



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

# Lydskodder til afskærmning mod støj fra virksomheder

Louise Rebien Villefrance  
Lloyd's Register ODS

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.

# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</b>	<b>6</b>
<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>7</b>
<b>1 INDLEDNING OG BAGGRUND</b>	<b>8</b>
1.1 PROJEKTETS BAGGRUND	8
1.2 TILSVARENDE PROJEKTER	8
<b>2 PROJEKTBEKRIVELSE</b>	<b>10</b>
<b>3 AKUSTISKE MODELLERINGER</b>	<b>12</b>
<b>4 MOCK-UP MÅLINGER</b>	<b>14</b>
4.1 DETALJERET BESKRIVELSE AF VINDUESPROTOTYPE.	14
4.2 FYSISK FORSKEL MELLE M BEREGNINGSMODEL OG MOCK-UP	15
<b>5 RESULTATER</b>	<b>15</b>
5.1 DISKUSSION AF MOCK-UP MÅLINGER SAMT SAMMENLIGNING MELLE M MÅLTE OG BEREGNEDE RESULTATER	15
5.2 OPTIMERINGSMULIGHEDER	16
<b>6 REFERENCER</b>	<b>16</b>

Bilag A - Tegning af lydisolierende vindue  
Bilag B - Fotografier af målested (Mock-up)  
Bilag C - Skemaer med måleresultater



# Forord

Miljøstyrelsen annoncerede i 2008 efter forslag til demonstrationsprojekter, som omfatter udvikling og afprøvning (dokumentation) af vinduesløsninger med gode støjisolerende egenskaber, også i åben tilstand. Der er især interesse for projekter, der retter sig imod vinduesløsninger egnet til industriel produktion. Støjisolerende vinduer benyttes både ved renovering og ved opførelse af nye boliger i støjbelastede byområder.

Sjælsø Danmark ansøgte sammen med Ødegaard & Danneskiold-Samsøe (Lloyd's Register ODS) og Tegnestuen Vandkunsten om støtte til et projekt, der har til formål at udvikle en ny type støjisolerende vindue/skodde med udgangspunkt i et konkret byggeprojekt på Margretheholmen i København. Princippet består i en kobling mellem et indvendigt vindue og en udvendig skodde, forsynet med lydabsorberende materiale. Når vinduet lukkes, åbnes skodden.

Projektet indebærer design og afprøvning af den fysiske konstruktion, test i vindtunnel og akustiske målinger, og det er delt op i fire faser. Projektets resultater kan danne grundlag for videreudvikling i samarbejde med en vinduesproducent.

Miljøstyrelsen gav tilsagn om projektstøtte indenfor tilskudsordningen "Miljøeffektiv teknologi" den 9. december 2008, og har fulgt projektets forløb. Projektets forløb blev væsentligt forsinket på grund af byggekrisen, og projektets omfang blev desuden reduceret. Målingerne af vinduerne kunne af praktiske årsager ikke udføres før i februar 2011.

Denne rapport blev offentliggjort som Miljøstyrelsens arbejdsrapport nr. 5 / 2011 i august 2011. På grund af en fejl blev den trukket tilbage i marts 2012, og i nærværende udgave er fejlen rettet. Rettelserne vedrører de målte værdier af  $R'_{45,w}$ , som er anført på rapportens side 6 og 15, samt de to måleskemaer i Bilag C.

# Sammenfatning og konklusioner

Lloyd's Register ODS har i samarbejde med Tegnestuen Vandkunsten og dan-alu vinduer udviklet et nyt støjisolerende vindue. Der er i processen foretaget en række numeriske beregninger på konstruktionen samt afsluttende foretaget en mock-up måling af vindueskonstruktionen. Der er målt et vægtet reduktionstal af vinduet med et åbningsareal på  $0,39 \text{ m}^2$  på  $R'_{45,w} = 19 \text{ dB}$ .

Der er fundet god sammenhæng mellem det målte og beregnede transmissionstab for frekvensområdet under 500 Hz.

Det vil være muligt at forbedre de lydisolerende egenskaber af vindueskonstruktionen ved optimering af vinduesrammematerialet, øgning af skoddehøjden samt ved optimering af vinklen mellem skodde og det lille sidehængte vindue.

# Summary and conclusions

In connection with a building project on Margretheholm in Copenhagen, it proved necessary to develop a special noise insulating window. In collaboration with Tegnestuen Vandkunsten and dan-alu vinduer, Lloyd's Register ODS constructed a window with these specific features. The project was implemented with support from the Environmental Protection Agency grant scheme for eco-efficient technology.

