



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Åbne vinduer med god lydisololation

Miljøprojekt nr. 1940

Maj 2017

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Lars Sommer Søndergaard

Rune Egedal

Morten Bording Hansen

DELTA – a part of FORCE Technology

Illustrationer:

DELTA – a part of FORCE Technology

HSHansen a/s

Fotos:

DELTA – a part of FORCE Technology

ISBN: 978-87-93529-98-4

Ansvarsfraskrivelse - Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Forord	5
2.	Sammenfatning og konklusioner	6
3.	Summary and conclusions	7
4.	Baggrund	8
4.1	Hvad er den nuværende situation?	8
4.2	Projektet "Lydmæssig optimering af "Russervinduer""	9
4.3	Behov for løsninger udover russervinduet	10
5.	Formål og afgrænsning	11
6.	Litteratursøgning	12
6.1	Fremgangsmåde	12
6.2	Resultater	12
6.2.1	Arbejdspakke 1	12
6.2.1.1	T-formet akustisk resonator	13
6.2.1.2	Helmholtz resonator	13
6.2.1.3	Quarter-wave resonator	13
6.2.1.4	Hafencity Fenster – Tysk russervindueskonstruktion	13
6.2.1.5	Plenum window	13
6.2.2	Arbejdspakke 2 og 3	14
6.2.2.1	Margretheholm - udvendig drejelig lydskodde	14
6.2.2.2	Folehaven – Udvendig forskydelig lydskodde	14
6.2.2.3	Erfaringer med lydisolerende åbne vinduer i trafikstøjbelastede boligområder	14
6.3	Litteratursøgning opdateret	14
7.	Vinduestype 1: "Russervinduet"	15
7.1	Løsningsprincip med forbedret karmabsorbent	15
7.2	Mulig implementering	18
7.3	Beregning af absorbenter	19
7.3.1	Resonatorberegninger	19
7.3.2	Perforeret absorbentberegninger	20
7.4	Laboratoriemålinger	23
7.4.1	Resonatorløsning	26
7.4.2	Perforeret løsning	28
7.4.3	Variation af ydre dimensioner	35
7.5	Opsamling	41
8.	Vinduestype 2: "Almindeligt vindue" med indvendig løsning	42
8.1	Udvikling af løsningsprincip	43
8.2	Laboratoriemålinger på mockup-løsning	48
8.2.1	Tofløjet løsning	48
8.2.2	Tofløjet løsning opsummeret	57
8.2.3	Sidehængt løsning	57

8.2.4	Sidehængt løsning opsummeret	61
8.3	Udvikling af prototype	62
8.4	Laboratoriemålinger på prototype	64
8.5	Opsamling	68
9.	Vinduestype 3: "Almindeligt vindue" med udvendig løsning	69
9.1	Udvikling af løsningsprincip	69
9.2	Laboratoriemålinger på mockup-løsning	70
9.2.1	Mockup-løsning A	70
9.2.2	Mockup-løsning B	78
9.2.3	Mockup-løsning C	86
9.2.4	De tre mockup-løsninger sammenlignet	91
9.3	Udvikling af prototype	94
9.4	Laboratoriemålinger på prototype	95
9.5	Opsamling	99
10.	Feltmåling	100
10.1	Udførelse af feltmålinger	102
10.1.1	Resultater	104
10.2	Udførsel af laboratoriemålinger	106
10.2.1	Resultater af laboratoriemålinger til sammenligning med feltmålingerne	107
10.2.2	Resultater af yderligere laboratoriemålinger	109
10.3	Sammenligning af feltmålinger og laboratoriemålinger	112
10.4	Opsamling	114
11.	Måling på traditionelle åbne vinduer og udvalgte hovedresultater fra projektet	116
11.1	Traditionelle åbne vinduer	116
11.2	Udvalgte resultater fra projektet	118
12.	Konklusion	120
Bilag 1. Referencer		122
Bilag 2. Om laboratoriemålingerne		125
Bilag 3. Måleresultater i tabelform		128

1. Forord

Med afsæt i et tidligere projekt om "russervinduer" (Lydmæssig optimering af "Russervinduer") og et stigende behov for viden om lydisolering for åbentstående vinduer er der gennemført et projekt med titlen "Åbne vinduer med god lydisolering". Overordnet set undersøges tre forskellige vinduestyper:

- I. Videreudvikling af "russervinduet"
- II. "Almindeligt vindue" med indvendig løsning
- III. "Almindeligt vindue" med udvendig løsning

Der er gennemført et betydeligt antal laboratorieforsøg med de forskellige vinduestyper; både som mockup-løsninger og mere færdige prototype-løsninger samt enkelte feltmålinger. Denne rapport redegør for de udførte målinger og heraf afledte konklusioner.

Projektet er gennemført af DELTA – a part of FORCE Technology (DELTA) i samarbejde med HSHansen a/s. Miljøstyrelsen har givet tilskud til projektet i form af projektstøtte indenfor tilskudsordningen "Grøn Teknologi".

Projektgruppen er bestående af Lars Sommer Søndergaard (projektleder), Rune Egedal og Morten Bording Hansen fra DELTA. Herudover har Henrik S. Olesen og Dan Hoffmeyer – også fra DELTA – medvirket ved udarbejdelsen af projektansøgningen samt deltaget i enkelte tekniske diskussioner undervejs i forløbet. Fra HSHansen a/s deltog Preben Knutsson og Michael Milert Hansen. Målingerne er udført af Lars Sommer Søndergaard, Rune Egedal, Morten Bording Hansen og David Duhalde Rahbæk fra DELTA. HSHansen a/s har bl.a. stået for fremstilling og montage af de benyttede vinduer.

Der har til projektet været tilknyttet en følgegruppe bestående af Frank Pedersen og Jens Schultz Hansen, Miljøstyrelsen; Preben Knutsson, HSHansen a/s samt Lars S. Søndergaard, DELTA – a part of FORCE Technology.

2. Sammenfatning og konklusioner

Rapporten omhandler projektet "Udvikling af vinduer med god lydisolation i åben tilstand" gennemført af DELTA og HSHansen a/s. Projektet er medfinansieret af Miljøstyrelsen under udviklingsprogrammet "Grøn Teknologi 2013". Projektet bygger videre på et tidligere projekt om "russervinduer" ("Lydmæssig optimering af "Russervinduer") [1].

Et almindeligt vindue har i åben tilstand en lav lydisolation, der for en del situationer ikke er tilstrækkelig for at opfylde kravene til indendørs støjniveau. Det primære formål med dette projekt er at finde alternativer til et almindeligt åbent vindue, der både spænder bredt lydisolationsmæssigt, men også spænder bredt i forhold til dimensioner og placering af absorbenter og konstruktionsmæssige tilføjelser såsom en udvendig løsning.

I projektet undersøges på baggrund af en indledende litteratursøgning tre forskellige vinduestyper: I) Videreudvikling af "russervinduet" II) "Almindeligt vindue" med indvendig løsning og III) "Almindeligt vindue" med udvendig løsning.

Der er gennemført et betydeligt antal laboratorieforsøg med de forskellige vinduestyper både som mockup-løsninger, som mere færdige prototypeløsninger og enkelte feltmålinger. Rapporten redegør for de udførte målinger og afledte konklusioner.

Der er udviklet en optimeret udgave af "russervinduet", her med specielt fokus på lydisolation for det lavfrekvente frekvensområde. I modsætning til tidligere er der udviklet perforerede karme, som er tunet til specifikt at håndtere den lavfrekvente del af spektret.

Der er udviklet et vindue, der passer i et almindeligt vindueshul med en indvendig løsning. Med reference i et enkelt vindue ses forbedringer i flere step: først ved tilføjelse af et ekstra vindue (dvs. en samlet dobbeltkonstruktion), dernæst ved tilføjelse af et skydevindue i hulrummet og til sidst ved at tilføje absorption i karmkonstruktionen.

Der er udviklet et vindue, der passer i et almindeligt vindueshul med en udvendig løsning, og dermed ikke nødvendigvis fordrer, at der foretages ændringer på vindueshullet eller vinduet. Løsningen er baseret på en udvendig konstruktion i form af en påmonteret lydsluse, der har forbindelse til en vinduesramme, som åbnes ud i slusen.

Der er udført sammenlignende felt- og laboratoriemålinger på et russervindue for at undersøge eventuelle forskelle mellem disse. Der ses en højere lydisolation for feltmålingerne end laboratoriemålingerne, specielt for frekvenser under 250 Hz. Forskellen i R_w+C_{tr} er 2-4 dB. En forklaring kunne være forskellen i lydindfald, og det kan derfor ikke afvises, at forskellen kunne være større for vinduestyper, hvor åbningen i konstruktionen ikke vender mod støjilden.

For det samlede projekt kan det konkluderes, at der er arbejdet med tre vinduestyper, der spænder vidt i både lydisolation, dimensioner og konstruktion/løsningsprincip. For de tre vinduestyper er opnået en laboratoriemålt lydisolation for R_w+C_{tr} på hhv. 26, 12 og 17 dB, hvor et almindeligt åbent vindue har en lydisolation for R_w+C_{tr} på 5-8 dB.

3. Summary and conclusions

This report covers the project "Udvikling af vinduer med god lydisolation i åben tilstand" ("Development of windows with sound insulation in the open position") conducted by DELTA and HSHansen a/s. The project is co-funded by the Environmental Protection Agency under the development program "Grøn Teknologi 2013" ("Green Technology 2013"). The project is based on a previous project on "supply air windows" ("Lydmæssig optimering af "Russervinduer") ("Optimizing the sound insulation of supply air windows") [1].

An ordinary window in an open position has a low sound insulation that for some situations are not sufficient to meet the Danish requirements to indoor noise level. The primary project objective is to research alternatives to an ordinary open window that both has wide-ranging sound insulation, but also are diverse in relation to dimensions, absorption material locations and structural additions such as an external solution.

Based on an initial literature search in the project, three different window types are assessed: I) Further development of the "Supply air window" II) "Ordinary window" with an internal solution and III) "Ordinary window" with an external solution.

A considerable number of laboratory measurements with different types of windows was conducted both as mockup solutions and more finished prototype solutions. The laboratory measurements were additionally supplemented by field measurements. The report presents the measurements and the subsequent conclusions.

There is developed an optimized version of the "Supply air window" with a particular focus on sound insulation for low frequencies. In contrast to previously developed solutions, perforated casings tuned to dampen the low frequency part of the spectrum are developed.

There is developed a window that fits in a standard window opening with an internal solution. With reference to a single window improvements are seen in several steps: first by adding an additional window (i.e. overall double construction), next, by adding a sliding window into the cavity, and finally by adding absorption in the cavity of the window.

There is developed a window that fits in a standard window opening with an external solution. It does not necessarily imply any changes to be made on the window hole or the window itself. The solution is based on an external design in the form of an attached sound-lock which is connected to a window frame that opens out into the sound-lock.

Comparative field and laboratory measurements are conducted on a supply air window to investigate any differences between field and laboratory measurements. There is a higher sound insulation for field measurements than laboratory measurements, especially for frequencies below 250 Hz. The difference in R_w+C_{tr} is 2-4 dB. An explanation could be the difference in sound incidence. Hence it could be possible that the difference could be greater for window types in which the opening does not face the noise source.

For the project, it can be concluded that three window types have been investigated, ranging widely in sound insulation, dimensions and design/solution principle. For the three window types the laboratory sound insulation as R_w+C_{tr} was measured to respectively 26, 12 and 17 dB with an opening area of 0.35 m². Laboratory sound insulation as R_w+C_{tr} for an ordinary open window are in the range of 5-8 dB with an opening area of 0.35 m².

4. Baggrund

4.1 Hvad er den nuværende situation?

I Miljøstyrelsens vejledning 4/2007: "Støj fra veje" [30] er der – som noget nyt i Danmark – indført krav om, at en fastsat støjgrænse for vejtrafikstøj i visse situationer skal kunne opfyldes indendørs med åbne vinduer. Støjgrænsen skal opfyldes med vinduer åbnet til et åbningsareal på 0,35 m². Med et moderat/højt støjniveau udendørs fra trafikken kan dette ikke opfyldes med et traditionelt åbentstående vindue, men det kræver særlige støjdæmpende vinduesløsninger. Der er i 2007 ligeledes indført krav til indendørs støj med åbne vinduer fra hhv. jernbaner og virksomheder.

På denne baggrund gennemførte DELTA i samarbejde med HSHansen a/s et projekt med titlen "Lydmæssig optimering af "Russervinduer"" [1] under Miljøstyrelsens program "Tilskud til miljøeffektiv teknologi 2008".

Vinduer med gode lydegenskaber i åben tilstand er i høj grad nyttige i forbindelse med facade-renovering eller vinduesudskiftning i f.eks. eksisterende beboelsesejendomme, selv om disse ikke er omfattet af det nye krav. Det udendørs trafikstøjniveau kan i disse situationer være højt, f.eks. 70-75 dB.

Nedenstående to tabeller (Tabel 1 og Tabel 2) stammer fra Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen "Ny national kortlægning af vejstøj" (tabel 3.1 og 3.4) [21]. Af tabellerne fremgår bl.a., at der i Danmark er 785.000 boliger med en støjbelastning over den vejledende grænseværdi på 58 dB, 190.000 stærkt støjbelastede boliger med et niveau over 68 dB og ca. 115.000 boliger er belastet med over 70 dB.

Tabel 1 Antal støjbelastede boliger 2007 fordelt på 5-dB intervaller, ekskl. landområder

dB	Hovedstadsområdet	Danmark i øvrigt	I alt
55-59	138780	143524	282304
60-64	122498	158871	281369
65-69	67492	129981	197473
70-74	47021	59586	106607
≥ 75	2766	5538	8304
≥ 55	378557	497500	876057
≥ 65	117279	195105	312385
≥ 58	314000	413673	727673
≥ 68	77290	108437	185728

Tabel 2 Antal støjbelastede boliger 2007 fordelt på bykategorier

	Over 58 dB	Over 68 dB
Byer op til 1.000 indbyggere	28072	2088
1.000-5.000 indbyggere	56619	9447
5.000-20.000 indbyggere	55481	6593
20.000-100.000 indbyggere	152762	52262
Over 100.000 indbyggere	100861	36888
Hovedstadsområdet i øvrigt	19877	1159
Københavns Amt	85799	11690
Københavns + Frederiksberg kommuner	228200	65600
Landdistrikter	57922	5260
I alt	785594	190987

4.2 Projektet "Lydmæssig optimering af "Russervinduer""

Det første gennemførte projekt "Lydmæssig optimering af "Russervinduer"" havde bl.a. til formål at opstille designanvisninger med henblik på optimering af russervinduers lydisolation. En designguide blev udarbejdet med udgangspunkt i et betydeligt antal laboratoriemålinger. Samlet blev projektet dokumenteret i tre rapporter og to papers [1] [2] [3] [31] [32]. Uddrag af konklusionerne er vist nedenfor:

"Der blev indledningsvist gennemført en litteratursøgning med det formål at afdække, hvad der findes af relevante referencer på området. Resultatet af den relativt omfattende litteratursøgning er, at der stort set ikke tidligere er udført systematiske undersøgelser af lydisolationen for denne vinduestype."

"Lydisolationens afhængighed af parametre såsom vinduets dimensioner, åbningsareal af oplukkerne, rudeopbygning og forskellige materialer placeret i vinduets hulrum er undersøgt på basis af et betydeligt antal laboratoriemålinger. Endvidere blev betydningen af vinduets montage i praksis undersøgt, dvs. afstand fra vinduets overkant til loft og loftets absorptionsmæssige egenskaber."

"Projektets hovedkonklusion er, at de vigtigste parametre af betydning for russervinduets lydisolation er vinduets højde, oplukkenes åbningsareal samt placering af lydabsorberende materiale i vinduets hulrum. Endvidere har afstanden til loftet betydning, især hvis loftet er lydabsorberende. Det konstateres, at sammenlignes lydisolationen for et åbentstående, traditionelt vindue med et russervindue med samme åbningsareal, vil russervinduet have en lydisolation udtrykt som $Rw+C_{tr}$ der - afhængigt af russervinduets format og opbygning - er typisk 8-16 dB bedre end lydisolationen for det traditionelle vindue. Det kan derfor konkluderes, at russervinduet har klare lydmæssige fordele sammenlignet med et åbentstående traditionelt vindue. "

"Russervinduet har typisk den laveste lydisolation i frekvensområdet 100-250 Hz. Det er vanskeligt at forbedre lydisolationen i dette frekvensområde - f.eks. ved hjælp af lydabsorbenter - idet der som oftest vil være begrænset plads i vinduets hulrum. Det viser sig da også, at der med karmabsorbenter med en tykkelse på 20 mm og 40 mm, som benyttet i dette projekt, opnås en betragtelig forbedring af lydisolationen i frekvensområdet over 500 Hz, men kun en begrænset effekt ved lavere frekvenser. Det kunne derfor være relevant at undersøge muligheden for at designe specielle lydabsorbenter til brug i russervinduer. Som en alternativ løsning til forbedring af lydisolationen - specielt i det lavfrekvente område omkring rudens resonansfrekvens - kunne muligheden for benyttelse af aktiv støjdemping undersøges nærmere."

"Der er på baggrund af resultaterne i denne rapport udarbejdet en guideline med titlen "Design-guide for bestemmelse af "russervinduers" lydisolation", se reference.

Af konklusionen fremgår bl.a., at det vil være formålstjenligt at arbejde videre med russervinduet specielt med henblik på at forbedre lydisolationen i det lavfrekvente område 100-250 Hz.

4.3 Behov for løsninger udover russervinduet

Der er endvidere behov for at vurdere/udvikle alternative løsninger til russervinduet, idet vinduet i visse situationer har en lydisolation, som er bedre end kravet, og dermed vil være en unødvendig dyr løsning.

Siden indførelse af det under pkt. 4.1 nævnte krav vedrørende indendørs støj med åbne vinduer er det jævnligt fremført af myndigheder, projekterende samt vinduesproducenter, at der fortsat mangler viden og dokumentation på området samt flere alternative og billige løsningsmuligheder. Der efterlyses bl.a. et sortiment af vinduesmuligheder, så man i de tilfælde, hvor der kun er behov for en lidt bedre lydisolation, end hvad et almindeligt åbentstående vindue kan klare, ikke er nødt til at vælge en for dyr løsning med en bedre lydisolation end nødvendigt.

Som hjælp til at håndtere støjkravet vedr. åbne vinduer har Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger udarbejdet en Orientering vedrørende "Indendørs støjniveau med åbne vinduer" [20].

5. Formål og afgrænsning

Formålet med dette projekt er dels yderligere at optimere russervinduet primært ved lave frekvenser, dels at foreslå/udvikle alternative løsningsmuligheder enten baseret på nye principper eller i form af forbedring af traditionelle vinduers lydisolation i åben tilstand. De konstruktioner, som fremkommer via projektet, skal beskrives og testes i en udformning, så de er så tæt på at være "produktionsmodne" som muligt.

Som nævnt under afsnit 4.1 har det ikke været uden vanskeligheder at implementere det nye støjkrav med åbne vinduer. Kravet er gældende i forbindelse med indretning af bl.a. nye boliger og kontorer i områder med stor trafikstøjbelastning (58-68 dB), hvilket ikke tidligere har været tilladt. Det er specielt i forbindelse med byfornyelse, huludfyldning og revitalisering af eksisterende byområder, at de nye muligheder er aktuelle. Det er derfor vigtigt, at det nye krav til indendørs støjniveau med åbne vinduer ikke blokerer for disse perspektivrige muligheder, fordi det viser sig vanskeligt – måske umuligt – at fremskaffe vinduesløsninger, som har tilstrækkeligt gode lydegenskaber i åben tilstand. Det er på denne baggrund vigtigt at komme et skridt videre med udviklingen af vinduer med gode lydisolerende egenskaber.

Med hensyn til forbedring af russervinduet lydmæssige egenskaber ved lave frekvenser er det hensigten at forsøge med særlige lydabsorbenter i vinduets hulrum. Absorbenterne skal være specielt optimeret med henblik på høj lydabsorption i det lavfrekvente område. Der forsøges bl.a. med mere atypiske absorbenttyper f.eks. smalbådede absorbenter som f.eks. slidsede eller perforerede typer samt absorbenter baseret på Helmholtz resonatorprincip.

I situationer, hvor der ikke er behov for så høj en lydisolation som f.eks. russervinduet kan yde, udtænkes/afprøves alternative løsninger f.eks. baseret på forbedring af traditionelle vinduer med forskellige varianter af lydskodder udvendig eller indvendig evt. kombineret med lydabsorbenter.

Der arbejdes i projektet derfor med følgende tre overordnede vinduestyper, der er behandlet i hver arbejdsmappe:

- Russervinduet – med fokus på den lavfrekvente lydisolation (arbejdsmappe 1)
- Et "almindeligt åbent vindue" med fokus på indvendige tiltag (arbejdsmappe 2)
- Et "almindeligt åbent vindue" med fokus på udvendige tiltag (arbejdsmappe 3)

Dette projekt er baseret på vinduer udført med karm/rammekonstruktioner af aluminium. Det vurderes imidlertid, at alle eksisterende vinduestyper (træ, træ/alu, aluminium, stål og plast) kan udformes som de behandlede vinduestyper, og at der er store frihedsgrader og variationsmuligheder i design og mekanisk udførelse.

HSHansen a/s leverede og monterede mockup-modellerne og prototypeopbygningerne samt stod for opbygning og tilpasning i laboratoriet.

6. Litteratursøgning

6.1 Fremgangsmåde

I forbindelse med projektet "Lydmæssig optimering af 'Russervinduer'" [1] er der foretaget en litteratursøgning med det formål at afklare, om der tidligere er foretaget relevante undersøgelser af russervinduers lydmæssige egenskaber.

I det aktuelle projekt foretages indledningsvist en fornyet litteratursøgning med henblik på at afklare, om der siden søgningen i forbindelse med det første russervinduesprojekt er ny viden tilgængelig. Herudover er fokus i litteratursøgningen centreret omkring de tre arbejdsplaner i projektet.

Litteratursøgningen er udført ved søgning i diverse videnskabelige databaser for papers, artikler, journaler og bøger. Konferencer som Euronoise, Internoise, ICA og NoiseCon er gennemgået for relevante publikationer. Henvisninger fra litteratursøgningen i [1] er gennemført for, om forskere siden har udarbejdet ny viden.

Litteratursøgningen dækker tre arbejdsplaner, hvor der i forbindelse med "Arbejdsplan 1" er fokuseret på løsninger målrettet forbedring af den lavfrekvente lydisolering i russervinduet. HER tænkes specielt på forskellige typer af absorbenter og resonatorer. I forbindelse med "Arbejdsplan 2" er litteratursøgningen målrettet indvendige lydkoddelsninger med naturlig ventilation. Litteratursøgningen for "Arbejdsplan 3" er målrettet udvendige lydkoddelsninger med naturlig ventilation, men er også med fokus på forskellige absorbenter og andre dæmpningsløsninger.

Generelle betegnelser brugt til søgningen er f.eks.:

- Plenum Window
- Dual airflow window
- HSIVW (High Sound Insulation Ventilating Windows)
- Acoustic ventilated windows
- Recessed Window
- Hafencity Fenster
- Acoustic window shutters
- T-shaped acoustic resonator
- Acoustic resonators in windows
- Helmholtz resonator in windows
- Low frequency acoustic resonator
- Micro perforated absorbers in windows

Desuden er der også søgt på de tidligere anvendte betegnelser: Ventilationsvindue, Supply Air Window, Exhaust Air Window, Air Flow Window og Air Vented Window.

6.2 Resultater

Resultatet af litteratursøgningen opsummeres for hver arbejdsplan.

6.2.1 Arbejdsplan 1

I "Arbejdsplan 1" fokuseres der på forbedringen af russervinduets lavfrekvente egenskaber. I den forbindelse er der fundet referencer vedrørende akustiske resonatorer med formålet at forbedre lydisoleringen i det lavfrekvente område.

6.2.1.1 T-formet akustisk resonator

I reference [4] og [5] undersøges effekten af tunede T-formede akustiske resonatorer i en kvadratisk dobbeltkonstruktion af glas til lyddæmpning i frekvensområdet 203 Hz-346 Hz. Med en T-formet resonator tunet til 203 Hz opnås en forbedret lydisolation på op til 14 dB. Brugen af flere resonatorer med forskelligt tunede frekvenser undersøges i reference [4] og [6] for at opnå en bredbåndet dæmpning. I reference [8] ses resultater af et resonator array, som er målrettet dæmpning af flere resonansfrekvenser i et hulrum med dæmpning på mellem 5-7 dB i det lavfrekvente område 145 Hz-249 Hz. I reference [4] og [6] påvises, at placeringen af resonatoren(e) har stor betydning. I reference [6] ses en forskel på 5 dB i lydtrykniveauet ved forskellige placeringer af resonatorer tunet til dæmpning af 145 Hz inde i hulrummet. Det er vigtigt at bemærke, at reference [4], [5], [6] og [8] omhandler resonatorer i lukkede hulrum, og at den skiftende tilstand mellem åbent og lukket hulrum i russervinduet muligvis skal håndteres anderledes. Til dimensionering af resonatorer henvises til reference [7] og [9].

6.2.1.2 Helmholtz resonator

I reference [10] undersøges effekten af Helmholtz resonators lyddæmpende egenskaber i en dobbeltpanelkonstruktion. Artiklen tilvejebringer flere konklusioner baseret på simuleringer, heriblandt at brugen af optimerede Helmholtz resonatorer i en dobbelt konstruktion kan forbedre lydisolationen med 8 dB i frekvensområdet 50 Hz-150 Hz ved brug af 1 resonator og med 10 dB ved brug af 3 resonatorer. Der konkluderes, at brugen af Helmholtz resonatorer er meget robust overfor indfaldsvinklen af lyden. Den maksimale variation i lydisolationen er på 0,3 dB.

I reference [11] præsenteres muligheden for en dual Helmholtz resonator, som i stedet for anbringelse af to resonatorer til dæmpning af to frekvenser er en dobbelt Helmholtz resonator i én konstruktion, som dæmper to frekvenser.

6.2.1.3 Quarter-wave resonator

I reference [12] undersøges effekten af quarter-wave resonators i et ventilationsvindue, relevansen af denne er dog begrænset da forbedringen af lydisolationen ligger i frekvensområdet 500 Hz - 4 kHz. De nødvendige fysiske dimensioner gør desuden at en mere lavfrekvent dæmpning ved brug af quarter-wave resonators ikke er optimal.

6.2.1.4 Hafencity Fenster – Tysk russervindueskonstruktion

Reference [13] omhandler et projekt fra Hamborg med en vinduesopbygning, der minder om et russervindue. Opbygningen af Hafencity vinduet er anderledes end russervinduet, idet uden-dørsluften kommer ind i toppen af vindueskonstruktionen og ledes ud i rummet i bunden af vinduet. Kravene til åbning i Hamburg Hafencity lyder på 4 cm [22]. Målingerne af Hafencity vinduet er foretaget med et åbningsareal på 0,064 m² og 0,11 m². En sammenlignende måling fra russervinduet er med en åbning på 0,14 m². Her opnår russervinduet en lydisolation $R_w(C; C_{tr})$ på 18 (0; -2) dB. Hafencity vinduet opnår en lydisolation $R_w(C; C_{tr})$ på henholdsvis 33 (-1; -4) dB med et åbningsareal på $\approx 0,06$ m² og en lydisolation $R_w(C; C_{tr})$ på 31 (-2; -6) med et åbningsareal på $\approx 0,11$ m². Lydisolationen for Hafencity vinduet i det lavfrekvente område

100 Hz-250 Hz er på mellem 20-30 dB, hvilket er 10-20 dB bedre end russervinduet i dette frekvensområde [1]. Målingerne er foretaget i henhold til DIN EN ISO 140-3 med et skillefladeareal på ≈ 3 m².

6.2.1.5 Plenum window

Reference [14] er et studie af en vinduestype, som minder om et vandret russervindue. Studiet er foretaget på en model i størrelsesforholdet 1:4 og undersøger betydningen af støjens indfaldsvinkel. Resultatet af studiet viser en forskel på op til 7 dB(A) i lydisolationen afhængigt af støjens indfaldsvinkel.

6.2.2 Arbejdspakke 2 og 3

6.2.2.1 Margretheholm - udvendig drejelig lydkodde

I reference [15] er der lavet forsøg med en udvendig lydkodeløsning, som, når vinduet åbnes, drejer lydkodden ind foran åbningen. Der opretholdes et åbningsareal på minimum $0,35 \text{ m}^2$, når lydkodden står i en vinkel på 45 grader i forhold til vinduet. I et forsøg, hvor åbningsarealet er $0,39 \text{ m}^2$, måles en R'_{w} -værdi på 19 dB.

6.2.2.2 Folehaven – Udvendig forskydelig lydkodde

I reference [16] er der lavet forsøg med en udvendig lydkodeløsning til vinduer, som åbner indad. Lydkodden er monteret som en glaskasse uden på det eksisterende vindue. Lydkodden er monteret på en skinne, så det er valgfrit, om den er skubbet til side, eller om den er skubbet for vinduet. I den ene yderposition dækker lydkodden halvdelen af det tofløjede bagvedliggende vindue. I den anden yderposition dækker lydkodden hele det tofløjede vindue. I siderne af lydkodden er der en ca. 3 cm sprække, som sikrer naturlig ventilation. Åbningsarealet er ikke $0,35 \text{ m}^2$. Siderne i lydkodden er beklædt med lydabsorberende materiale. I et scenarie, hvor det bagvedliggende vindue er åbent, og lydkodden er trukket helt for vinduet, opnås en niveaudifferens mellem ude (69 dB(A)) og inde (51 dB(A)) på 18 dB(A).

6.2.2.3 Erfaringer med lydisolerende åbne vinduer i trafikstøjbelastede boligområder

Statens Byggeforskningsinstitut ved Birgit Rasmussen har udfærdiget en rapport [17] samt et paper [18], der beskriver behovet for lydisolerende åbne vinduer i eksisterende boligområder med en stærk støjbelastning fra vejtrafik. På dette grundlag og med udgangspunkt i myndighedskrav til nye boliger samt erfaringer og sammenligninger fra en række danske cases med lydisolerende åbne vinduer gives anbefalinger til initiativer til videreudvikling af vinduesløsninger, der i åben tilstand giver en betydelig bedre lydisolation end normale åbne vinduer.

6.3 Litteratursøgning opdateret

Ovenstående litteratursøgning er foretaget i de indledende faser af projektet. I løbet af projektperioden er fundet nyere litteratur, som er blevet anvendt, når det var relevant.

7. Vinduestype 1: “Russervinduet”



Illustration 7A. Foto af 'russervindue' med perforerede plader i karmen.

Russervinduet er en i forvejen kendt konstruktion, som er blevet belyst i et tidligere projekt for Miljøstyrelsen [1]. I projektet blev det vist, at der kan opnås en god effekt ved at tilføre absorbent i konstruktionens indvendige karme. Det viste sig dog også, at den opnåede effekt begrænsede sig til de højere frekvenser og besværliggjorde dermed muligheden for at forbedre $R_w + C_{tr}$. Der blev i projektet udført test med helt eller delvist absorbentdækkede rudepartier og med en dybere absorbent for at hæve niveauet af lavfrekvent absorption og dermed også $R_w + C_{tr}$.

De målinger, der er udført tidligere, danner grundlaget for den videreudvikling af russervinduet, som er foretaget i denne rapport. Der fokuseres i denne rapport på at videreudvikle konstruktionen således, at den fungerer mere absorberende ved lavere frekvenser i frekvensområdet under 200-315 Hz.

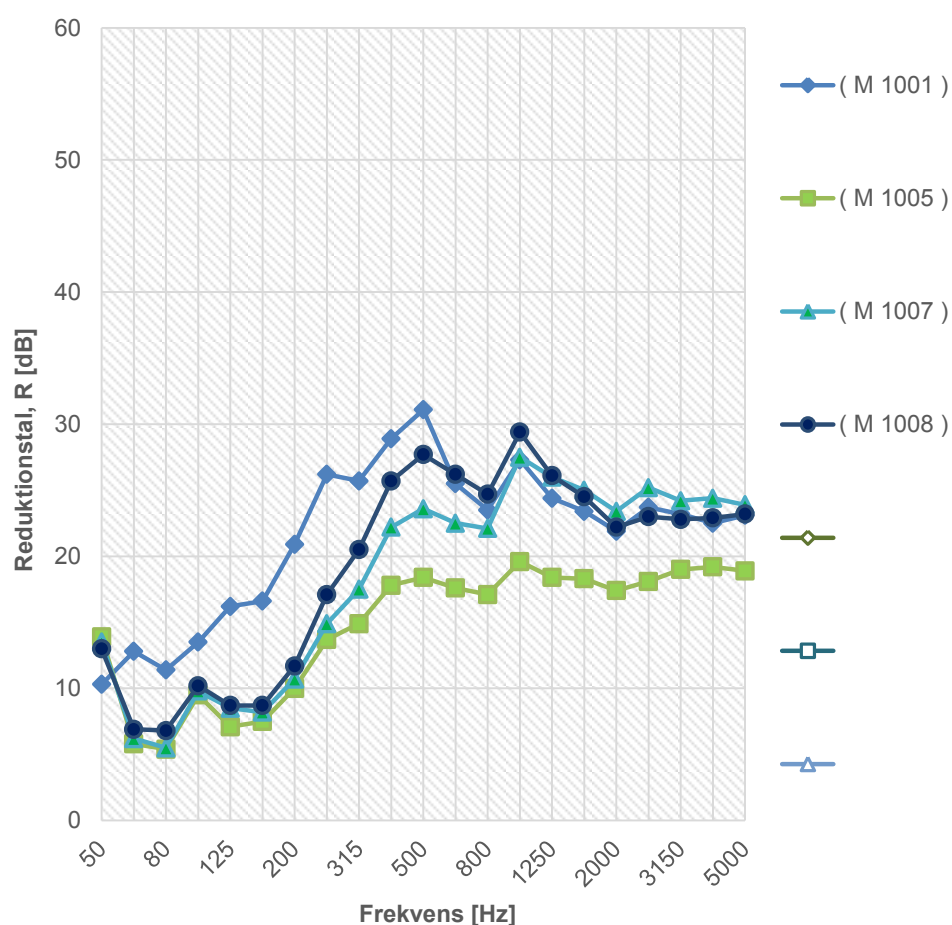
7.1 Løsningsprincip med forbedret karmabsorbent

Der er taget udgangspunkt i den oprindelige konstruktion af russervinduet med henblik på at optimere konstruktionens effekt for den lavfrekvente lydisolation. Der fokuseres på en løsning, der ikke vil påvirke det effektive luftgennemstrømningsareal for konstruktionen. For at undgå blokering af luftgennemstrømningsarealet optimeres der på karmkonstruktionerne med udgangspunkt i lavfrekvent dæmpning.

Indledningsvist blev der foretaget test af, hvorvidt en dybere absorbent i karmen ville have en effekt på det lavfrekvente område. Dette blev undersøgt ved at åbne til den omgivende hulmur og dermed blotlægge mineralulden mellem de to væghalvdele. Der blev foretaget sammenlignende målinger, hvor der dels var lukket til hulumuren, dels var opsat absorbent med udgangspunkt i den tidligere rapport [1]. Som i det tidligere projekt benyttes pladeabsorbenten Sund® Miljöundertak (SUND®) som absorptionsmateriale i tykkelsen enten 20 mm eller 40 mm.

Resultaterne af målingerne vil generelt blive præsenteret i en figur som FIGUR 1. Figuren viser reduktionstallet angivet i en graf i 1/3-oktaver. Ligeledes vil målingens nummer være vist umiddelbart til højre. Under grafen vises en kort beskrivelse af målingen samt enkelttalsværdierne R_w og R_w+C_{tr} . Beskrivelsen af laboratorieopstillingen er uddybet i Bilag 2. Alle enkelttalsværdier for alle målingerne er angivet med målingsnummer i Bilag 3. Måleresultater i tabelform.

FIGUR 1. Undersøgelse af effekten ved at åbne karmen kontra lukket til hulmur med eller uden SUND® absorbent. Vinduet er altid åbent med 0,35 m².



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 1001	24	24	Åben til hulmur med mineraluld
M 1005	18	16	Lukket til hulmur m. gipsplader
M 1007	23	19	Lukket til hulmur m. gipsplader + 20 mm SUND®
M 1008	24	20	Lukket til hulmur m. gipsplader + 40 mm SUND®

Det ses tydeligt af målingerne i FIGUR 1, at der introduceres en væsentlig større absorption ved at åbne direkte til hulmuren. Det ses også som forventet, at målingerne, hvor der er lukket af til hulmuren, har et sammenfald op til omkring 250-315 Hz, hvorefter - alt afhængigt af tykkelse på absorbenten - der for det højfrekvente opnås samme niveau som måling hvor der er åbent til hulmursisolationen (her mineralulden i den dobbelte gipspladevæg). Denne indledende måling ligger til grund for, hvilke løsningsprincipper der fokuseres på i den videre udvikling af russervinduet. En åben hulmur er ikke realistisk i en endelig løsning, og der fokuseres herefter på at ændre karmene, så de bliver tunet til det lavfrekvente område og dermed ideelt set illuderer en åben hulmur. Der fokuseres på følgende løsninger:

- Forøget karmdybde med plads til porøsassorbent sammen med perforerede karme.
- Helmholtz resonatorer placeret i karmen, tunet til specifikke frekvenser.

7.2 Mulig implementering

For at kunne have en dybere karmabsorbent, der kan minde om den åbne hulmur, konstrueres en kasse, der kan være indvendigt i hulmuren, se Illustration 7B.

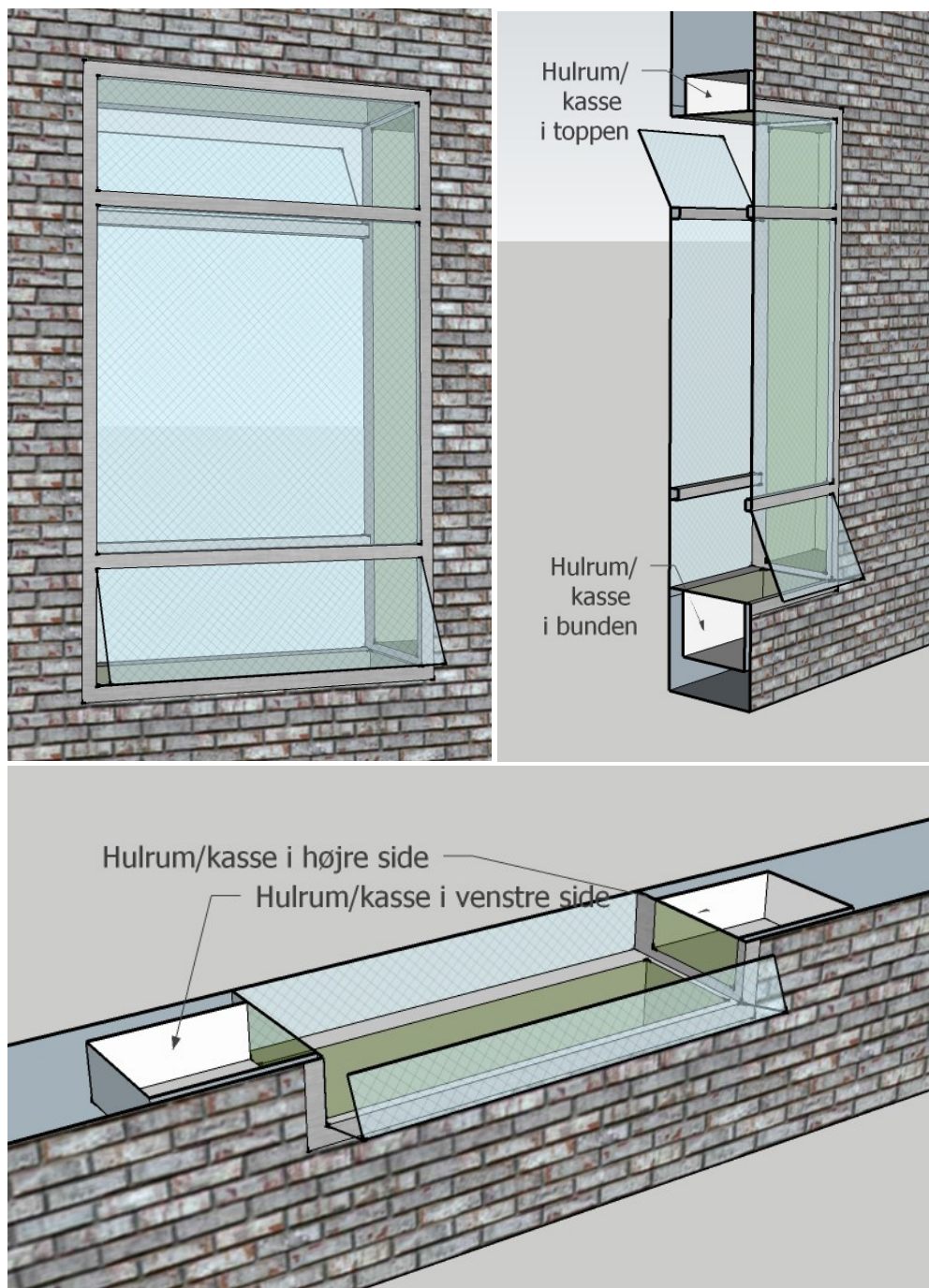


Illustration 7B. Skitse af vindues- og karmkonstruktion for russervinduet. Øverst til venstre ses konstruktionen i sin helhed. Øverst til højre ses et lodret snit i konstruktionen, hvor kasserne øverst og nederst tydeligt fremgår. Nederst ses et tværsnit af konstruktionen, hvor kasserne i siderne tydeligt fremgår.

Denne kasse skal give muligheden for at kombinere absorptionsmaterialer samt sørge for, at der er lukket til selve hulmuren. Kassen skal være af en passende dybde, så absorbenterne kan tunes til det ønskede frekvensområde.

Det ønskes, at absorberne har en effektiv virkning fra 315-500 Hz og nedefter. Denne implementering gør, at vinduet umiddelbart ikke "vokser" i størrelse, men holder de dimensioner, der tidligere har været arbejdet med. For at gøre en sådan løsning nemmere at montere, kunne kasserne inkorporeres som en del af vindueskonstruktionen, således at der på siden vil være to uigennemsigtige kasser fastmonteret på vinduet. I laboratoriet arbejdes med en kasseløsning. Løsningen implementeres i alle fire karme, så der er mulighed for at udnytte den ekstra karmdybde på alle fire sider. I laboratoriet er der valgt de maksimalt opnåelige dybder (begrænset af den aktuelle opbygning i laboratoriet) på kasserne. Det betyder, at dybden for siderne er 410 mm, for bunden 300 mm og for toppen 170 mm. Det er disse mål, der også ligger til grund for de videre beregninger.

7.3 Beregning af absorbenter

Som nævnt i afsnit 7.1 er der udvalgt to typer af absorbenter til implementering hhv. en resonatorbaseret løsning og en kombineret løsning bestående af porøst materiale sammen med perforerede plader. I det følgende vises resultaterne af beregningerne for de forskellige typer af absorber.

7.3.1 Resonatorberegninger

I litteraturstudiet i afsnit 6.2.1 er der fundet frem til forskellige resonatorer bl.a. såkaldte "T-shaped resonatorer" og de sædvanlige Helmholtz resonatorer. Da det er vigtigt at undgå unødigt optagelse af plads i karmen, arbejdes der videre med den mest kompakte af de to løsninger, som i dette tilfælde er "T-shaped resonator". Resonatoren består af 4 elementer: en hals (gren 1), en T-samling og to endestykker, hvoraf den ene er kort (gren 2) og den anden lang (gren 3), som det ses i Illustration 7A. Det er disse elementer, der reguleres på for at tune resonatoren til den ønskede frekvens.

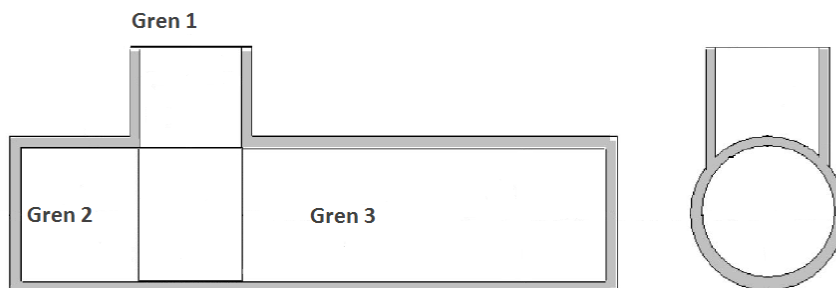


Illustration 7C. T-shaped resonator princip. [7]

For at gøre beregningerne og i sidste ende implementeringen ligetil er det valgt at arbejde med 3 fastdefinerede elementer og et regulerbart element, alle med samme diameter. Med reference til illustration 7C fastholdes længden på gren 1 og 2 samt størrelsen på T-stykket, hvorimod længden af gren 3 er variabel.

Beregningerne udføres på baggrund af de udgivelser, der er fundet i litteraturstudiet (se afsnit 6.2.1). Der beregnes længder for gren 3 med forskellige diametre på den samlede resonator med henblik på at finde optimale forhold for placering og nødvendig plads. I Tabel 3 er vist beregningerne for en opsætning med en diameter på $\varnothing 50\text{mm}$ for alle tre grene. Der er i beregningerne taget udgangspunkt i at finde en passende størrelse på resonatoren. Der er derfor udført beregninger for forskellige resonansfrekvenser samt forskellige diametre af resonator-konstruktionen. Resonansfrekvensen er den frekvens, som resonatoren vil have en dæmpende effekt overfor.

Tabel 3. Længden af hhv. gren 1 og 2 er fast på 50 mm. Længden af gren 3 er beregnet og er her angivet i meter.

Diameter/Frekvens	100 Hz	150 Hz	200 Hz	250 Hz	300 Hz	350 Hz	400 Hz
ø12 mm	0,79 m	0,51 m	0,36 m	0,28 m	0,22 m	0,17 m	0,14 m
ø16 mm	0,79 m	0,50 m	0,36 m	0,27 m	0,21 m	0,17 m	0,13 m
ø20 mm	0,79 m	0,50 m	0,35 m	0,27 m	0,21 m	0,16 m	0,13 m
ø25 mm	0,78 m	0,49 m	0,35 m	0,26 m	0,20 m	0,16 m	0,12 m
ø32 mm	0,77 m	0,49 m	0,34 m	0,25 m	0,19 m	0,15 m	0,11 m
ø50 mm	0,75 m	0,47 m	0,32 m	0,23 m	0,17 m	0,12 m	0,08 m
ø63 mm	0,74 m	0,45 m	0,30 m	0,21 m	0,15 m	0,10 m	0,05 m

De beregnede værdier danner grundlag for dimensioneringen af resonatorerne til brug i konstruktionen. For at gøre resonatorerne nemme at indstille laves gren 3 så lang som muligt, men med mulighed for at indsætte en prop, der kan justere længden, uden at der skæres noget af røret.

