



Rapport

Lydisolation af tilslutningselementer i glas- og alufacader

Udført for Dansk Byggeri, Alufacadesektionen

TC-101033 rev. 1
Sagsnr.: 116-33729
Side 1 af 19

24. april 2017

**DELTA – a part of
FORCE Technology**
Venlighedsvej 4
2970 Hørsholm
Danmark

Tlf. +45 72 19 40 00
Fax +45 72 19 40 01
www.delta.dk

Titel

Lydisolation af tilslutningselementer i glas- og alufacader

Journal nr.

TC-101033 rev. 1

Sagsnr.

116-33729

Vores ref.

MBL/DH/ilk

Rekvirent

Dansk Byggeri

Nr. Voldgade 106

1358 København K

Rekvirentens ref.

Carsten Pedersen

Bemærkning

Rapporten er en revision af tidligere udsendte rapport TC-101033. Revisionen er udført med baggrund i resultater fra laboratoriemålinger af facadetilslutningselementer kortlagt i DELTA rapport TC-101090 udført for Dansk Byggeri.

DELTA, 24. april 2017



Mads Bolberg
Akustik

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	4
2. Lydisolationsværdier, R_w, R'_w, $D_{n,e,w}$	5
3. Typiske lydisolationer af facadetilslutningselementer	6
4. Supplerende tiltag	8
4.1 Tabeller over forventede forbedringer med typiske supplerende tiltag	9
5. Nødvendig lydisolation for overholdelse af typiske funktionskrav	16
Bilag 1: Tilslutningselementers lydisolerende evne	17
Bilag 1.1: Arealforhold	17
Bilag 1.2: Dimensionsforhold	17

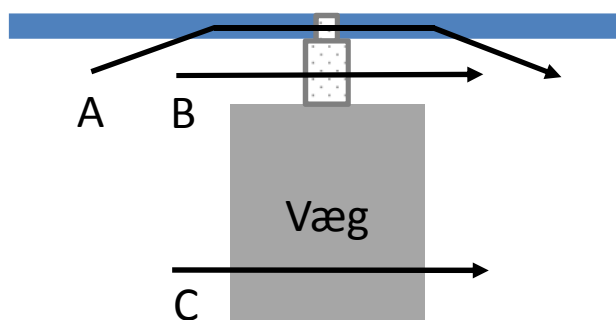
1. Indledning

DELTA har efter anmodning for Dansk Byggeri, Alusektionen udarbejdet denne rapport, som vedrører lydisolations af facadetilslutningselementer i glas- og alufacader. Rapporten baserer sig primært på beregninger, men de få offentliggjorte måleresultater, som findes, er også benyttet som grundlag for rapporten.

Af Figur 1 er relevante lydtransmissionsveje nær en facade skitseret. Rapporten behandler alene lydisolations af facadetilslutningselementet (transmissionsvej B), som kan betragtes som en del af facadens flanketransmission. Det har dog vist sig, at facadetilslutningselementers lydisolations til tider indgår som en del af betragtningerne for rumadskillelsers samlede lydisolations. Dette medfører en efterspørgsel af at kende lydisolations alene for facadetilslutningselementerne. Det skal dog understreges, at den tilsyneladende lydreduktion, R'_w , altid vil indeholde alle flanketransmissionsbidrag i et rum.

Denne rapport er opdelt i følgende afsnit:

- Afsnit 2 giver et kort overblik over typisk benyttede termer for lydisolations, der benyttes for facadeelementer.
- Afsnit 3 angiver de forventede lydisolations af typiske tilslutningselementer.
- Afsnit 4 gennemgår effekten af typiske supplerende tiltag til forøgelse af lydisolations af tilslutningselementer. Afsnittet indeholder desuden en oversigt over den forventede effekt af typiske foranstaltninger.
- Afsnit 5 indeholder en oversigt over nødvendige lydisolations af vægge og tilslutningselementer for overholdelse af typiske funktionskrav.
- I bilagene findes en dybere beskrivelse af betydende forhold for facadeelementernes lydisolations.



Figur 1

Skitsering af lydtransmission horisontalt gennem en vægskillelse ved en facade. Transmissionsvej A repræsenterer lyd, som modtages af glas-alufacade i senderummet og udstråles af facaden i modtagerummet. Transmissionsvej B repræsenterer lyd, som transmitteres gennem tilslutningselementet. Transmissionsvej C repræsenterer lyd som transmitteres gennem væg. Normalt betragtes transmissionsvej A og B begge som en del af facadens flanketransmission. Foruden de viste transmissionsveje vil der desuden være lydtransmission gennem loft/dæk, gulv/dæk og modstående flankerende væg samt eventuelle installationer.

2. Lydisolationsværdier, R_w , R'_w , $D_{n,e,w}$

Der findes en række måleværdier, som beskriver lydisolation. Herunder følger et kort resumé af de mest brugte værdier.