The process of development was based on numerical calculation of the structure and a mock-up measurement of the window construction. Our investigation revealed a good correlation between the measured and calculated transmission loss for frequencies below 500 Hz. To improve the insulating properties of the window, we recommended an optimisation of the frame material, an increase in the shutter height, and an optimisation of the angle between the shutter and a small casement window.

# 1 Indledning og baggrund

Det har i forbindelse med et større byggeri på Margretheholm i København vist sig påkrævet at udvikle et nyt specielt støjisolerende vindue. Lloyd's Register ODS har i samarbejde med Tegnestuen Vandkunsten og dan-alu sjælland udviklet et specielt vindue for Sjælsø Margretheholm AS. Udviklingen er foregået med støtte fra Miljøstyrelsens tilskudsordning for miljøeffektiv teknologi til udvikling af en ny type støjisolerende vinduer.

## 1.1 Projektets baggrund

Byggeriet er iht. lokalplanens byggefelt placeret således i forhold til en eksisterende industrivirksomhed, at facaden skal afskærmes. Denne støjafskærmning kan i følge Miljøstyrelsens vejledning 'Ekstern støj fra virksomheder' nr. 5/1984 med tillæg af juli 2007 [1] udføres ved hjælp af en støjbegrænsende foranstaltning i bygningens facade. I følge denne vejledning skal det sikres, at:

*'Boligernes facader udformes, så støjniveauet i sove- og opholdsrum indendørs med åbne vinduer ikke overstiger værdierne ... (eksempelvis ved særlig afskærmning udenfor vinduerne eller særligt støjisolerende konstruktioner)'. Kravene til støjdemping skal være opfyldt ud fra forudsætning om 'en efterklangstid på 0,5 sekunder, samt at alle oplukkelige vinduer er åbnet 0,35 m<sup>2</sup>'.*

Det er præcis denne type afskærmning, projektet retter sig imod, da der i dag ikke findes et udbud af standardiserede produkter eller metoder, der løser denne problemstilling. Det er forventeligt, at denne type problemstilling vil dukke op med hyppigere mellemrum med udgangspunkt i den nye vejledning.

## 1.2 Tilsvarende projekter

Andre tilsvarende løsninger har ligeledes haft eksperimenterende karakter, heriblandt kan nævnes:

- Lydskodder til boliger på Folehaven, se <http://www.miljonyt.dk/120/Lydskodder.htm>. Princippet består i en glasskærm kombineret med en støjabsorbent på bagsiden af en skodde på hver side af vinduet. Herigennem dannes en lydsluse ved indtag af frisk luft fra vinduet. Skodden er udviklet af firmaet Art Andersen og kun produceret og monteret på forsøgsbasis. Der er tale om en kostbar løsning - prisen ligger imellem 10.000 og 30.000 kr. pr. vindue, dvs. flere gange vinduets pris. Løsningen kan ikke anvendes i det foreliggende projekt, da vejledningens krav om at vinduet er åbnet 0,35 m<sup>2</sup> ikke kan opfyldes.
- 3G vinduet, se <http://www.cowi.dk/cowi/da/menu/news/newsarchive/2007/etintelligent+in+due.htm>. Dette vindue er en forsøgsløsning, hvor en udadgående vinduesramme i det yderste vindueslag kan åbnes samtidig med et forskudt indadgående vindue i det inderste lag. Herigennem etableres en lydsluse. Vinduet fabrikeres af HS Hansen og er anvendt i byggeriet Jægersborg Vandtårn. Denne løsning kunne anvendes i det foreliggende projekt, men tilgodeser ikke kravet om at tilføre facaden et særligt motiv. Hertil