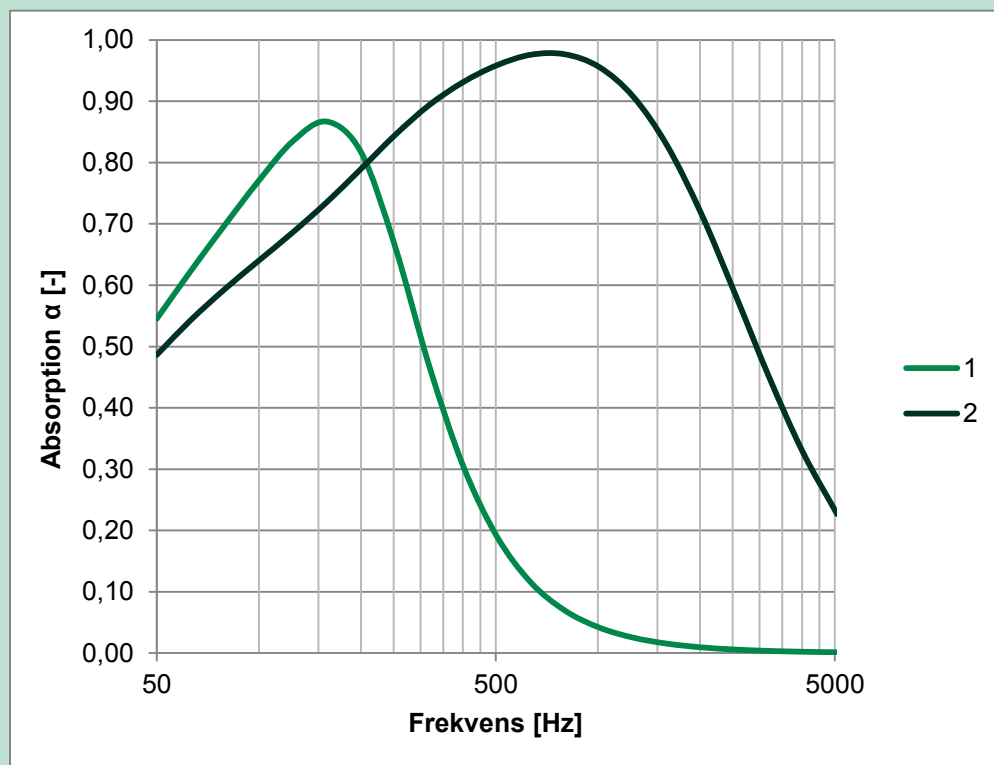
7.3.2 Perforeret absorptberegninger

Den perforerede løsning er allerede kendt, da den i dag bruges specielt i lofter og også i andre sammenhænge. Princippet baserer sig ligesom med resonatorerne på Helmholtz-princippet. Her er der i modsætning til ovenstående flere huller, og for at komme ned i frekvens er der også et behov for et større hulrum i modsætning til, hvad der er tilfældet for de beregnede resonatorer (T-shaped resonator). Det giver dog en mulighed for at tune de perforerede plader til et bredere område, så selve absorptionen ikke er så smalbåndet som for resonatoren.

Beregningerne er baseret på [23], som beskriver designprocessen for perforerede absorptberegninger. Der er taget udgangspunkt i at dæmpe frekvenser under 350 Hz og samtidig gøre det over et så bredt område som muligt med de mål, der er tilgængelige i laboratoriet. For at opnå et bredere frekvensområde, hvor absorptionen er høj, er der beregnet på to perforeringsgrader op gennem vinduet. For beregningerne gælder, at der kun er beregnet for det vinkelrette indfald. Desuden gælder, at de perforerede plader er udført i 13 mm gipsplader, hvor der er en hulradius på 5 mm. Afhængigt af perforeringsgrad varierer afstanden mellem hullerne. For den lave perforeringsgrad er afstanden fra centrum til centrum af hullerne 50 mm, medens den for den høje er 15 mm. Det giver en perforeringsgrad på hhv. 3,14 % og 34,91 %. I Illustration 7E og 7F ses de forskellige perforeringsgrader monteret i vinduet.

I FIGUR 2 er absorptionskoefficienten beregnet i de områder, hvor karndybden er 410 mm. Karmen er udfyldt med mineraluld med en luftstrømningsmodstand på 9000 Rayls/m. Der er vist beregningerne for to perforeringsgrader. Det ses af beregningerne, at der i området fra 100 Hz til 1750 Hz kan forventes en kombineret absorptionskoefficient på mere end 0,8.

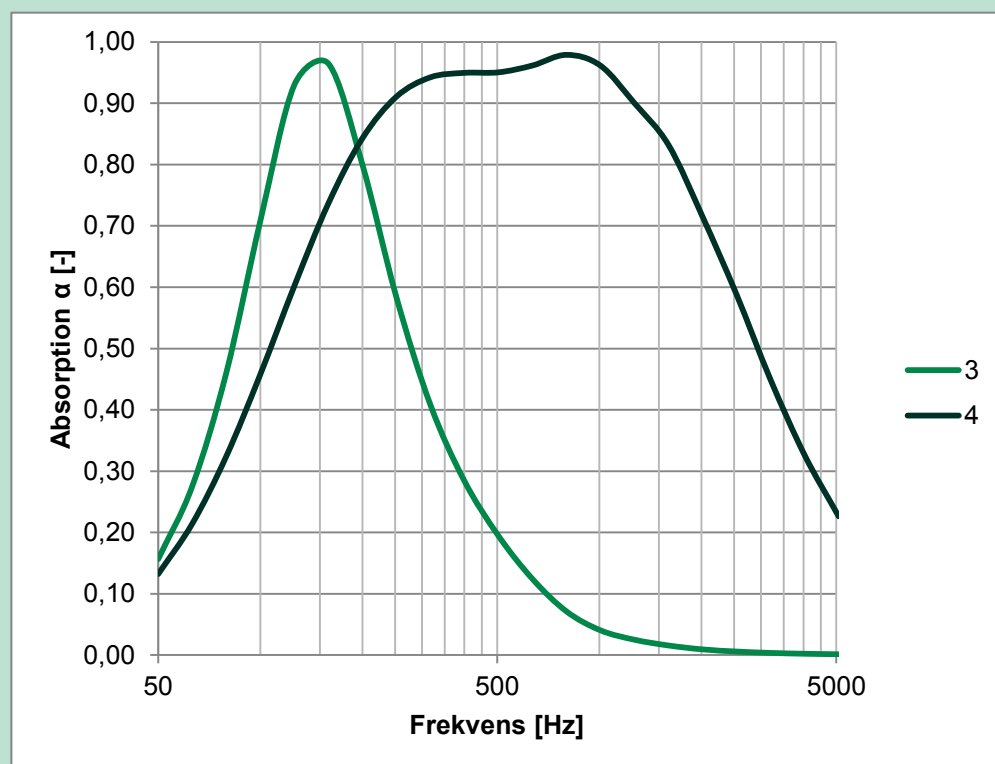
FIGUR 2. Beregning af absorptionskoefficient afhængigt af perforeringsgrad med 410 mm mineraluld.



Beregning nr.	Beskrivelse (Perforeringsgrad og hulrumsdybde)
1	3,14 % 410 mm mineraluld
2	34,91 % 410 mm mineraluld

I FIGUR 3 ses i sammenligning med FIGUR 2 en lignende beregning. I dette tilfælde er der beregnet for et hulrum på 170 mm udfyldt med mineraluld med en strømningsmodstand på 9000 Rayls/m. Beregningen gælder for den øverste karm, da der ikke er større dybde tilgængeligt end de 170 mm. Det ses, at afhængigt af hvilken perforeringsgrad der vælges, kan der opnås en lavfrekvent absorption i et smalt frekvensområde eller absorption i et bredere område ved højere frekvenser. Da bredden af den øverste karm kun er 1250 mm, arbejdes der ikke med en kombineret absorption som i siderne.

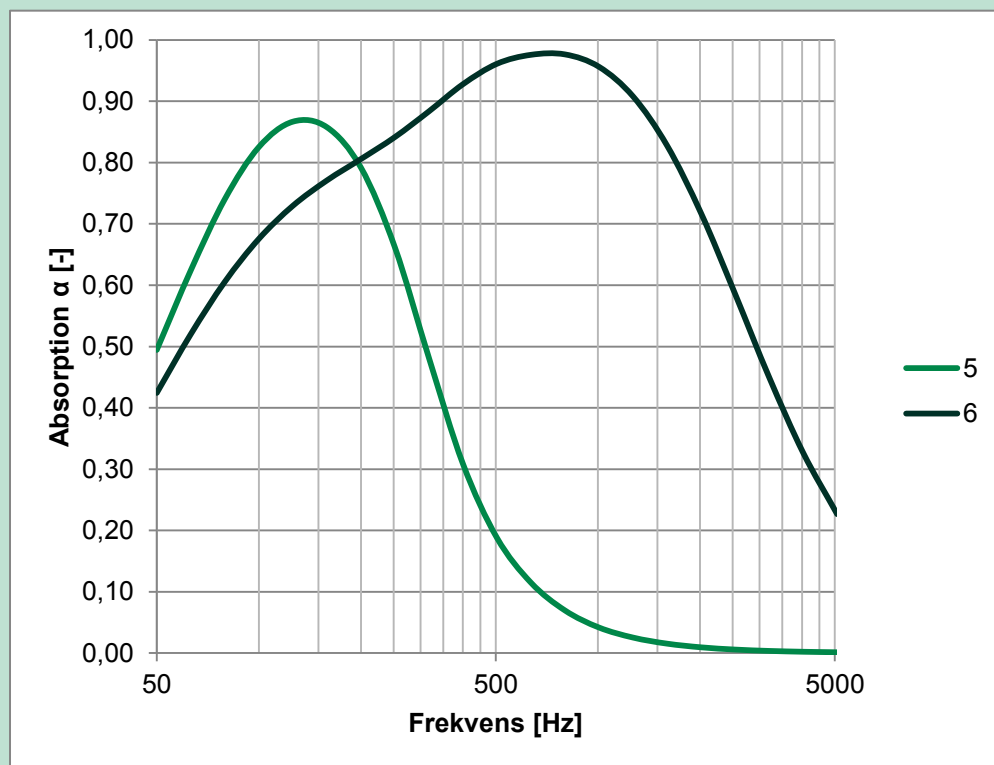
FIGUR 3. Beregning af absorptionskoefficient afhængigt af perforeringsgrad med 170 mm mineraluld.



Beregning nr.	Beskrivelse (Perforeringsgrad og hulrumsdybde)
3	3,14 % 170 mm mineraluld
4	34,91 % 170 mm mineraluld

I FIGUR 4 er der beregnet med et hulrum på 300 mm udfyldt med mineraluld med en luftstrømningsmodstand på 9000 Rayls/m. I modsætning til FIGUR 3 ses det, at absorptionsværdien for de to perforeringsgrader antager en bredere form, men med knapt så høj absorptionskoefficient. Beregningen er udført for den nederste karm i vinduet, hvor den maksimale dybde er 300 mm.

FIGUR 4. Beregning af absorptionskoefficient afhængigt af perforeringsgrad med 300 mm mineraluld.



Beregning nr.	Beskrivelse (Perforeringsgrad og hulrumdybde)
5	3,14 % 300 mm mineraluld
6	34,91 % 300 mm mineraluld

Det er muligt at ændre på absorptionsværdierne ved eksempelvis at anvende et porøst materiale med en større luftstrømningsmodstand end den anvendte. Det er endvidere muligt at arbejde med eksempelvis semi-fyldte hulrum, hvor man kombinerer luft med et porøst materiale. Der er udført beregninger, hvor mineralulden ikke har udfyldt hele hulrummet. De viste beregninger er den kombination, der hyppigst er blevet brugt i projektet.

7.4 Laboratoriemålinger

I laboratoriet er der udført målinger for de to typer af løsning hhv. en løsning baseret på T-shaped resonatorer og på perforerede plader med porøst fyld i hulrummet bag karmen. Målingerne med resonatorer er udført i vinduesstørrelsen (bredde x højde) 1250 mm x 2100 mm. Målingerne med perforerede plader og porøs karm er udført på tre forskellige størrelser af russervinduet hhv. 1250 mm x 2100 mm, 1250 mm x 1500 mm og 900 mm x 2100 mm.



Illustration 7D. Fotos af vinduet med indsatte resonatorer. Venstre foto viser resonatorerne monteret i den lodrette karm, mens højre foto viser resonatorerne monteret i den vandrette karm (bunden).

I Illustration 7D ses monteringen af resonatorerne i karmen. Resonatorerne er opbygget i almindelig afløbsrør af plast tætnet med silikone. Resonatorerne er så vidt muligt placeret efter de stående bølger, der forekommer i vinduet i lukket tilstand ved de udvalgte frekvenser for resonatorerne.



Illustration 7E. Foto af vinduet monteret med 34,91 % perforeret karm. Fotoet er taget op mod det øvre hjørne.



Illustration 7F. Foto af vinduet monteret med 34,91 % og 3,14 % perforeret karm hhv. øverst og nederst. Fotoet er taget ned mod bunden af vinduet.

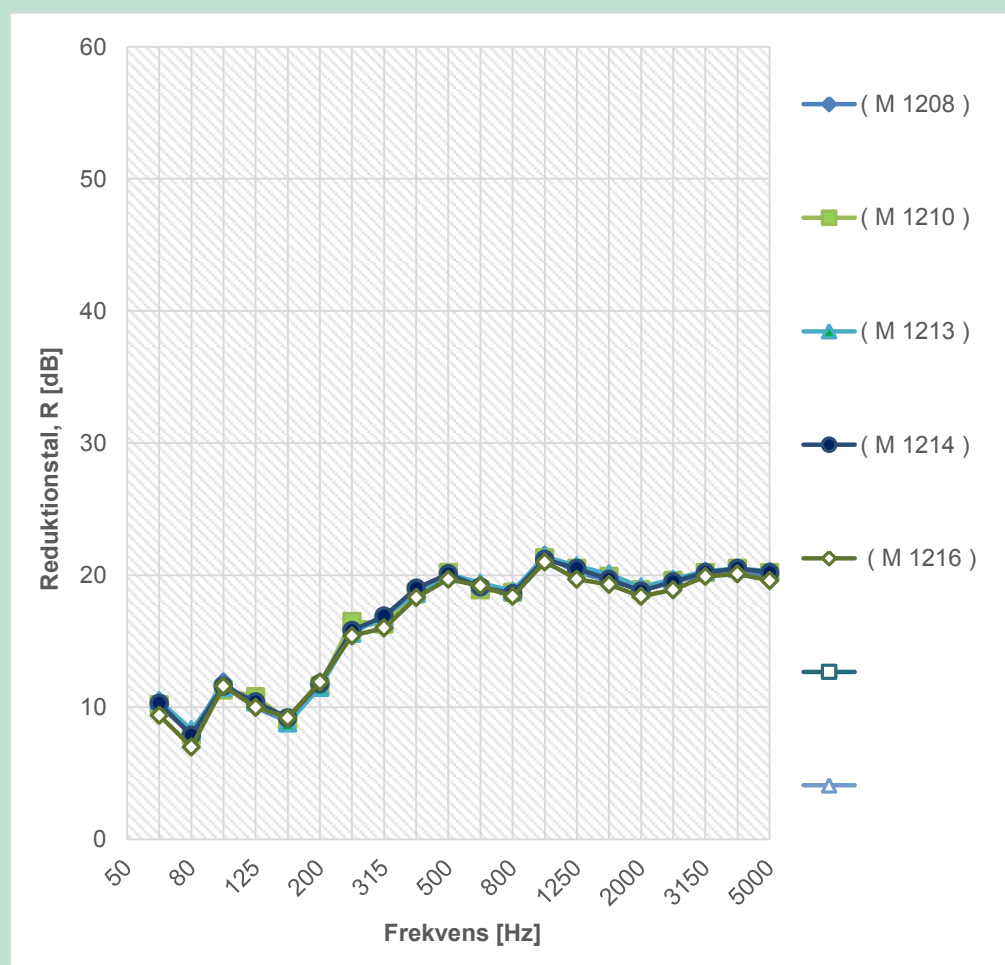
I Illustrationerne 7E og 7F ses vinduet monteret med perforerede plader med porøst fyld. De to illustrationer er begge vist for vinduet med dimensionerne (bredde x højde) 1250 mm x 2100 mm. I disse illustrationer er siderne beklædt med hhv. 34,91 % perforering i toppen og 3,14 % perforering i bunden. Top- og bundkarm er hhv. 34,91 % og 3,14 % perforeret. De perforerede plader er, som nævnt tidligere, lavet af 13 mm gipsplader.

De i illustrationerne viste opsætninger er eksempler på, hvordan det kan se ud. I målingerne er det udført med forskellige opsætninger og kombinationer. Der er udover de perforerede plader også eksperimenteret med brugen af absorbent uden på de perforerede plader.

7.4.1 Resonatorløsning

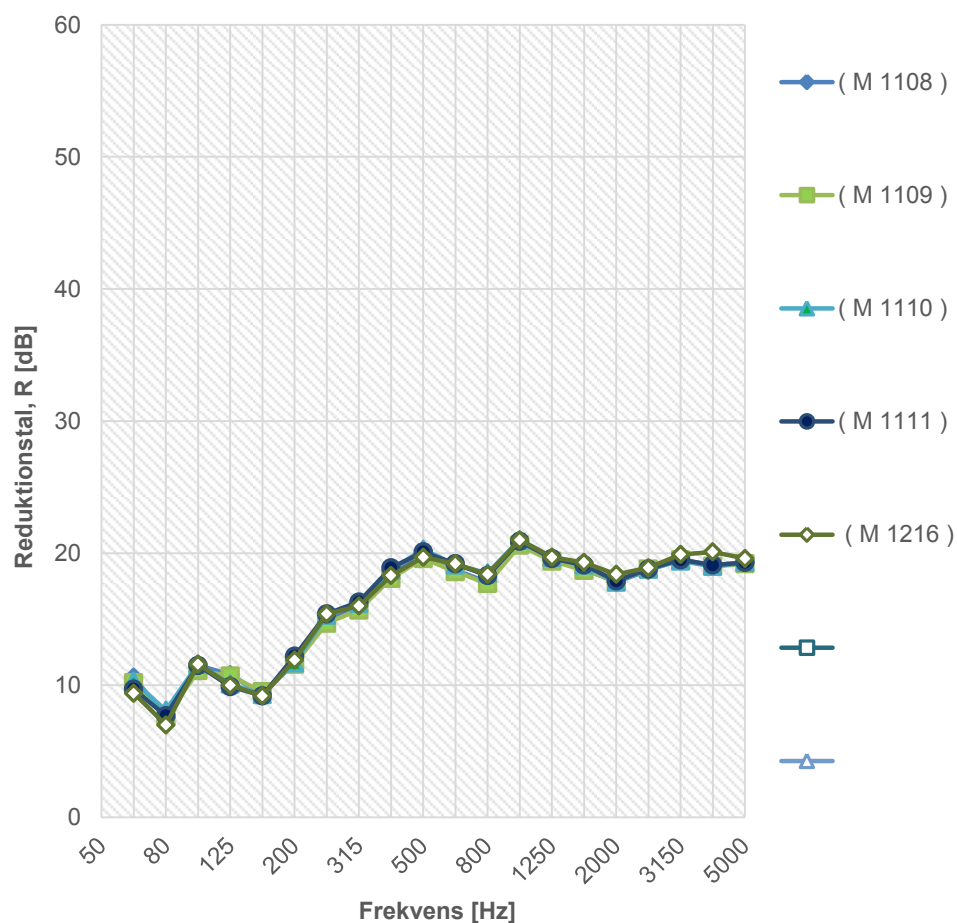
For resonatorløsningen er vinduet betragtet som en lukket kasse i forbindelse med placeringen af resonatorene. Det er så vidt muligt forsøgt at positionere resonatorerne ud fra de kvartbølglængder, der svarer til den frekvens, resonatorerne har været tunet til. Derudover har der været forsøgt med placeringer ved sprog og hjørner. Det ses af FIGUR 5, hvor der er forsøgt med et større antal resonatorer tunet til samme frekvens og to på hinanden følgende 1/3-oktavfrekvenser, at der i forhold til løsningen uden resonatorer ikke er en forskel i $R_w + C_{tr}$ mellem dem og en løsning, hvor karmen er lukket med gipsplade. Resonatorerne er alle tunet til den højere del af det lavfrekvente spektrum hhv. 200 Hz og 315 Hz. Der er under laboratoriemålingerne forsøgt måling med stationær kilde (i modsætning til den bevægelige højttaler, der sædvanligvis benyttes i laboratoriet) og måling med smalbåndet støj. For disse målinger ses der heller ikke nogen nævneværdig effekt. Dog kan der ses en mindre forskel, når der testes med rentoner ved de aktuelle frekvenser for resonatorene. I FIGUR 6 ses målingerne foretaget med en lavere frekvens for resonatorene. Som for målingerne i FIGUR 5 ses der ikke nogen forbedring af $R_w + C_{tr}$ i forhold til referenceniveauet, hvor karmen er gipsplade. Det er muligt, at placeringen af resonatorerne ikke har været optimal. En grundig simulering af det akustiske felt i vinduet i åben tilstand og lukket tilstand ville kunne bidrage til at få udvalgt den optimale placering af resonatorerne. En sådan simulering har dog ikke været muligt indenfor rammerne af projektet. Dog kunne en sådan simulering bidrage til en eventuel forbedring af lydisolationen. De opnåede resultater i disse målinger er sammenlignelige med de resultater, der er opnået i det tidligere russervinduesprojekt uden absorbent [1].

FIGUR 5. Åbent vindue 0,35 m². Forskellige resonatoropsætninger monteret med gipsplader.



Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 1208	20	18	4 resonatorer i siderne, tunet til 200 Hz
M 1210	20	18	6 resonatorer i siderne, tunet til 200 Hz
M 1213	20	18	6 resonatorer i siderne, 2 tunet til 315 Hz og 4 til 200 Hz
M 1214	20	18	6 resonatorer, 2 i topkarm, tunet til 315 Hz og 4 i siderne, tunet til 200 Hz
M 1216	19	18	Lukket med gipsplade mod kasserne

FIGUR 6. Åbent vindue 0,35 m². Forskellige resonatoropsætninger monteret enten i toppen eller bunden af vinduet.

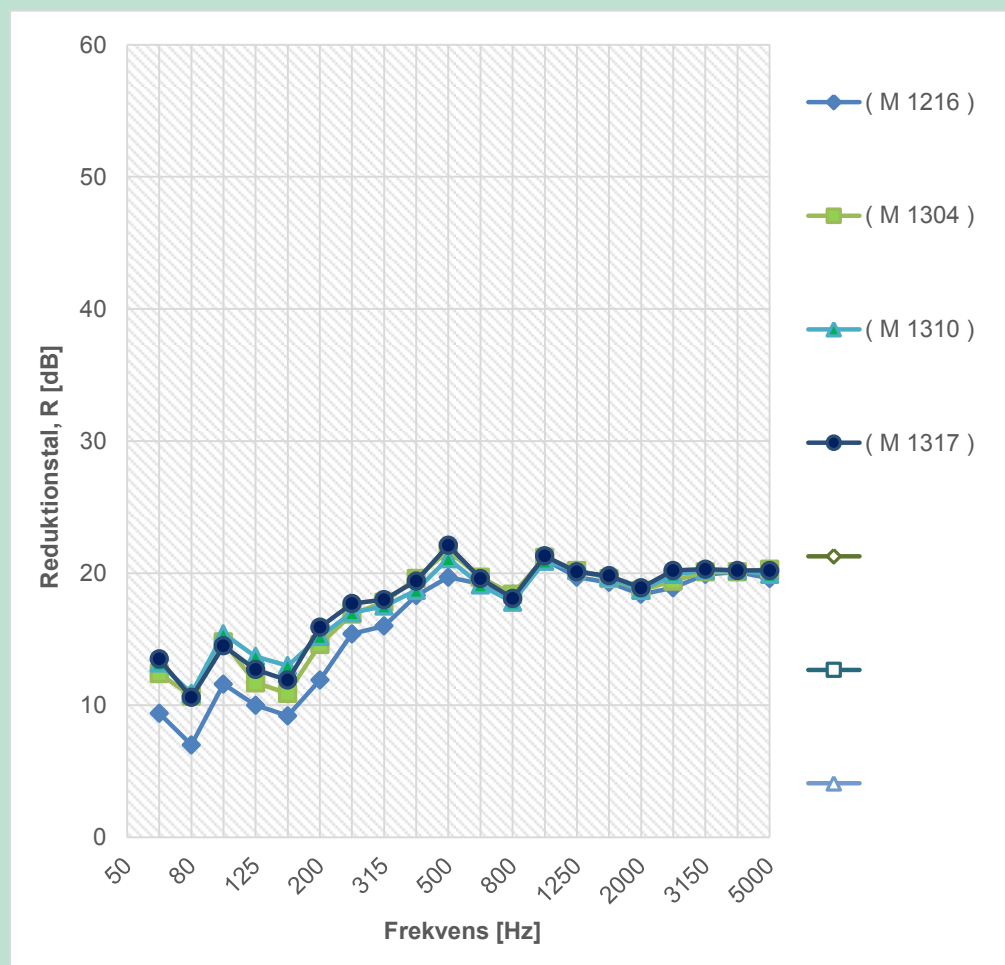


Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 1108	19	17	2 resonatorer i bunden, tunet til 80 Hz
M 1109	19	17	1 resonator i venstreside af bunden, tunet til 80 Hz
M 1110	19	18	2 resonatorer i toppen, tunet til 80 Hz
M 1111	19	18	2 resonatorer i toppen, tunet til 200 Hz
M 1216	19	18	Lukket med gipsplade mod kasserne

7.4.2 Perforeret løsning

Der er, som beskrevet i afsnit 7.3, udført beregninger for perforerede absorbenter med forskellig perforeringsgrad. Indledningsvist er der lavet målinger med en konstant perforeringsgrad. Der er desuden testet med og uden mineraluld i hulrummet samt perforering kun delvist i karmene. I FIGUR 7 ses målinger udført med en konstant perforeringsgrad på 3,14 %. Indledningsvist er der perforerede plader i siderne med en hulrumsudfyldning med mineraluld, herefter er der supplerende monteret perforerede plader i top og bund stadig med samme perforeringsgrad dog hhv. med luft og mineraluld i hulrummet.

FIGUR 7. Åbent vindue 0,35 m². Perforerede plader med en perforeringsgrad på 3,14 %, forskelligt fyld i hulrum samt forskellige perforerede karme.

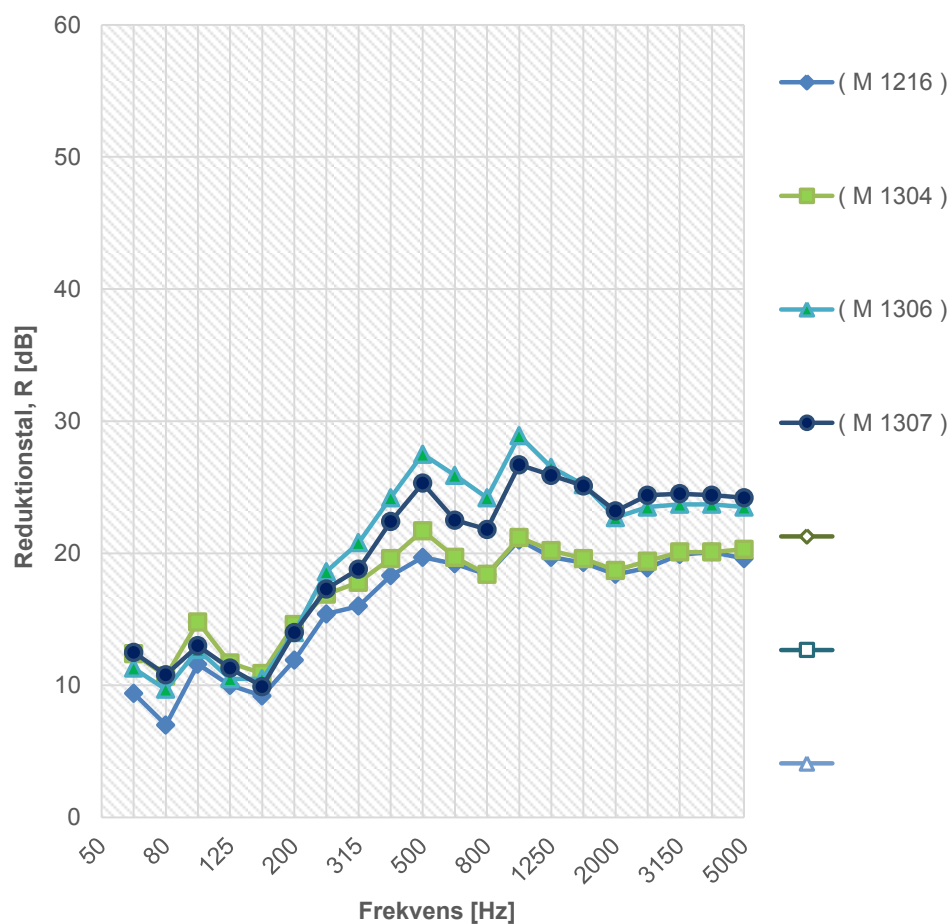


Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorber)
M 1216	19	18	Lukket med gipsplade mod kasserne
M 1304	20	19	Siderne perforeret 3,14 %, hulrum fyldt med mineraluld
M 1310	20	19	Top og bund perforeret 3,14 %, hulrum med luft, siderne perforeret 3,14 %, hulrum med mineraluld
M 1317	20	19	Top og bund perforeret 3,14 %, hulrum med mineraluld, siderne perforeret 3,14 %, hulrum med mineraluld

Ud fra beregningerne ses det, at der skal være en højere absorption fra ca. 500 Hz og ned til 50 Hz med en perforeringsgrad på 3,14 %. Af FIGUR 7 ses det, at reduktionstallet fra 500 Hz og nedefter for de perforerede målinger forøges i forhold til standard løsningen med almindelig gipsplade. Det ses desuden, at for 500 Hz og opefter er der sammenfald mellem referencemålingen og de perforerede målinger, hvilket indikerer, at de beregnede effekter fra de perforerede plader er det, der ses i målingen. Det ses også, at R_w samt R_w+C_{tr} er steget med 1 dB i forhold til referencemålingen. Det er en beskeden stigning, men den er fundet udelukkende ved at regulere på det lavfrekvente område for vinduet.

I det tidligere udførte russervinduesprojekt er det konstateret, at almindelige porøse absorbenter i karmen har en gavnlig effekt for absorption af frekvenser over 500 Hz. Der udføres målinger, hvor der påsættes absorbenter udenpå de perforerede plader for at forøge absorptionen ved højere frekvenser. Der anvendes den samme absorbent som i det tidligere udførte projekt (SUND®). I FIGUR 8 ses målingerne udført med en fast perforeringsgrad på 3,14 % i siderne. Der er målt med og uden SUND® absorbent i karmene. Det ses af målingerne, at frekvensområdet over 500 Hz forhøjes, uden at den lavfrekvente gevinst fundet ved at perforere pladerne forsvinder. Der er dog et lille tab i det lavfrekvente område i forhold til, når der ingen absorbent er. Det ses, at for både 20 mm og 40 mm karmabsorbent opnås en R_w på 24-25 dB i forhold til 19 dB og en R_w+C_{tr} på 21 i forhold til 18 dB, hvilket er en stigning på 3 dB i forhold til en løsning uden absorbent.

FIGUR 8. Åbent vindue 0,35 m². Perforerede plader med en perforeringsgrad på 3,14 %, kun siderne er perforeret, karmene er med og uden beklædning af SUND®.

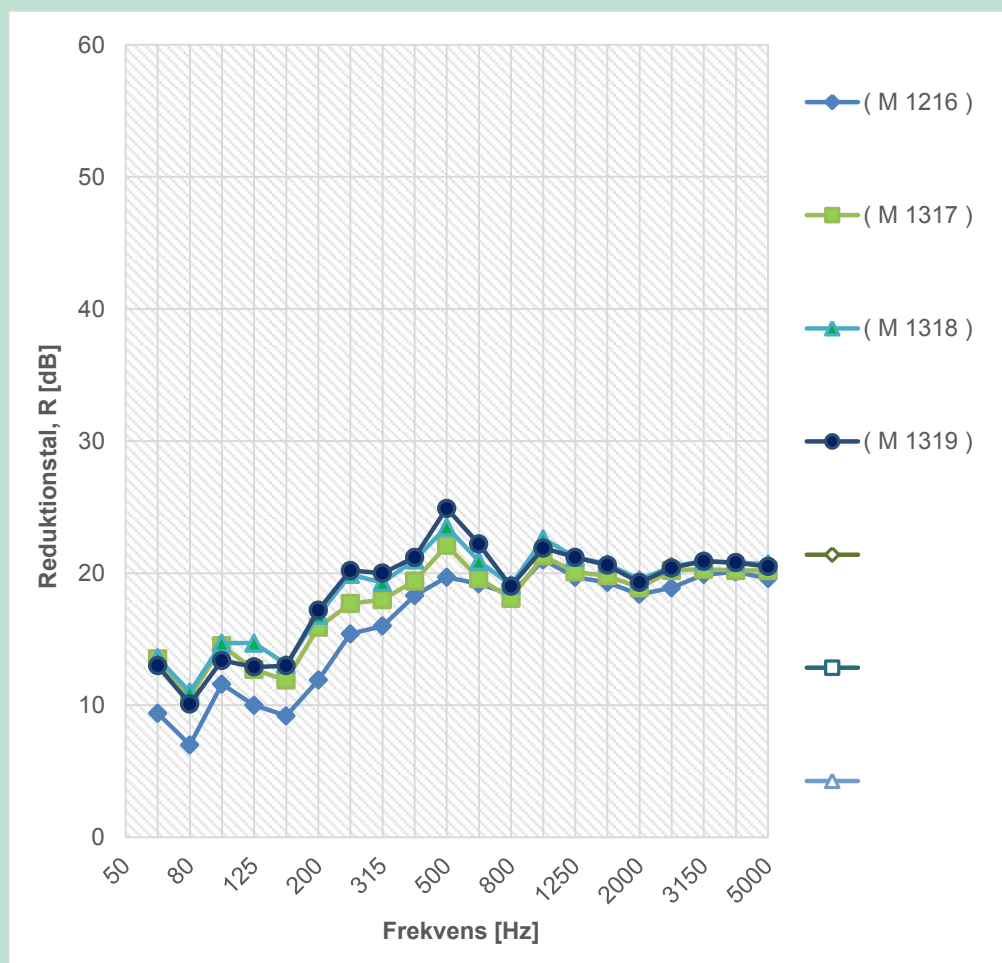


Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 1216	19	18	Lukket med gipsplade mod kasserne
M 1304	20	19	Hulrum fyldt med mineraluld
M 1306	25	21	Hulrum fyldt med mineraluld, beklædt med 40 mm SUND®
M 1307	24	21	Hulrum fyldt med mineraluld, beklædt med 20 mm SUND®

Målingerne, der er udført indtil nu, har alle været med den samme perforeringsgrad. I afsnit 7.3.2 er der også udført beregninger med en større perforeringsgrad end de 3,14 %. Ideen med den større perforeringsgrad er at få dækket et bredere frekvensområde af absorbenten. Ved at kombinere de to perforeringsgrader opnås en større dækning og dermed et forventeligt bedre reduktionstal.

I FIGUR 9 ses målinger udført med og uden kombineret perforeringsgrad. Det ses, at der er et sammenfald mellem målingerne for de laveste frekvenser og igen for de højeste frekvenser. Det ses også, at for de målinger, hvor enten top eller bund har været med en større perforeringsgrad, er opnået en højere absorption for mellemfrekvenserne, end når vinduet kun er monteret med 3,14 % perforeringsgrad. Med en perforeringsgrad på 34,91 % i enten top eller bund opnås 1 dB ekstra i R_w+C_{tr} i forhold til en perforeringsgrad på 3,14 % på det hele. Ligeledes opnås en forøgelse på 2 dB R_w+C_{tr} i forhold til en opbygning uden perforerede karme.

FIGUR 9. Åbent vindue 0,35 m². Siderne er perforeret 3,14 %. Top og bund karm udført med forskellig perforeringsgrad hhv. 3,14 % og 34,91 %.

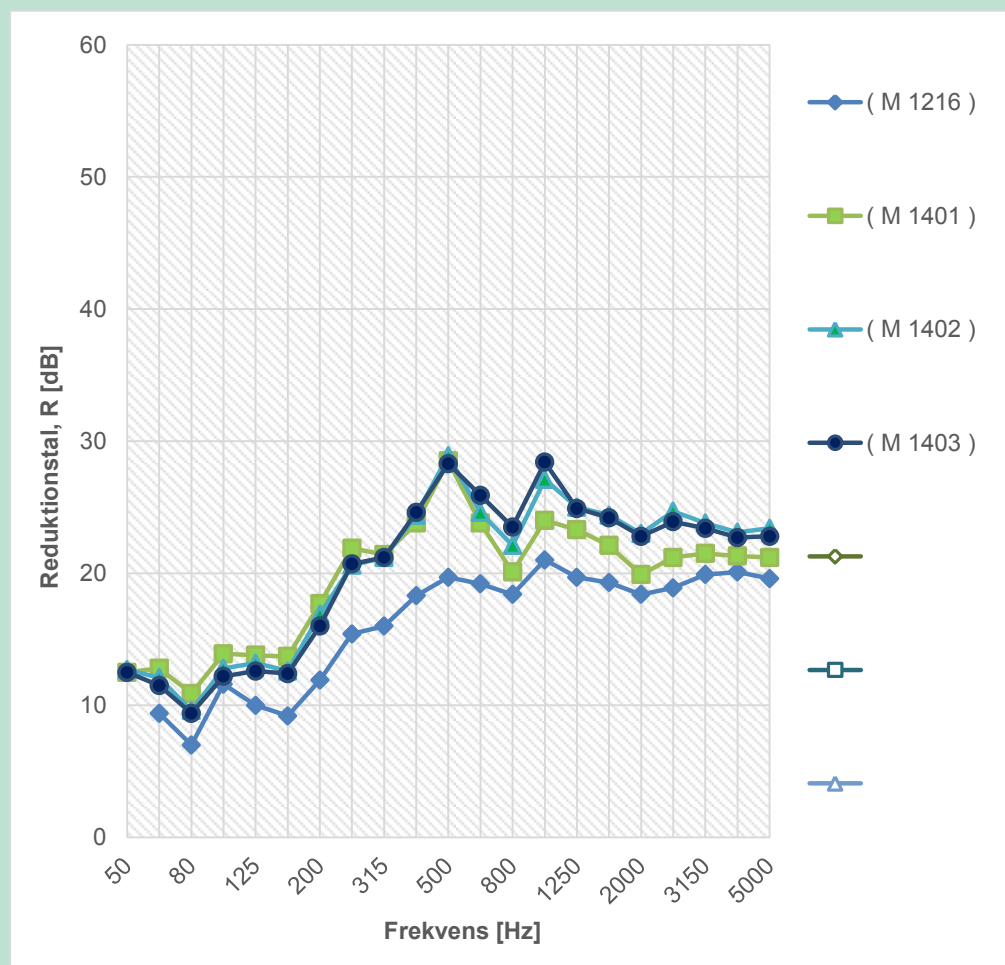


Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 1216	19	18	Lukket med gipsplade mod kasserne
M 1317	20	19	Top og bund perforeret 3,14 % til hulrum med mineraluld, siderne perforeret 3,14 % til hulrum med mineraluld
M 1318	21	20	Bund perforeret 34,91 % til hulrum med mineraluld, top og sider perforeret 3,14 % til hulrum med mineraluld
M 1319	21	20	Top perforeret 34,91 % til hulrum med mineraluld, bund og sider perforeret 3,14 % til hulrum med mineraluld

Det er forsøgt at opnå en bedre fordeling af de perforerede områder. I stedet for udelukkende at placere den høje perforeringsgrad i bunden eller toppen indføres den også i sidekarmen på ca. 2/5 af karmens længde. Der kan givetvis ud fra simuleringer af vinduets akustiske felt opnås en bedre placering af de forskellige absorbenter. Det er dog i disse målinger udelukkende intentionen at vise princippet og ikke optimere placeringen. I FIGUR 10 ses målingerne udført med kombineret perforeringsgrad samtidig med, at der er indsat porøs absorbent på de perforerede plader. Ved at indføre en større perforeringsgrad i karmsiderne samtidig med en større perforeringsgrad i bunden øges området med øget absorption fra ikke kun at være ved lavere frekvenser, men til at spænde over hele området.

Der implementeres porøs absorbent på karmene for at opnå en bedre dæmpning ved de højere frekvenser. I lighed med tidligere ses det at området over 500 Hz øges medens der forsvinder noget af effekten fra de perforerede plader lavfrekvent, de er dog stadig fungerende hvilket ses når målingerne sammenlignes med en ikke perforeret løsning. Det ses desuden at der både med 20 mm og 40 mm SUND® opnås samme resultat med en R_w værdi på 25 dB og en R_w+C_{tr} på 22 dB, i alt en stigning i R_w+C_{tr} på 4 dB i forhold til en ikke perforeret løsning. Løsningen her kan ses som den optimale løsning i forhold til flader hvor der kan placeres absorbent, da alle glasfelter er holdt uden absorbent.

FIGUR 10. Åbent vindue 0,35 m². Siderne er perforeret 3,14 % 3/5 af karmen, de resterende 2/5 er perforeret 34,91 %. Toppen er perforeret 3,14 % og bunden 34,91 %.



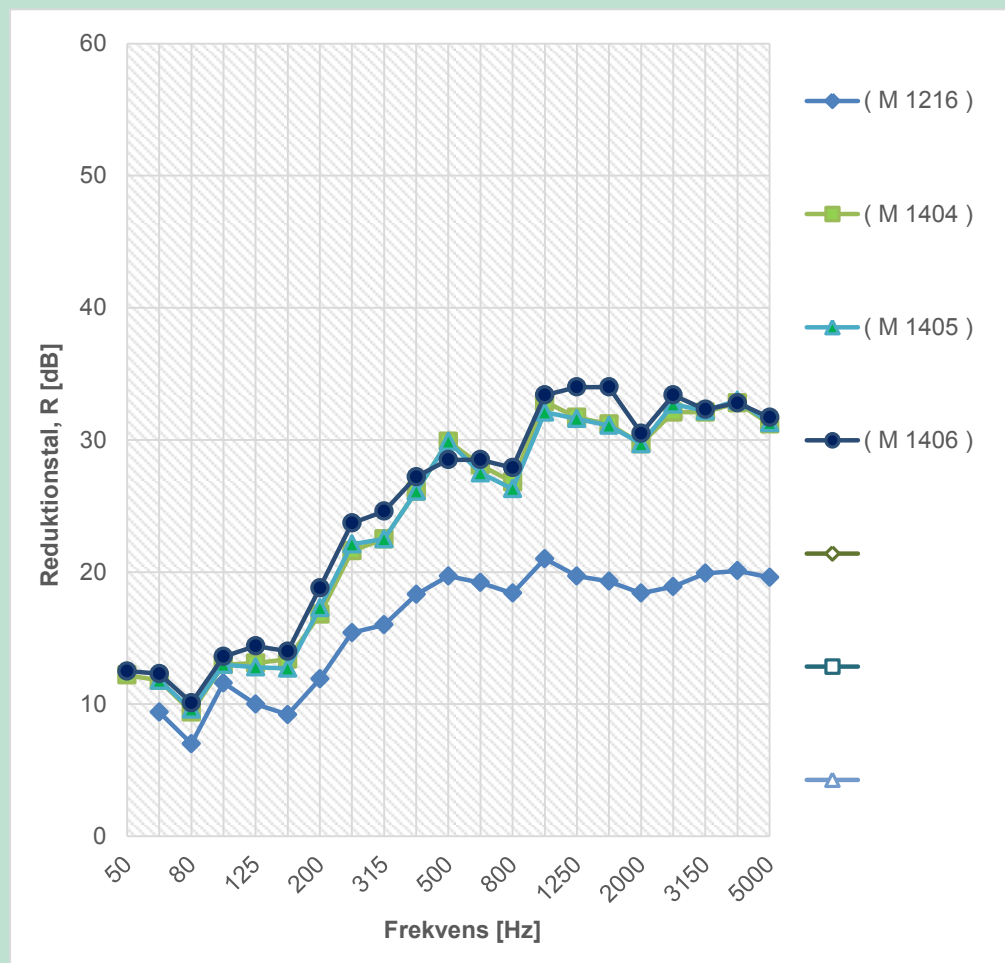
Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 1216	19	18	Lukket med gipsplade mod kasserne
M 1401	20	19	Perforeret, hulrum fyldt med mineraluld
M 1402	25	22	Perforeret, hulrum fyldt med mineraluld, 20mm SUND®
M 1403	25	22	Perforeret, hulrum fyldt med mineraluld, 40mm SUND®

Der kan dog være byområder, hvor det er nødvendigt at have et meget højt reduktionstal. For at belyse vinduets fulde potentiale er der udført målinger med absorbent placeret på nogle af de gennemsigtige flader. For stadig at arbejde med en løsning, der lukker lys ind samt sikrer, at løsningen bliver behagelig for brugeren, er der kun lavet forsøg med absorbenter placeret på oplukkene og på modstående side af opluk, se Illustration 7G. I FIGUR 11 ses det, at ved at implementere absorbent på opluk og modstående rude opnås en R_w på 29 dB samt R_w+C_{tr} på 24 dB. Det ses også, at der ikke er forskel på, om det er 40 mm eller 20 mm, der er monteret på karmene. Endelig er der lavet en måling, hvor de modstående sider i forhold til opluk er fyldt så meget ud som muligt med absorbent. Denne løsning skal ses som en absolut maks.-måling, hvor det stadig er muligt at se gennem vinduet. Her opnås en R_w på 30 dB samt R_w+C_{tr} på 26 dB – i alt en forbedring i forhold til vinduet uden absorbent på 11 dB for R_w samt 8 dB for R_w+C_{tr} .



Illustration 7G. Venstre side: foto set fra indvendig side af absorbent på opluk og rude modstående opluk. Højre side: foto set fra udvendig side af absorbent på opluk og rude modstående opluk.

FIGUR 11. Åbent vindue 0,35 m². Siderne er perforeret 3,14 % 3/5 af karmen, resterende 2/5 er perforeret 34,91 %. Toppen er perforeret 3,14 % og bunden 34,91 %. Alle hulrum er fyldt med mineraluld.



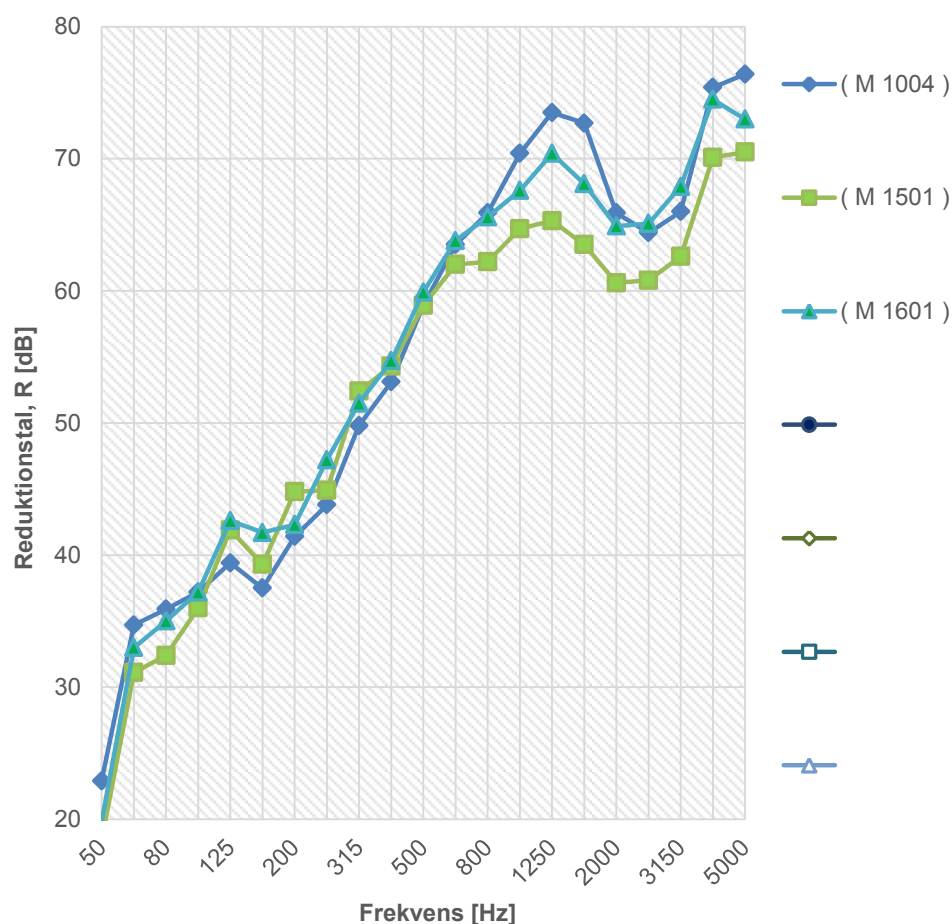
Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 1216	19	18	Lukket med gipsplade mod kasserne
M 1404	29	24	Perforeret, 40 mm SUND® på karmene, 20 mm SUND® på opluk samt modstående rude for opluk
M 1405	29	24	Perforeret, 20 mm SUND® på karmene, 20 mm SUND® på opluk samt modstående rude for opluk
M 1406	30	26	Perforeret, 40 mm SUND® på karmene, 20 mm SUND® på opluk samt 80 mm i toppen og 40 mm i bunden på modstående rude for opluk

7.4.3 Variation af ydre dimensioner

Alle målinger vist i FIGUR 5-FIGUR 11 er udført på et vindue med samme dimension (bredde x højde) 1250 mm x 2100 mm (2,63 m²). Denne løsning er noget pladskrævende, og det undersøges derfor, hvilke muligheder der er med vinduer opbygget som russervinduet, dog med andre dimensioner. Der er udført målinger på vinduer med dimensionerne (bredde x højde) 1250 mm x 1500 mm (1,88 m²) og 900 mm x 2100 mm (1,89 m²).

