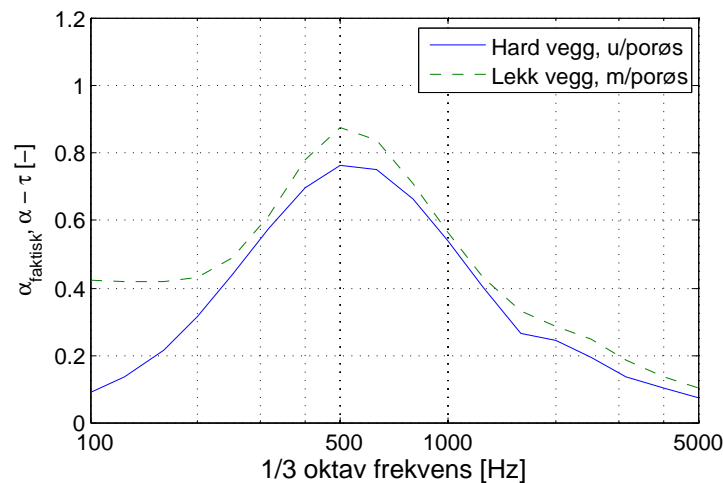
Figur 3.7: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavbånd, kretsanalogiberegninger for varierende lekkasje b_2 , med spalteavstand $B_2 = 1500\text{mm}$.

Figur 3.7 viser resultater for analogiberegninger med reversert spenningskilde P2. Disse resultatene stemmer bedre overens med måleresultatene, men de stemmer ikke overens med antatt korrekt oppsett av analogien.

3.1.3 WinFlag-beregninger



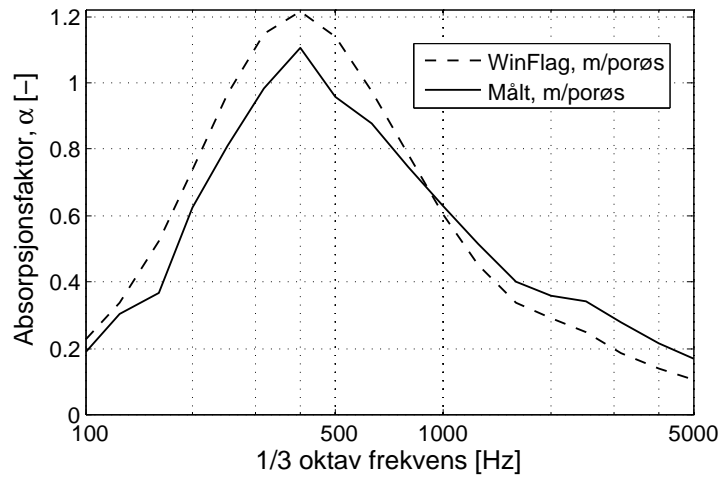
Figur 3.8: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavbånd. Beregnet i WinFlag med slisset bakplate, for diffust innfall. Varierende senter-senter avstand $B2$ mellom lekkasjespalter med spaltebredde $b2 = 100\text{mm}$.



Figur 3.9: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavbånd. Beregnet i WinFlag med slisset bakplate og porøst absorbentlag, for diffust innfall. Senter-senter avstand $B2 = 1000\text{mm}$ og spaltebredde $b2 = 100\text{mm}$.

Figur 3.8 viser absorpsjonsfaktor for systemet i figur 2.9 beregnet i WinFlag ved å ta differansen av beregnet absorpsjonsfaktor og transmisjonsfaktor. Beregningen for $B2 = 1000\text{mm}$ stemmer best med målingsresultatene. Figur 3.9 viser den samme beregningen, med porøs absorbent nært lekkasjelaget. Beregningene ser ut til å bli gale for lave frekvenser, men dersom resultatet antas å være korrekt rundt resonansfrekvensen og for høyere frekvenser, viser disse beregningene at lekkasjen motvirkes i tilfellet med porøs absorbent.

Figur 3.10 viser en god overensstemmelse mellom beregning i WinFlag og målte verdier for slissede metallplater med porøs absorbent i bakrommet.



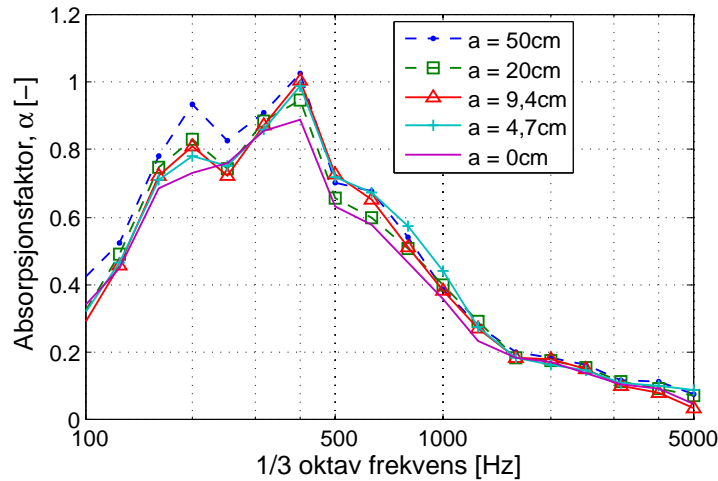
Figur 3.10: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavbånd. Beregnede og målte verdier for metallplater med lukket bakrom og porøs absorbent.

Generelt stemmer beregningene i WinFlag godt med de målte resultatene, dette er en indikasjon på at beregningene stemmer også for tilfellene som ikke er målt.

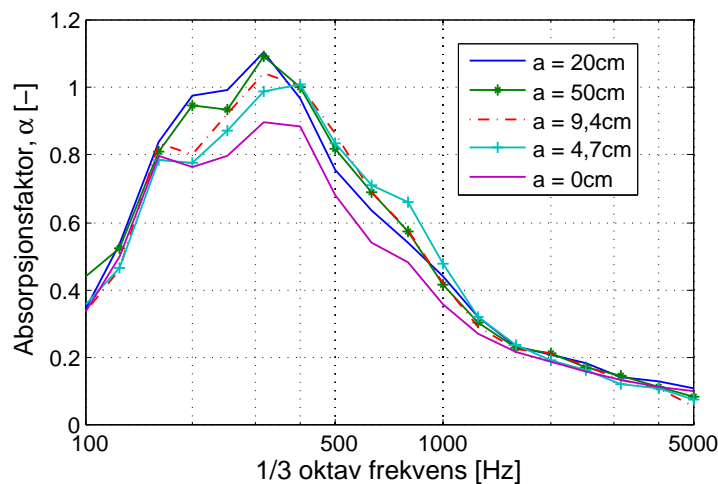
3.2 Arealeffekten og spredte enkeltflater

I denne seksjonen gjengis resultater for varierende avstand mellom boksabsorbentene og for to flatestørrelser av de slissede metallplatene.

3.2.1 Spredte enkeltflater



Figur 3.11: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavbånd. Målinger på boksabsorbent uten porøs absorbent i bakrommet, med avstand a mellom boksene.



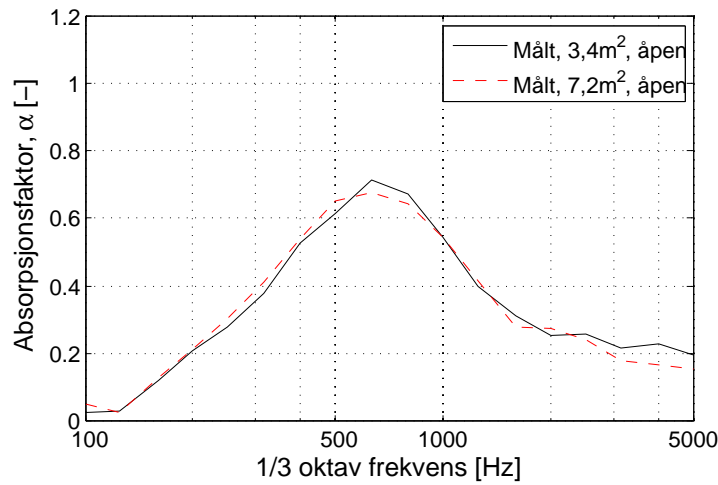
Figur 3.12: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavbånd. Målinger på boksabsorbent med porøs absorbent i bakrommet, med avstand a mellom boksene.