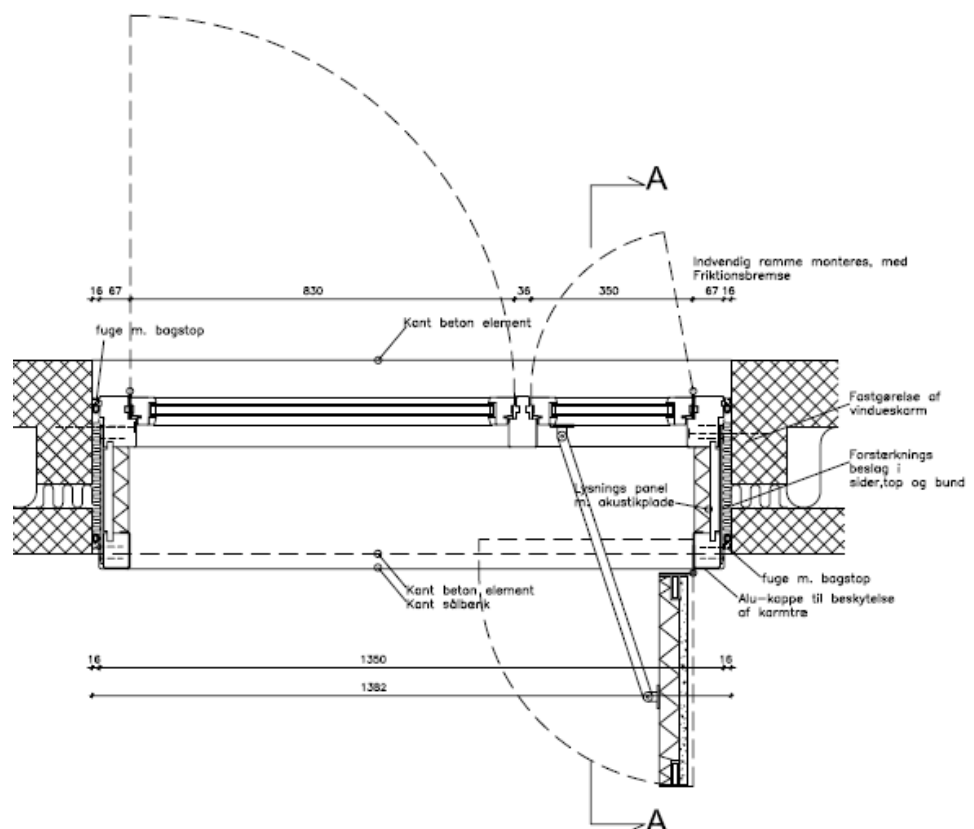
kommer, at vinduerne ikke kan pudses udvendigt, hvilket er u hensigtsmæssigt i det 8 etager høje boligprojekt.

## 2 PROJEKTBEKRIVELSE

Princippet består i en sammenkobling af en indadgående sidehængt vinduesramme og en sidehængt udadgående skodde, hvis bagside er beklædt med en absorbent. Når vinduet åbnes, lukkes skodden. Når vinduet lukkes, åbnes skodden og tillader maksimalt lysindfald. Lysindfald med lukket skodde og åbent vindue sikres ved hjælp af et fast glasparti. En principskitse er vist herunder.

Selvom princippet er enkelt og relativt lavteknologisk, er der et antal specifikke udfordringer. Disse behandles i udviklingsarbejdet herunder:

- Lukkegeometri: Princippet består af en hængslet træk- og trykstang monteret på skoddens ramme og vinduesrammen.
- Betjeningskomfort: Lukningsmekanismen skal være let for alle at benytte.
- Beslåning og tætning: Vindkræfterne som overføres til vinduesrammen skal være dimensioneret for større vindlast end normalt. Dette stiller krav til lukkebeslagenes styrke, placering og antal. Ligeledes stiller vindpåvirkningen større krav end normalt til tætningslisternes dimensionering, antal og elasticitet.
- Absorbenttype: Der er udvalgt en egnet lydabsorbent, som kan opfylde krav til effektivitet af lydreduktion, dimensionering inden for skoddens tværsnit, vandresistens, lav vægt og rengøringsvenlighed.
- Lyddæmpning af mekaniske dele: Der er udvalgt egnede hængsler, som kan reducere lyden fra vinduets og skoddens sammenkoblingsbeslag gennem chok-dæmpende mellemlæg i hængslingen.