Indledningsvist er der udført målinger med vinduerne lukket. Det er gjort for at se, om der her ses en klar forskel mellem vinduerne generelt. I FIGUR 12 ses målingerne af de forskellige vinduer i lukket tilstand, uden at der er tilført nogen form for absorption i vinduet. Det ses at vinduerne følges ad lavfrekvent. Det ses også, at fra 500 Hz skiller det lave af de tre vinduer sig ud som det ringeste, medens de to konstruktioner med samme højde men forskellig bredde følges nogenlunde ad.

FIGUR 12. Lukket vindue. Forskellige dimensioner af russervinduet. Målingerne er kun orienterende, da der ikke er korrigeret for flanketransmission.

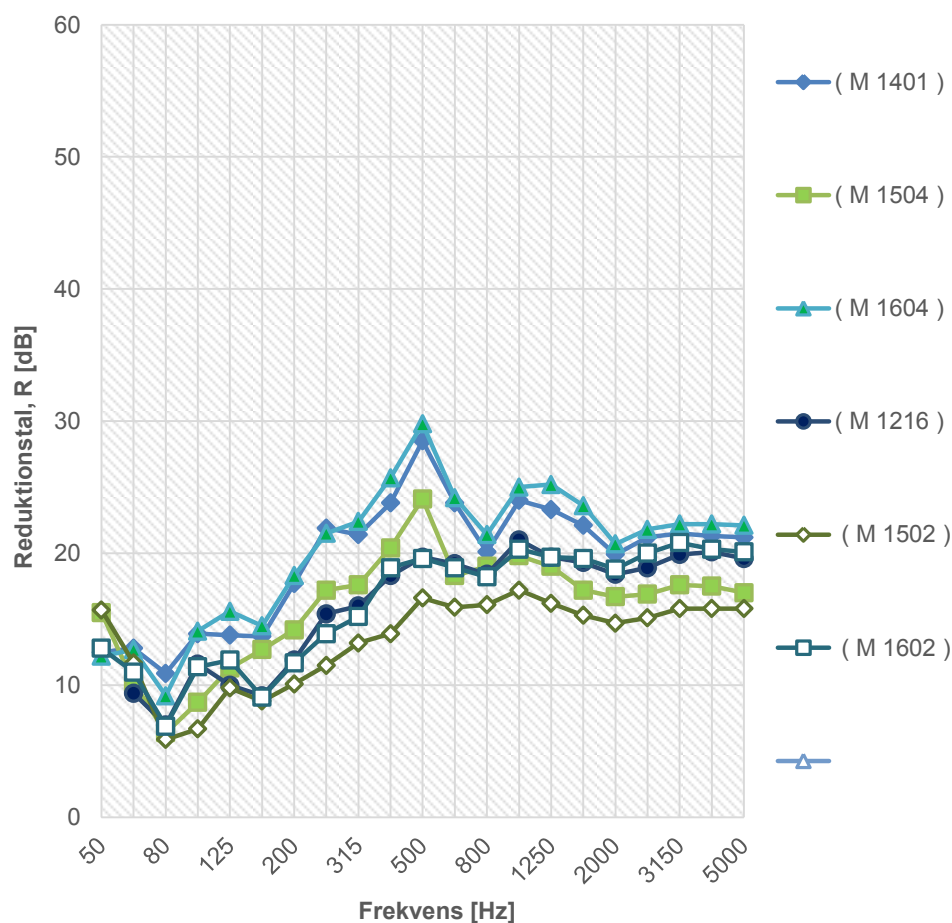


Måling nr.	R_w [dB]	$R_w + C_{tr}$ [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 1004	57	50	Lukket med gipsplade mod kasserne, ingen absorbenter 1250 mm x 2100 mm
M 1501	58	51	Lukket med gipsplade mod kasserne, ingen absorbenter 1250 mm x 1500 mm
M 1601	59	52	Lukket med gipsplade mod kasserne, ingen absorbenter 900 mm x 2100 mm

De forskellige dimensioner ønskes sammenlignet i åben tilstand. Det er dog grundet konstruktionens opbygning af det smalle høje vindue ikke muligt at sammenligne målingerne fuldt ud, da vinduet kun kan åbnes 0,28 m².

I FIGUR 13 ses målingerne udført på de tre forskellige vinduer. Der er taget udgangspunkt i en løsning, hvor der ikke er tilført absorbent og en løsning, hvor der både er perforerede plader samt porøs absorbent. Af målingen ses i lighed med den lukkede måling, at de to høje konstruktioner skiller sig ud. De præsterer omkring 3 dB bedre R_w+C_{tr} i forhold til det korte, brede vindue. Det må dog antages, at åbningsgraden på $0,28 \text{ m}^2$ for det ene vindue har betydning. Selvom der tages højde herfor, er der en klar tendens til, at jo højere konstruktionen er jo bedre præsterer vinduet i og med, der er en længere vej for lyden.

FIGUR 13. Åbent vindue 0,35/0,28 m². Effekt af perforerede absorbenter for forskellige dimensioner.

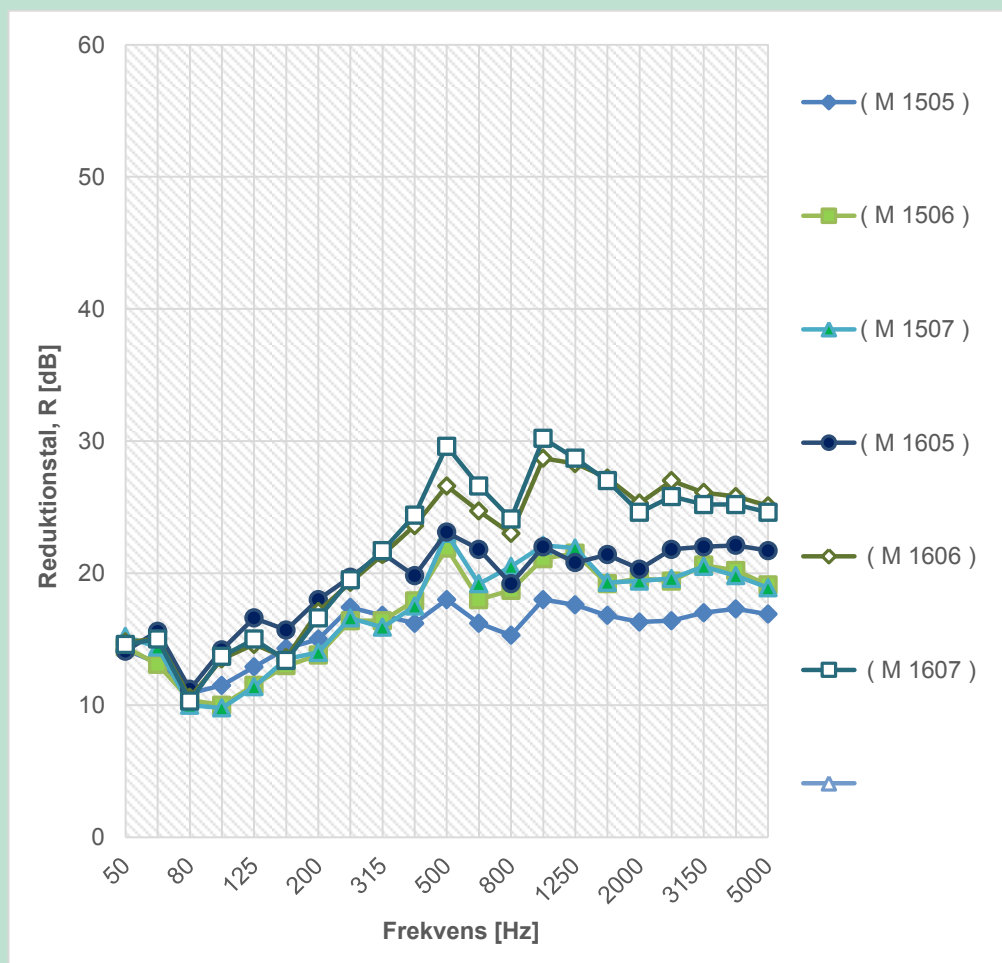


Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 1401	22	21	Bund er perforeret 34,91 %, top 3,14 %, sider 3/5 perforeret 3,14 % og 2/5 perforeret 34,91 % hulrum fyldt med mineraluld. 1250 mm x 2100 mm
M 1504	18	18	Bund er perforeret 34,91 %, top 3,14 %, sider 1/3 perforeret 3,14 % og 2/3 perforeret 34,91 % hulrum fyldt med mineraluld 1250 mm x 1500 mm
M 1604	23	22	Bund er perforeret 34,91 %, top 3,14 %, sider 3/5 perforeret 3,14 % og 2/5 perforeret 34,91 % hulrum fyldt med mineraluld 900 mm x 2100 mm
M 1216	19	18	Lukket med gipsplade mod kasserne 1250 mm x 2100 mm
M 1502	16	15	Lukket med gipsplade mod kasserne 1250 mm x 1500 mm
M 1602	20	18	Lukket med gipsplade mod kasserne 900 mm x 2100 mm

For målingerne vist i FIGUR 13 gælder som for de andre målinger, at for at øge absorptionen ved de højere frekvenser påsættes porøs absorbent på karmene. Det leder til målingerne anført i FIGUR 14. Det ses af målingerne for det høje, smalle vindue og for det lave vindue, at der opnås en høj absorption ved de højere frekvenser.

Ligeledes ses det, at der er en sammenlignelig gevinst ved at indføre absorbenten både for det høje og det lave vindue. Her opnås en stigning på hhv. 5 dB for R_w og 3 dB for R_w+C_{tr} for det høje vindue og hhv. 3 dB for R_w og 3 dB for R_w+C_{tr} for det lave vindue. Det skyldes formentlig, at mængden af tilført absorbent arealmæssigt er tæt på den samme.

FIGUR 14. Åbent vindue 0,35/0,28 m². Forskellige dimensioner af russervinduet med perforerede absorbenter og SUND®.



Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 1505	17	17	Bund er perforeret 34,91 %, top 3,14 %, sider 1/3 perforeret 3,14 % og 2/3 perforeret 34,91 %, hulrum fyldt med luft, 1250 mm x1500 mm
M 1506	20	18	Bund er perforeret 34,91 %, top 3,14 %, sider 1/3 perforeret 3,14 % og 2/3 perforeret 34,91 % hulrum fyldt med luft, 20 mm SUND® på karmen, 1250 mm x 1500 mm
M 1507	20	19	Bund er perforeret 34,91 %, top 3,14 %, sider 1/3 perforeret 3,14 % og 2/3 perforeret 34,91 %, hulrum fyldt med luft, 40mm SUND® på karmen, 1250 mm x 1500 mm
M 1605	21	20	Bund er perforeret 34,91 %, top 3,14 %, sider perforeret 3/5 3,14 % og 2/5 perforeret 34,91 %, hulrum fyldt med luft, 900 mm x 2100 mm
M 1606	26	23	Bund er perforeret 34,91 %, top 3,14 %, sider 3/5 perforeret 3,14 % og 2/5 perforeret 34,91 %, hulrum fyldt med luft, 20 mm SUND® på karmen, 900 mm x 2100 mm
M 1607	26	23	Bund er perforeret 34,91 %, top 3,14 %, sider 3/5 perforeret 3,14 % og 2/5 perforeret 34,91 %, hulrum fyldt med luft, 40 mm SUND® på karmen, 900 mm x 2100 mm

7.5 Opsamling

I denne del af projektet er der taget udgangspunkt i den tidligere konstruktion af "russervinduet". Løsningen bygger på det samme format som tidligere. Ideen i denne arbejdsplan var dog at højne reduktionstallet ved at øge absorptionen i det lavfrekvente område. Der er indledningsvist udført beregninger for både en resonatorbaseret løsning og en løsning med perforerede plader samt udført målinger med en blotlagt hulmur med henblik på at indikere, hvorvidt dette kunne øge den lavfrekvente absorption. Ved at åbne til hulumen fandtes en forbedring af R_w+C_{tr} på 8 dB i forhold til ren gipsplade i karmen og 4 dB sammenholdt med målinger, hvor der er anvendt 40 mm SUND® på karmen.

Der er i laboratoriet udført et stort antal målinger på både den resonatorbaserede løsning samt den perforerede løsning. For den resonatorbaserede løsning var der ikke nogen gevinst ved at indsætte resonatorer i karmen. Dog har målinger med rentoner vist, at der kunne opnås en dæmpning af disse. Målingerne udført for de perforerede løsninger viser gode resultater, og forbedringerne ses også i de frekvensområder, hvor beregningerne forudsagde forbedringerne. Der ses en forskel i reduktionstallet ved lave frekvenser, mens reduktionstallet ved de højere frekvenser er af samme størrelsesorden som i løsningen, hvor kasserne er lukket af med gipsplader. For at øge enkelttalsværdien maksimalt udnyttes de i det tidligere projekt fundne konklusioner, og der monteres SUND® absorbent uden på de perforerede plader. Der opnås en forbedring af R_w+C_{tr} på 2 dB i forhold til en opsætning uden perforerede plader med 40 mm SUND®. Ved at øge mængden af absorbent i vinduet ved at placere SUND® på opluk og glasset modstående opluk opnås en forbedring for R_w+C_{tr} på 8 dB i forhold til en karm monteret med gipsplader.

Der er udført et antal målinger med forskellige vinduesdimensioner. Resultaterne viser som i det første russervinduesprojekt, at det er vigtigt at have en god højde i vinduet og dermed en lang "vej" for lyden at vandre. Der er en forskel mellem et højt og lavt vindue på R_w+C_{tr} på 3-4 dB.

For de to typer af konstruktion, der er afprøvet, kan der kun konstateres en forbedring med de perforerede plader. For resonatorløsningen var der ingen forbedring i forhold til det første russervinduesprojekt. For den perforerede løsning er der en klar forskel i forhold til det tidligere projekt. Der er opnået en R_w+C_{tr} på 22 dB for den perforerede løsning med 20 mm SUND®. I det tidligere projekt var R_w+C_{tr} -værdien med 20 mm SUND® 19 dB. Det angiver en stigning på 3 dB. Sammenlignes de to maksimale målinger fra det tidligere og dette projekt, ses en stigning fra en R_w+C_{tr} på 24 dB til 26 dB. Det angiver en stigning på 2 dB. Disse stigninger i reduktionstallet er udelukkende fundet ved at indføre perforerede plader.

8. Vinduestype 2: "Almindeligt vindue" med indvendig løsning



Illustration 8A. Prototypeløsning for "almindeligt vindue" med indvendig løsning.

I dette kapitel beskrives et "almindeligt vindue" med en indvendig løsning, hvor hovedformålet er at forbedre et standardvindues lydisolation uden at tilføje noget til vinduet udenpå. Konstruktionsprincippet fokuserer på oplukkelige vinduer med en moderat lydisolation i åben tilstand, dvs. et vindue der kan anvendes i de områder, hvor støjbelastningen er omkring 5 dB over grænseværdien. Til forskel fra russervinduer, der ofte kræver et specielt vinduesformat og opluk placeret henholdsvis oppe og nede, og skodeløsninger der påvirker udformning og udseende af den udvendige facade, er ideen at kunne benytte almindelige vinduesformater med almindelige åbnefunktioner (som sidehængt eller tophængt) kombineret med en indre lydafskaermning i vinduet. Tanken er derfor at arbejde med en billigere løsning (end russervinduet) der passer i et mere almindeligt størrelse vindueshul (her en bredde x højde på 1250 mm x 1500 mm). Referencen er derfor et enkelt tofløjet vindue som vist i Illustration 8B.



Illustration 8B. Fotos af reference vindue: Enkelt tofløjet vindue her vist fra både indvendig side (venstre foto) og udvendig side (højre foto).

8.1 Udvikling af løsningsprincip

Princippet kunne være, at der i en traditionel dobbelt vindueskonstruktion mellem de to rude-lag kan etableres en lydafsærmning, der kun kommer til syne, når vinduet åbnes. Lydaf-skærmningen skal sikre, at der er en "omvej", der reducerer den direkte lydtransmission sam-tidig med, at der sker en vis lydabsorption i hulrummet.

Når vinduet er lukket, er "lydskodden" fx foldet sammen og parkeret i karmen eller rullet op i toppen af vinduet, således at der er frit udsyn gennem dette. "Lydskodden" vil i funktion der-imod delvist lukke for lysindfald/udsyn.

Der er taget udgangspunkt i to løsninger. Den ene løsning fokuserer på et tofløjet sidehængt vindue med to rammer (herefter benævnt "tofløjet"), hvorimod den anden fokuserer på et etflø-jet sidehængt vindue med én ramme (herefter benævnt "sidehængt").



Illustration 8C. Foto af det lukkede dobbeltvindue set fra indvendig side.

Der er opbygget en grundvindueskonstruktion, der kan anvendes til begge løsninger, alt efter hvilke rammer der åbnes. Konstruktionen består af 2x2 rammer, der er sat sammen som vist på fotoet i Illustration 8D (højre side) – se øvrige fotos i Illustration 8C og Illustration 8D (venstre side). I tilfældet med det tofløjede vindue er opsætningen som venstre foto i Illustration 8D.



Illustration 8D. Fotos af vinduet i åben tilstand. Venstre foto viser vinduet åbnet som et tofløjet vindue, mens højre foto viser alle oplukkene åbne.

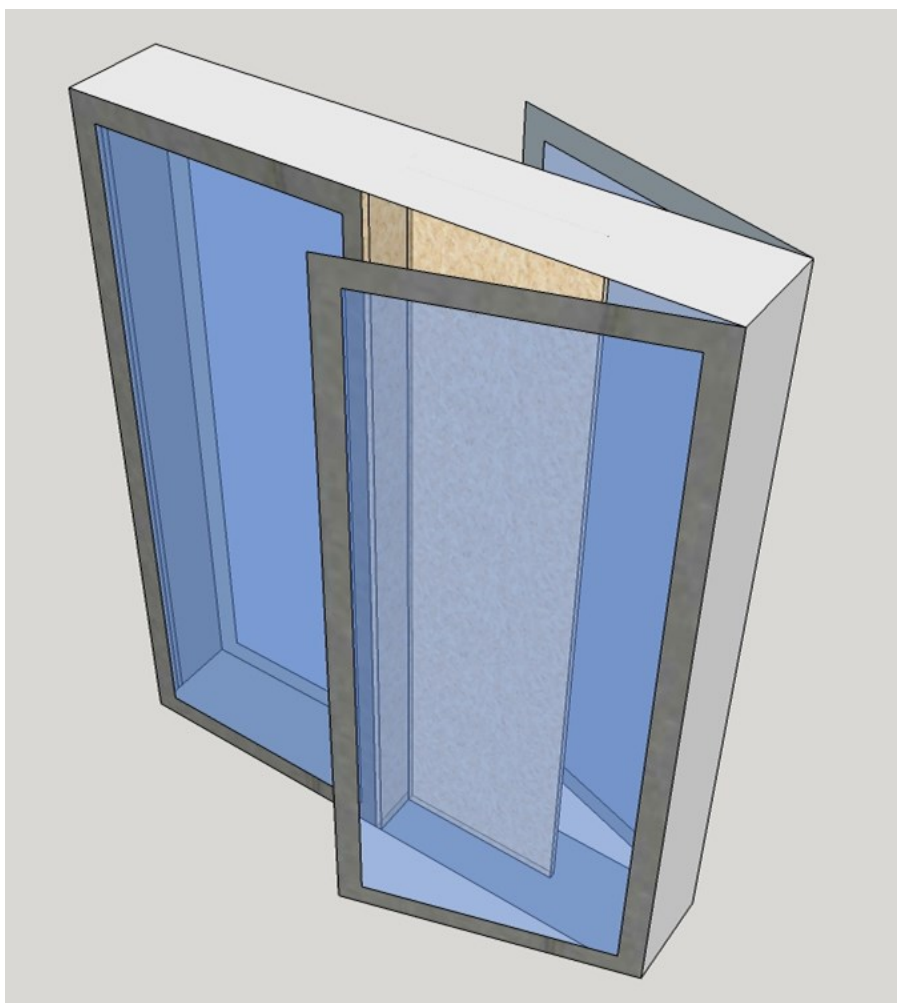


Illustration 8E. Skitse af opbygningen af det tofløjede vindue (se Illustration 8F for snit gennem samme skitse).

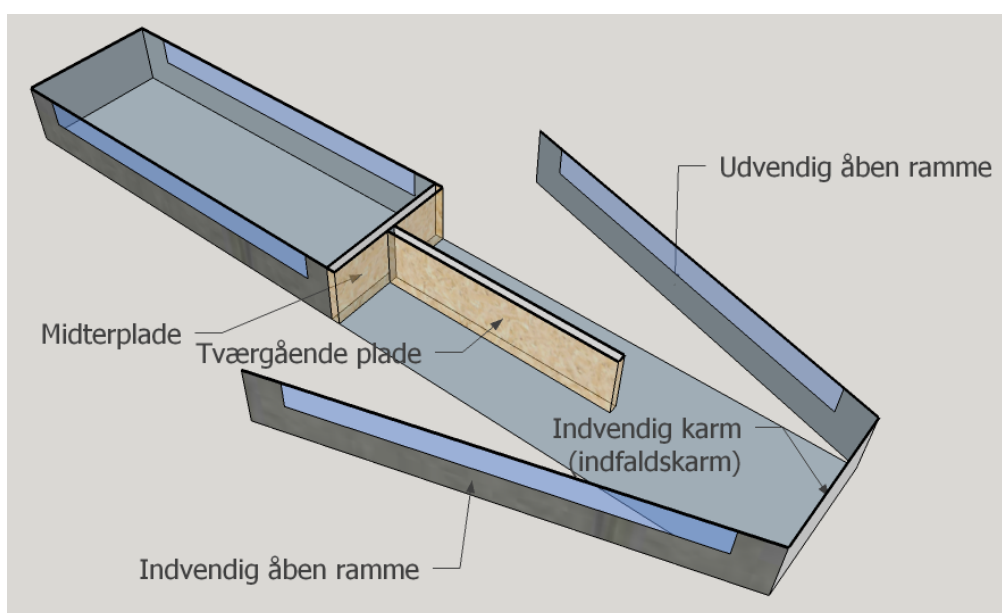


Illustration 8F. Vandret snit igennem skitse der viser det tofløjede setup (se Illustration 8E).

I Illustration 8E og 8F vises en skitse af det tofløjede setup. Det tofløjede vindue deles midt over af en midterplade, hvorpå den tværgående plade monteres. Både midterplade og tværgående plade er til mockup-målingerne opbygget af krydsfiner. Under målingerne placeres der absorberer på midterpladen, på den tværgående plade og i karmen (både i siden, toppen og bunden).

På samme måde viser skitserne i Illustration 8G og 8H, hvordan det sidehængte vindue opbygges (Det er ikke et "ægte" etfløjet sidehængt vindue, men det forventes, at resultaterne målt med denne konstruktion vil være meget tæt på et reelt etfløjet sidehængt vindue, da den smalle vinkel, der vil være i en "korrekt" sidehængt løsning, vil være uden betydning i forhold til de lyddæmpende forhold). Illustrationerne skitserer, hvordan et lydabsorberende element (her som en tværgående plade) tænkes integreret i hulrummet mellem de to vinduespartier. Der foretages målinger, hvor den tværgående plade har forskellig længde samt forskellig absorberende evne. Der foretages både målinger, der overholder kravet om et gennemstrømningsareal på $0,35 \text{ m}^2$ og målinger, hvor åbningsarealet er holdt på $0,35 \text{ m}^2$, men hvor gennemstrømningsarealet på det smalleste sted er mindre.

I den endelige version af vinduet for både tofløjet og sidehængt løsning er det tænkt, at den tværgående plade skal kunne køres / rulles væk, for at der stadig er mulighed for fuldt lysindfald med lukkede vinduer, eksempelvis en foldeplade af absorberende materiale. En anden mulighed er, at pladen udføres i gennemsigtigt materiale, således at man undgår komplicerede løsninger som for eksempel en foldeplade og sikrer gennemsigtighed.

Til konstruktion af hhv. de tværgående plader samt "midterpladen" er der brugt almindelige spånplader. Som absorberende materiale er brugt SUND® Miljöundertak med en tykkelse på 20 mm. I enkelte tilfælde (på indfaldssiden i karmen ved den tofløjede konstruktion) er der anvendt en tykkelse på 40 mm. Til beklædning af karmene er anvendt samme absorbent i 20 mm tykkelse. Der er dog i nogle tilfælde målt med en indfaldsabsorbent (absorbent anvendt i siden af karmen – modsat den tværgående plade) på 40 mm i tykkelsen i den tofløjede konfiguration.

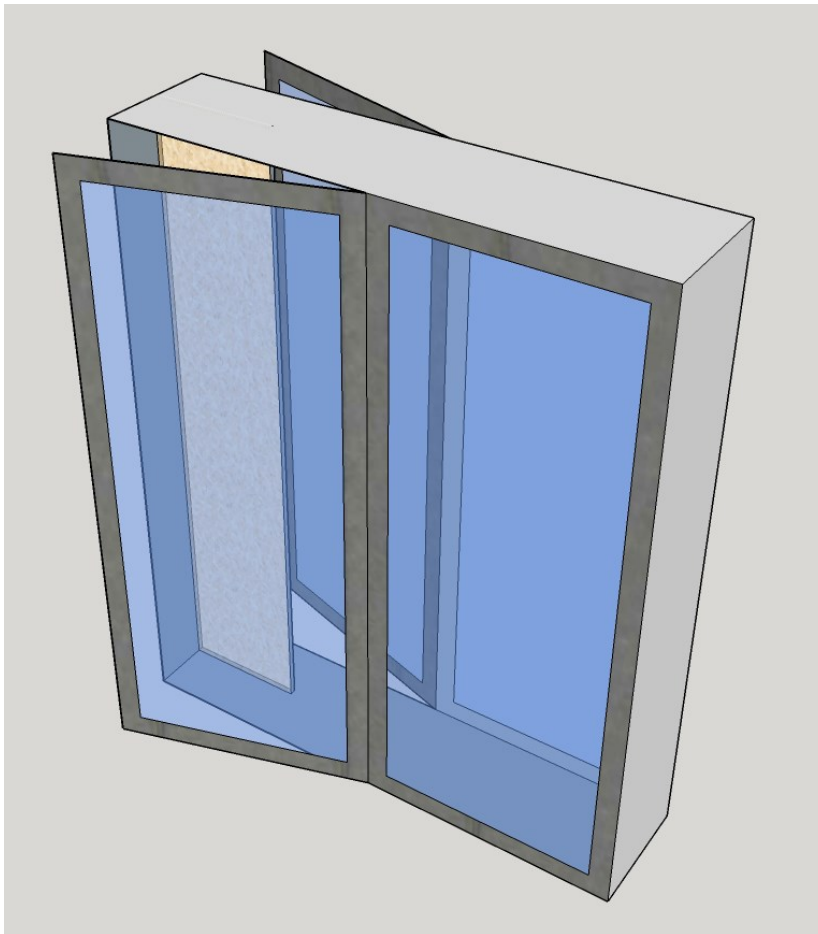


Illustration 8G. Skitse af opbygningen af det sidehængte vindue (se Illustration 8I for snit gennem samme skitse).

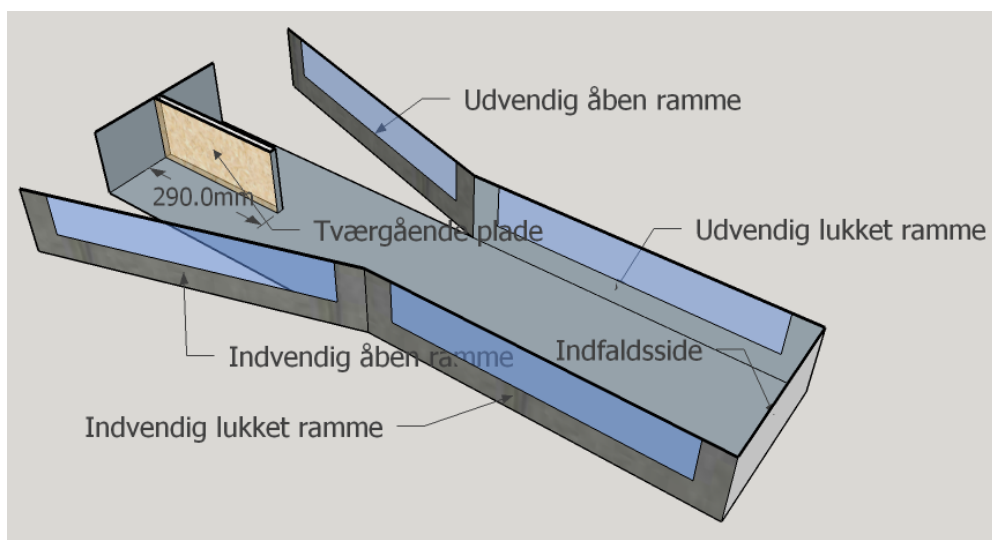


Illustration 8H. Vandret snit igennem skitse, der viser det sidehængte test setup (se Illustration 8H).

8.2 Laboratiemålinger på mockup-løsning

Der er efterfølgende udført en række laboratiemålinger på mockup-løsninger.

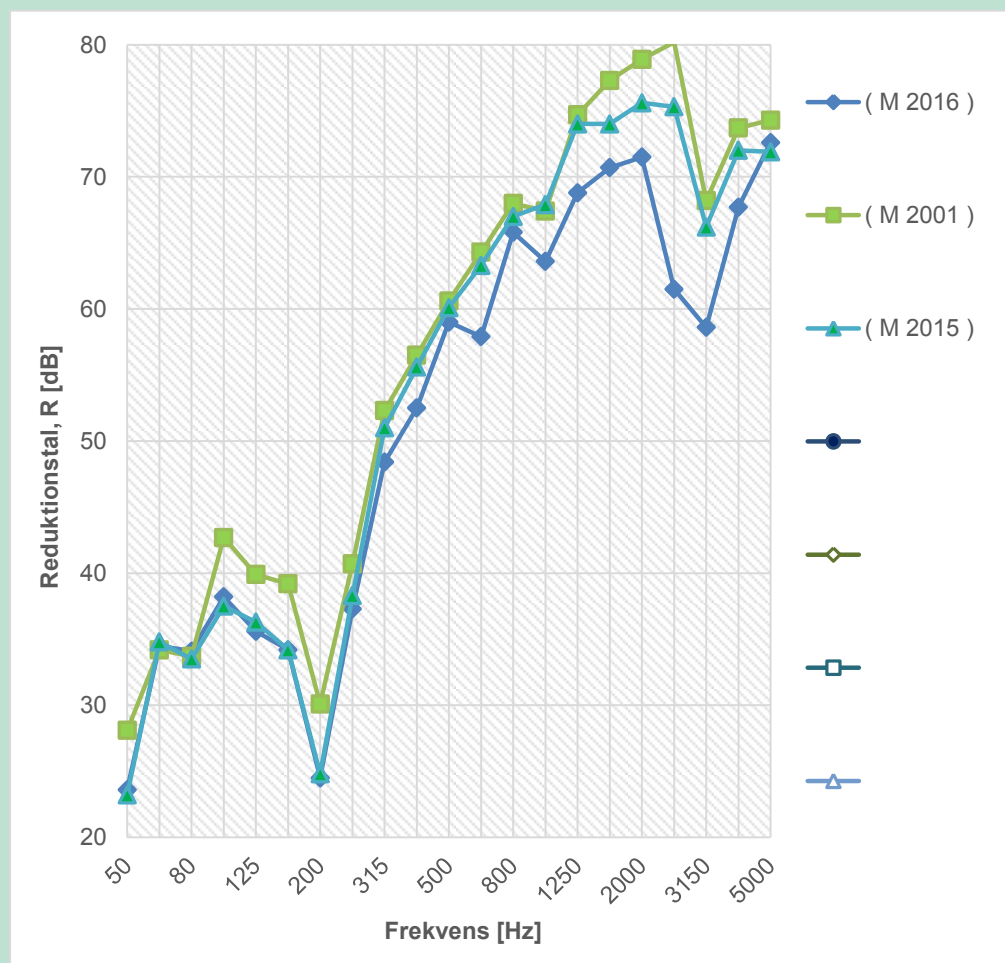
8.2.1 Tofløjet løsning



Illustration 81. Foto af tofløjet løsning under målingerne. Der kan ses absorber på midterpladen og i karmen (både i siden og i bunden), men ikke på den tværgående plade.

Først undersøges lydisolationen af det lukkede dobbeltvindue samt effekten af midterpladen og tilføjelsen af absorber. Det ses af FIGUR 15, at de lukkede konfigurationer generelt følges ad i frekvensområdet 100-1200 Hz. Det ses desuden, at konfigurationerne uden plade monteret ved sprossen følges godt ad ved de laveste frekvenser. For høje frekvenser opnås større dæmpning, hvilket skyldes de 20 mm SUND®, der er monteret i karmen. Den sidste konfiguration, hvor midterpladen er monteret ved sprossen, har en generelt højere lydisolation. Dette kan skyldes, at mængden af absorber er øget med de frie flader ved den nu monterede midterplade og det ændrede hulrum.

FIGUR 15. Lukkede vinduer med forskellig indvendig opsætning – ved absorbent altid anvendt 20 mm.

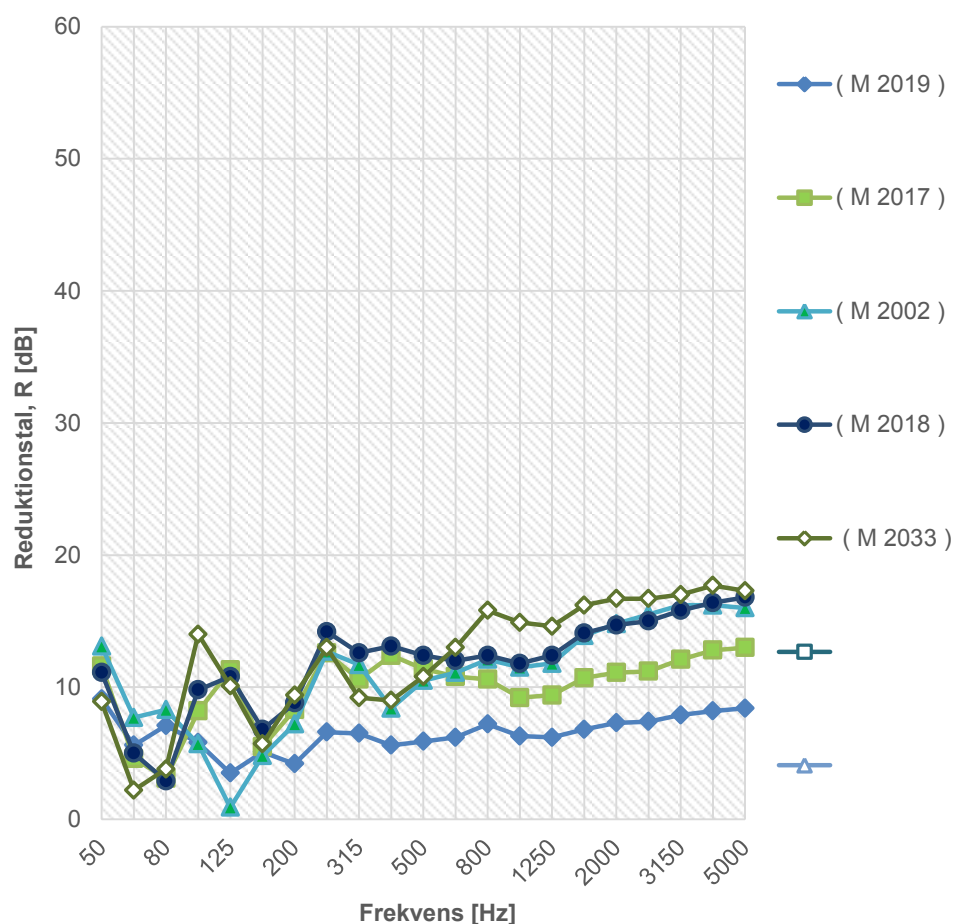


Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2016	52	40	Uden midterplade og uden absorbent
M 2001	56	45	Med midterplade. Absorbent på midterplade, i karmen og i indfaldskarmen
M 2015	52	40	Uden midterplade. Absorbent i karmen og i indfaldskarmen

Med åbne vinduer (åbningsareal $0,35 \text{ m}^2$), se Illustration 81, fremgår det af FIGUR 16, at der er en markant forbedring fra referenceløsningen (et enkelt vindue) til en dobbelt konstruktion for et åbentstående vindue ($0,35 \text{ m}^2$). R_w+C_{tr} øges med 4-7 dB alt efter sammensætningen af dobbeltkonstruktionen og tilføjelse af absorption. Det skal dog bemærkes, at der også er en markant forskel mellem de forskellige dobbeltkonstruktioner i spektret. Forskellen optræder, når der monteres en midterplade ved sprossen. Der fremkommer et dyk omkring 125 Hz med midterpladen monteret. En umiddelbar forklaring på denne forskel er, at dimensionen af hulrummet mellem de to vinduespartier ændres. Bølgelængden for 125 Hz er ca. 2,72 m, hvilket giver en kvart længde på 0,68 m. Denne længde ligger meget tæt på afstanden mellem midterpladen og karmen. Det giver anledning til, at visse frekvenser går gennem vinduet uden meget tab.

I konstruktioner, hvor midterpladen er fjernet, ses det, at det markante dyk forsvinder fra de 125 Hz. Til gengæld opstår et nyt dyk, dog knap så markant, omkring 70 Hz. Bølgelængden for 70 Hz er ca. 4,9 m, hvilket giver en kvart længde på 1,23 m. Denne afstand stemmer godt overens med afstanden mellem de to karme. Det giver igen anledning til, at visse frekvenser kan passere vinduet uden det store tab.

FIGUR 16. Betydningen af midterpladen samt sammenligning mellem referencevindue, tofløjet dobbeltvindue og sidehængt dobbeltvindue. Vinduerne er åbne 0,35 m² og absorberbetykkelsen er 20 mm.



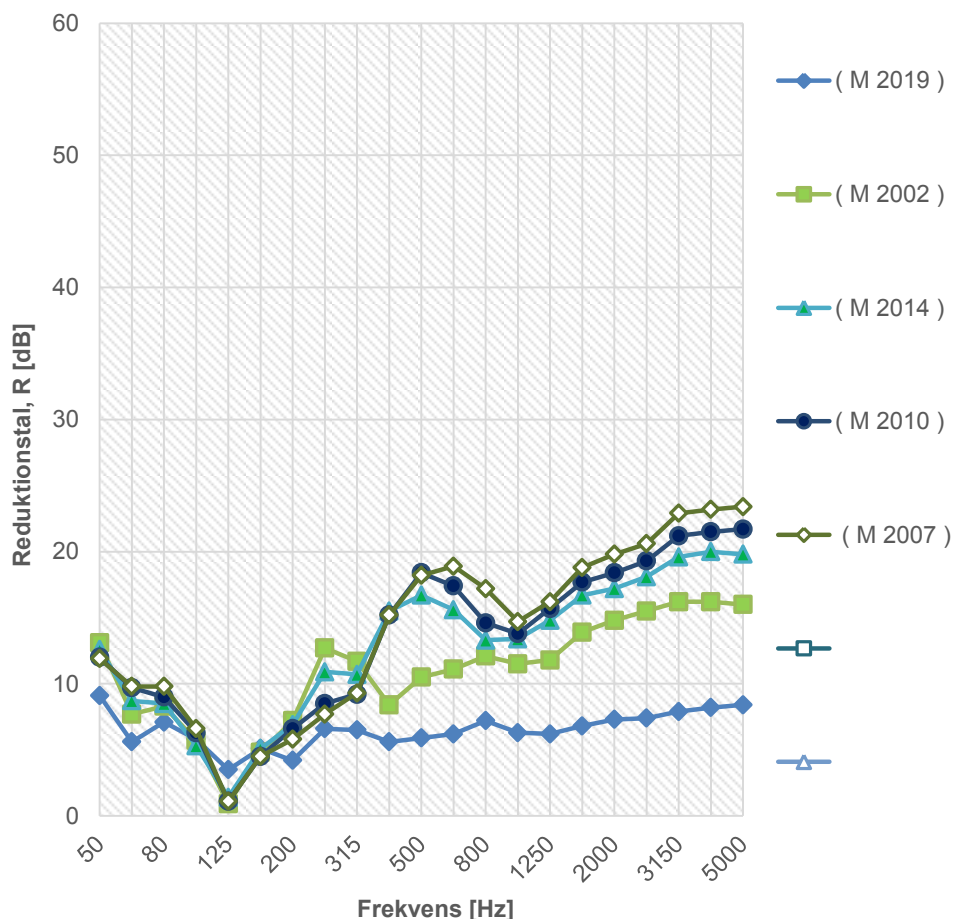
Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2019	7	6	Reference vindue / ikke dobbelt vindue
M 2017	11	10	Tofløjet. Uden midterplade. Uden absorbenter.
M 2002	13	11	Tofløjet. Med midterplade. Absorbent på midterplade, i karm og indfald
M 2018	14	12	Tofløjet. Uden midterplade. Absorbent i karm og indfald
M 2033	14	13	"Sidehængt". Uden midterplade. Absorbent i karm og indfald

Der er i denne del af projektet ikke arbejdet med at fjerne dykket ved de 125 Hz. Dermed vil alle målingerne med sprossen monteret indeholde dykket i mere eller mindre udpræget grad. For den endelige konstruktion med midterplade monteret ved sprosserne kan en perforeret løsning forestilles. Denne løsning skal udnytte hulrummet i den lukkede del af det tofløjede vindue. Perforeringsgraden af pladen skal tilpasses 125 Hz, således at denne frekvens dæmpes ekstraordinært. Denne konstruktion vil højst sandsynligt indebære, at den tværgående plade skal fastmonteres. Ved en perforeret midterplade kan der således ikke anvendes en foldeplade/et rullegardin eller lignende.

FIGUR 17 til FIGUR 19 sammenligner forskellige konstruktioner i hulrummet for det tofløjede vindue. Konstruktionerne omfatter forskellige længder af den tværgående plade fra 20-35 cm regnet fra midterpladen, hvor åbningsarealet er fastholdt til $0,35 \text{ m}^2$ og med forskellige opsætninger af absorbent i hulrummet.

For den tværgående plade med en længde på 35 cm er reglen om 0,35 m² som mindste tværsnitsareal ikke overholdt. For at opnå et tilfredsstillende tværsnitsareal skal det "ydre" åbningsareal ved selve vinduet være minimum 0,64 m². Der er udført målinger med begge konfigurationer både med og uden overholdelse af de 0,35 m² for gennemstrømningsarealet. I FIGUR 17 til FIGUR 19 er det bestemmende åbningsareal defineret som arealet mellem den tværgående plade og karmen. Dermed vil der for pladen på 35 cm være et mindre gennemstrømningsareal jf. ovenfor.

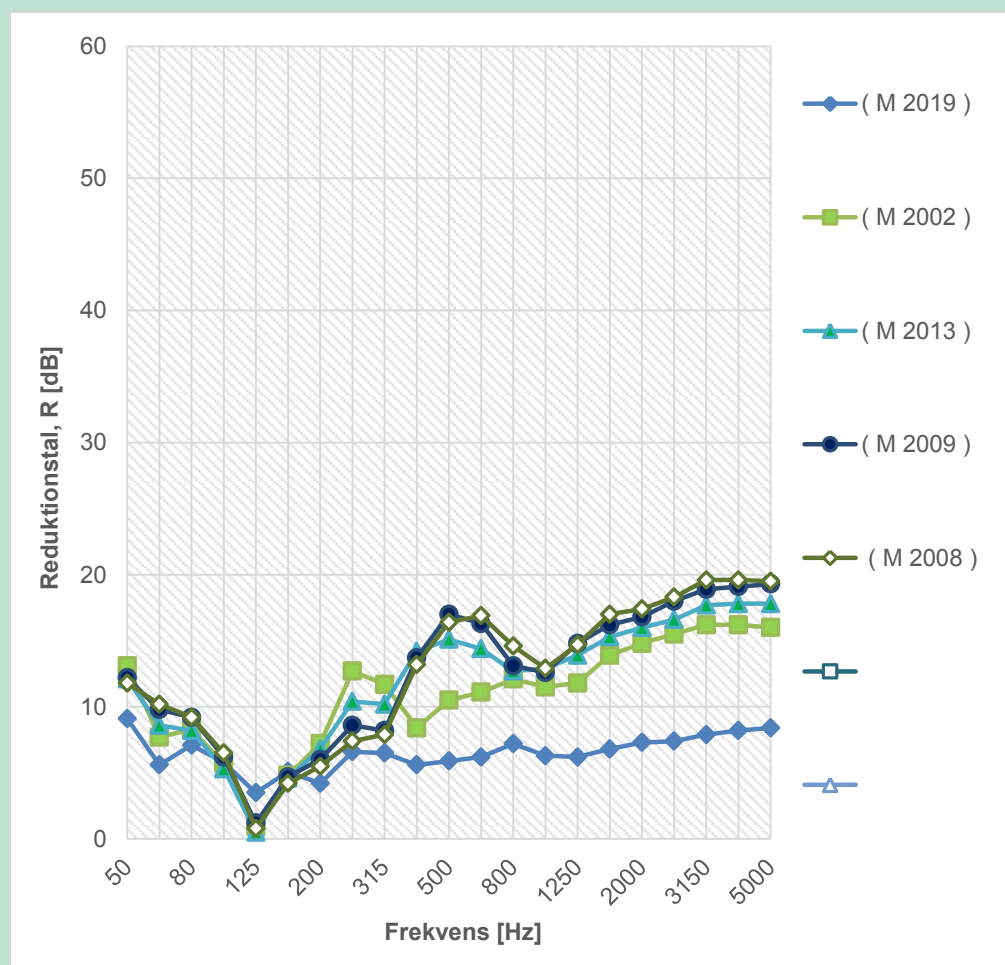
FIGUR 17. Betydningen af tværgående plade med reference til et enkelt vindue. Midterplade er anvendt (bortset fra reference), og der er 20 mm absorbent på midterpladen, på tværgående plade, i karm og i indfald. Åbningsarealet er 0,35 m².



Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2019	7	6	Reference vindue (ikke dobbelt vindue)
M 2002	13	11	Uden plade
M 2014	16	13	Tværgående plade med længde på 20 cm
M 2010	17	13	Tværgående plade med længde på 29 cm
M 2007	17	13	Tværgående plade med længde på 35 cm

I FIGUR 17 og FIGUR 18 vises de forskellige pladelængder hhv. med og uden absorbent på den tværgående plade. Værdien for R_w+C_{tr} er med udgangspunkt i dobbeltkonstruktionen uden tværgående plade (men med midterplade) monteret 11 dB. Variationen af den tværgående plades længde ses i begge tilfælde at have en lille indflydelse på R_w -værdien, men på R_w+C_{tr} er der ikke variation mellem værdierne, uanset om der er målt med en lang eller kort tværgående plade. Værdierne ligger stabilt for alle 2x3 målinger (M 2014, M 2010, M 2007, M2013, M2009 og M2008) med varierende længde af den tværgående plade for. I forhold til udgangspunktet på 11 dB for R_w+C_{tr} er der en beskedne stigning på 1 dB pr. tiltag. Det giver en R_w+C_{tr} på hhv. 12 dB med en rå spånplade monteret og 13 dB med 20 mm SUND® på begge sider af spånpladen.