Enkelttalsværdi	Forklaring
R_w	Det vægtede reduktionstal målt i laboratoriet. Værdien gælder derfor udelukkende for den målte skilleflade, da den ikke indeholder flanketransmissionsbidrag. Værdien er normaliseret ift. skilleflade og er derfor ikke arealafhængig. <i>Denne værdi benyttes som oftest som grundlag for beregninger af lydisolation i forbindelse med projektering.</i>
R'_w	Det vægtede feltmålte reduktionstal (luftlydisolationen). Værdien inkluderer alle flanketransmissionsveje, evt. utætheder mv. Værdien er normaliseret ift. skilleflade og er derfor ikke arealafhængig. <i>Denne værdi benyttes som funktionskrav i det danske bygningsreglement.</i>
$D_{n,e,w}$	Den vægtede elementnormaliserede niveaudifferens målt i laboratoriet. Værdien normaliseret ift. et 10 m^2 absorptionsareal og er derfor arealafhængig. Dette betyder, at værdien kun er gældende for netop den størrelse, der er målt på. <i>Denne værdi benyttes som oftest til mindre elementer, som "supplerer" en skilleflade, f.eks. udluftningsventiler o.l.</i>

De vægtede værdier findes ved trinvist at flytte en referencekurve op eller ned, indtil summen af negative afvigelser af den målte lydreduktion er mindre end et fastsat maksimalniveau. For en R_w -værdi opgjort i 1/3-oktavbånd er dette fastsatte maksimalniveau af negative afvigelser 32 dB.

Der findes desuden andre niveaudifferensparametre som D_w "Den vægtede niveaudifferens"; D_{nfw} "Den vægtede normaliserede flanke-niveaudifferens"; D_{nTw} "Den vægtede standardiseret niveaudifferens", som er korrigeret til $T = 0,5$ sekund m.fl.

Da $D_{n,e}$ er arealafhængig skal sammenhængen mellem R og $D_{n,e}$ findes ved følgende

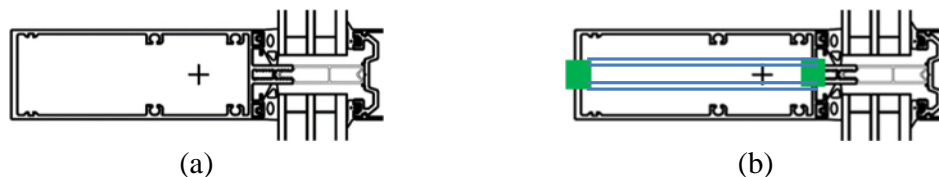
$$R = D_{n,e} + 10 \cdot \log(S/A_0),$$

hvor S er skillefladearealet af prøveemnet (f.eks. en væg eller et element), og A_0 er det normaliserede absorptionsareal, som er 10 m^2 .

3. Typiske lydisolationer af facadetilslutningselementer

Facadetilslutningselementer kan opdeles i to hovedtyper: Delte og udelte elementer.

Et udelte element udgøres af et hult, rektangulært rør i rummets fulde højde. Et delte element er typisk adskilt med gummistykker på rektanget på tværs af vægadskillelsen i elementets fulde højde. Elementerne er skitseret på Figur 2.



Figur 2

Skitser af snit igennem typiske facadetilslutningselementer. I (b) er indikeret principplace-ringer af gummistykker (grønne markeringer) i delte element samt principielle aluminiumforstærkninger af elementet (blå markeringer).

Typiske lydisolationer for delte og udelte facadetilslutningselementer er opsummeret i Tabel 1. For at opnå større lydisolationsmå det forventes, at der skal gøres yderligere tiltag.

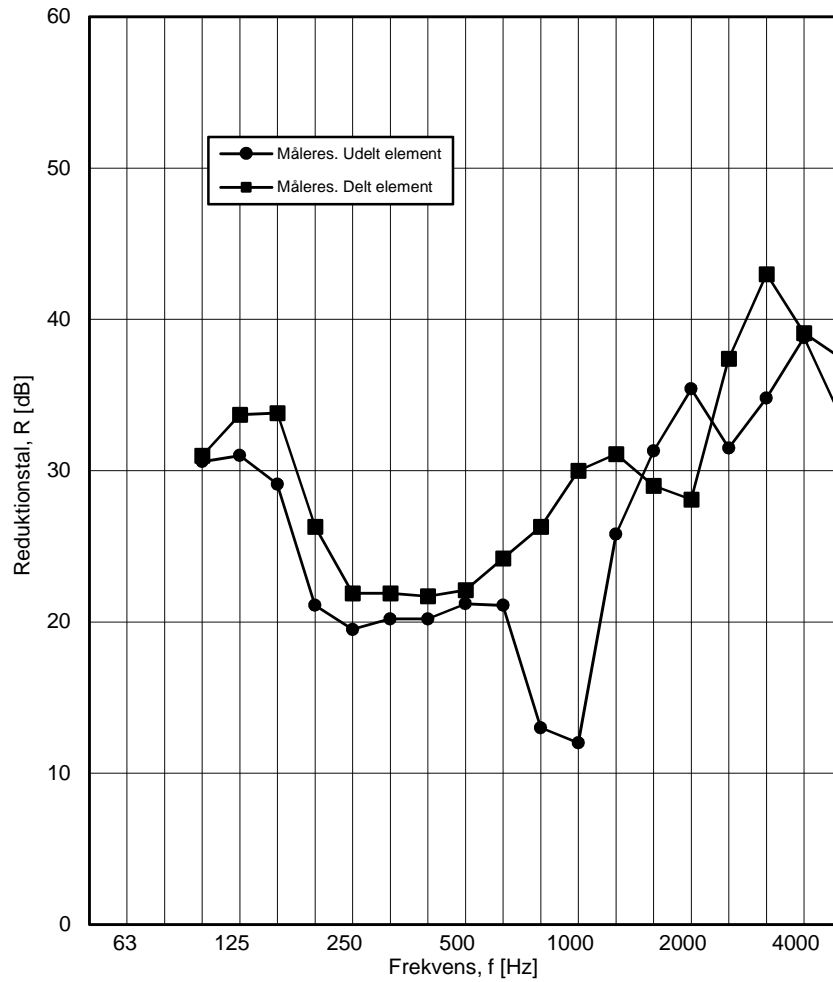
Facadetilslutnings-element	Skitsering	Forventede lydisolationer for tilslutningselementer	
		$D_{n,e,w}$ i dB	R_w i dB
Udelte element		30-40	20-25
Delt element		35-45	25-30

Tabel 1

Typiske lydisolationer for facadetilslutningselementer med en højde på 3,5 m.