Figur 1 Principskitse af lukke og åbne mekanisme af vindue

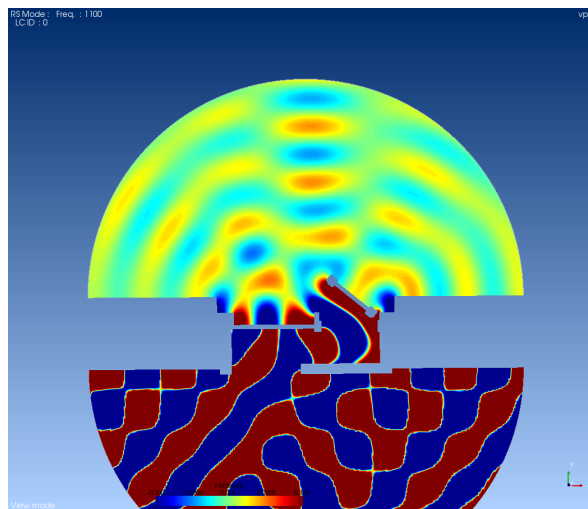


### 3 AKUSTISKE MODELLERINGER

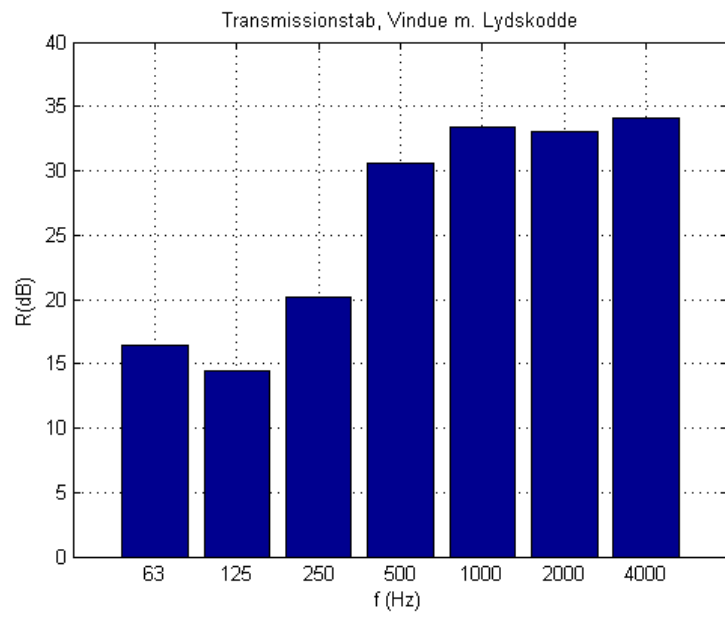
Lloyd's Register ODS har foretaget en række teoretiske undersøgelser af det oplukkelige vindues forventede lydreduktion. Der er foretaget beregninger med de akustiske modelleringsprogrammer ODEON og Actran. ODEON er et "ray-tracing" program, der fortrinsvis benyttes til rumakustisk modellering. ODEON kan også benyttes til vurdering af lydtransmissionen gennem en åbning, men kun i frekvensområdet over 500 Hz. For også at kunne vurdere lydtransmissionstabet for de lave frekvenser gennem det åbne vindue har vi benyttet Actran. Actran er et af de mest avancerede akustik og vibro-akustik programmer på markedet. Det er baseret på "finiteelement" metoden og "infiniteelement" metoden. En detaljeret beskrivelse af de udførte præliminære beregninger er givet i Lloyd's Register ODS rapport 08.2465 [2].

Det beregnede lydtransmissionstab for vinduet er angivet i Figur 3.

Lydtransmissionstabet er givet som forholdet mellem indfaldende og transmitterende lydeffekt. Der er simuleret et approksimativt diffust felt og den indfaldende lydeffekt er fundet som en sum af den vinkelrette komponent af lydeffekten for 24 plane bølger mens den transmitterede er beregnet som udstrålingen gennem det ikke-reflekterende domæne.



Figur 2 Actran beregningsmodel



Figur 3 Forventet transmissionstab, resultat af Actran Beregninger

## 4 Mock-up målinger

Målingen af lydisoleringen af vindueskonstruktionen er foretaget i henhold til ISO 140 del 5 "Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades" med "element loudspeaker" metoden. [3]

Vinduesprototypen blev monteret i en eksisterende bygning på Margretheholm i 2. sals højde. Vinduesprototypens samling til den eksisterende tunge facade blev tætnet og der blev bygget et rum op inden i bygningen med et volumen på 47 m<sup>3</sup>. For at undgå at konstruktionen blev ødelagt af hærværk om natten, blev væggene bygget op af krydsfiner og ikke gips.

Som støjkilde blev benyttet en højttaler af typen B&K 4224 med indbygget forstærker, som blev placeret i to positioner på jorden for at måle lydisoleringen ved forskellige indfaldsvinkler. Lydtrykket i modtagerrummet blev målt ved at benytte en B&K 2250 lydtryksmåler.



Figur 4 Mock-up af vindue indsat i Konstabel bygning på Margretheholm. Yderligere billeder fra målingerne er givet i bilag B.