Figur 3.11 viser at varierende avstand mellom boksene har innvirkning på absorpsjonsfaktoren. Det er noe større innvirkning på absorpsjonsfaktoren i målingene med porøs absorbent i bakrommet, vist i figur 3.12, enn i målingene uten. Tidligere forsøk [8] har vist at arealeffekten er avhengig av absorbentens impedans. Økningen i absorpsjonsfaktor ved spredning av boksene

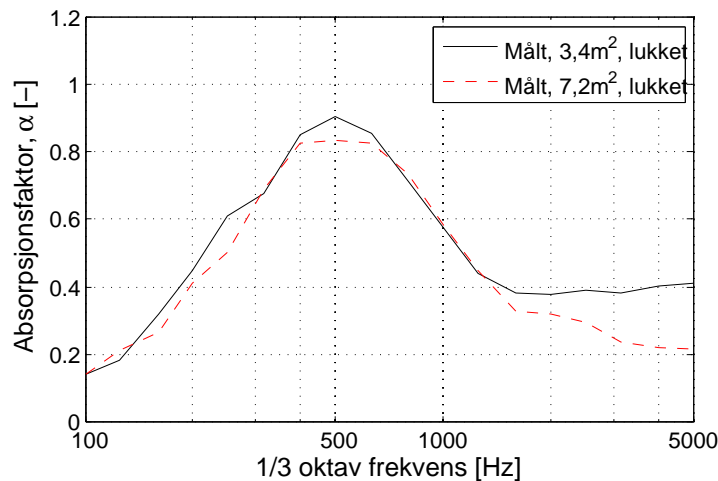
med porøs absorber kan altså skyldes at sammensetningen har større absorpsjon i utgangspunktet og ikke nødvendigvis at det er porøs absorber tilstede. Det er ingen konsistent trend i variasjonene i figur 3.11. Ved 200Hz øker absorpsjonsfaktoren med økt avstand, men ved 400Hz viser målingene for $a = 4,7\text{cm}$ og $9,4\text{cm}$ høyere verdier enn $a = 20\text{cm}$ viser. Målingen for $a = 50\text{cm}$ viser høyest verdier, men den økte absorpsjonen ved 200Hz i dette tilfellet kan skyldes at boksene stod nærmere veggene i klangrommet. Det er også mulig at endrede mikrofonposisjoner når flatene ble spredt hadde innvirkning på resultatene.

Målingene på boksabsorbenten med porøs absorber i bakrommet viser en mer konsistent trend, med unntak av resultatene for $a = 50\text{cm}$ som ligger lavere enn for $a = 20\text{cm}$.

3.2.2 Lite og stort areal



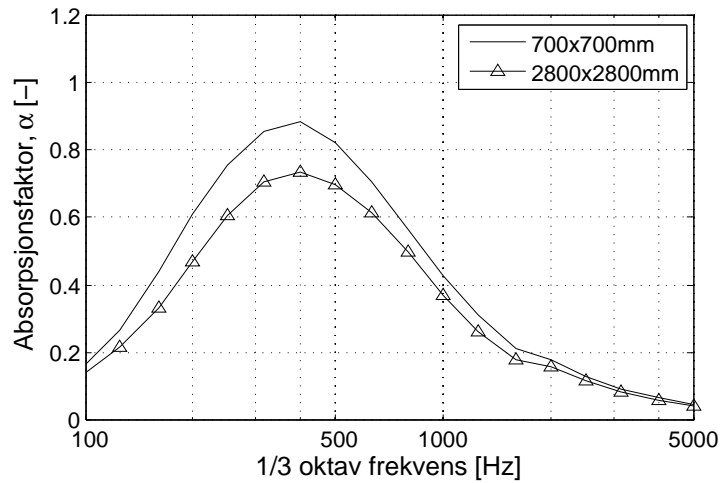
Figur 3.13: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavnåbånd, målinger på metallplater med åpent bakrom, for to flatestørrelser 3,4m² og 7,2m².



Figur 3.14: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavnåbånd, målinger på metallplater med lukket bakrom, for to flatestørrelser 3,4m² og 7,2m².