Lydisolations i 1/3-oktavbånd for et facadetilslutningselement er først og fremmest bestemt af den direkte transmission gennem elementets aluminiumsflader. En anden betydende effekt menes at være linket til dimensionen og i særdeleshed godstykkelse samt bredde og højde af elementerne. For lydisolationspektret betyder dette normalt et dyk i lydisolationsværdier i et eller flere smalle frekvensområder.

Af Figur 3 fremgår en lydisolations for et 125 mm bredt og 2,1 m højt facadeelement med aluminium med en godstykkelse på 2,0 mm. Bilag 1 gennemgår mere detaljeret facadetilslutningselementernes lydisolations.



Figur 3

Lydisolation af et udelt og delt facadeelement, som er 125 mm bredt, 2,1 m højt og 50 mm dybt, jf. DELTA Rapport TC-101090.

4. Supplerende tiltag

For at øge lydisoleringen er der traditionelt benyttet enten udfyldning med f.eks. sand eller inddækning med f.eks. gips. En yderligere mulighed er at øge massen af elementerne med indlæg af tunge materialer, som f.eks. metalskiver.

De forventede forbedringer i lydisoleringen med disse tiltag fremgår af Afsnit 4.1. Forbedringerne er estimeret på baggrund af undersøgelser udført med Insul 7.0 og med baggrund i laboratoriemålinger foretaget for Dansk Byggeris Alufacadedesektion, jf. Rapport TC-101090. Ved at kombinere flere tiltag, f.eks. hulrumdæmpning med mineraluld og udvendige afdækninger, kan lydisoleringen yderligere forbedres. Dog kan de vurderede effekter ikke adderes direkte. Herunder følger en mere indgående beskrivelse af tiltagens akustik-tekniske effekt.

Direkte monterede inddækninger, såsom gips eller stål fastgjort i aluminiummet, forventes kun at influere plade-egenfrekvenserne i tilslutningselementernes synlige sider i mindre grad. Læs nærmere om plade-egenfrekvenser i Bilag 1.2. Afhængigt af monteringen kan inddækningerne muligvis medføre nye egenfrekvenser. De estimerede forbedringer tager udgangspunkt i, at metalinddækninger limes på over hele fladen med f.eks. montagelim, mens gips er forudsat skruet i elementerne cc/cc 500 mm. Det anses dog sikkert, at lydudstråling fra elementerne forringes, hvormed lydisoleringen forbedres.

Selvstændige forsatskonstruktioner må forventes at være den optimale måde at øge lydisoleringen. Det bedste resultat kan opnås med materialer med materialeparametre anderledes end facadeelementernes aluminium, da koincidensdyk i pladelagene kan begrænses på samme vis som for eksempelvis flerlagsruder.

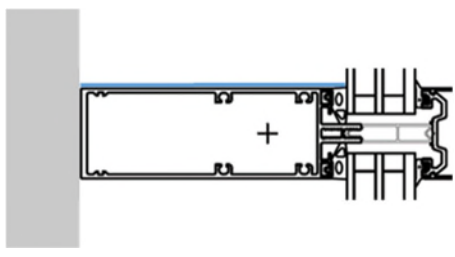
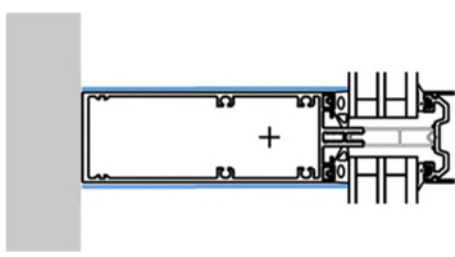
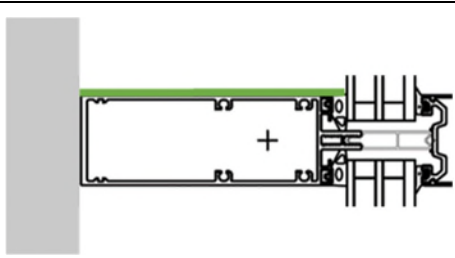
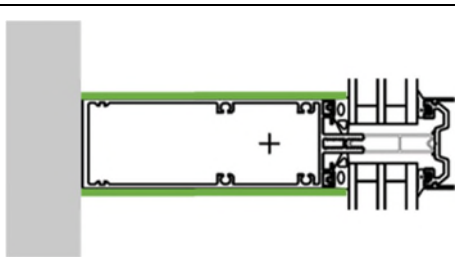
Udfyldninger med f.eks. ovenbagt sand har specielt en effekt på udelte elementer. Sandets positive effekt kommer af en masseforøgelse, men det forventes også, at egenfrekvensen dæmpes og eventuelt forflyttes. For delte elementer risikerer sandet at udføre en lydbro imellem de delte elementer, hvormed den lydisolerende effekt bliver begrænset. Delte elementer kan bestå af flere indre kamre, som skitseret på Figur 1b. Hvis sandet kun hældes i nogle af de indre kamre, kan risikoen for kortslutning elimineres. Det vurderes, at denne foranstaltning kan være stærkt afhængig af udførelsen.

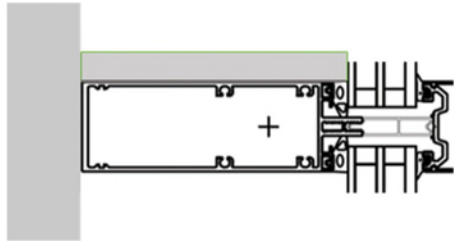
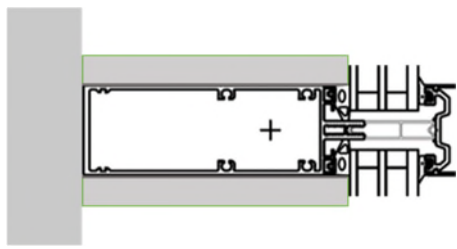
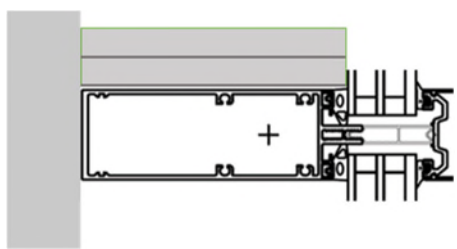
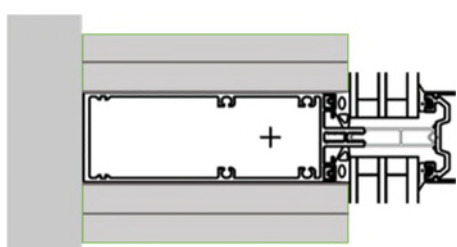
Da massen af elementerne har en stor indflydelse på lydisoleringen, kan en forbedret lydisolering opnås ved at øge massen. Dette kan f.eks. gøres med stålskiver placeret inde i elementerne. For at have en effekt på lydisoleringen skal masseforøgelsen være betydende. For de udelte elementer, hvor egenfrekvenserne i elementernes sider kan være betydende, gælder, at monteringsmetoden af den supplerende masse kan influere på, hvor effektiv masseforøgelsen bliver.

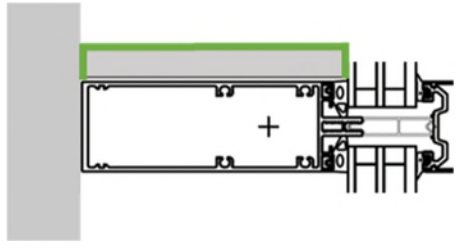
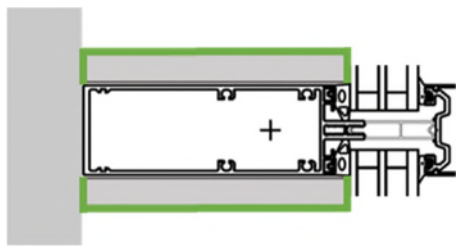
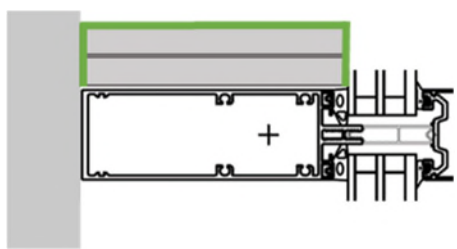
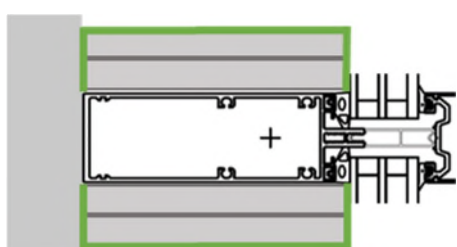
Det er også muligt at dæmpe egenfrekvenser i elementernes hulrum ved at udstoppe facadeelementerne med mineraluld. Læs mere om egenfrekvenser i elementernes hulrum i Bilag 1, Bilag 1.2 Dimensionsforhold. Igen vil effekten være afhængig af monteringen, hvorfor det vil være usikkert, om effekten vil være den samme hver gang. I forbedringsforslagene er forudsat en tung batts (60 kg/m^3), som er presset i elementer og dermed giver et let tryk på elementets indvendige sider. Det lette tryk forventes at medføre en dæmpning af egenfrekvenserne i elementernes synlige sider.