### 4.1 Detaljeret beskrivelse af vinduesprototype.

Mock-up vinduet bestod af følgende elementer:

- Termorude (8,76 mm lam / 16 mm argon/ 6,28 mm lam) med lydisolation  $R_w$  38 dB. Dette gælder både for det faste vindue samt for det sidehængte vindue.

- Aluminium karm og rammeprofil
- Lydskodde med perforeret aluminiumsplade foran Rockwool absorbent. Perforeringsgraden var omkring 20 %.
- Lysninger hvor sider og top er beklædt med en Rockwool absorbent med perforeret aluminiumsplade foran.

#### 4.2 Fysisk forskel mellem beregningsmodel og mock-up

På mock-up'en var lydskodden monteret til det sidehængte lille vindue således, at de hele tiden dannede en 90 graders vinkel. Monteringen var planlagt således, at når det sidehængte vindue var åbent  $0,35 \text{ m}^2$ , så skulle lydskodden stå parallelt på vinduesrammen og danne en lydsluse. På mock-up'en var vinduet  $0,39 \text{ m}^2$  åbent, når lydskodden stod parallelt med vinduesrammen, og når vinduet stod  $0,35 \text{ m}^2$  åbent, stod lydskodden ikke parallelt med vinduesrammen.

Desuden var lydskodden udført således, at den havde samme højdemål som det inderste mål på lysningen af vinduet, hvilket betød frit udsyn og derfor forventet forringet lydisolations.

## 5 Resultater

Der blev foretaget måling af vinduets reduktionstal ved to forskellige indstillinger af vinduet.

- Vindue åbent  $0,39 \text{ m}^2$
- Vindue lukket

Målingerne blev foretaget i henhold til [3]. Som støjkilde blev benyttet en B&K højttaler. Der blev foretaget måling af støjen på facaden samt i modtagerrummet. Det målte gennemsnitlige lydtryk blev korrigeret for baggrundsstøj og efterklangstid.

Følgende vægtede reduktionstal blev beregnet:

- Vindue åbent  $0,39 \text{ m}^2$ ,  $R'_{45,w} = 19 \text{ dB}$ .
- Vindue lukket  $R'_{45,w} = 28 \text{ dB}$ .

Detaljerede måleresultater er angivet i måleskemaer i bilag C.

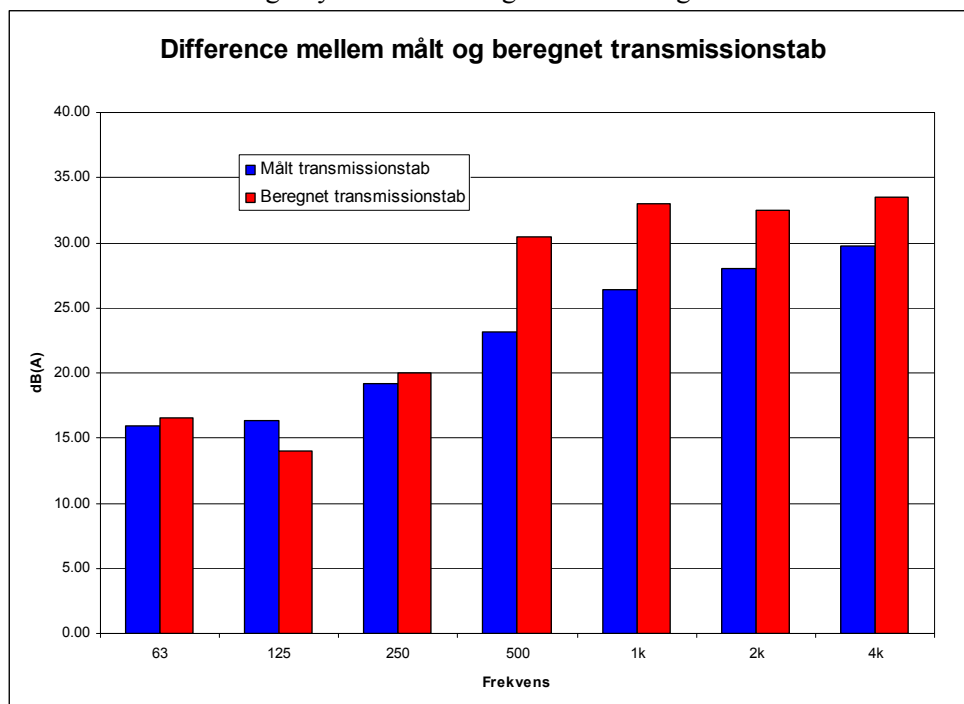
#### 5.1 Diskussion af mock-up målinger samt sammenligning mellem målte og beregnede resultater