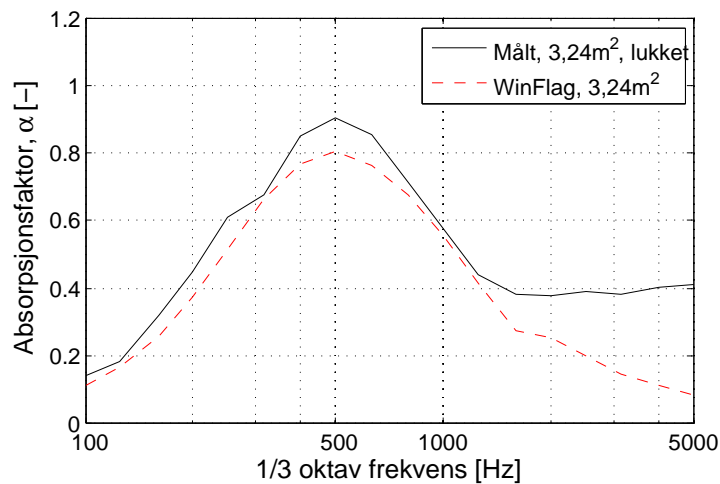
Figur 3.13 viser absorpsjonsfaktorer for målinger på en flate av metallplater på henholdsvis 7,2m² og 3,4m². Variasjoner man kan forvente fra klangromsmålinger er større enn forskjellen mellom disse resultatene. Figur 3.14 viser økt absorpsjon for høye frekvenser for det minste arealet. Resultatene fra WinFlag beregningen viser det samme som målingene i det åpne tilfellet, at det er liten forskjell. WinFlag-beregningene burde sammenfalle med målingene i det lukkede tilfellet, men det er altså avvik for høye frekvenser.

3.2.3 WinFlag-beregninger



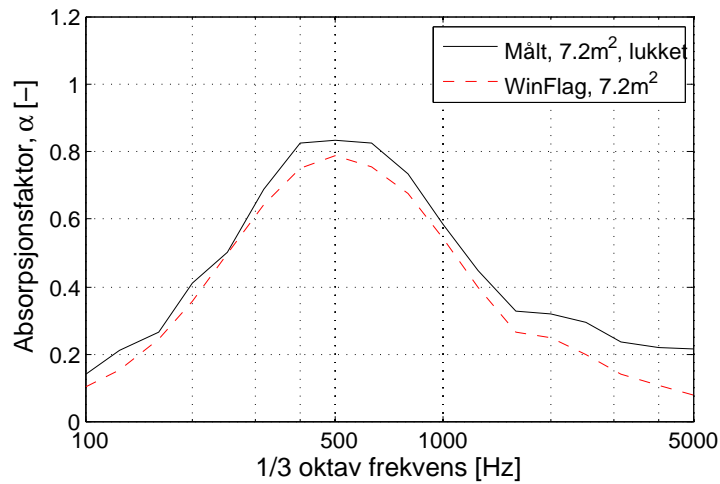
Figur 3.15: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavnband, fra WinFlag-beregninger med simulert etterklangsrom. Beregninger for en flate $700 \times 0.700\text{mm}$ og for $2800 \times 2800\text{mm}$.

Winflag beregningene i figur 3.15 viser beregning for to kvadratiske flater med sidekanter på henholdvis 700mm og 2800mm . WinFlag forutsetter en lokalt reagerende eller kassettert konstruksjon. I beregningen er absorpsjonsfaktoren høyere for den minste flaten. En liknende effekt burde kunne være synlig i målingene for spredte flater, men måleresultatene viser ikke den samme økningen.