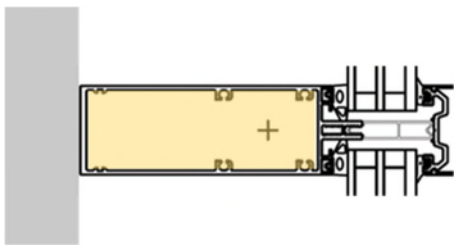
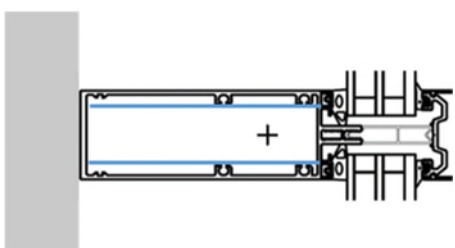
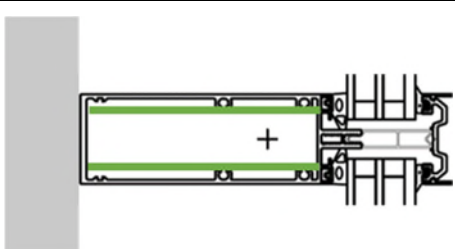
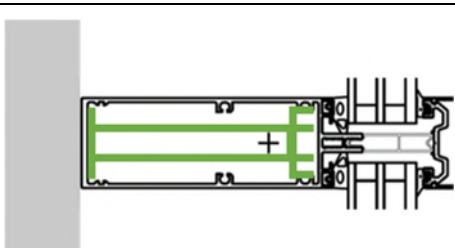
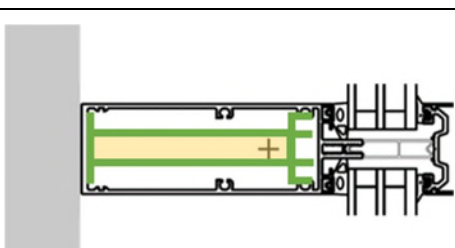
4.1 Tabeller over forventede forbedringer med typiske supplerende tiltag

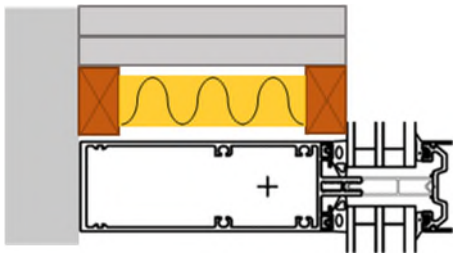
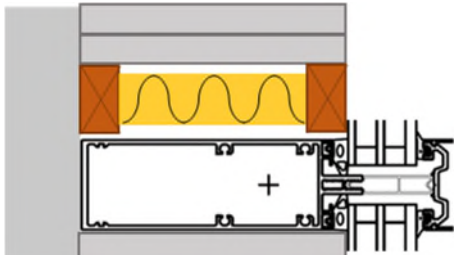
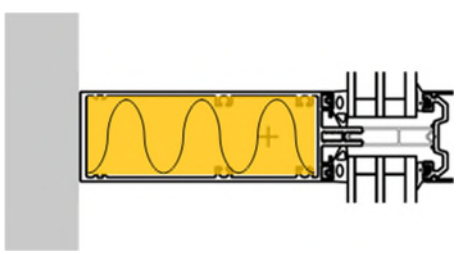
Forbedringerne er vurderet med udgangspunkt i et 50 mm dybt og 150 mm bredt facadetilslutningselement af aluminium med en godstykkelse på 2,2 mm, som giver et hulrum med en dimension på ca. 45 mm × 140 mm. De forventede forbedringer er angivet for både udelte og delte elementer relativ til henholdsvis et standard udelte element og et standard delte element.

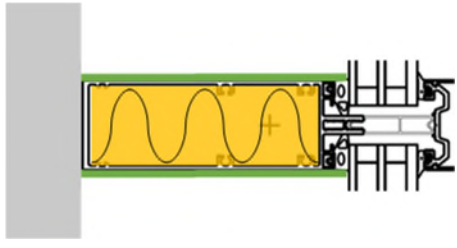
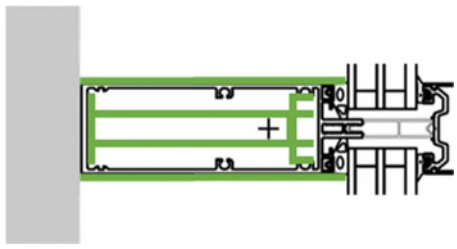
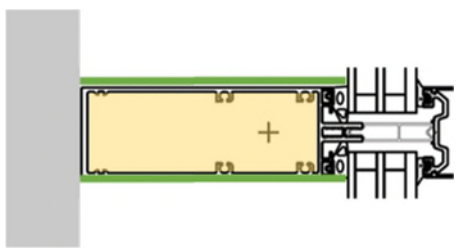
Supplerende tiltag	Skitsering	Forventet forbedring i dB for $\Delta D_{n,e,w}$ og ΔR_w	
		Udelte element	Delte element
Direkte monterede inddækninger i metal			
Inddækning med 1,2 mm skiver af stål fuldlimet på en side		2-5	1-3
Inddækning med 1,2 mm skiver af stål fuldlimet på begge sider		7-10	3-5
Inddækning med 3 mm skiver af aluminium fuldlimet på en side		2-5	1-3
Inddækning med 3 mm skiver af aluminium fuldlimet på begge sider		7-10	3-5

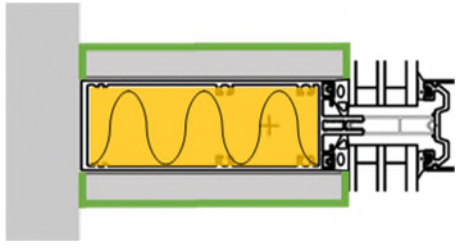
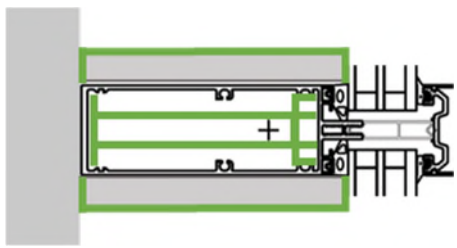
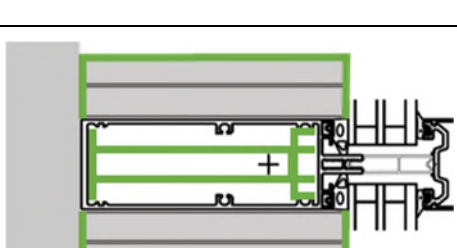
Supplerende tiltag	Skitsering	Forventet forbedring i dB for $\Delta D_{n,e,w}$ og ΔR_w	
		Udelt element	Delt element
Direkte monterede inddækninger i gips			
Inddækning med 13 mm gips på en side med 0,75 aluminium		3-6	2-5
Inddækning med 13 mm gips på begge sider med 0,75 aluminium		8-12	4-6
Inddækning med 2 x 13 mm gips på en side med 0,75 aluminium		5-8	4-6
Inddækning med 2 x 13 mm gips på begge sider med 0,75 aluminium		10-15	10-15

Supplerende tiltag	Skitsering	Forventet forbedring i dB for $\Delta D_{n,e,w}$ og ΔR_w	
		Udelt element	Delt element
Direkte monterede inddækninger i gips			
Inddækning med 13 mm gips på en side med 3 mm aluminium		6-9	4-6
Inddækning med 13 mm gips med 3 mm aluminium på begge sider		12-15	12-17
Inddækning med 2 x 13 mm gips med 3 mm aluminium på en side		8-12	5-8
Inddækning med 2 x 13 mm gips med 3 mm aluminium på begge sider		13-16	15-18

Supplerende tiltag	Skitsering	Forventet forbedring i dB for $\Delta D_{n,e,w}$ og ΔR_w	
		Udelt element	Delt element
Masseforøgelse i hulrummet			
Ovnbagt sand		4-7	0-5
2 skiver af 1,2 mm stål		2-5	2-5
2 skiver af 3 mm aluminium		2-5	2-5
Forstærknings- element		2-5	-
Forstærknings- element med sand		3-5	-

Supplerende tiltag	Skitsering	Forventet forbedring i dB for $\Delta D_{n,e,w}$ og ΔR_w	
		Udelt element	Delt element
Selvstændig forsatskonstruktion			
2 lag gips på den ene side		10-15	10-15
Forsatskonstruktion med 2 lag gips på den ene side og inddækning med 13 mm gips på den anden		15-20	15-20
Hulrumsdæmpning			
Udstoppet med mineraluld med densitet på ca. 60 kg/m ³		2-5	1-3

Supplerende tiltag	Skitsering	Forventet forbedring i dB for $\Delta D_{n,e,w}$ og ΔR_w	
		Udelt element	Delt element
Kombinerede forslag uden gips			
Inddækning med 3 mm skiver af aluminium på begge sider og udstop med mineraluld (ca. 60 kg/m ³)		8-12	5-8
Inddækning med 3 mm skiver af aluminium på begge sider og med forstærkningselement		8-12	-
Inddækning med 13 mm gips på begge sider og udstop ovenbagt sand		8-15	3-8

Supplerende tiltag	Skitsering	Forventet forbedring i dB for $\Delta D_{n,e,w}$ og ΔR_w	
		Udelt element	Delt element
Kombinerede forslag med gips			
Inddækning med 3 mm skiver af aluminium på begge sider og udstop med mineraluld (ca. 60 kg/m ³)		13-17	13-18
Inddækning med 13 mm gips på begge sider med 3 mm aluminium på begge sider, samt med forstærknings-element		15-18	-
Inddækning med 2 x 13 mm gips på begge sider med 3 mm aluminium på begge sider, samt med forstærknings-element		18-21	-

5. Nødvendig lydisolering for overholdelse af typiske funktionskrav

Dette afsnit giver et overblik over de forventede, nødvendige lydisoleringer, som et facadeelement skal have, hvis typiske lydisolationsfunktionskrav skal overholdes. De estimerede, nødvendige lydisoleringer baserer sig på, at facadetilslutningselementerne maksimalt udgør 5 % af den samlede skilleflade mellem de to rum. Læs mere om baggrunden for disse vurderinger i Bilag 1.1.

Ved vægskillelser mellem rum med krav om $R'_w = 55$ dB benyttes som oftest tunge vægge. Som udgangspunkt må det forventes, at den laboratoriemålte lydisolering af væggen (lige meget om den er tung eller let) som minimum er $R_w = 62$ dB, hvis væggen skal opnå $R'_w = 55$ dB. Dermed skal facadetilslutningselementet have en lydisolering R_w på minimum 57 dB for ikke at influere måleresultatet, når den udgør maksimalt 5 % af den samlede skilleflade mellem de to rum.

Lignende betragtninger for dette og andre typiske funktionskrav fremgår herunder af Tabel 2.

<p>Funktionskrav til lydisolering mellem rum</p> <p><i>Typiske byggerier med dette krav</i></p>	<p>Forventede lydisolering, R_w, af væg uden facadetilslutningselement og flanke-transmissionsbidrag.</p> <p><i>Typisk væg</i></p>	<p>Facadetilslutningselementets nødvendige lydisolering for ikke at influere måleresultatet, når elementet udgør maksimalt 5 % af den samlede skilleflade mellem de to rum.</p>
<p>$R'_w = 55$ dB</p> <p><i>F.eks. boliger</i></p>	<p>$R_w \geq 62$ dB</p> <p><i>Typisk tungvæg af f.eks. beton</i></p>	<p>$R_w \geq 57$ dB</p>
<p>$R'_w = 44-48$ dB</p> <p><i>F.eks. kontor-, skole- og hospitalsbyggerier</i></p>	<p>$R_w = 52$ dB</p> <p><i>Lette vægkonstruktioner af f.eks. gips</i></p>	<p>$R_w \geq 47$ dB</p>
<p>$R'_w = 40$ eller mindre</p> <p><i>F.eks. kontor- og skolebyggerier</i></p>	<p>$R_w = 44$ dB</p> <p><i>Lette vægkonstruktioner af f.eks. gips</i></p>	<p>$R_w \geq 39$ dB</p>

Tabel 2

Oversigt over typiske funktionskrav og lydisolering af vægge samt resulterende, nødvendig lydisolering af facadetilslutningselement.

Bilag 1: Tilslutningselementers lydisolierende evne

De følgende afsnit beskriver lydisolering af tilslutningselementerne mere detaljeret dels i relation til en hel skilleflade og dels relateret til elementets dimensionering.

Bilag 1.1: Arealforhold

Når et facadetilslutningselement betragtes som en del af en skilleflade mellem to rum, vil betydningen af elementet for den samlede lydisolering af skillefladen være afhængig af, hvor stor en del af skillefladen elementet udgør.

Det må forventes, at et facadetilslutningselement udgør maksimalt 5 % af en skilleflade mellem to rum. Ud fra den betragtning bør det normalt kunne konkluderes, at en skilleflades lydisolering kun kan reduceres op til 2 dB, så længe luftlydisoleringen af facadeelementet ikke er mere end 10 dB ringere end den resterende skilleflade, der normalt vil udgøres af en væg. Er forskellen mindre end 5 dB forventes indflydelsen at være negligeabel. Udgør facadetilslutningselementet mindre end 1 % af skillefladen, kan der accepteres en forskel på op til 10 dB mellem tilslutningselementet og den resterende skilleflade, uden at den samlede lydisolering influeres.

Bilag 1.2: Dimensionsforhold

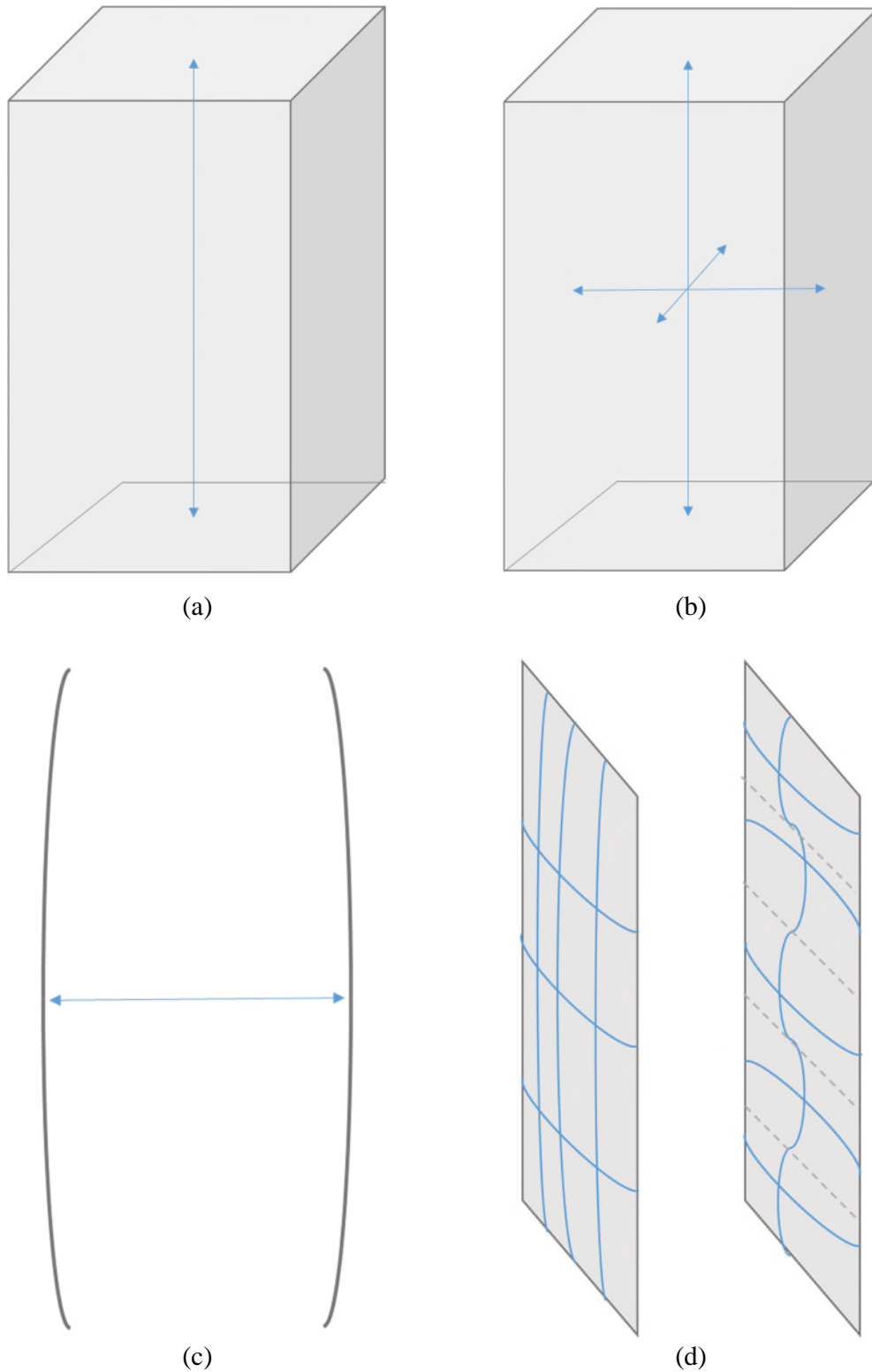
Selve tilslutningselementernes dimensioner (højde, bredde, hulrum og godstykkelse) vil have en effekt på lydisoleringen. Særligt kombinationen af højde, bredde og godstykkelsen af aluminiummet er fundet at have stor betydning for lydisoleringen af de udelte facadetilslutningselementer.

Den typiske godstykkelse for aluminiummet varierer fra ca. 1,8 til 2,4 mm. Alene denne variation medfører ca. 2 dB i ændring af lydisoleringen. Desuden kan elementer have varierende tykkelse, hvorfor det ved projektering anbefales at forholde sig både til den gennemsnitlige tykkelse og den mindste tykkelse af aluminiummet.

Et udelte facadeelement består i princippet af et langt rektangulært rør af aluminium. Som konsekvens af udformning kan egenfrekvens- og resonanseffekter være betydende for lydisoleringen. I Figur 4 er de undersøgte egenfrekvenser og resonansfrekvenser visualiseret.

Undersøgelser med baggrund i erfaringsdata og målinger kortlagt i DELTA Rapport TC 101090 af udelte elementer viser ikke en direkte sammenhæng til rør-egenfrekvenser i højderetningen (Figur 4a) grundet elementernes rørformede form.

Betragtes facadeelementerne som et rum, vil der i hulrummet også være egenfrekvenser som konsekvens heraf (Figur 4b). Da elementernes hulrum som oftest er forholdsvis smalle (< 50 mm), vil den første rum-egenfrekvens ofte ligge omkring 4 kHz eller højere, hvorfor de kun har ringe betydning for den samlede lydisolering.



Figur 4
 Visualiseringer af rør-egenfrekvens i elementet (a), rum-egenfrekvens i elementet (b), resonansfrekvens mellem synlige sider i elementet (c) samt første ordens og en højere ordens plade-egenfrekvens (d).

Det samme gør sig gældende for resonansfrekvens mellem de synlige sider af facadetilslutningselementet og hulrummet (Figur 4c). Her vil de smalle hulrum medføre, at resonansfrekvensen ligger omkring 2-3 kHz eller højere.

Betragtes elementernes synlige flader som plader, kan der afledes en række egenfrekvenser med baggrund i sidernes størrelse (Figur 4d). Den første mulige stærke egenfrekvens kommer ved den frekvens, hvor både elementets højde og bredde begge tillader minimum en halv bølgelængde. Erfaringsdata for laboratoriemålinger viser en stærk sammenhæng mellem denne egenfrekvens og et dyk i lydisolationen. Der er for elementer bredere end 150 mm også fundet sammenhæng med egenfrekvenser svarende til en hel bølgelængde.

Disse plade-egenfrekvenser kan estimeres ud fra følgende formel

$$f_{mn} = \frac{c^2}{4f_c} \cdot \left(\frac{m}{l_h}\right)^2 + \left(\frac{n}{l_b}\right)^2,$$

hvor c er lydets hastighed i luft, f_c er den kritiske frekvens, som afhænger af godstykkelse og materiale, l_h og l_b er højden og bredden af elementet, mens m og n er hele tal startende fra 1. Den første betydende egenfrekvens er, hvor det hele tal m approksimativ er lig forholdet mellem l_h og l_b . Dvs. når

$$m \approx \frac{l_h}{l_b}$$

Erfaringsdata for delte elementer viser ikke lige så markant en reduktion i lydisolationen som konsekvens af plade-egenfrekvenserne, hvoraf det måske kan konkluderes, at disse egenfrekvenser transmitteres som strukturlyd gennem de udelte elementer. For de delte elementer gælder, at lydisolationen primært er bestemt af den direkte transmitterede lyd gennem elementets flader, som primært er afhængigt af elementernes tyngde.

Eksempel

Tages der udgangspunkt i et 50 mm bredt, 200 mm dybt og 3 m højt udelt element med godstykkelse på 2,2 mm, vil hulrummet i elementet, som fastsætter dimensionerne af sidernes plade-egenfrekvenser, rum-egenfrekvenser og resonansfrekvensen, forventeligt være ca. 45 mm bredt, 180 mm langt og 3 m højt. Disse dimensioner medfører følgende forventede egen- og resonansfrekvenser, som kan påvirke lydisolationen negativt:

De første 3 rør-egenfrekvenser, $f_{rør}$: 57 Hz, 114 Hz og 172 Hz.

De første 3 rum-egenfrekvenser, f_{rum} : 3929 Hz, 3930 Hz og 3932 Hz.

De første 3 plade-egenfrekvenser, f_{plade} : 348 Hz, 882 Hz, og 1758 Hz.

Resonansfrekvens, f_r : 2588 Hz