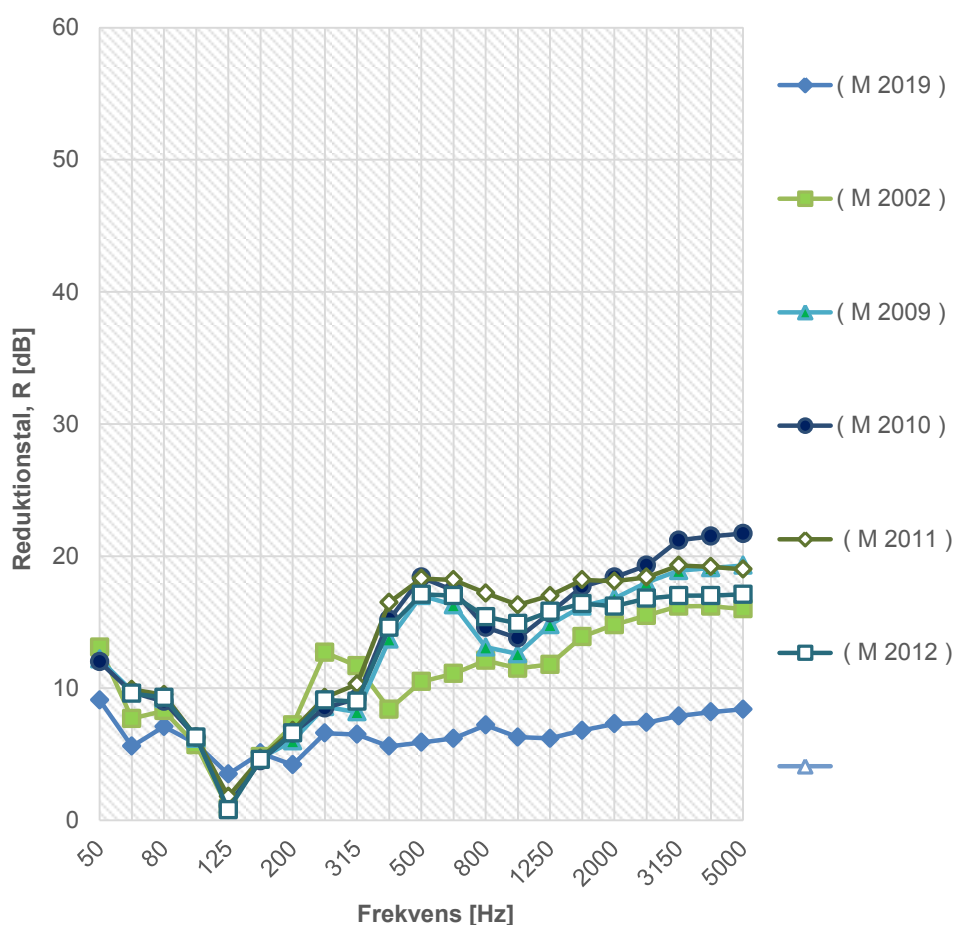
FIGUR 18. Betydningen af tværgående plade med reference til et enkelt vindue. Midterplade er anvendt (bortset fra reference), og der er 20 mm absorbent i karm og i indfald. Abningsarealet er 0,35 m².



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2019	7	6	Reference vindue / ikke dobbelt vindue
M 2002	13	11	Uden plade
M 2013	15	12	Plade med længde på 20 cm
M 2009	15	12	Plade med længde på 29 cm
M 2008	16	12	Plade med længde på 35 cm

I FIGUR 19 fastholdes længden af den tværgående plade, mens absorbenternes placering samt tykkelsen af dem varierer. Den tværgående plade har en fast længde på 29 cm, åbningsarealet er $0,35 \text{ m}^2$, således at gennemstrømningsarealet er minimum $0,35 \text{ m}^2$ gennem hele vinduet. De 29 cm er valgt, da denne længde netop kan overholde de opstillede krav. Der sammenlignes hhv. med og uden absorbent på den tværgående plade samt varierende tykkelse af absorbent ved indfaldskarmen. Som nævnt i ovenstående er det beskedne ændringer i R_w+C_{tr} , der opnås ved at montere en tværgående plade (R_w+C_{tr} er uændret på hhv. 12 og 13 dB uden og med absorbent på pladen). I tilfældet, hvor der monteres en tykkere absorbent på indfaldskarmen, opnås tillige en beskedne stigning, således at R_w+C_{tr} er hhv. 13 og 14 dB uden og med absorbent på den tværgående plade.

FIGUR 19. Betydningen af forskellige absorbentkonfigurationers indflydelse ved en længde på 29 cm for den tværgående plade. Åbningsarealet er $0,35 \text{ m}^2$.

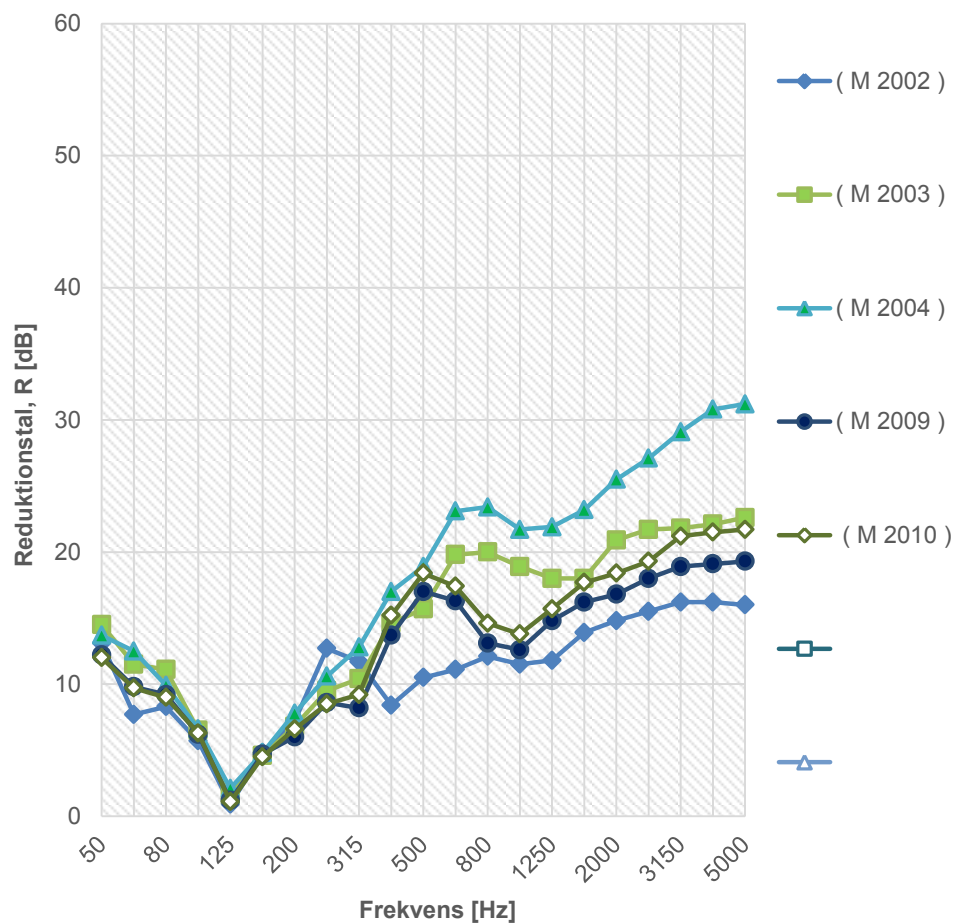


Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2019	7	6	Reference vindue / ikke dobbelt vindue
M 2002	13	11	Uden plade
M 2009	15	12	Uden absorbent på plade og 20 mm absorbent i indfaldskarmen
M 2010	17	13	Med absorbent på plade og 20 mm absorbent i indfaldskarmen
M 2011	17	14	Med absorbent på plade og 40 mm absorbent i indfaldskarmen
M 2012	16	13	Uden absorbent på plade og 40 mm absorbent i indfaldskarmen

I FIGUR 20 er vist lydisolationen for forskellige åbningsarealer samt forskellig længde af den tværgående plade. Der er testet med en tværgående plade på 46 cm, hvilket giver et åbningsareal på $0,20 \text{ m}^2$. Denne måling er sammenlignet med målingen foretaget med en plade på 29 cm, hvilket er den størst tilladelige plade, såfremt gennemstrømningsarealet på $0,35 \text{ m}^2$ skal overholdes. Det ses, at den tværgående plades længde kombineret med et mindre åbningsareal har en effekt, der gør, at enkelttalsværdien for R_w+C_{tr} stiger med 2-3 dB i forhold til den sammenlignende måling, således at den endelige værdi bliver hhv. 14 og 16 dB uden og med absorbent.

At stigningen i lydisolation med absorbent for den tværgående plade på 46 cm er større end for kortere plader kan tilskrives, at det samlede areal, der dækkes med absorbent, er noget større.

FIGUR 20. Sammenligning af måling med 0,20 m² åbning med og uden absorbent og måling med 0,35 m² åbning med og uden absorbent. Til reference er konfigurationen uden tværplade åbent 0,35 m².



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2002	13	11	0,35 m ² . Uden tværgående plade
M 2003	18	14	0,20 m ² . Tværgående plade 46 cm, uden absorbent på pladen
M 2004	21	16	0,20 m ² . Tværgående plade 46 cm, med absorbent på pladen
M 2009	15	12	0,35 m ² . Tværgående plade 29 cm, uden absorbent på pladen
M 2010	17	13	0,35 m ² . Tværgående plade 29 cm, med absorbent på pladen

8.2.2 Tofløjet løsning opsummeret

Forskellige konstruktioner af et tofløjet vindue er undersøgt. Relativt til referencevinduet (et enkelt vindue) ses en markant forbedring for et åbent vindue ved montage af et ekstra vinduesparti, så man opnår en dobbeltkonstruktion med et hulrum mellem de to vinduespartier (forbedring på enkelttalsværdierne på ca. 4 dB for R_w+C_{tr}).

Hulrummet (mellem vinduespartierne) er desuden modificeret med tværgående plader i forskellige længder og med forskellige konfigurationer af absorbenter. Ved overholdelse af gennemstrømningsareal på $0,35 \text{ m}^2$ ses en forbedring på op til 4 dB for R_w+C_{tr} (relativt til dobbeltkonstruktion uden midterplade og absorption). Det viser sig desuden, at variation af længden af den tværgående plade (der overholder gennemstrømningsarealet på $0,35 \text{ m}^2$) ikke medfører nogen ændring i lydisolation på enkelttalsværdierne.

Tilføjelse af absorbent på de tværgående plader giver en forbedring i lydisolation på ca. 1 dB. Der er foretaget beregninger, hvor dykket ved de 125 Hz neutraliseres, således at det følger kurven naturligt. Der ses ingen ændring i enkelttalsværdierne for målingerne, selvom dykket fjernes. Det kan derfor konkluderes, at resultaterne ikke ville have været anderledes, om dykket var ikke eksisterende.

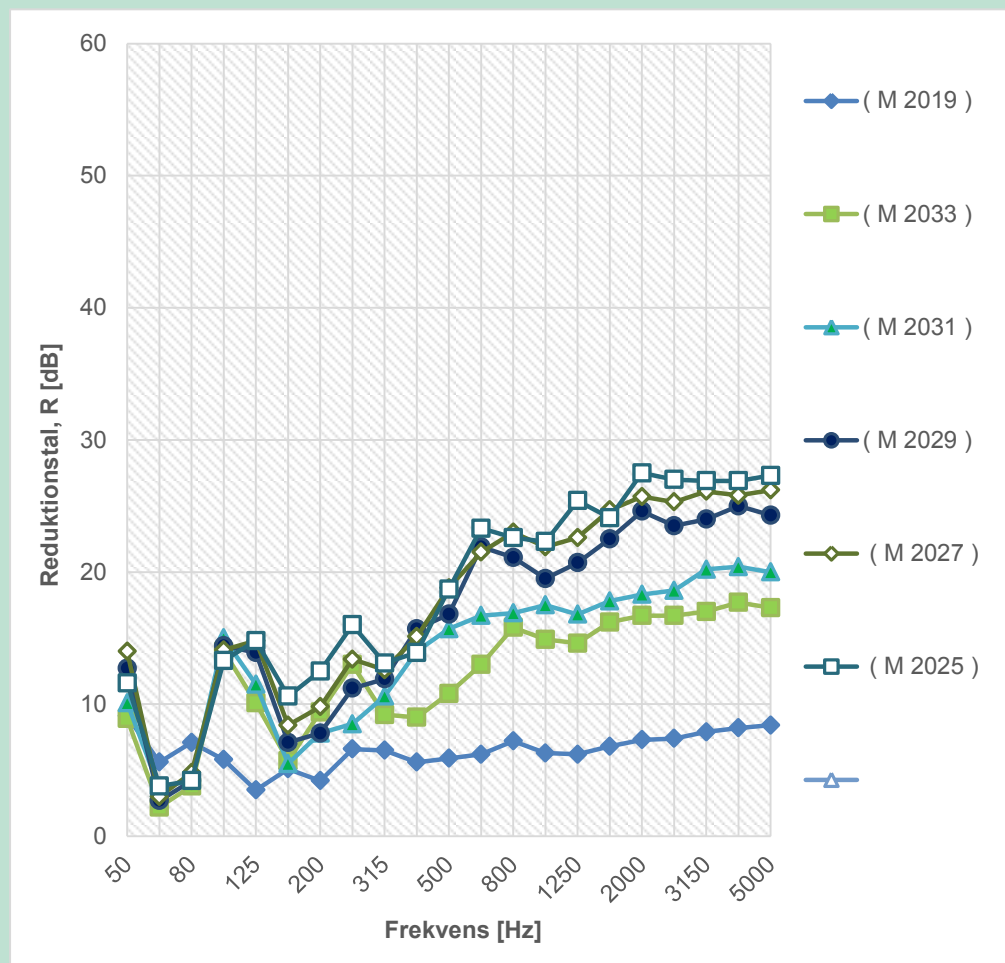
8.2.3 Sidehængt løsning

Tilsvarende er der udført en måleserie på den simulerede sidehængte løsning, se Illustration 8J. FIGUR 21 og FIGUR 22 viser betydningen af varierende længde af den tværgående plade hhv. uden og med 20 mm absorbenter på den tværgående plade. Opsummerende kan det konkluderes, at en længere tværplade giver en højere lydisolation specielt for frekvenser fra 613 Hz og op, men som ved det tofløjede vindue opnås den største forbedring ved skift fra enkeltvindue til dobbeltvindue. Tilføjelsen af tværpladen har dog også en forbedring – op til 2 dB ved løsningen uden absorbent på tværpladen og 3 dB ved løsningen med absorbent på tværpladen (for R_w+C_{tr}) – for længder af den tværgående plade på op til 29 cm. For at opnå et tværsnit på $0,35 \text{ m}^2$ kan længden af den tværgående plade maksimalt være 29 cm. De målinger, der er udført med en plade på 51 cm, resulterer i et gennemstrømningsareal på $0,20 \text{ m}^2$. For pladerne med længderne 60 og 70 cm er gennemstrømningsarealet $0,15 \text{ m}^2$. Lydisolationen (R_w+C_{tr}) stiger 3 og 2 dB med og uden absorbent, når åbningsarealet skæres ned til $0,2 \text{ m}^2$ (51 cm plade). Lydisolationen (R_w+C_{tr}) stiger yderligere 2 dB uden absorbent og 4 dB med absorbent ved at forlænge den tværgående plade fra 51 cm til 70 cm.



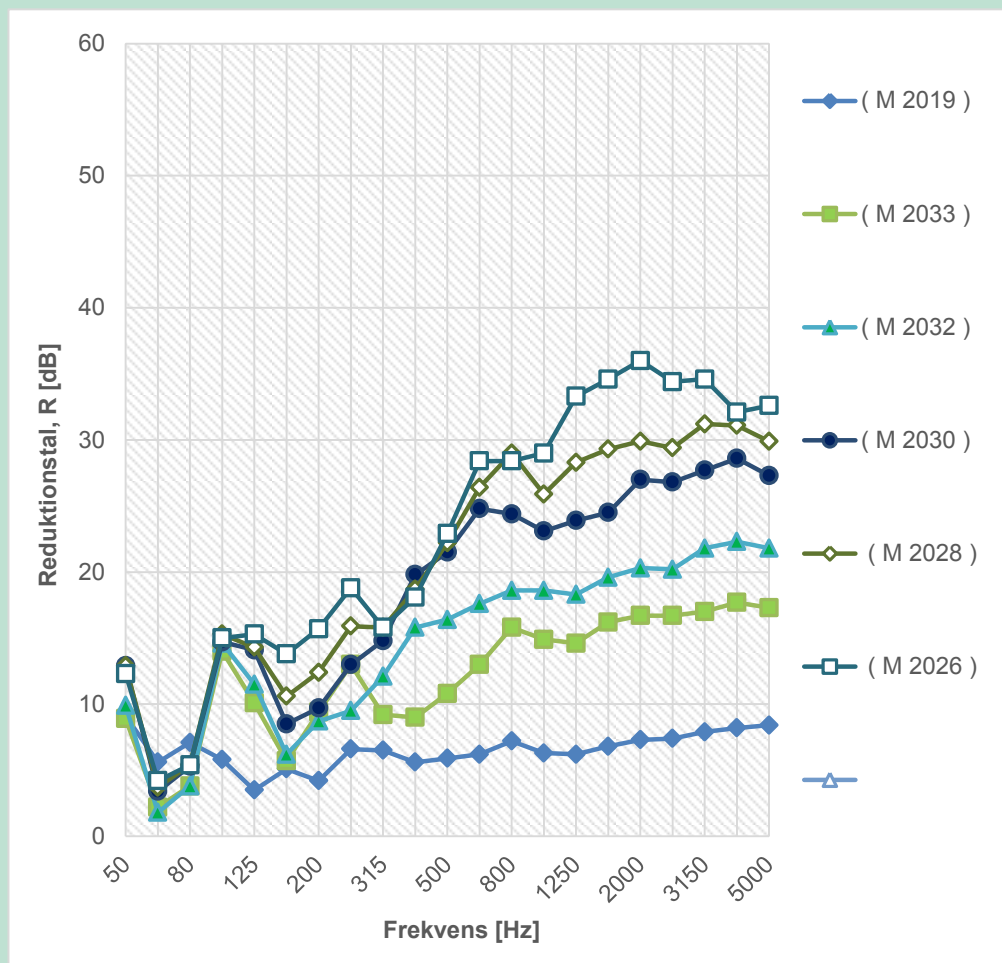
Illustration 8J. Fotos af den simulerede sidehængte løsning uden absorbent på tværpladen.

FIGUR 21. Sammenligning af forskellige længder af den tværgående plade monteret i "sidehængt" konfiguration uden absorbent på den tværgående plade. Åbningsareal er 0,35 m².



Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2019	7	6	Reference vinduet (enkelt vindue) – (opsætning som tofløjet)
M 2033	14	13	Dobbeltvindue, uden tværgående plade
M 2031	17	15	Dobbeltvindue, tværgående plade 29 cm lang
M 2029	20	17	Dobbeltvindue, tværgående plade 51 cm lang (0,2 m ²)
M 2027	22	18	Dobbeltvindue, tværgående plade 60 cm lang (0,15 m ²)
M 2025	23	19	Dobbeltvindue, tværgående plade 70 cm lang (0,15 m ²)

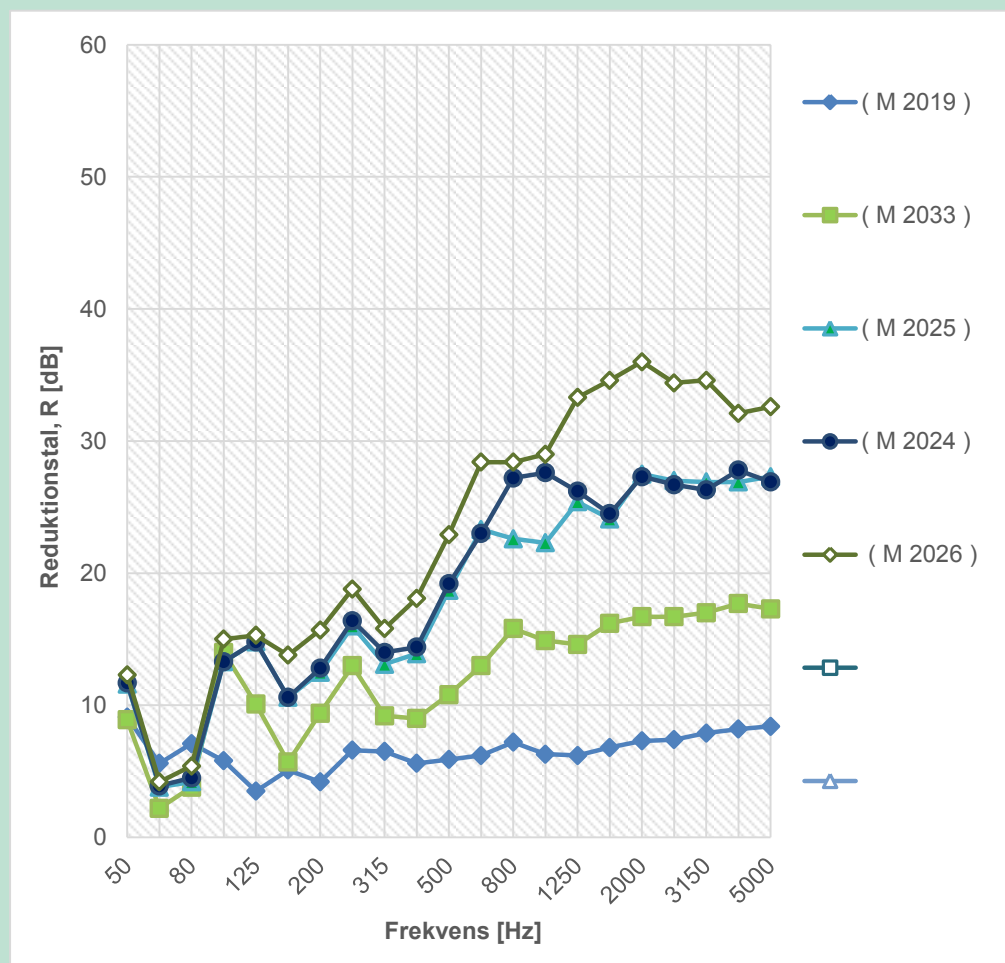
FIGUR 22. Sammenligning af forskellige længder af den tværgående plade monteret i "sidehængt" konfiguration med 20 mm absorbent på den tværgående plade. Åbningsareal er 0,35 m².



Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2019	7	6	Reference vinduet (enkelt vindue) – (opsætning som tofløjet)
M 2033	14	13	Dobbeltvindue, uden tværgående plade
M 2032	18	16	Dobbeltvindue, tværgående plade 29 cm lang
M 2030	23	19	Dobbeltvindue, tværgående plade 51 cm lang (0,2 m ²)
M 2028	25	21	Dobbeltvindue, tværgående plade 60 cm lang (0,15 m ²)
M 2026	27	23	Dobbeltvindue, tværgående plade 70 cm lang (0,15 m ²)

Supplerende er betydningen af absorbentens placering undersøgt ved en længde på den tværgående plade på 70 cm (hvilket giver en hulbredde på 53 cm). Resultaterne er vist i FIGUR 23. Det kan ses, at tykkelsen af indfaldsabsorbenten (absorbent anvendt i siden af karmen – modsat den tværgående plade, se Illustration 8H)) har en betydning i frekvensområdet 800-1000 Hz, hvor en fordobling af tykkelsen af absorbenten har en tydelig forbedring af lydisolationen. Tilføjelsen af absorbent på hele tværpladen har en meget tydelig forbedring af lydisolationen i hele frekvensområdet fra 100-5000 Hz. Med en tværgående plade med en længde på 70 cm er det forøgede areal af absorbenten også i størrelsesordenen 2 m².

FIGUR 23. Sammenligning af forskellige konfigurationer af absorbenter, alle med 70 cm tværplade (bortset fra referencemålingen). Åbningsareal er 0,35 m².



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2019	7	6	Reference vinduet (enkelt vindue) – (opsætning som tofløjet)
M 2033	14	13	Dobbeltvindue, uden tværgående plade
M 2025	23	19	70 cm plade uden absorbent. 20 mm indfaldsabsorbent
M 2024	23	20	70 cm plade uden absorbent. 40 mm indfaldsabsorbent
M 2026	27	23	70 cm plade med absorbent. 20 mm indfaldsabsorbent

8.2.4 Sidehængt løsning opsummeret

Der er undersøgt forskellige konstruktioner af et sidehængt vindue. Relativt til referencevinduet ses en markant forbedring ved montage af et ekstra vinduesparti, så man opnår en dobbeltkonstruktion med et hulrum mellem de to vinduespartier (forbedring på enkelttalsværdierne på ca. 4 dB for R_w+C_{tr}). Hulrummet (mellem vinduespartierne) er desuden modificeret med tværgående plader i forskellige længder og med forskellige konfigurationer af absorbenter. Ved overholdelse af gennemstrømningsareal på 0,35 m² ses en forbedring på op til 3 dB for R_w+C_{tr} (relativt til dobbeltkonstruktion uden midterplade og absorption). Modsat det tofløjede vindue ses en tydelig lydisolationsmæssig forbedring ved forlængelse af den tværgående plade (der overholder gennemstrømningsarealet på 0,35 m²).

Større forbedring kan opnås ved yderligere forlængelse af den tværgående plade (gennemstrømningsareal på 0,20 m²/0,15 m²). Tilføjelse af absorbent på de tværgående plader giver en forbedring i lydisolation på ca. 2-4 dB (for R_w+C_{tr}).

8.3 Udvikling af prototype

På baggrund af målingerne på mockup-løsningerne blev det valgt at fortsætte med den tofløjede løsning. For prototypen erstattes tværpladen af et glaspanel, der kan skydes frem og tilbage, dvs. både giver mulighed for at skyde panelet helt til siden for at kunne skabe en stor luftgennemstrømning og også kunne skyde panelet helt for. Tegninger er vist i Illustration 8K og Illustration 8L. Afstanden mellem ruderne er dog anderledes end vist, således at det flytbare glaspanel sidder midt mellem de to ruder, se fotos i Illustration 8A, 8M og 8N. Der er tale om en aluminiumskonstruktion. Vinduet er af praktiske årsager til målingerne på prototypen monteret i en dobbelt gipspladevæg (i modsætning til mockup-løsningerne, der var monteret i en dobbelt betonvæg), da det giver mulighed for at arbejde med en dybere karmabsorbent, se kapitel 7. Afstanden mellem ruderne er den samme som ved den tofløjede mockup-løsning.

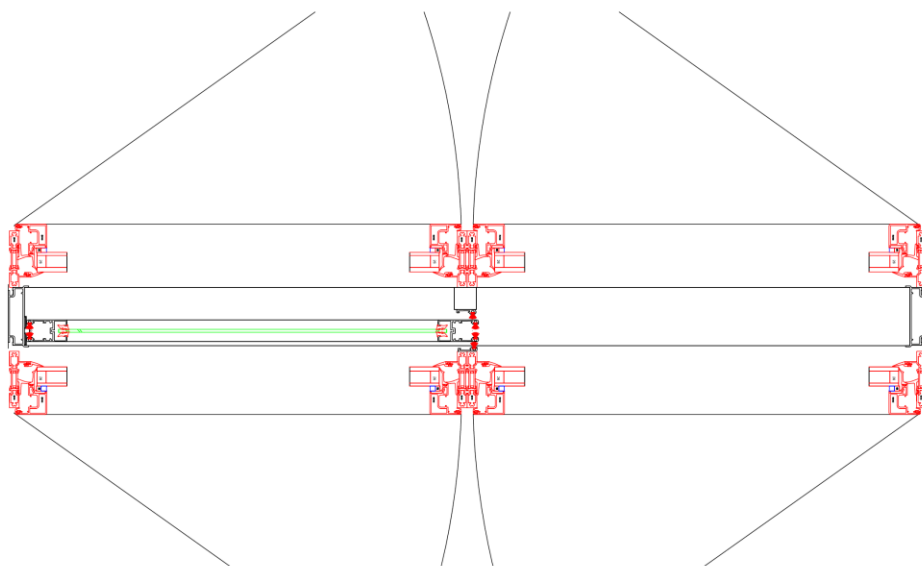


Illustration 8K. Vandret snit af prototypeløsningen.

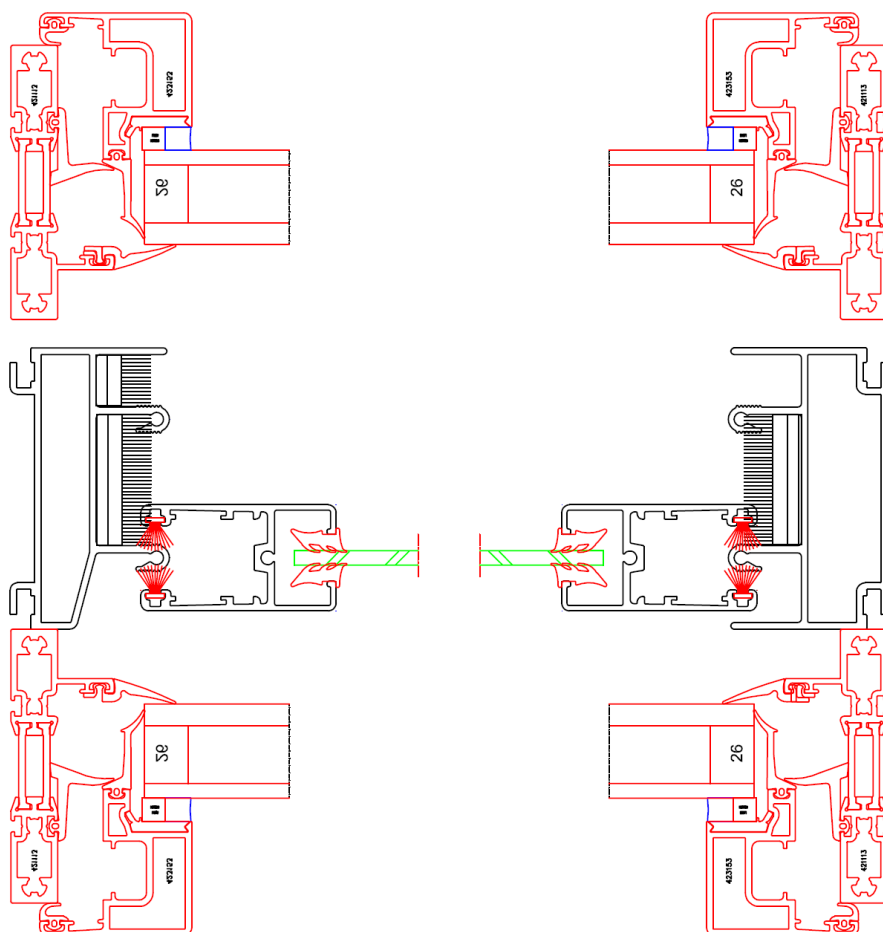


Illustration 8L. Lodret snit af prototypeløsningen.

8.4 Laboratoriemålinger på prototype

Der er efterfølgende udført en række målinger på prototypemodellen, som er vist i det følgende.



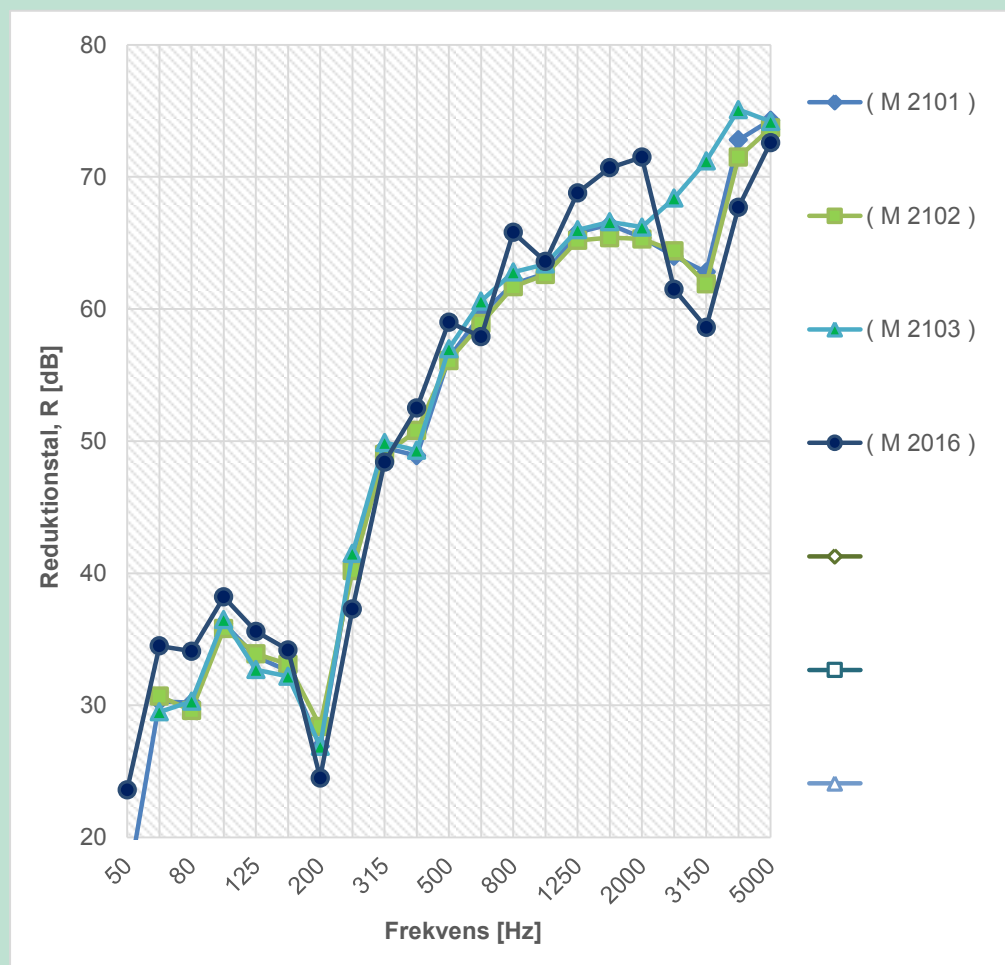
Illustration 8M. Fotos af anvendt karmabsorbent. Venstre side: 20 mm SUND®. Højre side: Perforeret gipsplade foran mineraluld i hulmuren.



Illustration 8N. Fotos af anvendt karmabsorbent. Venstre side: Ingen absorbent (ubrudt gipsplade). Højre side: Åbent ind til anvendt mineraluld i den dobbelte gipspladevæg.

I FIGUR 24 er vist lydisolationen for prototypeløsningen i lukket tilstand (de ydre vinduer i dobbeltkonstruktionen) med det indvendige skydevindue i forskellige positioner samt med og uden karmabsorbent (bemærk, at der ikke er korrigeret for eventuel indflydelse af flanke-transmission), desuden sammenlignet med tilsvarende opbygget mockup-konstruktion. Overordnet er der ikke den store forskel på resultaterne bortset fra frekvensområdet over 1200 Hz – både kurverne og enkelttalsværdierne er sammenlignelige.

FIGUR 24. Betydningen af forskellige positioner af det indvendige skydevindue for lukkede vinduer både med og uden karmabsorbent. Desuden sammenlignet med måling foretaget på tilsvarende mockup-konstruktion uden absorbent og midterplade.

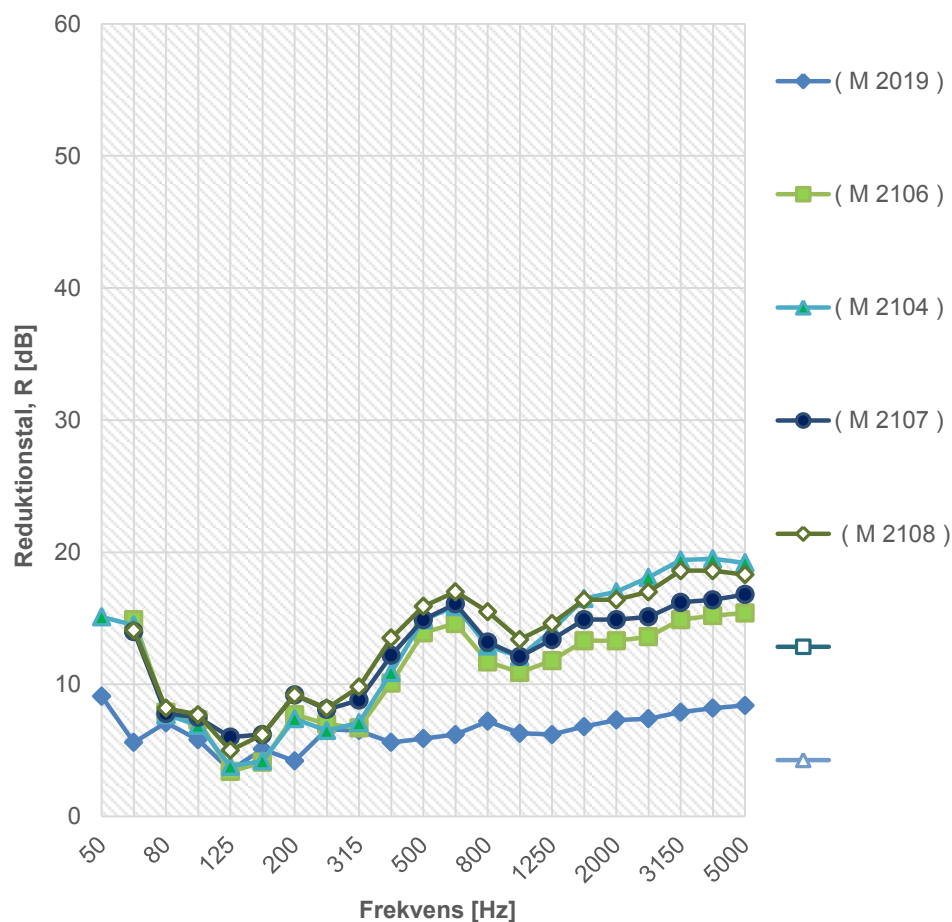


Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2101	52	41	Ingen karmabsorbent. Skydevindue placeret 29 cm fra midten
M 2102	53	43	Ingen karmabsorbent. Skydevindue placeret 53 cm fra midten
M 2103	52	41	20 mm karmabsorbent. Skydevindue placeret 29 cm fra midten
M 2016	52	40	Tofløjet mockup. Ingen midterplade. Ingen absorbent.

I FIGUR 25 er vist lydisolationen for prototypeløsningen i åben tilstand med det indvendige skydevindue sat, så 0,35 m² åbningsareal og gennemstrømningsareal netop er opfyldt og med forskellige varianter af karmabsorbenter.

Sammenlignet med et enkelt vindue er den lydisolationsmæssige forbedring for lave frekvenser under 300 Hz begrænset, hvorimod der er tydeligere forbedring over 300 Hz. For enkelttalsværdierne er forbedringen 6-9 for R_w og 5-7 dB for R_w+C_{tr} . Sammenlignet med målingen uden karmabsorbent (M 2106) er forbedringen i lydisolation begrænset (Op til 3 dB for R_w og op til 2 dB for R_w+C_{tr}), hvor den bedste effekt opnås, når der er åbent til hultursisoleringen.

FIGUR 25. Sammenligning af forskellige varianter af karmabsorbent ved åbent vindue med skydevinduet sat, så 0,35 m² åbningsareal og gennemstrømningsareal netop er opfyldt.

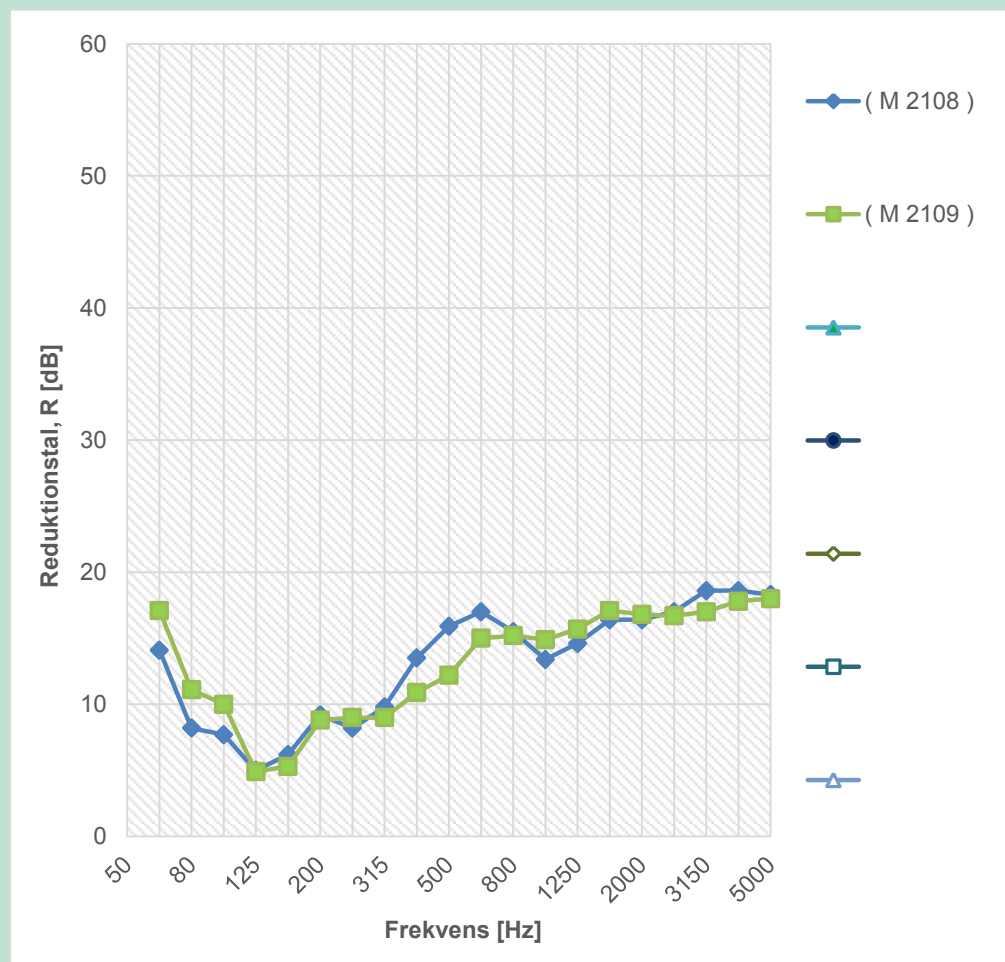


Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2019	7	6	Reference vinduet (enkelt vindue) – (opsætning som tofløjet)
M 2106	13	11	Uden karmabsorbent
M 2104	15	12	Med 20 mm karmabsorbent
M 2107	14	12	Perforeret plade (mineraluld bagved) i indfaldskarmen
M 2108	16	13	Helt åben indtil bagvedliggende mineraluld i indfaldskarmen

For mockup-løsningen af samme opbygning (se afsnit 0) viste det sig, at variation af længden af den tværgående plade (der overholder gennemstrømningsarealet på $0,35 \text{ m}^2$) ikke medførte nogen synderlig ændring i lydisolationen på enkelttalsværdierne.

Variation af skydevinduet er vist i FIGUR 26, hvor der ikke ses nogen særlig ændring i lydisolation på enkelttalsværdierne.

FIGUR 26. Sammenligning af forskellige positioner af skydevinduet, hvor der er åbent til isoleringen i den dobbelte gipspladevæg.



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 2108	16	13	Skydevindue placeret 29 cm fra midten
M 2109	15	13	Skydevindue placeret i 46 cm fra midten

8.5 Opsamling

I kapitlet er beskrevet et "almindeligt" vindue med en indvendig løsning, hvor hovedformålet er at forbedre et standardvindues lydisolation uden at tilføje noget til vinduet udenpå.

Konstruktionsprincippet fokuserer på oplukkelige vinduer med en moderat lydisolation i åben tilstand, dvs. et vindue der kan anvendes i de områder, hvor støjbelastningen er omkring 5 dB over grænseværdien. Som reference er derfor benyttet et enkelt tofløjet vindue som vist i Illustration 8B. Der er først arbejdet med mockup-løsninger i to forskellige varianter; et tofløjet og et sidehængt vindue, og efterfølgende er der konstrueret en prototypevariant af den tofløjede løsning. Sammenlignet med et enkelt tofløjet vindue ses en god forbedring – i både lukket og åben tilstand – ved tilføjelse af et indvendigt tofløjet vindue, så der samlet set opnås en dobbeltkonstruktion, hvor forbedringen i åben tilstand er i størrelsesordenen 5-7 dB for R_w+C_{tr} . Tilføjelsen af en tværgående plade inden i dobbeltvinduet har også en betydning (1 dB for R_w+C_{tr}).

Variation af længden af pladen ser ikke ud til at have en lydisolationsmæssig effekt for det tofløjede vindue. For den sidehængte løsning har tilføjelsen af en tværgående plade en lydisolationsmæssig forbedrende effekt på op til 2 dB for R_w+C_{tr} . Tilføjelsen af absorberende materiale på den tværgående plade har en forbedrende effekt på ca. 1 dB for den tofløjede løsning og ca. 1 dB for R_w+C_{tr} for den sidehængte løsning. Tilføjelse af karmabsorbenter har også en forbedrende effekt alt efter konstruktion/placering.

Målet med konstruktionen var at øge lydisolationen ca. 5 dB sammenlignet med et almindeligt åbent vindue. For løsningen er der opnået en R_w på 15 dB og en R_w+C_{tr} på 12 dB, hvilket er en samlet forbedring for R_w på 8 dB og for R_w+C_{tr} på 5 dB i forhold til et almindeligt åbent vindue.

9. Vinduestype 3: "Almindeligt vindue" med udvendig løsning"



Illustration 9A. Foto af prototype af "Almindeligt vindue" med udvendig løsning.

I dette kapitel beskrives et "almindeligt" vindue med en påsat udvendig løsning. Tanken er at arbejde med en løsning, der både ville kunne bruges i situationer hvor man ønsker en højere lydisolation ved at påsætte en konstruktion til sit eksisterende vindue (fx ved renovering), men også for ved nybyggeri at give muligheden for at fastholde "sædvanlige" vinduesdimensioner. Vigtige parametre er som tidligere:

- Udsyn
- Opnåelig lydisolation
- Variationsmuligheder

9.1 Udvikling af løsningsprincip

Inspirationen til løsningsprincip stammer dels fra litteratursøgningen (se afsnit 6.2.2) og dels fra DELTA's eksisterende erfaringer. For at afprøve ideerne arbejdes i første omgang med mockup modeller. På baggrund af en brainstorm blev det valgt at arbejde med tre mockup modeller – alle bygget op af krydsfiner:

- A. En løsning der dækker vinduet og med to åbninger
- B. En løsning der dækker vinduet og med én åbning
- C. En løsning der sidder ved siden af vinduet og med én åbning

9.2 Laboratoriemålinger på mockup-løsning

Alle mockup-modellerne blev monteret udenpå et "almindeligt vindue", efterfølgende benævnt som referencevindue. Som i forrige kapitel bygger "almindeligt vindue" på et tofløjet vindue (HSHansen a/s) i standardformatet (bredde x højde) 1230 mm x 1480 mm. Af praktiske årsager blev vinduet monteret i en dobbelt gipspladevæg. Afhængigt af mockup-modellen blev der anvendt to forskellige referencevinduer (et "almindeligt vindue"):

- Et tofløjet indadgående vindue hængslet i sidekarmen (se venstre side i Illustration 9B)
- Et tofløjet udadgående vindue hængslet i lodposten (se højre side i Illustration 9B)

Af absorbenter anvendes SUND®. Absorbenter medregnes i åbningsarealet, da det forudsættes, at luften kan passere gennem disse.



Illustration 9B. Fotos af de anvendte "almindelige vinduer". Venstre foto viser et tofløjet indadgående vindue, der er hængslet i siden. Højre foto viser et tofløjet udadgående vindue, der er hængslet i lodposten.

Se i øvrigt Bilag 2 for generelle detaljer om laboratoriemålingerne.

9.2.1 Mockup-løsning A

Mockup-løsning A er i princippet en åben krydsfinerkasse, der er åben i begge ender, så det kombinerede åbningsareal for begge ender opfylder $0,35 \text{ m}^2$. Konstruktionen er overordnet den samme som ved Folehaven [16] [17], men med ændret geometri og med mulighed for at undersøge betydningen af placeringen af ekstra absorbenter.

Mockup-løsningen er her opbygget som en fast krydsfinerkasse af praktiske årsager, men en eventuel færdigudviklet model er tænkt opbygget delvist (eller helt) af glas, så – som minimum – delen, der dækker referencevinduet, er gennemsigtigt og sikrer udsyn. Princippet er vist i Illustration 9C. Derudover kan den færdige model fx opbygges som i Folehaven, så hele den udvendige konstruktion kan skydes til side, eller den kan deles i midten og derved skydes til hver side. Alternativt kan det hele bygges som en fast konstruktion.

Hvis der arbejdes videre med løsningen, er det DELTA's anbefaling, at vinduet kan åbnes mere end $0,35 \text{ m}^2$.

Referencen for mockup-løsning A er et indadgående tofløjet vindue i standardformat med den ene fløj åbnet $0,35 \text{ m}^2$ (vinduesfløjene åbner mod midten), se Illustration 9B.

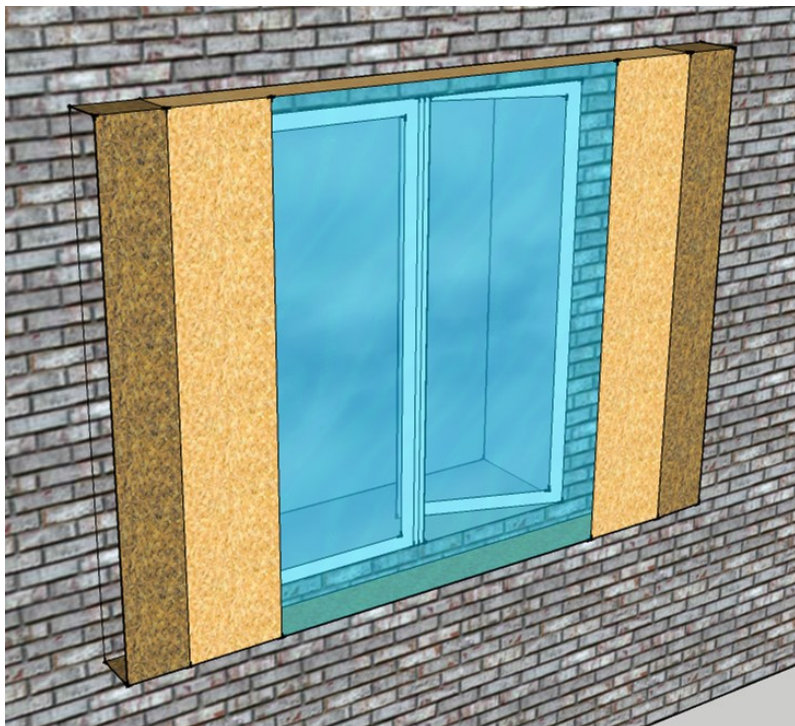


Illustration 9C. Principskitse af mockup-løsning A. Både den blå flade og fladerne markeret med krydsfiner i to nuancer er opbygget af den samme type krydsfiner under målingerne. Den blå flade markerer her den del, der i en eventuel prototype er tænkt gennemsigtig (glas) og dækkes derfor under målingerne ikke af absorberende materiale. Både den lyse og mørke del af krydsfineren (samt væggen parallelt med) kan dækkes af absorberende materiale. Den lyse del markerer default-konstruktionen, og den mørke del markerer den forlængelse, der også blev undersøgt.

Den faktiske mockup-løsning er vist i Illustration 9D, hvor konstruktionen både kan ses ude- og indefra samt med og uden tilsat absorption og med de to længder af løsningen, der blev undersøgt. Dimensionerne på default mockup-løsningen er (bredde x højde x dybde) ca. $1850 \text{ mm} \times 1640 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$. Den forlængede mockup-løsning er forlænget 20 cm i begge ender, dvs. den samlede dimension er $2250 \text{ mm} \times 1640 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$.

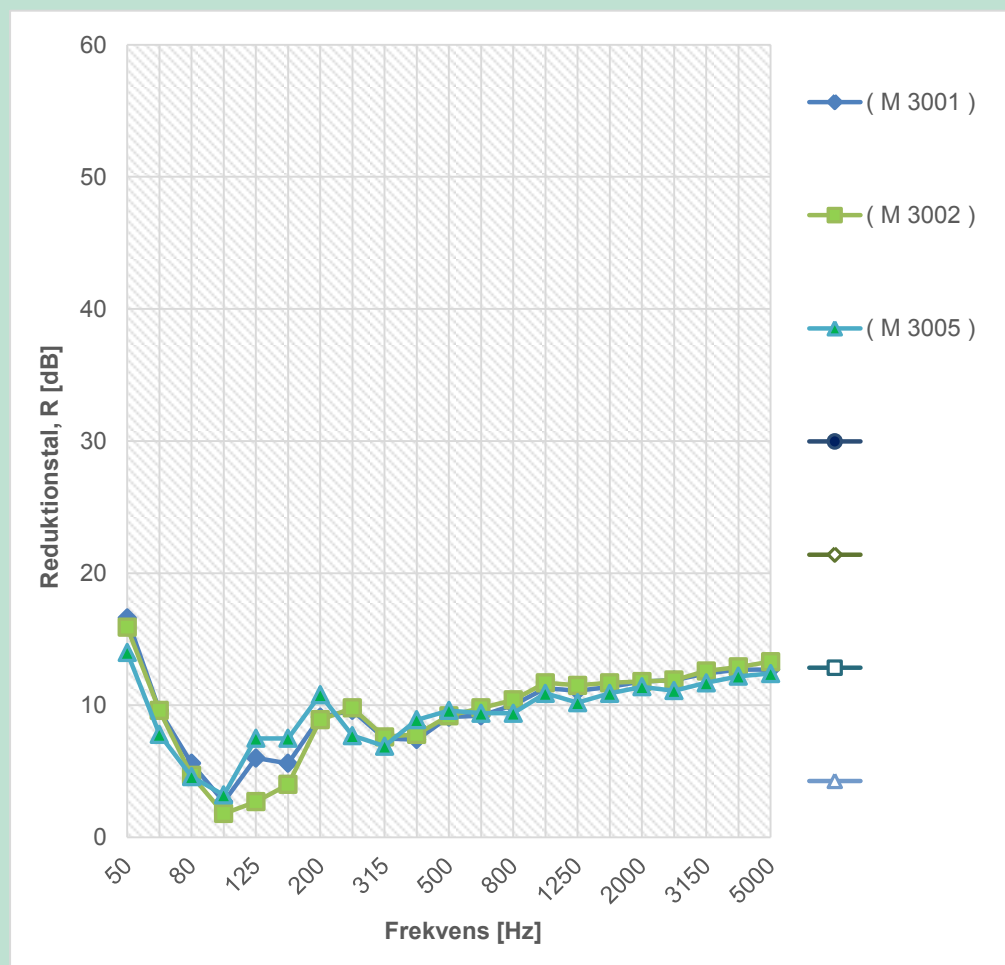
Herefter er der udført en række målinger, hvor udvalgte sammenligninger af lydreduktionen i 1/3-oktavbånd er vist i kurveform sammen med enkelttalsværdierne R_w og R_w+C_{tr} . De enkelte 1/3-oktavbåndsværdier samt alle relevante enkelttalsværdier kan findes i Bilag 3.



Illustration 9D. Fotos af den aktuelle implementering af mockup-løsning A. Venstre foto viser den forlængede version af mockup-løsning A set udefra uden fibergips. Det midterste foto er taget ind i den ene ende og viser konstruktionen uden tilsat absorptionsmateriale. Det højre foto er også taget ind i den ene ende af konstruktionen og viser, at der er tilføjet 20 mm absorption i siderne og 40 mm i top og bund.

Mockup-løsningen er opbygget fuldstændig symmetrisk, og det burde derfor være uden betydning, hvilket af de to vinduer i det tofløjede referencevindue, der åbnes. Dog udføres alligevel sammenlignende målinger samt en måling, hvor begge fløje åbnes, så det samlede åbningsareal for alle målingerne fastholdes på $0,35 \text{ m}^2$. Resultaterne kan ses i FIGUR 27, hvor det kan ses, at kurverne er næsten identiske. Den største forskel ses som ventet ved den måling, hvor begge fløjene er åbnet. Enkelttalsværdierne viser samme resultat for alle tre målinger.

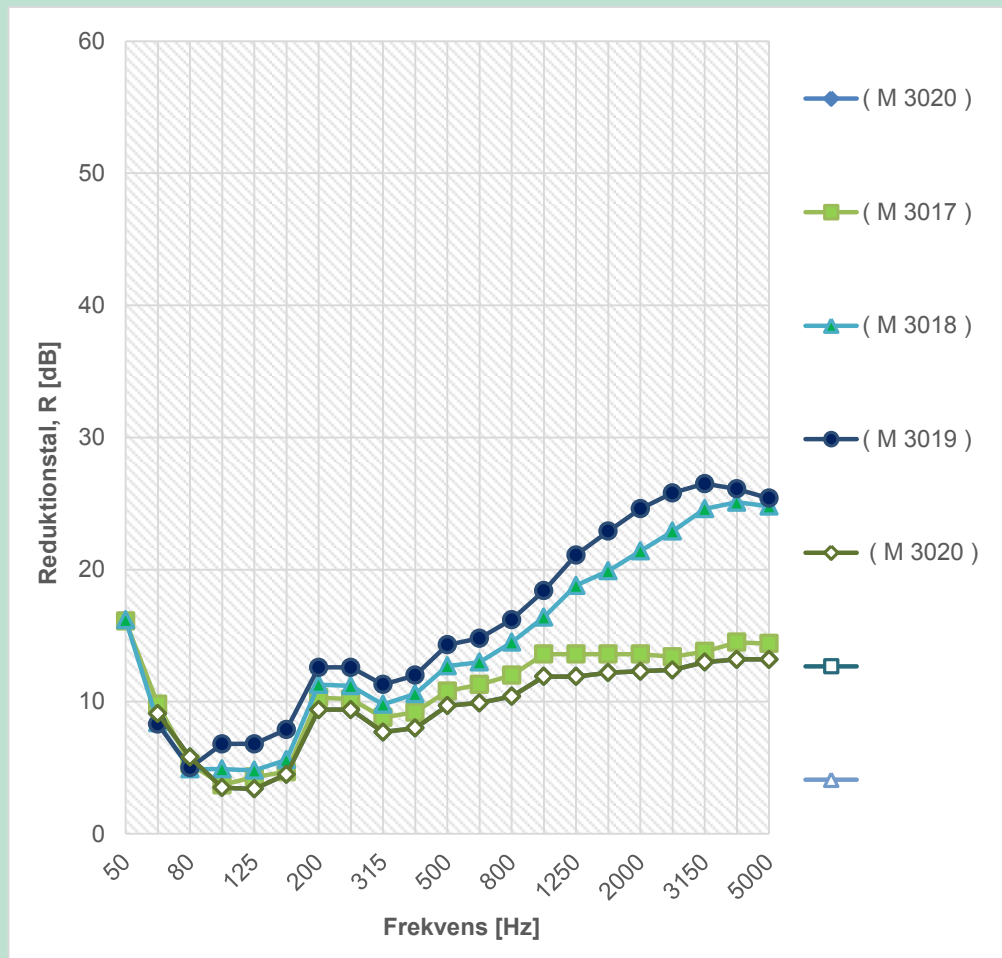
FIGUR 27. Mockup-løsning A – ikke forlænget. Undersøgelse af betydning af hvilket vindue der åbnes (samlet åbningsareal altid 0,35 m² – absorption ikke tilføjet).



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 3001	11	10	Højre vindue åbent
M 3002	11	10	Venstre vindue åbent
M 3005	11	10	Begge vinduer åbne

Efterfølgende undersøges betydningen af tilføjelse af absorption, hvilket kan ses i FIGUR 28. Som ventet kan det ses, at lydisolationen stiger, jo mere absorption der tilføjes, specielt for de højeste frekvenser. Ved de lave frekvenser ses dog først en nævneværdig effekt ved tilføjelse af den 40 mm tykke absorbent på siderne. På enkeltalsværdierne ses en forbedring på 5-8 dB (fra 11 til 19 dB for R_w og 10 til 15 dB for R_w+C_{tr}).

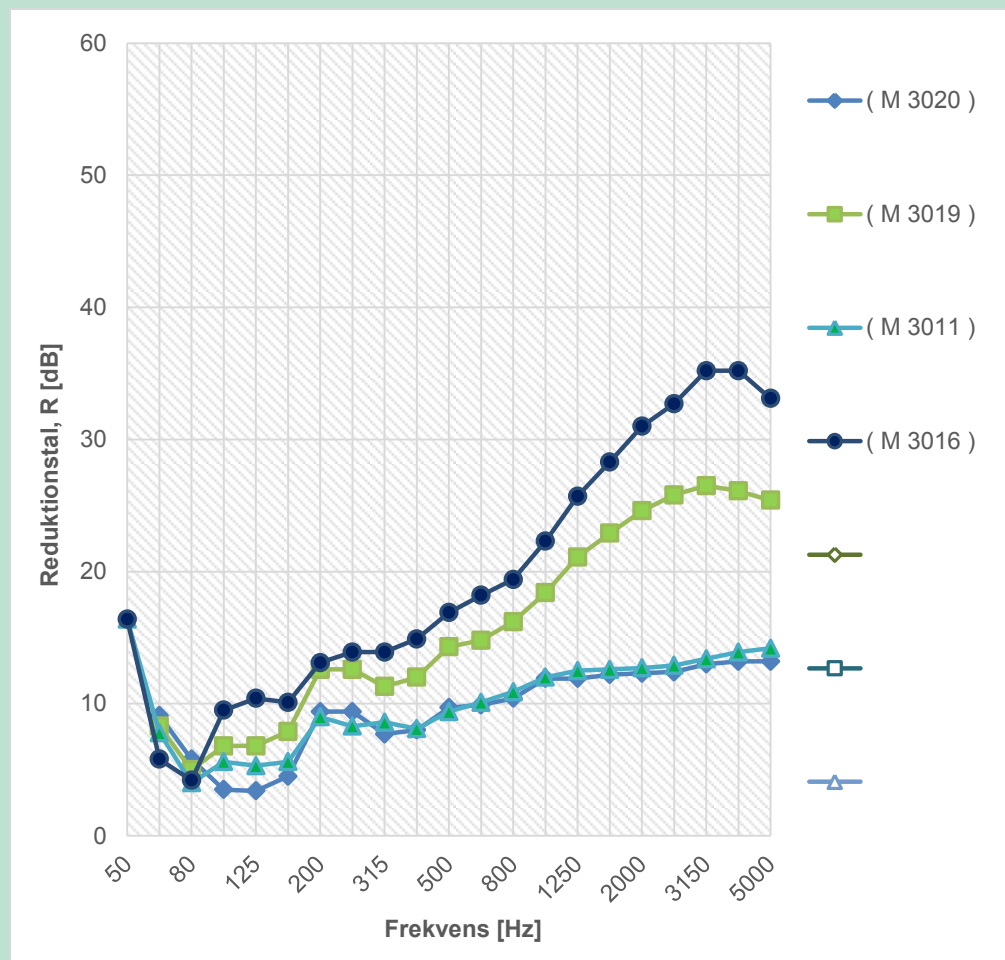
FIGUR 28. Mockup-løsning A – ikke forlænget. Betydning af tilføjelse af absorption.



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 3020	11	10	Uden absorbenter
M 3017	13	11	40 mm i top og bund
M 3018	17	14	40 mm i top og bund. 20 mm i sider
M 3019	19	15	40 mm i top og bund. 40 mm i sider

Det er dernæst interessant at se på betydningen af at forlænge "kassen", hvilket kan ses i FIGUR 29. Kassen er forlænget 20 cm i begge ender. Det kan ses, at uden absorbent gør forlængelsen næsten ingen forskel – kurverne er næsten identiske – dog er der en lille forbedring i de lave frekvenser. Med absorbenter er der en gennemsnitlig forbedring på ca. 3 dB på både kurverne og enkelttalsværdierne.

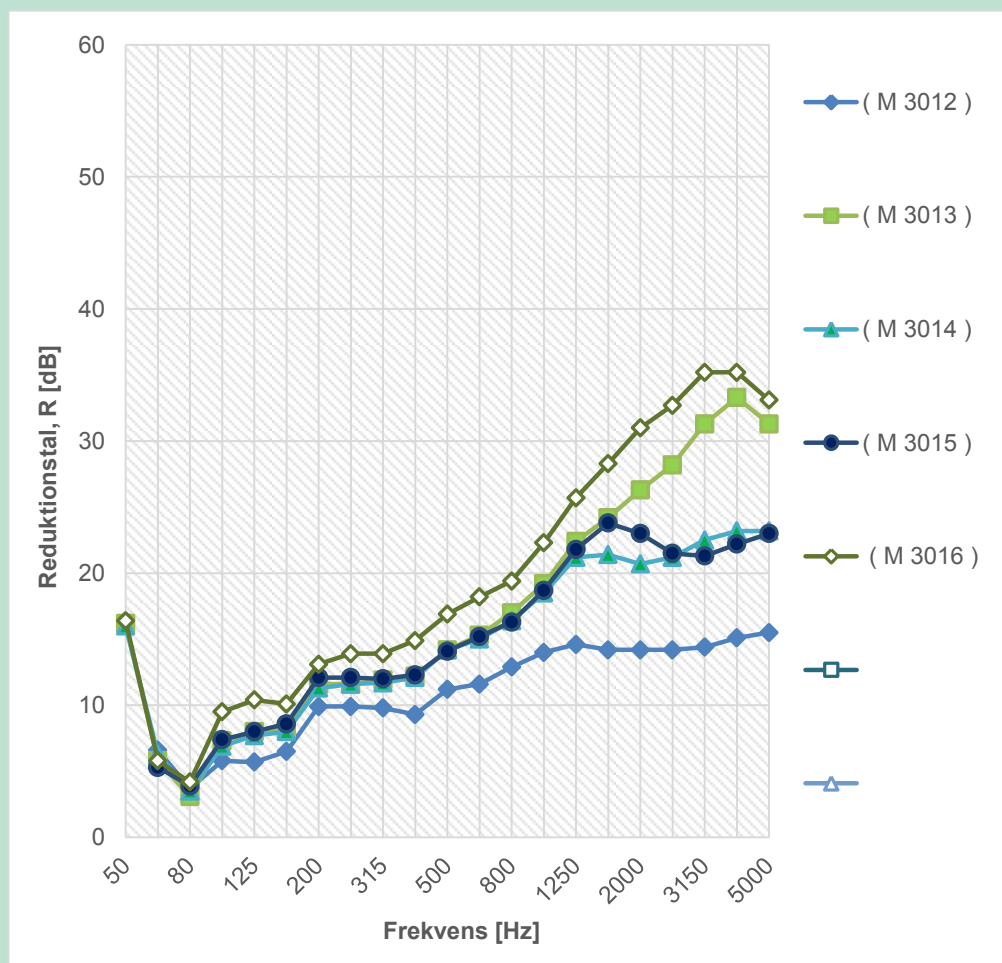
FIGUR 29. Mockup-løsning A. Betydning af forlænget "kasse".



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 3020	11	10	Ikke forlænget. Uden absorbenter
M 3019	19	15	Ikke forlænget. 40 mm absorbenter i top, bund og sider
M 3011	12	11	Forlænget. Uden absorbenter
M 3016	22	18	Forlænget. 40 mm absorbenter i top, bund og sider

Med den forlængede "kasse" er det tillige undersøgt, om placeringen af absorbenterne har en betydning, se FIGUR 30. For tre af kurverne er mængden af absorption identisk (M 3013, M3014 og M 3015), men placeringen er meget forskellig. Som det kan ses, er kurverne næsten identiske op til ca. 1250 Hz, hvorefter ligheden hører op. Af disse tre er den dårligste absorbent placeringen på væggen ved siden af vinduerne. Den klart bedste løsning er at fordele det absorberende materiale på begge sider, så der opnås størst mulig overflade. Det har dog her ingen betydning for enkelttalsværdierne (formentlig da forskellen stort set udelukkende konstateres over 2000 Hz). Det allerbedste resultat opnås med 40 mm absorbent i begge sider, der giver en forbedring ved næsten alle frekvenser sammenlignet med de øvrige konfigurationer. For enkelttalsværdierne opnås en forbedring på 3-4 dB for R_w og 2-3 dB for R_w+C_{tr} .

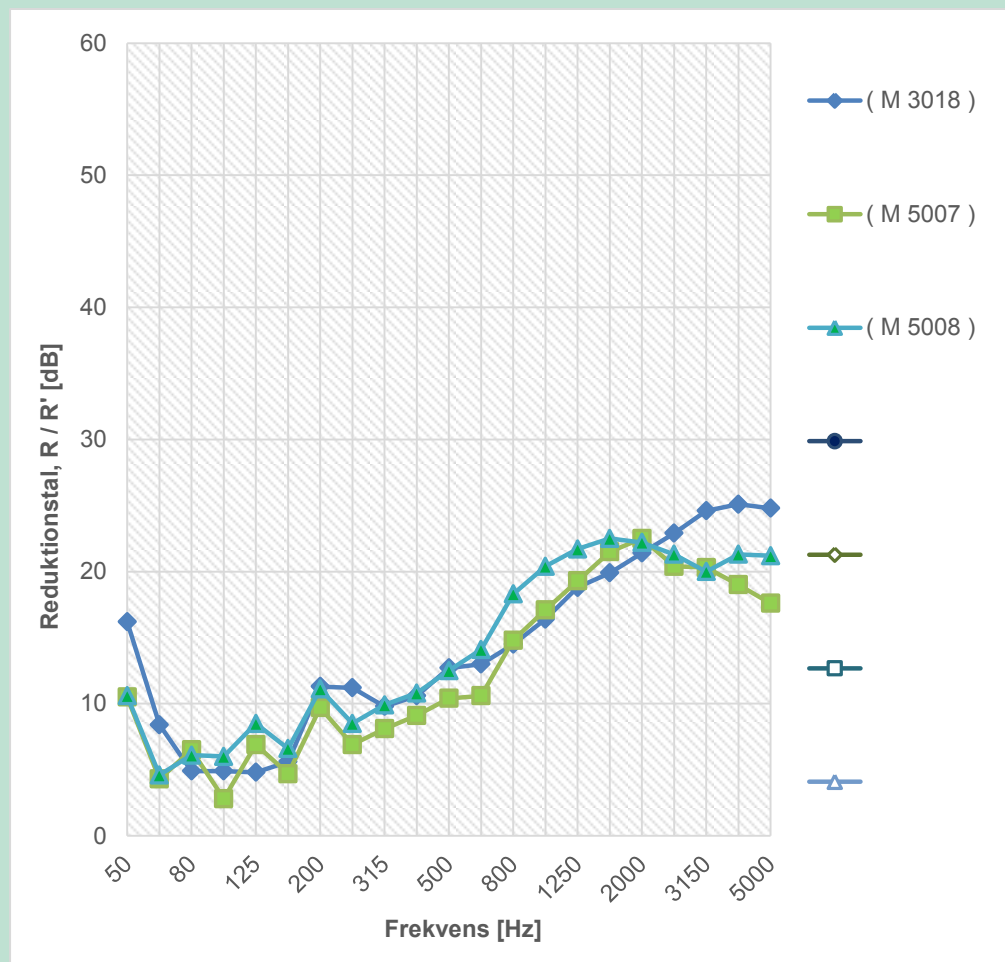
FIGUR 30. Mockup-løsning A - forlænget. Betydning af placering af absorbent i sider (40 mm absorbent i top og bund for alle målingerne).



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 3012	13	12	Uden absorbenter i sider
M 3013	19	16	20 mm i begge sider
M 3014	18	15	40 mm i side mod indvendig side
M 3015	19	16	40 mm i side mod udvendig side
M 3016	22	18	40 mm i begge sider

Til slut er målingerne sammenlignet med udvalgte måleresultater fra Folehaven [17], hvilket vises i FIGUR 31 (navngivet SBI-måling 9 og 10). Forudsætningerne er ikke 100 % identiske, men alligevel opnås en ret god overensstemmelse mellem kurverne. SBI-måling 9 udførtes med kun den oprindelige absorbent i lydslusen, mens der for SBI-måling 10 var tilført ekstra 40 mm absorbent af typen SUND® i midten af lydslusen. Åbningsarealet var justeret til 0,35 m².

FIGUR 31. Mockup-løsning A sammenlignet med lydskoddemålinger – Folehaven.



Måling nr.	R_w / R'_w [dB]	$R_w + C_{tr} / R'_w + C_{tr}$ [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 3018	17	14	Mockup-løsning A. 40 mm top og bund. 20 mm i sider.
M 5007	16	12	SBi-måling 9. Ingen ekstra absorbent.
M 5008	18	15	SBi-måling 10. 40 mm ekstra absorbent i midten.

9.2.2 Mockup-løsning B

Mockup-løsning B ligner overordnet mockup-løsning A med den vigtige forskel, at spånplade-”kassen” kun er åben i den ene ende – enden modsat den fløj i referencevinduet, der åbnes. Da ”kassen” kun er åben i den ene ende, må kassen nødvendigvis også være dobbelt så tyk som mockup-løsning A for at kunne have et tilstrækkeligt åbningsareal, se principskitse i Illustration 9E. Mockup-løsningen er som ved mockup-løsning A opbygget i spånplade, se Illustration 9F, men det er tænkt, at – som minimum – feltet foran referencevinduet i en endelig version er gennemsigtigt. Der er derfor ikke udført målinger med ekstra absorptionsmateriale påsat den del, der er tænkt gennemsigtig – en principskitse af dette er vist i Illustration 9E, hvor den blå gennemsigtige del viser, hvor placeringen af en rude er tænkt i en endelig løsning. Der er desuden udført målinger, hvor ”kassen” er forlænget, hvilket på Illustration 9E er markeret med en lidt mørkere farve. Det er kun åbningsenden af konstruktionen, der forlænges. På den ”ikke-forlængede” del af mockup-løsningen blev påsat fibergipsplader for at sikre tilstrækkelig vægt og lydisolation, se Illustration 9F.

Det er her valgt, at løsningen er åben i siden, selvom tilsvarende resultater forventes, om åbningen placeres i toppen eller i bunden (afhængigt af åbnefunktion for den indvendige vindueskonstruktion). Referencen for mockup-løsning B er som ved mockup-løsning A et indadgående tofløjet vindue i standardformat med den ene fløj åbnet $0,35 \text{ m}^2$ og med sidehængslede indadgående rammer, se Illustration 9B (venstre foto). Dimensionerne på default mockup-løsningen er (bredde x højde x dybde) ca. 1850 mm x 1640 mm x 290 mm. Den forlængede mockup-løsning er forlænget 20 cm i den ene ende, dvs. de samlede dimensioner er 2050 mm x 1640 mm x 160 mm.

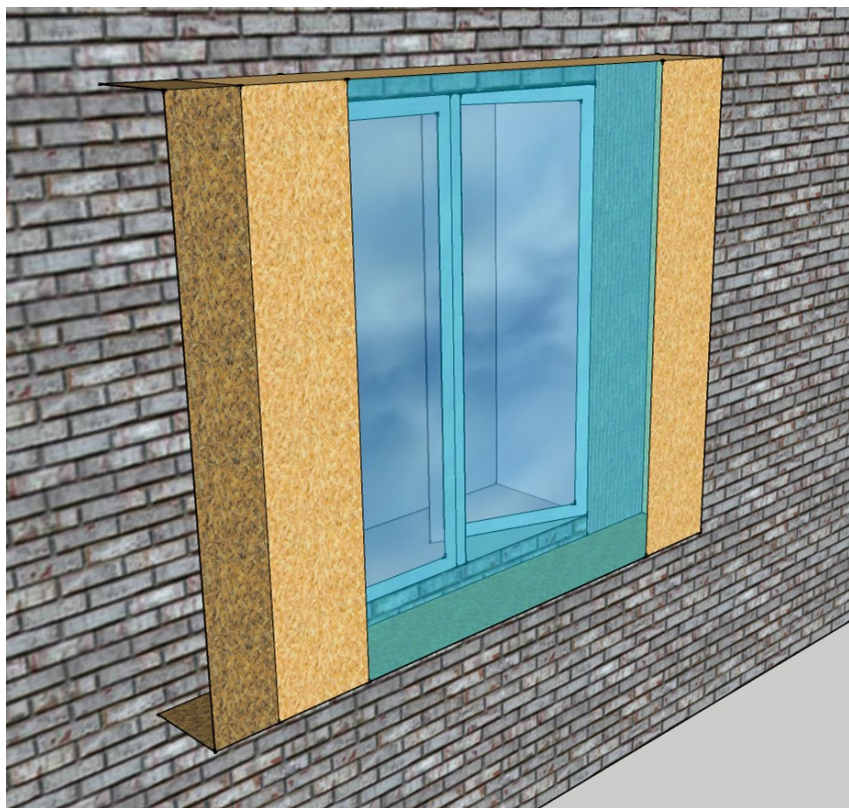


Illustration 9E. Principskitse af mockup-løsning B. Både den blå flade og fladerne markeret med spånplade i to nuancer er opbygget af den samme type spånplade under målingerne. Den blå flade markerer her den del, der i en endelig løsning er tænkt som gennemsigtig (glas) og dækkes derfor under målingerne ikke af absorberende materiale. Både den lyse og mørke del af krydsfineren (samt væggen parallelt med) kan dækkes af absorberende materiale. Den lyse del markerer defaultkonstruktionen og den mørke del markerer den forlængelse, der også blev undersøgt.



Illustration 9F. Foto af den aktuelle implementering af mockup-løsning B set udefra.



Illustration 9G. To fotos af mockup-løsning B, begge taget fra den åbne ende af konstruktionen. Venstre foto viser konstruktionen uden tilføjet absorbent; Højre foto viser den maksimalt tilføjede mængde absorption, dvs. 40 mm i top, bund og sider samt 20 mm i "midten".

Resultater af målinger på den ikke-forlængede version med forskellige grader af tilføjelse af absorption er vist i FIGUR 32. Placeringen af absorption er vist både i Illustration 9G og 9I. Som ventet kan det ses, at stigende mængde af absorption giver en højere lydisolation – dog ses primært en effekt ved de højere frekvenser. Et interessant resultat er også, at de to målinger uden absorption i "enderummet" (M 3102 og M 3103) har et markant andet kurveforløb end målingerne med absorption i "enderummet" – de primære forskelle i kurveforløbet ses dog for de laveste frekvenser. "Enderummet" er den lukkede afslutning af konstruktionen modsat åbningen, se Illustration 9H og Illustration 9I. Den viste tilføjelse af absorption giver en forbedring på enkelttalsværdierne op til 9 dB for R_w og 6 dB for R_w+C_{tr} .

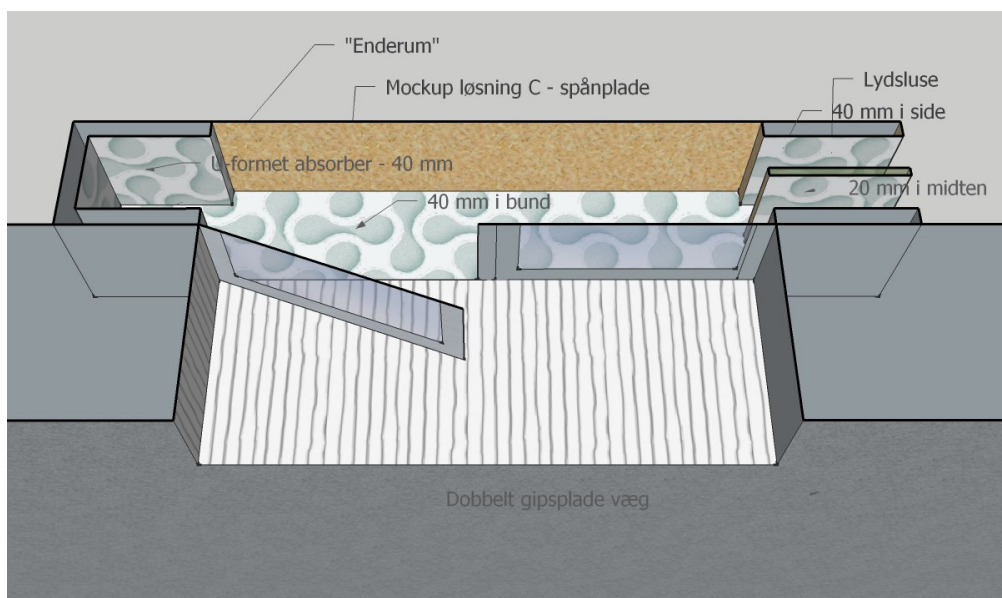


Illustration 9H. Vandret snit i principskitse set oppefra fra indvendig side, der viser løsningen med 40 mm U-format absorber i "enderummet", 40 mm absorber i bund samt 40 mm i sider og 20 mm absorber i "midten".

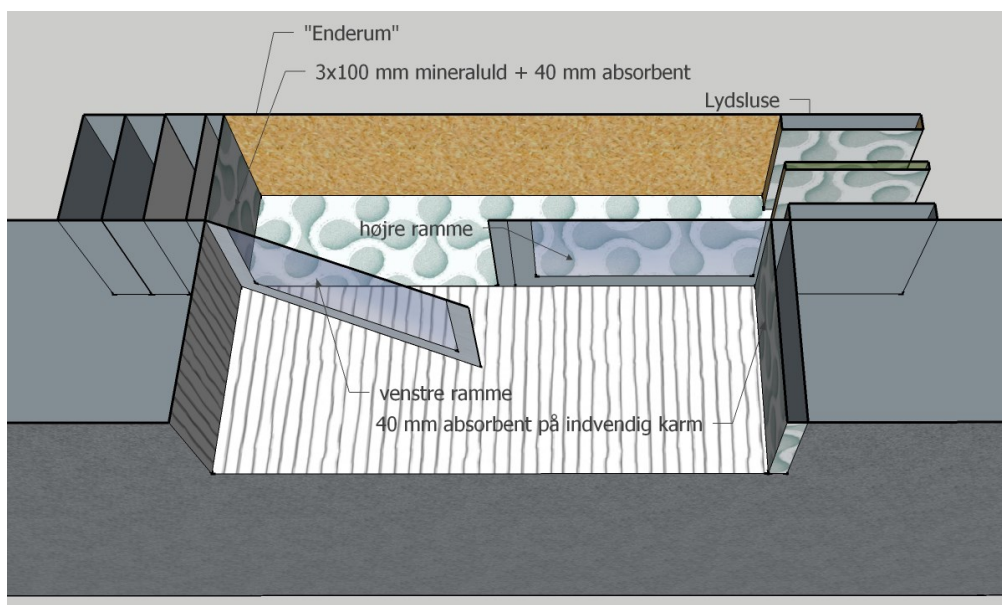
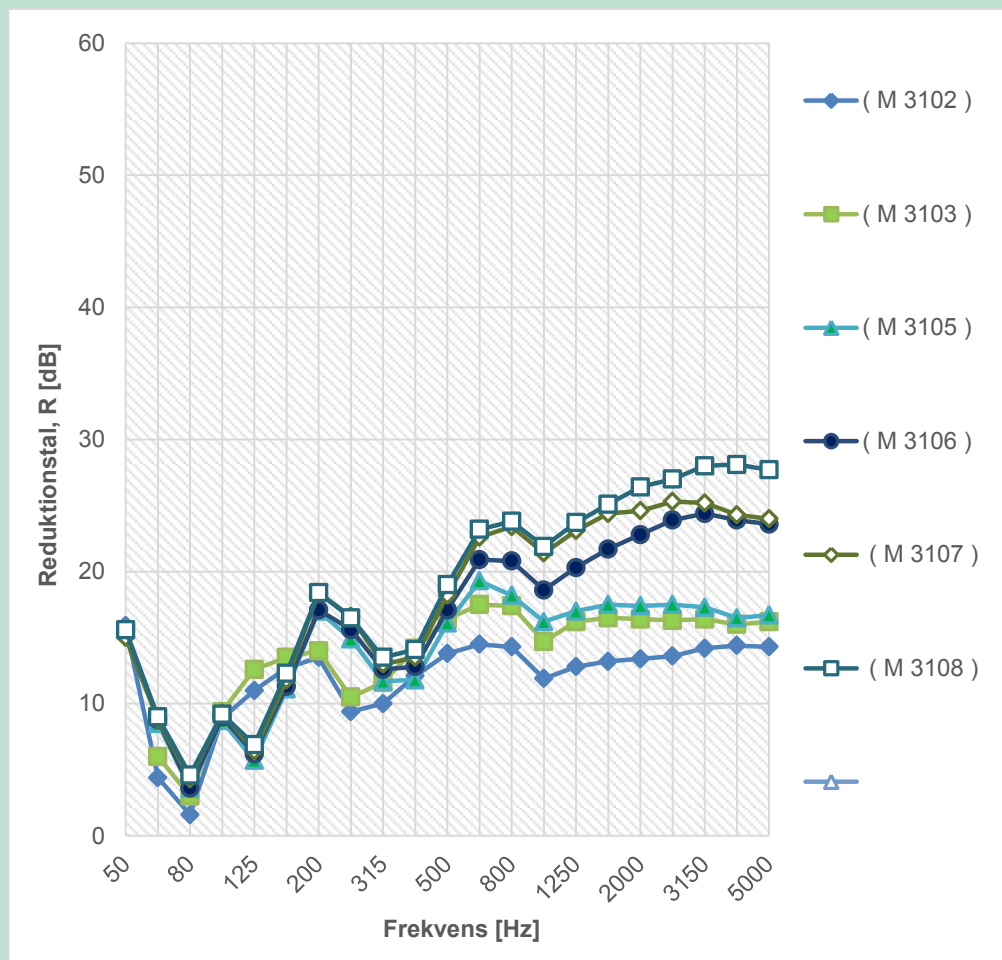


Illustration 9I. Vandret snit i principskitse set oppefra fra indvendig side, der viser løsningen med 40 mm absorber på indvendig karm, 3x100 mm + 40 mm absorber i "enderummet", 40 mm absorber i bund samt 40 mm i sider og 20 mm absorber i "midten".

FIGUR 32. Mockup-løsning B. Undersøgelse af betydning af tilføjelse af absorption.

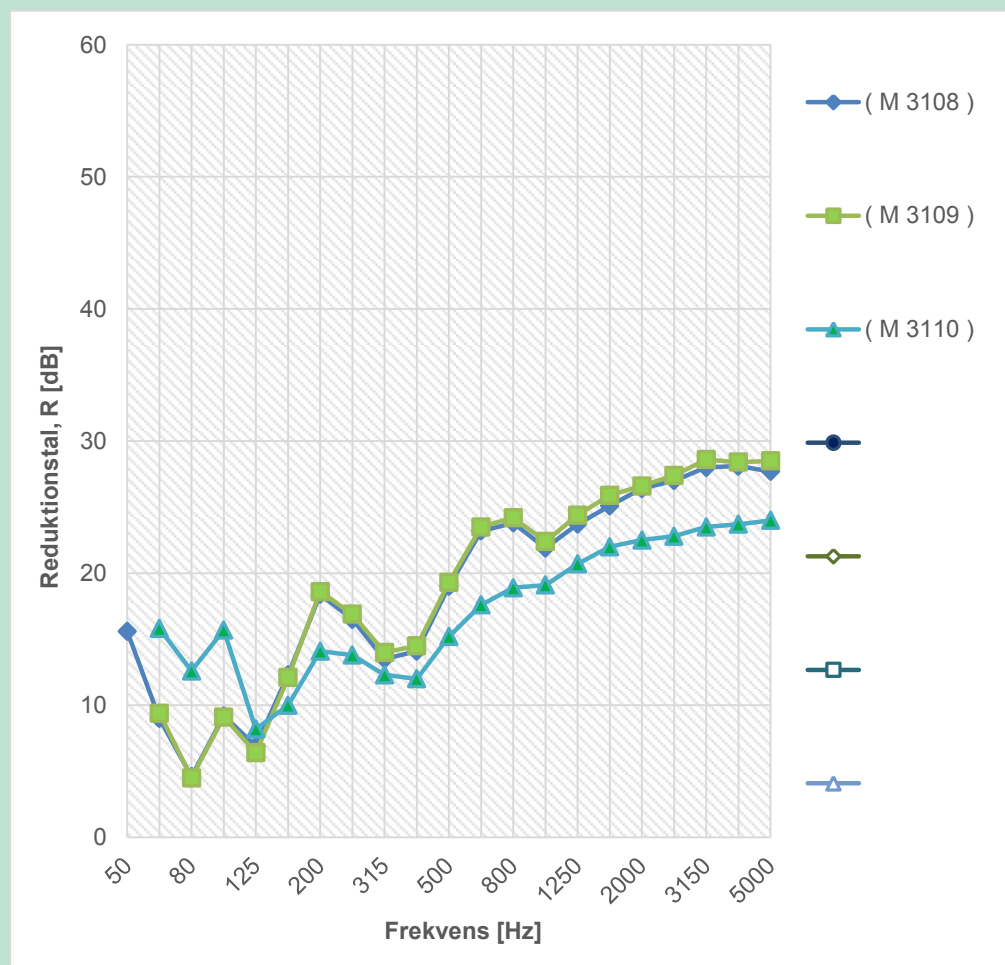


Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 3102	14	13	Uden absorbenter
M 3103	16	15	40 mm i top og bund
M 3105	17	15	40 mm i top og bund. 3x100 + 40 mm i "enderum"
M 3106	20	17	40 mm i top og bund. 3x100 + 40 mm i "enderum". 20 mm i sider
M 3107	22	18	40 mm i top og bund. 3x100 + 40 mm i "enderum". 40 mm i sider
M 3108	23	19	40 mm i top og bund. 3x100 + 40 mm i "enderum". 40 mm i sider. 20 mm i midten.

Betydningen af, hvilken af rammerne i det tofløjede referencevindue der åbnes, belyses i FIGUR 33. De viste målinger udføres på baggrund af påsat 40 mm absorption i top og bund samt 40 mm i siderne ved åbningen af mockup-løsningen – lydslusen – og 20 mm i midten af lydslusen, se Illustration 91.

Hvis højre ramme åbnes i stedet for venstre, giver det en betydelig forbedring af lydisolationen for de laveste frekvenser under 125 Hz. For frekvenser over 125 Hz opnås den bedste lydisolation med venstre ramme åben. På enkelttalsværdierne giver venstre ramme en forbedring på 4 dB for R_w og 2 dB for R_w+C_{tr} i forhold til højre ramme. I samme figur undersøges også en eventuel effekt af at tilføje 40 mm absorption indvendig i karmen modsat den åbne ramme i referencevinduet, se Illustration 91. Som det kan ses, er forskellen ubetydelig.

FIGUR 33. Mockup-løsning B. Betydning af hvilket vindue der åbnes på baggrund af 40 mm absorbent i top, bund og sider samt 20 mm absorbent i midten.



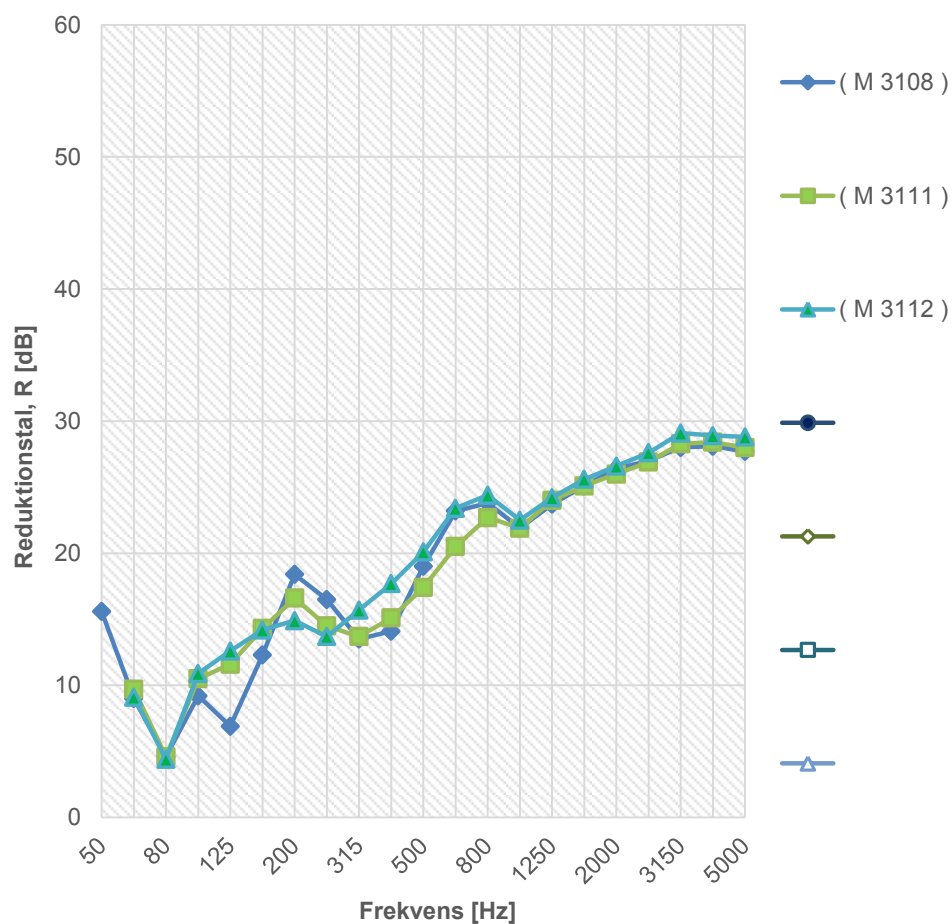
Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 3108	23	19	3x100 mm + 40 mm i "enderum". Venstre ramme åben.
M 3109	23	19	3x100 mm + 40 mm i "enderum" samt 40 mm på indvendig karm. Venstre ramme åben.
M 3110	19	17	3x100 mm + 40 mm i "enderum". Højre ramme åben

Betydningen af "enderummet" ønskes dernæst belyst – dvs. mængden og placeringen af absorption i den lukkede del af kassen modsat åbningen, se Illustration 9G og 9I. Udvalgte resultater er vist i FIGUR 34. De tre viste målinger giver relativt sammenlignelige resultater med enkelttalsværdier på 22-23 dB for R_w og 19-20 dB for R_w+C_{tr} , selvom absorbenternes overfladeareal, tykkelse og volumen er ret forskellige, se nedenstående tabel.

	R_w	R_w+C_{tr}	Overfladeareal	Tykkelse	Volumen
	[dB]	[dB]	[m ²]	[m]	[m ³]
M 3108	23	19	0,40	0,34	0,14
M 3111	22	19	0,40	0,14	0,06
M 3112	23	20	1,22	0,04	0,05

Reduktionstalskurverne for de tre løsninger varierer noget – primært i frekvensområdet 100-1000 Hz.

FIGUR 34. Mockup-løsning B. Undersøgelse af type og placering af absorbent i "enderummet" på baggrund af 40 mm absorbent i top, bund og sider samt 20 mm absorbent i midten.



Måling nr.	R_w	R_w+C_{tr}	Beskrivelse (placering og absorbenter)
	[dB]	[dB]	
M 3108	23	19	3x100 mm + 40 mm i "enderum"
M 3111	22	19	1x100 mm + 40 mm i "enderum"
M 3112	23	20	U-bund af 40 mm absorbent

Efterfølgende er mockup-løsningen forlænget. Resultaterne fra disse målinger er vist i FIGUR 35, hvor "kassen" er forlænget 20 cm i den ende, hvor åbningen er, se principskitse i Illustration 9E. På FIGUR 35 er vist tre målinger, hvor måling M 3115 er resultatet af at placere 13 mm gipsplade foran "enderummet" (der er fyldt med absorption), som dermed illuderer en samlet mindre mængde absorption i mockup-løsningen. De øvrige to målinger vist i figuren er med U-bund i "enderummet". Når de tre målinger sammenlignes, kan det som tidligere ses, at tilføjelse af absorption giver en højere lydisolations, her både for de fleste frekvenser, men også for enkelttalsværdierne der stiger 1-2 dB for R_w og 2-3 dB for R_w+C_{tr} .

FIGUR 35. Mockup-løsning B – Kassen forlænget 20 cm.



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 3113	25	21	40 mm i top, bund og sider. U-bund af 40 mm absorbent
M 3114	26	22	40 mm i top, bund og sider. 20 mm i midten. U-bund af 40 mm absorbent.
M 3115	24	19	40 mm i top, bund og sider. 20 mm i midten. 3x100 mm + 40 mm i "enderum" med 13 mm gipsplade foran.

Til slut sammenlignes den ikke-forlængede version og den forlængede version. Resultatet af dette er vist i FIGUR 36. Det kan ses, at forlængelsen udelukkende har en positiv indflydelse på lydisolationen, der er forbedret i hele frekvensområdet. På enkelttalsværdierne ses en forbedring på 3 dB for R_w og 2 dB for R_w+C_{tr} .

FIGUR 36. Mockup-løsning B. Sammenligning mellem ikke-forlænget og forlænget kasse, begge med 40 mm absorbent i top, bund og sider samt 20 mm i midten. U-bund af 40 mm absorbent i "enderummet".



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 3112	23	20	Ikke-forlænget
M 3114	26	22	Forlænget

9.2.3 Mockup-løsning C

Referencen for mockup-løsning C er et udadgående tofløjet vindue i standardformat med rammerne hængslet i lodposten med den ene ramme åbnet $0,35 \text{ m}^2$, se Illustration 9J. Som ved de to forrige mockup-modeller opbygges mockup-løsning C i krydsfiner, og også her kan modellen ses som en kasse åben i begge ender. Den primære forskel er dog, at kassen ikke er placeret "over" referencevinduet, men i stedet ved siden af.

Løsningen er opbygget sådan, at rammen åbnes udad og låses i en position, så der skabes en lukket kanal igennem mockup-modellen og ind igennem vinduet. Princippet vises på Illustration 9J, 9K og 9L. Der udføres målinger med "kassen" i to længder og med tilføjet absorptionsmateriale på siderne.

Som i de tidligere arbejdsplaner er der primært undersøgt betydningen af at tilføje absorption og af at forlænge "kassen". Dimensionerne på den del af default mockup-løsningen, der sidder til højre for vindueelementet, er (bredde x højde x dybde) ca. 470 mm x 1480 mm x 290 mm, se Illustration 9K og Illustration 9L. Den forlængede mockup-løsning er forlænget 50 cm i den ene ende, dvs. de samlede dimensioner er 970 mm x 1480 mm x 290 mm.



Illustration 9J. Principskitse af mockup-løsning C. Mockup-løsningen er her vist med to brune farver, hvor den lyse del markerer defaultkonstruktionen, og den mørke del markerer den forlængelse, der også blev undersøgt. Både den lyse og mørke del mockup-løsningen (samt væggen parallelt med) kan dækkes af absorberende materiale.



Illustration 9K. To fotos af mockup-løsning C. Venstre foto viser konstruktionen set fra udvendig side og viser den forlængede kasse (defaultlængden af kassen svarer til, hvor der er påsat fibergips (venstre side) og tilføjesen er, hvor krydsfinerpladen er synlig (højre side). Højre foto viser konstruktionen set fra den åbne ende med maksimalt tilføjet mængde absorption, dvs. 40 mm i top, bund og sider samt 20 mm i "midten".

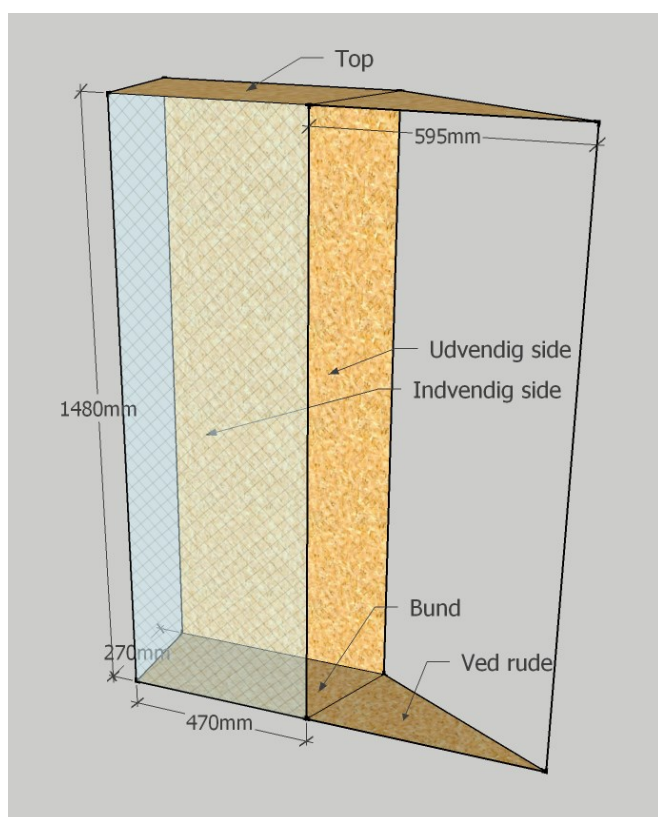
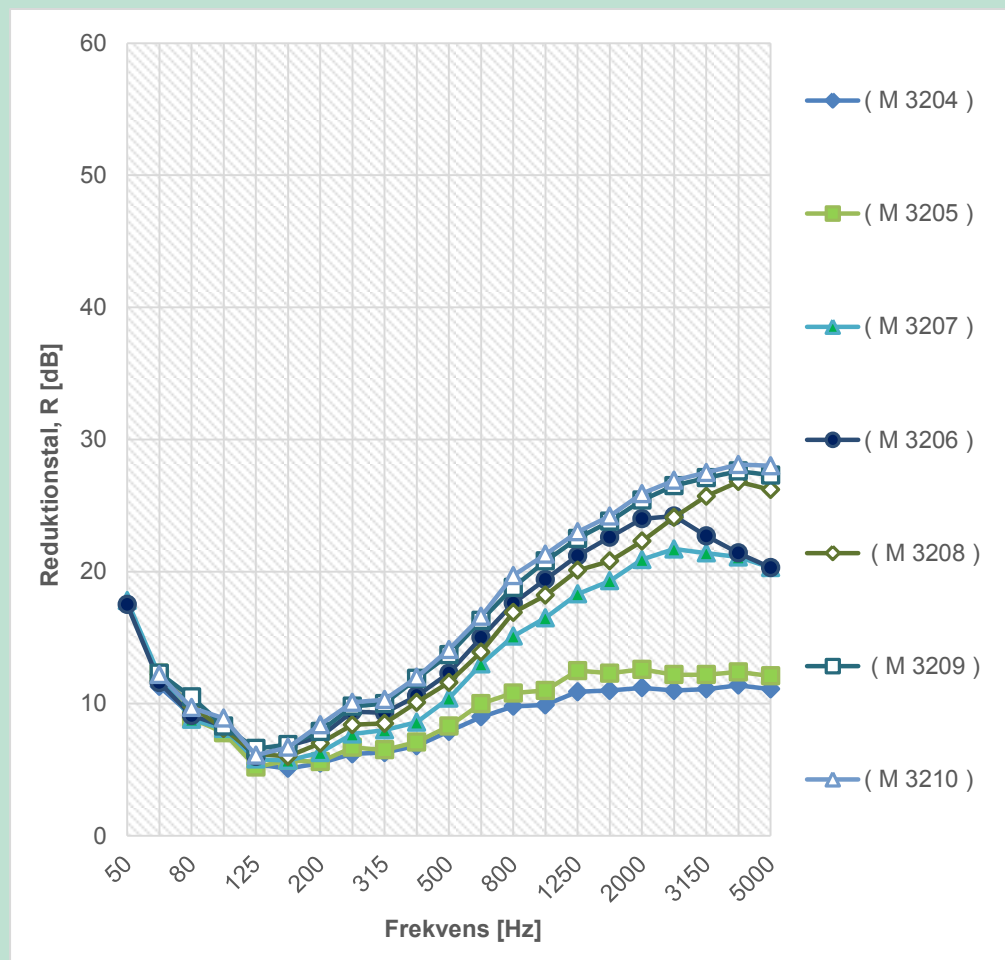


Illustration 9L. Principskitse af mockup-løsning C set fra indvendig side. Der blev påsat absorption på alle dele, der her er vist som krydsfiner (brune farver) samt på indvendig side.

FIGUR 37. Mockup-løsning C. Ikke forlænget.

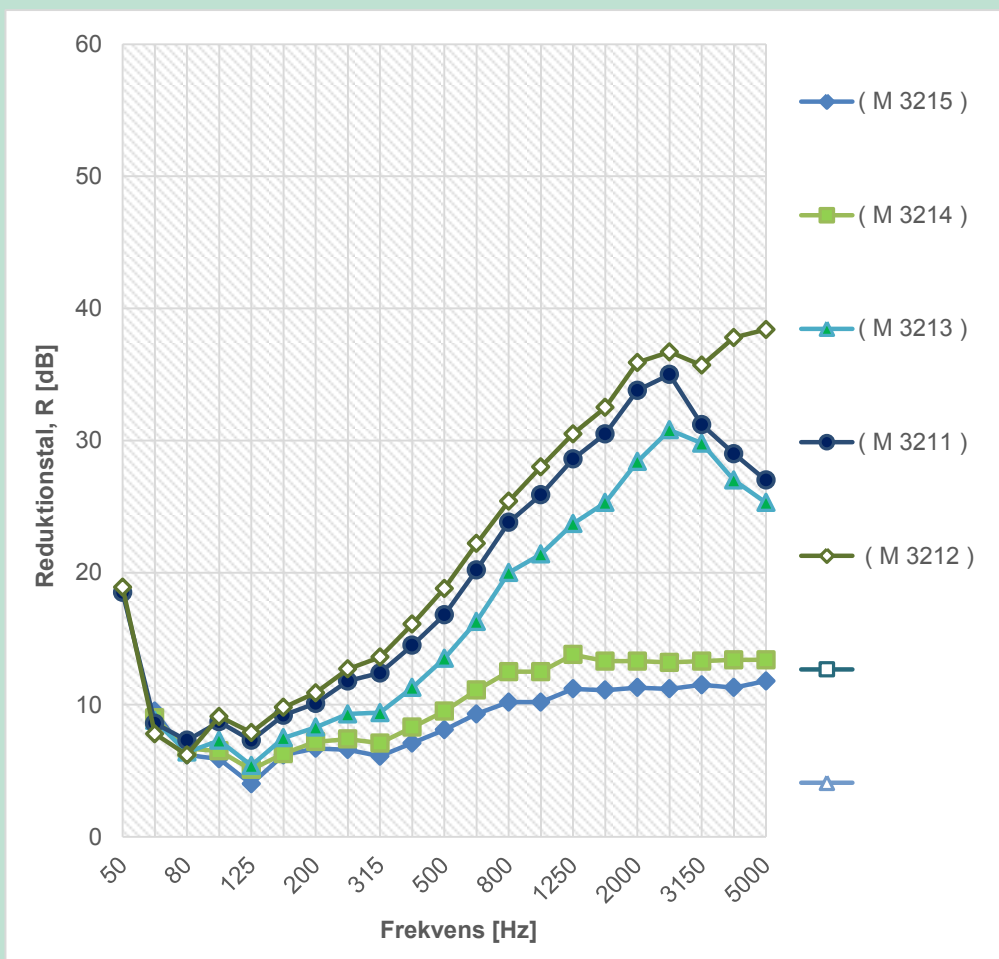


Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og absorbenter)
M 3204	10	9	Uden absorbenter
M 3205	11	10	40 mm i top og bund
M 3207	16	13	40 mm i top og bund. 20 mm i sider
M 3206	18	14	40 mm i top og bund. 40 mm i sider.
M 3208	17	14	40 mm i top og bund. 20 mm i sider. 20 mm i midten.
M 3209	19	15	40 mm i top og bund. 40 mm i sider. 20 mm i midten.
M 3210	19	15	40 mm i top og bund. 40 mm i sider. 20 mm i midten. 20 mm ved rude (se markering på Illustration 9L)

For mockup-løsning C i den ikke-forlængede version er udvalgte resultater vist i FIGUR 37. Som ved de tidligere løsninger kan ses en forbedret lydisolations, jo mere absorption der tilføjes. Specielt absorption tilføjet i siderne har en god effekt. Den forbedrede lydisolations er dog kun for frekvenser fra 200 Hz og højere, mens frekvensområdet under 200 Hz er næsten uændret uanset mængden af absorption. Sammenlignet med mockup-løsningen uden absorber er der dog alligevel en forbedret lydisolations for enkelttalsværdierne på 9 dB for R_w og på 6 dB for R_w+C_{tr} for den bedste løsning.

Tilsvarende er vist udvalgte resultater for mockup-løsning C i den forlængede version i FIGUR 38. De samme iagttagelser som ved FIGUR 37 gælder også her, bortset fra at der her observeres en forbedring i lydisolationen i frekvensområdet 80-200 Hz ved tilføjelse af absorption. Sammenlignet med mockup-løsningen uden absorbent er her en forbedret lydisolation for enkelttalsværdierne på 14 dB for R_w og på 10 dB for R_w+C_{tr} for den bedste løsning.

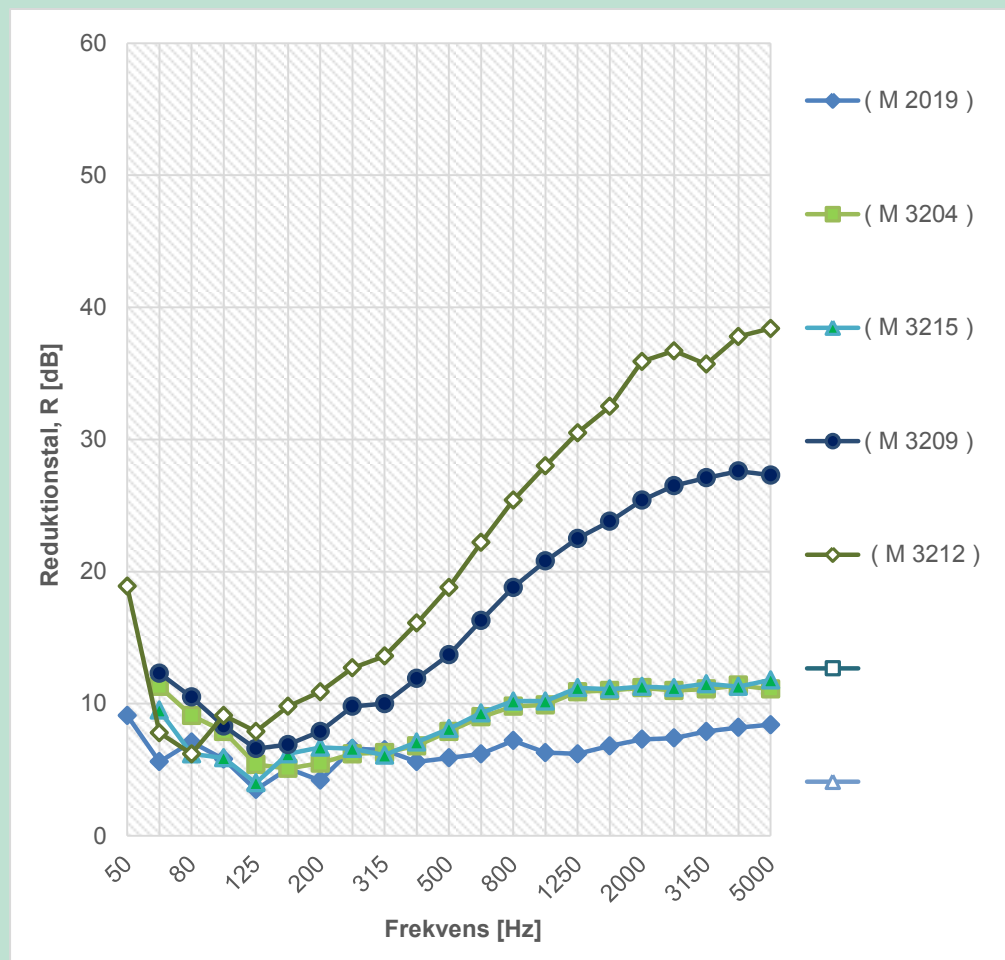
FIGUR 38. Mockup-løsning C. Forlænget.



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og tykkelse af absorbenter)
M 3215	10	9	Uden absorbenter
M 3214	12	11	40 mm i top og bund
M 3213	19	15	40 mm i top og bund. 20 mm i sider. 20 mm v. rude
M 3211	22	18	40 mm i top og bund. 40 mm i sider. 20 mm v. rude
M 3212	24	19	40 mm i top og bund. 40 mm i sider. 20 mm i midt. 20 mm v. rude

Mockup-løsning C i både forlænget og ikke-forlænget version sammenlignes i FIGUR 39, hvor det kan ses, at længden ingen betydning har, når der ikke er tilføjet absorption (ingen forskel for enkelttalsværdierne). Længden har derimod stor betydning, når der er tilføjet absorption (en forbedring i lydisolation for enkelttalsværdierne på 5 dB for R_w og 4 dB for R_w+C_{tr}).

FIGUR 39. Mockup-løsning C. Sammenligning med og uden forlængelse.

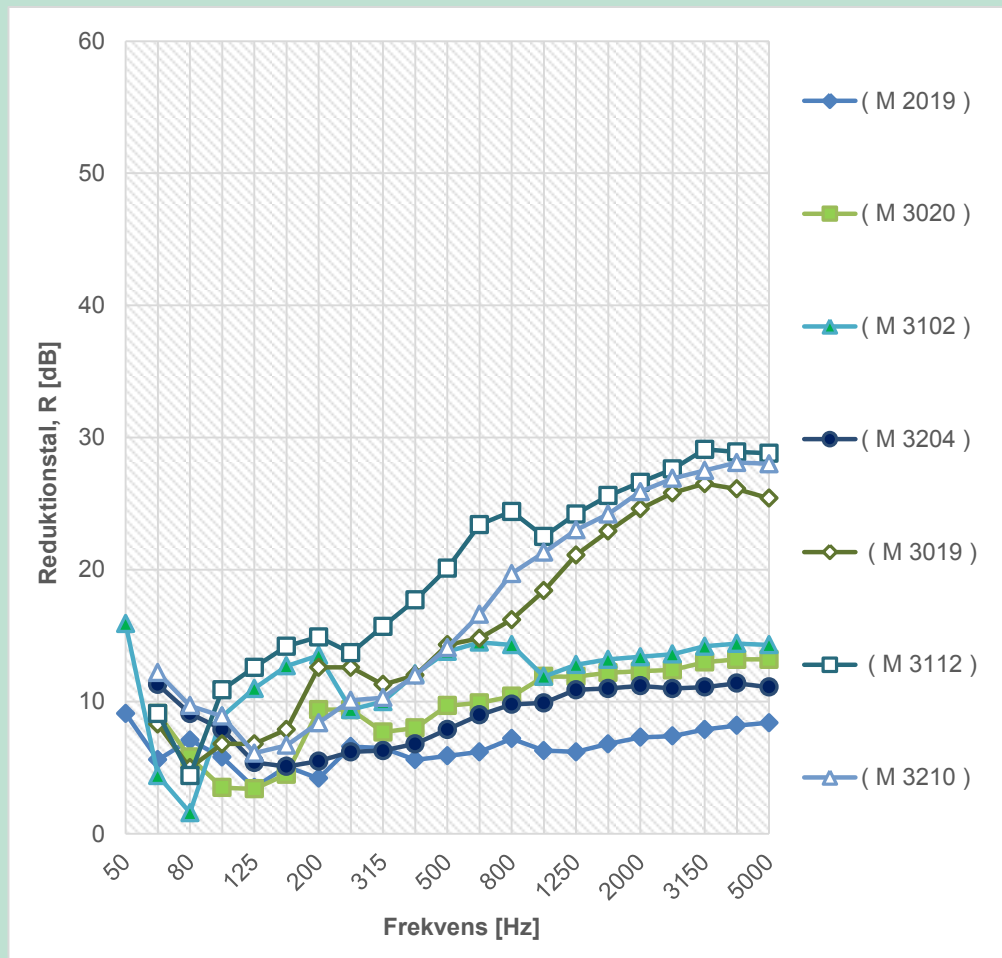


Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og tykkelse af absorbenter)
M 2019	7	6	Reference (uden mockup-løsning C)
M 3204	10	9	Uden forlængelse og uden absorbent
M 3215	10	9	Med forlængelse og uden absorbent
M 3209	19	15	Uden forlængelse og med "fuld" absorbent (40 mm i top, bund og sider. 20 mm i midten. 20 mm v. rude)
M 3212	24	19	Med forlængelse og med "fuld" absorbent (40 mm i top, bund og sider. 20 mm i midten. 20 mm v. rude)

9.2.4 De tre mockup-løsninger sammenlignet

Der er udført en række forsøg med hver af mockup-løsningerne, og udvalgte resultater for de tre mockup-løsninger er vist i FIGUR 40 og FIGUR 41. Førstnævnte figur viser resultater af den ikke-forlængede mockup-løsning, og sidstnævnte figur viser resultaterne af den forlængede mockup-løsning. I hver figur vises for hver mockup-løsning desuden en måling uden tilført absorption samt målingen med mest tilført absorption. Desuden er målingen på referencevinduet også medtaget i begge figurer.

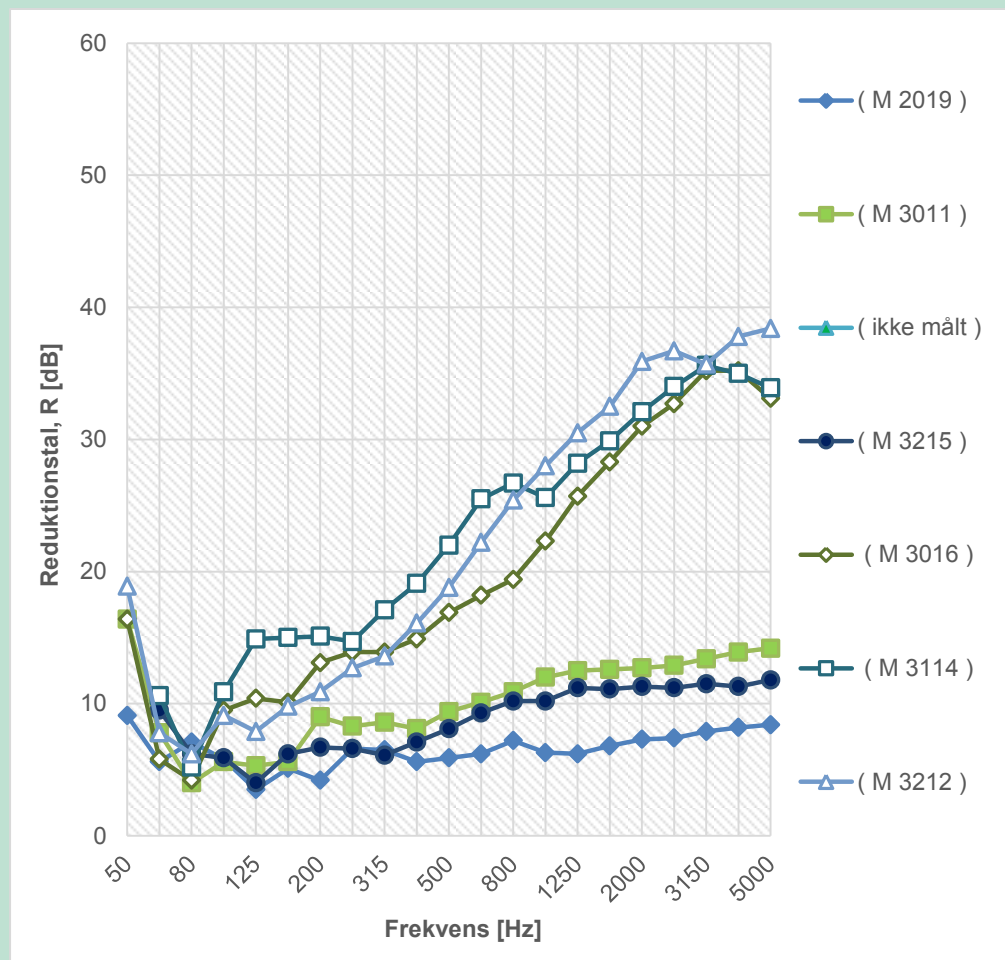
FIGUR 40. Sammenligning af mockup-løsninger i standard længde.



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og tykkelse af absorbenter)
M 2019	7	6	Reference (uden mockup-løsning)
M 3020	11	10	Løsning A. Uden absorbent
M 3102	14	13	Løsning B. Uden absorbent
M 3204	10	9	Løsning C. Uden absorbent
M 3019	19	15	Løsning A. Med absorbent
M 3112	23	20	Løsning B. Med absorbent
M 3210	19	15	Løsning C. Med absorbent

For den ikke-forlængede mockup-løsning kan det i FIGUR 40 ses, at det er mockup-løsning B, der har den bedste lydisolations – specielt i det lavfrekvente område – både med og uden absorbent. Mockup-løsning A og C er tilnærmelsesvist sammenlignelige. Et tilsvarende billede kan ses for de forlængede mockup-løsninger i FIGUR 41. Mockup-løsning C ser desuden ud til altid at have den laveste lydisolations uden tilført absorbent, mens løsningen tilført absorbent er en smule bedre end mockup-løsning A, se opsummering af enkelttalsværdier i Tabel 4.

FIGUR 41. Sammenligning af forlængede mockup-løsninger.



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse (placering og tykkelse af absorbenter)
M 2019	7	6	Reference (uden mockup-løsning)
M 3011	12	11	Løsning A. Uden absorber
Ikke målt	-	-	Løsning B. Uden absorber
M 3215	10	9	Løsning C. Uden absorber
M 3016	22	18	Løsning A. Med absorber
M 3114	26	22	Løsning B. Med absorber
M 3212	24	19	Løsning C. Med absorber

Tabel 4 Opsummering af enkelttalsværdier for de tre mockup-løsninger

	Uden absorber				Med absorber			
	Standard	Lang	Standard	Lang	Standard	Lang	Standard	Lang
	R_w	R_w	R_w+C_{tr}	R_w+C_{tr}	R_w	R_w	R_w+C_{tr}	R_w+C_{tr}
A	11	12	10	11	19	22	15	18
B	14	-	13	-	23	26	20	22
C	10	10	9	9	19	24	15	19

9.3 Udvikling af prototype

Med udgangspunkt i de udførte laboratoriemålingerne udvælges én konstruktion til videreudvikling af prototype. Forskellige faktorer vejer for og imod hver af de tre mockup-løsninger. Løsning A kan relativt hurtigt udelukkes, da en meget lignende konstruktion allerede findes som et færdigt produkt [16], og det er derfor mere interessant at kigge på mindre afprøvede konstruktioner. Så primært står valget mellem løsning B og C. Det besluttes at arbejde videre med løsning C, selvom det ikke er denne konstruktion, der har givet den bedste lydisolation, men til gengæld er det den mest innovative og mindst afprøvede løsning. Tilmed er det også en mindre løsning, behøver ikke at være gennemsigtig og kan dermed opbygges i næsten hvilket som helst materiale dog med en massefylde, der ikke er mindre end svarende til 2 mm stål for at sikre tilstrækkelig lydisolation gennem kassens sider (mindre massefylde kan være tilstrækkeligt, men dette er ikke undersøgt i dette projekt). Løsningen forventes i øvrigt at kunne være en interessant løsning for arkitekter og designere at arbejde videre med. Det er også den af de tre løsninger, der nemmest giver mulighed for at "åbne helt op" med mulighed for udluftning med et større åbningsareal end 0,35 m².

En prototypeudgave af den forlængede version af løsning C-modellen blev derfor opbygget (med overordnet samme dimensioner). Modellen blev opbygget i 2 mm stål, og med fuglegitre i hver ende. I forhold til mockup-målingerne er ruderne også blevet udskiftet til 3/0.38/3-16-4 mm argonfylde ruder.

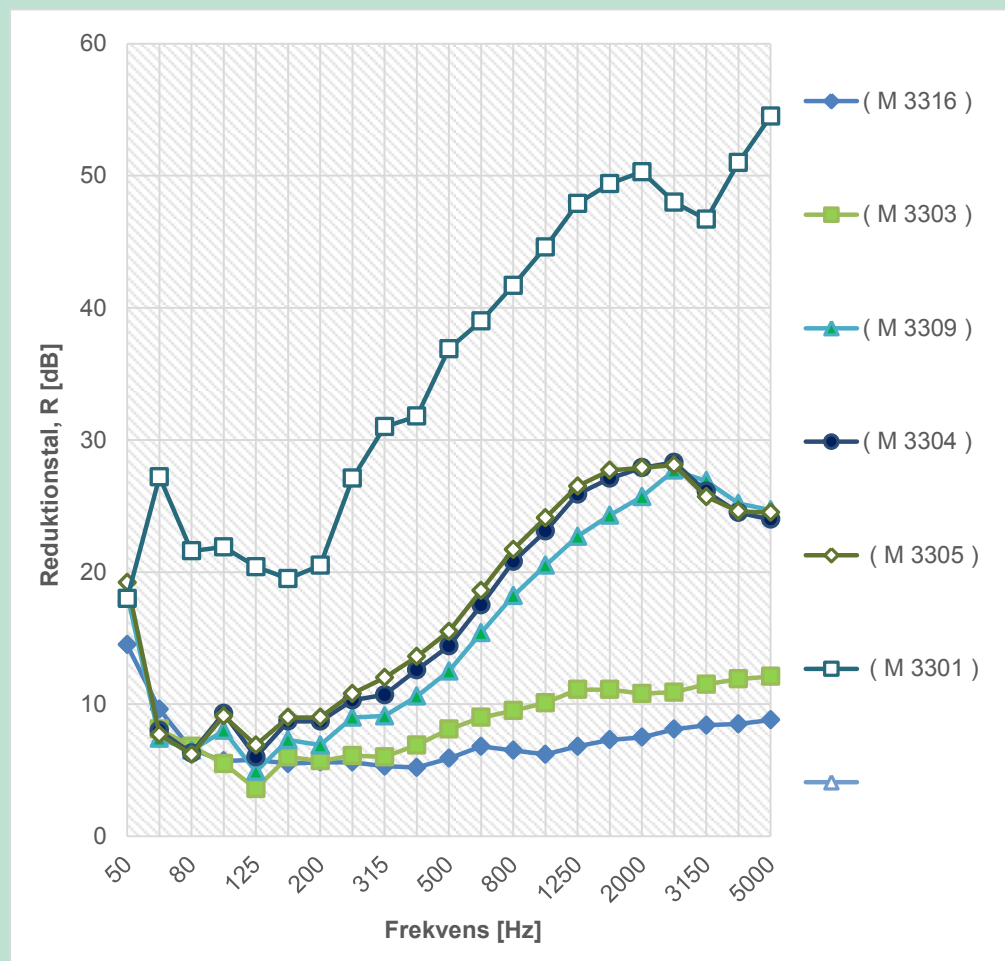


Illustration 9M Foto fra udvendig side af prototypeløsningen. Venstre foto viser konstruktionen skråt nede fra, hvor fuglegitteret kan ses. Højre foto viser konstruktionen set fra åbningen i prototypen, hvor 20 mm absorber er tilført top, bund og sider. Se desuden Illustration 9A.

9.4 Laboratiormålinger på prototype

Prototypeudgaven af mockup-løsning C er efterfølgende installeret i laboratoriet på samme måde som mockup-løsning C, og en række laboratiormålinger er blevet udført.

FIGUR 42. Undersøgelse af betydning af påsætning af absorbenter for prototypen. Desuden sammenlignet med referencevindue og et lukket vindue.



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse
M 3316	7	7	Åbent "almindeligt vinduer" uden prototype monteret.
M 3303	10	9	Åbent, med prototype, uden absorbenter.
M 3309	18	14	Åbent, med prototype og absorbenter (40 mm i top og bund. 20 mm i sider).
M 3304	20	16	Åbent, med prototype og absorbenter (40 mm i sider).
M 3305	21	17	Åbent, med prototype og absorbenter (40 mm i top, bund og sider)
M 3301	38	31	Lukket, med prototype, men uden absorbenter.

Udvalgte resultater med prototypen er vist i FIGUR 42, hvor også betydningen af påsætning af absorbenter undersøges. Sammenlignet med referencevinduet forbedres lyd isolation ikke meget ved påsætning af prototypen alene, uden også tilføjelse af absorbent (for enkelttalsværdier i størrelsesordenen 3 dB for R_w og 2 dB for R_w+C_{tr}). Ved tilføjelse af absorbenter forbedres lyd isolationen, dog primært for frekvenser over 250 Hz. Forbedringen med absorbenter for enkelttalsværdier er i størrelsesordenen 8-11 dB for R_w og 5-8 dB for R_w+C_{tr} i forhold til målingen uden absorbenter.

FIGUR 43 viser en sammenligning mellem:

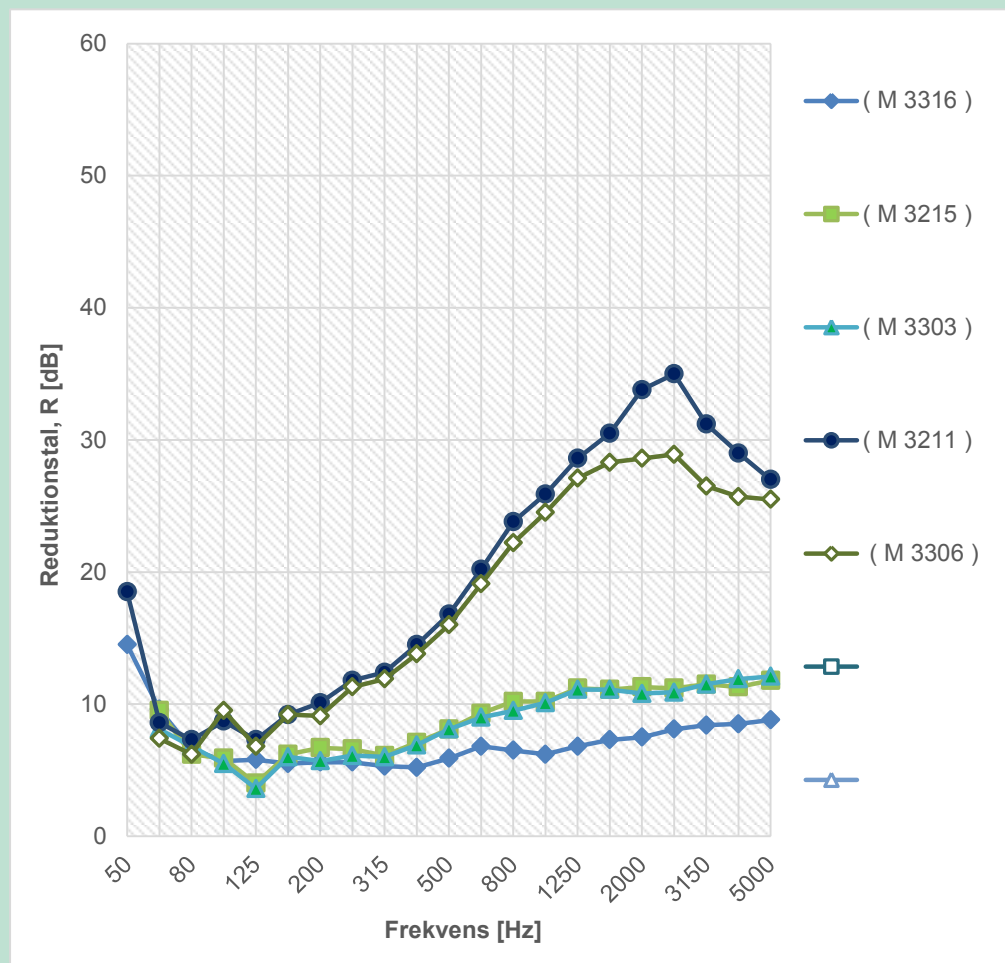
- Referencevinduet alene
- Mockup-løsning C i den forlængede udgave (dvs. samme dimensioner som prototype-løsningen) – både med og uden tilsat absorption
- Prototypeløsningen – både med og uden tilsat absorption

Både mockup-løsning C og prototypeløsningen uden tilsat absorption giver næsten identiske resultater – der er meget lidt forskel på kurverne og ingen forskel på enkelttalsværdierne. Sammenlignes de med målingen på referencevinduet kan det ses, at lyd isolationen for mockup-løsning C og prototypen er lidt højere end for referencevinduet. Forskellen er primært for frekvenser over 300 Hz og er i størrelsesordenen 3 dB for R_w og 2 dB for R_w+C_{tr} .

Mockup-løsning C og prototypeløsningen tilsat samme mængde absorption giver tilnærmelsesvist samme enkelttalsværdier (Hhv. 22 og 21 for R_w samt 18 og 17 for R_w+C_{tr}) – kurverne er dog ikke helt ens, idet lyd isolationen omkring 2500 Hz er højere for mockup-løsning C end for prototypen.

Mockup-løsning C og prototypeløsningen tilsat absorption har en betydelig højere lyd isolation end referencevinduet, specielt for frekvenser over 500 Hz. Sammenlignes enkelttalsværdierne ses forskellen i to cifrede værdier (fra 7 til 21-22 dB for R_w og fra 7 til 17-18 dB for R_w+C_{tr}).

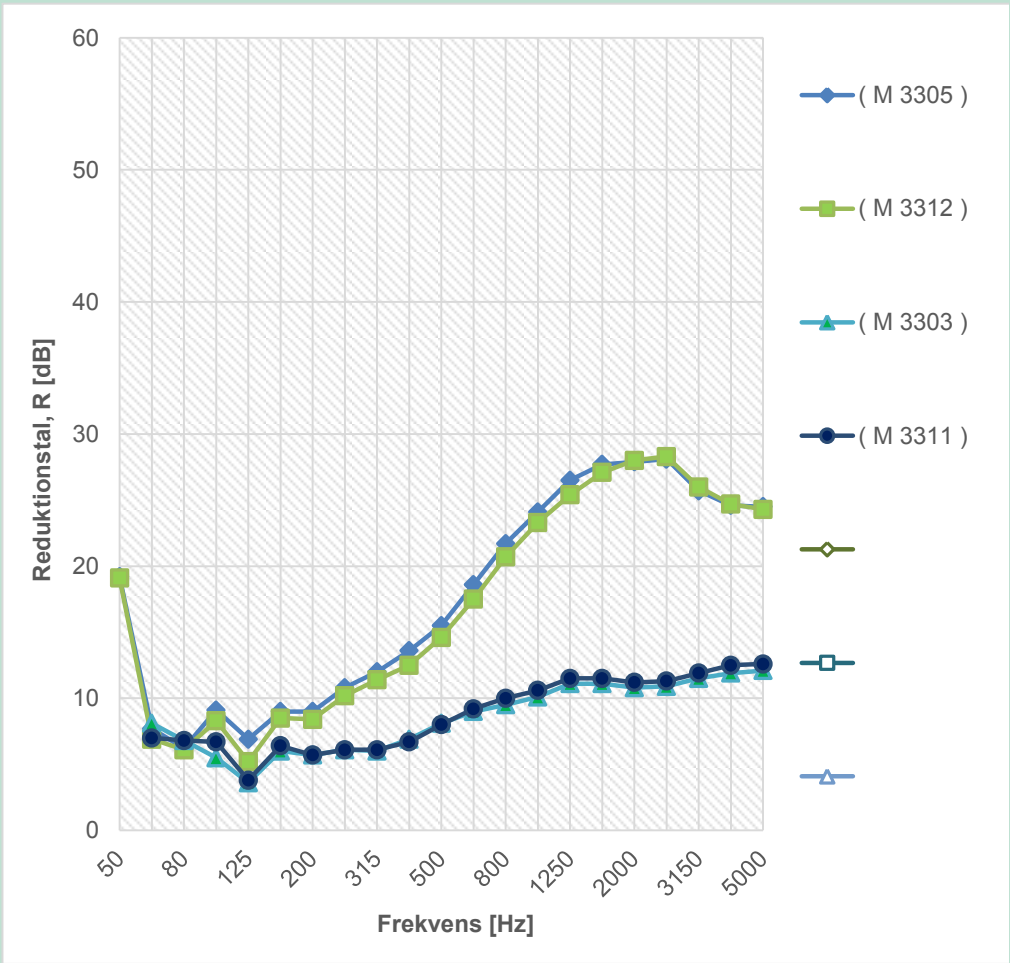
FIGUR 43. Sammenligning mellem mockup-løsning C i forlænget version og prototypeløsningen – begge påsat et "almindeligt vindue" (tofløjet, udadgående, med en ramme åben 0,35 m²).



Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse
M 3316	7	7	"Almindeligt åbent vindue" uden tilføjet mockup eller prototype
M 3215	10	9	Mockup-løsning C, forlænget, uden absorbenter
M 3303	10	9	Prototype, uden absorbenter
M 3211	22	18	Mockup-løsning C, forlænget, med absorbenter (40 mm i top, bund og sider. 20 mm v. rude)
M 3306	21	17	Prototype, med absorbenter (40 mm i top, bund og sider. 20 mm v. rude)

Det blev efterfølgende undersøgt, om lydisolationen af prototypens plademateriale har en betydning. Dette blev undersøgt ved at påsætte 3 mm bitumenplader indvendigt i prototypekonstruktionen. Resultaterne af dette er vist i FIGUR 44, hvor det kan ses, at forskellen i lydisolation med og uden bitumen er ubetydelig.

FIGUR 44. Undersøgelse af betydning af tilføjelse af bitumen på side, bund og top til proto-
typen.



Måling nr.	R _w [dB]	R _w +C _{tr} [dB]	Beskrivelse
M 3305	21	17	Uden bitumen. 40 mm absorbent i top, bund og sider
M 3312	20	16	Med bitumen. 40 mm absorbent i top, bund og sider
M 3303	10	9	Uden bitumen. Uden absorbent
M 3311	10	9	Med bitumen. Uden absorbent

9.5 Opsamling

I dette kapitel blev et tofløjet "almindeligt vindue" undersøgt med påsat udvendige lyddæmpende konstruktioner for at finde frem til en løsning, der både vil kunne bruges i situationer, hvor man ønsker en højere lydisolation ved at påsætte en konstruktion til sit eksisterende vindue (fx ved renovering), men også for ved nybyggeri at give muligheden for at fastholde "sædvanlige" vinduesdimensioner.

Tre varianter af et "almindeligt vindue" med udvendig løsning har været undersøgt i mockup-varianter, hvorefter én variant blev udvalgt og videreudviklet til en prototype:

- A. En løsning dækker vinduet og har to åbninger (Mockup)
- B. En løsning dækker vinduet og har én åbning (Mockup)
- C. En løsning sidder ved siden af vinduet og har én åbning (Mockup og prototype)

For alle løsninger er der frit udsyn igennem den samlede konstruktion lige frem, mens udsyn skråt til siden i nogen grad er begrænset. Mockup-løsningerne har alle været undersøgt i to forskellige længder for at give viden om variationsmulighederne.

En række laboratoriemålinger er blevet udført på de fire forskellige konstruktioner (tre mockup-løsninger samt en prototypeløsning), hvor en forøget lydisolation på 4-15 dB blev opnået for mockup-løsningerne (beskrevet som enkelttalsværdien R_w+C_{tr}), alt efter om absorption blev tilført eller ej.

For prototypen blev opnået en forbedring for R_w+C_{tr} på 2-11 dB afhængigt af, om der blev tilført absorption (ved sammenligning med et enkelt åbentstående vindue for både mockup-løsning og prototypeløsning).

10. Feltmåling



Illustration 10A. Foto fra feltmålingerne.

Oprindeligt var planen at udføre feltmålinger på hver af slutkonstruktionerne fra arbejdspakke 1, 2 og 3 med det formål dels at vurdere konstruktionernes lydmæssige effekt under realistiske forhold, dels sikre at der ikke forekommer væsentlige systematiske forskelle mellem laboratorieresultater og feltresultater.

For at kunne gøre dette, var det nødvendigt at finde lokationer med både det rigtige åbningshul (eller mulighed for tilpasning), højt niveau af trafikstøj og vejbaner nogenlunde parallelt med bygning. Det viste sig noget sværere end forventet. Derfor blev det besluttet at finde et byggeri med allerede installerede russervinduer, udføre feltmålinger på vinduerne (helst i flere etager) og efterfølgende udføre laboratoriemålinger på identiske vinduer. Formålet med målingerne er både at undersøge, om der forekommer væsentlige systematiske forskelle mellem laboratorieresultater og feltresultater samt at få en indikation af, om støjens indfaldsvinkel har en betydning.



Illustration 10B. Foto fra feltmålingerne, hvor målingerne på 2. sal er under udførelse (vinduet er «helt åben»). 3 mikrofoner ses placeret på vinduet.

Opgaven var derfor at finde et byggeri, der såvidt muligt opfylder følgende krav:

- Målingen kan udføres iht. DS/EN ISO 16283-3:2016
- Højt støjniveau fra trafik
- Vejbane tilnærmelsesvist parallel med byggeriet
- Frit sigt til vejbanen fra vinduet
- 1-fags russervinduer (dvs. fx ikke et kombineret vindue der både indeholder et russervindue og et fast parti)
- Færdige boliger (dvs. et lukket rum bag ved vinduet)
- Ét vindue pr. rum
- Russervinduer der kan åbnes $0,35 \text{ m}^2$
- Russervindue der er produceret af HSHansen a/s
- Russervinduer monteret i flere etager

Østergade 43-45 i Odense blev udvalgt, da det opfylder de vigtigste kriterier. Russervinduerne kunne dog ikke åbnes helt til $0,35 \text{ m}^2$, og udsyn til vejbanen er ikke helt frit, da der er enkelte store træer (en allé, se Illustration 10D). Disse kriterier er dog mindre vigtige for det primære formål.

Boligerne på Østergade 43-45 er alle indflyttede, så næste trin blev at få adgang til at udføre feltmålingerne. Det lykkedes ikke at få accept til deltagelse i stueetagen, og derfor blev målingerne kun udført for 1. sal og 2. sal.



Illustration 10C. Foto fra feltmålingerne, hvor oplukkene er åbnet så meget som muligt. De tre mikrofoner er påsat ruden.

10.1 Udførelse af feltmålinger

Målingerne blev udført over én dag i august 2016, hvor der var lav vind. Vejbanen var tør under målingerne. For hver måling passerede mindst 50 køretøjer.

Der blev udført 5 målinger:

1. 2. sal med vinduet åbnet så meget som muligt
2. 2. sal med vinduet lukket
3. 1. sal med vinduet åbnet så meget som muligt
4. 1. sal med vinduet lukket
5. 1. sal med vinduet åbnet ca. 4 cm

Når vinduerne er åbnet så meget som muligt, har det udvendige vindue et åbningsareal på ca. 0,21 m², mens det indvendige vindue har et åbningsareal på ca. 0,24 m².

Det var også ønsket at udføre målinger med en mindre åbningsgrad. Inspireret af reglerne fra Hamborg (se afsnit 6.2.1.4) blev det valgt at åbne vinduerne 4 cm. Åbning og lukning af vinduerne styres motoriseret med trykknapper, og det er derfor ikke muligt at styre lukningen af udvendigt og indvendigt opluk særskilt. Det udvendige vindue er derfor åbnet ca. 4 cm, og det indvendige vindue er åbnet ca. 6 cm. Dette giver et udvendigt åbningsareal på ca. 0,03 m² og et indvendigt åbningsareal på ca. 0,07 m².



Illustration 10D. Foto fra feltmålingerne, hvor målingerne blev udført på 1. sal. Oplukkene er åbnet "4 cm".

Målingerne blev udført som synkrone målinger med én indendørs roterende mikrofon og tre udendørs mikrofoner placeret på ruden, se Illustration 10C. Målingerne blev udført iht. DS/EN ISO 16283-3:2016 [24].

Det udendørs støjniveau målt direkte på ruden (primært fra trafik på Østergade) var ca. $L_{Aeq} = 75-77$ dB under målingerne. Trafikstøjsniveauet var derfor desværre ikke højt nok til, at målingerne med lukkede vinduer kunne udføres korrekt (for lille afstand til baggrundsstøjen), og disse målinger skal derfor udelukkende anvendes til at verificere validiteten af målingerne med vinduet åbent.

Vandret afstand fra kantsten til bygningens facade var 6,7 m ved vinduet til 2. sal og 7,3 m ved vinduet til 1. sal (de to vinduer er placeret i forskellige opgange). Vejbredden var 10 m. Der er ca. 16,5 m imellem træerne.

Vinduet på 1. sal (bunden) var 3,3 m over terræn, mens vinduet på 2. sal (bunden) var 6,3 m over terræn, se Illustration 10C. Vinduets dimensioner er (bredde x højde): 910 mm x 2155 mm. Der er 32 cm mellem ruderne i den indvendige del og den udvendige del. Rummet bagved vinduet har et volumen på ca. 15 m^3 og var i begge tilfælde møbleret – efterklangstiden blev målt og korrigeret herfor.

Der var anvendt absorberende materiale i karmen (inde i vinduet) i top og sider, mens bunden ikke var absorberende (20 mm SUND®).

10.1.1 Resultater

Resultatet af feltmålingerne er vist i FIGUR 45. Ved målingerne med "helt åbne" vinduer er afstanden til baggrundsstøj tilstrækkelig, mens der ved målingen med "4 cm" åbne vinduer ikke er tilstrækkelig afstand til baggrundsstøjen i frekvensområderne 315-500 Hz samt 3150-5000 Hz, og værdierne i disse frekvensområder skal derfor ses som minimumsværdier.

FIGUR 45. Udførte feltmålinger. Målinger med lukkede opluk har betydelige problemer med baggrundsstøj og er udelukkende medtaget her for at give en idé om betydningen af baggrundsstøj.



Måling nr.	R'_w	$R'_w + C_{tr}$	Beskrivelse
M 4001	23	21	2. sal. Åbnet udvendig 0,21 m ² og indvendig 0,24 m ² .
M 4002	40	38	2. sal. Lukket.
M 4003	25	23	1. sal. Åbnet udvendig 0,21 m ² og indvendig 0,24 m ² .
M 4004	40	37	1. sal. Lukket.
M 4005	30	27	1. sal. Åbnet udvendig 0,03 m ² og indvendig 0,07 m ² .

For målingerne med "helt åbne" opluk kan det ses, at kurverne ved de øverste frekvenser (fra 800 Hz) er tilnærmelsesvist parallelle for hhv. målingerne på 1. og 2. sal. For de midterste frekvenser (250-800 Hz) er kurverne nogenlunde sammenlignelige, mens kurverne for de laveste frekvenser (under 250 Hz) varierer lidt i forhold til hinanden. Generelt er lydisolationen højest for målingen i 1. sals højde, hvilket også kan ses på enkeltalsværdierne, hvor der er en forskel på 2 dB for både R_w og $R_w + C_{tr}$.

Som forventet kan det desuden ses, at lydisolationen er højere (4-5 dB alt efter om det er R_w eller $R_w + C_{tr}$) for den måling, hvor oplukkene er mere lukkede (åbningsarealerne mindre). Det gælder generelt for hele kurven (bortset fra de laveste frekvenser), men er mest udtalt for de højeste frekvenser.

10.2 Udførsel af laboratoriemålinger

Formålet med laboratoriemålingerne er principielt set at efterligne feltmålingerne i laboratoriet. En kopi af vinduerne fra feltmålingerne er derfor blevet produceret, og der er blevet opbygget en testvæg i laboratoriet som en dobbelt gipspladevæg med samme tykkelse som facademuren fra feltmålingerne, hvori vindueskopien monteres. Efterfølgende er der udført en række laboratoriemålinger, se Bilag 2.



Illustration 10E. Foto fra laboratoriemålingerne taget fra indvendig side. Oplukkene er "helt åbne".

Udover forskellene i situation (diffus felt versus frit felt) er der en del øvrige forhold, der ikke er ens:

- Afstand mellem udvendigt opluk og terræn/gulv
- Afstand mellem indvendigt opluk og loft
- Størrelse af rummene hvor målingerne er udført
- Efterklangstid i rummene

I laboratoriet er der på udvendig side 38 cm mellem bunden af vinduet og betongulvet (6,7-7,3 m ved feltmålingerne). På indvendig side i laboratoriet sidder den opbyggede væg i en forskudt åbning, dvs. at der er 21,5 cm til en 17 cm dyb betonkant, mens der er samlet 49 cm til loftet fra toppen af vinduet, se Illustration 10E (ved feltmålingerne var der ca. 47 cm mellem toppen af vinduet og loftet). Det indvendige rum i laboratoriet er 50,7 m³ (rummet, hvor der er målt ved feltmålingerne, er ca. 15 m³). For både feltmålinger og laboratoriemålinger er der korrigeret for efterklangstiden. Efterklangstid ved feltmålingerne er ca. 0,5 s, og efterklangstiden ved laboratoriemålingerne er ca. 1,6 s.



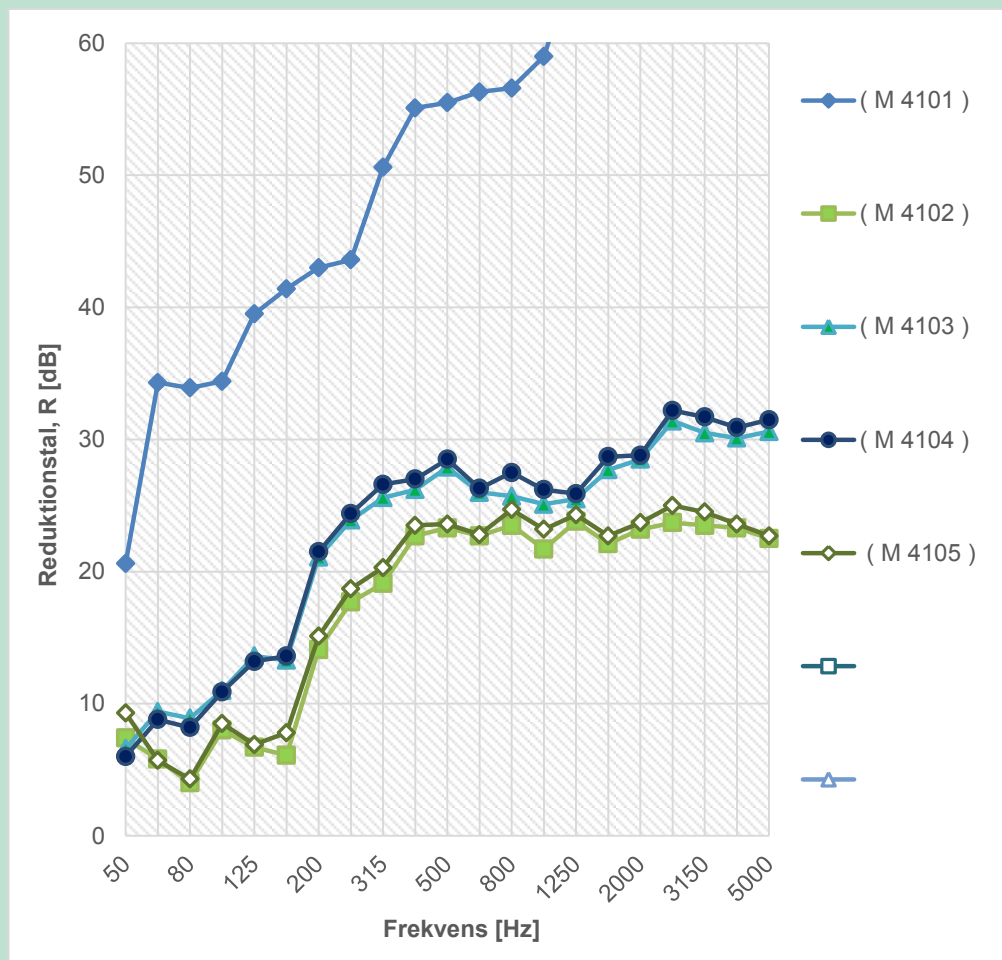
Illustration 10F. Foto fra laboratoriemålingerne taget fra udvendig side. Venstre foto viser oplukkene "helt åbne", mens højre foto viser oplukkene "4 cm" åbne.

10.2.1 Resultater af laboratoriemålinger til sammenligning med feltmålingerne

Resultaterne af laboratoriemålingerne er vist i FIGUR 46, hvor også resultaterne med lukkede opluk er vist orienterende. Flanketransmission er ikke bestemt for væggen, og subjektivt bedømt er der et bidrag fra den omkringliggende væg, der er opbygget som en dobbeltkonstruktion med tre lag gipsplade samt et lag fibergips på hver side. Resultaterne med lukkede opluk bør derfor betragtes som minimumsværdier.

For åbne opluk er der udført 2x2 målinger; dvs. målinger for begge anvendte åbningsindstillinger samt både med og uden 20 mm karmabsorbent placeret øverst i hulrummet mellem udvendig og indvendig vindueskonstruktion.

FIGUR 46. Udførte laboratoriemålinger til sammenligning med feltmålingerne.



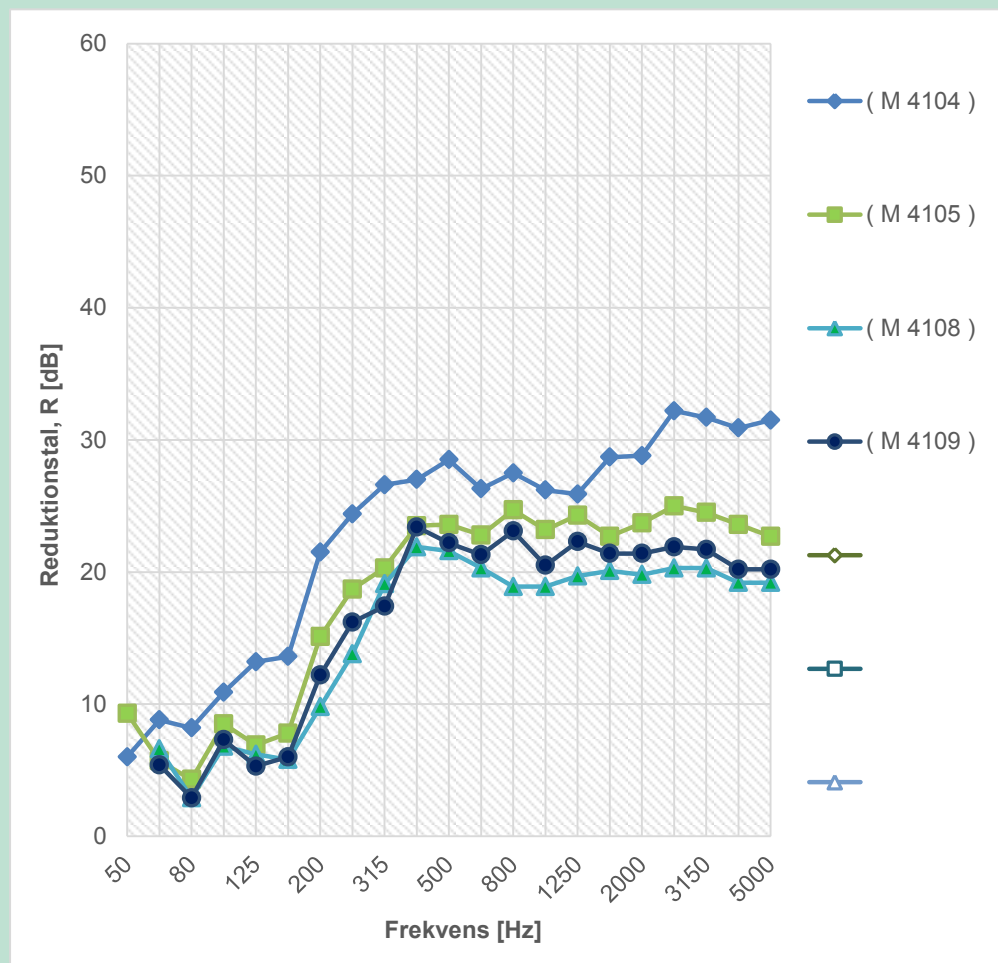
Måling nr.	R_w	R_w+C_{tr}	Beskrivelse
M 4101	57	50	Lukket. Uden 20 mm absorbent i toppen.
M 4102	23	19	Åbnet udvendig 0,21 m ² og indvendig 0,24 m ² . Med 20 mm absorbent i siderne. Uden 20 mm absorbent i toppen
M 4103	27	24	Åbnet udvendig 0,03 m ² og indvendig 0,07 m ² . Med 20 mm absorbent i siderne. Uden 20 mm absorbent i toppen
M 4104	28	24	Åbnet udvendig 0,03 m ² og indvendig 0,07 m ² . Med 20 mm absorbent i siderne og toppen
M 4105	24	19	Åbnet udvendig 0,21 m ² og indvendig 0,24 m ² . Med 20 mm absorbent i siderne og toppen

Effekten af at tilføje absorbent i toppen ses kun at have en ganske lille effekt, primært i frekvensområdet over 200 Hz. For enkelttalsværdierne giver tilføjelsen af absorbent i toppen en forbedring på 1 dB for R_w , hvorimod R_w+C_{tr} er uændret.

Det kan – som forventet – ses, at jo mindre åbningsareal jo højere lydisolation, hvilket gælder for næsten alle frekvenser. For enkelttalsværdierne betyder begrænsningen i åbningsareal en forbedring på 4 dB for R_w , mens R_w+C_{tr} forøges 5 dB.

10.2.2 Resultater af yderligere laboratoriemålinger

FIGUR 47. Sammenligning af åbningsarealer. Alle målinger med 20 mm absorbent i toppen.



Måling nr.	R_w	R_w+C_{tr}	Beskrivelse
M 4104	28	24	Åbnet udvendig 0,03 m ² og indvendig 0,07 m ² .
M 4105	24	19	Åbnet udvendig 0,21 m ² og indvendig 0,24 m ² .
M 4108	20	17	Åbnet udvendig 0,35 m ² og indvendig 0,37 m ² . (åbnet så meget som det er fysisk muligt)
M 4109	21	18	Åbnet udvendig 0,35 m ² og indvendig 0,35 m ² ("skrå position").

Udover målinger sammenlignelige med feltmålingerne blev også udført målinger med et åbningsareal på 0,35 m². Når oplukkene åbnes så meget, som det er fysisk muligt, se fotos i Illustration 10G og 10H, så er åbningsarealet ca. 0,35 m². Et åbningsareal på 0,35 m² kan også findes med oplukkene i en "skrå position", se ligeledes Illustration 10G og 10H. Begge konfigurationer er målt og vist på FIGUR 47 sammen med de to mindre åbningsarealer fra tidligere. Det kan ses, at der er en tydelig forskel på de to indstillinger for 0,35 m² (ca. 1 dB forskel), og det kan konkluderes, at åbningsvinkel for oplukkene er mindst lige så vigtigt som åbningsareal.

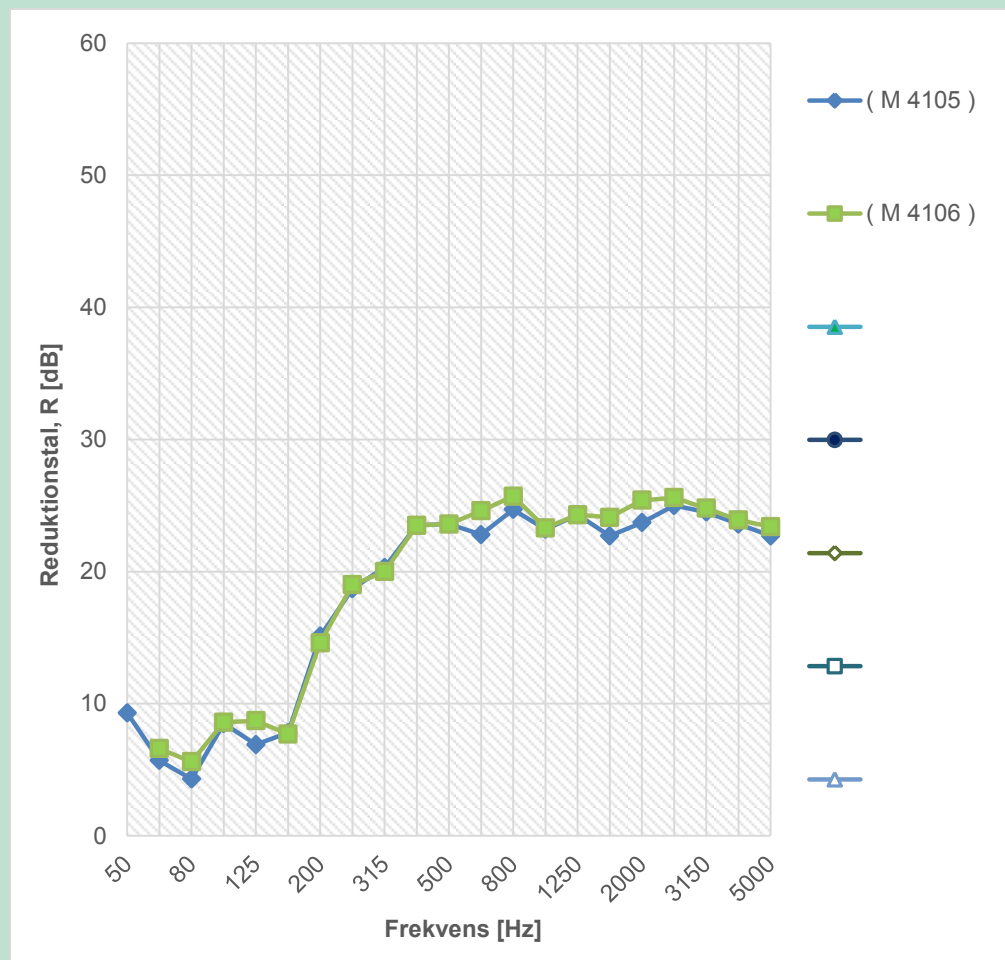


Illustration 10G. Foto fra laboratoriemålingerne taget fra indvendig side. Venstre foto viser oplukket åbent så meget som muligt, mens højre foto viser oplukket i en "skrå position". I begge situationer er åbningsarealet ca. 0,35 m².



Illustration 10H. Foto fra laboratoriemålingerne taget fra udvendig side. Venstre foto viser oplukket åbent så meget som muligt, mens højre foto viser oplukket i en "skrå position". I begge situationer er åbningsarealet ca. 0,35 m².

FIGUR 48. Undersøgelse af betydning af sprækken ved hængslerne.



Måling nr.	R_w	R_w+C_{tr}	Beskrivelse
M 4105	24	19	Sprække på ca. 6 mm i udvendig side og ca. 3 mm i indvendig side.
M 4106	24	20	Sprække tillukket med mineraluld og dækket med tape

I toppen af det udvendige tophængte opluk og i bunden af det indvendige bundhængte opluk er der en lille luftsprække, der bliver større, jo mere oplukket åbnes, se Illustration 10I. Den lydisolationsmæssige effekt ønskes klarlagt, og sprækkerne blev derfor tildækket, og lydisolationen målt. Dette blev gjort, ved at hulrummet bag sprækken blev fyldt med mineraluld og sprækken dernæst tildækket med lærredstape. FIGUR 48 viser resultat af denne sammenligning. Som det kan ses, er der kun en lille lydisolationsmæssig betydning af sprækken.

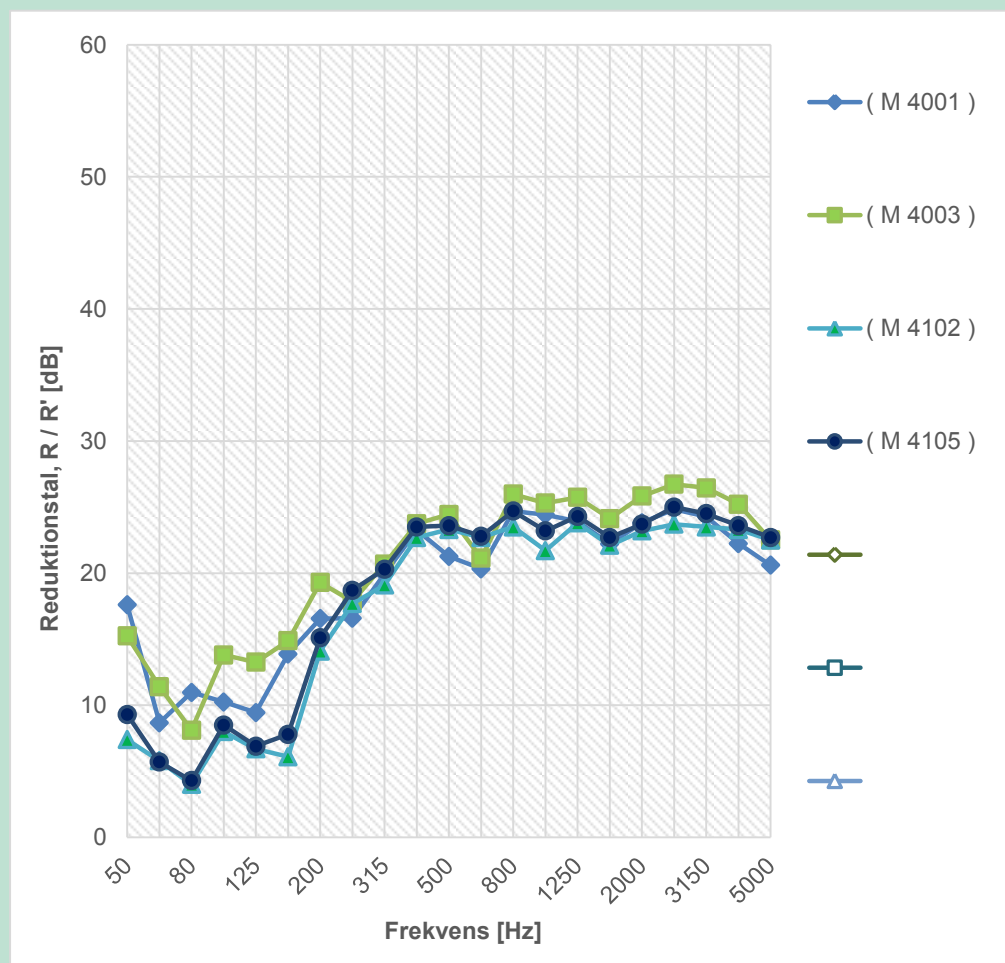


Illustration 10I. Foto fra laboratoriemålingerne taget fra udvendig side. Fotoet viser en sprække øverst ved oplukket, når oplukket åbnes.

10.3 Sammenligning af feltmålinger og laboratoriemålinger

FIGUR 49 viser en sammenligning af feltmålinger og laboratoriemålinger, hvor oplukkene åbnes så meget, som det var muligt at åbne dem under feltmålingerne. Det kan ses, at lydisolationen er højest for feltmålingerne for frekvenser under 250 Hz. I det øvrige frekvensområde er lydisolationen tilnærmelsesvist sammenlignelig med en tendens til højere lydisolation for feltmålingerne for frekvenser over 800 Hz. For enkelttalsværdierne er R_w -værdierne også tilnærmelsesvist sammenlignelige (23-25 dB for feltmålingerne og 23-24 dB for laboratoriemålingerne), mens der er en noget større forskel for R_w+C_{tr} -værdierne (21-23 dB for feltmålingerne og 19 dB for laboratoriemålingerne).

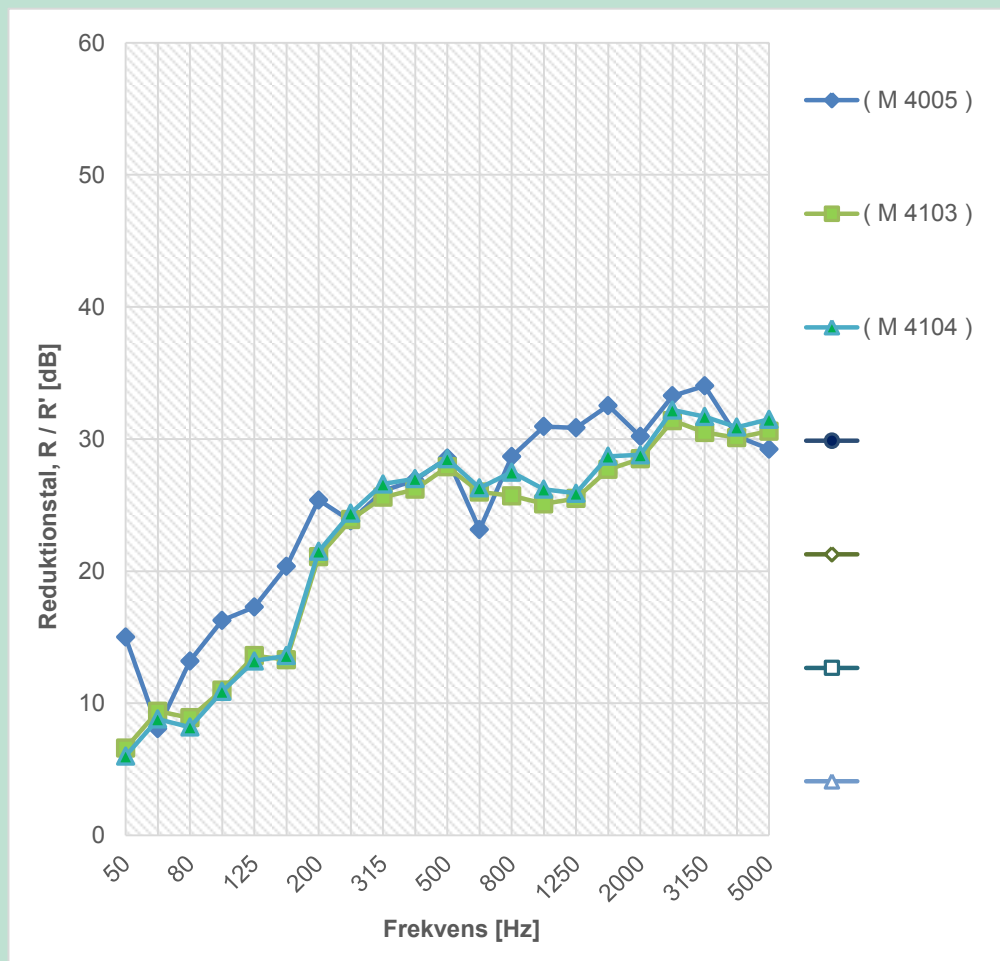
FIGUR 49. Sammenligning af feltmåling og laboratiormålinger. Alle åbnet "helt åben" (Ud-
vendigt åbningsareal på 0,21 m² og indvendigt åbningsareal på 0,24 m²).



Måling nr.	R_w / R'_w	$R_w + C_{tr} / R'_w + C_{tr}$	Beskrivelse
M 4001	23	21	Feltmåling. 2. sal.
M 4003	25	23	Feltmåling. 1. sal.
M 4102	23	19	Laboratiormåling. Uden 20 mm absorbent i toppen.
M 4105	24	19	Laboratiormåling. Med 20 mm absorbent i toppen

FIGUR 50 viser en sammenligning af feltmålinger og laboratiormålinger med oplukkene åbnet ca. 4 cm. Det kan ses, at lydisolationen er højest for feltmålingerne for frekvenser under 250 Hz og i frekvensområdet 800 Hz til 2000 Hz. I det øvrige frekvensområde er lydisolationen tilnærmelsesvist sammenlignelig. For enkelttalsværdierne er lydisolationen et par dB højere for feltmålingerne end laboratiormålingerne, for både R_w -værdierne og $R_w + C_{tr}$ -værdierne ($R_w = 30$ dB for feltmålingerne og $R_w = 27$ -28 dB for laboratiormålingerne samt $R_w + C_{tr} = 27$ dB for feltmålingerne og $R_w + C_{tr} = 24$ dB for laboratiormålingerne).

FIGUR 50. Sammenligning af feltmåling og laboratoriemålinger. Alle åbnet "4 cm" (Udvendigt åbningsareal på 0,03 m² og indvendigt åbningsareal på 0,07 m²).



Måling nr.	R_w / R'_w	$R_w + C_{tr} / R'_w + C_{tr}$	Beskrivelse
M 4005	30	27	Feltmåling. 1. sal.
M 4103	27	24	Laboratiormåling. Uden 20 mm absorbent i toppen.
M 4104	28	24	Laboratiormåling. Med 20 mm absorbent i toppen.

10.4 Opsamling

Det ser ud til, at lydisolationen generelt forøges ved feltmålinger frem for laboratiormålinger – specielt for det lavfrekvente frekvensområde (her op til 200 Hz). En forklaring på dette kunne være forskellen i lydindfald. I laboratoriet er lydfeltet diffust, hvilket betyder, at lyden kommer fra alle retninger (oppefra, nedefra, fra siden osv.), mens lyden i felten primært udbredes skråt nedefra (dækstøj og motorstøj).

Forskellen mellem feltmålinger og laboratiormålinger angivet som $R_w + C_{tr}$ er 3-4 dB, hvor feltmålingerne viser en højere lydisolation end laboratiormålingerne. Det kan ikke afvises, at forskellen kunne være større ved andre vinduestyper fx ved vinduestyperne anvendt i arbejds-pakke 2 og 3, da åbningerne her er i siden og ikke i bunden.

Ved sammenligning af de to feltmålinger på hhv. 1. og 2. sal med "helt åbne" opluk konstateres en forskel på 2 dB ved både R_w og $R_w + C_{tr}$, idet resultatet på 2. sal viser den laveste lydisolati-

on.

Det kunne tyde på, at jo større indfaldsvinkel for lyden (her defineret som vinklen mellem vandret og linjen mellem vejen og vinduet), jo lavere lydisolations. Forskellen i vinduets lydisolations afhængig af støjens indfaldsvinkel er, i et andet projekt, forsøgt simuleret i det rumakustiske simuleringsværktøj ODEON. Simuleringerne bekræfter delvist resultaterne fundet ved feltmålingerne, dvs. at specielt den højfrekvente lydisolations falder når støjens indgangsvinkel stiger. Resultatet er publiceret i et paper præsenteret ved INTERNOISE i San Francisco, 2015 [33].

11. Måling på traditionelle åbne vinduer og udvalgte hovedresultater fra projektet



Illustration 11A. Vindueselementet anvendt til laboratoriedelen af kapitel 10.

Formålet med dette kapitel er at sammenstille forskellige i laboratoriemålte lydisolationsværdier for traditionelle åbne vinduer med forskellig udformning og udvalgte resultater fra projektet.

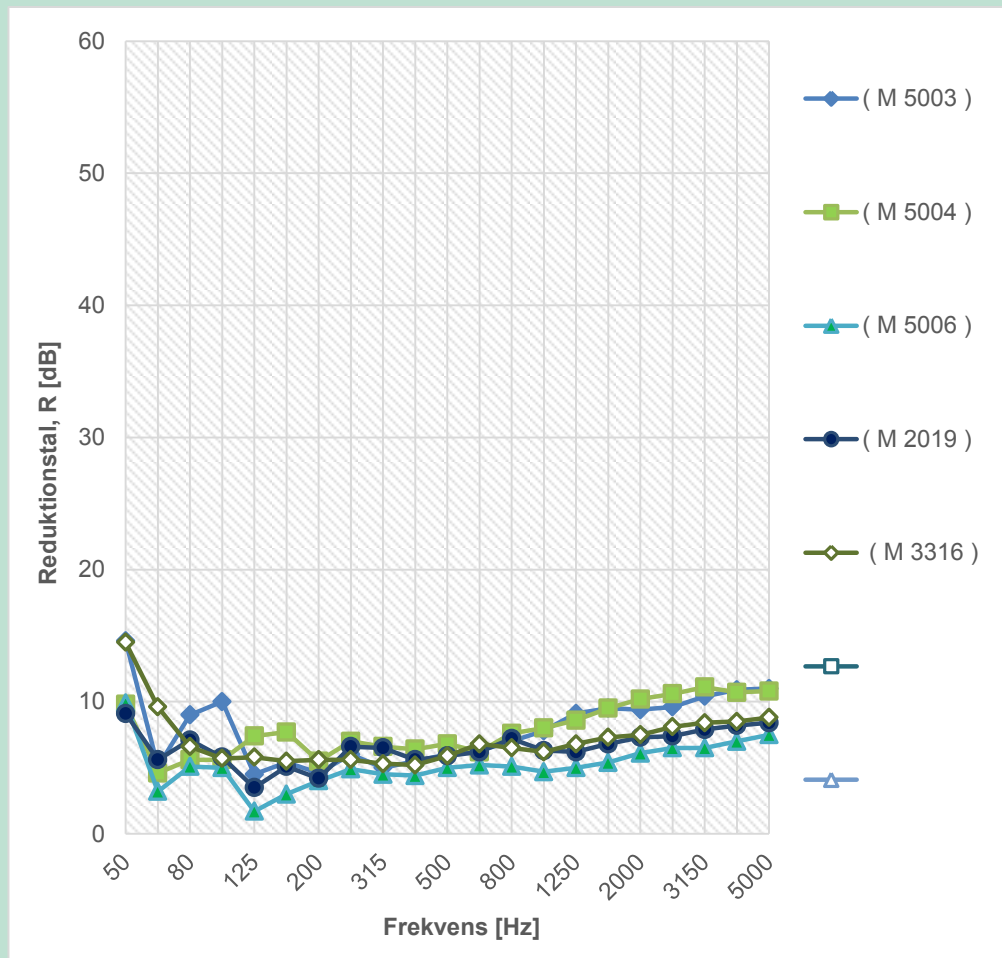
11.1 Traditionelle åbne vinduer

Lydisolationen for forskellige traditionelle vinduer i standardformat (1230 mm x 1480 mm) er blevet målt i laboratoriet. Fotos af vinduerne er vist i Illustration 11B, og resultatet af målingerne er vist i FIGUR 51. Alle vinduer var åbnet så det samlede åbningsareal var $0,35 \text{ m}^2$. Lydisolationen er mellem 6-9 dB for R_w og 5-8 dB for R_w+C_{tr} .



Illustration 11B. Fotos af de traditionelle åbne vinduer vist i FIGUR 51. Alle fotos bortset fra M 5006 er taget fra indvendig side, mens at M 5006 er taget fra udvendig side.

FIGUR 51. "Almindelige, åbne vinduer", se Illustration 11A.



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse
M 5003	8	7	Indadgående, sidehængt
M 5004	9	8	Udadgående, topstyret
M 5006	6	5	Dannebrogsvindue, udadgående, sidehængt
M 2019	7	6	Tofløjet, udadgående, rammerne hængslet i lodpost
M 3316	7	7	Tofløjet, udadgående, rammerne hængslet i siderne

11.2 Udvalgte resultater fra projektet

I FIGUR 52 er udvalgte resultater fra projektet (alle med et åbningsareal på 0,35 m²) sammenstillet for at give et overordnet overblik over fundne løsninger og tilhørende lydisolation.

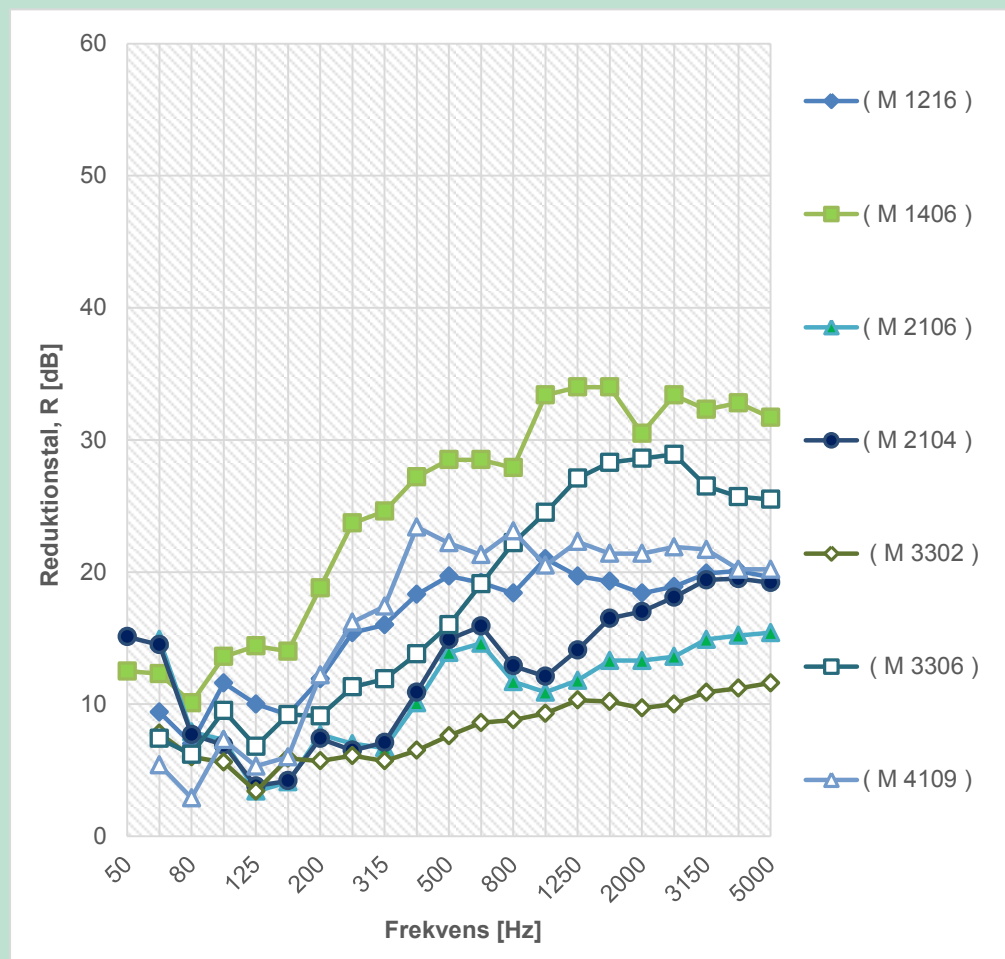
De anvendte vinduestyper var:

1. Videreudvikling af "russervinduet"
2. "Almindeligt vindue" med indvendig løsning
3. "Almindeligt vindue" med udvendig løsning

Vinduestype 1 har dimensionerne (bredde x højde) 1250 mm x 2100 mm. Vinduestype 2 og 3 har dimensionerne 1230 mm x 1480 mm (standardformat), mens feltmålingselementet (Russer-

vindue) har dimensionerne 910 mm x 2155 mm. De måleresultater, der er vist, er for konstruktioner hhv. med og uden absorbent. For arbejds pakke 2 og 3 er de viste resultater for prototype løsninger. For alle løsninger gælder, at de viste målinger er de bedst opnåelige, samtidig med at de 0,35 m² overholdes, og glaspartierne er ikke dækket af en absorbent.

FIGUR 52. Udvalgte resultater fra projektet.



Måling nr.	R_w [dB]	R_w+C_{tr} [dB]	Beskrivelse
M 1216	19	18	Vinduestype 1 uden karmabsorbent, se kapitel 7
M 1406	30	26	Vinduestype 1 med karmabsorbent, se kapitel 7
M 2106	13	11	Vinduestype 2 uden karmabsorbent, se kapitel 8
M 2104	15	12	Vinduestype 2 med karmabsorbent, se kapitel 8
M 3302	9	8	Vinduestype 3 uden absorbent, se kapitel 9
M 3306	21	17	Vinduestype 3 med absorbent, se kapitel 9
M 4109	21	18	Feltmålingselement, se kapitel 10

Det ses af målingerne, at der er et stort spænd mellem de opnåelige værdier, hvilket er som forventet ud fra projektets formål. Der er her fundet løsninger, der giver tre forskellige reduktionsstal, men som er fordelt jævnt fra en R_w+C_{tr} på 12 dB (vinduestype 2) til en på 26 dB (vinduestype 1) med en løsning midtvejs på 17 dB (vinduestype 3).

12. Konklusion

Med afsæt i et tidligere projekt om "russervinduer" ("Lydmæssig optimering af "Russervinduer") [1] og et stigende behov for viden om lydisolation for åbentstående vinduer er der gennemført et projekt med titlen "Åbne vinduer med god lydisolation". Overordnet undersøges tre forskellige vinduestyper; I) Videreudvikling af "russervinduet" II) "Almindeligt vindue" med indvendig løsning og III) "Almindeligt vindue" med udvendig løsning.

Der er udført en indledende litteratursøgning for hver af de tre vinduestyper. For videreudvikling af "russervinduet" har der været et øget fokus mod studier/metoder, der omhandler lavfrekvent lydisolation. Der er fundet frem til forskellige metoder baseret på resonatorer. Fælles for disse er, at de omhandler helt lukkede dobbeltkonstruktioner. Desuden er der fundet andre lignende vinduer f.eks. Hafencity Fenster [22] og Plenum Window [14]. For førstnævnte reference gælder, at åbningsarealet er betydeligt mindre end anvist i Danmark. Sidstnævnte reference er et studie i betydningen af støjens indgangsvinkel foretaget på en skaleret model. For de to andre vinduestyper ("Almindeligt vindue" med indvendig løsning og "Almindeligt vindue" med udvendig løsning) er der fundet litteratur, der beskriver forskellige lydskoddeløsninger heriblandt Margretheholm [15] og Folehaven [16].

Der er gennemført et betydeligt antal laboratorieforsøg med de forskellige vinduestyper, både som mockup-løsninger og som mere færdige prototype-løsninger samt enkelte feltmålinger. Denne rapport redegør for de udførte målinger og afledte konklusioner.

I lighed med tidligere studier ses lydisolationen for vinduestyperne bl.a. at være afhængig af dimensioner, åbningsareal og placering af absorbent.

Formålet ved at undersøge tre forskellige vinduestyper er at finde alternativer til et almindeligt åbent vindue, der både spænder bredt lydisolationsmæssigt, men også spænder bredt i forhold til dimensioner, placering af absorbenter og konstruktionsmæssige tilføjelser såsom en udvendig løsning.

Der er udviklet en optimeret udgave af "russervinduet", her med specielt fokus på lydisolation for det lavfrekvente frekvensområde. I modsætning til tidligere er der udviklet perforerede karme, som er tunet til specifikt at håndtere den lavfrekvente del af spektret.

Det konstateres, at der med de perforerede plader er opnået en forbedret lydisolation ved de lavere frekvenser og højere enkelttalsværdier, hvor der i bedste tilfælde er opnået R_w på 30 dB og R_w+C_{tr} på 26 dB.

Der er udviklet et vindue, der passer i et almindeligt vindueshul med en indvendig løsning. Med reference i et enkelt vindue ses forbedringer i flere step: først ved tilføjelse af et ekstra vindue (dvs. en samlet dobbeltkonstruktion), dernæst ved tilføjelse af et skydevindue i hulrummet og til sidst ved at tilføje absorption i karmkonstruktionen. Den tydeligste forbedring opnås ved skiftet fra enkeltkonstruktion til dobbeltkonstruktion. Tilføjelse af et flytbart element inde i dobbeltkonstruktionen bidrager også til den samlede stigning i reduktionstallet, særligt hvis også absorption tilføjes i dobbeltkonstruktionen. Målet med konstruktionen var at øge lydisolationen ca. 5 dB sammenlignet med et almindeligt åbent vindue. For løsningen er der opnået en R_w på 15 dB og en R_w+C_{tr} på 12 dB, hvilket er en samlet forbedring for R_w på 8 dB og for R_w+C_{tr} på 5 dB i forhold til et almindeligt åbent vindue.

Der er udviklet et vindue, der passer i et almindeligt vindueshul med en udvendig løsning, og dermed ikke nødvendigvis fordrer, at der foretages ændringer på vindueshullet eller vinduet.

Løsningen er baseret på en udvendig konstruktion i form af en påmonteret lydsluse, der har forbindelse til en vinduesramme, der åbnes ud i slusen. Med det optimale setup af absorberer i lydslusen opnås der en lydisolation i form af R_w på 21 dB og R_w+C_{tr} på 17 dB, hvilket er en forbedring for R_w på 14 dB og for R_w+C_{tr} på 11 dB i forhold til et almindeligt åbent vindue.

Der er udført sammenlignende felt- og laboratoriemålinger på et russervindue for at undersøge eventuelle forskelle mellem disse. Der ses en højere lydisolation for feltmålingerne end laboratoriemålingerne, specielt for frekvenser under 250 Hz. Forskellen i R_w+C_{tr} er 2-4 dB. En forklaring kunne være forskellen i lydindfald, og det kan derfor ikke afvises, at forskellen kunne være større ved vinduestyper, hvor åbningen i konstruktionen ikke vender mod støjekilden.

For det samlede projekt kan det konkluderes, at der er undersøgt tre vinduestyper, der spænder vidt i både lydisolation, dimensioner og konstruktion/løsningsprincip. For de tre vinduestyper er opnået en laboratoriemålt lydisolation for R_w+C_{tr} på hhv. 26, 12 og 17 dB, hvor et almindeligt åbent vindue har en lydisolation for R_w+C_{tr} på 5-8 dB.

Bilag 1. Referencer

- [1] ”Lydmæssig optimering af ’Russervinduer’ ”, L. S. Søndergaard, H. S. Olesen, DELTA, 2012.
- [2] ”Designguide for bestemmelse af ”russervinduers” lydisolation”, L. S. Søndergaard, H. S. Olesen, DELTA, 2012.
- [3] ”Russervinduer - Spørgeskemaundersøgelse og lydmålinger af Russervinduer monteret i Kollektivhuset, Hans Knudsens Plads 1, 1. sal, København”, L. S. Søndergaard, H. S. Olesen, Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 1609, 2014, 2012.
- [4] ” Effectiveness of T-shaped acoustic resonators in low-frequency sound transmission control of a finite double-panel partition”, Deyu Li, Xiao-Hong Zhang, Li Cheng, Ganghua Yu, Department of Mechanical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong SAR, China, Journal of Sound and Vibration, May 2010.
- [5] Ph.D. Thesis “Acoustic resonators for noise control in enclosures: Modeling, design and optimization”, Ganghua Yu, Department of Mechanical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, November 2008.
- [6] “Location optimization of a long T-shaped acoustic resonator array in noise control of enclosures”, Ganghua Yi, Li Cheng, Department of Mechanical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong SAR, China, Journal of Sound and Vibration, July 2009.
- [7] “On the design of long T-shaped acoustic resonators”, D. Li, J.S. Vipperman, Journal of Acoustical Society of America.
- [8] “Noise control in enclosures: Modeling and experiments with T-shaped acoustic resonators”, D. Li, L. Cheng, G.H. Yu, Department of Mechanical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong SAR, China, J. S. Vipperman, Department of Mechanical Engineering and Materials Science, University of Pittsburgh, Pennsylvania, The Journal of the Acoustical Society of America, November 2007.
- [9] “Design and resonant frequency prediction for long T-shaped acoustic resonators”, D. Li, J.S. Vipperman, Department of Mechanical Engineering, University of Pittsburgh, Pennsylvania, The Journal of the Acoustical Society of America, 2003.
- [10] “Control of sound transmission through double wall partitions using optimally tuned Helmholtz resonators”, Stanislaw Pietrzko, Qibo Mao, Materials Science & Technology, EMPA, Dübendorf, Switzerland, ISMA 2006.
- [11] “Dual Helmholtz resonator”, M.B. Xu, A. Selamet, H. Kim, Department of Mechanical Engineering and The Center for Automotive Research, The Ohio State University, Columbus, United States, Applied

Acoustics, May 2010.

- [12] "The acoustic performance of ventilated window with quarter-wave resonators and membrane absorber", Z.H. Wang, C.K. Hui, C.F. Ng, Department of Civil and Environmental Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, Applied Acoustics, September 2013.
- [13] "Untersuchung der Schalldämmung von gekippten Einzel- Und Doppelfenstern. Sog. HafenCity –Fenster sowie Fenster mit schallabsorbierenden Laibungs- und Sturzverkleidungen", F. Arnhold, B. Kögel, Zeitschrift für Akustik, Schallschutz und Schwingungstechnik, 2012
- [14] "Acoustical insertion loss of plenum window at different sound incidence angles", Y.G Tong, S.K. Tang, Department of Building Services Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China, ICA 2010, August 2010.
- [15] "Lydskodder til afskærmning mod støj fra virksomheder", L. R. Villefrance, Lloyds Register ODS, 2011.
- [16] "Evaluering af støjprojekt i folehaven" Københavns kommune, Teknik & Miljøforvaltningen, 2011.
- [17] "Erfaringer med lydisolerende åbne vinduer i trafikstøjbelastede boligområder", B. Rasmussen, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, SBI 2015:08, 2015
- [18] Rasmussen, B. (2015). Experiences with sound insulating open windows in traffic noise exposed housing. In C. Burroughs, & G. Maling (Eds.), Proceedings of Inter-Noise 2015. [Paper 833] Institute of Noise Control Engineering of the USA, Inc..
- [19] "Modeling and simulation of windows with noise mitigation and natural ventilation", X. Yu, F. CUI, S. Tan and K. Yao, Proceedings of Inter-Noise 2016. [Paper 1167]
- [20] Orientering fra Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger nr. 46/2012: "Indendørs støjniveau med åbne vinduer".
- [21] "Ny national kortlægning af vejstøj", Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 2/2010
- [22] "Hamburger Leitfaden - Lärm in der Bauleitplanung 2010"
- [23] "Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application", Trevor J. Cox and Peter D'Antonio, 2009 CRC press, ISBN 9780415471749
- [24] DS/EN ISO 16283-3:2016 Akustik - Feltmåling af lydisolation i bygninger og af bygningselementer - Del 3: Facaders lydisolation
- [25] DS/EN ISO 10140-1:2010 Akustik – Laboratiormåling af bygningselementers lydisolation – Del 1: Produktspecifikke prøvningsprocedurer
- [26] DS/EN ISO 10140-2:2010 Akustik – Laboratiormåling af bygningselementers lydisolation – Del 2: Måling af luftlydisolation
- [27] DS/EN ISO 10140-4:2010 Akustik – Laboratiormåling af bygningselementers lydisolation – Del 4: Måleprocedurer og krav

- [28] DS/EN ISO 10140-5:2010 Akustik – Laboratoriemåling af bygningselementers lydisolation – Del 5: Krav til prøvningsfaciliteter og -udstyr
- [29] DS/EN ISO 717-1:1997 Akustik – Vurdering af lydisolation i bygninger og af bygningsdele – Del 1: Luftlydisolation
- [30] ”Støj fra veje”, Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 4 2007
- [31] “Investigation of sound insulation for a Supply Air Window”, L. S. Søndergaard and H. S. Olesen, Forum Acusticum 2011, DELTA
- [32] “Investigation of sound insulation for a Supply Air Window – field measurements and occupant response”, L. S. Søndergaard and S. V. Legarth, Internoise 2014, DELTA
- [33] ”Investigating the impact of noise incidence angle on the sound insulation of a supply air window”, M. B. Hansen, Internoise 2015, DELTA.

Bilag 2. Om laboratoriemålingerne

Målerum

Alle laboratoriemålinger er udført i DELTA's målerum på Teknologisk Institut, Aarhus. Målefaciliteterne omfatter tre rum på række: et senderum i midten og et modtagerum på hver side af senderummet. Illustration B1 viser et vandret snit i målerummene, hvor rum 1 er senderummet og rum 2 og 3 modtagerummene. I Illustration B2 vises et lodret snit i målerummene. Måleåbningen mellem rum 1 og 2 har dimensionerne 2120 mm x 1250 mm, mens åbningen mellem rum 1 og 3 har dimensionerne 4210 mm x 2600 mm. Rum 1, 2 og 3 har volumen henholdsvis 117,7 m³, 64,8 m³ og 50,7 m³. Målerummene opfylder alle krav i DS/EN ISO 10140-5, reference [28].

Den store måleåbning mellem rum 1 og 3 er tilpasset vinduernes dimensioner ved opbygning af lette vægkonstruktioner med høj lydisolation, i hvilken vinduesåbningen er etableret. Tykkelsen af de to konstruktioner er hhv. ca. 220 mm og ca. 320 mm.

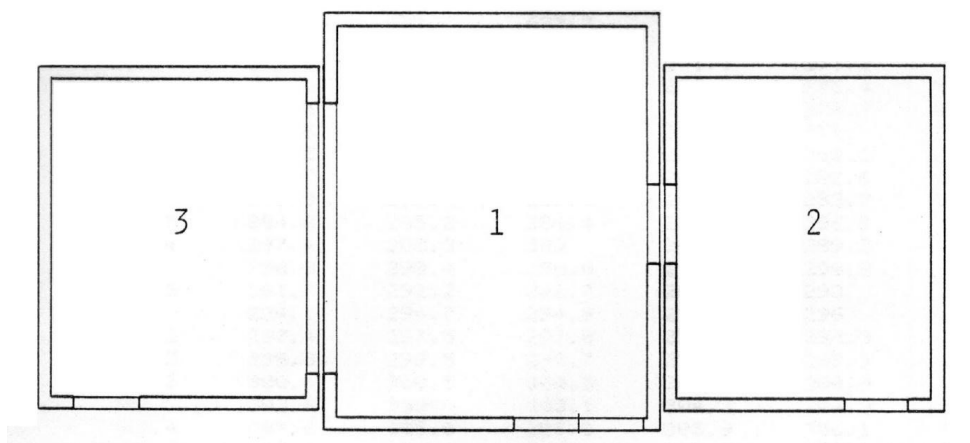


Illustration B1. Vandret snit i målerummene.

Målestørrelser

Måling af vinduers lydisolation i laboratorium udføres i henhold til "DS/EN ISO 10140-serien "Akustik-Laboratoriemåling af bygningselementers lydisolation", reference [25] til [28].

Målingerne udføres normalt i 1/3-oktavbånd i frekvensområdet 100 Hz-5000 Hz, eventuelt i det udvidede frekvensområde 50 Hz-5000 Hz. Måleresultatet består således af en reduktionstalskurve bestemt af de 18, alternativt 21, 1/3-oktavværdier.

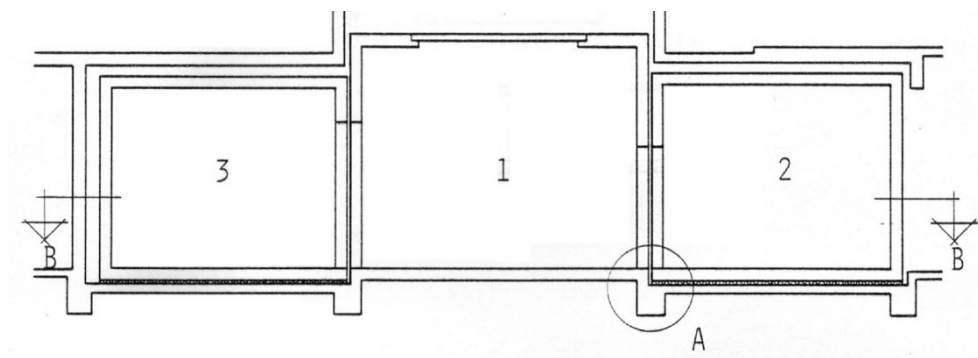


Illustration B2. Lodret snit i målerummene.

Ved bestemmelse af reduktionstallene for traditionelle vinduer kompenseres for bl.a. vinduets areal. Dette betyder, at man ved måling på den samme vindueskonstruktion, men med forskellige dimensioner/arealer (indenfor visse begrænsninger), vil opnå stort set samme måleresultat.

For f.eks. i forbindelse med sammenligning af produkter og til projekteringsbrug at kunne operere med en mere håndterbar størrelse omregnes 1/3-oktavværdierne til en enkelttalsværdi, R_w , med to tilhørende spektrale tilpasningsled C og C_{tr} i henhold til "DS/EN ISO 717-1:1997", reference [29].

Hovedresultatet af en lydisolationsmåling i laboratorie udtrykt som enkelttalsværdi vil eksempelvis se således ud:

$$R_w (C; C_{tr}) = 38 (-2; -5) \text{ dB}$$

De spektrale tilpasningsled C og C_{tr} adderes til R_w -værdien, hvorved den tilpasses følgende støjtyper:

Støjkilde	Spektralt tilpasningsled
- Typiske aktiviteter i en bolig (samtale, musik, TV mv.) - Legende børn - Togtrafik ved middel og høj hastighed - Motorvejstrafik ved mere end 80 km/t - Jetfly, kort afstand - Virksomhedsstøj i mellem- og højfrekvensområdet	C
- Vejtrafik i byer - Togtrafik ved lav hastighed - Propelfly - Jetfly, stor afstand - Diskoteksmusik - Virksomhedsstøj i mellem- og lavfrekvensområdet	C_{tr}

Som nævnt ovenfor indgår vinduesarealet i bestemmelsen af reduktionstallene. Hvad angår lukkede vinduer (samt russervinduet med lukkede opluk) er disse at betragte som et traditionelt vindue, som uden videre blot måles i henhold til DS/EN ISO 10140-metoden, reference [25] til [28].

Åbnes vinduerne/oplukkene, ændrer konstruktionen derimod karakter fra et traditionelt vindue til en konstruktion, som snarere kan betragtes som en simpel åbning eller en kanal, gennem hvilken lyden transmitteres. Lydtransmission direkte gennem glassene i et russervindue bliver af

mindre betydning, jo mere oplukkene åbnes. Den ovennævnte korrektion for vinduets areal ved måling på traditionelle vinduer vil derfor ikke være optimal for åbne vinduer. Dette betyder, at $R_w (C; C_{tr})$ for et åbent vindue kun gælder for det aktuelle vindue og ikke for tilsvarende opbyggede vinduer med andre dimensioner.

Det kunne derfor overvejes at benytte en anden målestørrelse for åbne vinduer, den element-normaliserede niveaudifferens, som i lighed med reduktionstallet måles i henhold til DS/EN ISO 10140-serien. Målestørrelsen benævnes $D_{n,e}$ og enkelttalsværdien $D_{n,e,w} (C; C_{tr})$. Denne metode er beregnet for måling på små bygningslementer, ofte med et ikke veldefineret areal, som f.eks. udeluftventiler og kabelgennemføringer. Ved måling efter denne metode vil de lydisolationsmæssige egenskaber for åbne vindueskonstruktioner, men med forskellige dimensioner umiddelbart kunne sammenlignes.

Som det fremgår af ovenstående, er ingen af de to målestørrelser oplagte til beskrivelse af åbne vinduers lydisolation. Det er besluttet i dette projekt at betragte konstruktionerne som et traditionelt vindue, dvs. at lydisolationen angives som reduktionstal og enkelttalsværdien $R_w (C; C_{tr})$.

$R_w (C; C_{tr})$ og $D_{n,e,w} (C; C_{tr})$ for samtlige målinger medtaget i denne rapport er angivet i Bilag 3.

Ønskes $D_{n,e,w} (C; C_{tr})$ bestemt, kan dette gøres på basis af reduktionstallene ved en simpel omregning.

Måleresultater præsenteres dels som kurver, der angiver reduktionstallet pr. 1/3-oktav, dels som enkelttalsværdierne R_w og R_w+C_{tr} . På hver figur er der angivet et nummer, som entydigt identificerer målingen (fx M 2019). Dette nummer henviser til Bilag 3, hvor der anføres talværdier for 1/3-oktavreduktionstallene.

Bilag 3. Måleresultater i tabelform

Betegnelserne M xxxx i øverste række i hver af de følgende tabeller er målingens nummer, som er benyttet i forbindelse med rapportens figurer i kapitel 7-11.

Frekvens	M 1001	M 1004	M 1005	M 1007	M 1008	M 1108	M 1109	M 1110	M 1111
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	10,3	22,9	13,9	13,5	13,0	-	-	-	-
63	12,8	34,7	5,8	6,2	6,9	10,6	10,2	10,3	9,7
80	11,4	35,9	5,4	5,5	6,8	7,6	7,6	8,1	7,7
100	13,5	37,2	9,5	9,8	10,2	11,5	11,1	11,6	11,5
125	16,2	39,4	7,1	8,5	8,7	10,8	10,7	10,1	9,9
160	16,6	37,5	7,5	8,2	8,7	9,3	9,5	9,3	9,2
200	20,9	41,4	10,0	10,7	11,7	11,8	11,6	11,7	12,2
250	26,2	43,8	13,7	14,9	17,1	15,0	14,7	15,3	15,4
315	25,7	49,8	14,9	17,5	20,5	16,1	15,7	16,2	16,3
400	28,9	53,1	17,8	22,2	25,7	18,6	18,1	18,7	18,9
500	31,1	58,9	18,4	23,6	27,7	19,9	19,6	20,3	20,1
630	25,5	63,5	17,6	22,5	26,2	18,7	18,6	19,1	19,2
800	23,5	65,9	17,1	22,1	24,7	17,8	17,7	18,5	18,3
1000	27,3	70,4	19,6	27,5	29,4	20,7	20,6	21,0	20,9
1250	24,4	73,5	18,4	26,0	26,1	19,6	19,4	19,7	19,6
1600	23,4	72,7	18,3	25,0	24,5	18,8	18,7	19,1	19,1
2000	21,9	65,9	17,4	23,4	22,2	17,8	17,9	17,8	17,9
2500	23,7	64,4	18,1	25,2	23,0	18,7	18,8	18,8	18,8
3150	23,2	66,0	19,0	24,2	22,8	19,5	19,5	19,4	19,5
4000	22,5	75,4	19,2	24,4	22,9	19,1	19,0	19,0	19,1
5000	23,1	76,4	18,9	23,9	23,2	19,3	19,2	19,3	19,3
R_w / R'_w	24	57	18	23	24	19	19	19	19
C	0	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
C _{tr}	0	-7	-2	-4	-4	-2	-2	-1	-1
$D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}$	30	63	24	29	30	25	25	25	25
C	-1	-2	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1
C _{tr}	-1	-7	-2	-4	-4	-2	-2	-2	-2

Frekvens	M 1208	M 1210	M 1213	M 1214	M 1216	M 1304	M 1306	M 1307	M 1310
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	10,1	10,2	10,5	10,3	9,4	12,4	11,3	12,5	13,2
80	8,0	7,9	8,3	7,9	7,0	10,7	9,7	10,8	10,9
100	11,9	11,3	11,5	11,6	11,6	14,8	12,7	13,0	15,4
125	10,0	10,8	10,4	10,4	10,0	11,7	10,5	11,3	13,7
160	8,9	9,0	8,8	9,2	9,2	10,9	10,5	9,9	13,0
200	11,8	11,6	11,5	11,8	11,9	14,6	14,0	14,0	15,2
250	16,0	16,5	15,6	15,8	15,4	16,9	18,6	17,3	17,0
315	16,5	16,3	16,9	16,9	16,0	17,8	20,8	18,8	17,5
400	18,8	18,7	18,6	19,0	18,3	19,6	24,2	22,4	18,7
500	19,9	20,2	20,1	20,1	19,7	21,7	27,5	25,3	21,1
630	19,2	18,9	19,4	19,1	19,2	19,7	25,9	22,5	19,1
800	18,6	18,7	18,8	18,6	18,4	18,4	24,2	21,8	17,8
1000	21,5	21,3	21,4	21,2	21,0	21,2	28,9	26,7	20,9
1250	20,2	20,5	20,7	20,5	19,7	20,2	26,5	25,9	20,2
1600	19,6	19,9	20,1	19,7	19,3	19,6	25,2	25,1	19,7
2000	18,9	18,9	19,1	18,8	18,4	18,7	22,7	23,2	18,7
2500	19,5	19,6	19,7	19,5	18,9	19,4	23,5	24,4	19,9
3150	20,0	20,2	20,3	20,2	19,9	20,1	23,7	24,5	20,2
4000	20,3	20,5	20,5	20,5	20,1	20,1	23,7	24,4	20,2
5000	20,0	20,2	20,3	20,2	19,6	20,3	23,5	24,2	19,9
R_w / R'_w	20	20	20	20	19	20	25	24	20
C	-1	-1	-1	-1	0	-1	-2	-1	-1
C_{tr}	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-4	-3	-1
D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}	25	26	26	26	25	26	30	30	25
C	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	0
C_{tr}	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-4	-1

Frekvens	M 1317	M 1318	M 1319	M 1401	M 1402	M 1403	M 1404	M 1405	M 1406
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	-	-	-	12,5	12,7	12,5	12,2	-	12,5
63	13,5	13,6	13,0	12,8	12,1	11,5	11,8	11,8	12,3
80	10,6	11,0	10,1	10,9	9,6	9,4	9,4	9,6	10,1
100	14,5	14,7	13,4	13,9	12,8	12,2	13,0	13,0	13,6
125	12,7	14,7	12,9	13,8	13,2	12,6	13,1	12,8	14,4
160	11,9	13,1	13,0	13,7	12,6	12,4	13,4	12,7	14,0
200	15,9	16,8	17,2	17,7	16,9	16,0	16,8	17,3	18,8
250	17,7	19,9	20,2	21,9	20,6	20,7	21,6	22,1	23,7
315	18,0	19,3	20,0	21,4	21,2	21,2	22,5	22,5	24,6
400	19,4	21,0	21,2	23,8	24,4	24,6	26,1	26,1	27,2
500	22,1	23,5	24,9	28,5	28,9	28,3	29,9	29,9	28,5
630	19,6	20,9	22,2	23,8	24,6	25,9	28,1	27,5	28,5
800	18,1	19,1	19,0	20,1	22,1	23,5	26,8	26,3	27,9
1000	21,3	22,6	21,9	24,0	27,1	28,4	32,9	32,1	33,4
1250	20,1	21,2	21,2	23,3	25,0	24,9	31,7	31,6	34,0
1600	19,8	20,7	20,6	22,1	24,4	24,2	31,2	31,1	34,0
2000	18,9	19,5	19,3	19,9	23,0	22,8	29,7	29,7	30,5
2500	20,2	20,5	20,4	21,2	24,7	23,9	32,1	32,7	33,4
3150	20,3	20,9	20,9	21,5	23,8	23,4	32,1	32,2	32,3
4000	20,2	20,8	20,8	21,3	23,1	22,7	32,8	33,0	32,8
5000	20,2	20,7	20,5	21,2	23,4	22,8	31,2	31,3	31,7
R_w / R'_w	20	21	21	22	25	25	29	29	30
C	0	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1
C _{tr}	-1	-1	-1	-1	-3	-3	-5	-5	-4
$D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}$	26	27	27	28	30	31	35	35	36
C	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2
C _{tr}	-1	-1	-1	-1	-2	-3	-5	-5	-5

Frekvens	M 1501	M 1502	M 1504	M 1505	M 1506	M 1507	M 1601	M 1602	M 1604
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	18,4	15,7	15,5	14,2	14,4	15,2	19,8	12,8	12,2
63	31,1	11,7	10,2	13,2	13,1	14,4	33,0	11,0	12,7
80	32,4	5,9	6,4	10,9	10,4	10,0	35,0	6,9	9,2
100	36,0	6,7	8,7	11,5	10,0	9,8	37,2	11,4	14,1
125	41,9	9,8	11,3	12,9	11,5	11,4	42,6	11,9	15,6
160	39,3	8,8	12,7	14,3	13,0	13,5	41,7	9,1	14,5
200	44,8	10,1	14,2	15,0	13,8	14,0	42,3	11,7	18,3
250	44,9	11,5	17,2	17,4	16,4	16,6	47,2	13,9	21,5
315	52,4	13,2	17,6	16,8	16,4	15,9	51,5	15,2	22,4
400	54,3	13,9	20,4	16,2	17,9	17,5	54,7	18,9	25,7
500	58,9	16,6	24,1	18,0	21,9	23,0	59,9	19,6	29,8
630	62,0	15,9	18,3	16,2	18,0	19,2	63,8	18,9	24,2
800	62,2	16,1	19,0	15,3	18,7	20,5	65,6	18,2	21,4
1000	64,7	17,2	19,8	18,0	21,1	22,1	67,6	20,3	25,0
1250	65,3	16,2	19,0	17,6	21,5	21,9	70,4	19,7	25,2
1600	63,5	15,3	17,2	16,8	19,2	19,3	68,1	19,6	23,6
2000	60,6	14,7	16,7	16,3	19,6	19,4	64,9	18,8	20,7
2500	60,8	15,1	16,9	16,4	19,4	19,6	65,1	20,0	21,8
3150	62,6	15,8	17,6	17,0	20,6	20,5	67,9	20,8	22,2
4000	70,1	15,8	17,5	17,3	20,2	19,8	74,5	20,3	22,2
5000	70,5	15,8	17,0	16,9	19,1	18,9	73,0	20,1	22,1
R_w / R'_w	58	16	18	17	20	20	59	20	23
C	-2	-1	0	0	-1	0	-2	-1	0
C_{tr}	-7	-1	0	0	-2	-1	-7	-2	-1
D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}	65	23	25	24	27	27	66	27	30
C	-2	-1	0	0	-1	0	-2	-1	0
C_{tr}	-7	-1	0	0	-2	-1	-7	-2	-1

Frekvens	M 1605	M 1606	M 1607	M 2001	M 2002	M 2003	M 2004	M 2007	M 2008
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	14,1	14,8	14,6	28,1	13,1	14,5	13,7	11,9	11,8
63	15,6	15,0	15,0	34,2	7,7	11,5	12,5	9,8	10,2
80	11,2	10,6	10,3	33,7	8,3	11,1	9,9	9,8	9,2
100	14,2	13,5	13,7	42,7	5,7	6,5	6,6	6,6	6,5
125	16,6	14,6	15,0	39,9	0,9	1,6	2,1	1,1	0,8
160	15,7	13,6	13,4	39,2	4,8	4,6	4,8	4,5	4,2
200	18,0	17,1	16,6	30,1	7,2	6,8	7,8	5,8	5,5
250	19,7	19,3	19,5	40,7	12,7	9,5	10,6	7,7	7,4
315	21,5	21,4	21,7	52,3	11,7	10,4	12,8	9,3	7,9
400	19,8	23,6	24,4	56,5	8,4	14,6	17,0	15,2	13,2
500	23,1	26,6	29,6	60,6	10,5	15,7	18,9	18,2	16,4
630	21,8	24,7	26,6	64,3	11,1	19,8	23,1	18,9	16,9
800	19,2	23,0	24,1	68,0	12,1	20,0	23,4	17,2	14,6
1000	22,0	28,7	30,2	67,4	11,5	18,9	21,7	14,7	12,9
1250	20,8	28,3	28,7	74,7	11,8	18,0	21,9	16,2	14,7
1600	21,4	27,2	27,0	77,3	13,9	18,0	23,2	18,8	17,0
2000	20,3	25,3	24,6	78,9	14,8	20,9	25,5	19,8	17,4
2500	21,8	27,0	25,8	80,2	15,5	21,7	27,1	20,6	18,3
3150	22,0	26,1	25,2	68,2	16,2	21,8	29,1	22,9	19,6
4000	22,1	25,8	25,2	73,7	16,2	22,1	30,8	23,2	19,6
5000	21,7	25,1	24,6	74,3	16,0	22,6	31,2	23,4	19,5
R_w / R'_w	21	26	26	56	13	18	21	17	16
C	0	-1	-1	-6	-1	-1	-2	-1	-2
C _{tr}	-1	-3	-3	-11	-2	-4	-5	-4	-4
$D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}$	28	33	33	64	20	25	28	25	23
C	0	-1	-1	-7	0	-1	-1	-2	-1
C _{tr}	-1	-3	-3	-12	-2	-4	-5	-5	-4

Frekvens	M 2009	M 2010	M 2011	M 2012	M 2013	M 2014	M 2015	M 2016	M 2017
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	12,2	12,0	-	-	12,1	12,6	23,2	23,6	11,6
63	9,8	9,7	9,9	9,6	8,6	8,7	34,8	34,5	4,6
80	9,2	9,0	9,5	9,3	8,2	8,5	33,5	34,1	3,1
100	6,2	6,3	6,3	6,3	5,3	5,3	37,5	38,2	8,2
125	1,2	1,1	1,8	0,8	0,5	1,4	36,3	35,6	11,3
160	4,7	4,5	4,7	4,6	4,6	5,1	34,2	34,2	5,5
200	6,0	6,6	6,8	6,6	6,8	6,9	24,8	24,5	8,3
250	8,6	8,5	9,3	9,1	10,4	10,9	38,3	37,3	12,6
315	8,2	9,2	10,3	9,0	10,2	10,7	51,0	48,4	10,6
400	13,7	15,2	16,5	14,6	14,2	15,5	55,6	52,5	12,4
500	17,0	18,4	18,3	17,1	15,1	16,7	60,1	59,0	11,4
630	16,3	17,4	18,2	17,0	14,4	15,6	63,3	57,9	10,8
800	13,1	14,6	17,2	15,4	12,7	13,3	67,0	65,8	10,6
1000	12,6	13,8	16,3	14,9	12,9	13,4	67,9	63,6	9,2
1250	14,8	15,7	17,0	15,8	13,9	14,8	74,0	68,8	9,4
1600	16,2	17,7	18,2	16,4	15,3	16,7	74,0	70,7	10,7
2000	16,8	18,4	18,1	16,2	16,0	17,2	75,6	71,5	11,1
2500	18,0	19,3	18,4	16,8	16,6	18,1	75,3	61,5	11,2
3150	18,9	21,2	19,3	17,0	17,7	19,6	66,2	58,6	12,1
4000	19,1	21,5	19,2	17,0	17,8	20,0	72,0	67,7	12,8
5000	19,3	21,7	19,0	17,1	17,8	19,8	71,9	72,6	13,0
R_w / R'_w	15	17	17	16	15	16	52	52	11
C	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-7	-7	0
C_{tr}	-3	-4	-3	-3	-3	-3	-12	-12	-1
D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}	23	24	25	23	22	23	60	59	18
C	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-8	-7	0
C_{tr}	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-13	-12	0

Frekvens	M 2018	M 2019	M 2024	M 2025	M 2026	M 2027	M 2028	M 2029	M 2030
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	11,1	9,1	11,7	11,6	12,3	14,0	12,9	12,7	12,9
63	5,0	5,6	3,9	3,8	4,2	3,0	3,7	2,7	3,4
80	2,9	7,1	4,5	4,2	5,4	4,8	5,4	4,2	5,3
100	9,8	5,8	13,3	13,3	15,0	14,1	15,3	14,4	14,7
125	10,8	3,5	14,8	14,8	15,3	14,8	14,3	13,9	14,1
160	6,8	5,1	10,6	10,6	13,8	8,4	10,6	7,1	8,5
200	8,8	4,2	12,8	12,5	15,7	9,8	12,4	7,8	9,7
250	14,2	6,6	16,4	16,0	18,8	13,4	15,9	11,2	13,0
315	12,6	6,5	14,0	13,1	15,8	12,6	15,8	11,9	14,8
400	13,1	5,6	14,4	13,9	18,1	15,1	18,7	15,7	19,8
500	12,4	5,9	19,2	18,7	22,9	18,8	22,2	16,8	21,5
630	12,0	6,2	23,0	23,3	28,4	21,5	26,4	21,9	24,8
800	12,4	7,2	27,2	22,6	28,4	23,0	29,0	21,1	24,4
1000	11,8	6,3	27,6	22,3	29,0	21,9	25,9	19,5	23,1
1250	12,4	6,2	26,2	25,4	33,3	22,6	28,3	20,7	23,9
1600	14,1	6,8	24,5	24,1	34,6	24,7	29,3	22,5	24,5
2000	14,7	7,3	27,3	27,5	36,0	25,7	29,9	24,6	27,0
2500	15,0	7,4	26,7	27,0	34,4	25,3	29,4	23,5	26,8
3150	15,8	7,9	26,3	26,9	34,6	26,1	31,2	24,0	27,7
4000	16,4	8,2	27,8	26,9	32,1	25,8	31,1	25,0	28,6
5000	16,8	8,4	26,9	27,3	32,6	26,2	29,9	24,3	27,3
R_w / R'_w	14	7	23	23	27	22	25	20	23
C	-1	0	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1
C _{tr}	-2	-1	-3	-4	-4	-4	-4	-3	-4
$D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}$	21	14	31	30	35	29	33	27	30
C	-1	0	-2	-1	-2	-1	-2	-1	-1
C _{tr}	-1	0	-4	-4	-5	-4	-5	-3	-4

Frekvens	M 2031	M 2032	M 2033	M 2101	M 2102	M 2103	M 2104	M 2106	M 2107
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	10,1	9,9	8,9	16,0	-	-	15,1	-	-
63	3,6	1,8	2,2	30,3	30,7	29,5	14,5	14,9	14,0
80	4,3	3,8	3,8	30,2	29,6	30,3	7,7	7,9	7,8
100	15,0	14,6	14,0	36,2	35,8	36,5	6,9	7,3	7,5
125	11,5	11,5	10,1	33,7	33,9	32,7	3,8	3,4	6,0
160	5,5	6,2	5,7	32,6	33,1	32,2	4,2	4,1	6,2
200	7,8	8,7	9,4	26,9	28,4	26,9	7,4	7,7	9,2
250	8,5	9,5	13,0	40,9	40,2	41,5	6,5	7,0	8,1
315	10,6	12,1	9,2	49,5	49,0	49,9	7,1	6,7	8,8
400	14,0	15,8	9,0	48,9	50,8	49,3	10,9	10,1	12,2
500	15,7	16,4	10,8	56,3	56,1	57,0	14,9	13,9	14,9
630	16,7	17,6	13,0	59,6	58,9	60,6	15,9	14,6	16,1
800	16,9	18,6	15,8	61,9	61,7	62,8	12,9	11,7	13,2
1000	17,5	18,6	14,9	62,7	62,6	63,4	12,1	10,9	12,1
1250	16,8	18,3	14,6	65,8	65,2	66,0	14,1	11,8	13,4
1600	17,8	19,6	16,2	66,4	65,4	66,6	16,5	13,3	14,9
2000	18,3	20,3	16,7	65,4	65,3	66,2	17,0	13,3	14,9
2500	18,6	20,2	16,7	64,0	64,4	68,4	18,1	13,6	15,1
3150	20,2	21,8	17,0	62,8	61,9	71,2	19,4	14,9	16,2
4000	20,4	22,3	17,7	72,8	71,5	75,1	19,5	15,2	16,4
5000	20,0	21,8	17,3	74,3	73,7	74,2	19,2	15,4	16,8
R_w / R'_w	17	18	14	52	53	52	15	13	14
C	-1	0	0	-6	-5	-6	-1	-1	0
C_{tr}	-2	-2	-1	-11	-10	-11	-3	-2	-2
D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}	24	26	22	59	60	59	22	20	21
C	0	-1	0	-5	-5	-5	-1	-1	0
C_{tr}	-2	-3	-2	-10	-10	-10	-3	-2	-1

Frekvens	M 2108	M 2109	M 3001	M 3002	M 3005	M 3011	M 3012	M 3013	M 3014
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	-	-	16,6	15,9	14,0	16,4	-	16,2	16,0
63	14,1	17,1	9,6	9,6	7,8	7,8	6,6	5,8	6,3
80	8,2	11,1	5,6	4,7	4,6	4,0	3,7	3,1	3,5
100	7,7	10,0	2,7	1,8	3,2	5,6	5,8	7,3	6,9
125	5,0	4,9	6,0	2,7	7,5	5,3	5,7	8,0	7,7
160	6,2	5,3	5,6	4,0	7,5	5,6	6,5	8,2	8,0
200	9,2	8,8	9,1	8,9	10,8	9,0	9,9	11,6	11,3
250	8,2	9,0	9,6	9,8	7,7	8,3	9,9	11,6	11,6
315	9,8	9,0	7,5	7,6	6,9	8,6	9,8	11,9	11,7
400	13,5	10,9	7,4	7,8	8,9	8,1	9,3	12,2	12,1
500	15,9	12,2	9,1	9,2	9,6	9,4	11,2	14,2	14,2
630	17,0	15,0	9,2	9,8	9,4	10,1	11,6	15,3	15,0
800	15,5	15,2	10,0	10,4	9,4	10,9	12,9	17,0	16,4
1000	13,4	14,9	11,3	11,7	10,9	12,0	14,0	19,2	18,5
1250	14,6	15,7	11,1	11,5	10,2	12,5	14,6	22,4	21,2
1600	16,4	17,1	11,4	11,7	10,9	12,6	14,2	24,2	21,4
2000	16,4	16,8	11,8	11,8	11,4	12,7	14,2	26,3	20,7
2500	17,0	16,7	11,9	11,9	11,1	12,9	14,2	28,2	21,2
3150	18,6	17,0	12,4	12,6	11,7	13,4	14,4	31,3	22,5
4000	18,6	17,8	12,7	12,9	12,2	13,9	15,1	33,3	23,2
5000	18,3	18,0	12,7	13,3	12,4	14,2	15,5	31,3	23,2
R_w / R'_w	16	15	11	11	11	12	13	19	18
C	-1	0	0	0	-1	0	0	-1	-1
C _{tr}	-3	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-3	-3
$D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}$	23	22	18	18	18	19	20	26	25
C	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
C _{tr}	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-3	-2

Frekvens	M 3015	M 3016	M 3017	M 3018	M 3019	M 3020	M 3102	M 3103	M 3105
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	-	16,4	16,1	16,2	-	-	15,9	-	-
63	5,3	5,8	9,8	8,4	8,3	9,1	4,4	6,0	8,5
80	3,9	4,2	5,3	4,9	5,0	5,8	1,6	3,0	3,6
100	7,4	9,5	3,7	4,9	6,8	3,5	8,9	9,4	8,7
125	8,0	10,4	4,3	4,8	6,8	3,4	11,0	12,6	5,7
160	8,6	10,1	4,7	5,6	7,9	4,5	12,7	13,5	11,1
200	12,1	13,1	10,3	11,3	12,6	9,4	13,5	14,0	17,0
250	12,1	13,9	10,2	11,2	12,6	9,4	9,4	10,5	14,9
315	12,0	13,9	8,8	9,8	11,3	7,7	10,0	11,6	11,7
400	12,3	14,9	9,2	10,6	12,0	8,0	12,1	14,2	11,8
500	14,1	16,9	10,8	12,7	14,3	9,7	13,8	16,4	16,1
630	15,2	18,2	11,3	13,0	14,8	9,9	14,5	17,5	19,3
800	16,3	19,4	12,0	14,5	16,2	10,4	14,3	17,4	18,2
1000	18,7	22,3	13,6	16,4	18,4	11,9	11,9	14,7	16,2
1250	21,8	25,7	13,6	18,8	21,1	11,9	12,8	16,2	17,0
1600	23,8	28,3	13,6	19,9	22,9	12,2	13,2	16,5	17,5
2000	23,0	31,0	13,6	21,4	24,6	12,3	13,4	16,4	17,4
2500	21,5	32,7	13,4	22,9	25,8	12,4	13,6	16,3	17,5
3150	21,3	35,2	13,8	24,6	26,5	13,0	14,2	16,4	17,3
4000	22,2	35,2	14,5	25,1	26,1	13,2	14,4	16,0	16,5
5000	23,0	33,1	14,4	24,8	25,4	13,2	14,3	16,2	16,7
R_w / R'_w	19	22	13	17	19	11	14	16	17
C	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1
C_{tr}	-3	-4	-2	-3	-4	-1	-1	-1	-2
D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}	26	29	20	24	26	19	21	23	24
C	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	0
C_{tr}	-3	-4	-1	-3	-3	-2	-1	-1	-1

Frekvens	M 3106	M 3107	M 3108	M 3109	M 3110	M 3111	M 3112	M 3113	M 3114
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	-	15,0	15,6	-	-	-	-	-	-
63	8,8	8,8	9,0	9,4	15,8	9,7	9,1	11,0	10,6
80	3,6	4,3	4,6	4,5	12,6	4,6	4,4	5,4	5,2
100	9,0	9,3	9,2	9,1	15,7	10,5	10,9	10,4	10,9
125	6,2	6,4	6,9	6,4	8,2	11,6	12,6	13,9	14,9
160	11,3	11,8	12,3	12,1	10,0	14,3	14,2	14,8	15,0
200	17,1	18,4	18,4	18,6	14,1	16,6	14,9	14,7	15,1
250	15,6	16,6	16,5	16,9	13,8	14,5	13,7	14,1	14,7
315	12,6	13,0	13,5	14,0	12,3	13,7	15,7	16,2	17,1
400	12,8	13,5	14,1	14,5	12,0	15,1	17,7	18,2	19,1
500	17,1	18,2	19,0	19,3	15,2	17,4	20,1	21,0	22,0
630	20,9	22,6	23,2	23,5	17,6	20,5	23,4	24,2	25,5
800	20,8	23,4	23,8	24,2	18,9	22,7	24,4	25,6	26,7
1000	18,6	21,4	21,9	22,4	19,1	21,9	22,5	24,8	25,6
1250	20,3	23,1	23,7	24,4	20,7	24,0	24,2	27,0	28,2
1600	21,7	24,4	25,1	25,9	22,0	25,1	25,6	28,7	29,9
2000	22,8	24,6	26,4	26,6	22,5	26,0	26,6	29,7	32,1
2500	23,9	25,3	27,0	27,4	22,8	26,9	27,6	31,2	34,0
3150	24,4	25,2	28,0	28,6	23,5	28,3	29,1	32,0	35,6
4000	23,9	24,3	28,1	28,4	23,7	28,4	28,9	29,5	35,0
5000	23,6	24,0	27,7	28,5	24,0	28,0	28,8	27,9	33,9
R_w / R'_w	20	22	23	23	19	22	23	25	26
C	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1	-1
C _{tr}	-3	-4	-4	-4	-2	-3	-3	-4	-4
$D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}$	27	29	30	30	26	29	31	32	33
C	0	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1
C _{tr}	-3	-3	-4	-4	-2	-3	-4	-4	-4

Frekvens	M 3115	M 3204	M 3205	M 3206	M 3207	M 3208	M 3209	M 3210	M 3211
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	-	-	-	17,5	17,8	-	-	-	18,5
63	7,9	11,3	12,3	11,6	12,1	12,2	12,3	12,2	8,6
80	3,4	9,1	8,9	9,1	8,8	9,8	10,5	9,7	7,3
100	8,7	7,9	7,8	8,3	8,1	8,1	8,3	8,9	8,7
125	7,0	5,4	5,2	6,0	5,8	6,2	6,6	6,1	7,3
160	11,5	5,1	5,7	6,8	5,7	6,0	6,9	6,7	9,2
200	18,3	5,5	5,6	7,5	6,3	7,0	7,9	8,4	10,1
250	18,4	6,2	6,7	9,4	7,7	8,4	9,8	10,1	11,8
315	13,4	6,3	6,5	9,3	8,0	8,5	10,0	10,3	12,4
400	14,7	6,8	7,1	10,6	8,6	10,1	11,9	12,0	14,5
500	20,0	7,9	8,3	12,3	10,4	11,6	13,7	14,1	16,8
630	22,2	9,0	10,0	15,0	13,0	13,9	16,3	16,6	20,2
800	23,4	9,8	10,8	17,6	15,1	16,9	18,8	19,7	23,8
1000	23,7	9,9	11,0	19,4	16,5	18,2	20,8	21,3	25,9
1250	27,1	10,9	12,5	21,2	18,3	20,1	22,5	23,0	28,6
1600	28,7	11,0	12,3	22,6	19,3	20,8	23,8	24,2	30,5
2000	29,5	11,2	12,6	24,0	20,9	22,3	25,4	25,9	33,8
2500	29,7	11,0	12,2	24,2	21,7	24,1	26,5	26,9	35,0
3150	32,5	11,1	12,2	22,7	21,4	25,7	27,1	27,5	31,2
4000	32,0	11,4	12,4	21,4	21,1	26,8	27,6	28,1	29,0
5000	31,6	11,1	12,1	20,3	20,3	26,2	27,3	28,0	27,0
R_w / R'_w	24	10	11	18	16	17	19	19	22
C	-2	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C_{tr}	-5	-1	-1	-4	-3	-3	-4	-4	-4
D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}	31	17	18	25	23	24	26	27	29
C	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-2	-1
C_{tr}	-5	-1	-1	-4	-3	-3	-4	-4	-4

Frekvens	M 3212	M 3213	M 3214	M 3215	M 3301	M 3302	M 3303	M 3304	M 3305
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	18,9	-	-	-	18,0	-	-	-	19,2
63	7,8	8,8	9,0	9,5	27,2	7,8	8,1	8,0	7,7
80	6,2	6,4	6,7	6,2	21,6	6,0	6,8	6,3	6,2
100	9,1	7,3	6,5	5,9	21,9	5,6	5,5	9,3	9,1
125	7,9	5,4	5,1	4,0	20,4	3,4	3,6	6,0	6,9
160	9,8	7,5	6,3	6,2	19,5	5,9	6,0	8,7	9,0
200	10,9	8,3	7,2	6,7	20,5	5,7	5,7	8,7	9,0
250	12,7	9,3	7,4	6,6	27,1	6,1	6,1	10,3	10,8
315	13,6	9,4	7,1	6,1	31,0	5,7	6,0	10,7	12,0
400	16,1	11,3	8,3	7,1	31,8	6,5	6,9	12,6	13,6
500	18,8	13,5	9,5	8,1	36,9	7,6	8,1	14,4	15,5
630	22,2	16,3	11,1	9,3	39,0	8,6	9,0	17,5	18,6
800	25,4	20,0	12,5	10,2	41,7	8,8	9,5	20,8	21,7
1000	28,0	21,4	12,5	10,2	44,6	9,3	10,1	23,1	24,1
1250	30,5	23,7	13,8	11,2	47,9	10,3	11,1	25,9	26,5
1600	32,5	25,3	13,3	11,1	49,4	10,2	11,1	27,1	27,7
2000	35,9	28,4	13,3	11,3	50,3	9,7	10,8	27,9	27,9
2500	36,7	30,8	13,2	11,2	48,0	10,0	10,9	28,3	28,1
3150	35,7	29,8	13,3	11,5	46,7	10,9	11,5	26,1	25,7
4000	37,8	27,0	13,4	11,3	51,0	11,2	11,9	24,5	24,6
5000	38,4	25,3	13,4	11,8	54,5	11,6	12,1	24,0	24,5
R_w / R'_w	24	19	12	10	38	9	10	20	21
C	-2	-1	0	0	-2	0	0	-1	-1
C _{tr}	-5	-4	-1	-1	-7	-1	-1	-4	-4
$D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}$	31	26	19	17	45	16	17	27	28
C	-1	-1	0	0	-2	0	0	-1	-1
C _{tr}	-5	-4	-1	-1	-6	0	-1	-4	-4

Frekvens	M 3306	M 3309	M 3311	M 3312	M 3316	M 4001	M 4002	M 4003	M 4004
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	-	18,3	-	19,1	14,5	17,6	28,9	15,3	28,3
63	7,4	7,4	7,0	6,9	9,6	8,7	23,4	11,4	32,9
80	6,2	6,5	6,8	6,1	6,6	11,0	28,8	8,1	30,7
100	9,5	8,0	6,7	8,3	5,7	10,2	29,6	13,8	27,6
125	6,8	4,9	3,8	5,2	5,8	9,4	33,0	13,3	30,0
160	9,2	7,3	6,4	8,5	5,5	13,9	30,9	14,9	31,4
200	9,1	6,9	5,7	8,4	5,6	16,6	34,3	19,3	33,4
250	11,3	9,0	6,1	10,2	5,6	16,6	33,2	17,9	33,4
315	11,9	9,1	6,1	11,4	5,3	19,9	31,9	20,7	31,2
400	13,8	10,6	6,7	12,5	5,2	23,3	32,9	23,7	30,0
500	16,0	12,5	8,0	14,6	5,9	21,3	35,7	24,4	34,0
630	19,1	15,4	9,2	17,5	6,8	20,3	40,2	21,1	38,0
800	22,2	18,2	10,0	20,7	6,5	24,7	44,0	26,0	43,1
1000	24,5	20,5	10,6	23,3	6,2	24,4	47,2	25,3	44,9
1250	27,1	22,7	11,5	25,4	6,8	23,9	47,7	25,7	46,8
1600	28,3	24,3	11,5	27,1	7,3	22,2	46,8	24,1	44,8
2000	28,6	25,7	11,2	28,0	7,5	23,8	43,5	25,8	45,5
2500	28,9	27,7	11,3	28,3	8,1	24,8	41,2	26,7	42,1
3150	26,5	26,9	11,9	26,0	8,4	24,3	37,9	26,5	38,4
4000	25,7	25,2	12,5	24,7	8,5	22,2	32,9	25,2	33,4
5000	25,5	24,7	12,6	24,3	8,8	20,6	29,3	22,5	28,9
R_w / R'_w	21	18	10	20	7	23	40	25	40
C	-1	-1	0	-1	0	-1	0	-1	-1
C_{tr}	-4	-4	-1	-4	0	-2	-2	-2	-3
D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}	29	25	17	27	14	30	47	32	47
C	-2	-1	0	-1	0	0	0	-1	-1
C_{tr}	-5	-3	-1	-4	0	-2	-2	-2	-3

Frekvens	M 4005	M 4101	M 4102	M 4103	M 4104	M 4105	M 4106	M 4108	M 4109
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	15,0	20,6	7,4	6,6	6,0	9,3	-	-	-
63	8,1	34,3	5,8	9,4	8,8	5,7	6,6	6,6	5,4
80	13,2	33,9	4,0	8,9	8,2	4,3	5,6	2,9	2,9
100	16,3	34,4	8,0	11,0	10,9	8,5	8,6	6,8	7,3
125	17,3	39,5	6,7	13,6	13,2	6,9	8,7	6,2	5,3
160	20,4	41,4	6,1	13,3	13,6	7,8	7,7	5,8	6,0
200	25,4	43,0	14,1	21,1	21,5	15,1	14,6	9,8	12,2
250	23,8	43,6	17,7	23,9	24,4	18,7	19,0	13,8	16,2
315	26,1	50,6	19,1	25,6	26,6	20,3	20,0	19,1	17,4
400	26,9	55,1	22,7	26,2	27,0	23,5	23,5	21,9	23,4
500	28,6	55,5	23,3	27,9	28,5	23,6	23,6	21,6	22,2
630	23,1	56,3	22,7	26,0	26,3	22,8	24,6	20,3	21,3
800	28,7	56,6	23,5	25,7	27,5	24,7	25,7	18,9	23,1
1000	31,0	59,0	21,7	25,1	26,2	23,2	23,3	18,9	20,5
1250	30,8	66,4	23,8	25,5	25,9	24,3	24,3	19,7	22,3
1600	32,5	69,5	22,1	27,7	28,7	22,7	24,1	20,1	21,4
2000	30,2	69,7	23,2	28,5	28,8	23,7	25,4	19,8	21,4
2500	33,3	68,2	23,7	31,4	32,2	25,0	25,6	20,3	21,9
3150	34,0	63,4	23,5	30,5	31,7	24,5	24,8	20,3	21,7
4000	30,2	73,5	23,3	30,1	30,9	23,6	23,9	19,2	20,2
5000	29,2	76,2	22,5	30,6	31,5	22,7	23,4	19,2	20,2
R_w / R'_w	30	57	23	27	28	24	24	20	21
C	-1	-2	-2	-1	-1	-2	-1	-1	-1
C_{tr}	-3	-7	-4	-3	-4	-5	-4	-3	-3
D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}	37	64	30	35	35	31	31	27	29
C	-1	-2	-2	-2	-1	-2	-1	-1	-2
C_{tr}	-3	-7	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-4

Frekvens	M 5003	M 5004	M 5006	M 5007	M 5008
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	14,6	9,8	9,9	10,5	10,6
63	5,1	4,6	3,2	4,3	4,6
80	9,0	5,6	5,1	6,5	6,1
100	10,0	5,6	5,0	2,8	6,0
125	4,5	7,4	1,7	6,9	8,5
160	5,4	7,7	3,0	4,7	6,6
200	4,6	5,5	4,0	9,7	11,1
250	6,0	7,0	4,9	6,9	8,5
315	5,0	6,6	4,5	8,1	9,9
400	5,5	6,4	4,4	9,1	10,8
500	6,0	6,8	5,0	10,4	12,5
630	6,3	6,2	5,2	10,6	14,1
800	7,0	7,6	5,1	14,8	18,3
1000	7,8	8,0	4,7	17,1	20,4
1250	9,1	8,6	5,0	19,3	21,7
1600	9,5	9,5	5,4	21,5	22,5
2000	9,4	10,2	6,1	22,5	22,2
2500	9,6	10,6	6,5	20,4	21,3
3150	10,4	11,1	6,5	20,3	20,0
4000	10,9	10,7	7,0	19,0	21,3
5000	11,0	10,8	7,5	17,6	21,2
R_w / R'_w	8	9	6	16	18
C	0	0	-1	-1	-1
C_{tr}	-1	-1	-1	-4	-3
D_{n,e,w} / D'_{n,e,w}	16	16	13	-	-
C	-1	0	0	-	-
C_{tr}	-1	-1	-1	-	-

Åbne vinduer med god lydisolation

Projektet "Åbne vinduer med god lydisolation" er gennemført af DELTA – a part of FORCE Technology og HSHansen a/s. Overordnet undersøges de lydisolationsmæssige egenskaber for tre forskellige vinduestyper; I) Videreudvikling af "russervinduet" II) "Almindeligt vindue" med indvendig løsning og III) "Almindeligt vindue" med udvendig løsning.

Der er gennemført et betydeligt antal laboratorieforsøg med de forskellige vinduestyper, både som mockup-løsninger, som mere færdige prototypeløsninger og enkelte feltmålinger. Denne rapport redegør for de udførte målinger og afledte konklusioner.

For det samlede projekt kan det konkluderes, at der er arbejdet med tre vinduestyper, der spænder vidt i både lydisolation, dimensioner og konstruktion/løsningsprincip. For de tre vinduestyper er opnået en laboratoriemålt lydisolation for R_w+C_{tr} på hhv. 26, 12 og 17 dB, hvor et almindeligt åbent vindue har en lydisolation for R_w+C_{tr} på 5-8 dB.



Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

www.mst.dk