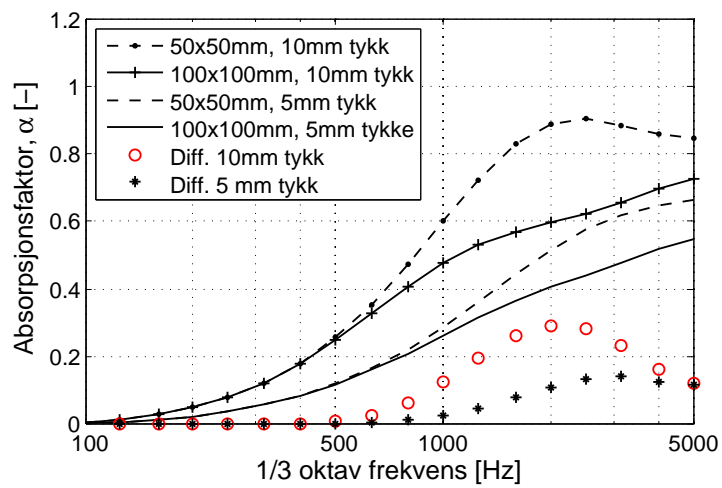
Figur 3.16: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavnband, beregnede og målte verdier. Tett kasse og flateareal 3.24m^2 .

Figur 3.16 viser målte og beregnede verdier for en flate på $3,24\text{m}^2$. Det sees at målinger og beregninger stemmer godt overens, med unntak av avvik for høye frekvenser. Målingene og beregningene for en større flate på 7.2m^2 , stemmer svært godt overens og sees i figur 3.17.



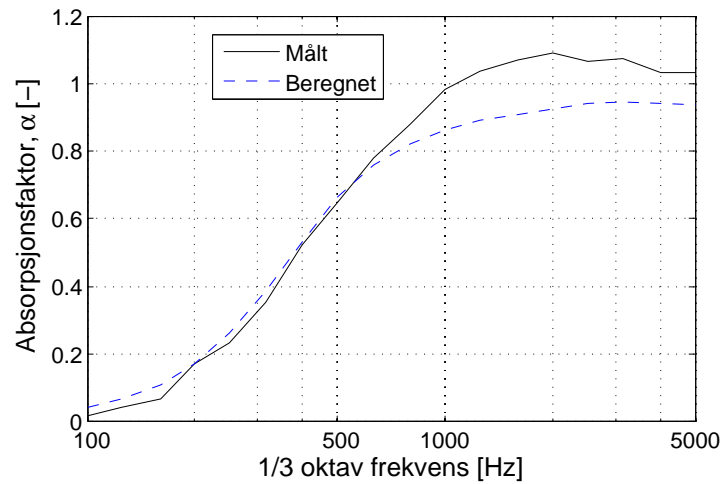
Figur 3.17: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavnband, beregnede og målte verdier. Tett kasse og flateareal $7.2m^2$.

Figur 3.18 viser effekten av et lite areal for en porøs absorbent med to tykkelser, 5 og 10mm. Arealeffekten for porøse absorbenter beregnet i WinFlag er vist å stemme godt overens med målinger [16]. Resultatet illustrerer at arealeffekten er avhengig av absorpsjonsevne, da det er større økning for absorbenten med høyest absorpsjonsfaktor i utgangspunktet.



Figur 3.18: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavbånd. Beregnet i WinFlag for porøst materiale med dimensjon 100x100mm, og 50x50mm for tykkelser 5mm og 10mm. (○) angir differansen mellom beregning for 10mm tykkelse, og (*) differanse for 5mm tykkelse.

3.3 Den porøse absorbenten



Figur 3.19: Absorpsjonsfaktorer for den porøse absorbenten målt i etterklangsrom, og en tilnærmet beregnet i WinFlag.

Figur 3.19 viser målte verdier for den porøse absorbenten brukt i målingene, og beregnede verdier for porøs absorbent brukt i WinFlag-beregninger. Parametrene for beregningen er gitt i tabell 3.1.

Parametere	
Type	Porous/Allard-Johnsen
Thickness	20 mm
Resistivity	100 kPa.s/m ²
Porosity	99%
Tortuosity	1,2
Viscous length	20 mju
Termal length	100 mju

Tabell 3.1: Parametere for porøs absorbent i WinFlag beregningene.

3.4 Lekkasjenes innvirkning

Resultatene i figur 3.1 og 3.4, viser at åpent bakrom fører til tap av absorpsjonsevne ved lave frekvenser, og at resonanstoppene ligger høyere i frekvens. Lekkasjene ser ut til å ha den samme innvirkningen i begge målingene. At målingene på den kassetterte viser mindre svekkelse rundt resonanstoppene ved maksimal lekkasje kan skyldes kombinasjonen av at lekkasjen kun utgjør halve utforingen, og kassetteringen. Ved tilføring av porøs absorbent øker målt absorpsjonsfaktor kraftig. For metallplatene var absorpsjonsfaktoren høyere for åpent bakrom med porøs absorbent, enn for lukket med porøs absorbent. Dette kan skyldes at den porøse absorbenten var synlig fra sidene og eksponert for lydfeltet. Det vil også ha en effekt at kantene av den porøse absorbenten var åpne, en effekt som er undersøkt i tidligere forsøk [3] [8]. Selv om den kraftige økningen i α kan skyldes den synlige porøse absorbenten, er det allikevel rimelig å tro at resultatet viser at den porøse absorbenten motvirker effekten av lekkasjen også for korrekt montering i en himling. En årsak til motvirkningen av lekkasjen kan være at motstanden i det porøse materialet motvirker transversal luftflyt mot lekkasjeåpningene og hindrer deformert kompresjon av luften i bakrommet.

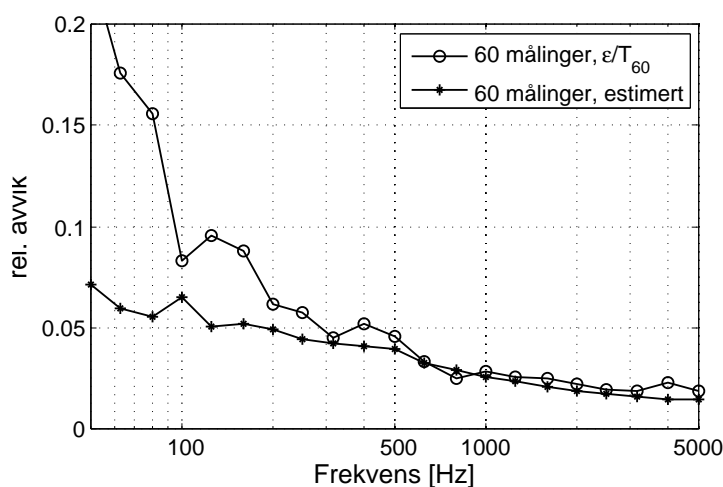
3.5 Arealeffekten og spredte flater

Målingene av stort og lite areal for metallplatene med åpent bakrom viste ingen variasjon større enn avvikene man kan få mellom to målinger på samme flatestørrelse. Målingene på stort og lite areal med lukket bakrom viste noe økt absorpsjon for høye frekvenser. Årsaken til økningen kan være et ukjent måleteknisk avvik, eller økt luftabsorpsjon som følge av lavere luftfuktighet i rommet, selv om luftfuktigheten ble forsøkt holdt stabil og høy. Dersom årsaken hadde vært arealeffekten hadde det vært rimelig å tro at den ville vært synlig der absorpsjonen er høyest, ved resonanstoppene. Winflag-beregninger for metallflatene, med samme arealendring gir ikke en slik økning.

Grunnet dimensjonene av etterklangsrommet var ikke større avstand mulig med det valgte mønsteret i spredningsforsøkene. I målingene med 50cm avstand mellom boksene måtte det regelmessige mønsteret brytes opp og 2 av boksene ble stående svært nær en av veggene. Det er mulig at dette er årsaken til den økte absorpsjonen for lave frekvenser med $a = 50cm$. Disse forsøkene viser liten effekt ved spredningen, men det kan hende det kreves større avstander for å se en effekt. Et annet geometrisk oppsett kan da benyttes. Færre bokser, eller rader av bokser med større avstand mellom.

3.6 Måleusikkerhet

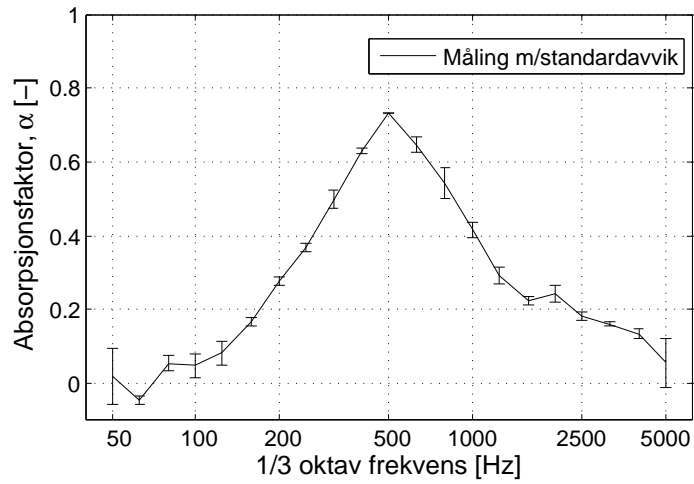
Klangromsmålingene benyttet for å finne absorpsjonsfaktor for prøveflatene er grunnleggende usikre. Det man måler er etterklangstiden i klangrommet, så resultatene man finner for absorpsjon vil være gitt av rommets egenskaper, som romvolum, grad av diffusitet og form, og av usikkerhet forbundet med stokastisk støy som benyttes i ”interrupted noise”-metoden. Variasjoner som skyldes måleoppsett, etterklangshall og personen som utfører målingene kalles reproduserbarhet (reproducability), mens forskjellene mellom gjentatte målinger av samme oppsett i samme klangrom kalles repeterbarhet (repeatability).



Figur 3.20: Relativt standardavvik for etterklangsmåling. Standardavvik 60 målinger relativt til etterklangstidene fra én måling og et estimat av det samme beregnet med en metode gitt i ISO-354.

Figur 3.20 viser relativt standardavvik for 60 målinger i en av måleseriene og et estimat av det samme avviket fra likning (1.17). Det sees at avviket øker ved lave frekvenser. Under 100Hz er det store avvik. De målte avvikene er også mye større enn det estimerte, dette betyr at målingene her har større avvik enn det standarden forventer for slike målinger. ISO-354 er ikke gyldig under 100Hz og det er heller ikke et relevant område for undersøkelsene i denne rapporten. Over 200Hz er det fremdeles et visst avvik å forvente, noe som betyr at små variasjoner mellom målinger kan skyldes denne usikkerheten.

Klangromsmålinger kan være sensitive overfor variasjoner i måleoppsett. For å undersøke dette aspektet ved nøyaktigheten i målingene ble det gjort 3 forskjellige måleserier med samme oppsett. Det ble gjort målinger på den kassetterte rammen før lekkasjeforsøkene, etter at listene var fjernet, og etter en delvis demontering og remontering av rammen. Standardavviket mellom disse målingene er vist i figur 3.21. Avviket er tilfredsstillende lavt i forhold til variasjonene som er synlige i målingene vist i resultatkapittelet. Det bør



Figur 3.21: Absorpsjonsfaktorer i 1/3 oktavnband for én måling, med standardavvik beregnet fra 3 målinger.

nevnes at den første måleserien kun hadde 28 individuelle målinger, mot 60 i de resterende. 28 målinger bør normalt holde, i hvert fall for høye frekvenser.

Kapittel 4

Konklusjon

I denne rapporten er arealeffekten og innvirkningen av lekkasjer fra kaviteten undersøkt for mikroslisseeabsorbenter.

Absorpsjonsevnen til en mikroslisseeabsorbent med åpent bakrom uten porøs absorbent er dårligere enn for lukket konstruksjon. Innvirkningen av åpent bakrom kan reduseres ved å innføre en porøs absorbent i bakrommet, og det virker som om kombinasjonen av åpent bakrom og porøs absorbent gir best absorpsjon.

Resultatene for spredte enkeltflater viser at det er variasjoner i absorpsjonsfaktoren ved økende avstand, men trenden er ikke uttrykt i form av økt absorpsjon. Effekten av spredning ser ut til å være større med porøs absorbent i bakrommet. Effekten av spredte enkeltflater kan være større for porøse absorbenter, enn for mikroslisseeabsorbenter, men målingene og beregningene i denne rapporten er ikke tilstrekkelige for fastslå dette. Hovedproblemet er at effekten av mindre areal øker med økt absorpsjonsfaktor, og at det kan hende avstandene benyttet i spredningen burde være større.

Målinger på et stort og et mindre areal av mikroslissede metallplater viste liten forskjell med unntak av en økning i absorpsjonen for høye frekvenser for tilfellet med lukket bakrom. Denne forskjellen kan skyldes andre faktorer enn arealeffekten, for eksempel luftabsorpsjon.

Referanser

- [1] L. Chrisler. Variation of sound absorption with area. *Journal of the national bureau of standards*, 13, 1934.
- [2] Eric D. Daniel. On the dependence of absorption coefficients upon the area of the absorbent material. *Journal of the Acoustical Society of America*, 35:571–573, 1963.
- [3] Marcelo de Godoy, Peter J. Barry og Sylvio R. Bistafa. A study of the influence of mounting conditions on the measured sound absorption in laboratory tests of suspended ceilings. *J. Acoust. Soc. Am.*, 119, 2006.
- [4] D. Holmberg, P. Hammer og E. Nilsson. Absorption and radiation impedance of finite absorbing patches. *Acta Acustica United with Acustica*, 89:406–415, 2003.
- [5] Uno Ingard. *Sound Absorption Technology*. 1994.
- [6] Yasuhito Kawai og Hiroshige Meotoiway. Estimation of the area effect of sound absorbent surfaces by using a boundary integral equation. *Acoust. Sci. & Tech.*, 26, 2005.
- [7] Josef Merhaut. *Teory of Electroacoustics*. 1981.
- [8] John S. Parkinson. Area and pattern effects in the measurement of sound absorption. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2:112–122, 1930.
- [9] Paul E. Sabine. Diffraction effects in sound absorption measurements. *Phys. Rev.*, 19:402–402, 1922.
- [10] Richard H. Small. Vented-box loudspeaker systems part i: Small-signal analysis. *Journal of the Audio Engineering Society*, 21:263–273, 1973.
- [11] J.M.A. Smits og C.W. Kosten. Sound absorption by slit resonators. *Acta Acustica united with Acustica*, 1:114–122, 1951.
- [12] Norsk Standard. ISO 354 - måling av lydabsorpsjon i etterklangsrom. 2003.

- [13] S.-I. Thomasson. On the absorption coefficient. *Acustica*, 44:265–273, 1980.
- [14] S.-I. Thomasson. Theory and experiments on the sound absorption as function of the area. *Report TRITA-TAK-8201, Royal Institute of Technonogy, Stockholm*, 1982.
- [15] Tor Erik Vigran. *Manual for Winflag, v.2.2*.
- [16] Tor Erik Vigran. *Bygningsakustikk - et grunnlag*. Tapir Akademisk Forlag, 2002.
- [17] Tor Erik Vigran og Odd K.Ø. Pettersen. The absorption of slotted panels revisited. *Forum Acusticum*, 2005.

Vedlegg A

Vedlegg

Vedlagt .zip-fil inneholder:

Alle måleresultater i form av beregnede absorpsjonsfaktorer, de originale etterklangsmålingene og matlabfiler brukt i beregning og analyse av resultatene. Absorpsjonsfaktorene finnes i "absfaktorer.xls". Beskrivelse av kode-
ne brukt i filnavnene for måleresultater finnes i "Filnavn og oppsett.doc".
Temperaturer og luftfuktighet under målingene finnes i romtilstand*.xls.

A.1 Matlab filer

analogekvivalent.m: Beregning av absorpsjonsfaktor fra kretsanalogien.
calcabs.m: Beregner Absorpsjonsfaktorer fra målte etterklangstider.
hentetterklang.m: Leser etterklangstider fra analysatorfilene.
hentflagabs.m: Leser beregnede verdier fra WinFlag resultatfiler.
spalteimpedans.m: Beregner Realdel og Imaginærdel for impedansen for en
distribuert spalte.

Vedlegg B

Utstyr

Instrument	Fabrikant	Type
Real Time Analyser	Norsonic	840
Forsterker	Acoustical Mfg Co Ltd	Quad 50E
Strømforsyning	Brüel & Kjær	Type 2801
Mikrofoner	Brüel & Kjær	4144
Mikrofon forforst.	Brüel & Kjær	2619
Høytalere		

Tabell B.1: Utstyr brukt i målingene