Som nævnt er der en række mindre forskelle mellem den vindueskonstruktion, der er foretaget beregninger på, og den vindueskonstruktion, der er målt på. Dette gælder åbningsarealet af vinduet, vinklen på skodden i forhold til vinduesrammen samt at skodden ikke slutter helt tæt ved over- og underkant af vindueslysningen. Disse nævnte forskelle vil give en forskel i beregnet og målt transmissionstab og er oplagte optimeringsmuligheder for vinduet.

Desuden kan det ses af Figur 4, at mock-up'en af vinduet blev monteret i en facade tæt på en gavl. Det er ikke undersøgt, hvilken indflydelse dette har haft på målingerne, men der er en risiko for, at det har givet anledning til en øget indfaldende lydeffekt gennem vinduet.

For at kunne sammenligne direkte mellem målte og beregnede værdier, er de målte lydtryk ( $L_{p1}$  og  $L_{p2}$ ) ved mock-up målingerne omregnet til indfaldende og transmitterende lydeffekt. Transmissionstab af vinduet for beregninger og målinger er angivet herunder i Figur 5. Der ses en god sammenhæng mellem de

målte og beregnede værdier for frekvensområdet under 500 Hz. For frekvensområdet. Over 500 Hz har modellen i Actran nogle akustiske begrænsninger f.eks. grundet at der kun regnes med vinkelret lydindfald i 2D. Der er desuden ikke medtaget lydtransmission gennem rude og karm i modellen.



Figur 5 Sammenligning mellem målt og beregnet transmissionstab.

## 5.2 Optimeringsmuligheder

Der er flere muligheder for optimering af vindueskonstruktionen.

For det lukkede vindue kan de lydisolerende egenskaber forbedres ved en optimering af aluminiumsrammen. Denne kan enten fyldes eller en anden rammetype kan vælges, eksempelvis træ-alu.

For det åbne vindue bør skoddens højde øges, således at den overlapper lysningen og ingen direkte lyd kan transmitteres gennem vinduet. Vinklen mellem skodden og det lille sidehængte vindue bør også optimeres således, at skodden står parallelt med vinduesrammen, når vinduet er nøjagtigt  $0,35 \text{ m}^2$  åbent.

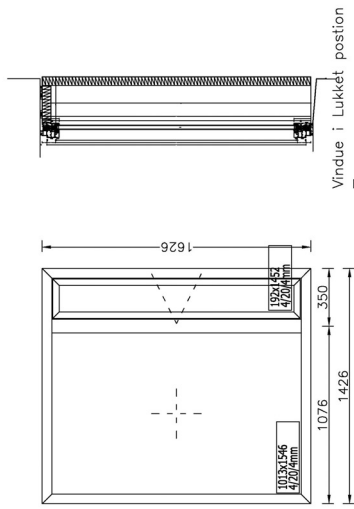
Der er ikke undersøgt optimeringsmuligheder mht. valg af absorbent samt perforeringsgrad af den perforerede metalplade på skodden.

## 6 Referencer

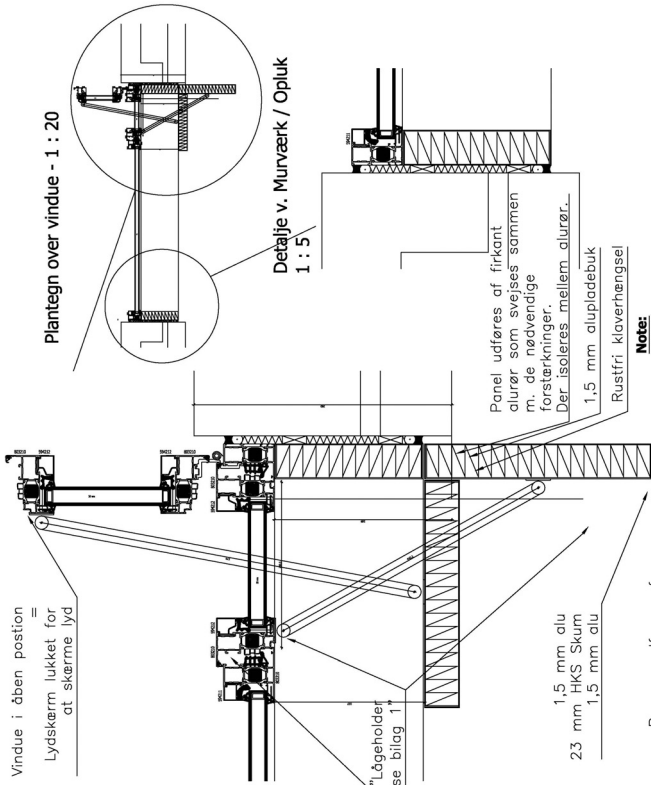
1. Miljøstyrelsens vejledning 'Ekstern støj fra virksomheder' nr. 5/1984 med tillæg af juli 2007
2. En detaljeret beskrivelse af de udførte præliminære beregninger er givet i Lloyd's Register ODS rapport 08.2465
3. ISO 140 del 5 "Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades" med "element loudspeaker".



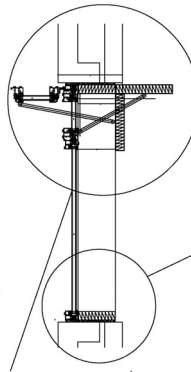
Opstalt set udefra - 1 : 20



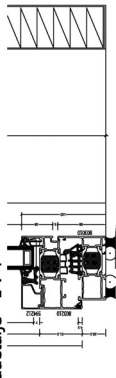
Detailje over Opluk - 1 : 5



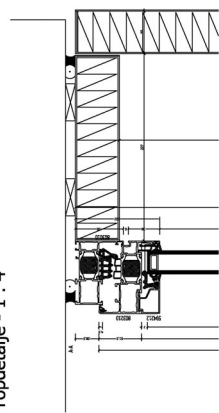
Plantegn over vindue - 1 : 20



Bunddetalje - 1 : 4



Topdetalje - 1 : 4



**Note:**  
"Lugeholder" monteres i top og bund ved oplukkeligt felt for at sikre den ikke "trækker" skævt.  
Alupladeklip / buk leveresRAL lakerede...

Alle dimensioner er set udfra		Kontaktperson	
Wævs nr.: 402	Wævs nr.: 01.10.10	Telefon: +45 9610 0011	RCC
Projekt nr.: Målestok (Opstalt):	01.10.10	Telefax: +45 9610 0011	Målestok (Det):
Målestok (Opstalt):	Se tegn.	Web: www.dan-alu.dk	Års nr.: mm
Målestok (Det):	Se tegn.	E-mail: info@dan-alu.dk, hjemmeside: www.dan-alu.dk	Ordre nr.:
Navn/etierne:	dan-alu spjældt af/s		
Navn/etierne:	Målestok (Opstalt):		
Navn/etierne:	Målestok (Det):		
Vi producerer i aluminium: vinduer og døre - bukfaser - indgangspartier - udstøber - pyramider og special opgaver			



Billede 1 Mock up opbygning set indefra Konstabelbygningen



Billede 2 Mock up af vindue monteret på 2. sal set udefra. Højttaler står bag bilen.



Billede 3 Mock up af vindue set udefra



Billede 4 Mock up af vindue set indefra modtagerum



Billede 5 Vindue med delvist åbningsareal på 0,35 m<sup>2</sup>. Skodde og Vindue står 45 grader i vinkel på fast vindue



Billede 6 Vindue med helt åbent vindue – svarende til 0,39 m<sup>2</sup> åbningsareal. Skodde står parallelt med fast vindue.



**Apparent Sound Reduction Index according to ISO 140-5**  
**Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades**

Client: SJÆLSØGRUPPEN OG MILJØSTYRELSEN

Date of test: 11/02/2011

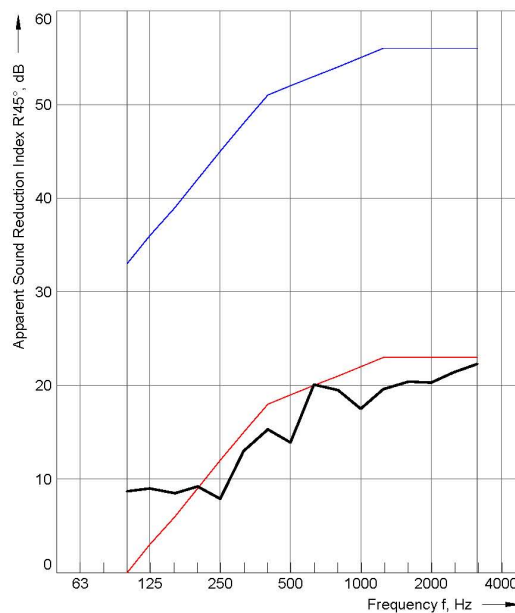
Description and identification of the building construction and test arrangement:

Specielt udviklet vindue med skodde  
 Vindue åbent således, at skodde står parallelt med vindue  
 0.39 m<sup>2</sup> åbent

Area S of test specimen: 2.30 m<sup>2</sup>  
 Receiving room volume V: 47.00 m<sup>3</sup>

— Frequency range according to the curve of reference values (ISO 717-1)

Frequency f Hz	R' <sub>45°</sub> 1/3 Octave dB
50	
63	
80	
100	8.7
125	9.0
160	8.5
200	9.2
250	7.9
315	13.0
400	15.3
500	13.9
630	20.1
800	19.5
1000	17.5
1250	19.6
1600	20.4
2000	20.3
2500	21.4
3150	22.3
4000	
5000	



Rating according to ISO 717-1

$R'_{45°;w}(C;C_{tr}) = 19 (-1; -3)$  dB     $C_{50-3150} = N/AdB$ ;  $C_{50-5000} = N/AdB$ ;  $C_{100-5000} = N/AdB$ ;

Evaluation based on field measurement results obtained by an engineering method     $C_{tr,50-3150} = N/AdB$ ;  $C_{tr,50-5000} = N/AdB$ ;  $C_{tr,100-5000} = N/AdB$ ;

No. of test report:

Name of test institute: Lloyd's Register ODS

Date: 28/02/2012

Signature:

**Apparent Sound Reduction Index according to ISO 140-5**  
**Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades**

Client: SJÆLSØGRUPPEN OG MILJØSTYRELSEN

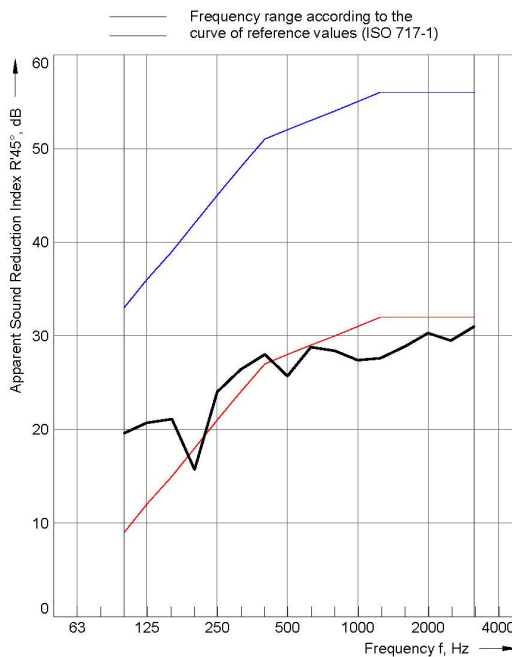
Date of test: 11/02/2011

Description and identification of the building construction and test arrangement:

Specielt udviklet vindue med skodde  
 Vindue lukket

Area S of test specimen: 2.30 m<sup>2</sup>  
 Receiving room volume V: 47.00 m<sup>3</sup>

Frequency f Hz	R' <sub>45°</sub> 1/3 Octave dB
50 63 80	
100 125 160	19.6 20.7 21.1
200 250 315	15.7 24.0 26.4
400 500 630	28.0 25.7 28.8
800 1000 1250	28.4 27.4 27.6
1600 2000 2500	28.9 30.3 29.5
3150 4000 5000	31.0



Rating according to ISO 717-1

$R'_{45°;w}(C;C_{tr}) = 28 ( 0; -2) \text{ dB}$      $C_{50-3150} = \text{N/A dB}$ ;  $C_{50-5000} = \text{N/A dB}$ ;  $C_{100-5000} = \text{N/A dB}$ ;

Evaluation based on field measurement results obtained by an engineering method     $C_{tr,50-3150} = \text{N/A dB}$ ;  $C_{tr,50-5000} = \text{N/A dB}$ ;  $C_{tr,100-5000} = \text{N/A dB}$ ;

No. of test report:

Name of test institute: Lloyd's Register ODS

Date: 28/02/2012

Signature: