



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Lydmæssig optimering af ”Russervinduer”

Miljøprojekt nr. 1417, 2012

Titel:

Lydmæssig optimering af "Russervinduer"

Redaktion:

Lars Sommer Søndergaard & Henrik S. Olesen
DELTA

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

Foto:**Illustration:****År:**

2012

Kort:**ISBN nr.**

978-87-92903-01-3

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

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	6
SUMMARY AND CONCLUSIONS	8
1 INDLEDNING	10
1.1 BAGGRUND	10
1.2 PROJEKTETS FORMÅL OG AFGRÆNSNING	10
2 RUSSERVINDUET – GENERELT	11
2.1 RUSSERVINDUETS KONSTRUKTION	11
2.2 RUSSERVINDUETS VENTILATIONSMÆSSIGE EGENSKABER	12
2.3 RUSSERVINDUETS LYDMÆSSIGE EGENSKABER	13
3 EKSISTERENDE ERFARINGER MED RUSSERVINDUETS LYDMÆSSIGE EGENSKABER	14
3.1 GENERELT	14
3.2 FELTMÅLINGER	14
3.3 LABORATORIEMÅLINGER	15
3.4 LITTERATURSØGNING	15
3.4.1 <i>Fremgangsmåde</i>	15
3.4.2 <i>Resultat</i>	15
3.4.3 <i>Udvalgte litteraturhenvisninger</i>	16
4 MÅLERESULTATER - LABORATORIEMÅLINGER	17
4.1 MÅLEPLAN	17
4.2 MÅLERUM	17
4.3 MÅLEOBJEKTER	18
4.4 MÅLESTØRRELSER	22
4.5 OVERVEJELSER VEDRØRENDE KRAV TIL ÅBNINGSAREAL	24
4.6 MÅLERESULTATER – ÅBNE OPLUK	25
4.6.1 <i>Vindueshøjden</i>	26
4.6.2 <i>Vinduestykkelsen</i>	29
4.6.3 <i>Vinduesbredden</i>	36
4.6.4 <i>Oplukkenes åbningsareal</i>	39
4.6.5 <i>Højde af opluk</i>	41
4.6.6 <i>Afstand til loft samt loftets lydabsorption</i>	44
4.6.7 <i>Lydabsorberende materiale i hulrummet</i>	49
4.6.8 <i>Persienser, lameller og gardiner i hulrummet</i>	60
4.6.9 <i>Lydabsorberende folie i hulrummet</i>	67
4.6.10 <i>Partikelfilter i hulrummet</i>	70
4.6.11 <i>Glastypens betydning</i>	73
4.6.12 <i>Sammenligning med åbentstående traditionelt vindue</i>	76
4.7 MÅLERESULTATER – LUKKEDE OPLUK	78

5	MÅLERESULTATER - FELTMÅLING	79
6	DESIGNREGLER	81
7	KONKLUSION	82
	BILAG 1 – REFERENCE- OG LITTERATURLISTE	83
	BILAG 2 – LUFTSKIFTE I TRADITIONEL FACADE KONTRA RUSSERVINDUER – NOTAT FRA HANSENPROFILE	85
	BILAG 3 – VURDERING AF VENTILATIONS-EFFEKTIVITET - NOTAT FRA COWI	86
	BILAG 4 – MÅLERESULTATER I TABELFORM	89

Forord

Med baggrund i et stigende behov for vinduer, som har en god lydisolering – også i åben tilstand – er der gennemført et projekt med titlen ”Lydmæssig optimering af ”Russervinduer””. Den undersøgte vinduestype – Russervinduet – blev valgt, da den forventedes at have såvel gode lydmæssige som ventilationsmæssige egenskaber.

Der er gennemført et betydeligt antal laboratorieforsøg med forskellige udformninger af russervinduet samt en enkelt feltmåling. Denne rapport redegør for de udførte målinger og afledte konklusioner. Resultaterne er benyttet som grundlag for udarbejdelse af en praktisk guideline for optimering af russervinduer ”Designguide for bestemmelse af ”Russervinduers” lydisolering”.

Projektet er gennemført af DELTA i samarbejde med H. S. Hansens Fabrikker A/S og Miljøstyrelsen har givet tilskud til projektet i form af projektstøtte indenfor tilskudsordningen ”Miljøeffektiv teknologi”. Der er endvidere anvendt resultater fra et eksamensprojekt gennemført ved Syddansk Universitet med titlen ”Naturlig ventilation og støjreduktion”

Projektgruppen har bestået af Lars Sommer Søndergaard, Henrik S. Olesen og Dan Hoffmeyer fra DELTA og Søren Haubjerg Sørensen fra H. S. Hansens Fabrikker A/S. Hovedparten af målingerne er udført af Lars Sommer Søndergaard. H. S. Hansens Fabrikker A/S har bl.a. stået for fremstilling og montage af de benyttede vinduer.

Der har til projektet været tilknyttet en følgegruppe bestående af Jørgen Jakobsen, Miljøstyrelsen, Søren Haubjerg Sørensen, H. S. Hansens Fabrikker A/S og Henrik S. Olesen, DELTA.

Projektrapporten er udarbejdet af Lars Sommer Søndergaard og Henrik S. Olesen.

Sammenfatning og konklusioner

Rapporten omhandler projektet ”Lydmæssig optimering af ”Russervinduer”” gennemført af DELTA og H. S. Hansens Fabrikker A/S. Projektet er medfinansieret af Miljøstyrelsen under udviklingsprogrammet ”Tilskud til miljøeffektiv teknologi 2008”.

Russervinduet er opbygget som en dobbeltkonstruktion, typisk med stor hulrumsdybde, og med et opluk fornedet i det udvendige vindueselement og et opluk foroven i det indvendige element.

Rapporten beskriver indledningsvis resultater af tidligere feltmålinger af lydisoleringen for vinduer af russervinduestypen udført i konkrete byggerier i forbindelse med renovering. Disse målinger gav lovende resultater.

Før endelig projektplan blev fastlagt, blev der udført en litteratursøgning med henblik på at afdække, hvad der findes af relevante referencer på området. Resultatet af den relativt omfattende litteratursøgning var, at der stort set ikke tidligere er udført systematiske undersøgelser af lydisoleringen for denne vinduestype.

Der blev gennemført et betydeligt antal laboratoriemålinger, hvor betydningen af en række parametre blev undersøgt. Det drejer sig bl.a. om vinduets dimensioner (højde, bredde, tykkelse), åbningsareal af oplukkene samt mængde og udformning af lydabsorberende materiale i vinduets hulrum. Endvidere blev betydningen af vinduets montage i praksis undersøgt, dvs. afstand til loftet og loftets lydabsorberende egenskaber.

Der blev foretaget en enkelt feltmåling, hvor et af vinduerne benyttet ved laboratorieforsøgene blev monteret i en bygning med facade mod en stærkt trafikeret vej. Overensstemmelsen mellem laboratorie- og feltresultater var tilfredsstillende.

Projektets hovedkonklusion er, at de vigtigste parametre af betydning for russervinduets lydisoleringen er vinduets højde, oplukkens åbningsareal samt placering af lydabsorberende materiale i vinduets hulrum. Endvidere har afstanden til loftet betydning, især hvis loftet er lydabsorberende. Det konstateres, at sammenlignes lydisoleringen for et åbentstående, traditionelt vindue og et typisk russervindue med samme åbningsareal, vil russervinduet have en lydisolationsudtryk som $R_w + C_{tr}$, der - afhængigt af russervinduets format og opbygning - er typisk 8-16 dB bedre end lydisoleringen for det traditionelle vindue.

Der er på baggrund af resultaterne i denne rapport udarbejdet en guideline med titlen ”Designguide for bestemmelse af ”Russervinduers” lydisolations”, se reference [7].

Summary and conclusions

This report presents the results of the project “Lydmæssig optimering af “Russervinduer”” (“Optimizing the sound insulation of supply air windows”), carried out by DELTA and H. S. Hansens Fabrikker A/S. The project has been partly funded by the Danish Environmental Protection Agency.

The supply air window investigated in this project is a double window construction with a considerable cavity, consisting of an outer part with an openable sash at the bottom, and an inner part with an openable sash at the top of the window element.

Initially, this report describes the results of a few field measurements of the sound insulation of supply air windows mounted in connection with building renovations. The results of these field measurements were promising.

Before determining the final test plan, an information retrieval was carried through with the purpose to find relevant references. The result of the relatively comprehensive information retrieval was that for the time being no systematic investigations of the sound insulation of this type of window seems to exist.

A considerable number of laboratory measurements were carried out with the purpose to see the influence of a number of essential parameters (e.g. the dimensions of the window, the opening area of the openable sashes and adding sound absorbing material in the cavity of the window). Furthermore, the influence of the distance between the window and the ceiling and the absorbing properties of the ceiling was investigated.

A single field measurement was carried out, where one of the windows used for the laboratory measurements was mounted in the façade of a building situated close to a street with heavy traffic. The agreement between field and laboratory results was satisfactory.

The main conclusion of the project is that the most important parameters influencing the sound insulation is the height of the window, the opening area of the sashes and the amount and shape of sound absorbing material in the cavity. Furthermore, the distance to the ceiling and the sound absorption of the ceiling is of importance.

If the sound insulation (R_w+C_{tr}) is compared for an open, traditional window and the supply air window both with the same opening area, it is seen that the sound insulation of the supply air window is 8-16 dB better than for the traditional window depending on the format and configuration of the supply air window.

Based on the results presented in this report a guideline with the title ”Design guide to determine sound insulation of Supply Air Windows” (in Danish) is prepared, see reference [7].

1 Indledning

1.1 Baggrund

Der er et stigende behov for vinduesløsninger, som har en god lydisolation, også i åben tilstand. F.eks. er der i Miljøstyrelsens vejledning 4/2007: "Støj fra Veje", reference [1], i forbindelse med bygninger opført som f.eks. "hulfyldning" i stærkt trafikeret byområde fastsat krav om, at en vis støjgrænse skal opfyldes indendørs med vinduer åbnet 0,35 m². Der er her tale om et relativt stort åbningsareal, og det indendørs støjkrav kan ikke opfyldes med et åbentstående traditionelt vindue, når det udendørs støjniveau overskrider Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier. En forøget lydisolation kan f.eks. opnås med en dobbelt vindueskonstruktion med et udvendigt og et indvendigt opluk forskudt i forhold til hinanden - det såkaldte "Russervindue" (se note).

Denne konstruktion har endvidere den fordel, at vinduet i lukket tilstand har en meget høj lydisolation. Vinduestypen vurderes at være velegnet i såvel boliger som i kontorbyggerier, hospitaler, skoler mv.

Der er gennem de seneste år udført nogle indledende laboratorieforsøg og enkelte feltmålinger med henblik på at dokumentere russervinduets lydæssige egenskaber. De opnåede resultater ser lovende ud og tyder på, at der til trods for et relativt stort åbningsareal kan opnås en god lydisolation med vinduet i åben tilstand. På denne baggrund ønskes vinduestypen gennem dette projekt yderligere optimeret og dokumenteret. Projektet er gennemført som et samarbejde mellem DELTA og H. S. Hansens Fabrikker A/S og er medfinansieret af Miljøstyrelsen.

Note: Vinduesprincippet blev benyttet i Vinterpaladset i Skt. Petersborg opført i 1762, og er således ca. 250 år gammelt. I 1998 forestod det danske ingeniørfirma NIRAS en restaurering af Vinterpaladset, og det oprindelige vinduesprincip blev genanvendt ved restaureringen. I Danmark blev vinduestypen efterfølgende kendt som "Russervinduet".

1.2 Projektets formål og afgrænsning

Projektets formål er gennem teoretiske overvejelser, beregninger, laboratorie- og feltforsøg at undersøge og optimere de væsentligste parametre af betydning for russervinduets lydisolation. Det er endvidere formålet at udvikle enkle værktøjer til lydæssig dimensionering og optimering. Det er planen på et senere tidspunkt at gennemføre et "fuldskalaforsøg" med måling af lydisolation, reduktion af trafikstøj samt interviews af beboere/brugere i en bygning, hvor russervinduet benyttes.

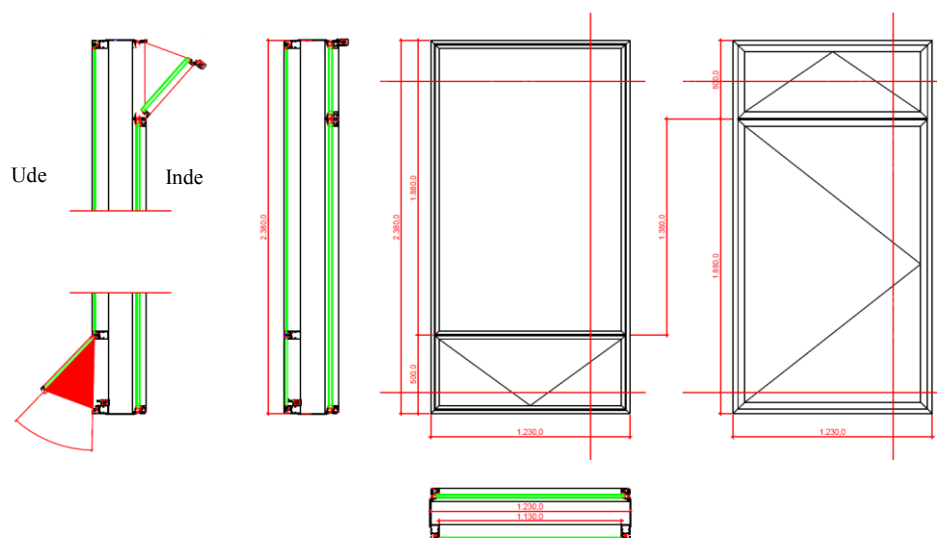
Dette projekt er baseret på vinduer udført med karm/rammekonstruktioner af aluminium. Det vurderes imidlertid, at alle eksisterende vinduestyper (træ, træ/alu, aluminium, stål og plast) kan udformes som russervinduer, og der er store frihedsgrader og variationsmuligheder i design og mekanisk udførelse.

2 Russervinduet – generelt

2.1 Russervinduets konstruktion

Vinduestypen er en dobbeltkonstruktion bestående af en udvendig del med en oplukkelig klap (efterfølgende benævnt opluk) fornedet og en indvendig del med et opluk foroven. Det udvendige opluk er tophængt, og det indvendige opluk er normalt bundhængt. I Figur 1 er vist snittegninger for et typisk russervindue. Figur 2 viser fotos af et russervindue monteret i laboratoriet.

Figur 1: Snittegninger for et typisk russervindue



Vinduet vil normalt være udført med en motorstyring af de to opluk, som ved hjælp af f.eks. en fjernbetjening åbnes og lukkes synkront. Endvidere vil den indvendige vinduesdel ud over oplukket ofte være udført med en oplukkelig ramme, typisk sidehængt, som muliggør adgang til hulrummet mellem udvendig og indvendig del af den dobbelte vindueskonstruktion med henblik på bl.a. rengøring. Den oplukkelige ramme fremgår af Figur 1 og Figur 2.

Figur 2: Fotos af russervindue monteret i laboratoriet



I hulrummet mellem udvendig og indvendig del kan monteres persiener, lameller eller gardiner, hvis funktion evt. kan være motorstyret.

Der er mange muligheder rent designmæssigt med hensyn til udformning af russervinduet. Bl.a. er det muligt at benytte et enkeltglas i den udvendige del. Dette muliggør anvendelse af smalle og spinkle sprosser, hvilket i visse bygningstyper er ønskværdigt.

2.2 Russervinduets ventilationsmæssige egenskaber

Dette projekt omhandler ikke vinduestypens ventilations- og varmemæssige egenskaber. Disse egenskaber skal derfor i dette afsnit blot omtales summarisk.

Vinduets opbygning som en dobbeltkonstruktion med et udvendigt opluk forned i den udvendige del og et opluk foroven i den indvendige del bevirker, at der tilvejebringes en opadgående luftstrøm i hulrummet. Dette sker som følge af ”skorstenseffekten”, idet luften i hulrummet med samtidig ventileret typisk vil være 1-30 °C varmere end luften udendørs. Ved at supplere den naturlige ventilation fra vinduet med mekanisk udsugning, fx i en hybrid ventilation, opnås en mere effektiv udnyttelse af ”skorstenseffekten”.

Med russervinduet i lukket tilstand opnås en varmeisolation langt bedre end normale lavenergivinduer. Der er her tale om et PlusEnergivindue, hvor varmetilskuddet er væsentligt større end varmetabet.

2.3 Russervinduets lydæssige egenskaber

Med åbne opluk forventes følgende parametre at have indflydelse på vinduets lydisolation:

- Vinduets dimensioner (bredde, højde og tykkelse)
- Oplukkenes højde
- Oplukkenes åbningsareal/åbningsvinkel
- Lydabsorberende materiale i hulrummet (f.eks. karmabsorbent)
- Indbyggede komponenter i hulrummet (persiener, gardiner mv.)
- Opbygning af udvendig og indvendig rude (kun mindre betydning)
- Afstanden mellem vinduets overkant og loftet samt evt. placering af lydabsorberende materiale på loftet

Med lukkede opluk forventes følgende parametre at have indflydelse på vinduets lydisolation:

- Vinduets dimensioner (bredde, højde og tykkelse)
- Lydabsorberende materiale i hulrummet (f.eks. karmabsorbent)
- Opbygning af udvendig og indvendig rude
- Tæthed mellem karm og oplukkelige dele
- Indbyggede komponenter i hulrummet (persiener, gardiner mv.) (Formentlig kun mindre betydning)
- Mekanisk kobling mellem udvendig og indvendig karm

3 Eksisterende erfaringer med russervinduets lydmæssige egenskaber

3.1 Generelt

Der har gennem en del år været udvist interesse for vinduestypen. F.eks. gennemførtes i 2002 et projekt ”3 G vinduer” udført for Energistyrelsen af DesignGroup. Det konkluderes, at der er interessante udviklingsmuligheder i denne vinduestype, også på det lydmæssige område, se reference [10]. Der er efterfølgende ikke sket væsentlige fremskridt, og det vurderes, at videre udvikling kræver et løft, hvad angår viden og dokumentation. Dette projekt medvirker til dette.

3.2 Feltnmålinger

Anvendelse af vinduer af russervinduestypen har hidtil været meget begrænset. Der skal her omtales to byggerier, hvor vinduer konstrueret som russervinduer er benyttet.

Jægersborg Vandtårn, Gentofte Kommune

I forbindelse med ombygning af Jægersborg Vandtårn til ungdomsboliger er en del af vinduerne udført som russervinduer. Vinduernes højde og bredde er henholdsvis 2,65 m og 0,65 m, og afstanden mellem oplukkene er ca. 1,75 m. Afstanden mellem udvendig og indvendig rude er 0,17 m, og tværsnitsarealet mellem ruderne er ca. 0,11 m². Der er ét russervindue i hvert rum.

Niveaudifferencen mellem udendørs og indendørs A-vægtet støjniveau, målt med vejtrafik som støjkilde, er 32-33 dB afhængig af oplukkenes åbningsvinkel. (Udendørsniveau er en fritfeltsværdi, indendørsniveau er korrigeret til en efterklangstid på 0,5 s, og modtagerummets gulvareal er ca. 25 m²), reference [8]

Ørnegårdsvej, Gentofte Kommune

I en boligbebyggelse på Ørnegårdsvej er en del af vinduerne udført som russervinduer. Vinduerne er opbygget som traditionelle russervinduer, men er monteret vandret liggende, dvs. har længste dimension i horisontal retning. Højde og bredde af det målte vindue er henholdsvis 0,45 m og 2,41 m, og afstanden mellem oplukkene er ca. 1,36 m. Afstanden mellem udvendig og indvendig rude er 0,23 m, og tværsnitsarealet mellem ruderne er ca. 0,10 m². Der er ét russervindue i hvert rum.

Niveaudifferencen mellem udendørs og indendørs A-vægtet støjniveau, målt med vejtrafik som støjkilde, er 28-29 dB afhængig af oplukkenes åbningsvinkel. (Udendørsniveau er en fritfeltsværdi, indendørsniveau er korrigeret til en efterklangstid på 0,5 s, og modtagerummets gulvareal er ca. 7 m²), reference [9].

3.3 Laboratoriemålinger

I efteråret 2008 gennemførtes ved Syddansk Universitet et eksamensprojekt omhandlende russervinduers lydisoleringsegenskaber, se reference [12]. I projektet bestemtes ved laboratoriemålinger lydisoleringens afhængighed af basale parametre som vinduets højde og tykkelse samt oplukkenes åbningsvinkel, og der blev søgt udledt en matematisk sammenhæng mellem disse parametre. Der udførtes endvidere målinger med en karmabsorbent samt med en persienne/et gardin i hulrummet. Målingerne gennemførtes i november 2008. H. S. Hansens Fabrikker A/S og DELTA var involveret i dette eksamensprojekt. Nærværende projekt bygger bl.a. på erfaringerne fra dette projekt.

3.4 Litteratursøgning

3.4.1 Fremgangsmåde

Det er i forbindelse med dette projekt ved litteratursøgning søgt afklaret, om der tidligere er udført relevante undersøgelser af russervinduers lyd-mæssige egenskaber. Litteratursøgningen er udført dels ved søgning direkte på relevante forskningsinstitutioners hjemmesider, dels ved generel søgning på Internettet ved hjælp af diverse søgemaskiner. Endvidere er udvalgte kongres-proceedings gennemset. Disse er bl.a. fundet via publikationerne "Ny viden" fra Miljøstyrelsen.

Søgningen har været begrænset til vindueskonstruktioner af russervinduestypen, dvs. dobbeltkonstruktioner med et udvendigt og et indvendigt opluk, som er forskudt i forhold til hinanden.

Generelle betegnelser for vinduer med mulighed for naturlig ventilation er f.eks.:

- Ventilationsvindue
- Supply air window (alternativt: air supply window)
- Exhaust air window (når indeluften føres ud i det fri)
- Air flow window
- Air vented window

Hvad angår forskningsinstitutioner mv. har søgningen primært været gennemført på følgende:

- ift Rosenheim (Institut für Fenstertechnik e.V.), Tyskland
- CSTB Centre Scientifique et Technique du bâtiment), Frankrig
- BRE Building Research Establishment, England
- SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Sverige
- VTT Technical Research Centre of Finland, Finland
- SINTEF Byggeforsk, Norge
- TNO, Holland

3.4.2 Resultat

Resultatet af litteratursøgningen er, at det tilsyneladende er yderst begrænset, hvad der er udført af undersøgelser vedrørende lyd-mæssige egenskaber for naturligt ventilerede vinduer af russervinduestypen, bortset fra et par danske referencer omhandlende målinger udført i felten, reference [8] og [9]. Der er dog fundet nogle få referencer vedrørende lydisoleringen for åbentstående traditionelle vinduer, f.eks. reference [13] til [16]. Der er endvidere fundet en enkelt reference vedrørende russervinduers varm-mæssige egenskaber, reference [20].

Endelig kan nævnes, at der er en del referencer vedrørende anvendelse af aktiv støjdemning af vinduer, specielt dobbeltkonstruktioner med stor hulrumsdybde, reference [21] til [26]. Denne teknik kunne være relevant i forbindelse med russervinduer, såvel i lukket som i åben tilstand.

Konklusionen af litteratursøgningen er således, at det med stor sandsynlighed kan fastslås, at der ikke tidligere er udført detaljerede og systematiske undersøgelser af russervinduers lydmæssige egenskaber baseret på laboratorieforsøg.

3.4.3 Udvalgte litteraturhenvisninger

Til trods for, at der kun er fundet ganske få referencer, som direkte omhandler russervinduers lydmæssige egenskaber henvises alligevel til en række udvalgte referencer, som muligvis kunne være af interesse for vinduesudviklere, rådgivere m.fl., se referencerne [10] til [26] i reference- og litteraturlisten i bilag 1.

4 Måleresultater - laboratoriemålinger

4.1 Måleplan

I dette projekt er følgende parametre, som forventes at have indflydelse på russervinduets lydisolations, undersøgt eksperimentelt gennem en række laboratorieforsøg:

- Vinduesets dimensioner (højde, bredde, tykkelse)
- Oplukkenes højde
- Oplukkenes åbningsareal
- Lydabsorberende materiale i vindueshulrummet
- Persiener, lameller og gardiner i vindueshulrummet
- Lydabsorberende folie i vindueshulrummet
- Pollenfilter/partikelfilter i vindueshulrummet
- Rudeopbygning
- Afstand fra øverste opluk til loftet
- Lydabsorberende materiale på loftet

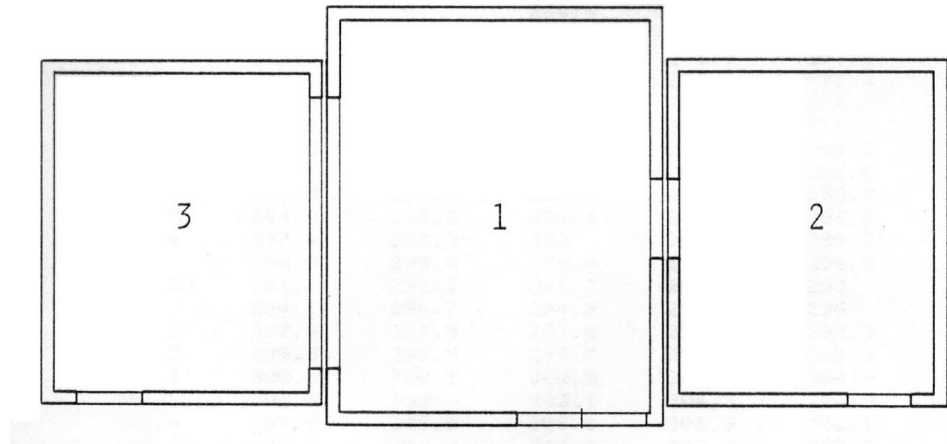
4.2 Målerum

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. Figur 3 viser et vandret snit i målerummene, hvor rum 1 er senderummet og rum 2 og 3 modtagerummene. I Figur 4 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 [5].

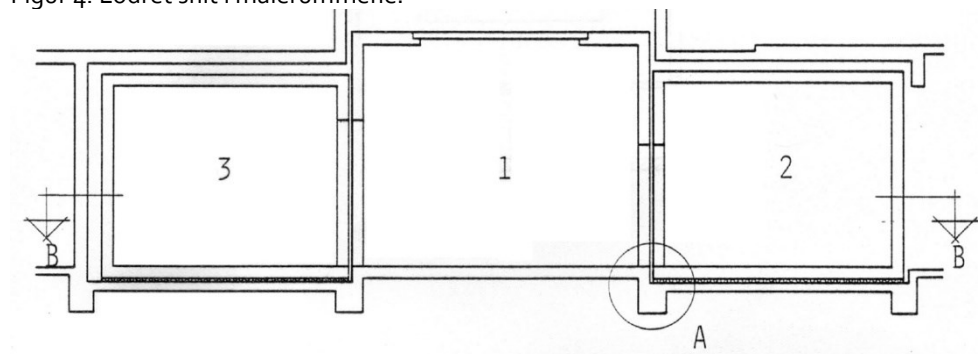
Den store måleåbning mellem rum 1 og 3 er tilpasset russervinduernes dimensioner ved opbygning af lette vægkonstruktioner med høj lydisolations, i hvilken vinduesåbningen er etableret. Vandret snit i de lette vægkonstruktioner er vist i Figur 5. Tykkelsen af de to konstruktioner er hhv. ca. 220 mm og ca. 320 mm.

Bemærk: Ved målingerne mellem rum 1 og 3 er vinduet ”vendt på hovedet” i forhold til normal montage, hvor det udvendige opluk sidder fornedet og det indvendige opluk foroven. Under målingerne er det udvendige opluk således placeret foroven og det indvendige fornedet. Dette er gjort for - i de givne laboratoriefaciliteter - at opnå målebetingelser, som bedst muligt illuderer forholdene i praksis. Endvidere forenkler det forsøgene med afstand til loft og loftets absorption, idet modtagerummets gulv fungerer som loftsflade.

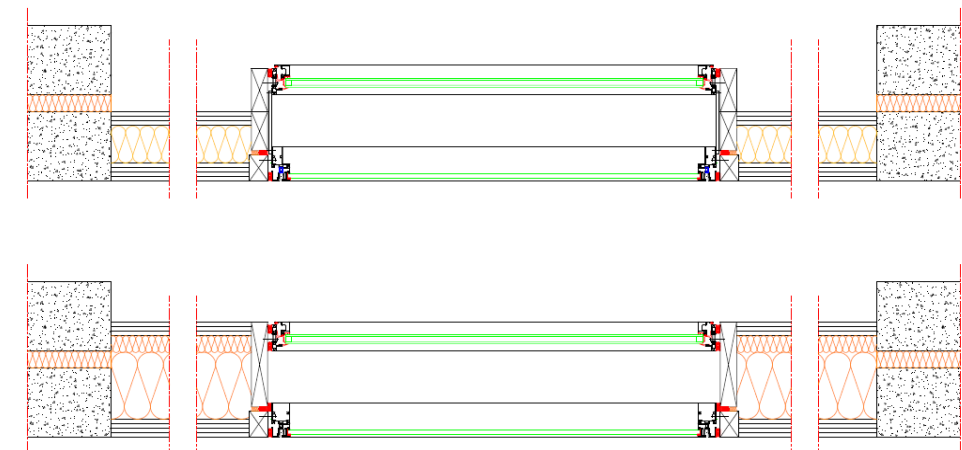
Figur 3: Vandret snit i målerummene.



Figur 4: Lodret snit i målerummene.



Figur 5: Vandret snit i let vægkonstruktion opbygget i åbningen mellem rum 1 og 3. Væggen vist i øverste snit er anvendt ved måleserie 0 og væggen i nederste snit ved måleserie 2 og 3. (Vedrørende måleserie, se afsnit 4.3.)



4.3 Måleobjekter

Der blev anvendt vinduer med tre forskellige højder: 1480 mm, 1930 mm og 2380 mm. Alle vinduer havde bredden 1230 mm. Højden af udvendigt og indvendigt opluk var henholdsvis 300 mm og 500 mm, se Figur 6. Der blev endvidere benyttet et vindue, hvor højden af udvendigt og indvendigt opluk begge var 500 mm. Oplukkene var motorstyrede og blev åbnet/lukket synkront ved hjælp af en fjernbetjening.

Hovedparten af målingerne blev foretaget med den samme kombination af udvendig og indvendig ruderudeopbygning, men enkelte målinger blev udført med en alternativ rudekombination (omtales senere).

Målingerne blev foretaget i 4 serier, hvor serie 1 blev udført i åbningen mellem rum 1 og 2, mens serie 0, 2 og 3 blev udført i den reducerede åbning mellem rum 1 og 3. Måleresultater anvendt i rapporten er vist i bilag 4.

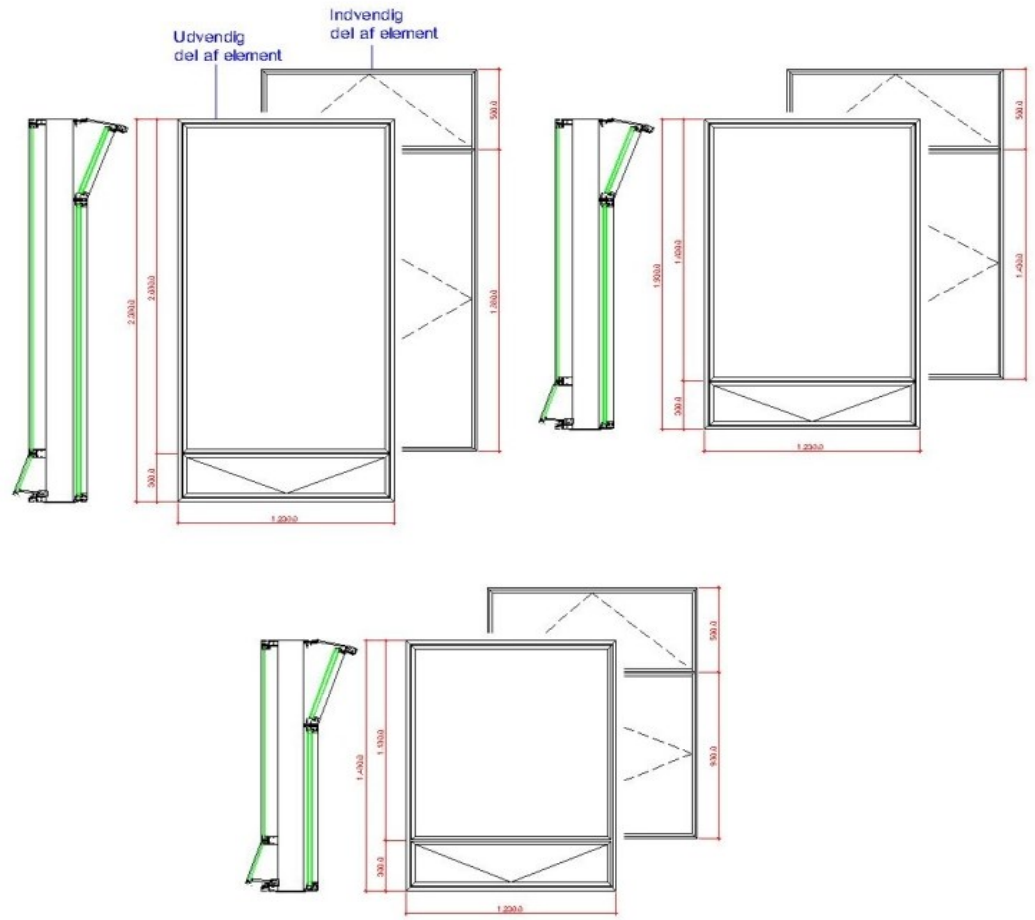
SERIE 0: Serie 0 består af måling 1 til 67 og omfatter målinger udført i forbindelse med det i afsnit 3.3 omtalte eksamensprojekt ved Syddansk Universitet, se reference [12]. Disse målinger havde primært til formål at undersøge betydningen af vinduets højde og tykkelse, se Figur 6 og Figur 15.

SERIE 1: Serie 1 består af måling 101 til 105 og omfatter enkelte målinger foretaget på et åbentstående almindeligt tophængt vindue i standardformat 1230 mm x 1480 mm. Vinduet var monteret i måleåbningen mellem rum 1 og 2, hvor måleåbningens højde ved hjælp af et betonelement blev reduceret til 1500 mm. Fotos af det tophængte vindue er vist i Figur 8.

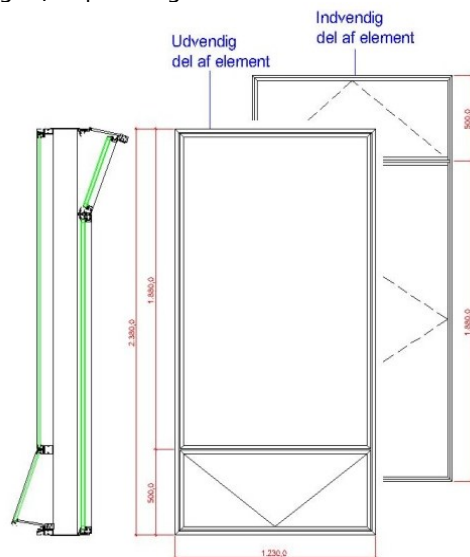
SERIE 2: Serie 2 består af måling 201 til 247, og er målinger foretaget på primært vindueselementerne med den mellemste højde (1930 mm). Her blev bl.a. betydningen af henholdsvis afstanden mellem øverste opluk og loftet og loftets lydabsorberende egenskaber undersøgt. Desuden er betydningen af oplukkenes højde undersøgt. Dette er gjort ved hjælp af en kombination af det indvendige vindueselement i den største højde (2380 mm) og en udvendig trækonstruktion, hvor forskellige højder af det udvendige opluk kan etableres, se Figur 9 og Figur 10.

SERIE 3: Serie 3 består af måling 301 til 364 og er målinger foretaget på det højeste vindueselement (2380 mm) i en udformning, hvor udvendigt og indvendigt opluk begge har højde 500 mm, se Figur 7.

Figur 6: Opstalt og lodret snit af vindueselementerne anvendt ved måleserie 0 og 2.



Figur 7: Opstalt og lodret snit af vindueselementerne anvendt til måleserie 3.



Figur 8: Åbentstående, tophængt vindue anvendt ved måleserie 1. Set fra indvendig og udvendig side (henholdsvis venstre og højre foto).



Figur 9: Udvendig trækonstruktion anvendt til undersøgelse af betydningen af oplukkenes højde. Oplukkenes højde er henholdsvis 700 mm, 500 mm og 300 mm.



Figur 10: Trækonstruktionens opluk set fra siden.



4.4 Målestørrelser

Måling af vinduers lydisolations i laboratorium udføres i henhold til ”DS/EN ISO 10140-serien ”Akustik-Laboratoriemåling af bygningselementers lydisolations”, reference [2] til [5].

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.

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 [6].

Hovedresultatet af en lydisolationsmåling i laboratorium 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
<ul style="list-style-type: none"> - 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 hørfrekvensområdet 	C
<ul style="list-style-type: none"> - 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 russervinduet med lukkede opluk, er dette at betragte som et traditionelt vindue, som uden videre blot måles i henhold til DS/EN ISO 10140-metoden, reference [2] til [5]. Åbnes oplukkene ændrer russervinduet derimod karakter fra et traditionelt vindue til en konstruktion, som snarere kan betragtes som en kanal, gennem hvilken lyden transmitteres. Lydtransmission direkte gennem glassene 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 russervinduer. Dette betyder, at R_w (C; C_{tr}) for et russervindue 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 russervinduer, 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 bygningselementer, ofte med et ikke veldefineret areal, som f.eks. udeluftventiler og kabelgennemføringer. Ved måling efter denne metode vil de lydisolationsmæssige egenskaber for ens konstruerede russervinduer, men med forskellige dimensioner umiddelbart kunne sammenlignes.

Som det fremgår af ovenstående, er ingen af de to målestørrelser oplagte til beskrivelse af russervinduets lydisolations. Det er besluttet i dette projekt at betragte russervinduet som et traditionelt vindue, dvs. at lydisolations opgives som reduktionstal og enkelttalsværdien R_w (C; C_{tr}). I forbindelse med målinger, hvor lydisolations for russervinduer med forskellig højde eller bredde sammenlignes, opgives både R_w (C; C_{tr}) og $D_{n,e,w}$ (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 4.

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

4.5 Overvejelser vedrørende krav til åbningsareal

I vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 4 2007 ”Støj fra veje” er der i afsnit 2.2.2 anført følgende særlige krav gældende for nye boliger i eksisterende støjbelastede byområder:

2.2.2 Nye boliger i eksisterende støjbelastede byområder

I eksisterende boligområder og områder for blandede byfunktioner i bymæssig bebyggelse kan der opstå ønske om at forny eller vitalisere boligkvarterer, herunder også i forbindelse med byfornyelse og såkaldt ”huludfyldning” i eksisterende karrébyggeri, selv om grænseværdien på 58 dB på ingen måde kan overholdes. Der kan også i disse særlige situationer planlægges nye, støjisolerede boliger (og tilsvarende støjfølsom anvendelse) under forudsætning af, at det sikres at:

- Alle udendørs områder, der anvendes til ophold i umiddelbar tilknytning til boligerne har et støjniveau lavere end 58 dB. Det samme gælder områder i nærheden af boligen, der overvejende anvendes til færdsel til fods (fx gangstier, men ikke fortove mellem boligen og vejen), og
- Udformningen af boligernes facader sker, så der er et støjniveau på højst 46 dB² indendørs i sove- og opholdsrum med åbne vinduer (fx med særlig afskærmning udenfor vinduet, eller særligt isolerende konstruktioner), samt

² Støjgrænsen for støjisolerede boliger i sove- og opholdsrum er L_{den} 46 dB, beregnet med åbne vinduer i møbleret rum. Det forudsættes, at alle oplukkelige vinduer er åbnet til et åbningsareal på 0,35 m² pr. vindue, og at efterklangstiden er 0,5s. Samme støjgrænse benyttes for undervisnings- og daginstitutionsbygninger samt hospitaler o.l. For kontorer mv. er grænseværdien for åbne vinduer L_{den} 51 dB. Disse grænser svarer til de støjniveauer, der opstår indendørs med almindelige åbne vinduer, når der er henholdsvis 58 dB og 63 dB udenfor facaden.

- Boligerne orienteres, så der så vidt muligt er opholds- og soverum mod boligens stille facade og birum mod gaden.

For boliger o.l., hvor disse hensyn imødekommes, skal det udendørs støjniveau ved facaden ikke sammenholdes med de vejledende grænseværdier. Bygningsreglementets krav til indendørs støjniveau med lukkede vinduer (se afsnit 5.4) skal desuden være overholdt for at bygningen kan tages i brug.

Der bør aldrig planlægges for boliger eller støjfølsom anvendelse i øvrigt, hvor støjniveauet er højere end 68 dB. Ved planlægning for boliger i støjbelastede områder bør der desuden sikres adgang til nærliggende, grønne områder, som ikke er støjbelastede (læs i kapitel 3 om lydlandskaber og stilleområder).

Som det fremgår af ovenstående, skal der ved etablering af boliger i særligt støjbelastede områder være mulighed for at åbne vinduer i sove- og opholdsrum, uden at støjniveauet i disse rum overstiger $L_{den} = 46$ dB. Det forudsættes, at dette krav kan opfyldes med vinduerne åbnet svarende til et åbningsareal på 0,35 m² pr. vindue.

Opfyldelse af $0,35 \text{ m}^2$ kravet til åbningsareal er ikke noget problem i forbindelse med traditionelle vinduer - f.eks. tophængte eller sidehængte - i almindeligt forekommende formater.

Hvad angår russervinduer vil et åbningsareal på $0,35 \text{ m}^2$ af det udvendige og indvendige opluk normalt kunne tilvejebringes uden problemer. Det er udelukkende et spørgsmål om at dimensionere højden af oplukkene korrekt. Det kan være mere problematisk at opnå et frit tværsnitsareal på $0,35 \text{ m}^2$ hele vejen op gennem vindueskonstruktionen. Af hensyn til vinduets stabilitet vil det sædvanligvis være nødvendigt med én eller flere tværsprosser, som lokalt vil reducere tværsnitsarealet. Med typiske vinduesbredder på $0,7 \text{ m}$ til $1,5 \text{ m}$ vil et tværsnitsareal på $0,35 \text{ m}^2$ - også ud for tværsprosserne - kræve vinduer med en uforholdsmæssig stor tykkelse. Dette vil ofte være umuligt rent praktisk at indpasse i byggeriet, ligesom det rent arkitektonisk kan være vanskeligt at integrere vinduer med meget stor tykkelse.

Det er derfor i forbindelse med dette projekt overvejet, om det kan accepteres, at tværsnitsarealet reduceres i forhold til de $0,35 \text{ m}^2$, forudsat at begge opluk kan åbnes $0,35 \text{ m}^2$. H. S. Hansens Fabrikker A/S (HansenProfile) har udarbejdet et notat om dette vedlagt i bilag 2. Endvidere har COWI for HansenProfile vurderet problemstillingen og udarbejdet notatet vedlagt i bilag 3.

I notatet udarbejdet af COWI skønnes, at ved udluftning gennem et traditionelt åbentstående vindue vil der forekomme en luftstrøm begge veje (udefra og ind, og indefra og ud), mens der for russervinduets vedkommende udelukkende vil forekomme en luftstrøm udefra og ind, idet der antages at være udsugning i rummene (f.eks. gennem emhætter, aftrækshætter eller via anden mekanisk ventilation). COWI vurderer på denne baggrund, at der for russervinduets vedkommende således kun er behov for det halve tværsnitsareal for at opnå det samme luftskifte som med et traditionelt vindue. Det vurderes endvidere, at kravet til russervinduets tværsnitsareal kan reduceres yderligere til ca. 30 % af et traditionelt vindues åbningsareal, idet der i vinduets hulrum opstår en "skorstenseffekt".

På baggrund af ovenstående er det i relation til målingerne i dette projekt besluttet, at det kan accepteres, at tværsnitsarealet - i det efterfølgende benævnt "det effektive gennemstrømningsareal" - f.eks. lokalt ved tværgående sprosser reduceres til $0,20 \text{ m}^2$ forudsat, at begge opluk kan åbnes $0,35 \text{ m}^2$. Med vindueskonstruktionen anvendt i dette projekt vil der med en afstand mellem ruderne på 245 mm og en vinduesbredde på 1230 mm være et effektivt gennemstrømningsareal ved sprossen på $0,20 \text{ m}^2$ og mellem udvendig og indvendig rude på ca. $0,30 \text{ m}^2$.

4.6 Måleresultater – åbne opluk

I dette samt i de efterfølgende afsnit præsenteres og analyseres de væsentligste resultater fra det gennemførte projekt samt fra det tidligere nævnte eksamensprojekt ved SDU, se reference [12].

Dette afsnit omhandler resultater fra målinger med åbne opluk, mens afsnit 4.7 vedrører målinger på russervinduet med lukkede opluk.

Måleresultater præsenteres dels som kurver, der angiver reduktionstallet pr. 1/3-oktav, dels som enkelttalsværdierne R_w , R_w+C og R_w+C_{tr} . På kurveplottene er angivet en referencekurve, som relaterer til den førstnævnte kurve i betegnelsen

under afbildningen. For figurer, hvor forskellige vindueshøjder eller vinduesbredder sammenlignes, opgives desuden enkelttalsværdier for den element-normaliserede niveaudifferens $D_{n,e,w}$, $D_{n,e,w}+C$ og $D_{n,e,w}+C_{tr}$. I parentes efter enkelttalsværdierne er angivet et nummer, som entydigt identificerer målingen. Dette nummer henviser til bilag 4, hvor der anføres talværdier for 1/3-oktavreduktionstallene.

Ved konklusioner på basis af enkelttalsværdier fokuseres i det følgende primært på R_w+C_{tr} , som er mest relevant i relation til vejtrafikstøj.

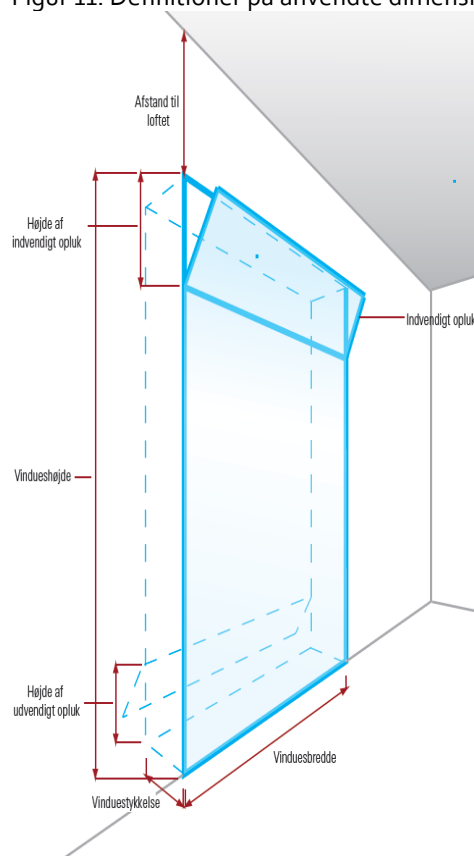
Ved målingerne beskrevet i de følgende afsnit var afstanden mellem overkant af det indvendige opluk og loftet 200 mm, loftet var reflekterende og rudekonfiguration 1, se afsnit 4.6.11, har været anvendt med mindre andet angives.

4.6.1 Vindueshøjden

I dette afsnit undersøges betydningen af vindueshøjden for forskellige vinduestykkelser og ved forskellige åbningsarealer for oplukkene. Vindueshøjden defineres som den indvendige afstand mellem bundkarm og topkarm, se Figur 11. Ved russervinduer, hvor udvendig og indvendig del er separate konstruktioner, vil vindueshøjden være den samme som det udvendige karm mål.

Vinduestykkelsen er beskrevet i afsnit 4.6.2, og åbningsarealet for oplukkene er beskrevet i afsnit 4.6.4. De anvendte vindueshøjder for de benyttede vinduer er 2380 mm, 1930 mm og 1480 mm, se Figur 6. Dimensionerne på oplukkene er ens for de 3 højder ved målingerne beskrevet i dette afsnit.

Figur 11: Definitioner på anvendte dimensioner af russervinduet.



I Figur 12 er vindueshøjdens betydning vist for en vinduestykkelse på 245 mm, hvor åbningsarealet for udvendigt opluk er 0,14 m² og for indvendigt opluk 0,26

m². I det følgende vil notationen ”0,14 m² | 0,26 m²” blive anvendt, hvor tallet før den lodrette streg således angiver åbningsarealet for udvendigt opluk, og tallet efter den lodrette streg angiver åbningsarealet for indvendigt opluk.

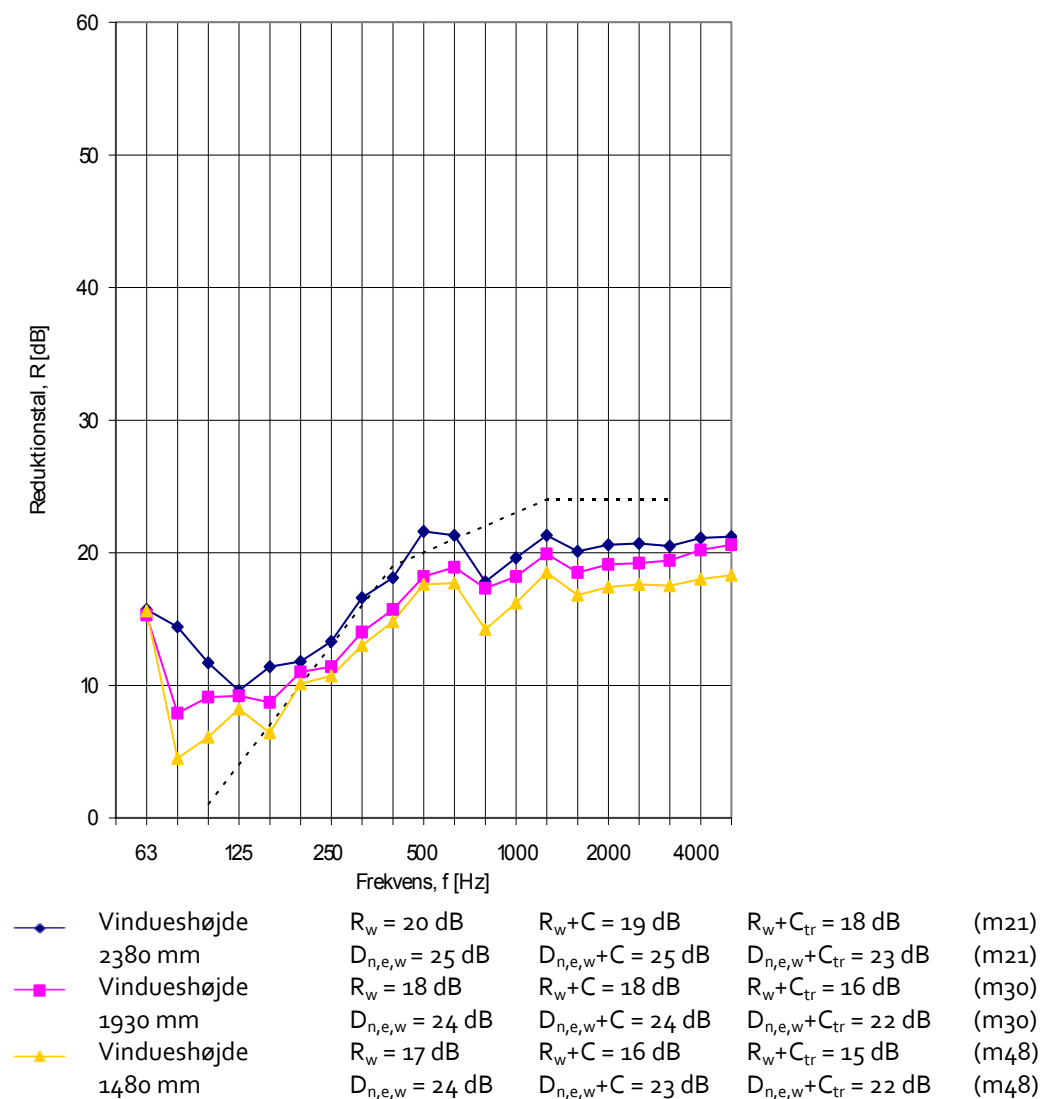
Figur 13 viser vindueshøjdens betydning stadig for en vinduestykkelse på 245 mm, men med åbningsareal af oplukkene på 0,35 m² | 0,35 m².

Figur 14 viser højdens betydning for en reduceret vinduestykkelse på 145 mm og med åbningsareal af oplukkene på 0,14 m² | 0,26 m².

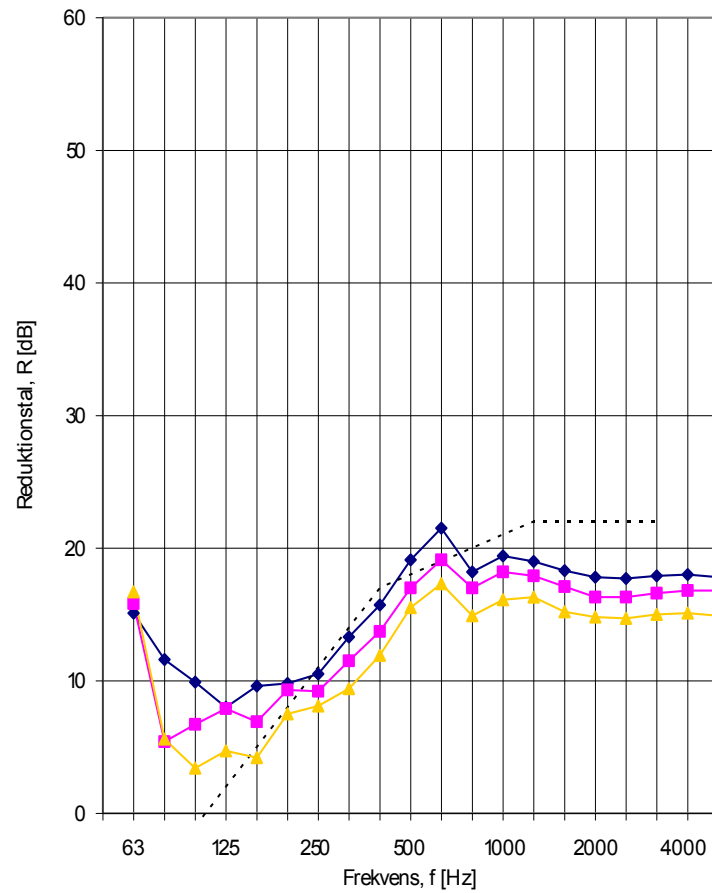
Figureerne viser reduktionstallet pr. 1/3-oktav med centerfrekvenserne fra 63 Hz til 5000 Hz for vindueshøjderne 2380 mm, 1930 mm og 1480 mm.

Figur 12 til Figur 14 viser, at der er en tendens til, at de tre kurver i store dele af frekvensområdet er parallelforskydte. Forskellen mellem R_w+C_{tr} for hhv. laveste og højeste vindue ses i alle tre figurer at være 3 dB. Den tilsvarende forskel mellem D_{n,e,w}+C_{tr} – værdierne er 1-2 dB. Det bemærkes at reduktionskurverne har et typisk ”dyk” i frekvensområdet 630 – 1250 Hz. Dette kan eventuelt skyldes, at den laveste egenresonans svarende til afstanden mellem ruderne ligger i området 700 – 1200 Hz.

Figur 12: Vindueshøjdens betydning med en vinduestykkelse på 245 mm og med et åbningsareal af oplukkene på 0,14 m² | 0,26 m².

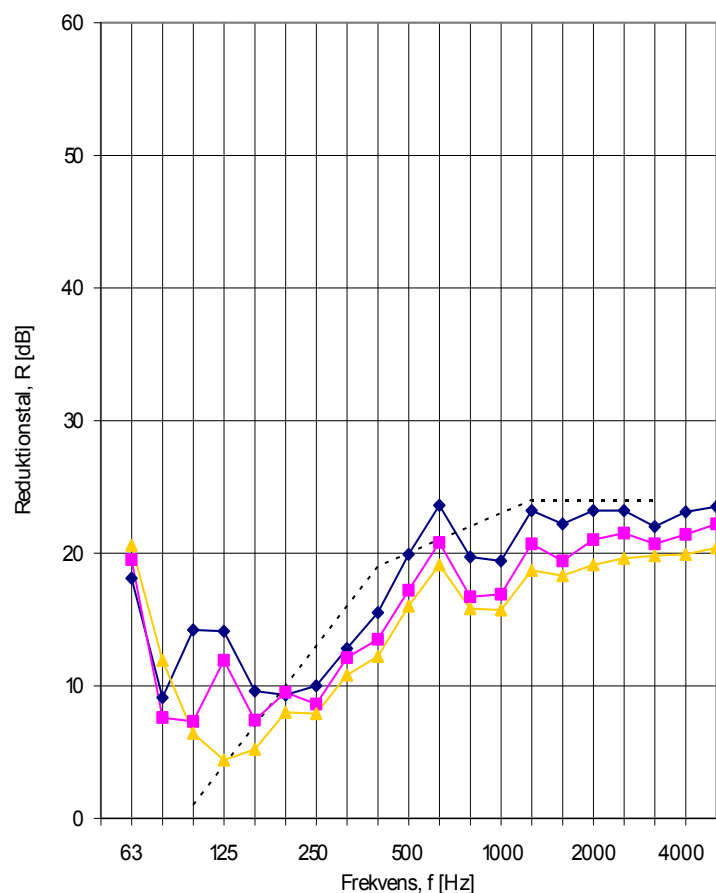


Figur 13: Vindueshøjdens betydning med en vinduestykkelse på 245 mm og et åbningsareal af oplukkene på 0,35 m² | 0,35 m².



◆ Vindueshøjde 2380 mm	$R_w = 18$ dB $D_{n,e,w} = 23$ dB	$R_w+C = 17$ dB $D_{n,e,w}+C = 23$ dB	$R_w+C_{tr} = 16$ dB $D_{n,e,w}+C_{tr} = 21$ dB	(m25)
■ Vindueshøjde 1930 mm	$R_w = 17$ dB $D_{n,e,w} = 23$ dB	$R_w+C = 16$ dB $D_{n,e,w}+C = 22$ dB	$R_w+C_{tr} = 15$ dB $D_{n,e,w}+C_{tr} = 21$ dB	(m34)
▲ Vindueshøjde 1480 mm	$R_w = 15$ dB $D_{n,e,w} = 22$ dB	$R_w+C = 14$ dB $D_{n,e,w}+C = 21$ dB	$R_w+C_{tr} = 13$ dB $D_{n,e,w}+C_{tr} = 20$ dB	(m51)

Figur 14: Vindueshøjdens betydning med en vinduestykkelse på 145 mm og med et åbningsareal af oplukkene på 0,14 m² | 0,26 m².

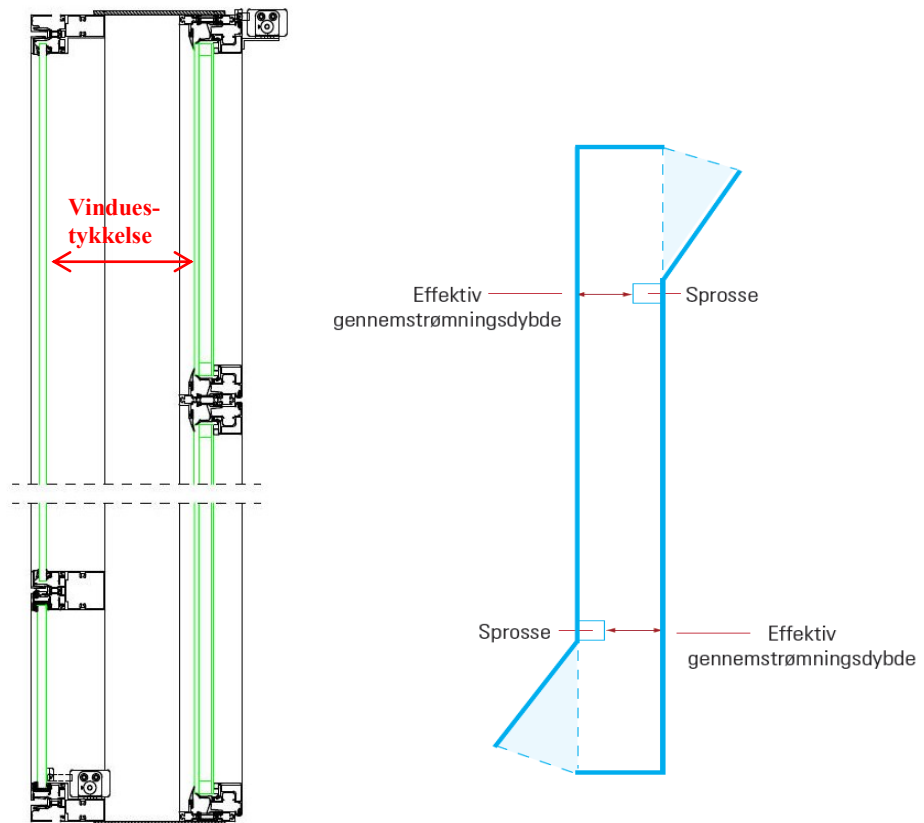


◆ Vindueshøjde 2380 mm	$R_w = 20$ dB	$R_w+C = 20$ dB	$R_w+C_{tr} = 17$ dB	(m11)
	$D_{n,e,w} = 26$ dB	$D_{n,e,w}+C = 25$ dB	$D_{n,e,w}+C_{tr} = 23$ dB	(m11)
■ Vindueshøjde 1930 mm	$R_w = 18$ dB	$R_w+C = 18$ dB	$R_w+C_{tr} = 15$ dB	(m36)
	$D_{n,e,w} = 24$ dB	$D_{n,e,w}+C = 24$ dB	$D_{n,e,w}+C_{tr} = 21$ dB	(m36)
▲ Vindueshøjde 1480 mm	$R_w = 17$ dB	$R_w+C = 16$ dB	$R_w+C_{tr} = 14$ dB	(m43)
	$D_{n,e,w} = 24$ dB	$D_{n,e,w}+C = 23$ dB	$D_{n,e,w}+C_{tr} = 21$ dB	(m43)

4.6.2 Vinduestykkelsen

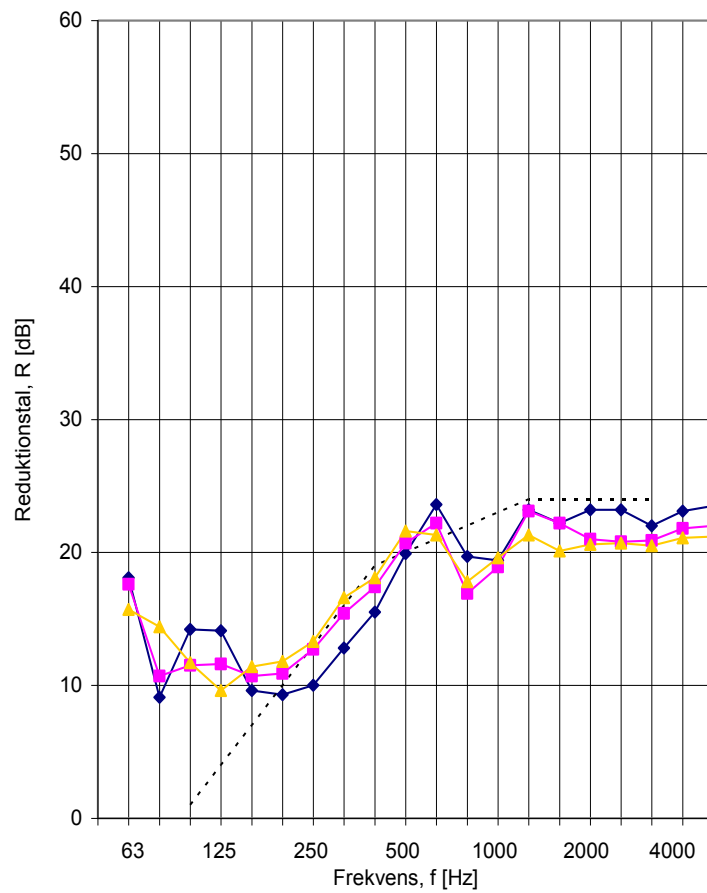
I dette afsnit undersøges betydningen af vinduets tykkelse for forskellige vindueshøjder og åbningsarealer af oplukkene. De anvendte vinduestykkelser er 145 mm, 195 mm, 245 mm og 355 mm. Vinduestykkelsen er defineret som afstanden mellem ruderne inde i hulrummet, se Figur 15. Af figuren fremgår endvidere, hvordan den effektive gennemstrømningsdybde er defineret (benyttes senere i afsnittet).

Figur 15: Definition på vinduestykkelse og mindste effektive gennemstrømningsdybde.



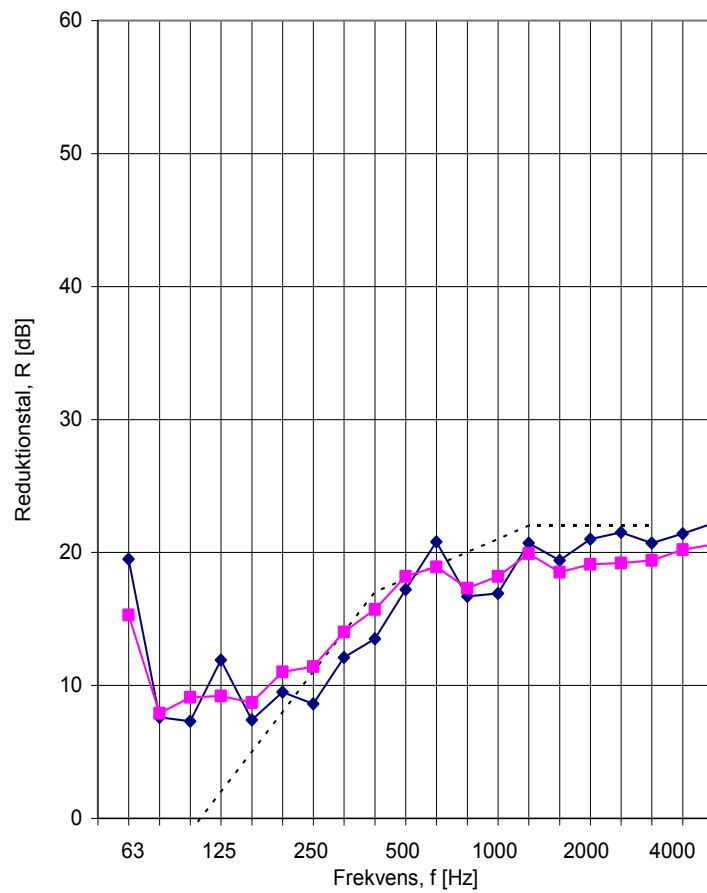
Figur 16 til Figur 19 viser betydningen af ændring af vinduestykkelsen for vinduer med højderne 2380 mm, 1930 mm og 1480 mm. I Figur 16 til Figur 18 er åbningsareal af oplukkene $0,14 \text{ m}^2$ | $0,26 \text{ m}^2$, mens det i Figur 19 er $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$.

Figur 16: Vinduestykkelsens betydning for et 2380 mm højt vindue med et åbningsareal af oplukkene på 0,14 m² | 0,26 m².



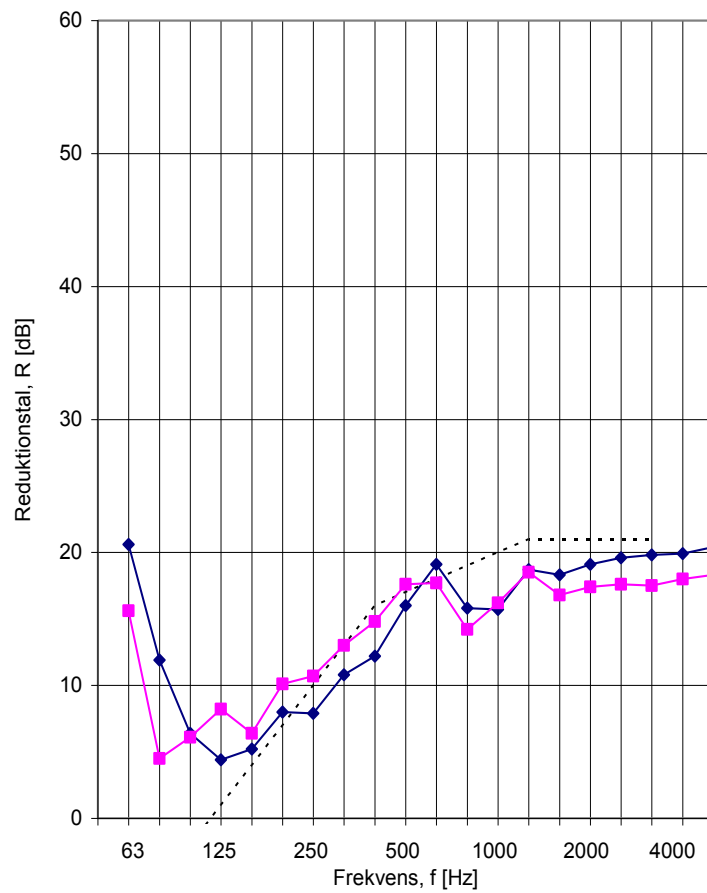
◆	Vinduestykkelse 145 mm	$R_w = 20$ dB	$R_w + C = 20$ dB	$R_w + C_{tr} = 17$ dB	(m11)
■	Vinduestykkelse 195 mm	$R_w = 20$ dB	$R_w + C = 19$ dB	$R_w + C_{tr} = 18$ dB	(m18)
▲	Vinduestykkelse 245 mm	$R_w = 20$ dB	$R_w + C = 19$ dB	$R_w + C_{tr} = 18$ dB	(m21)

Figur 17: Vinduestykkelsens betydning for et 1930 mm højt vindue med et åbningsareal af oplukkene på 0,14 m² | 0,26 m².



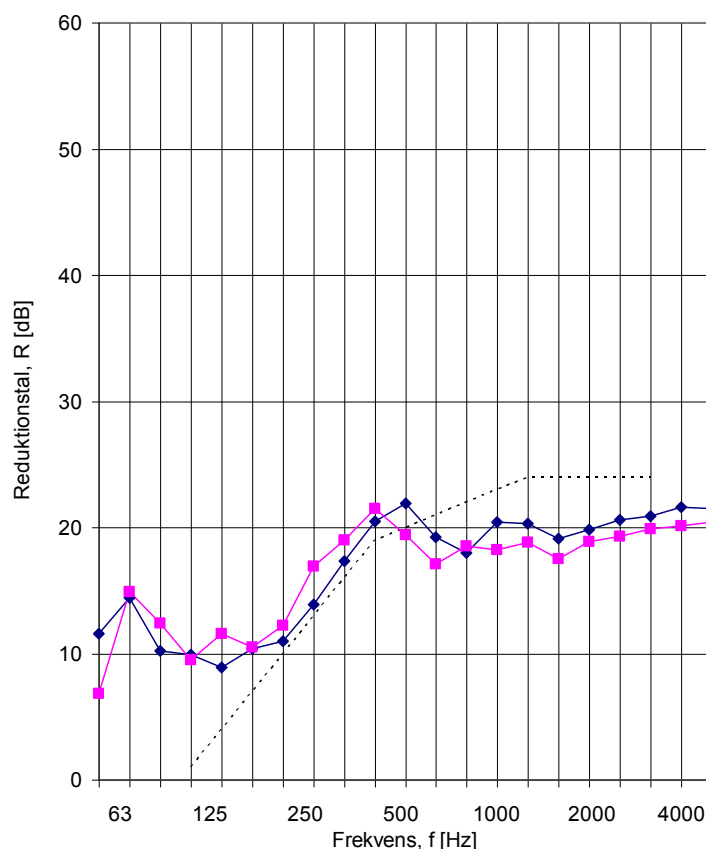
◆	Vinduestykkelse 145 mm	$R_w = 18$ dB	$R_w + C = 18$ dB	$R_w + C_{tr} = 15$ dB	(m36)
■	Vinduestykkelse 245 mm	$R_w = 18$ dB	$R_w + C = 18$ dB	$R_w + C_{tr} = 16$ dB	(m30)

Figur 18: Vinduestykkelsens betydning for et 1480 mm højt vindue med et åbningsareal af oplukkene på 0,14 m² | 0,26 m².



—◆—	Vinduestykkelse 145 mm	$R_w = 17$ dB	$R_w+C = 16$ dB	$R_w+C_{tr} = 14$ dB	(m43)
—■—	Vinduestykkelse 245 mm	$R_w = 17$ dB	$R_w+C = 16$ dB	$R_w+C_{tr} = 15$ dB	(m48)

Figur 19: Vinduestykkelsens betydning for et 2380 mm højt vindue med et åbningsareal af oplukkene på 0,20 m² | 0,20 m².



—◆—	Vinduestykkelse 245 mm	$R_w = 20$ dB	$R_w+C = 19$ dB	$R_w+C_{tr} = 18$ dB	(m357)
—■—	Vinduestykkelse 355 mm	$R_w = 19$ dB	$R_w+C = 18$ dB	$R_w+C_{tr} = 17$ dB	(m363)

Af Figur 16 til Figur 19 fremgår, at vinduestykkelsen har relativt beskedne betydning. Sammenlignes reduktionstalskurverne ses, at det tykkeste vindue har højere lydisolering i frekvensområdet 200-500 Hz, men til gengæld lidt lavere lydisolering i frekvensområdet 1000-5000 Hz.

Forskellen mellem R_w+C_{tr} for henholdsvis tyndeste og tykkeste vindue med samme højde ses at være 1 dB.

Vinduets effektive gennemstrømningsareal er i afsnit 4.5 fastsat til minimum at skulle være 0,20 m². Det effektive gennemstrømningsareal defineres som vinduets bredde multipliceret med den mindste effektive gennemstrømningsdybde, se Figur 15. Et effektivt gennemstrømningsareal på 0,35 m² kræver en vinduestykkelse på ca. 355 mm.

For at undersøge effekten af en meget bred sprosse blev der udført målinger, hvor afstanden mellem en af sprosserne og modstående rude blev reduceret ved montage af en gipsplade, som vist i Figur 20. Vindueshøjden var 2380 mm og vinduestykkelsen 245 mm. Vinduet var forsynet med en karmabsorbent. Forlængelsen af sprossen svarer til, at den mindste effektive gennemstrømningsdybde ændres fra 175 mm til kun 50 mm, svarende til et effektivt gennemstrømningsareal på 0,06 m². Resultaterne er vist i Figur 21 og Figur 22 for åbningsareal af oplukkene på henholdsvis 0,35 m² | 0,35 m² og 0,20 m² | 0,20 m².

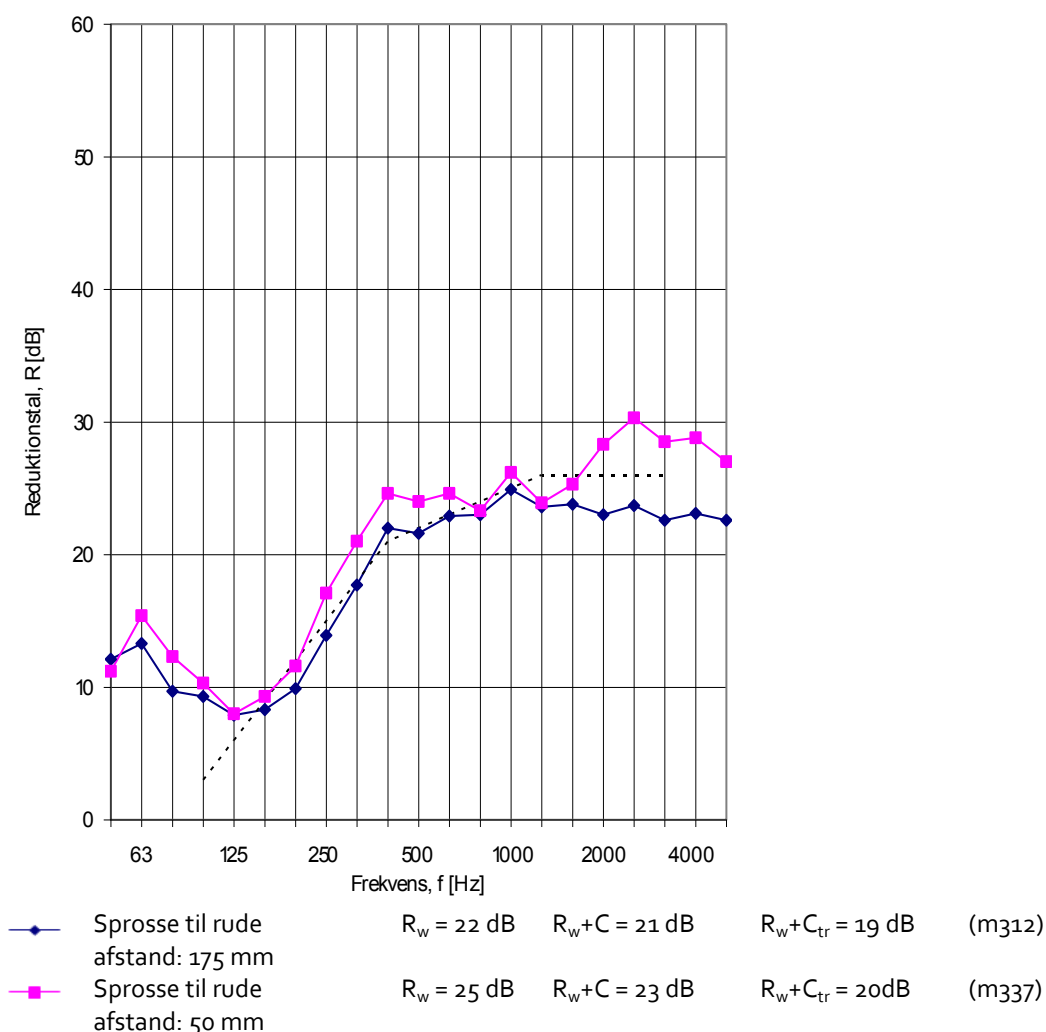
Figur 20: Forøgelse af sprossens dybde ved montage af gipsplade.



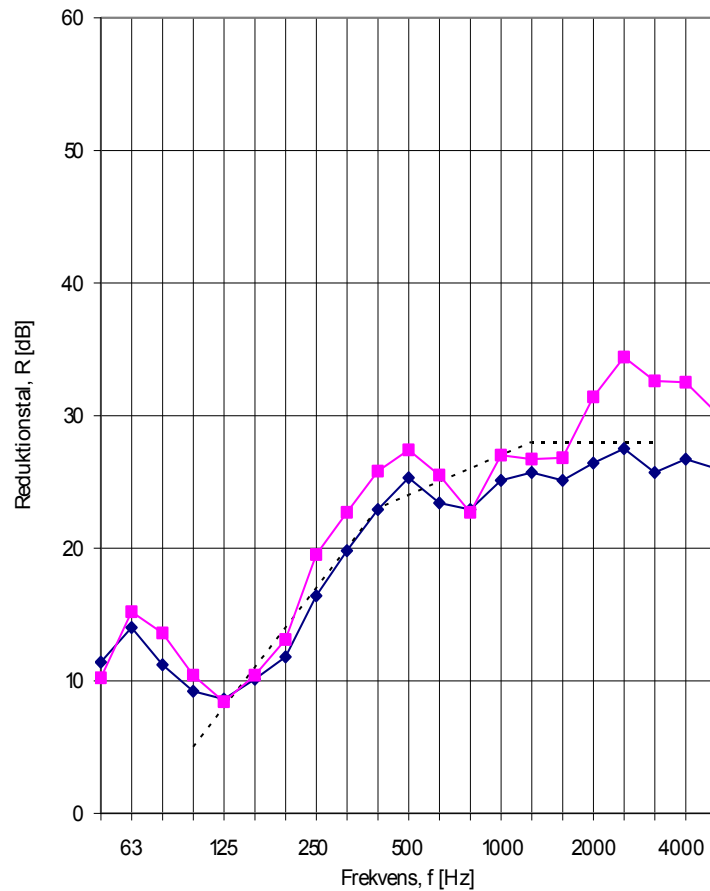
Af Figur 21 og 22 ses, at der ved reduktion af afstanden mellem sprosse og modstående rude fra 175 mm til 50 mm forekommer en forøgelse af reduktionstallene i frekvensområdet 200-800 Hz med 2-3 dB, og i frekvensområdet over 1000 Hz med 2-8 dB.

R_w+C_{tr} -værdien forbedres kun med 1 dB, hvilket skyldes, at der i det lavfrekvente område op til ca. 200 Hz stort set ikke sker nogen ændring i reduktionstalskurverne som følge af reduktion af afstanden mellem sprosse og modstående rude.

Figur 21: Betydning af reduktion af afstanden mellem sprosse og modstående rude fra 175 mm til 50 mm. Vindueshøjde 2380 mm, vinduestykkelse 245 mm, 20 mm karmabsorbent i hulrummet. Åbningsareal af oplukkene $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



Figur 22: Betydning af reduktion af afstanden mellem sprosse og modstående rude fra 175 mm til 50 mm. Vindueshøjde 2380 mm, vinduestykkelse 245 mm, 20 mm karmabsorbent i hulrummet. Åbningsareal af oplukkene 0,20 m² | 0,20 m².



◆ Sprosse til rude afstand: 175 mm	$R_w = 24$ dB	$R_w+C = 23$ dB	$R_w+C_{tr} = 20$ dB	(m311)
■ Sprosse til rude afstand: 50 mm	$R_w = 27$ dB	$R_w+C = 25$ dB	$R_w+C_{tr} = 21$ dB	(m336)

4.6.3 Vinduesbredden

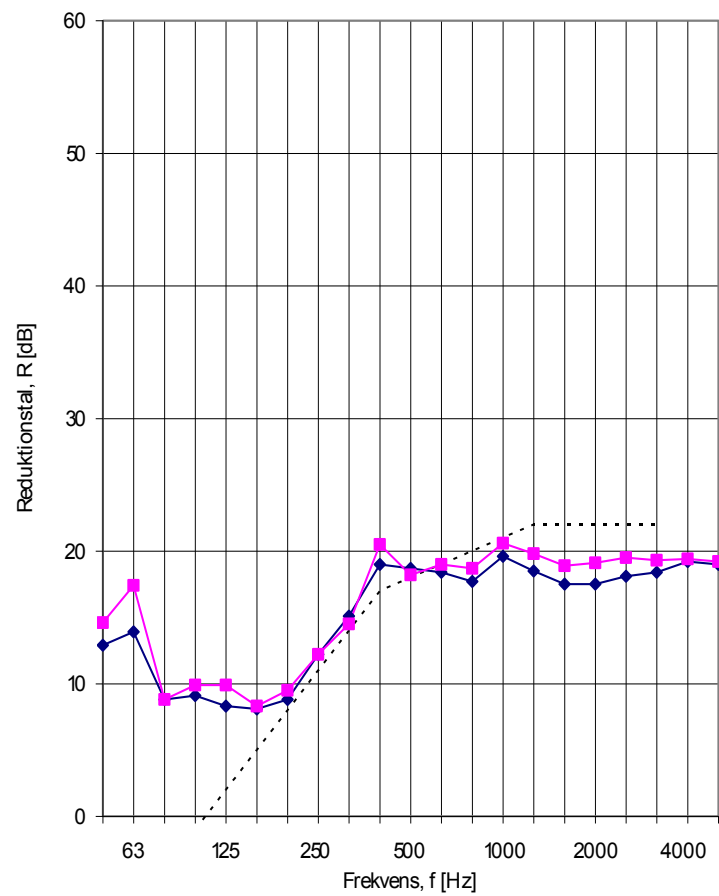
Vinduesbredden defineres som den indvendige afstand mellem sidekarmene. Ved russervinduer, hvor udvendig og indvendig del er separate konstruktioner, vil vinduesbredden være den samme som det udvendige karm mål.

For at få en indikation af vinduesbreddens betydning, er der foretaget en måling, hvor et 2380 mm højt vindue er gjort smallere ved hjælp af et lodret ”skot” af gipsplade. Hulrummet i den afblændede del af vinduet var udfyldt med mineraluld, se Figur 23. Med denne konstruktion er vinduesbredden ændret fra 1230 mm til 750 mm. Dette betyder, at det effektive gennemstrømningsareal ændres fra 0,20 m² til ca. 0,13 m². Figur 24 og Figur 25 viser reduktionstalskurver for vinduet i fuld bredde og i reduceret bredde med åbningsareal af oplukkene på henholdsvis 0,35 m² | 0,35 m² og 0,20 m² | 0,20 m².

Figur 23: Ændring af vinduesbredden. Den højre del af vinduet er afblændet med en lodret gipsplade. Hulrummet i den afblændede del af vinduet er udfyldt med mineraluld.

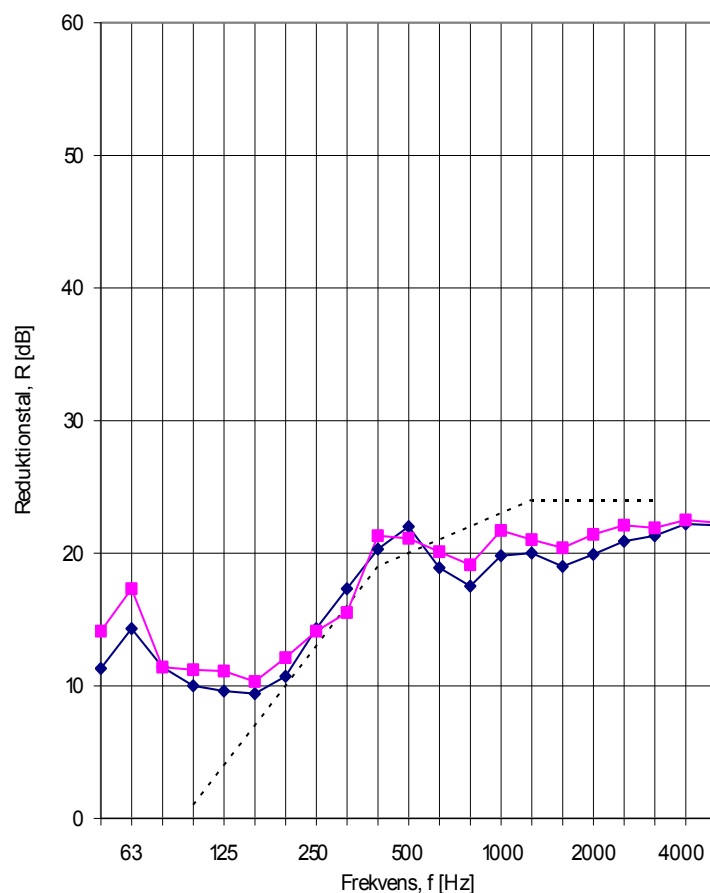


Figur 24: Vinduesbreddens betydning for et 2380 mm højt vindue med et åbningsareal af oplukkene på 0,35 m² | 0,35 m².



—●—	Bredde 1230 mm	$R_w = 18$ dB $D_{n,e,w} = 24$ dB	$R_w+C = 17$ dB $D_{n,e,w}+C = 23$ dB	$R_w+C_{tr} = 16$ dB $D_{n,e,w}+C_{tr} = 21$ dB	(m304)
—■—	Bredde 750 mm	$R_w = 19$ dB $D_{n,e,w} = 27$ dB	$R_w+C = 18$ dB $D_{n,e,w}+C = 26$ dB	$R_w+C_{tr} = 17$ dB $D_{n,e,w}+C_{tr} = 24$ dB	(m352)

Figur 25: Vinduesbreddens betydning for et 2380 mm højt vindue med et åbningsareal af oplukkene på 0,20 m² | 0,20 m².



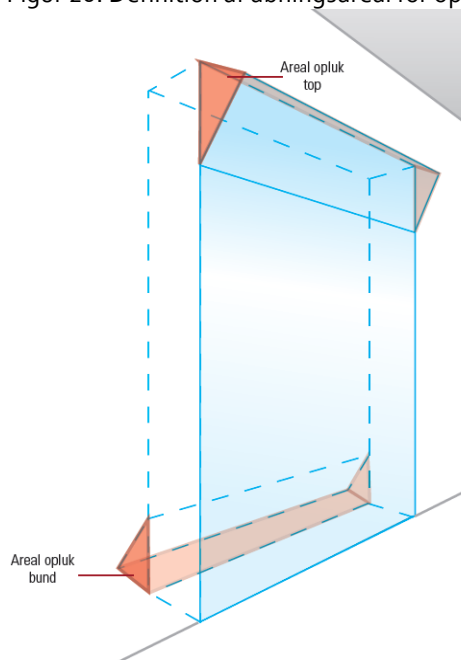
◆	Bredde	$R_w = 20$ dB	$R_w+C = 19$ dB	$R_w+C_{tr} = 18$ dB	(m308)
	1230 mm	$D_{n,e,w} = 25$ dB	$D_{n,e,w}+C = 24$ dB	$D_{n,e,w}+C_{tr} = 23$ dB	(m308)
■	Bredde	$R_w = 21$ dB	$R_w+C = 20$ dB	$R_w+C_{tr} = 18$ dB	(m353)
	750 mm	$D_{n,e,w} = 28$ dB	$D_{n,e,w}+C = 28$ dB	$D_{n,e,w}+C_{tr} = 26$ dB	(m353)

Af Figur 24 og Figur 25 ses, at reduktionstalskurverne generelt ligger en smule højere for målingerne med reduceret bredde i forhold til resultaterne fra måling i fuld bredde. Forskellen mellem R_w+C_{tr} -værdierne er 0-1 dB. Den tilsvarende forskel mellem $D_{n,e,w}+C_{tr}$ -værdierne er 3 dB.

4.6.4 Oplukkenes åbningsareal

I vinduet er der som nævnt tidligere to opluk, ét i hvert vindueselement. Begge åbnes motoriseret via en kæde. Åbningsarealet for hvert opluk er defineret som det frie areal i hver ende (trekant) samt det ”vandrette” areal over/under oplukket, alt efter hvordan oplukket vender, se Figur 26.

Figur 26: Definition af åbningsareal for oplukkene.

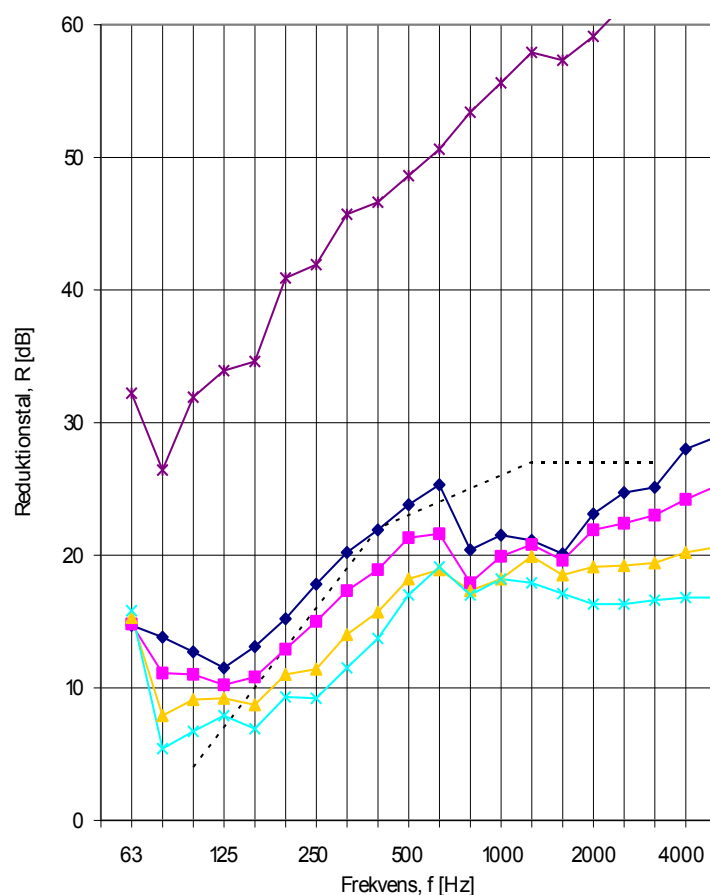


I måleserie 0 og 2 er typisk udført målinger med åbningsarealet $0,35 \text{ m}^2 \mid 0,35 \text{ m}^2$ og $0,14 \text{ m}^2 \mid 0,26 \text{ m}^2$. Sidstnævnte er det åbningsareal, oplukkene maksimalt kunne åbnes til, hvis motorerne blev anvendt til at åbne/lukke oplukkene. Der blev yderligere udført målinger med halvdelen eller en fjerdedel af dette åbningsareal, dvs. $0,07 \text{ m}^2 \mid 0,13 \text{ m}^2$ og $0,03 \text{ m}^2 \mid 0,07 \text{ m}^2$. I måleserie 3 blev kæderne til motorerne forlænget, og åbningsarealerne $0,35 \text{ m}^2 \mid 0,35 \text{ m}^2$ og $0,20 \text{ m}^2 \mid 0,20 \text{ m}^2$ blev anvendt.

I Figur 27 er vist eksempler på betydningen af forskellige åbningsarealer for oplukkene. Målingerne i Figur 27 er udført på et vindue med en tykkelse på 245 mm og en højde på 1490 mm. Højden af udvendigt og indvendigt opluk er henholdsvis 300 mm og 500 mm. Til sammenligning med resultaterne fra målinger med åbne opluk er vist reduktionstalskurven for vinduet med lukkede opluk.

Der ses i Figur 27 at være en tendens til, at reduktionstalskurverne parallelforskydes i det meste af frekvensområdet, når åbningsarealet ændres. Forskel i R_w+C_{tr} -værdi mellem målinger med henholdsvis mindste og største opluk areal er 5 dB.

Figur 27: Åbningsarealets betydning for et vindue med en tykkelse på 245 mm og en højde på 1490 mm.



—◆—	Areal af opluk: 0,03 m ² 0,07 m ²	R _w = 23 dB	R _w +C = 22 dB	R _w +C _{tr} = 20 dB	(m33)
—■—	Areal af opluk: 0,07 m ² 0,13 m ²	R _w = 21 dB	R _w +C = 20 dB	R _w +C _{tr} = 18 dB	(m32)
—▲—	Areal af opluk: 0,14 m ² 0,26 m ²	R _w = 18 dB	R _w +C = 18 dB	R _w +C _{tr} = 16 dB	(m30)
—×—	Areal af opluk: 0,35 m ² 0,35 m ²	R _w = 17 dB	R _w +C = 16 dB	R _w +C _{tr} = 15 dB	(m34)
—*—	Lukkede opluk	R _w = 52 dB	R _w +C = 51 dB	R _w +C _{tr} = 46 dB	(m31)

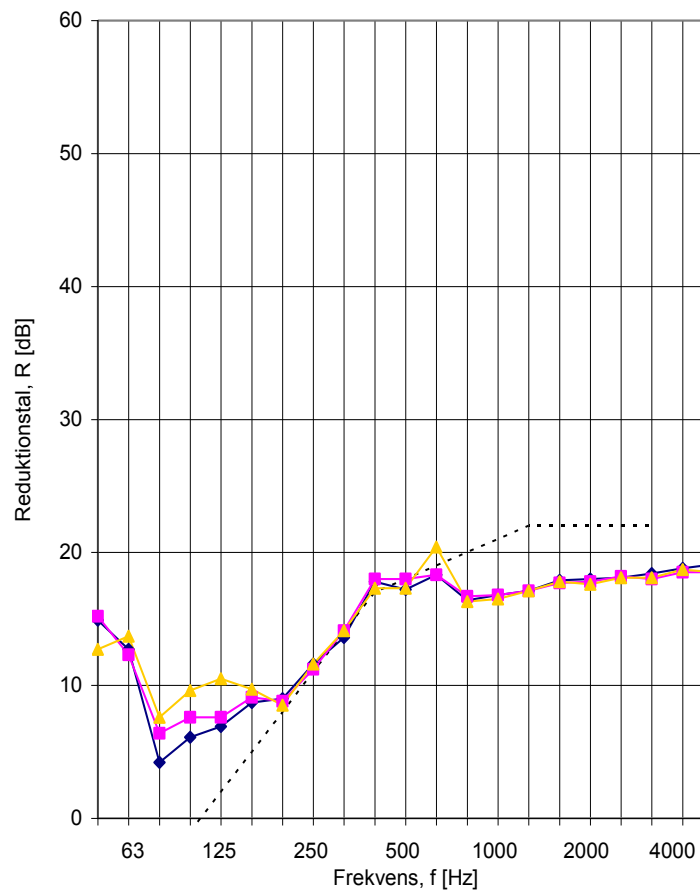
4.6.5 Højde af opluk

I dette afsnit undersøges betydningen af oplukkernes højde. Dette gøres ved at erstatte vindueselementet på udvendig side med trækonstruktioner med forskellige højder af oplukkene, se afsnit 4.3 Figur 9 og Figur 10. Oplukkernes højde er henholdsvis 300 mm, 500 mm og 700 mm. For hver af de tre konstruktioner blev der foretaget målinger med åbningsareal af udvendigt opluk på henholdsvis 0,20 m² og 0,35 m². Med det samme åbningsareal betyder de tre forskellige højder af oplukkene, at åbningsvinklen - og dermed åbningsgeometrien - er forskellig. Ved alle målingerne var åbningsareal for oplukket på indvendig side 0,35 m².

Vindueshøjden og vinduestykkelsen var henholdsvis 2380 mm og 245 mm.

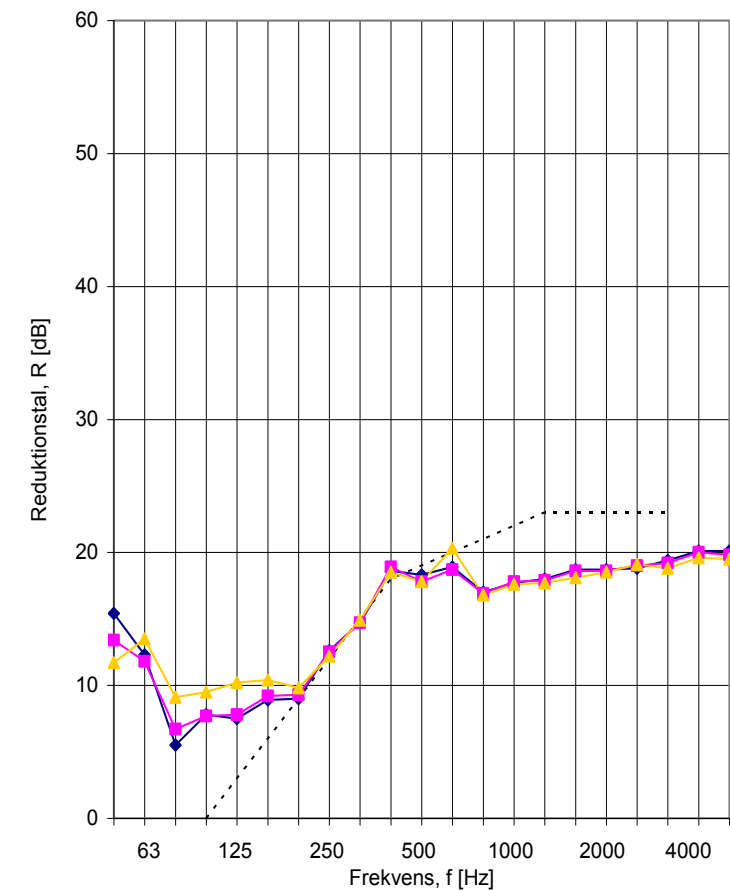
Resultaterne af disse målinger er vist i Figur 28 og Figur 29.

Figur 28: Betydningen af højden af opluk på udvendig side. Åbningsareal af oplukkene er $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



◆	Højde af opluk: 700 mm	$R_w = 18 \text{ dB}$	$R_w + C = 17 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 15 \text{ dB}$	(m24,0)
■	Højde af opluk: 500 mm	$R_w = 18 \text{ dB}$	$R_w + C = 17 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 15 \text{ dB}$	(m24,2)
▲	Højde af opluk: 300 mm	$R_w = 18 \text{ dB}$	$R_w + C = 17 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 16 \text{ dB}$	(m24,5)

Figur 29: Betydningen af højden af opluk på udvendig side. Åbningsareal af oplukkene er $0,20 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



◆	Højde af opluk: 700 mm	$R_w = 19 \text{ dB}$	$R_w+C = 18 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 16 \text{ dB}$	(m241)
■	Højde af opluk: 500 mm	$R_w = 18 \text{ dB}$	$R_w+C = 18 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 16 \text{ dB}$	(m243)
▲	Højde af opluk: 300 mm	$R_w = 18 \text{ dB}$	$R_w+C = 18 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 16 \text{ dB}$	(m246)

Af Figur 28 og Figur 29 fremgår, at der med samme åbningsareal, men forskellig højde af opluk og åbningsgeometri, generelt kun forekommer små forskelle mellem reduktionstalskurverne. Dog opnås med den mindste højde af opluk lidt højere reduktionstal i frekvensområdet 80-160 Hz. R_w+C_{tr} -værdierne ses at være stort set uændrede.

4.6.6 Afstand til loft samt loftets lydabsorption

En parameter, som ikke direkte har med vinduets konstruktion at gøre, men som forventes at have indflydelse på, hvilken lydisolations der opnås i praksis, er afstanden mellem indvendigt opluk og loftet samt loftets lydabsorption. Det er derfor interessant at undersøge effekten af loftets indflydelse på den opnåelige lydisolations.

Da vindueselementet, som nævnt i afsnit 4.2, under målingerne er vendt ”på hovedet”, betyder det, at det indvendige opluk er fornedet, og at målerummets gulv således fungerer som loft, se Figur 30.

Målingerne er udført på vinduet med højden 1930 mm og en tykkelse på 245 mm og placeret henholdsvis 600 mm og 200 mm over gulvet.

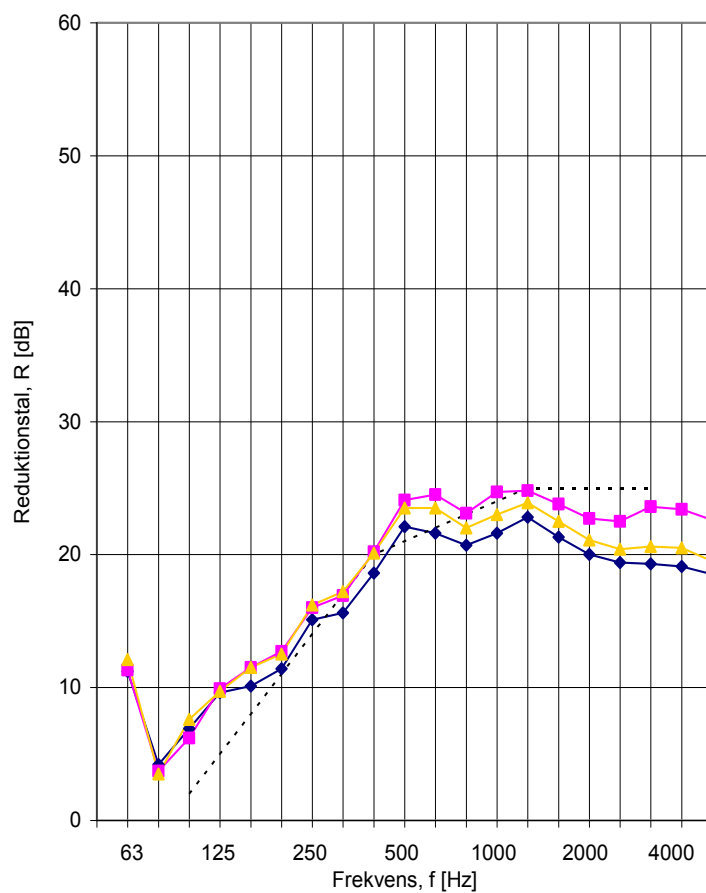
Forskellige lydabsorbenter er udlagt på gulvet umiddelbart under vinduet. Det anvendte areal af lydabsorberende materiale var 900 mm x 2000 mm. Det begrænsede areal af absorbenterne udlagt på gulvet er benyttet for at ændringen af målerummets efterklangstid bliver mindst mulig.

Figur 31 til Figur 35 viser resultaterne af de udførte målinger.

Figur 30: Vindue placeret med henholdsvis 600 mm og 200 mm mellem indvendigt opluk og loft (her målerummets gulv). Endvidere er vist to forskellige typer af lydabsorbent udlagt på gulvet.



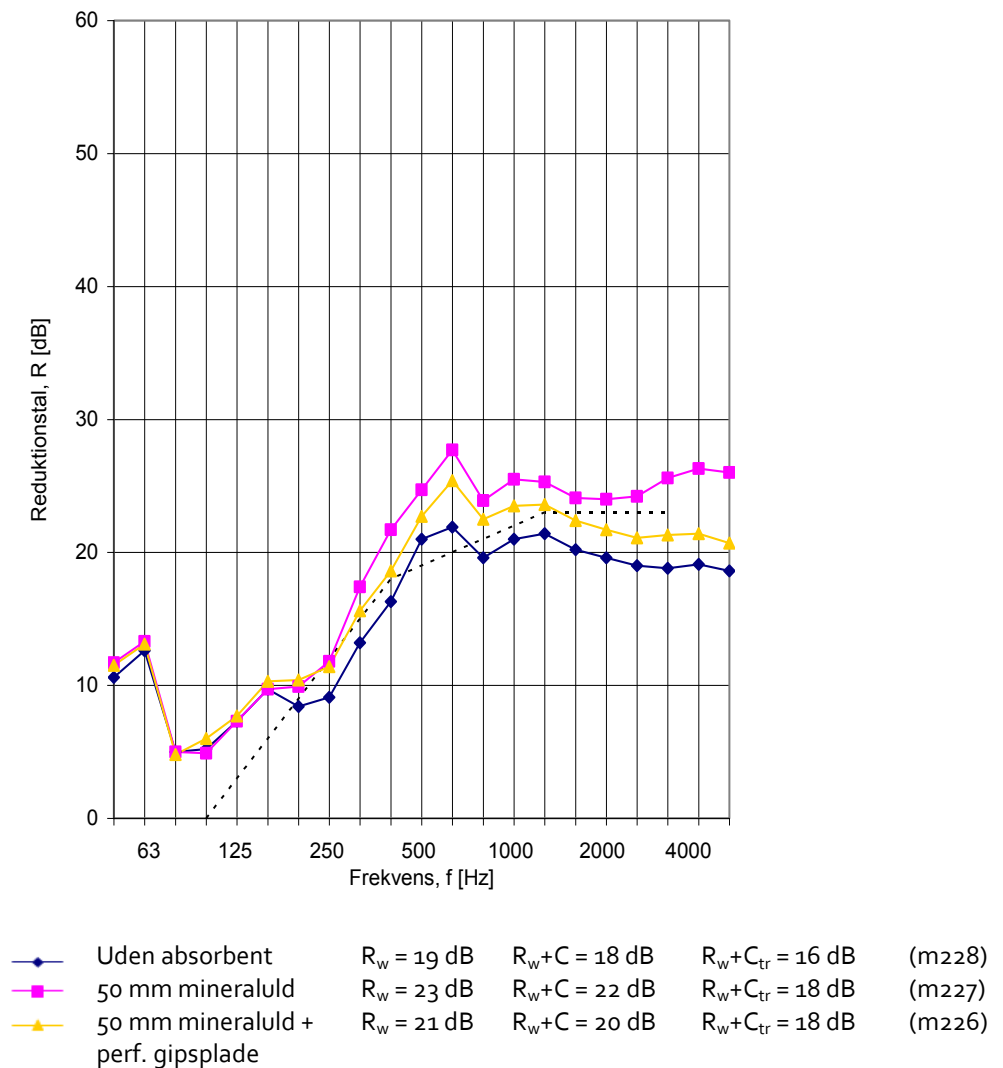
Figur 31: Sammenligning af forskellige absorberende materialer på loftet (gulvet). Afstand til loftet er 600 mm og åbningsareal af oplukkene $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



◆ Uden absorberent	$R_w = 21 \text{ dB}$	$R_w + C = 20 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 18 \text{ dB}$	(m207)
■ 50 mm mineraluld	$R_w = 23 \text{ dB}$	$R_w + C = 22 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m208)
▲ 50 mm mineraluld + perf. gipsplade	$R_w = 22 \text{ dB}$	$R_w + C = 21 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m209)

Af Figur 31 fremgår, at den største effekt af lydabsorberende materiale på loftet opnås i frekvensområdet over ca. 500 Hz. Som det kan ses, fås det bedste resultat med 50 mm mineraluld. Med de to typer af lydabsorbenter forbedres $R_w + C_{tr}$ -værdien med kun 1 dB i forhold til et lydreflekterende loft.

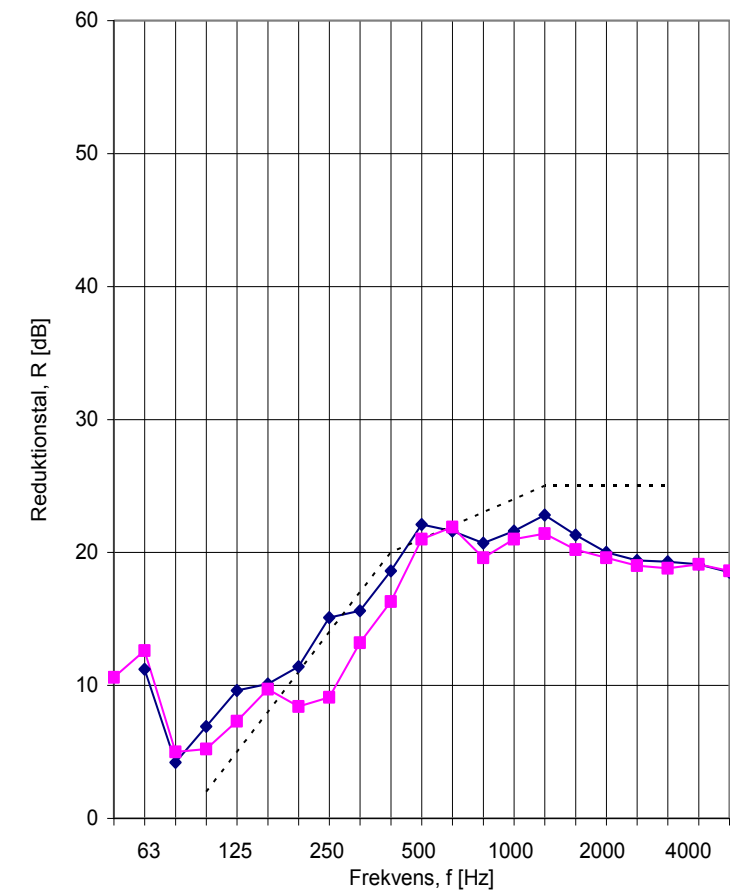
Figur 32: Sammenligning af forskellige absorberende materialer på loftet (gulvet). Afstanden til loftet er 200 mm og åbningsarealet af oplukkene $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



Figur 32 viser resultater af de samme målinger, som vist i Figur 31, men med afstanden til loftet reduceret fra 600 mm til 200 mm. Som forventet betyder den kortere afstand, at effekten af lydabsorbenterne bliver mere markant. Med de to typer af lydabsorbenter forøges R_w+C_{tr} -værdien med 2 dB i forhold til et lydreflekterende loft.

I Figur 31 og Figur 32 bemærkes kun en beskedne forbedring af R_w+C_{tr} på 1-2 dB ved anvendelse af lydabsorbenter på loftet. At effekten ikke er større skyldes, at de relativt tynde absorberer monteret uden bagvedliggende hulrum kun har ringe virkning i det lavfrekvente område.

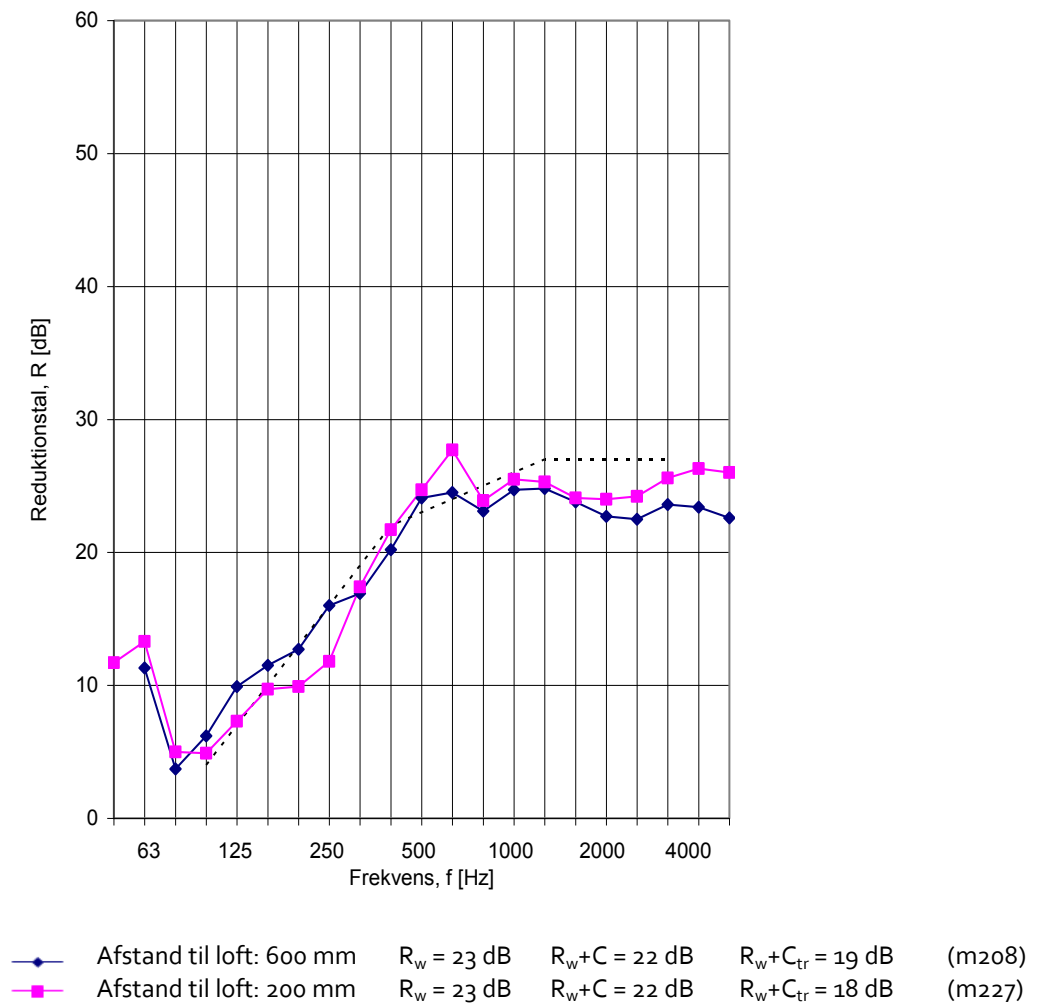
Figur 33: Betydning af afstand til et reflekterende loft (gulv). Åbningsareal af oplukkene $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



—◆—	Afstand til loft: 600 mm	$R_w = 21 \text{ dB}$	$R_w+C = 20 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 18 \text{ dB}$	(m207)
—■—	Afstand til loft: 200 mm	$R_w = 19 \text{ dB}$	$R_w+C = 18 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 16 \text{ dB}$	(m228)

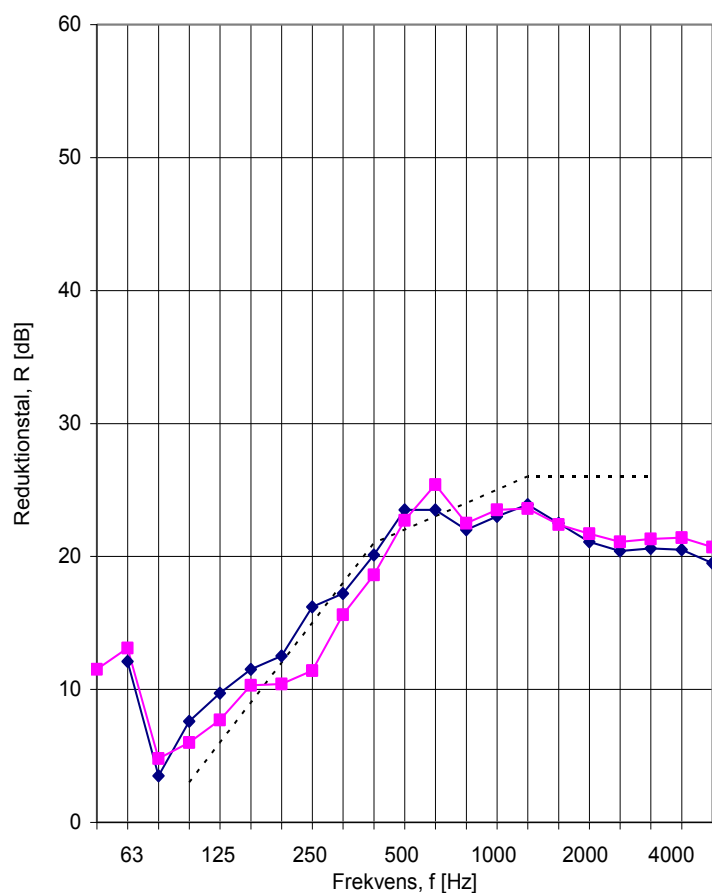
I Figur 33 er vist effekten af afstanden til et reflekterende loft uden lydabsorbenter. Med den mindste afstand til loftet på 200 mm bemærkes - specielt i frekvensområdet 200-500 Hz - en forringelse af lydisolationen i forhold til målingen med 600 mm til loftet. R_w+C_{tr} -værdien ses at være 2 dB dårligere.

Figur 34: Betydning af afstand til loftet (gulvet) med 50 mm mineraluld. Åbningsareal af oplukkene $0,35 \text{ m}^2 \mid 0,35 \text{ m}^2$.



Figur 34 viser resultater fra målinger med 50 mm mineraluld på loftet og afstand til loft på henholdsvis 600 mm og 200 mm. Med den mindste afstand fås dårligere værdier i frekvensområdet 125-315 Hz, men bedre værdier ved frekvenser over 1600 Hz. Forskellen i R_w+C_{tr} -værdi er 1 dB.

Figur 35: Betydning af afstand til loftet (gulvet) med 50 mm mineraluld + perforeret gipsplade. Åbningsareal af oplukkene $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



—◆—	Afstand til loft: 600 mm	$R_w = 22 \text{ dB}$	$R_w+C = 21 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m209)
—■—	Afstand til loft: 200 mm	$R_w = 21 \text{ dB}$	$R_w+C = 20 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 18 \text{ dB}$	(m226)

Figur 35 viser resultater fra målinger med 50 mm lydabsorbent bestående af 50 mm mineraluld og perforeret gipsplade på loftet og afstand til loft på henholdsvis 600 mm og 200 mm. Med den mindste afstand fås lidt dårligere værdier i frekvensområdet 200-400 Hz. Forskellen i R_w+C_{tr} -værdi er på 1 dB.

4.6.7 Lydabsorberende materiale i hulrummet

Russervinduet kan betragtes som en kanal, gennem hvilken den udendørs støj transmitteres ind i modtagerummet. Det må derfor forventes, at lydisolationen kan forbedres, såfremt de indvendige karmoverflader beklædes med lydabsorberende materiale, såkaldte karmabsorbenter, se Figur 36. Der er mange muligheder for valg af karmabsorbenter. I forbindelse med dette projekt er det valgt at benytte følgende tre typer (det må antages, at der med andre typer af absorbenter kan opnås samme resultater):

- Fast mineraluld (Stenuld) med en tykkelse på 15 mm.
- Rockfon loftsabsorbent Sonar A24 med en tykkelse på 20 mm
- SUND® Miljöundertak (herefter benævnt ”SUND”) med en tykkelse på henholdsvis 20 mm og 40 mm (absorbent bestående af et polyesterfiber materiale)

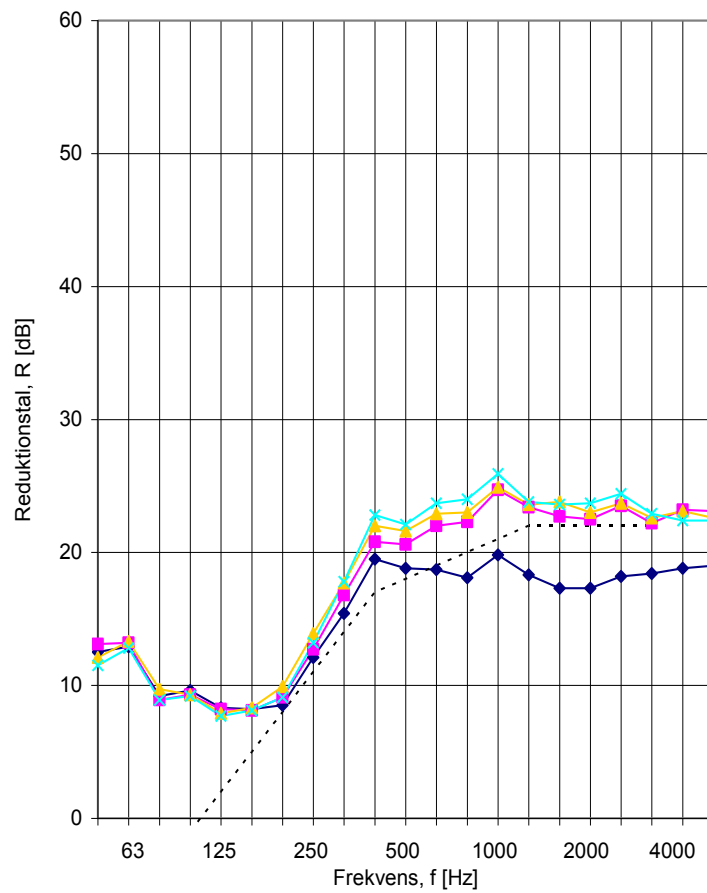
Figur 36: Indsat karmabsorbent.



Målingerne med forskellige karmabsorbenter er udført på vinduet med højden 2380 mm og en tykkelse på 245 mm. Afstanden til loft var 200 mm. Højden af oplukkene udvendig og indvendig var 500 mm.

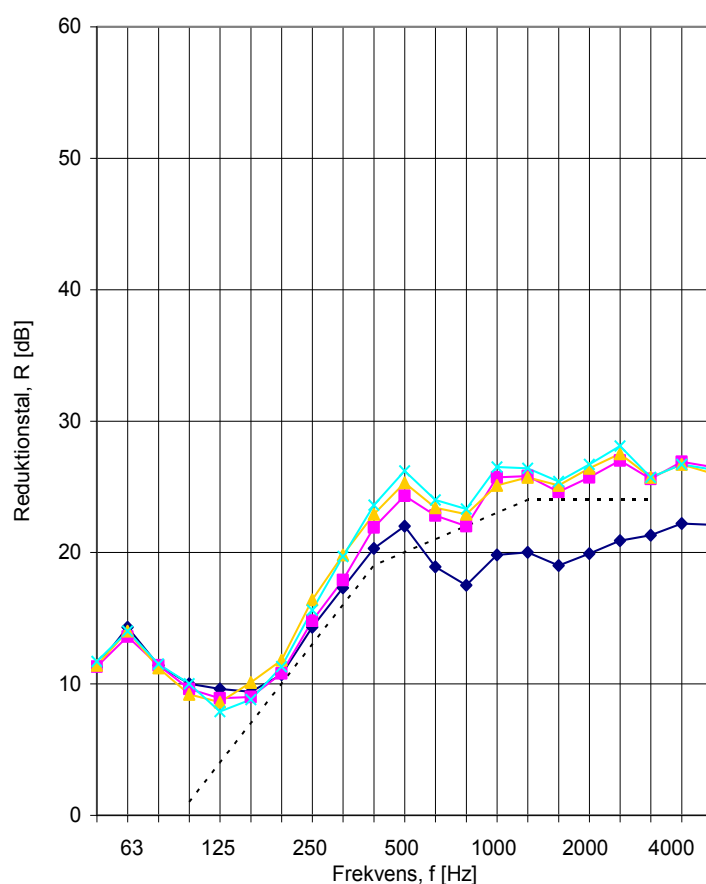
Resultaterne af de udførte målinger er vist i Figur 37 til Figur 47.

Figur 37: Sammenligning af forskellige karmabsorbenter. Åbningsareal af oplukkene er $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



◆	Uden karmabsorbent	$R_w = 18 \text{ dB}$	$R_w+C = 17 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 16 \text{ dB}$	(m301)
■	15 mm mineraluld	$R_w = 22 \text{ dB}$	$R_w+C = 21 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 18 \text{ dB}$	(m309)
▲	20 mm SUND	$R_w = 22 \text{ dB}$	$R_w+C = 21 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m312)
×	20 mm Rockfon	$R_w = 23 \text{ dB}$	$R_w+C = 21 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 18 \text{ dB}$	(m313)

Figur 38: Sammenligning af forskellige karmabsorbenter. Åbningsareal af oplukkene er $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$.



◆ Uden karmabsorbent	$R_w = 20 \text{ dB}$	$R_w + C = 19 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 18 \text{ dB}$	(m308)
■ 15 mm mineraluld	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w + C = 22 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m310)
▲ 20 mm SUND	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w + C = 23 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m311)
× 20 mm Rockfon	$R_w = 25 \text{ dB}$	$R_w + C = 23 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m314)

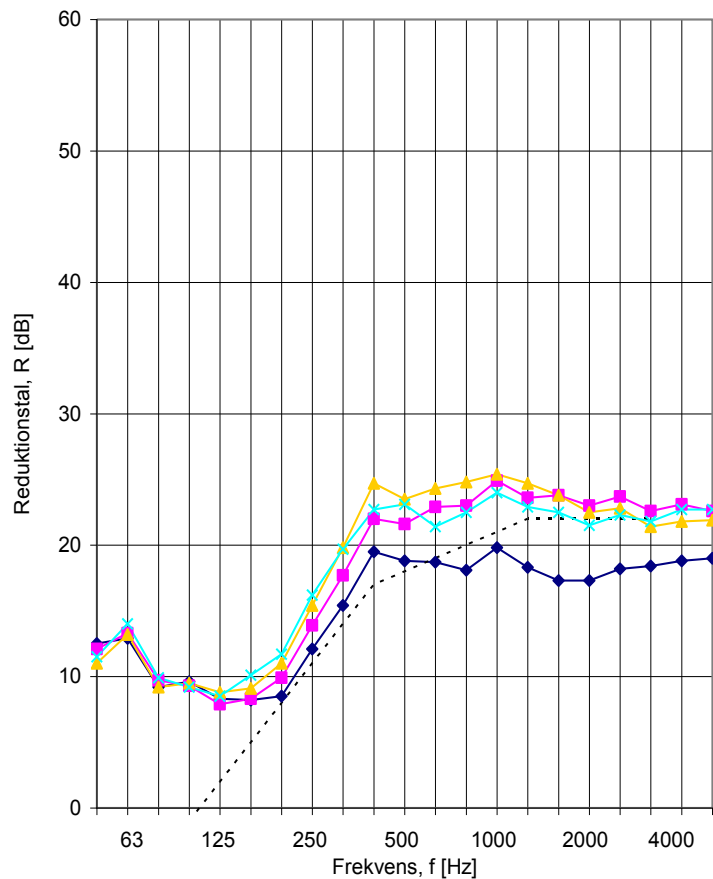
I Figur 37 og Figur 38 ses effekten af de tre benyttede typer af karmabsorbenter med et åbningsareal for oplukkene på henholdsvis $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$ og $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$. Som det fremgår, har karmabsorbenterne størst effekt i frekvensområdet over 400 Hz. De tre typer af karmabsorbenter ses at give stort set samme forbedring af lydisolationen, hvilket også måtte forventes, da de alle har en tykkelse af samme størrelsesorden på 15-20 mm.

I Figur 37 forbedres $R_w + C_{tr}$ med 2-3 dB og i Figur 38 med 1-2 dB som følge af karmabsorbenterne. Den relativt begrænsede effekt af absorbenterne på $R_w + C_{tr}$ -værdien skyldes, at relativt tynde absorbenter uden bagvedliggende hulrum kun har begrænset virkning i frekvensområdet under 400 Hz.

Ved de efterfølgende målinger er benyttet SUND-produkter, idet det kan være hensigtsmæssigt at undgå mineraluldsprodukter i denne vinduestype, hvor der vil forekomme en luftstrøm op gennem vinduet. (Andre kunststof baserede produkter vil givetvis også kunne anvendes). Benyttes mineraluld bør det være en type med en forsejlet overflade.

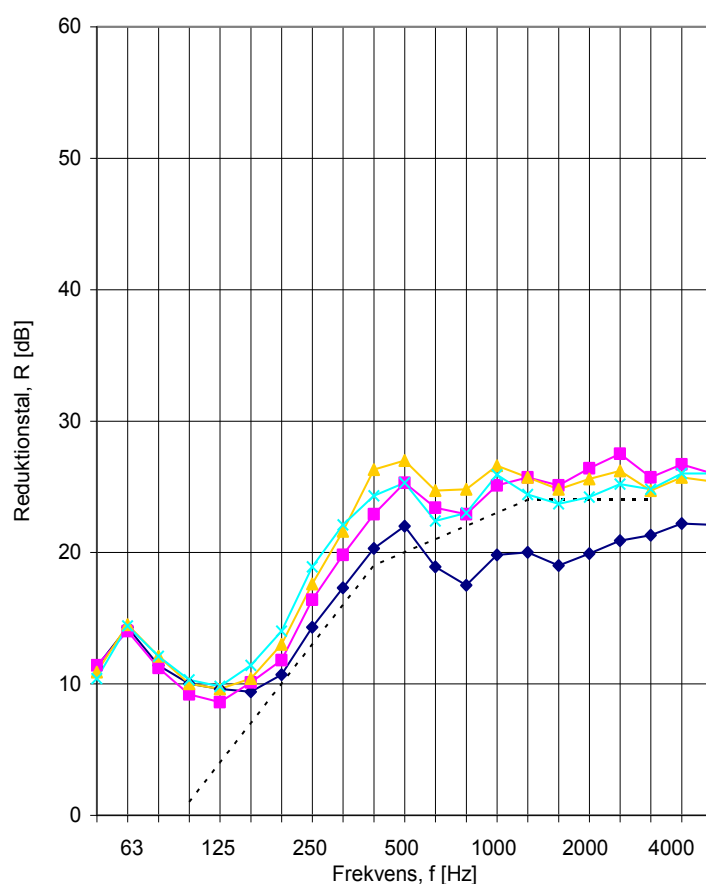
I Figur 39 og Figur 40 er vist resultater fra måling med SUND med tykkelsen henholdsvis 20 mm og 40 mm samt måling med 40 mm SUND afdækket med perforeret gipsplade. Målingerne er udført med åbningsareal af oplukkene på henholdsvis 0,35 m² | 0,35 m² og 0,20 m² | 0,20 m².

Figur 39: Sammenligning af forskellig absorberenttykkelse og -typer. Åbningsareal af oplukkene 0,35 m² | 0,35 m².



—◆—	Uden karmabsorbent	$R_w = 18$ dB	$R_w+C = 17$ dB	$R_w+C_{tr} = 16$ dB	(m301)
—■—	20 mm karmabsorbent	$R_w = 22$ dB	$R_w+C = 21$ dB	$R_w+C_{tr} = 19$ dB	(m312)
—▲—	40 mm karmabsorbent	$R_w = 23$ dB	$R_w+C = 22$ dB	$R_w+C_{tr} = 20$ dB	(m315)
—×—	40 mm karmabsorbent + perf. gipsplade	$R_w = 22$ dB	$R_w+C = 21$ dB	$R_w+C_{tr} = 19$ dB	(m350)

Figur 40: Sammenligning af forskellig absorbertykkelse og -typer. Åbningsareal af oplukkene $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$.

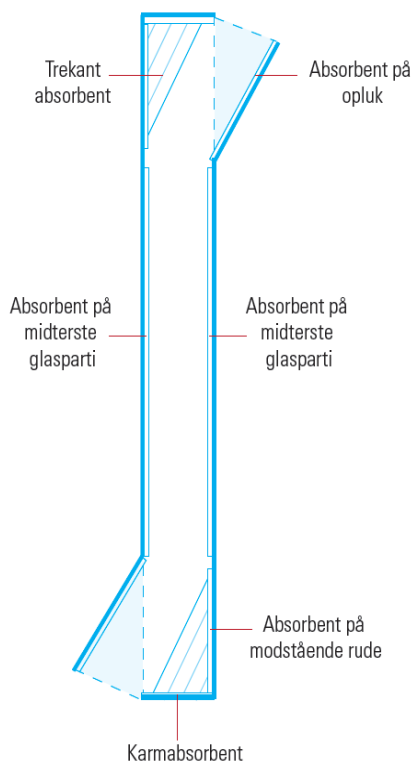


◆ Uden karmabsorbent	$R_w = 20 \text{ dB}$	$R_w+C = 19 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 18 \text{ dB}$	(m308)
■ 20 mm karmabsorbent	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w+C = 23 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m311)
▲ 40 mm karmabsorbent	$R_w = 25 \text{ dB}$	$R_w+C = 24 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 21 \text{ dB}$	(m316)
✕ 40 mm karmabsorbent + perf. gipsplade	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w+C = 23 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 21 \text{ dB}$	(m351)

Af Figur 39 og Figur 40 fremgår, at der ikke er nogen markant forskel på effekten af forskellig absorbertykkelse og -typer. I Figur 39 er forbedringen af R_w+C_{tr} -værdien 3-4 dB, hvor den største forbedring opnås med 40 mm SUND. I Figur 40 ses en forbedring af R_w+C_{tr} på 2-3 dB.

Benyttelse af en karmabsorbent er en enkel løsning, såfremt der ønskes placeret et lydabsorberende materiale i vinduets hulrum. Man kunne imidlertid forestille sig, at et russervindue konstrueres således, at der kan placeres absorbenter på andre overflader. Dette kan f.eks. være i tilfælde, hvor der i vinduet indgår nogle ikke-gennemsigtige partier, hvorpå der kan placeres absorbenter. Der er derfor udført nogle forsøg, hvor der som supplement til en karmabsorbent på 20 mm placeres absorbenter på andre af vinduets indvendige overflader, se Figur 41. Disse supplerende absorbenter har enten en tykkelse på 20 mm eller 40 mm.

Figur 41: Skitse som viser placering af yderligere lydabsorberende materiale.



Figur 42: Absorption på den indvendige side af oplukkene (venstre foto) samt yderligere på det modstående rudeareal (højre foto).



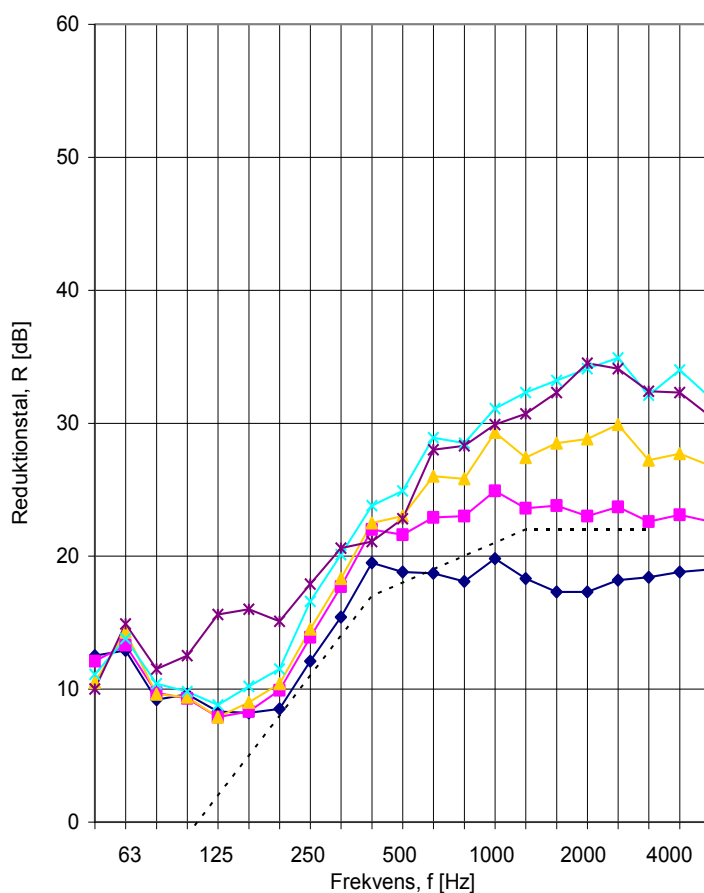
Der er udført målinger med supplerende absorbenter placeret på den indvendige side af oplukkene (venstre foto i Figur 42) samt yderligere på det modstående rudeareal (højre foto i Figur 42).

Der er endvidere mulighed for at placere en ”trekantabsorbent” i to af hulrummets hjørner, uden at det formindsker det frie gennemstrømningsareal (se Figur 41). Der er foretaget en måling, hvor der som supplement til absorbenter på opluk og modstående rudeareal er placeret to trekantabsorbenter. Trekantabsorbenterne

består af en mineraluldskerne afdækket med SUND. Alle målinger er udført med åbningsareal af oplukkene på henholdsvis $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$ og $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$.

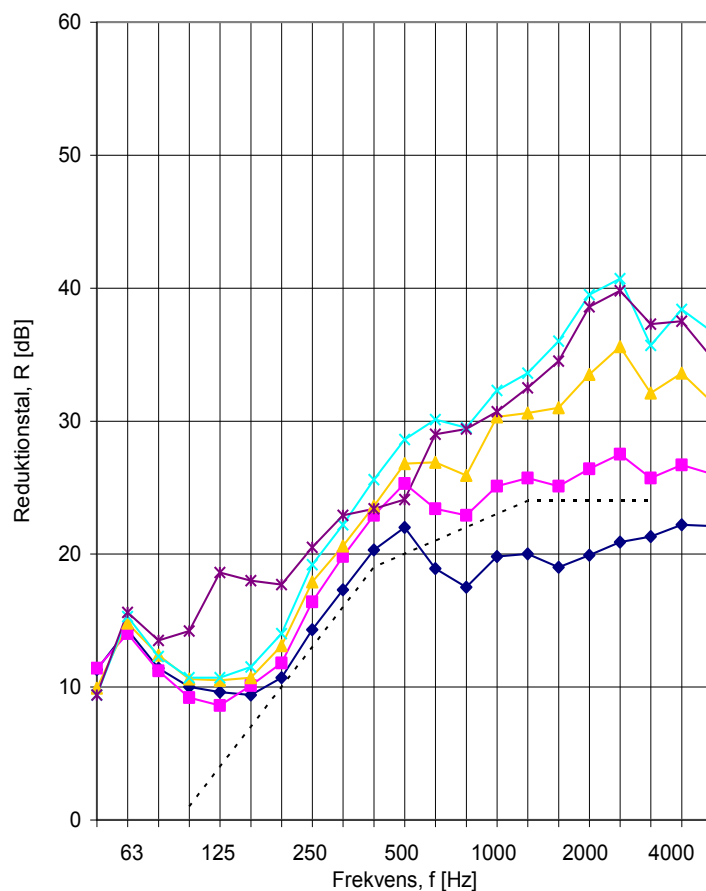
Resultaterne af de ovennævnte forsøg er vist i Figur 43 og Figur 44. Det ses, at såfremt karmabsorbenten suppleres med absorbent på indersiden af oplukkene fås en betydelig forbedring af lydisolation ved frekvenser over 500 Hz. R_w+C_{tr} forbedres imidlertid kun med 1-2 dB. Suppleres med absorbent på rudearealerne modstående oplukkene fås yderligere en tydelig forbedring ved frekvenser over 1000 Hz. Den samlede forbedring af R_w+C_{tr} med absorbent på opluk og modstående rude er 2-3 dB. Suppleres endelig med to trekantabsorbenter fås en tydelig forbedring i frekvensområdet 100-250 Hz, og den samlede forbedring af R_w+C_{tr} med alle supplerende absorbenter i forhold til benyttelse af en karmabsorbent alene, er 5-6 dB.

Figur 43: Betydningen af supplerende absorbenter på opluk og modstående rudearealer i bund og top af vindue. Åbningsareal af oplukkene er $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



◆	Uden karmabsorbent	$R_w = 18 \text{ dB}$	$R_w+C = 17 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 16 \text{ dB}$	(m301)
■	20 mm karmabsorbent	$R_w = 22 \text{ dB}$	$R_w+C = 21 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m312)
▲	20 mm karmabsorbent, 20 mm på opluk	$R_w = 25 \text{ dB}$	$R_w+C = 23 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m318)
×	20 mm karmabsorbent, 20 mm på opluk og modstående rude	$R_w = 28 \text{ dB}$	$R_w+C = 25 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 21 \text{ dB}$	(m321)
*	20 mm karmabsorbent, 20 mm på opluk og modstående rude + trekantabsorbenter	$R_w = 28 \text{ dB}$	$R_w+C = 27 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 24 \text{ dB}$	(m322)

Figur 44: Betydningen af supplerende absorberter på opluk og modstående rudearealer i bund og top af vindue. Åbningsareal af oplukkene 0,20 m² | 0,20 m².



◆	Uden karmabsorbent	$R_w = 20$ dB	$R_w+C = 19$ dB	$R_w+C_{tr} = 18$ dB	(m308)
■	20 mm karmabsorbent	$R_w = 24$ dB	$R_w+C = 23$ dB	$R_w+C_{tr} = 20$ dB	(m311)
▲	20 mm karmabsorbent, 20 mm på opluk	$R_w = 28$ dB	$R_w+C = 26$ dB	$R_w+C_{tr} = 22$ dB	(m319)
✕	20 mm karmabsorbent, 20 mm på opluk og modstående rude	$R_w = 30$ dB	$R_w+C = 28$ dB	$R_w+C_{tr} = 23$ dB	(m320)
✱	20 mm karmabsorbent, 20 mm på opluk og modstående rude + trekantabsorbenter	$R_w = 30$ dB	$R_w+C = 29$ dB	$R_w+C_{tr} = 26$ dB	(m323)

For at se effekten, hvis vinduets hulrum omdannes til en effektivt dæmpet kanal, er der udført målinger, hvor karmabsorbenten er suppleret med absorberter i hulrummet på hele vinduets faste midterparti, se Figur 45. På udvendig og indvendig rude er der placeret SUND med en tykkelse på henholdsvis 40 mm og 20 mm. Dog er der ikke placeret absorberter på opluk og modstående rudearealer.

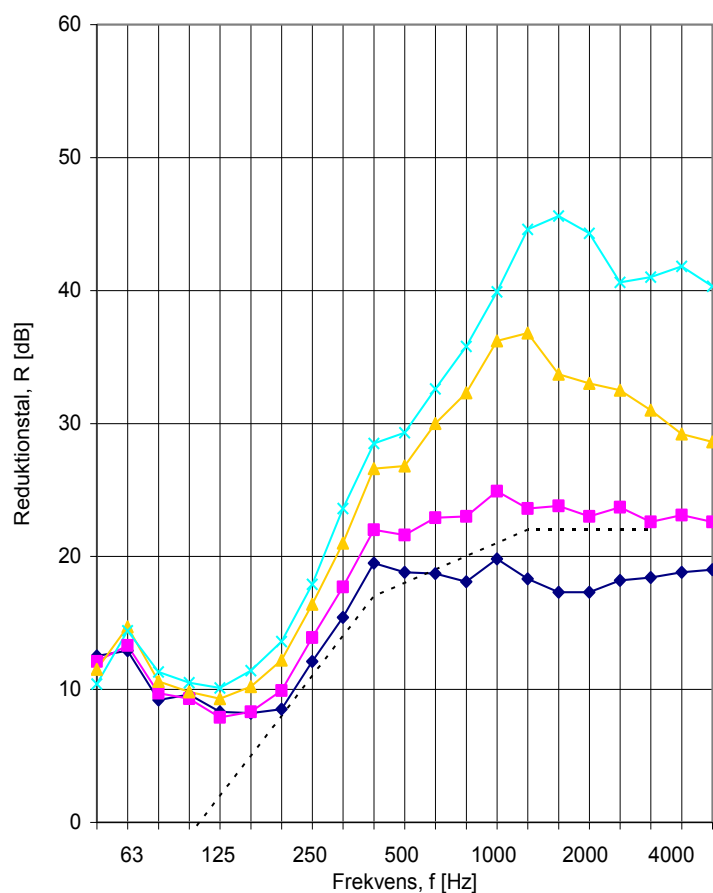
Alle målinger er udført med åbningsareal af oplukkene på henholdsvis 0,35 m² | 0,35 m² og 0,20 m² | 0,20 m².

Måleresultaterne er vist i Figur 46 og 47. I forhold til målingen med karmabsorbent alene ses en markant forbedring, specielt ved frekvenser over 500 Hz. Med absorberter på begge ruder forbedres R_w+C_{tr} med 4 dB.

Figur 45: Fotos af den indsatte absorption på vinduets midterparti. Venstre: Absorption kun påsat det udvendige vindueselement. Højre: Absorption påsat begge vindueselementer.

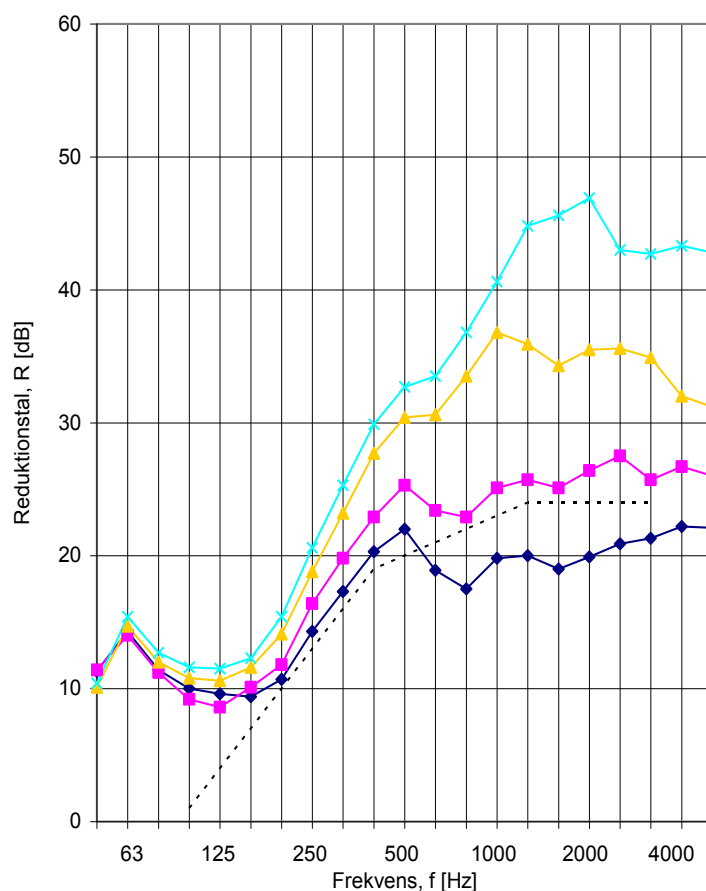


Figur 46: Betydningen af placering af absorbent i hulrummet på den midterste del af ruderne på både udvendig og indvendig side. Åbningsareal af oplukkene $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



◆	Uden karmabsorbent	$R_w = 18 \text{ dB}$	$R_w+C = 17 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 16 \text{ dB}$	(m301)
■	20 mm karmabsorbent	$R_w = 22 \text{ dB}$	$R_w+C = 21 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m312)
▲	20 mm karmabsorbent + 40 mm absorbent på udvendig rude	$R_w = 28 \text{ dB}$	$R_w+C = 26 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 22 \text{ dB}$	(m325)
×	20 mm karmabsorbent + 40 mm absorbent på udvendig rude + 20 mm absorbent på indvendig rude	$R_w = 30 \text{ dB}$	$R_w+C = 28 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 23 \text{ dB}$	(m326)

Figur 47: Betydningen af placering af absorbent i hulrummet på den midterste del af ruderne på både udvendig og indvendig side. Åbningsareal af oplukkene er $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$.



◆	Uden karmabsorbent	$R_w = 20 \text{ dB}$	$R_w+C = 19 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 18 \text{ dB}$	(m308)
■	20 mm karmabsorbent	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w+C = 23 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m311)
▲	20 mm karmabsorbent + 40 mm absorbent på udvendig rude	$R_w = 30 \text{ dB}$	$R_w+C = 28 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 23 \text{ dB}$	(m324)
×	20 mm karmabsorbent + 40 mm absorbent på udvendig rude + 20 mm absorbent på indvendig rude	$R_w = 32 \text{ dB}$	$R_w+C = 30 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 24 \text{ dB}$	(m327)

4.6.8 Persiener, lameller og gardiner i hulrummet

I vinduer som russervinduet med et stort hulrum er det oplagt at benytte dette til placering af persiener, gardiner, lameller o. lign. Der er udført en serie målinger til belysning af, hvilken indflydelse placeringen af persiener mv. har på lydisolationen. De valgte produkter vil kunne erstattes med andre fabrikater med tilsvarende akustiske egenskaber.

Der er udført en måling, hvor der i hulrummet er placeret en persienne af typen Warema Jalousie. Bredden af persiennens lameller er ca. 50 mm, se Figur 48. På grund af persiennens bredde var der ikke plads til 20 mm karmabsorbent i sidekarmene. I stedet blev der her benyttet 15 mm mineraluld, som har stort set samme lydabsorberende egenskaber som 20 mm SUND, der er anvendt i top og bund.

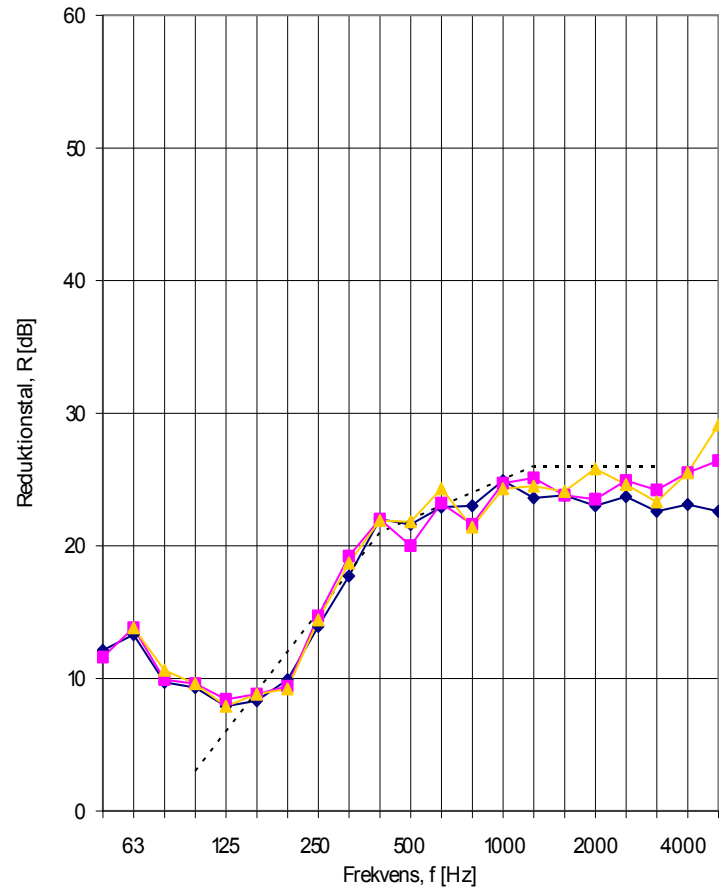
Målingen er udført på et vindue med højden 2380 mm og tykkelsen 245 mm. Persiennen er målt med forskellige indstillinger af lamellerne.

Resultaterne er vist i Figur 49 og Figur 50 med et åbningsareal af oplukkene på henholdsvis $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$ og $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$. Persiennen ses - uanset indstilling - kun at have beskeden betydning, og R_w+C_{tr} -værdien er den samme med og uden persienne i hulrummet.

Figur 48: Persienne i vinduets hulrum. Øverste foto: Lamellerne skrånstillet parallelt med luftretningen. Midterste foto: Vandret. Nederste foto: Lamellerne skrånstillet vinkelret på luftretningen.

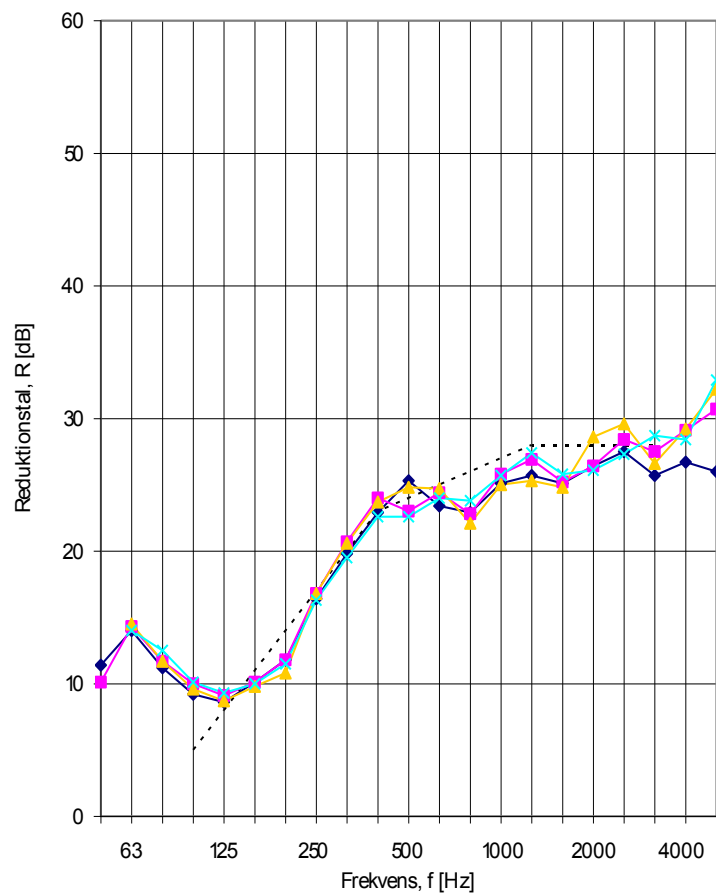


Figur 49: Betydning af persienne i hulrummet. Åbningsareal af oplukkene er $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



◆	Ingen persienne	$R_w = 22 \text{ dB}$	$R_w+C = 21 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m312)
■	Persienne - skråstillet parallelt med luftretning	$R_w = 23 \text{ dB}$	$R_w+C = 22 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m332)
▲	Persienne - vandrette lameller	$R_w = 23 \text{ dB}$	$R_w+C = 22 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m333)

Figur 50: Betydning af persienne i hulrummet. Åbningsareal af oplukkene er $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$.



◆	Ingen persienne	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w+C = 23 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m311)
■	Persienne - skrånstillet parallelt med luftretningen	$R_w = 25 \text{ dB}$	$R_w+C = 23 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m331)
▲	Persienne - vandrette lameller	$R_w = 25 \text{ dB}$	$R_w+C = 23 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m334)
✕	Persienne - skrånstillet vinkelret på luftretningen	$R_w = 25 \text{ dB}$	$R_w+C = 23 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m335)

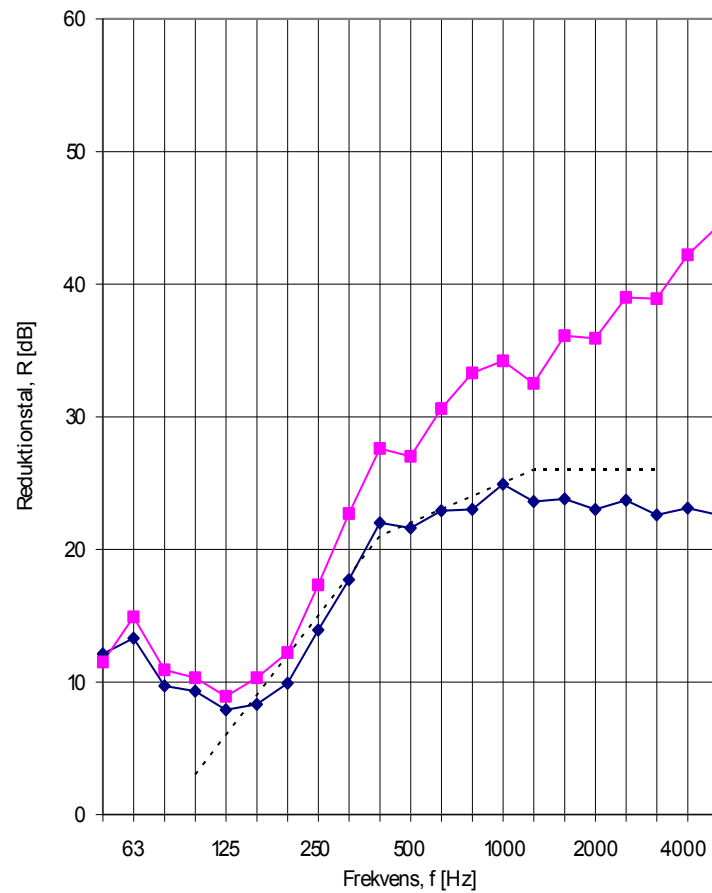
Der er udført et forsøg, hvor den traditionelle persienne er erstattet af 10 stk. lodrette, lydabsorberende lameller af SUND. Lamellernes bredde er 130 mm og tykkelsen er 20 mm, se Figur 51.

Resultatet af målingerne er vist i Figur 52 og Figur 53 for et åbningsareal af oplukkene på henholdsvis $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$ og $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$. Det ses, at lamellerne har stor forbedrende effekt, især ved frekvenser over 250 Hz. R_w+C_{tr} -værdien forbedres med 3 dB.

Figur 51: Lodrette lameller bestående af 20 mm SUND.

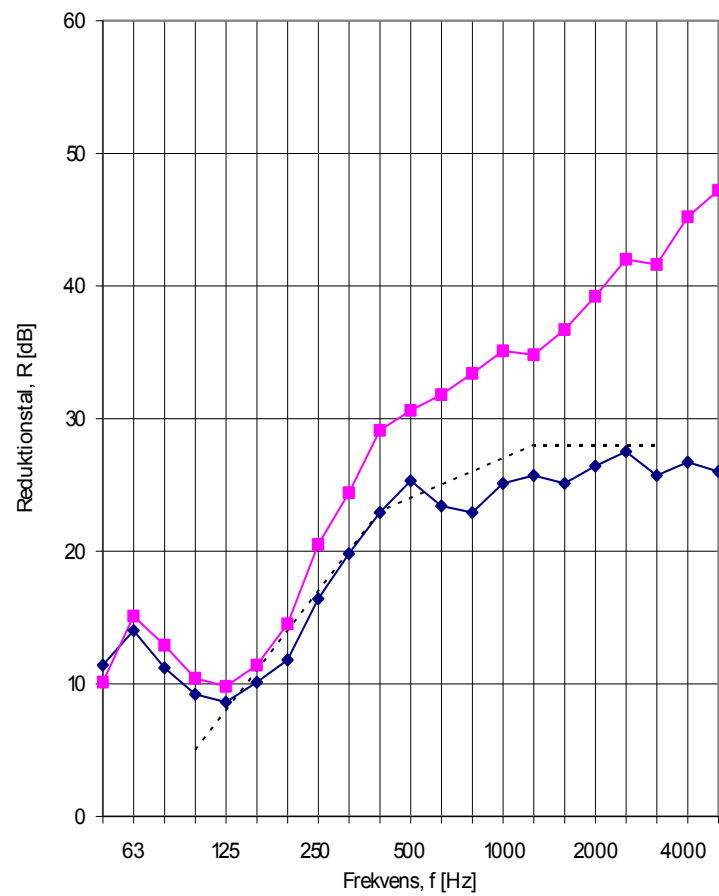


Figur 52: Betydning af lodrette lydabsorberende lameller i hulrummet. Åbningsareal af oplukkene $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



◆ Ingen lameller	$R_w = 22 \text{ dB}$	$R_w + C = 21 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m312)
■ Lodrette lameller	$R_w = 29 \text{ dB}$	$R_w + C = 27 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 22 \text{ dB}$	(m346)

Figur 53: Betydning af lodrette lydabsorberende lameller i hulrummet. Åbningsareal af oplukkene 0,20 m² | 0,20 m².



◆ Ingen lameller	$R_w = 24$ dB	$R_w+C = 23$ dB	$R_w+C_{tr} = 20$ dB	(m311)
■ Lodrette lameller	$R_w = 31$ dB	$R_w+C = 28$ dB	$R_w+C_{tr} = 23$ dB	(m347)

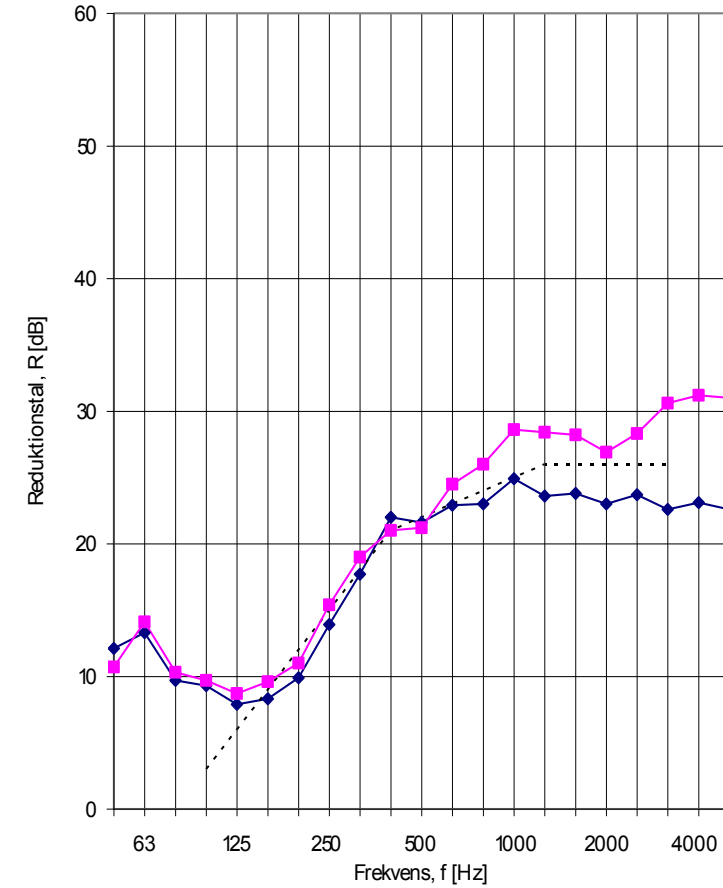
Effekten af et nedrullet gardin i hulrummet er undersøgt. Det benyttede rullegardin bestod af en speciel lydisolierende dug, se Figur 54.

Figur 54: Foto af indsat gardin (nedrullet).



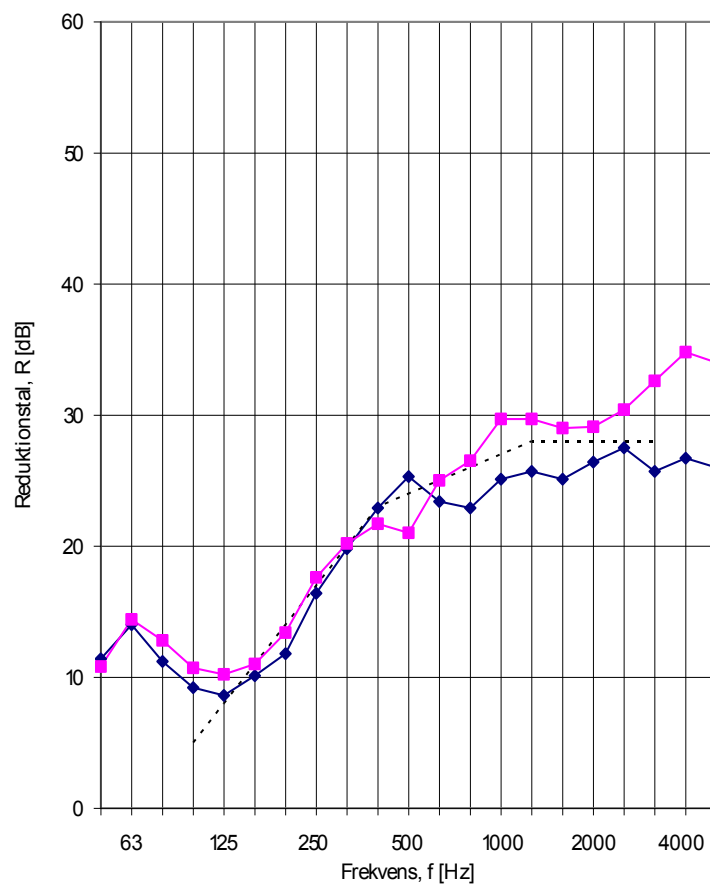
Måleresultatet fremgår af Figur 55 og Figur 56 med et åbningsareal af oplukkene på henholdsvis $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$ og $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$. Gardinet har en god effekt ved frekvenser over 500 Hz, medens R_w+C_{tr} -værdien kun forbedres med 1 dB. Det skal bemærkes, at gardinet begrænser luftgennemstrømningen.

Figur 55: betydning af placering af et gardin i vinduet. Åbningsareal af oplukkene er $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



—◆—	Intet gardin	$R_w = 22 \text{ dB}$	$R_w+C = 21 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m312)
—■—	Gardin trukket helt ned	$R_w = 25 \text{ dB}$	$R_w+C = 24 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m329)

Figur 56: betydning af placering indsætning af et gardin i vinduet. Åbningsareal af oplukkene $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$.



◆ Intet gardin	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w+C = 23 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m311)
■ Gardin trukket helt ned	$R_w = 26 \text{ dB}$	$R_w+C = 25 \text{ dB}$	$R_w+C_{tr} = 21 \text{ dB}$	(m330)

4.6.9 Lydabsorberende folie i hulrummet

I rum med lang efterklangstid og store glasarealer - f.eks. kantiner o. lign. - kan benyttes specielle mikroperforerede lydfolier til reduktion af efterklangstiden. Disse er transparente og vil typisk være placeret foran ruderne oppe i en vis højde.

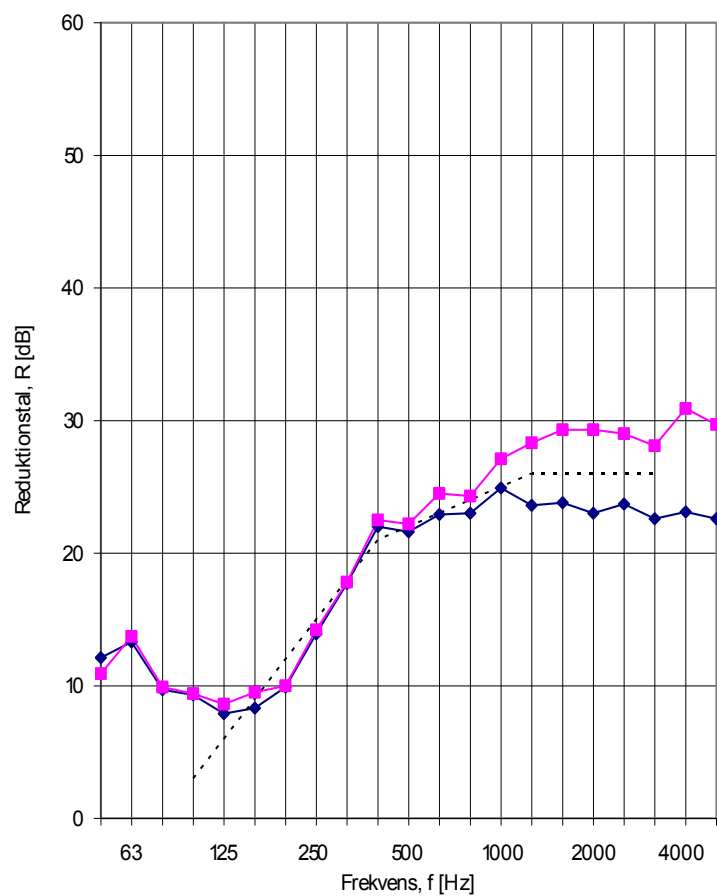
Der er udført et forsøg, hvor to lag lydfolie er udspændt i vinduets hulrum, se Figur 57. Den anvendte folie er af typen Microsorber (Micro-perforated ETFE-foil) og har en tykkelse på 0,1 mm. Folier af andre fabrikater med tilsvarende lydabsorberende egenskaber kan forventes at give samme virkning. Formatet er 1100 mm x 1273 mm. Folierne monteres, så der er 110 mm mellem udvendig rude og første lag folie, 30 mm mellem folierne og ca. 120 mm mellem indvendig rude og andet lag folie.

Resultatet af målingerne er vist i Figur 58 og Figur 59 for et åbningsareal af oplukkene på henholdsvis $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$, og $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$. Som det ses, er effekten af folien ganske god ved frekvenser over 500 Hz. R_w+C_{tr} -værdien forbedres, dog kun med 1 dB.

Figur 57: Placering af lydfolie i hulrummet. Selv med to lag folie er gennemsigtigheden ganske god (venstre foto).

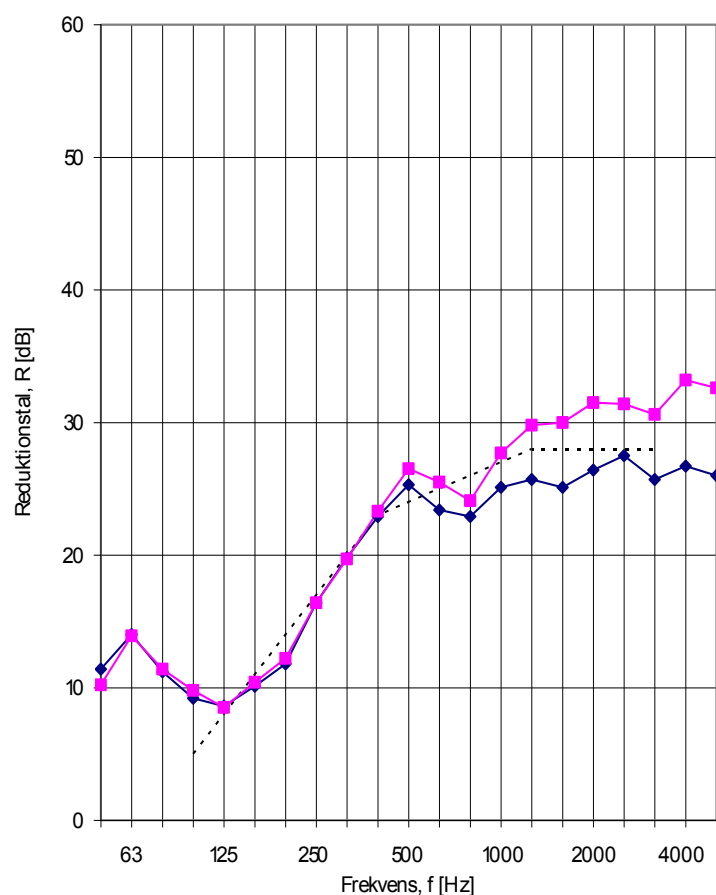


Figur 58: Betydning af 2 lag lydfolie udspændt i hulrummet. Åbningsareal af oplukkene 0,35 m² | 0,35 m².



◆ Uden folie	$R_w = 22 \text{ dB}$	$R_w + C = 21 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m312)
■ Med folie	$R_w = 25 \text{ dB}$	$R_w + C = 23 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m348)

Figur 59: Betydning af to lag lydfolie udspændt i hulrummet. Åbningsareal af oplukkene 0,20 m² | 0,20 m².



—◆—	Uden folie	$R_w = 24$ dB	$R_w+C = 23$ dB	$R_w+C_{tr} = 20$ dB	(m311)
—■—	Med folie	$R_w = 26$ dB	$R_w+C = 25$ dB	$R_w+C_{tr} = 21$ dB	(m349)

4.6.10 Partikelfilter i hulrummet

Russervinduer vil primært blive benyttet i byområder med høj belastning fra vejtrafik. I sådanne områder vil luften ofte indeholde betydelige koncentrationer af partikler fra bilernes udstødning mv. Det kunne derfor være hensigtsmæssigt at forsyne vinduet med et partikelfilter.

Et partikelfilter kan placeres på flere måder, ligesom forskellige filtermaterialer kan komme på tale. Der er i dette projekt foretaget målinger af filtrenes indvirkning på lydisolationen. Der er udført forsøg med to forskellige placeringer og to forskellige filtertyper. De benyttede filtre er af typen FILTERTEK AR 270 og AR 350. Ved anvendelse af andet fabrikat med tilsvarende akustiske egenskaber må forventes samme virkning.

Filtrene er placeret forinden i vinduet dels vandret lige over nederste opluk, dels lodret umiddelbart indenfor nederste opluk (her placeret foroven i vinduet, idet vinduet er vendt ”på hovedet”). Filtrene dækker hele det frie tværsnitsareal, se Figur 60 og Figur 61 for hhv. vandret og lodret montage. Der er målt med åbningsareal af oplukkene på henholdsvis 0,35 m² | 0,35 m², og 0,20 m² | 0,20 m².

Figur 60: Vandret monteret partikelfilter.

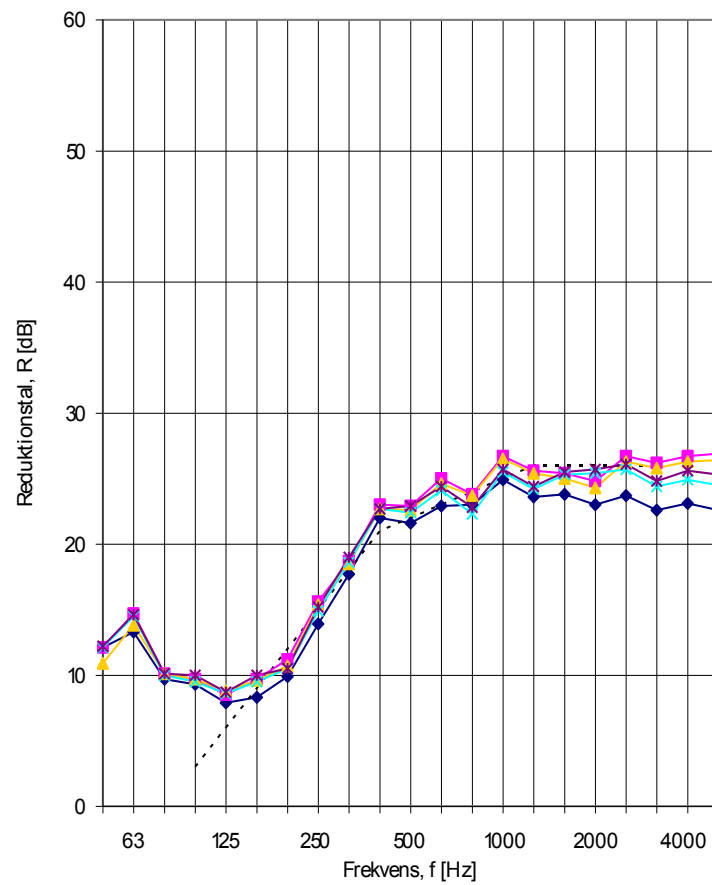


Figur 61: Lodret monteret partikelfilter.



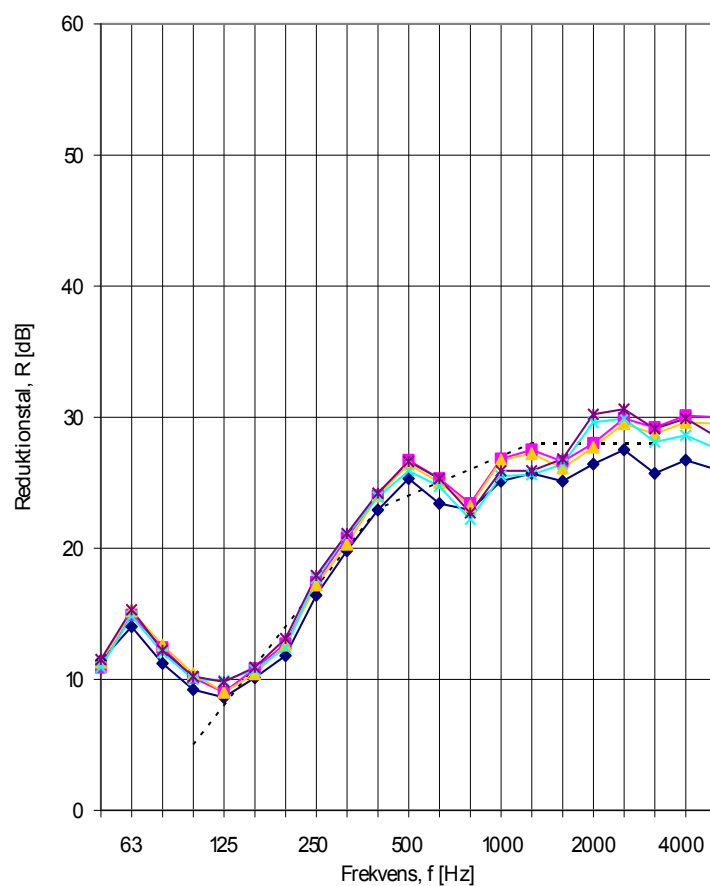
Resultaterne af målinger er vist i Figur 62 og Figur 63. Filtrene ses at medføre en beskedent forbedring af lydisolationen ved frekvenser over 1000 Hz. R_w+C_{tr} -værdien forbedres med 1 dB. De benyttede filtre vil reducere luftgennemstrømningen i vinduet. Dette er ikke undersøgt nærmere i dette projekt.

Figur 62: Betydning af placering af vandrette og lodrette partikelfiltre i hulrummet. Åbningsareal af oplukkene $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



◆ Uden partikelfilter	$R_w = 22 \text{ dB}$	$R_w + C = 21 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m312)
■ Vandret AR350	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w + C = 23 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m338)
▲ Vandret AR270	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w + C = 23 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m341)
✕ Lodret AR270	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w + C = 22 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 19 \text{ dB}$	(m342)
✱ Lodret AR350	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w + C = 23 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m344)

Figur 63: Betydning af vandrette og lodrette partikelfiltre placeret i hulrummet. Åbningsareal af oplukkene 0,20 m² | 0,20 m².



◆ Uden partikelfilter	$R_w = 24$ dB	$R_w + C = 23$ dB	$R_w + C_{tr} = 20$ dB	(m311)
■ Vandret AR350	$R_w = 26$ dB	$R_w + C = 24$ dB	$R_w + C_{tr} = 21$ dB	(m339)
▲ Vandret AR270	$R_w = 26$ dB	$R_w + C = 24$ dB	$R_w + C_{tr} = 21$ dB	(m340)
× Lodret AR270	$R_w = 26$ dB	$R_w + C = 24$ dB	$R_w + C_{tr} = 21$ dB	(m343)
* Lodret AR350	$R_w = 26$ dB	$R_w + C = 24$ dB	$R_w + C_{tr} = 21$ dB	(m345)

4.6.11 Glastypens betydning

Med åbne opluk forventes de benyttede rudetyper ikke at have nogen væsentlig betydning for lydisolationen. For at få dette bekræftet er der foretaget målinger på vinduet med to forskellige rudekonfigurationer:

Rudekonfiguration 1:

Udvendig rude: 8 mm lydlamineret enkeltglas

Indvendig rude: 4/0.38/4-15-4 mm termorude med Stadip Silence folie lagt

imellem de 2 x 4 mm glas samt en lavenergi folie på 4 mm ruden ind mod hulrum

Rudekonfiguration 2:

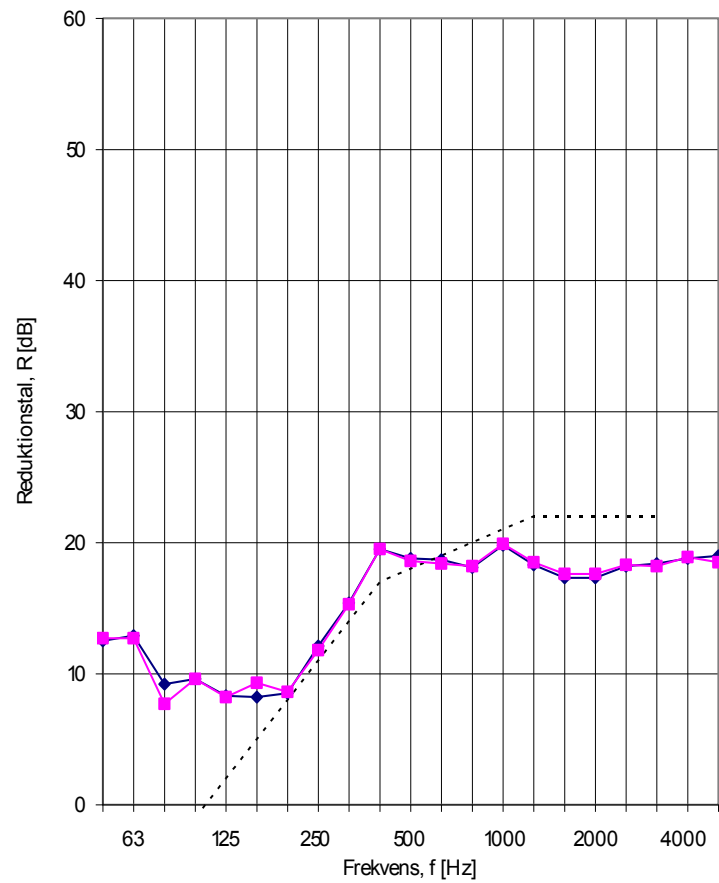
Udvendig rude: 8 mm enkeltglas

Indvendig rude: 4-18-4 lavenergirude

Målingerne er foretaget med og uden karmabsorbent og med åbningsareal af oplukkene på henholdsvis 0,35 m² | 0,35 m², og 0,20 m² | 0,20 m².

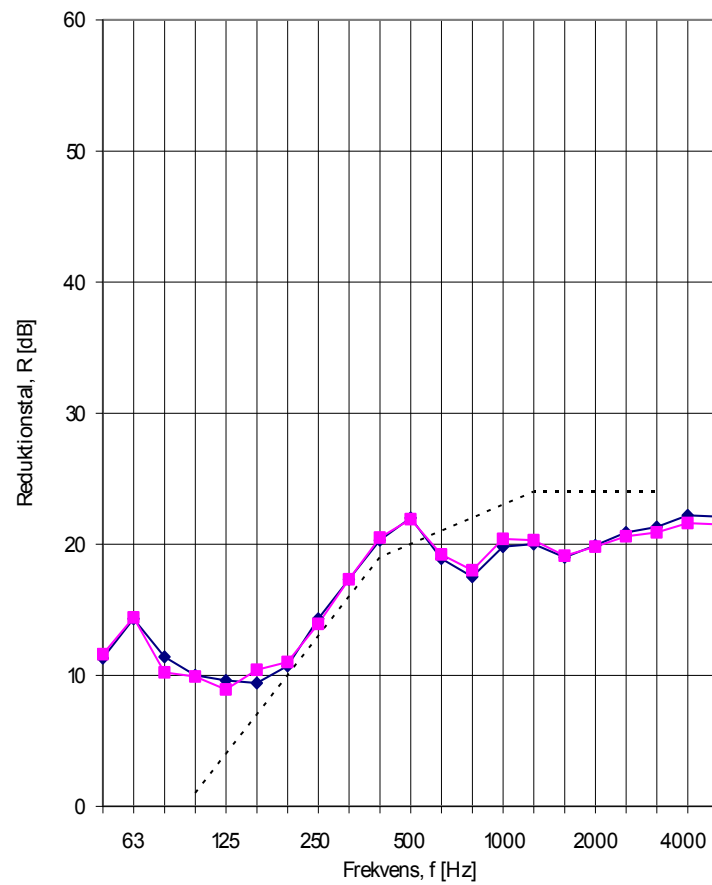
Måleresultaterne er vist i Figur 64 til Figur 66. Der ses ikke nogen forskel på lydisoleringen for vinduet med de to forskellige rudekonfigurationer.

Figur 64: Sammenligning af to rudekonfigurationer for vindue uden karmabsorbent. Åbningsareal af oplukkene $0,35 \text{ m}^2$ | $0,35 \text{ m}^2$.



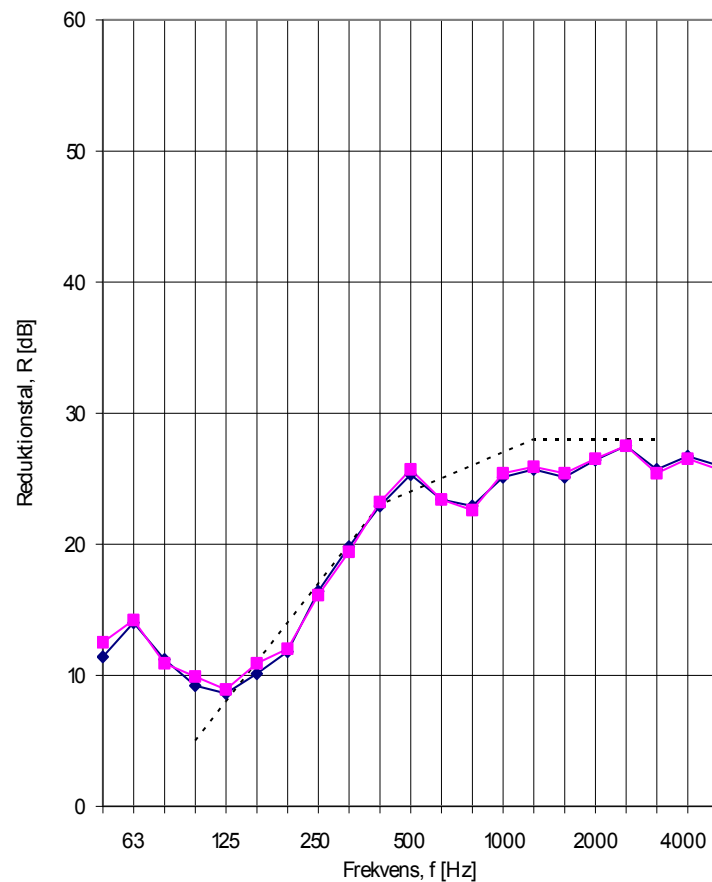
◆	Rudekonfiguration 1	$R_w = 18 \text{ dB}$	$R_w + C = 17 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 16 \text{ dB}$	(m301)
■	Rudekonfiguration 2	$R_w = 18 \text{ dB}$	$R_w + C = 18 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 16 \text{ dB}$	(m356)

Figur 65: Sammenligning af to rudekonfigurationer for vindue uden karmabsorbenter. Åbningsareal af oplukkene 0,20 m² | 0,20 m².



◆	Rudekonfiguration 1	$R_w = 20$ dB	$R_w + C = 19$ dB	$R_w + C_{tr} = 18$ dB	(m308)
■	Rudekonfiguration 2	$R_w = 20$ dB	$R_w + C = 19$ dB	$R_w + C_{tr} = 18$ dB	(m357)

Figur 66: Sammenligning af to rudekonfigurationer for vindue med karmabsorbent. Åbningsareal af oplukkene $0,20 \text{ m}^2$ | $0,20 \text{ m}^2$.

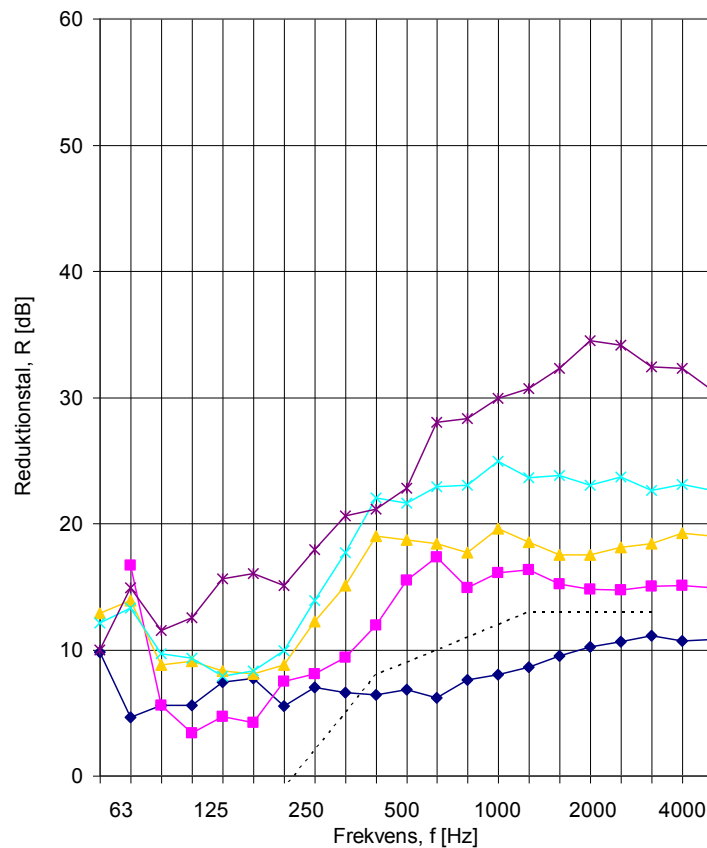


◆	Rudekonfiguration 1	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w + C = 23 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m311)
■	Rudekonfiguration 2	$R_w = 24 \text{ dB}$	$R_w + C = 23 \text{ dB}$	$R_w + C_{tr} = 20 \text{ dB}$	(m358)

4.6.12 Sammenligning med åbentstående traditionelt vindue

Der er udført en serie målinger, hvor lydisolationen for henholdsvis et åbentstående, traditionelt tophængt vindue og et russervindue i forskellige konfigurationer er sammenlignet. Åbningsarealet for det traditionelle vindue var $0,35 \text{ m}^2$, og tilsvarende var åbningsarealet af russervinduets to opluk også $0,35 \text{ m}^2$. Russervinduets effektive gennemstrømningsareal var $0,20 \text{ m}^2$. Russervinduets tykkelse var 245 mm. Alle vinduer havde bredden 1230 mm.

Figur 67: Sammenligning af lydisolations for et åbentstående traditionelt vindue og et russervindue i forskellige konfigurationer. Angående absorbenter se afsnit 4.6.7.



◆	Traditionelt vindue højde 1480 mm	$R_w = 9$ dB $D_{n,e,w} = 16$ dB	$R_w+C = 9$ dB $D_{n,e,w}+C = 16$ dB	$R_w+C_{tr} = 8$ dB $D_{n,e,w}+C_{tr} = 15$ dB	(m104)
■	Russervindue - højde 1480 mm	$R_w = 15$ dB $D_{n,e,w} = 22$ dB	$R_w+C = 14$ dB $D_{n,e,w}+C = 21$ dB	$R_w+C_{tr} = 13$ dB $D_{n,e,w}+C_{tr} = 20$ dB	(m51)
▲	Russervindue - højde 2380 mm	$R_w = 18$ dB $D_{n,e,w} = 24$ dB	$R_w+C = 17$ dB $D_{n,e,w}+C = 23$ dB	$R_w+C_{tr} = 16$ dB $D_{n,e,w}+C_{tr} = 21$ dB	(m304)
×	Russervindue - højde 2380 mm + 20 mm karmabsorbent	$R_w = 22$ dB $D_{n,e,w} = 28$ dB	$R_w+C = 21$ dB $D_{n,e,w}+C = 27$ dB	$R_w+C_{tr} = 19$ dB $D_{n,e,w}+C_{tr} = 24$ dB	(m312)
*	Russervindue - højde 2380 mm + 20 mm karmabsorbent, absorbent på opluk og mod- stående rude samt 2 trekant- absorbenter	$R_w = 28$ dB $D_{n,e,w} = 33$ dB	$R_w+C = 27$ dB $D_{n,e,w}+C = 32$ dB	$R_w+C_{tr} = 24$ dB $D_{n,e,w}+C_{tr} = 29$ dB	(m322)

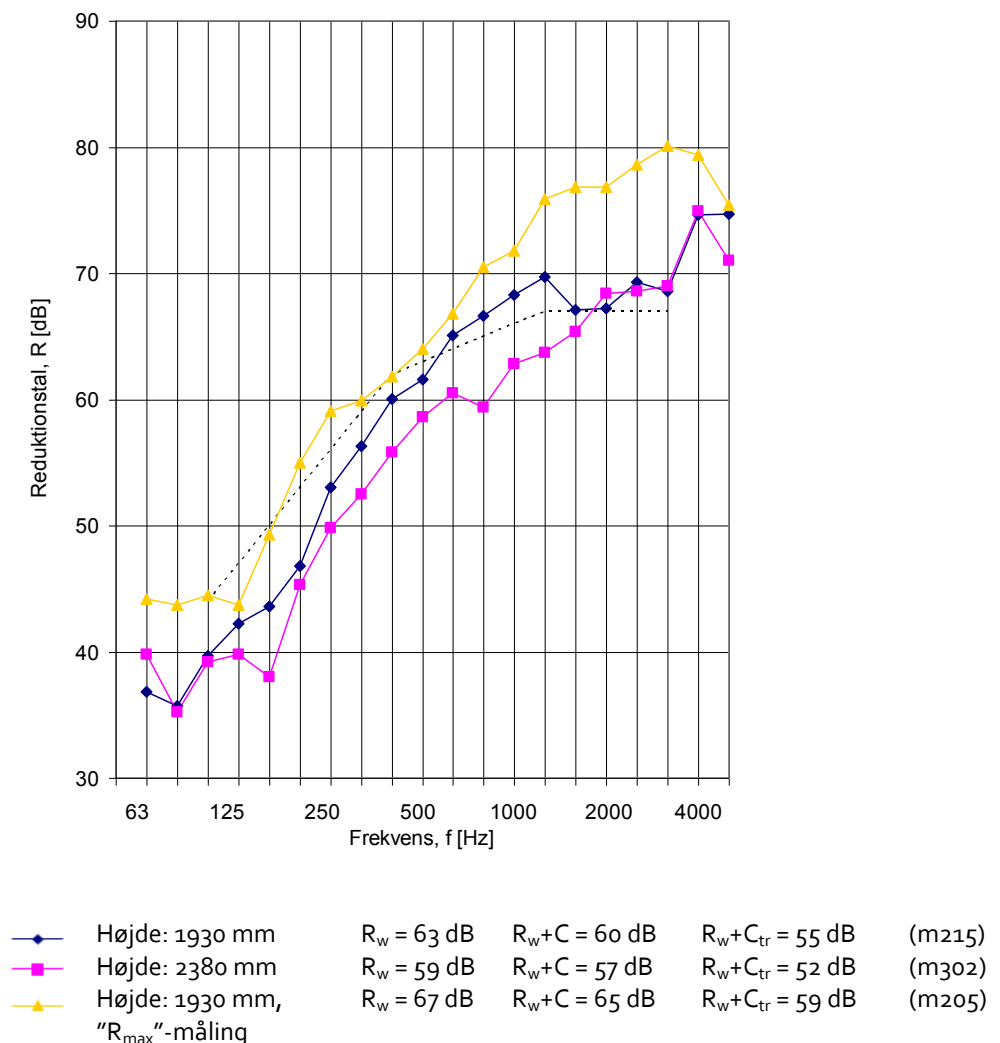
Måleresultaterne fremgår af Figur 67. Det ses, at det åbentstående traditionelle vindue har en R_w+C_{tr} -værdi på 8 dB. Russervinduet med samme højde har en R_w+C_{tr} -værdi på 13 dB, og øges højden til 2380 mm fås 16 dB. Forsynes det 2380 mm høje vindue med en 20 mm karmabsorbent fås 19 dB og med yderligere absorption i hulrummet i form af 20 mm absorbent på oplukkene og modstående rudearealer samt to trekantabsorbenter (se afsnit 4.6.7) bliver R_w+C_{tr} -værdien 24 dB.

4.7 Måleresultater – lukkede opluk

Russervinduer har en høj lydisolations med lukkede opluk, primært som følge af den store hulrumsdybde. Der er foretaget en række målinger af lydisolationsen med lukkede opluk for bl.a. forskellige højder, vinduestykkelser, rudekombinationer med mere. I dette afsnit er kun anført nogle få eksempler på de udførte målinger. Der er vist resultater med to forskellige vindueshøjder og en vinduestykkelse på 245 mm. Der er ikke benyttet karmabsorbent. Rudekonfiguration 1 er benyttet (se afsnit 4.6.11).

Resultaterne er vist i Figur 68. R_w+C_{tr} -værdierne for de to vindueshøjder ses at være hhv. 52 dB og 55 dB. På figuren er endvidere vist en måling af R_{max} , som er et estimat på den maksimale lydisolations, som kan måles i testfaciliteten. Som det kan ses, er prøvevæggens lydisolations ikke tilstrækkelig for en korrekt måling af russervinduet med lukkede opluk ved 125 Hz og i frekvensområdet 400 Hz til 630 Hz, hvor forskellen mellem R_{max} og vinduets lydisolations kun er 2-3 dB. Dette betyder, at reduktionsstallene for vinduet ved disse frekvenser er minimumsværdier.

Figur 68: Lydisolations med lukkede opluk ved forskellige vindueshøjder.



5 Måleresultater - feltmåling

Et af vinduerne benyttet ved laboratoriemålingerne er efterfølgende monteret i en bygning beliggende på den relativt stærkt trafikerede Randersvej i Aarhus. Afstanden mellem bygningsfacade og vejkanten var ca. 4,8 m, og vinduet var placeret med underkanten ca. 2 m over gadeniveau, se Figur 69. Modtagerum volumen var 33,8 m³.

Figur 69: Foto af vinduet indsat i en bolig ud mod en stærkt trafikeret vej.



Vinduet havde en højde på 1930 mm. Åbningsareal af oplukkene var 0,35 m², mens det effektive gennemstrømningsareal mellem ruderne var ca. 0,2 m². Vinduet var uden karmabsorbent.

Vinduets lydisolations blev målt med trafikken som støjkilde i henhold til DS/EN ISO 140-5.

I Figur 70 er vist resultatet af henholdsvis feltmålingen og den tilsvarende laboratoriemåling.

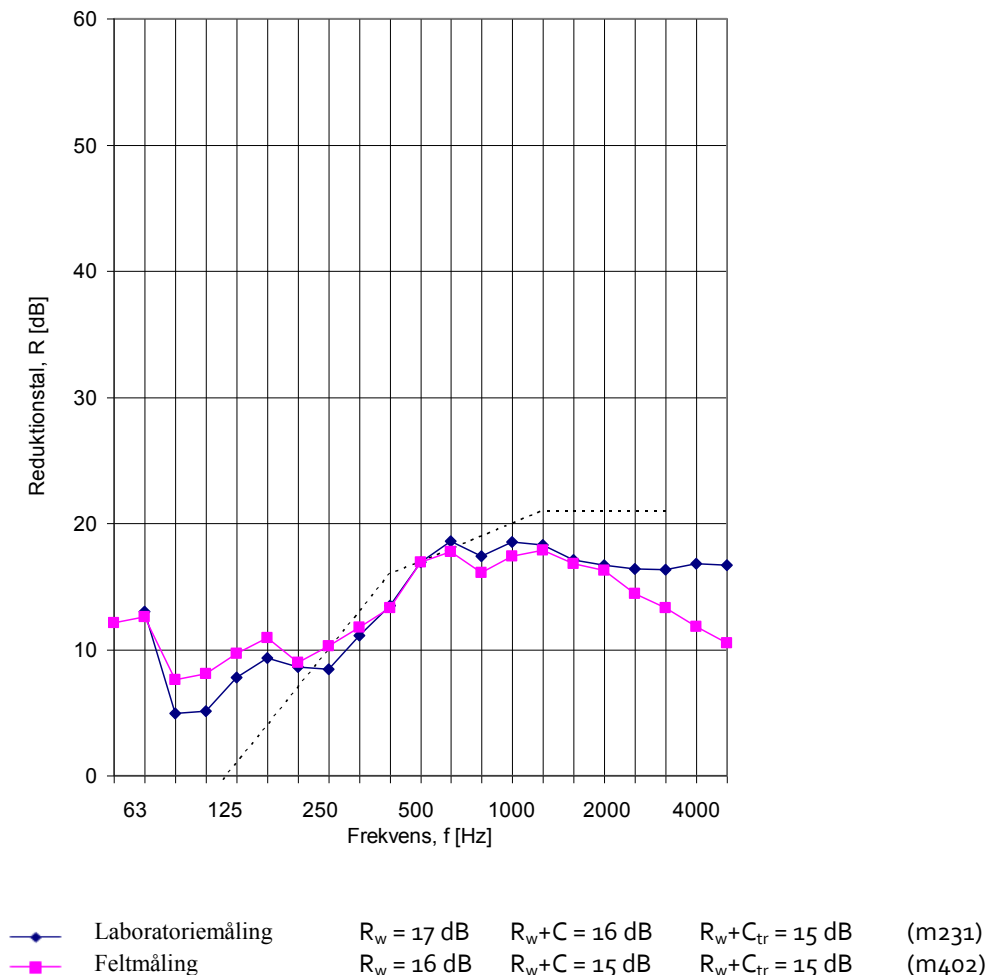
Sammenlignes reduktionstalskurverne bemærkes især, at ved frekvenser over 2000 Hz ligger værdierne fra laboratoriemålingen over feltresultaterne. Dette kan skyldes, dels vinduets lave placering tæt ved vejen, dels den korte afstand mellem facade og vej, således at der sker en meget direkte lydindstråling i det nederste opluk, primært fra dækstøjen.

Enkelttalsværdierne for det traditionelle frekvensområde (op til 3150 Hz) for henholdsvis feltmålingen og laboratoriemålingen ses at stemme godt overens med en forskel på maksimalt 1 dB. Beregnes enkelttalsværdierne i det udvidede frekvensområde (op til 5000 Hz) bliver forskellen mellem feltmåling og laboratoriemåling 2 dB for R_w+C og 1 dB for R_w+C_{tr} . Den konstaterede forskel for

frekvenser over 2000 Hz har således ikke nogen nævneværdig indflydelse på vinduets lydæssige egenskaber overfor trafikstøj.

Niveaudifferensen mellem udendørs og indendørs A-vægtet støjniveau, målt med vejtrafik som støjkilde, er 20 dB. (Udendørsniveau er en fritfeltsværdi, indendørsniveau er korrigeret til en efterklangstid på 0,5 s, og modtagerummets gulvareal er ca. 14,4 m².)

Figur 70: Sammenligning af samme vindue målt i laboratoriet og monteret i en bygning ved en stærkt trafikeret vej.



6 Designregler

På baggrund af resultaterne fra dette projekt er udarbejdet en guide med designanvisninger til brug ved dimensionering af russervinduer. ("Designguide for bestemmelse af "Russervinduers" lydisolations", reference [7].) Designguiden er baseret på regressionsanalyser af sammenhængen mellem parametre af betydning for lydisolationsen. De gennemførte regressionsanalyser er en del af dette projekt, men er ikke beskrevet i denne rapport.

7 Konklusion

Projektets formål har været at opstille designanvisninger med henblik på optimering af russervinduers lydisolations. En designguide er udarbejdet med udgangspunkt i et betydeligt antal laboratoriemålinger.

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 lydisolationsen for denne vinduestype.

Lydisolationsens afhængighed af parametre såsom vinduets dimensioner, åbningsareal af oplukkene, 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 russervindues lydisolations 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 lydisolationsen for et åbentstående, traditionelt vindue med et russervindue med samme åbningsareal, vil russervinduet have en lydisolations udtrykt som $R_w + C_{tr}$ der - afhængigt af russervindues format og opbygning - er typisk 8-16 dB bedre end lydisolationsen for det traditionelle vindue. Det kan derfor konkluderes, at russervinduet har klare lyd-mæssige fordele sammenlignet med et åbentstående traditionelt vindue.

Russervinduet har typisk den laveste lydisolations i frekvensområdet 100-250 Hz. Det er vanskeligt at forbedre lydisolationsen 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 lydisolationsen 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 lydisolationsen - specielt i det lavfrekvente område omkring rudens resonansfrekvens - kunne muligheden for benyttelse af aktiv støj-dæmpning undersøges nærmere.

Der er på baggrund af resultaterne i denne rapport udarbejdet en guideline med titlen "Designguide for bestemmelse af "russervinduers" lydisolations", se reference [7].

Bilag 1 – Reference- og litteraturliste

- [1] ”Støj fra veje”, Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 4 2007
- [2] DS/EN ISO 10140-1:2010 Akustik – Laboratoriemåling af bygningselementers lydisolation – Del 1: Produktspecifikke prøvningsprocedurer
- [3] DS/EN ISO 10140-2:2010 Akustik – Laboratoriemåling af bygningselementers lydisolation – Del 2: Måling af luftlydisolation
- [4] DS/EN ISO 10140-4:2010 Akustik – Laboratoriemåling af bygningselementers lydisolation – Del 4: Måleprocedurer og krav
- [5] DS/EN ISO 10140-5:2010 Akustik – Laboratoriemåling af bygningselementers lydisolation – Del 5: Krav til prøvningsfaciliteter og -udstyr
- [6] DS/EN ISO 717-1:1997 Akustik – Vurdering af lydisolation i bygninger og af bygningsdele – Del 1: Luftlydisolation
- [7] ”Designguide for bestemmelse af ”Russervinduers” lydisolation” L. S. Søndergaard og H. S. Olesen, DELTA, 2012.
- [8] ”Miljømåling - Vejtrafikstøj”: Måling af trafikstøj i og ved prøvelejlighed i Jægersborg Vandtårn, Gentofte Kommune. Rapport fra DELTA AV 1257/05, 15. august 2005.
- [9] ”Miljømåling - Vejtrafikstøj”: Måling af trafikstøj i og ved prøvekøkken i boligbebyggelsen ved Ørnegårdsvej, Gentofte Kommune. Rapport fra DELTA AV 1316/05, 20. september 2005.
- [10] 3-generations vinduer. Rapport om erfaringer med 2 prototyper opsat i Store Strandstræde, december 2002. Rapport udført for Energistyrelsen af DesignGroup 2002.
- [11] VINDUER – Forundersøgelse og idéprojekter, Udarbejdet af DesignGroup (Hermansen, Giese & Jørgensen) for Miljø- og Energiministeriet, Energistyrelsen, december 2000.
- [12] ”Naturlig ventilation og støjreduktion”, L. B. Schmidt, Syddansk Universitet, 2009.
- [13] NANR116: ”Open/closed window research”, Sound insulation through ventilated domestic windows. Building Performance Centre, School of the Built Environment, Edinburgh Napier University, April 2007.
- [14] Standardised Level Difference Data Sheets. Building Performance Centre, School of the Built Environment, Edinburgh Napier University, April 2007. (Måledata benyttet i [4]).
- [15] EURONOISE 2009: Research into acoustic transmission of open and closed windows. Tim Waters-Fuller, Daniel Lurcock. Building Performance Centre, Edinburgh Napier University.
- [16] EURONOISE 2008: Acoustic design criteria for naturally ventilated buildings. C. D. Field and J. Digerness. Arup Acoustics, 901 Market Street, Suite 260, San Francisco, CA 94103, USA.

- [17] Design and evaluation of noise-isolation measures for the natural-ventilation openings in a “green” building. *Noise Control Eng. J.* Volume 57, Issue 5, pp. 493-506, September 2009.
- [18] Traffic noise and the open window. Anita B. Lawrence and Marion A. Burgess. *J. Acoust. Soc. Am. Suppl. 1*, Vol. 72, Fall 1982.
- [19] Experimental study for control of sound transmission through double glazed window using optimally tuned Helmholtz resonators. *Applied Acoustics*, Volume 71, Issue 1, Pages 32-38, January 2010.
- [20] Master Thesis: Thermal Performance of Air Flow Windows. Lau Markussen Raffnsøe, BYG.DTU, Department of Civil Engineering, July 2007.
- [21] “Implementation of an active noise control system in a double-glazing window”, P. De Fonseca, W. Dehandschutter, P. Sas, H. Van Brussel, Department of Mechanical Engineering, Division PMA, K.U. Leuven, Belgium. *ISMA21 - Noise and Vibration Engineering* 377-388.
- [22] “Feedback control of sound transmission through a double glazed window”, O.E. Kaiser, S.J. Pietrzko, M. Morari. *Journal of Sound and Vibration* 263 (2003) 775-795.
- [23] “Active control of the cavity sound field of double panels with a feedback controller”, André Jakob, Michael Möser, Technische Universität Berlin, Institut für Technische Akustik, Berlin, Germany, 7th International Congress on Sound and Vibration, July 2000.
- [24] “Active control of double-glazed windows, Part 1: Feedforward control”, Andre Jakob, Michael Möser, Technical University of Berlin, Institute of Technical Acoustics, Berlin, Germany. *Applied Acoustics* 64 (2003) 163-182.
- [25] “Active control of double-glazed windows. Part 2: Feedback control”, André Jakob, Michael Möser, Technical University of Berlin, Institute of Technical Acoustics, Berlin, Germany. *Applied Acoustics* 64 (2003) 183-196.
- [26] “An active controlled double-glazed window with small pane distance”, André Jacob, Michael Möser, Institute of Technical Acoustics, Technical University of Berlin, *Forum Acusticum* 2002.

Bilag 2 – Luftsifte i traditionel facade kontra russervinduer – notat fra HansenProfile



hansen centre of excellence

HansenProfile

Luftsifte i traditionel facade kontra russervinduer

Planlovgivningen har fastsat et krav om min. 0,35 m² som udluftningsareal for at have en rimelig og effektiv udluftning og luftsifte i et givent lokale.

Introduktionen af et spjæld og et forvarmet hulrum vil skabe en skorstenseffekt der øger luftsiftet ind gennem facaden og lokalet.

Da de 0,35 m² er fastsat ud fra en "normal" betragtning kan der benyttes en reduktionsfaktor iht. nedenstående betragtninger.

Situation #1, traditionel facade med opluk



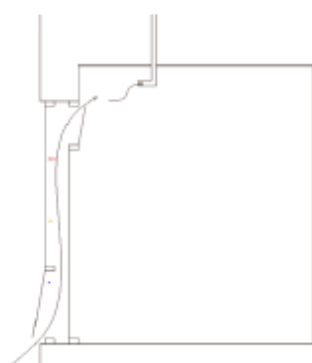
Udluftningsarealet fastholdes på min. 0,35 m².

Beregnes som de 2 sidetrekanter + det vinkelrette areal fra vandret sprosse og ud til vinduesramme.

2 gange rød + 1 gange orange \geq 0,35 m²



Situation #2, traditionel facade med opluk og skorstenseffekt

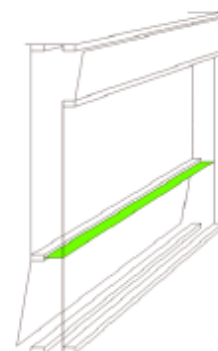


Forvarmningen af luften i hulrummet og et åbent spjæld vil skabe en skorstenseffekt der markant øger det gennemsnitlige luftsifte via et sug ind gennem lokalet.

Selve udluftningsarealet i opluk såvel ude som inde fastholdes til min. 0,35 m², mens det mindste tværsnit op gennem vinduet kan reduceres med en faktor 0,5.

2 gange rød + 1 gange orange \geq 0,35 m²

Mindste tværsnit imellem vinduer
grøn \geq 0,5 x 0,35 m²
grøn \geq 0,5 x 0,18 m²



INDVIRTETSSTYRINGSYSTEM
DS/EN
ISO 9001



EN 13830 EN 12101-2

Bilag 3 – Vurdering af ventilations-effektivitet - Notat fra Cowi

COWI

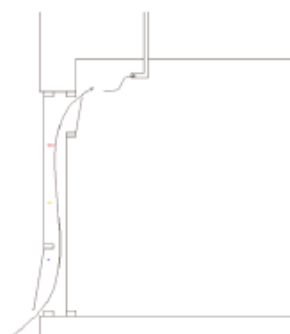
Memo	Støj fra trafik	COWI A/S
Titel	Vurdering af ventilationseffektivitet	Parallelvej 2 2800 Kongens Lyngby
Dato	11. september 2009	Telefon 45 97 22 11 Telefax 45 97 22 12 www.cowi.dk
Til		
Kopi		
Fra	Jens Eg Rahbek, COWI	

I Miljøstyrelsen vejledning "Støj fra veje" anføres det i afsnit 2.2.2 at

Støjgrænsen for støjisolerede boliger i sove- og opholdsrum er L_{den} 46 dB, beregnet med åbne vinduer i møbleret rum. Det forudsættes, at alle oplukkelige vinduer er åbnet til et åbningsareal på 0,35 m² pr. vindue, og at efterklangstiden er 0,5s. Samme støjgrænse benyttes for undervisnings- og daginstitutionsbygninger samt hospitaler o.l. For kontorer mv. er grænseværdien for åbne vinduer L_{den} 51 dB. Disse grænser svarer til de støjniveauer, der opstår indendørs med almindelige åbne vinduer, når der er henholdsvis 58 dB og 63 dB udenfor facaden.

Der forudsættes således at støjkravene kan opfyldes ved oplukkelige vinduer åbnet til et areal på 0,35 m². De 0,35 m² vinduesareal må forventes at være vurderet ud fra at rummet skal kunne ventileres tilfredsstillende gennem vinduerne hvor luften typisk vil komme både ind og ud af vinduerne.

Ved anvendelse af 3G vinduer skal luften normalt kun ind gennem vinduerne mens aftræk typisk sker ud gennem kanal over tag. Det faktum at luften kun skal ind gennem vinduerne bevirker at der kun er behov for det halve areal for at opnå samme luftmængde. Da der desuden er en højdeforskel mellem indtag i 3G vinduet og afkast over tag samt en forvarming i vinduet er det nødvendige åbningsareal endda endnu mindre.



Et kvalificeret skøn er at en 3G vinduesløsning kun vil behøve et oplukkeligt vinduesareal på ca. 30 % af det opgivne for at give det samme luftskifte.

3G vinduesløsningen er således velegnet til naturlig ventilation i bygninger placeret i støjplagede områder.

Med venlig hilsen

Jens Eg Rahbek

Senior fagleder
Building Services
COWI A/S

Bilag 4 – Måleresultater i tabelform

Betegnelserne mxxx i øverste række i hver af de følgende tabeller er målingens nummer, som er benyttet i forbindelse med rapportens figurer i kapitel 4 og 5.

Frekvens	m11	m18	m21	m25	m30	m31	m32	m33	m34	m36
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	18,1	17,6	15,7	15,1	15,3	32,2	14,8	14,7	15,8	19,5
80	9,1	10,7	14,4	11,6	7,9	26,4	11,1	13,8	5,4	7,6
100	14,2	11,5	11,7	9,9	9,1	31,9	11,0	12,7	6,7	7,3
125	14,1	11,6	9,6	8,0	9,2	33,9	10,2	11,5	7,9	11,9
160	9,6	10,7	11,4	9,6	8,7	34,6	10,8	13,1	6,9	7,4
200	9,3	10,9	11,8	9,8	11,0	40,9	12,9	15,2	9,3	9,5
250	10,0	12,7	13,3	10,5	11,4	41,9	15,0	17,8	9,2	8,6
315	12,8	15,4	16,6	13,3	14,0	45,7	17,3	20,2	11,5	12,1
400	15,5	17,4	18,1	15,7	15,7	46,6	18,9	21,9	13,7	13,5
500	19,9	20,7	21,6	19,1	18,2	48,6	21,3	23,8	17,0	17,2
630	23,6	22,2	21,3	21,5	18,9	50,6	21,6	25,3	19,1	20,8
800	19,7	16,9	17,8	18,2	17,3	53,4	17,9	20,4	17,0	16,7
1000	19,4	18,9	19,6	19,4	18,2	55,6	19,9	21,5	18,2	16,9
1250	23,2	23,1	21,3	19,0	19,9	57,9	20,8	21,1	17,9	20,7
1600	22,2	22,2	20,1	18,3	18,5	57,3	19,6	20,1	17,1	19,4
2000	23,2	21,0	20,6	17,8	19,1	59,1	21,9	23,1	16,3	21,0
2500	23,2	20,8	20,7	17,7	19,2	61,5	22,4	24,7	16,3	21,5
3150	22,0	20,9	20,5	17,9	19,4	62,0	23,0	25,1	16,6	20,7
4000	23,1	21,8	21,1	18,0	20,2	67,9	24,2	28,0	16,8	21,4
5000	23,5	22,0	21,2	17,8	20,6	71,9	25,2	28,9	16,8	22,2
R_w	20	20	20	18	18	52	21	23	17	18
C	0	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	0
C₁₀₀₋₅₀₀₀	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	0
C_{tr}	-3	-2	-2	-2	-2	-6	-3	-3	-2	-3
C_{tr,100-5000}	-3	-2	-2	-2	-2	-6	-3	-3	-2	-3
C₅₀₋₃₁₅₀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C₅₀₋₅₀₀₀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C_{tr,50-3150}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C_{tr,50-5000}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D_{n,e,w}	26	26	25	0	24	58	27	29	23	24
C	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0
C_{tr}	-3	-3	-2	0	-2	-6	-3	-3	-2	-3

Frekvens	m43	m48	m51	m104	m205	m207	m208	m209	m215
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	-	-	-	9,8	-	-	-	-	-
63	20,6	15,6	16,7	4,6	44,2	11,2	11,3	12,1	36,8
80	11,9	4,5	5,6	5,6	43,7	4,2	3,7	3,5	35,7
100	6,4	6,1	3,4	5,6	44,5	6,9	6,2	7,6	39,7
125	4,4	8,2	4,7	7,4	43,7	9,6	9,9	9,7	42,2
160	5,2	6,4	4,2	7,7	49,3	10,1	11,5	11,5	43,6
200	8,0	10,1	7,5	5,5	55,0	11,4	12,7	12,5	46,8
250	7,9	10,7	8,1	7,0	59,1	15,1	16,0	16,2	53,0
315	10,8	13,0	9,4	6,6	59,9	15,6	16,9	17,2	56,3
400	12,2	14,8	11,9	6,4	61,8	18,6	20,2	20,1	60,0
500	16,0	17,6	15,5	6,8	64,0	22,1	24,1	23,5	61,6
630	19,1	17,7	17,3	6,2	66,8	21,6	24,5	23,5	65,1
800	15,8	14,2	14,9	7,6	70,5	20,7	23,1	22,0	66,6
1000	15,7	16,2	16,1	8,0	71,8	21,6	24,7	23,0	68,3
1250	18,7	18,5	16,3	8,6	75,9	22,8	24,8	23,9	69,7
1600	18,3	16,8	15,2	9,5	76,8	21,3	23,8	22,5	67,1
2000	19,1	17,4	14,8	10,2	76,8	20,0	22,7	21,1	67,2
2500	19,6	17,6	14,7	10,6	78,6	19,4	22,5	20,4	69,3
3150	19,8	17,5	15,0	11,1	80,1	19,3	23,6	20,6	68,6
4000	19,9	18,0	15,1	10,7	79,4	19,1	23,4	20,5	74,6
5000	20,4	18,3	14,9	10,8	75,4	18,5	22,6	19,5	74,7
R_w	17	17	15	9	67	21	23	22	63
C	-1	-1	-1	0	-2	-1	-1	-1	-3
C₁₀₀₋₅₀₀₀	0	0	-1	0	-2	-2	-1	-1	-2
C_{tr}	-3	-2	-2	-1	-8	-3	-4	-3	-8
C_{tr,100-5000}	-3	-2	-2	-1	-8	-3	-4	-3	-8
C₅₀₋₃₁₅₀	-	-	-	0	-	-	-	-	-
C₅₀₋₅₀₀₀	-	-	-	0	-	-	-	-	-
C_{tr,50-3150}	-	-	-	-1	-	-	-	-	-
C_{tr,50-5000}	-	-	-	-1	-	-	-	-	-
D_{n,e,w}	24	24	22	16	73	27	29	28	69
C	-1	-1	-1	0	-2	-1	-1	-1	-3
C_{tr}	-3	-2	-2	-1	-8	-3	-3	-3	-8

Frekvens	m226	m227	m228	m231	m240	m241	m242	m243
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	11,5	11,7	10,6	-	14,9	15,4	15,2	13,4
63	13,1	13,3	12,6	13,0	12,7	12,3	12,3	11,8
80	4,8	5,0	5,0	4,9	4,2	5,5	6,4	6,7
100	6,0	4,9	5,2	5,1	6,1	7,8	7,6	7,7
125	7,7	7,3	7,3	7,8	6,9	7,5	7,6	7,8
160	10,3	9,7	9,7	9,3	8,7	8,9	9,1	9,2
200	10,4	9,9	8,4	8,6	9,0	9,0	8,8	9,3
250	11,4	11,8	9,1	8,4	11,6	12,6	11,2	12,5
315	15,6	17,4	13,2	11,1	13,6	14,7	14,1	14,7
400	18,6	21,7	16,3	13,5	17,8	18,6	18,0	18,9
500	22,7	24,7	21,0	16,9	17,2	18,3	18,0	17,8
630	25,4	27,7	21,9	18,6	18,3	18,9	18,3	18,7
800	22,5	23,9	19,6	17,4	16,4	17,0	16,7	16,9
1000	23,5	25,5	21,0	18,5	16,8	17,7	16,8	17,8
1250	23,6	25,3	21,4	18,3	17,1	18,0	17,1	17,9
1600	22,4	24,1	20,2	17,1	17,9	18,7	17,7	18,6
2000	21,7	24,0	19,6	16,7	18,0	18,7	17,8	18,6
2500	21,1	24,2	19,0	16,4	18,1	18,8	18,2	19,0
3150	21,3	25,6	18,8	16,3	18,4	19,4	18,0	19,2
4000	21,4	26,3	19,1	16,8	18,8	20,1	18,5	20,0
5000	20,7	26,0	18,6	16,7	19,1	20,1	18,5	19,8
R_w	21	23	19	17	18	19	18	18
C	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0
C₁₀₀₋₅₀₀₀	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0
C_{tr}	-3	-5	-3	-2	-3	-3	-3	-2
C_{tr,100-5000}	-3	-5	-3	-2	-3	-3	-3	-2
C₅₀₋₃₁₅₀	-1	-1	-1	-	-1	-1	-1	0
C₅₀₋₅₀₀₀	-1	-1	-1	-	-1	-1	-1	0
C_{tr,50-3150}	-4	-6	-3	-	-3	-3	-3	-2
C_{tr,50-5000}	-4	-6	-4	-	-3	-3	-3	-2
D_{n,e,w}	28	29	25	23	23	24	23	24
C	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C_{tr}	-4	-5	-3	-2	-2	-3	-2	-3

Frekvens	m245	m246	m301	m302	m304	m308	m309	m310
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	12,7	11,7	12,5	-	12,9	11,3	13,1	11,3
63	13,7	13,5	12,9	39,8	13,9	14,3	13,2	13,6
80	7,6	9,1	9,2	35,2	8,8	11,4	8,9	11,4
100	9,6	9,5	9,6	39,2	9,1	10,0	9,3	9,6
125	10,5	10,2	8,3	39,8	8,3	9,6	8,2	8,9
160	9,7	10,4	8,2	38,0	8,1	9,4	8,1	9,0
200	8,5	9,8	8,5	45,3	8,8	10,7	9,1	10,8
250	11,6	12,2	12,1	49,8	12,2	14,3	12,7	14,8
315	14,1	14,9	15,4	52,5	15,1	17,3	16,8	17,9
400	17,3	18,5	19,5	55,8	19,0	20,3	20,8	21,9
500	17,3	17,8	18,8	58,6	18,7	22,0	20,6	24,3
630	20,4	20,3	18,7	60,5	18,4	18,9	22,0	22,8
800	16,3	16,8	18,1	59,4	17,7	17,5	22,3	22,0
1000	16,5	17,6	19,8	62,8	19,6	19,8	24,7	25,7
1250	17,1	17,7	18,3	63,7	18,5	20,0	23,4	25,8
1600	17,8	18,1	17,3	65,4	17,5	19,0	22,7	24,6
2000	17,6	18,5	17,3	68,4	17,5	19,9	22,5	25,7
2500	18,1	19,1	18,2	68,6	18,1	20,9	23,5	27,0
3150	18,1	18,8	18,4	69,0	18,4	21,3	22,2	25,6
4000	18,7	19,6	18,8	74,9	19,2	22,2	23,2	26,9
5000	18,5	19,5	19,0	71,0	19,0	22,1	23,1	26,5
R_w	18	18	18	59	18	20	22	24
C	-1	0	-1	-2	-1	-1	-1	-2
C₁₀₀₋₅₀₀₀	-1	0	0	-1	0	0	-1	-1
C_{tr}	-2	-2	-2	-7	-2	-2	-4	-5
C_{tr,100-5000}	-2	-2	-2	-7	-2	-3	-4	-5
C₅₀₋₃₁₅₀	-1	0	-1	-	-1	-1	-1	-2
C₅₀₋₅₀₀₀	-1	0	0	-	0	0	-1	-1
C_{tr,50-3150}	-3	-2	-2	-	-2	-3	-4	-5
C_{tr,50-5000}	-3	-2	-2	-	-2	-3	-4	-5
D_{n,e,w}	23	24	24	65	24	25	27	29
C	-1	-1	-1	-3	-1	-1	-1	-1
C_{tr}	-2	-2	-3	-8	-3	-2	-4	-4

Frekvens	m311	m312	m313	m314	m315	m316	m318	m319
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	11,4	12,1	11,5	11,7	11,0	10,9	10,5	9,9
63	14,0	13,3	12,8	14,0	13,2	14,5	14,3	14,8
80	11,2	9,7	8,9	11,5	9,2	12,1	9,6	12,4
100	9,2	9,3	9,2	10,0	9,5	10,0	9,4	10,6
125	8,6	7,9	7,7	7,9	8,8	9,6	7,9	10,5
160	10,1	8,3	8,1	8,8	9,1	10,4	9,0	10,7
200	11,8	9,9	9,1	11,3	11,0	13,0	10,4	13,1
250	16,4	13,9	13,2	15,6	15,4	17,6	14,5	17,9
315	19,8	17,7	17,8	19,7	19,8	21,6	18,3	20,6
400	22,9	22,0	22,8	23,6	24,7	26,3	22,5	23,6
500	25,3	21,6	22,1	26,2	23,5	27,0	23,0	26,8
630	23,4	22,9	23,7	24,0	24,3	24,7	26,0	26,9
800	22,9	23,0	24,0	23,3	24,8	24,8	25,8	25,9
1000	25,1	24,9	25,9	26,5	25,4	26,6	29,3	30,3
1250	25,7	23,6	23,8	26,4	24,7	25,7	27,4	30,6
1600	25,1	23,8	23,6	25,4	23,8	24,8	28,5	31,0
2000	26,4	23,0	23,7	26,7	22,5	25,6	28,8	33,5
2500	27,5	23,7	24,4	28,1	22,8	26,2	29,9	35,6
3150	25,7	22,6	22,9	25,7	21,4	24,7	27,2	32,1
4000	26,7	23,1	22,4	26,7	21,8	25,7	27,7	33,6
5000	26,0	22,6	22,4	26,3	21,9	25,4	26,8	31,4
R_w	24	22	23	25	23	25	25	28
C	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-2	-2
C₁₀₀₋₅₀₀₀	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C_{tr}	-4	-3	-5	-5	-3	-4	-5	-6
C_{tr,100-5000}	-4	-3	-5	-5	-4	-4	-5	-6
C₅₀₋₃₁₅₀	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-2	-2
C₅₀₋₅₀₀₀	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C_{tr,50-3150}	-4	-4	-5	-6	-4	-5	-6	-7
C_{tr,50-5000}	-4	-4	-5	-6	-4	-5	-6	-7
D_{n,e,w}	30	28	28	30	29	30	30	33
C	-2	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-2
C_{tr}	-5	-4	-4	-5	-4	-4	-5	-6

Frekvens	m320	m321	m322	m323	m324	m325	m326	m327
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	9,4	11,1	10,0	9,4	10,1	11,5	10,4	10,4
63	15,3	13,8	14,9	15,6	14,7	14,7	14,4	15,4
80	12,3	10,4	11,5	13,5	12,0	10,6	11,3	12,7
100	10,7	9,8	12,5	14,2	10,8	9,8	10,5	11,6
125	10,7	8,8	15,6	18,6	10,6	9,3	10,1	11,5
160	11,5	10,2	16,0	18,0	11,6	10,2	11,4	12,3
200	14,0	11,5	15,1	17,7	14,1	12,2	13,6	15,4
250	19,2	16,6	17,9	20,5	18,8	16,4	17,9	20,6
315	22,2	20,1	20,6	22,9	23,2	21,0	23,6	25,3
400	25,6	23,8	21,1	23,4	27,7	26,6	28,5	29,9
500	28,6	24,9	22,8	24,1	30,4	26,8	29,3	32,7
630	30,1	28,9	28,0	29,0	30,6	30,0	32,6	33,5
800	29,5	28,5	28,3	29,4	33,5	32,3	35,8	36,8
1000	32,3	31,1	29,9	30,7	36,8	36,2	39,9	40,6
1250	33,6	32,3	30,7	32,5	35,9	36,8	44,6	44,8
1600	36,0	33,2	32,3	34,5	34,3	33,7	45,6	45,6
2000	39,5	34,1	34,5	38,6	35,5	33,0	44,3	46,9
2500	40,7	34,9	34,1	39,8	35,6	32,5	40,6	43,0
3150	35,7	32,1	32,4	37,3	34,9	31,0	41,0	42,7
4000	38,4	34,0	32,3	37,5	32,0	29,2	41,8	43,3
5000	36,7	31,9	30,5	34,7	31,2	28,6	40,3	42,8
R_w	30	28	28	30	30	28	30	32
C	-2	-3	-1	-1	-2	-2	-2	-2
C₁₀₀₋₅₀₀₀	-2	-2	-1	0	-2	-1	-1	-1
C_{tr}	-7	-7	-4	-4	-7	-6	-7	-8
C_{tr,100-5000}	-7	-7	-4	-4	-7	-6	-7	-8
C₅₀₋₃₁₅₀	-3	-3	-1	-1	-2	-2	-2	-3
C₅₀₋₅₀₀₀	-2	-2	-1	0	-2	-2	-1	-2
C_{tr,50-3150}	-8	-8	-5	-5	-8	-7	-8	-9
C_{tr,50-5000}	-8	-8	-5	-5	-8	-7	-8	-9
D_{n,e,w}	35	33	33	35	36	34	36	37
C	-2	-2	-1	-1	-3	-3	-3	-2
C_{tr}	-7	-7	-4	-4	-8	-7	-8	-7

Frekvens	m329	m330	m331	m332	m333	m334	m335	m336
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	10,7	10,8	10,1	11,6	-	-	-	10,2
63	14,1	14,4	14,3	13,8	13,8	14,5	14,0	15,2
80	10,3	12,8	11,7	9,9	10,6	11,7	12,5	13,6
100	9,7	10,7	10,0	9,6	9,6	9,6	10,1	10,4
125	8,7	10,2	9,1	8,4	7,9	8,7	9,3	8,4
160	9,6	11,0	10,1	8,8	8,8	9,8	10,0	10,4
200	11,0	13,4	11,8	9,4	9,2	10,8	11,5	13,1
250	15,4	17,6	16,8	14,7	14,4	16,8	16,3	19,5
315	19,0	20,2	20,7	19,2	18,7	20,6	19,5	22,7
400	21,0	21,7	24,0	22,0	21,9	23,7	22,6	25,8
500	21,2	21,0	23,0	20,0	21,8	24,8	22,6	27,4
630	24,5	25,0	24,4	23,2	24,3	24,7	24,0	25,5
800	26,0	26,5	22,8	21,6	21,4	22,1	23,8	22,7
1000	28,6	29,7	25,8	24,7	24,3	25,0	25,7	27,0
1250	28,4	29,7	26,9	25,1	24,5	25,3	27,4	26,7
1600	28,2	29,0	25,2	23,8	24,1	24,8	25,8	26,8
2000	26,9	29,1	26,4	23,5	25,8	28,6	26,1	31,4
2500	28,3	30,4	28,4	24,9	24,6	29,6	27,3	34,4
3150	30,6	32,6	27,5	24,2	23,3	26,6	28,7	32,6
4000	31,2	34,8	29,1	25,5	25,5	29,2	28,4	32,5
5000	31,0	34,0	30,7	26,4	29,1	32,2	32,9	30,2
R_w	25	26	25	23	23	25	25	27
C	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-2	-2
C₁₀₀₋₅₀₀₀	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C_{tr}	-5	-5	-5	-4	-4	-5	-5	-6
C_{tr,100-5000}	-5	-5	-5	-4	-4	-5	-5	-6
C₅₀₋₃₁₅₀	-1	-1	-2	-1	-	-	-	-2
C₅₀₋₅₀₀₀	-1	0	-1	-1	-	-	-	-1
C_{tr,50-3150}	-5	-5	-5	-5	-	-	-	-6
C_{tr,50-5000}	-5	-5	-5	-5	-	-	-	-6
D_{n,e,w}	30	32	30	28	28	30	30	32
C	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-2
C_{tr}	-5	-5	-4	-4	-4	-5	-4	-5

Frekvens	m337	m338	m339	m340	m341	m342	m343	m344
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	11,2	12,1	10,9	11,3	10,9	12,1	10,9	12,2
63	15,4	14,7	14,9	15,2	13,8	14,5	14,8	14,6
80	12,3	10,1	12,4	12,6	10,1	10,0	12,0	10,1
100	10,3	9,7	10,1	10,4	9,7	9,5	10,0	10,0
125	8,0	8,5	9,0	9,0	8,8	8,6	9,9	8,7
160	9,3	9,7	10,8	10,4	9,6	9,5	10,7	10,0
200	11,6	11,2	12,7	12,6	10,7	10,5	12,4	10,5
250	17,1	15,6	17,4	17,2	15,4	14,9	17,7	15,2
315	21,0	18,7	20,8	20,3	18,5	18,6	21,0	19,0
400	24,6	23,0	24,0	24,0	22,7	22,7	23,9	22,7
500	24,0	22,9	26,7	26,4	22,6	22,4	25,9	22,9
630	24,6	25,0	25,3	25,0	24,6	24,1	24,7	24,4
800	23,3	23,8	23,4	23,2	23,7	22,3	22,2	22,8
1000	26,2	26,7	26,8	26,7	26,5	25,5	25,5	25,7
1250	23,9	25,6	27,5	27,2	25,4	24,2	25,6	24,4
1600	25,3	25,4	26,6	26,1	25,0	25,3	26,4	25,5
2000	28,3	24,8	28,0	27,7	24,3	25,4	29,6	25,7
2500	30,3	26,7	29,9	29,5	26,3	25,7	29,9	26,1
3150	28,5	26,2	29,2	28,7	25,8	24,4	28,1	24,8
4000	28,8	26,7	30,1	29,6	26,3	24,9	28,6	25,6
5000	27,0	26,9	30,0	29,5	26,4	24,5	27,6	25,3
R_w	25	24	26	26	24	24	26	24
C	-2	-1	-2	-2	-1	-2	-2	-1
C₁₀₀₋₅₀₀₀	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C_{tr}	-5	-4	-5	-5	-4	-5	-5	-4
C_{tr,100-5000}	-5	-4	-5	-5	-4	-5	-5	-4
C₅₀₋₃₁₅₀	-2	-1	-2	-2	-1	-2	-2	-1
C₅₀₋₅₀₀₀	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C_{tr,50-3150}	-5	-5	-5	-6	-5	-5	-6	-5
C_{tr,50-5000}	-5	-5	-5	-6	-5	-5	-6	-5
D_{n,e,w}	30	30	31	31	29	29	31	29
C	-1	-2	-1	-2	-1	-1	-2	-1
C_{tr}	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-5	-4

Frekvens	m345	m346	m347	m348	m349	m350	m351	m352
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	11,5	11,5	10,1	10,9	10,2	11,5	10,4	14,6
63	15,3	14,9	15,1	13,7	13,9	14,0	14,4	17,4
80	12,2	10,9	12,9	9,9	11,4	9,9	12,1	8,8
100	10,2	10,3	10,4	9,4	9,8	9,2	10,3	9,9
125	9,8	8,9	9,8	8,6	8,5	8,5	9,8	9,9
160	10,9	10,3	11,4	9,5	10,4	10,1	11,4	8,3
200	13,1	12,2	14,5	10,0	12,2	11,7	14,0	9,5
250	17,9	17,3	20,5	14,2	16,4	16,2	18,9	12,2
315	21,1	22,7	24,4	17,8	19,7	19,7	22,1	14,5
400	24,2	27,6	29,1	22,5	23,3	22,7	24,3	20,5
500	26,6	27,0	30,6	22,2	26,5	23,1	25,3	18,2
630	25,3	30,6	31,8	24,5	25,5	21,4	22,4	19,0
800	22,7	33,3	33,4	24,3	24,1	22,5	23,0	18,7
1000	25,9	34,2	35,1	27,1	27,7	24,0	25,9	20,6
1250	25,9	32,5	34,8	28,3	29,8	22,9	24,4	19,8
1600	26,8	36,1	36,7	29,3	30,0	22,5	23,7	18,9
2000	30,2	35,9	39,2	29,3	31,5	21,5	24,2	19,1
2500	30,6	39,0	42,0	29,0	31,4	22,3	25,2	19,5
3150	29,1	38,9	41,6	28,1	30,6	21,8	24,8	19,3
4000	29,9	42,2	45,2	30,9	33,2	22,7	26,0	19,4
5000	28,5	44,4	47,2	29,7	32,6	22,7	26,0	19,2
R_w	26	29	31	25	26	22	24	19
C	-2	-2	-3	-2	-1	-1	-1	-1
C₁₀₀₋₅₀₀₀	-1	-1	-2	-1	0	-1	0	0
C_{tr}	-5	-7	-8	-5	-5	-3	-3	-2
C_{tr,100-5000}	-5	-7	-8	-5	-5	-3	-3	-2
C₅₀₋₃₁₅₀	-2	-2	-3	-2	-1	-1	-1	-1
C₅₀₋₅₀₀₀	-1	-2	-2	-1	-1	-1	0	0
C_{tr,50-3150}	-5	-8	-9	-6	-6	-3	-4	-2
C_{tr,50-5000}	-5	-8	-9	-6	-6	-3	-4	-2
D_{n,e,w}	31	34	36	30	32	28	30	27
C	-1	-2	-2	-1	-2	-1	-2	-1
C_{tr}	-5	-7	-7	-5	-6	-3	-4	-3

Frekvens	m353	m356	m357	m358	m363	m402
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
50	14,1	12,7	11,6	12,5	6,8	12,1
63	17,3	12,7	14,4	14,2	14,9	12,6
80	11,4	7,7	10,2	10,9	12,4	7,6
100	11,2	9,6	9,9	9,9	9,5	8,0
125	11,1	8,2	8,9	8,9	11,6	9,7
160	10,3	9,3	10,4	10,9	10,5	10,9
200	12,1	8,6	11,0	12,0	12,2	9,0
250	14,1	11,8	13,9	16,1	16,9	10,3
315	15,5	15,3	17,3	19,4	19,0	11,7
400	21,3	19,5	20,5	23,2	21,5	13,3
500	21,1	18,6	21,9	25,7	19,4	16,9
630	20,1	18,4	19,2	23,4	17,1	17,7
800	19,1	18,2	18,0	22,6	18,5	16,1
1000	21,7	19,9	20,4	25,4	18,2	17,4
1250	21,0	18,5	20,3	25,9	18,8	17,9
1600	20,4	17,6	19,1	25,4	17,5	16,8
2000	21,4	17,6	19,8	26,5	18,9	16,3
2500	22,1	18,3	20,6	27,5	19,3	14,4
3150	21,9	18,2	20,9	25,4	19,9	13,3
4000	22,5	18,9	21,6	26,5	20,1	11,8
5000	22,3	18,5	21,5	25,7	20,4	10,5
R_w	21	18	20	24	19	16
C	-1	0	-1	-1	-1	-1
C₁₀₀₋₅₀₀₀	-1	0	0	0	0	-2
C_{tr}	-3	-2	-2	-4	-2	-1
C_{tr,100-5000}	-3	-2	-2	-4	-2	-2
C₅₀₋₃₁₅₀	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C₅₀₋₅₀₀₀	-1	0	0	0	0	-2
C_{tr,50-3150}	-3	-2	-3	-4	-2	-1
C_{tr,50-5000}	-3	-2	-3	-4	-2	-2
D_{n,e,w}	28	24	25	30	0	0
C	0	-1	-1	-1	0	0
C_{tr}	-2	-2	-2	-4	0	0

Resume

Projektet "Lydmæssig optimering af "Russervinduer" er gennemført af DELTA og H. S. Hansens Fabrikker A/S. Rapporten dokumenterer et stort antal laboratiemålinger af vinduers lydisolations, hvor en række parametre blev varieret.

Projektet konkluderer, at det vigtigste for russervinduets lydisolations er vinduets højde, oplukkenes åbningsareal samt placering af lydabsorberende materiale i vinduets hulrum. Et typisk russervindue med samme åbning som et åbent traditionelt vindue vil have en lydisolations for trafikstøj, der er omkring 8-16 dB bedre.

Der er på baggrund af projektets resultater udarbejdet en guideline med titlen "Designguide for bestemmelse af "Russervinduers" lydisolations".



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
DK - 1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk