



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Ny viden om lavfrekvent lydisolation af boliger i områder med vindmøller

Miljøprojekt nr. 1960

Oktober 2017

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Claus Møller Petersen

ISBN: 978-87-93614-27-7

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.

RESUME

I denne rapport præsenteres resultaterne af en undersøgelse om tilvejebringelse af ny viden om mulighederne for at forbedre lydisolering mod lavfrekvent støj i danske boliger i områder med vindmøller. Opgaven er iværksat af Miljøstyrelsen med journal nr. MST-5114-00194. Kontaktperson i Miljøstyrelsen er Jens Schultz Hansen.

Baseret på eksisterende viden fra litteraturstudiet er der gennemført målinger på 23 bygningskonstruktioner, hvoraf 15 omfattede forsøg med efterisolering og forbedring af en tung facade, 7 forsøg med en let facade (udnyttet tagetage) og 1 forsøg med ændring af rumakustikken. Målingerne er primært udført i frekvensområdet 8-200 Hz. Resultaterne er bearbejdet og efterfølgende er der udført en vurdering af den generelle virkning, som vindmøllestøj vil give anledning til indendørs bag de tunge og lette facadekonstruktioner.

Hovedresultaterne fra de udførte målinger og beregninger viser følgende:

- Hørbar indendørs vindmøllestøj er domineret af frekvenskomponenter fra 50 Hz og derover
- Indendørs vindmøllestøj i eksisterende bygninger kan være hørbar, når de påvirkes af udendørs vindmøllestøjniveauer med et A-vægtet lydtrykniveau på 44 dB. Det er dog muligt med traditionel indendørs lydmæssig efterisolering eller med udendørs facade-lydisolering at forbedre den lavfrekvente lydisolation så hørbarheden af indendørs lavfrekvent vindmøllestøj bliver reduceret og i nogle tilfælde kan blive ikke hørbar eller lige netop hørbar
- For *lette* facader er det vigtigt at anvende flere tunge gipspladelag ved indvendig efterisolering og at supplere med lydisolering af interne skillevægge omkring det/de rum hvis facader ønskes lydisoleret
- Delvist åbne vinduer kan ikke anvendes sammen med lydisolerende tiltag – da åbningen vil eliminere effekten af efterisoleringen. Rummene skal derfor ventileres på anden vis.
- Der opnås ingen ekstra lydisolerende effekt i det undersøgte frekvensområde 8-200 Hz ved at placere absorbenter mellem facadevindue og forsatsvindue og heller ikke ved at stille et forsatsvindue på skrå.

SUMMARY (IN ENGLISH)

This report presents results of an investigation on finding new knowledge on improvements of low-frequent sound insulation in Danish houses in areas with wind turbines. The investigation is initiated by the Danish Environmental Protection Agency with journal no. MST-5114-00194. Contact person in the Environmental Protection Agency is Jens Schultz Hansen.

Based on existing knowledge from the literature survey 23 measurements are accomplished on building constructions of which 15 included experiments with sound re-insulation and improvement of a heavy façade, 7 experiments with a light weight façade (habitable attic) and 1 experiment with changes in the room acoustic conditions.

The measurements are mainly made in the frequency range 8-200 Hz. The results are analyzed and afterwards an evaluation on the indoor noise annoyance caused by wind turbines in the houses with both heavy and lightweight façade constructions is performed.

The main results of the accomplished measurements and calculations are:

- Audible indoor wind turbine noise is dominated by frequency components from 50 Hz and higher
- Indoor wind turbine noise in existing houses can be audible when excited by outdoor wind turbine noise with an A-weighted sound pressure level at 44 dB. However, it is possible with traditional indoor sound re-insulation or by outdoor façade sound-insulation to improve the low-frequent sound insulation so much that indoor low-frequent wind turbine noise becomes not-audible or only just audible
- For *light weight* facades, it is important to use more layers of gypsum boards when re-insulating indoor and to make supplementary re-insulating of internal partition walls around the room(-s) which facades is requested to be sound insulated
- Partly opened windows are not useable in combination with sound insulation measures – because the opening will eliminate the sound insulating effect. Thus the rooms must be ventilated by other measures
- No extra sound insulating effect is achieved in the investigated frequency interval 8-200 Hz by placing sound absorbents between a façade-window and a removable window or by angling a removable window.

INDHOLDSFORTEGNELSE		SIDE
RESUME		1
SUMMARY (IN ENGLISH)		2
1	INDLEDNING OG FORMÅL MED UNDERSØGELSEN	5
2	LITTERATURSTUDIE	6
2.1	Formål med litteraturstudie	6
2.2	Fremgangsmåde	6
2.3	Resultat generelt	6
2.4	Litteratur med indhold om lavfrekvent lydisolation	7
2.5	Litteratur med indhold om lavfrekvent støj	9
2.6	Supplerende litteratur	9
3	AFGRÆNSNING AF BOLIGTYPER	10
3.1	Udvælgelse af boliger	11
4	FORSØGSPLAN	13
4.1	Forbedring af tunge bygningsdele	14
4.2	Forbedring af lette bygningsdele	19
4.3	Forbedring af rumakustik	21
5	MÅLE- OG VURDERINGSMETODER	22
5.1	Målemetode og målesystem	22
5.1.1	Mikrofonpositioner	22
5.1.2	Højtalerposition	22
5.1.3	Lydkilde	23
5.1.4	Målesystem	24
5.2	Gennemførelse af målinger	25
5.3	Databehandling	25
5.3.1	Metodebeskrivelse	25
5.3.2	Usikkerheder	26
5.4	Bygningsakustiske vurderinger og indendørs vindmøllestøj	26
5.5	Vurdering af genevirkning	27

6	MÅLERESULTATER – KONKRETE FORSØG	29
6.1	Kontrol af målefaciliteterne	29
6.2	Forbedring af tunge bygningsdele	30
6.2.1	Mulige akustiske årsager til fælles kurveforløb	31
6.2.2	Forsøg – lille utæthed	33
6.2.3	Forsøg – fritstående forsatsvæg samt afstivning	33
6.2.4	Forsøg – tung forsatsrude i forsatsvæg samt karmabsorbent/skråtstillet glas	35
6.2.5	Forsøg – udvendig facadeisolering	38
6.3	Forbedring af lette bygningsdele	41
6.3.1	Forsøg – fritstående forsatskonstruktion og varierende antal gipspladelag	42
6.3.2	Forsøg – ekstra gipspladelag direkte på eksisterende vægge og loft	43
6.3.3	Forsøg – øget tykkelse af hulrum og 3 gipspladelag på vægge og loft	44
6.3.4	Sammenligning – effekt af montage af 3 lag lade	45
6.3.5	Forsøg – delvist åbent tagvindue	46
6.4	Forbedring af rumakustik	47
7	KOMMENTARER VEDR. GENEVURDERINGER	48
8	KONKLUSION	49
9	REFERENCER	51
	BILAG 1: MÅLEBLADE	52
	BILAG 2: OVERSIGT, MÅLERESULTATER FOR INDSÆTNINGSDÆMPNING	77
	BILAG 3: SUPPLERENDE ANALYSER	78
	BILAG 4: BEREGNET INDSÆTNINGSDÆMPNING FOR KOMBINATIONER AF DÆMPNINGSFORSØG	81
	BILAG 5: BEREGNEDE INDENDØRS VINDMØLLESTØJSPEKTRE	83
	BILAG 6: INSTRUMENTLISTE	84
	BILAG 7: LITTERATURSTUDIETS REFERENCER	85
	APPENDIX A: RAPPORT OM GENEVURDERING	88

1 INDLEDNING OG FORMÅL MED UNDERSØGELSEN

Formålet med undersøgelseerne i denne rapport er at tilvejebringe ny viden om, hvordan man kan lydisolere mod lavfrekvent støj i typiske danske boliger i områder med vindmøller.

Undersøgelsen er udført af SWECO, Acoustica med DELTA, FORCE Technology som underrådgiver. Undersøgelsen har omfattet et litteraturstudie (kapitel 2), afgrænsning af typiske boligtyper i nærheden af vindmøller, udpegning af egnet byggeri til de efterfølgende akustiske målinger (kapitel 3). Endelig er der planlagt en række forsøg med forbedring af lydisolationen mod lavfrekvent støj på tunge og lette facader (kapitel 4). Byggearbejderne blev udbudt til to lokale entreprenører, arbejderne blev efterfølgende udført i flere faser sideløbende med de akustiske målinger. For at sikre fuld sammenlignelighed med det eksisterende datagrundlag, er metodevalget fra de tidligere måleserier i overensstemmelse med Miljøstyrelsens orientering om lavfrekvent støj med tilhørende rettelsesblad fastholdt. Metoder for målinger, databehandling og vurderinger er fastlagt i kapitel 5 og de konkrete resultater er beskrevet i kapitel 6, samt i bilag 1-5. Genevurderingerne er resumeret i kapitel 7 og rapporteret i en selvstændig rapport ref. [13] og Appendix A: Rapport om genevurdering. Sammenfatning og konklusion findes i kapitel 8.

Litteraturstudiet er beskrevet af Dan Hoffmeyer, og genevurderingen er udført af Torben Holm Pedersen begge DELTA, FORCE Technology.

Birgit Rasmussen, SBI, Aalborg Universitet har bidraget ved flere arbejds møder og med værdifulde bidrag til litteraturstudiet.

I den gennemførte undersøgelse har Sweco A/S' afdeling Acoustica gennemført målinger på 23 lydisolerende bygningskonstruktioner, hvoraf 15 omfattede forsøg med forbedring af en tung facade, 7 forsøg med en let facade (udnyttet tagetage) og 1 forsøg med ændring af rumakustikken. Måleresultaterne er viderebearbejdet og der er gennemført en genevurdering af indendørs vindmøllestøj for 11 datasæt, hvoraf 5 er baseret på direkte målinger og 6 er baseret på beregninger af sammensat lydisolation ud fra kombinationer af målinger.

Vi vil gerne sige tak til Vattenfall, ejeren af den bygning hvori forsøgene blev gennemført og til vore to materialesponsorer SAINT-GOBAIN Gyproc og Isover. Også en stor tak til vore samarbejdspartnere, DELTA FORCE Technology, Statens Byggeforsknings Institut, de mange udenlandske forskere der bidrog til litteraturundersøgelsen og til kollegerne i Sweco A/S' afdeling Acoustica. Alle har bidraget til, at projektet fik et godt forløb.

2 LITTERATURSTUDIE

Litteraturstudiet er gennemført som en del af projektets videnopbygning. I dette afsnit anvendes "Litt. [nn]" som henvisning til referencelisten for litteraturstudiet i Bilag 7: Litteraturstudiets referencer, mens "ref. [mm]" anvendes som henvisning til de øvrige referencer i rapporten, se afsnit 9.

2.1 Formål med litteraturstudie

Det primære formål har været at afklare, om der findes lignende undersøgelser om forbedring af lavfrekvent lydisolering i boliger, herunder data for lavfrekvent lydisolering i frekvensområdet 10 – 160 Hz for bygningsfacader mv.

Det var forventet (se fx udredning til det norske Klima- og forurensningsdirektoratet om "Lavfrekvent støj fra vindmøller", Litt. [43], at der globalt kun ville være få referencer med måleresultater for lavfrekvent lydisolering for bygningsfacader i frekvensområdet 10-160 Hz, men at der ville være en række nyere norske laboratorieundersøgelser, der kunne inddrages i litteraturstudiet og belyse forbedringsmuligheder for den lavfrekvente lydisolering.

2.2 Fremgangsmåde

Litteraturstudiet har omfattet flere fremgangsmåder. Fælles for dem alle har været, at søgningen specifikt ved søgeord og i korrespondance mv har fokuseret på litteratur om lavfrekvent lydisolering i frekvensområdet 10-160 Hz.

For det første er der samlet viden fra den allerede kendte litteratur fra tidligere projekter, herunder fra de danske feltmåleprojekter for færger og vindmøller udført for Miljøstyrelsen ref. [3], [4], [5] og [6] og fra udredningen til det norske Klima- og forurensningsdirektorat, Litt. [43]. Heri refereres blandt andet til en række nyere norske laboratorieundersøgelser af lavfrekvent lydisolering for ydervægge og tag. Disse resultater har nu været tilgængelige i endelig rapportform.

Herudover er der, blandt andet med assistanse fra Birgit Rasmussen, SBI, Aalborg Universitet, udført søgning efter kongrespapers, tidsskriftsartikler mv. i proceedings fra vindmølle- og akustikkongresser og på internettet.

Endelig er der gennem mailudsendelse med forespørgsler til Birgit Rasmussens internationale kontakthold søgt efter litteratur og viden hos ca. 65 akustikere fordelt på 17 lande world wide.

2.3 Resultat generelt

Litteraturstudiet har givet adgang til viden fra ca. 50 rapporter, papers og artikler. Der er kun fundet ganske få data for lavfrekvent lydisolering i frekvensområdet 10 – 160 Hz for bygningsfacader mv. udover de tidligere for Miljøstyrelsen udførte projekter.

Ved frekvenser over 50 Hz er der derimod fundet nye data (primært fra laboratoriemålinger) for ydervægge og tag – herunder data, hvor forbedringstiltag evalueres. Det er begrænset, hvad litteratursøgningen har givet af viden med hensyn til ideer til efterisolering udover traditionelle virkemidler som forøget masse og afstand mellem gipspladelag (optimering af placering af resonansfrekvenser).

I "Bilag 7: Litteraturstudiets referencer" er samtlige fundne/modtagne publikationer gengivet i form af litteraturstudiets referenceliste, så de er mulige at identificere i senere arbejder. De publikationer, der i øvrigt refereres til i denne rapport, er medtaget i referenceliste afsnit 9.

Nedenfor opsummeres hovedindholdet af de i litteraturstudiet fundne referencer opdelt i grupper efter herkomst og indhold samt vægtet efter relevans for lydisolations mod lavfrekvent støj i frekvensområdet 10 – 160 Hz. I forhold til referencer med data og vurdering af forbedringsmuligheder for lavfrekvent lydisolations er litteratur om lovgivning, teoretiske modeller, målemetoder og andre aspekter ved lavfrekvent støj således vægtet lavere.

2.4 Litteratur med indhold om lavfrekvent lydisolations

Der er fundet 14 referencer, der beskriver lavfrekvent lydisolations i frekvensområdet 10-160 Hz og yderligere 14 referencer, der indeholder data for lavfrekvent lydisolations ved frekvenser over 50 Hz.

Danske projekter

I Danmark er der fra miljøstyrelsens projekter resultater af DELTA's feltmålinger af lavfrekvent lydisolations af husfacader mv. ref. [3], [4], [5] og [6]. Samtidigt med det aktuelle projekt er der yderligere kommet flere data til fra SWECO's tilsvarende målinger ref. [1]. Derved skiller den danske litteratur sig ud fra det meste af den øvrige tilgængelige litteratur, hvor kun få lande har tilsvarende offentliggjorte data for lydisolations i frekvensområdet 10 – 200 Hz.

Herudover har DELTA's udredning til det norske Klima- og forurensningsdirektorat, Litt. [43] kunnet give ideer til bygningsmæssige foranstaltninger til forbedring af lavfrekvent lydisolations.

Norske projekter

Norge har i de senere år gennemført en del arbejde om lavfrekvent lydisolations, primært med udgangspunkt i trafikstøj samt i støj fra militære fly og sprængninger. Publikationerne har dels baggrund i laboratoriemålinger, se fx Litt. [53], af udvendige bygningsdele, primært dog kun ned til 50 Hz, dels baggrund i feltforsøg og teori omkring støj og afledte vibrationer fra militære aktiviteter, se fx Litt. [49] og [50].

De norske laboratoriemålinger er en opdatering af laboratedata for eksisterende facader, vinduer, tage og udeluftventiler og inkluderer målinger af foranstaltninger til forbedring af lydisolations for de eksisterende bygningsdele. Det store måleprogram omfatter 17 facadevarianter, 40 vinduesmålinger, 29 varianter af tagkonstruktioner og 36 varianter af udeluftventiler i åben og lukket tilstand. Alle måleresultater er angivet fra 50 Hz, men enkelte målinger af en let facadetype med forskellige forbedringer er gennemført ned til 31,5 Hz. Herudover er der i forbindelse med projekterne om lavfrekvent støj fra militære aktiviteter, se herom nedenfor, udført målinger ned til 10 Hz for udvalgte konstruktioner.

De norske projekter om lavfrekvent støj fra militære aktiviteter omhandler mulighederne for forbedring af lydisoleringen for huse blandt andet ved meget lave frekvenser. Det skal bemærkes, at støjbelastningen i det norske projekt – til forskel fra vindmøllegenereret lavfrekvent støj – stammer fra hændelser med høje og/eller impulsagtige lydtryk – fra flypassager og sprængninger. Projektet viser blandt andet, at den lavfrekvente støj transmitteret gennem facade og tag genererer vibrationer i bygnings gulv. Det primære virkemiddel til at reducere gulvets vibrationer er at øge den lavfrekvente lydisolering gennem øget stivhed af lette tag- og facadekonstruktioner, men også husets lufttæthed indgår. Projekterne omfatter feltmålinger, laboratoriemålinger, teoretiske FEM-analyser (Finite Element Method), og senest feltforsøg med intervention i et hus.

Projekter i andre lande

Der er alene fundet litteratur om lavfrekvent lydisolering mod støj fra vindmøller i et par artikler fra Japan (Litt. [7]) og (Litt. [53]) samt en enkelt fra USA (Litt. [54]). I artiklerne fra Japan beskrives en hus-filter model til brug for beregning af indendørs vindmøllestøj. Modellen angiver den lavfrekvente lydisolering som niveaudifferens afhængig af 2-3 vindues-/rudetyper. Data fra 1 – 4000 Hz er angivet på basis af feltmålinger i 22 japanske træhuse. Den aktuelle vindmøllestøj er anvendt som støjkilde. Der er anvendt én indendørs mikrofonposition og ikke foretaget korrektion for baggrundsstøj. De fundne hus-filter niveaudifferenser er blandt andet sammenlignet med de danske værdier fra (Litt. [6]), og der er fundet god overensstemmelse med hus-filter værdierne for dobbeltruder. Derudover er de sammenlignet med resultaterne af målinger omkring en lufthavn med flystøj som kilde for 9 japanske træhuse med enkeltruder og med resultaterne af målinger med lavfrekvent industristøj som kilde i 18 japanske træhuse med enkeltruder.

Fra USA er der refereret et nyere projekt om simulering af indendørs støjniveau for vindmøller. Referencen Litt. [53] beskriver en beregningsmodel – oprindeligt udviklet til støj fra overlydsfly – til forudsigelse af det indendørs amplitude modulerede støjniveau fra vindmøller og konkluderer, at det indendørs støjniveau kan være højere end det udendørs blandt andet som følge af resonanser ved lave frekvenser. Herudover er der fra USA publikationer der omfatter vinduers lydforhold fra 50 Hz i forbindelse med flystøj, se fx Litt. [39].

I Tyskland er der arbejdet med forbedring af lavfrekvent lydisolering fra 50 Hz i relation til trafikstøj. De fundne referencer Litt. [9], [10] og [38], omhandler eksempler på forbedring af forskellige facade- og tagkonstruktioner, herunder ved brug af udvendig varmeisolering, samt lydisolationsdata for en lang række træbaserede konstruktionsløsninger.

I Belgien er der tilsvarende arbejdet med facadedesign under hensyn til lavfrekvent lydisolering fra 50 Hz, Litt. [23] med eksempler på lette facadepåbygninger. Yderligere er der ved teori og laboratorieforsøg forsket i tynde enkeltpladers lydisolering i frekvensområdet 20 – 250 Hz, Litt. [34].

Fra Canada er der data for lavfrekvent lydisolering fra 50 Hz for lette facade- og tagkonstruktioner samt vinduer. Resultaterne stammer fra laboratoriemålinger Litt. [4].

Litteraturen fra Sverige og England viser primært fokus på indflydelsen og vigtigheden af rum-modes i modtagerummet ved måling/FEM-analyse af vægges lydisolations ved lave frekvenser Litt. [26], [28], [30] og [36]. Herudover er der eksempler på indflydelse fra hulrumsresonans på lavfrekvent lydisolations, Litt. [25].

I Italien er der arbejdet med projekter om måleusikkerhed ved feltmålinger af lavfrekvent lydisolations fra 50 Hz og gennemført en sammenligningsmåling (RRT), hvor ubestemtheden ved facademålinger fra 50 Hz er belyst. Se fx Litt. [2] og [5].

Endelig er der i Schweiz og Italien forsket i lavfrekvent lydisolations for vinduer, herunder brug af indbyggede tunede resonatorer i vindueskonstruktioner Litt. [1] og [27].

2.5 Litteratur med indhold om lavfrekvent støj

Som en del af litteraturindsamlingen er der medtaget publikationer, der ikke direkte omhandler lavfrekvent lydisolations. Disse er enten fremsendt i forbindelse med mailforespørgsler eller udtaget fordi de omfatter måleprocedurer mv.

Uden- og indendørs vindmøllespektre er en del af Litt. [22] og danner baggrund for det aktuelle projekts udførelse, mens Litt. [48] beskæftiger sig med målepositioner indendørs ved lavfrekvente målinger.

De øvrige referencer omhandler støj og støjgener fra vindmøller, herunder støjpolitik og -regulering, og er ikke fundet relevante for det aktuelle projekts hovedtema.

2.6 Supplerende litteratur

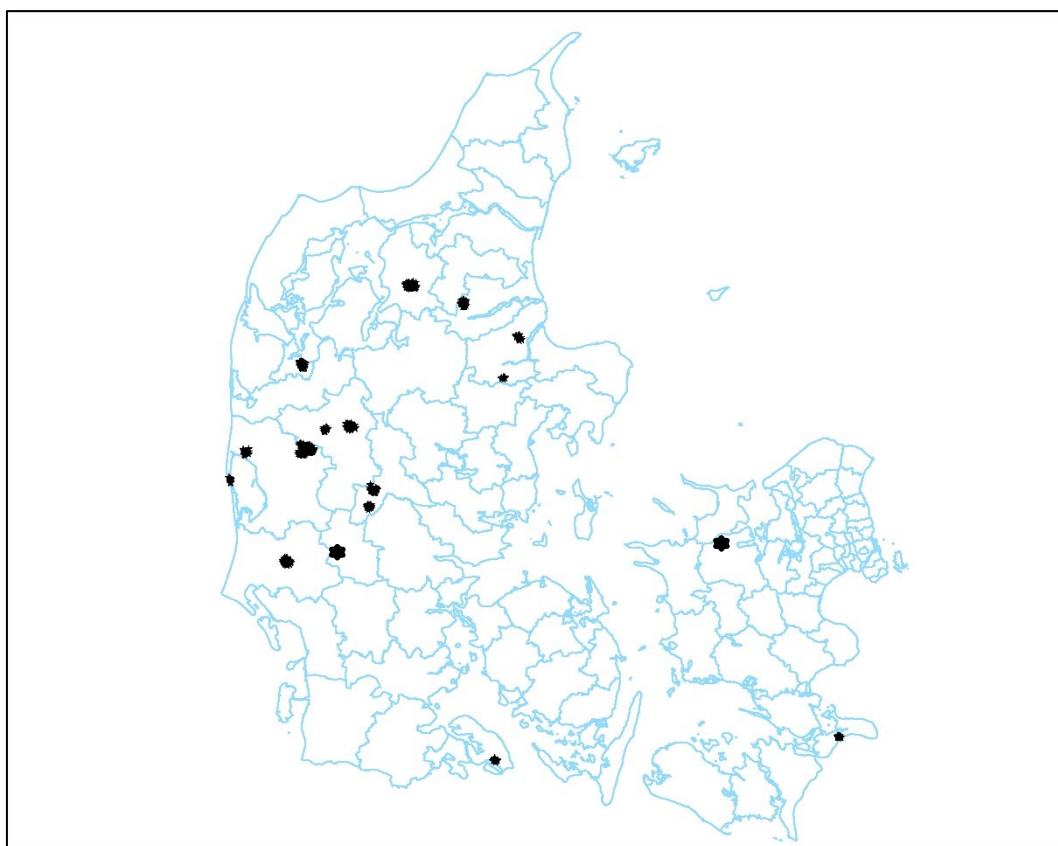
Efter litteraturgennemgangen er der fremkommet yderligere tre engelske dokumenter i denne kategori, se Litt. [55], [56] og [57]. Dokumenterne omhandler amplitudemodulation (AM) af vindmøllestøj, dvs. periodiske fluktuationer af lydtrykniveauet af hørbar støj fra vindmølle(-r). Dels gøres der status over det menneskelige respons overfor AM-støj, dels gives der anbefalinger til myndighederne i UK om hvordan man kan regulere området og de afledede helbredseffekter. Status er, at der er tilstrækkeligt bevis for at kraftig AM skaber øget gene fra vindmøllestøj. Den sidste rapport omhandler en metode til bestemmelse af om vindmøllestøj udviser AM, målt udendørs. De seneste tre dokumenter er således mest relevante for genebedømmelse af udendørs vindmøllestøj.

3 AFGRÆNSNING AF BOLIGTYPER

I overensstemmelse med undersøgelsens formål "at tilvejebringe øget viden om dæmpning af lavfrekvent støj i boliger i nærheden af vindmøller i det åbne land eller i boliger i mindre landsbyer" er det i det følgende beskrevet, hvordan de relevante bygningstyper kan afgrænses.

Der er gennemført en screening af typiske bygningstyper og –materialer for boliger i en række støjkonsekvensområder omkring udvalgte vindmølleparker i Danmark. Udvalgelsen er baseret på data for vindmøller og –parker, hvor projektdeltagerne har adgang til detailoplysninger om støjkonsekvensområder.

Grundlag er udtræk fra BBR-registret og udførte støjkortlægninger omkring vindmølleparker, fordelt i landet som vist på den efterfølgende Figur 1.



Figur 1. Kort over støjkortlægninger og -konsekvensområder ved vindmølleparker, hvor analyser af bygningstyper og -materialer er udført.

Der er i det foreliggende i alt analyseret 1147* beboelsesbygninger, hvoraf 357 er stuehuse til landbrugsejendomme, 643 fritliggende énfamiliehuse (parcelhuse) og 21† sommerhuse. De resterende bygninger er rækkehuse o.lign. samt etageboligbebyggelser. De i alt 1000 stuehuse og parcelhuse betegnes landejendomme.

* Data fra boliger i støjkonsekvensområder omkring vindmøller/-parker er stillet til rådighed for denne undersøgelse af Sweco A/S's afdeling Acoustica med 1115 beboelsesbygninger - primo 2016 og af DELTA med 32 beboelsesbygninger - medio 2015.

I den efterfølgende Tabel 1 er anført, hvilke byggematerialer der er anvendt til landejendomme inden for støjkonsekvensområderne omkring udvalgte vindmølleparker i Danmark.

Andel af landejendomme	Procent
Med udnyttet tagetage	54%
Med tag af lette materialer (primært eternit)	49%
Med tag af tegl eller cementsten	43%
Med ydervægge af mursten ell. lign.	91%
Opført 1939 eller før	47%
Opført 1940 - 1979	40%
Opført efter 1979	13%

Tabel 1. Typiske byggematerialer for landejendomme i støjkonsekvensområder ved udvalgte vindmølleparker i Danmark

Ovenstående viser, at mere end halvdelen af de typiske landejendomme har udnyttet tagetage, med såvel lette som tunge tagmaterialer. Ydervæggene er altovervejende tunge, udført af mursten. Knap halvdelen af landejendommene er opført før 2. verdenskrig, dvs. for næsten 80 år siden – længe inden der blev indført regler om lydisolering i byggelovgivningen.

3.1 Udvælgelse af boliger

Ved udvælgelse af boliger til de praktiske forsøg med forbedring af den lavfrekvente lydisolering har udgangspunktet dels været ovenstående bygningstyper og byggematerialer, dels at undersøge så mange løsningsmodeller som muligt, hvilket bl.a. kan ske ved at begrænse omkostninger til retablering efter forsøgene.

I forbindelse med den tidligere feltundersøgelse om udvidet datagrundlag [1] blev der udført målinger i nogle nyligt nedlagte landbrugsejendomme i Himmerland mellem Nibe og Løgstør. Disse bygninger var opført med de typiske byggematerialer, jf. Tabel 1.

† Sommerhusene har alt overvejende lette ydervægge, idet 90% har træbeklædning eller andet materiale og 10% har mursten (tegl, kalksten, cementsten). Sommerhusenes tage er ligeligt fordelt med tagpap og fibercement, herunder asbest (bølge- eller skifer-eternit).

Da bygningerne skulle nedrives på et senere tidspunkt, rettede vi henvendelse til ejerne, energiselskabet Vattenfall, og spurgte om vi – inden nedrivningen - kunne få lov at anvende en eller flere af disse bygninger til vores praktiske forsøg. Det viste sig, at Vattenfall var villig til at stille et par af disse bygninger til vores disposition, hvilket vi er meget taknemmelige for, da det jo indebar flere fordele for projektet: For det første fik vi adgang til bygninger med de typiske byggematerialer, for det andet undgik vi omkostninger til retablering og endelig blev tidsplanen til de to planlagte forsøgsrunder mere rummelig, da bygningerne ikke var beboede. Men der var også forhold, som krævede en ekstra indsats, før der kunne måles; bygningerne var for en sikkerheds skyld gjort ubeboelige, dvs. døre og vinduer manglende i vid udstrækning.

4 FORSØGSPLAN

Den overordnede forsøgsplan omfattede målinger og en række efterisoleringsforslag på et tungt og et let facadeparti.

Efter afklaring af de praktiske muligheder for at udføre forsøgene med øget lydisolering, herunder adgang til strøm og omfanget af indledende arbejder for at gøre bygningerne tætte, blev det besluttet at anvende én bygning. Den udvalgte forsøgsbygning er Bollerupvej 75, 9240 Nibe.



Figur 2. Foto af forsøgsbygningen. Bollerupvej 75 - før retablering

I forsøgsbygningen anvendes stueetagen med dens tunge facade og 1. salen med dens lettere bygningsdele.

Overordnet er der som nævnt i ref. [8] flere mekanismer, der påvirker lydisolationen i bygningsdele:

- I. Øget masse (fladevægt)
- II. Øget stivhed
- III. Øget dybde / tykkelse
- IV. Adskillelse i ydre og indre bygningsdel

I dette projekt er der alene fokuseret på ovenstående traditionelle *passive* metoder i form af supplerende eller ændrede bygningsdele.

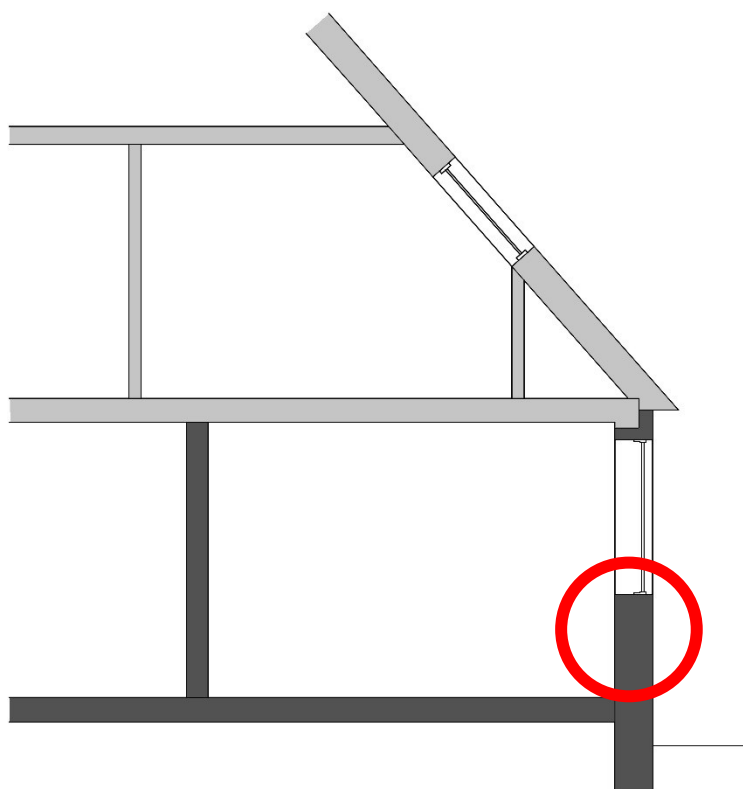
Der er således ikke udført forsøg med utraditionelle isoleringsmetoder, så som basfælder i form af resonatorer indbygget i hulrum i bygningsdele. Andre utraditionelle metoder er de *aktive* – elektroniske – løsninger, hvor systemer af mikrofoner og højttalere anbragt i hulrum kan udfase visse frekvenser (modlyd) og dermed forøge lydisoleringen i en bygningsdel. Begge de utraditionelle metoder arbejder med udfasning af enkelte frekvenser (toner) og er derfor meget følsomme for præcis placering og ”tuning” i forhold til de frekvenser, der ønskes dæmpet. Da vindmølleproducenterne optimerer møllernes støj, så den normalt ikke er toneholdig, men derimod bredspektret og med frekvensindhold der varierer med vindhastigheden - er de nævnte utraditionelle ikke optimale til dæmpning af vindmøllestøj.

En tredje fremgangsmåde er ændring af rumakustikken – dvs. dæmpning af efterklangstiden - i selve det opholdsrum, som findes bag facaden. Denne fremgangsmåde vil blive afprøvet i dette projekt. Til dæmpning af de lave frekvenser anvendes særlige lavfrekvente absorberer, såkaldte basabsorberer.

4.1 Forbedring af tunge bygningsdele

Lydisolation for tunge bygningsdeles er kendetegnet ved at være domineret af masseloven for massive (enkelt-) konstruktioner, se ref. [8], hvilket indebærer, at man for at øge lydisoleringen med 6 dB skal fordoble fladevægten af en tung/massiv bygningsdel. De ekstra lydisolerende effekter, som kan opstå i dobbelte konstruktioner, er ikke i spil for de eksisterende tunge bygningsdele selv om facaderne er udført med hulmur. Årsagen er de mange lydbroer ved gennemmuring omkring dør- og vindueshuller samt ved fundamenter og tag. Da en fordobling af fladevægten af en tung/massiv bygningsdel ikke er realistisk i praksis, er det oplagt at øge lydisoleringen ved hjælp af princippet fra dobbeltkonstruktioner. Den tunge facade suppleres således med indvendige forsatskonstruktioner med varierende fladevægt, hulrumstykkelse og grad af fastgørelse.

I projektforløbet opfordrede Miljøstyrelsen til, at der også blev udført forsøg med udvendig facadeisolering, hvilket blev indarbejdet i forsøgsplanen.

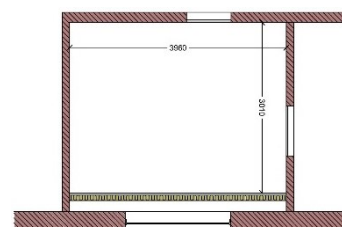


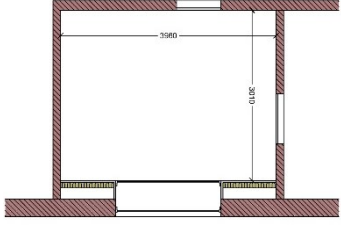
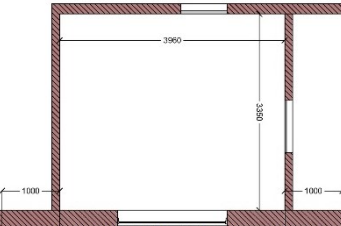
Figur 3. Lodret principsnit i forsøgsbygningen. Tunge konstruktioner markeret med mørk skravering. Den røde cirkel markerer placeringen af de efterfølgende detailsnit.

I en facade er det imidlertid vigtigt også at huske det lydæssigt svage parti, vinduet. Derfor er der også indarbejdet forbedring af et vinduesparti i forsøgsplanen. Den tunge bygningsfacade blev således forsøgt forbedret ved hjælp af alle fire dæmningsprincipper (benævnt I - IV i afsnit 4): Variation af forsatskonstruktionernes masse, stivhed og dybde / tykkelse samt dobbeltkonstruktionsprincippet.


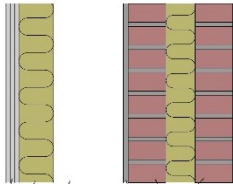
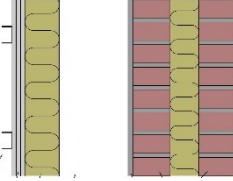
Forsøgene med tunge bygningsdele blev udført i 2 faser:

- Fase 1 omfattede indvendig fritstående/uafhængig forsatskonstruktion og kontrol af målerummene med hensyn til eventuel indflydelse fra omvejstransmission samt forsøg med dæmpning af rumakustik.



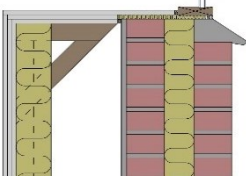
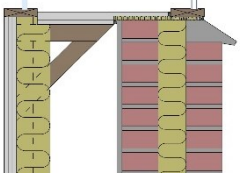
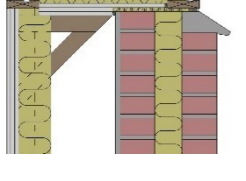
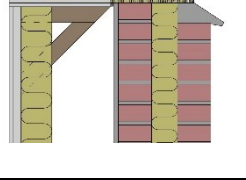
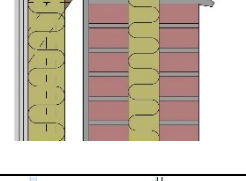
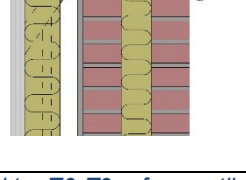
<ul style="list-style-type: none"> Fase 2A omfattede forsøg med indvendigt forsatsvindue 	
<ul style="list-style-type: none"> Fase 2B omfattede forsøg med udvendig facadeisolering 	

Forsøgsplan for tunge bygningsdele er vist i Tabel 2, Tabel 3 og Tabel 4. Detailbeskrivelser af bygningsdele fremgår af Bilag 1: Måleblade, og måleresultater i form af frekvensspektre er vist i afsnit 6.2.

Aktivitet – Fase 1 (tunge bygningsdele)	Spektrum	Detailsnit
Retablering til tæt bygning m/termorude i stue-etagen (åben murventil i facaden)	T1	
Som T1 med lukket murventil i facaden	A	
Fritstående indvendig forsatsvæg (3 lag gipsplade og 300 mm hulrum) - uden indvendigt vindue	T2	
Som T2, loft direkte monteret i målerum (afklaring af omvejstransmission via loftrum)	T3	
Som T3 og ekstra vægbeklædninger omkring målerum (afklaring af omvejstransmission via interne skillevægge)	T4	
Som T4 og ekstra afstivning af fritstående forsatsvæg	T5	

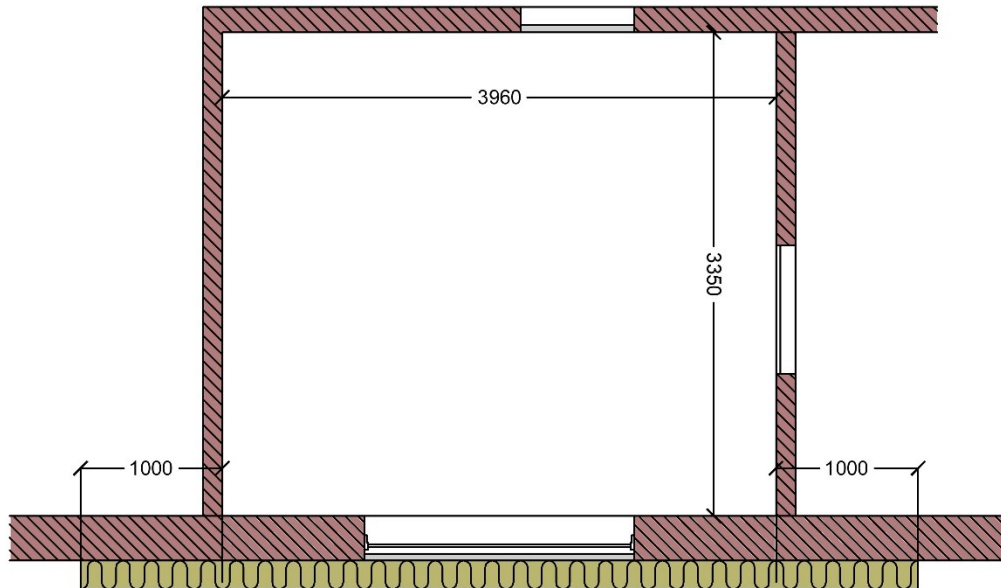
Tabel 2. Forsøgsplan fase 1 for tunge bygningsdele- Bogstavbetegnelse for spektre T1-T5 og A refererer til de efterfølgende frekvensanalyser for indsætningsdæmpning. Spektrum A indgår i genevurderingen.

Forsøgene T3 og T4 i fase 1 blev udført som kontrol af målerummene med hensyn til eventuel indflydelse fra omvejstransmission.

Aktivitet – Fase 2A (tunge bygningsdele)		Spektrum	Detailsnit
Stue-etagen (Væg- og loftbeklædning i målerum)	Fritstående indvendig forsatsvæg (3 lag gipsplade og 300 mm hulrum) med lysningsåbning til facadevindue med almindelig termorude	T6	
	Som T6, fritstående indvendig forsatsvæg samt forsatsvindue m/tung forsatsrude	B	
	Som B, fritstående indvendig forsatsvæg og -vindue m/tung forsatsrude, samt karmabsorbent i mellemrum	T7	
	Som T7, fritstående indvendig forsatsvæg og -vindue samt karmabsorbent i mellemrum m/tung skråtstillet forsatsrude	T8	
	Indvendig forsatsbeklædning (3 lag gipsplade og 150 mm hulrum) med lysningsåbning til facadevindue med almindelig termorude	T9	
	Som T9, indvendig forsatsbeklædning med forsatsvindue m/tung forsatsrude	D	

Tabel 3. Forsøgsplan fase 2A for tunge bygningsdele. Bogstavbetegnelse for spektre T6-T9 refererer til de efterfølgende frekvensanalyser for indsætningsdæmpning. Spektrum B og D indgår i genevurderingen.

I den sidste fase, 2B for de tunge bygningsdele blev den udvendige facadeisolering afprøvet, opbygget i princip som vist på det efterfølgende planudsnit, Figur 4 og Tabel 4.



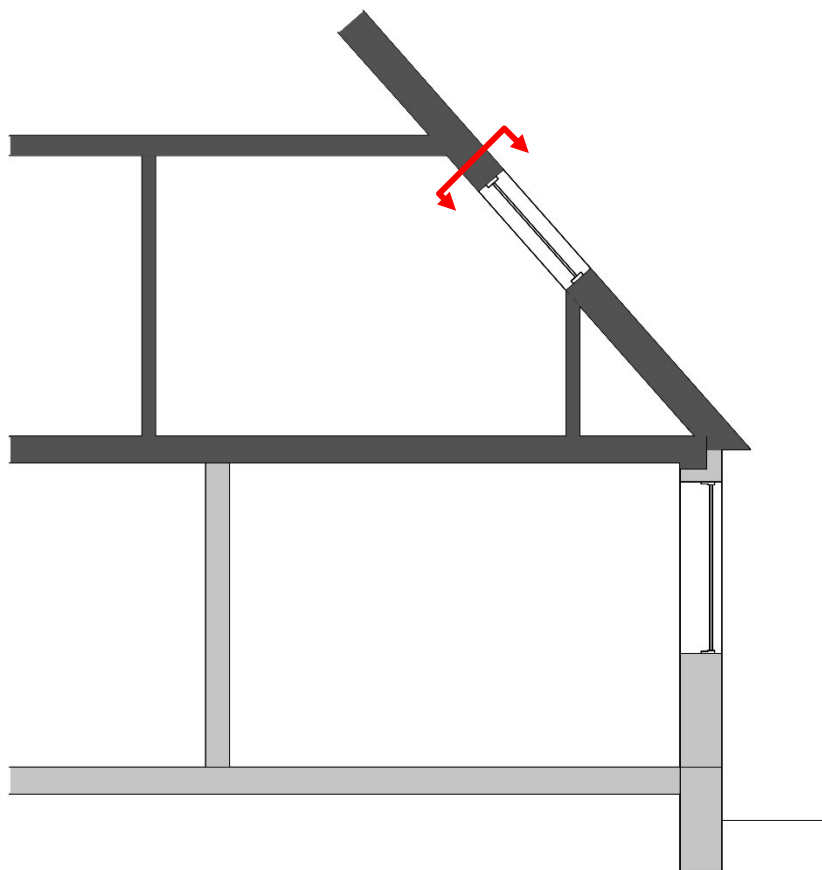
Figur 4. Planudsnit visende placering af udvendig facadeisolering.

Aktivitet – Fase 2B (tunge bygningsdele)		Spektrum	Detailsnit
Stue-etagen (Væg-/loftbekl. i målerum)	Oprindelig tæt bygning med facadevindue med termorude og lukket murventil samt udvendigt afblændet vindue	T10	
	Udvendig facadeisolering Isover Plus system (gipsplade og puds)	T11	
	Udvendig facadeisolering Isover Facadekoncept (puds)	T12	

Tabel 4. Forsøgsplan fase 2B for tunge bygningsdele. Bogstavbetegnelse for spektre T10-T12 refererer til de efterfølgende frekvensanalyser for indsætningsdæmpning.

4.2 Forbedring af lette bygningsdele

Med de lette bygningsdele i forsøgsbygningens 1. sal vil det som udgangspunkt være muligt at øge massen (fladevægten) af disse så meget, at det vil forbedre lydisolationen mærkbart. Dette gælder både lette enkeltkonstruktioner og lette dobbeltkonstruktioner.

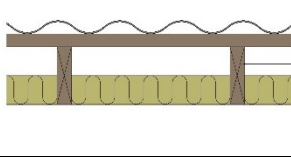
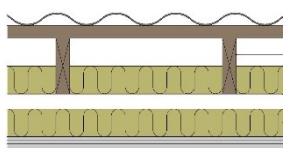
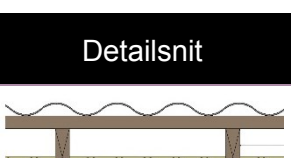
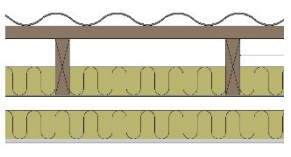
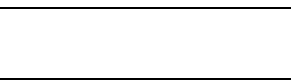
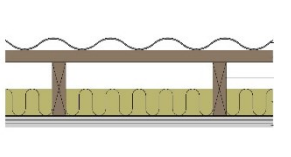
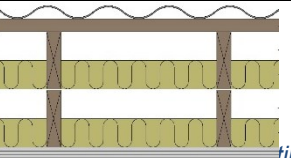


Figur 5. Lodret principsnit i bygningen. Lette konstruktioner markeret med mørk skravering. Den snit-pil cirkel markerer placeringen af de efterfølgende detail-snit

Derfor blev øget masse (princip I, afsnit 4) afprøvet for både de eksisterende bygningsdele og på en forsatskonstruktion.

To af de andre principper III og IV, dvs. øget dybde / tykkelse af hulrum samt adskillelse mellem ydre og indre bygningsdel blev også afprøvet.

Forsøgsplan for lette bygningsdele blev også udført i 2 faser begge med indvendig efterisolering, som vist i Tabel 5. Fase 1 med fritstående forsatskonstruktioner og fase 2 med ændret plademontage og delvist åbent tagvindue. Måleresultaterne i form af frekvensspektre er vist i afsnit 6.3. Detailbeskrivelser af bygningsdele fremgår af Bilag 1: Måleblade.

Aktivitet – Fase 1 (lette bygningsdele)		Spektrum	Detailsnit
1. sal	1. Sal – eksisterende forhold	G	
	Som G, fritstående indvendig forsatskonstruktion (3 lag)	L1	
	Som L1, samt vægbeklædninger omkring målerum (afklaring af omvejstransmission via interne skillevægge)	L2	
Aktivitet – Fase 2 (lette bygningsdele)		Spektrum	Detailsnit
1. sal (Målerum m/vægbekl.)	1. Sal – Fritstående indvendig forsatskonstruktion (1 lag)	L3	
	Oprindelige forhold m/tagvindue på klem (åbent 5 cm)	I	
	Direkte monterede gipsplader på skunk- og skråvægge samt loft	L4	
	Fjernet beklædning på skunk-, skråvæg og loft, samt ny påføring på oprindelige spær (tykkere hulrum) og 3 lag gipsplader på skunk og skråvægge samt loft	L5	

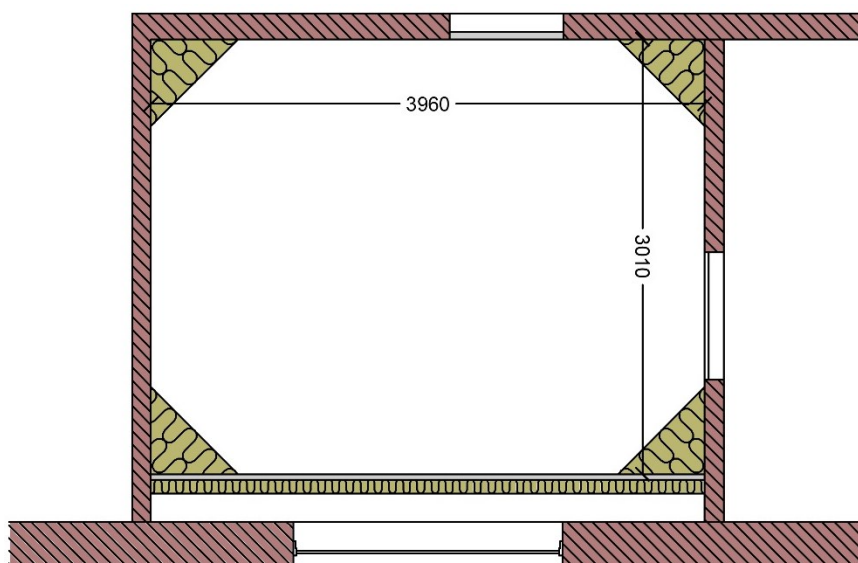
Tabel 5. Forsøgspåsefase 1 og 2 (lette bygningsdele). Bogstavbetegnelse til de efterfølgende...

Forsøg L2 i fase 1 blev udført som kontrol af målerummet.

4.3 Forbedring af rumakustik

Fremgangsmåden, hvor rumakustikken ændres – dvs. efterklangen dæmpes i opholdsrummet bag den tunge facade – blev ligeledes afprøvet i dette projekt ved hjælp af basabsorbenter (lavfrekvente absorbenter).

Princippet er vist på den efterfølgende plantegning af målerummet, Figur 6 Forsøgets beskrivelse fremgår af Tabel 6. Måleresultaterne i form af frekvensspektre er vist i afsnit 6.4.



Figur 6. Plantegning af målerum med princip for placering af basabsorbenter

Aktivitet – Fase 1 (rumakustik)		Spektrum
Stue-etage	Som T5 med supplerende basabsorbenter (i tilknytning til forsøg med ekstra afstivning af fritstående forsatsvæg)	R1

Tabel 6. Forsøg med rumakustisk dæmpning af lavfrekvent støj i opholdsrum

5 MÅLE- OG VURDERINGSMETODER

I det følgende omtales de anvendte metoder til måling og vurdering af de udførte forsøg, herunder også målesystem og gennemførelse af målingerne samt databehandling. I slutningen af afsnittet beskrives henholdsvis de bygnings-akustiske og de psyko-akustiske genevurderinger af de målte data.

5.1 Målemetode og målesystem

I denne undersøgelse er der i lighed med de tidligere undersøgelser ref. [1], [3], [4], [5] og [6] taget udgangspunkt i Miljøstyrelsens orientering om lavfrekvent støj fra 1997 ref. [7] med henblik på valg af målepositioner samt DS/EN ISO 140-5:1998 ref. [9] med henblik på selve metoden for måling af facadeisolation.

Den måletekniske del af opgaven er udført på samme måde som den forrige undersøgelse "Udvidet datagrundlag for danske boligers lydisolations mod lavfrekvent støj" ref. [1].

5.1.1 Mikrofonpositioner

Målingerne foretages med udgangspunkt i Miljøstyrelsens orientering om lavfrekvent støj fra 1997, men suppleres med DS/EN ISO 140-5:1998. Denne standard beskriver bl.a. hvordan man med et højttalersystem kan foretage måling af en facades lydisolations i frekvensområdet fra 50 Hz til 5000 Hz. DS/EN ISO 140-5 foreskriver mindst 5 målepositioner fordelt i rummet. Disse målepositioner er sammenlignelige med de mindst 3 målepositioner beskrevet i Orienteringen fra 1997 plus rettelsesbrev. Det vælges at anvende i alt 5 målepositioner. Dermed opnås væsentlig bedre sikkerhed for at positioner med atypiske støjniveauer kan identificeres og vurderes. Niveauforskellen baseres på middelværdien af indsætningsdæmpningen fra alle gyldige målepositioner i beregning af middelværdien.

Mikrofonpositioner er valgt ud fra følgende kriterier:

- Udvendigt på facade placeres 2 stk. mikrofoner 1,5-2 meter over terræn. Mikrofoner placeres på medbragte "facadeplader", direkte på facaden eller på vinduer, således at mikrofonerne er placeret ud for målerummet – ca. 1 m fra målerummets skillevægges tilslutning til facaden (højre og venstre side).
- Indvendigt i målerummet placeres 5 stk. mikrofoner i forskellige højder – mindst 0,5 fra rummets vægge eller større møbler samt mindst 0,7 meter (helst 2 meter) fra andre mikrofoner. Symmetrilinjer undgås – mikrofoner placeres mindst 20 cm fra symmetrilinjer. Mikrofoner må heller ikke ligge i et plan, som er planparallelt med rummets flader. Det skal undgås at placere mikrofoner i midten af rummet.

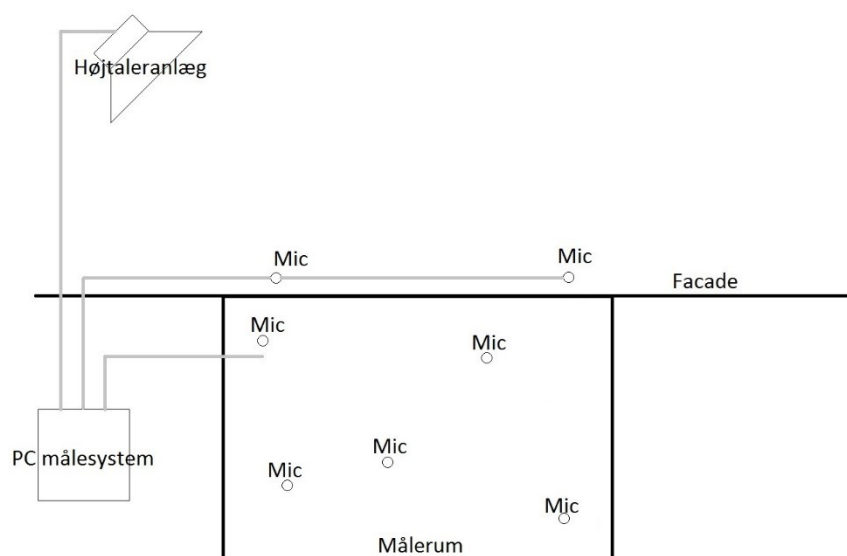
5.1.2 Højttalerposition

Lydkilden var under målingerne placeret på terræn i overensstemmelse med DS/EN ISO 140-5:1998 og de senere analyser og undersøgelser udført af Sweco A/S' afdeling Acoustica ref. [1] og DELTA ref. [10].

Højtaleranlæggets bestykning er beskrevet i afsnit 5.1.3.

Højtaleranlægget er placeret 10 m fra facaden og i en vinkel på 45 grader på facaden ved det rum, hvori målinger foretages. Denne placering er baseret på et kompromis mellem muligt maksimalt lydtryk på facaden samt ensartet lydniveau langs facaden.

Måleopstillingen er vist i Figur 7.

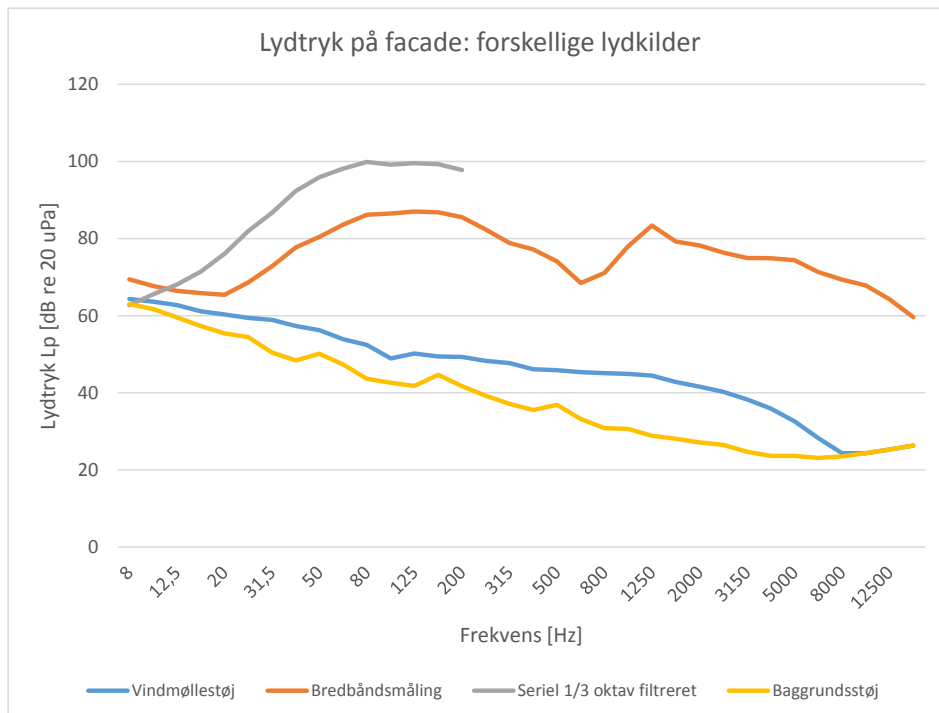


Figur 7. Skitse af måleopstilling

5.1.3 Lydkilde

Som lydkilde anvendtes et højtaleranlæg opbygget af 2 stk modificerede subwooferkabinetter med hver 1 stk 18" enhed og et fuldtone-kabinet indeholdende 1 stk 12" enhed samt 1 stk kompressionshorn. Fuldtone-kabinettet anvendes kun ved målinger i hele spektret og er derfor unldadt ved de lavfrekvente målinger. Hvert kabinet drives af egen effektforstærker, hvor signalet til subwooferkabinetterne er lavpas-filtreret mens signalet til fuldtone-kabinettet er højpas-filtreret. De af subwooferne udsendte lavfrekvente lydtryk varierer ikke mere end de i DS/EN ISO 140-5:1998 tilladte maks. 6 dB.

Dette setup er verificeret i forbindelse med en række testmålinger på DTU-Vind's bygning ved Høvsøre, hvor det også var muligt at måle lydets spektrale sammensætning fra højtalerne og sammenligne den med målinger med en vindmølle. I Figur 8 er vist en sammenligning af lydtrykket fra hhv. vindmøllen og fra højtalersystemet målt på en lodret muret facade. Med målesystemet blev der anvendt både 1/3-oktav filtreret bredbåndet støj hvor 1/3-oktaverne blev afspillet en ad gangen og bredbåndet støj i hele frekvensområdet på en gang. Til sammenligning er også baggrundsstøjen vist. Det fremgår, at lydtrykket fra vindmøllen ligger mere end 10 dB under niveauet fra målesystemet allerede ved 20 Hz og ca. 50 dB under ved 160 Hz.



Figur 8. Sammenligning af lydtryk på facade målt med forskellige lydkilder: Vindmølle hhv. højttaler på terræn (bredbåndet støj og støj pr. 1/3 oktav), for en udnyttet tagetage. Til sammenligning er baggrundstøjen vist. Baggrundstøjen indgår i kurverne for de for vindmøllestøj og højttalerstøj. Kurverne er uden frekvensvægtning (Lineære)

5.1.4 Målesystem

Måleprincipperne er i opgavebeskrivelsen fastlagt til at følge metoderne, der er anvendt ved de tidligere undersøgelser. Derfor er målingerne udført ved anvendelse af et kraftigt højttaleranlæg placeret udendørs hvorigennem der afspilles testsignaler ved forskellige frekvenser. Det udendørs lydniveau bestemmes ud fra 2 målepositioner på facaden (+6 dB måling) samtidig med at det indendørs lydniveau bestemmes ud fra 5 målepositioner fordelt i rummet. Dataopsamling samt generering af testsignaler vil ske gennem et egenudviklet pc-baseret 12 kanals målesystem. Målesystemet er kalibreret og godkendt til akkrediterede støjmålinger.

Det pc-baserede 12 kanals målesystem består af et National instruments cDAQ modul 9174 monteret med 3 stk 4-kanals analog-input-enheder (NI9234) samt en enkelt 2-kanals analog-output-enhed (NI9260). Softwaren hertil er udviklet i Labview. Denne opsætning muliggør samtidig måling i alle mikrofonpositioner. Derved kan den efterfølgende analyse udføres for præcis de samme perioder i alle kanaler, hvilket reducerer usikkerheden på resultaterne af målingerne.

Testsignalerne, der generes i målesystemet og afspilles via højttaleranlægget, er 1/3 oktav filtreret bredbåndet støj med reduceret topfaktor i frekvensområdet 8 Hz til 200 Hz. Signalerne afspilles sekventielt og i 20 sekunder pr frekvensbånd.

Ved målinger gennemføres følgende målesekvens:

- Baggrundstøj, 60 sekunder.

- 1/3- oktavfiltreret bredbåndsstøj med reduceret topfaktor i frekvensområdet 8Hz til 200Hz. Signalerne afspilles sekventielt og i 20 sekunder pr frekvensbånd.
- Baggrundstøj, 60 sekunder.
- Bredbåndsstøj i frekvensområdet 8 Hz til 10 kHz, 60 sekunder. Denne måling foretages for at vurdere signalstøj forholdet i et bredere frekvensområde.
- Baggrundstøj, 60 sekunder.

For hver måling gentages denne sekvens 3 gange. Dette giver mulighed for at sortere måleperioder med kortvarig forstyrrende støj fra i analyserne.

Instrumentliste er vist i Bilag 6: Instrumentliste

5.2 Gennemførelse af målinger

Målingerne er udført efter den i afsnit 5.1 beskrevne metode og for at sikre bedst mulige resultater er der taget højde for flere faktorer før og under målingerne. Disse er:

- Målinger er så vidt muligt udført på dage uden nedbør og med svag eller ingen vind for at minimere baggrundsstøjen.

Målerum samt placering af højtaleranlægget og udendørs mikrofoner er valgt på baggrund følgende kriterier:

- Muligheden for at trække kabler ind i huset via andet rum end målerummet for at undgå læk af lyd gennem åbne vinduer/døre.
- Mulighed for at placere højtaleranlægget som beskrevet i afsnit 5.1.2
- Mulighed for at placere udendørs mikrofoner som beskrevet i afsnit 5.1.1

5.3 Databehandling

5.3.1 Metodebeskrivelse

Formålet med målingerne er at bestemme indsætningsdæmpningen for de forskellige forsøg med forbedring af facader og tagflader baseret på de 2 udendørs målepositioner og de 5 indendørs målepositioner.

Resultaterne af flere målinger af baggrundsstøj og 1/3-oktav filtreret bredbåndsstøj fra målesekvensen midles aritmetisk.

Målingen i de enkelte kanaler korrigeres med de tilhørende resultater for måling af baggrundsstøj. Hvis forskellen på totalstøj og baggrundsstøj er mindre end 1,3 dB skal data udelades. Hvis forskellen er mellem 1,3 dB og 6 dB korrigeres med 1,3 dB, svarende til en forskel på 6 dB. Dette sikrer mod at indsætningsdæmpningen overvurderes på et usikkert grundlag. Ellers korrigeres på energibasis på normal vis.

De 2 udendørs målinger midles på energibasis til et fælles udendørs støjniveau. Der fratrækkes 6 dB da målingerne er udført som + 6 dB målinger med mikrofonerne monteret direkte på facaden, på vinduer eller på en træplade placeret op mod facaden.

For hver kanal beregnes niveaudifferensen i forhold til det fælles udendørs støjni-
veau. Det er herefter muligt at beregne en middel niveaudifferens fra flere måleposi-
tioner ved anvendelse af Reciprocal Power average, som beskrevet nedenfor i neden-
stående formel.

$$I_{avg} = 10 \times \log N - 10 \times \log \left(\sum_1^N 10^{\left(-\frac{I_i}{10}\right)} \right)$$

Hvor N er antal målepunkter og I er indsætningsdæmpningen beregnet i hvert punkt.

5.3.2 Usikkerheder

Et estimat for usikkerheden på måling af indsætningsdæmpningen kan findes i
DS/EN ISO 12999-1 "Akustik – Bestemmelse og anvendelse af måleusikkerheder i
bygningsakustik – Del 1: Lydisolation" 1. udgave 2014-06-12 [12]. Usikkerheden er
givet i 1/3-oktavbånd fra 50 Hz og op og er vist for det lavfrekvente område i Tabel 7.

Frekvens [Hz]	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
σ_{situ} [dB]	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,6	3,2	2,8	2,4	2,0	1,8

Tabel 7. Standard usikkerheder for måling af indsætningsdæmpning. Værdier under 40 Hz er estimeret.

Det fremgår, at usikkerheden på målingerne er mindst ved de højere frekvenser og
bliver større ved de lavere frekvenser.

Måleusikkerheden er således mindst i den høje del af det undersøgte frekvensområ-
de. Dette er gunstigt, da den høje del af frekvensområdet er mest afgørende for be-
regning af det forventede indendørs lavfrekvente vindmøllestøjniveau, som det bl.a.
fremgår af ref. [1] og Bilag 5: Beregnede indendørs vindmøllestøjspektre.

5.4 Bygningsakustiske vurderinger og indendørs vindmøllestøj

De målte niveaudifferenser i frekvensområdet 8 – 200 Hz midles som beskrevet i af-
snit 5.3.1, hvorved indsætningsdæmpningen for det aktuelle forsøg beregnes. Ind-
sætningsdæmpningen for hvert forsøg præsenteres grafisk og i tabelform. Når begre-
bet indsætningsdæmpning anvendes i denne rapport om lydisolation skyldes det
hensynet til sammenlignelighed, da begrebet også blev anvendt i rapporten om udvi-
det datagrundlag for danske boligers lydisolation mod lavfrekvent støj ref. [1].

Derudover præsenteres i enkelte forsøg også resultater af en traditionel værdi for det
vægtede reduktionstal R'_w gældende i frekvensområdet 100 – 3150 Hz. Formålet at
sætte de lavfrekvente resultater af de udvalgte forsøg i relation til det traditionelle
bygningsakustiske værdier, som kendes fra eksempelvis Bygningsreglementets reg-
ler om luftlydisolation.

Endelig er resultaterne af udvalgte forsøg anvendt i kombination, med det formål at beregne den samlede indsætningsdæmpning i praksis af fx et forsatsvindue i en efterisoleret let bygningsdel baseret på måleresultater fra et forsatsvindue i en tung bygningsdel og den lette bygningsdel uden vindue. Når der også er anvendt beregnede resultater, skyldes det, at det ikke var muligt at måle samtlige kombinationer af efterisolerede vægge og vinduer. Fremgangsmåde og mellemresultater for de udførte kombinerede beregninger af indsætningsdæmpning er anført i Bilag 4: Beregnet indsætningsdæmpning for kombinationer af dæmpningsforsøg.

De målte værdier for indsætningsdæmpning er til slut anvendt til beregning af *det forventede indendørs vindmøllestøjniveau* i frekvensområdet fra 10 til 1250 Hz, baseret på et typisk udendørs vindmøllestøjspektrum med et A-vægtet lydtrykniveau på 44 dB, ved bygningen. Dette udendørs spektrum/niveau svarer til gældende støjgrænseværdier i det åbne land ved 8 m/s i 10 meters højde, jf. ref. [2]. Det udendørs vindmøllestøjspektrum er beregnet på basis af et reference-lydeffektspektrum fra vindmøller over 2 MW fra ref. [11] vist i Tabel 8, navnhøjde på 90 m, afstand 500 m med en terrænkorrektion i henhold til bekendtgørelsen ref. [2] ved de laveste frekvenser fra 160 Hz og derunder og med en terrænkorrektion på 1,5 dB ved frekvenser fra 200 Hz og derover.

Frekvens [Hz]	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
L _{WA, 1/3 oktav} [dB]	-61,2	-55,7	-49,5	-44,3	-39,1	-35,3	-31,2	-27,5	-24,4	-20,4	-18,6	-16,7	-15,8
Frekvens [Hz]	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250				
L _{WA, 1/3 oktav} [dB]	-14,7	-13,1	-12,1	-12,1	-10,5	-10,7	-10,8	-10,8	-11,4				

Tabel 8. Standardiseret lydeffektspektrum fra ref.[11] for vindmøller over 2 MW. Spektret er A-vægtet og normaliseret til L_{WA} = 0 dB re 1pW

5.5 Vurdering af genevirkning

De forventede indendørs vindmøllestøjniveauer pr. 1/3 oktav er beregnet på basis af de ovenfor nævnte udendørs vindmøllestøjniveauer hvorfra er trukket indsætningsdæmpning for de forskellige målinger. En oversigt over de aktuelt beregnede forventede indendørs vindmøllestøjniveauer angivet som 1/3-oktav spektre fra 10-1250 Hz er vist i Bilag 5: Beregnede indendørs vindmøllestøjspektre.

Genevirkningen er i ref. [13] vurderet for de 11 indendørs spektre, benævnt spektrum A-K. Se hele rapporten i Appendix A: Rapport om genevurdering. Spektrene repræsenterer dels de eksisterende forhold, dels resultaterne af en række målte og beregnede forbedringsforsøg. De målte spektre A, B, D, G og I er tidligere omtalt i afsnit 4.1-4.3. I Tabel 9 er alle de genevurderede spektre beskrevet.

Spektrum	Bygningsdel og forbedringsforsøg
A	Eksisterende stueetage - muret hus med termorude.
B	Som A med fritstående forsatsvæg, afstand 30 cm og tungt forsatsvindue.
C*	Som B med lavfrekvensabsorbenter i modtagerum.
D	Som A med forsatsbeklædning, afstand 15 cm og tungt forsatsvindue.
E*	Som A med udvendig facadeisolering med gipspladebeklædning og puds samt tungt forsatsvindue
F*	Som A med udvendig facadeisolering med puds samt tungt forsatsvindue
G	Eksisterende 1.sal – bølgeternittag og tagvindue
H*	Som G med isoleret skunkvæg, loft og øget tykkelse af hulrum i tagets skråvæg samt tungt forsatsvindue.
I	Som G med delvist åbent vindue
J*	Som G med direkte monteret gipspladebeklædning samt tungt forsatsvindue
K*	Som G med fritstående forsatskonstruktioner og tungt forsatsvindue.

*Tabel 9. Genevurderede spektre og beskrivelse af bygningsdele. Spektre med * er beregnede mens øvrige spektre er målte.*

I rapporten med genevurderinger, ref. [13] er spektrene bedømt efter tre forskellige metoder: Hørbarhed, hørestyrke og –niveau samt betydning af spektral balance. Det bemærkes, at de dominerende frekvenskomponenter for A-vægtet indendørs vindmøllestøj for de efterisolerede bygningsdele ligger højere end 50-80 Hz.

6 MÅLERESULTATER – KONKRETE FORSØG

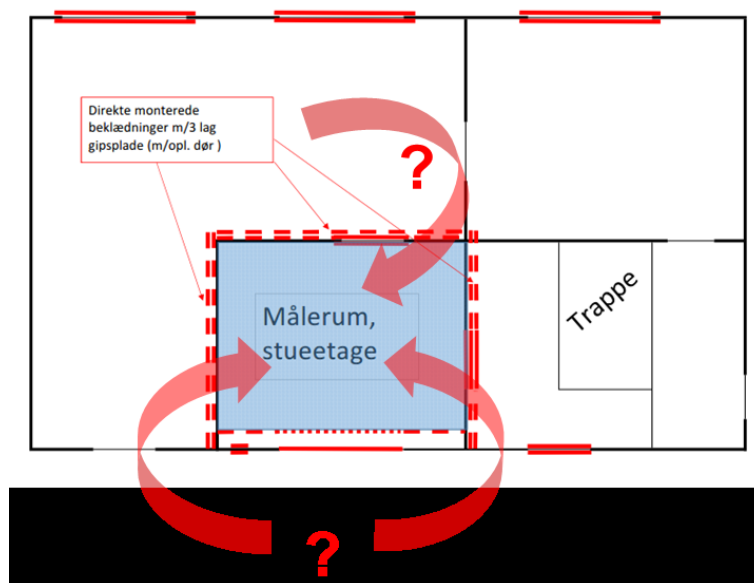
I dette afsnit beskrives resultaterne af de udførte forsøg for henholdsvis tung og let facade samt dæmpning af de rumakustiske forhold i målerummet. Endelig kontrolleres det om forsøgsbygningen er tæt eller tillader omvejstransmission – uden om de afprøvede bygningsdele.

Formålet er at afklare om rummene er egnede til *i sig selv* at måle ændringer i facadernes lydisolations, fordi målefaciliteterne består af rum i eksisterende byggeri.

6.1 Kontrol af målefaciliteterne

Hvis de andre bygningsdele – interne skillevægge og evt. loft – som omgiver målerummet, har ringe lydisolierende egenskaber, er der risiko for at lyden løber uden om facaden såkaldt omvejstransmission.

Det vil være uheldigt – og uønsket – eftersom det kun er facaden, der skal testes, se illustrationen på Figur 9.



Figur 9. Planskitse af stueetagen - med den tunge facade, hvor mulige veje for omvejstransmission via interne skillevægge er vist

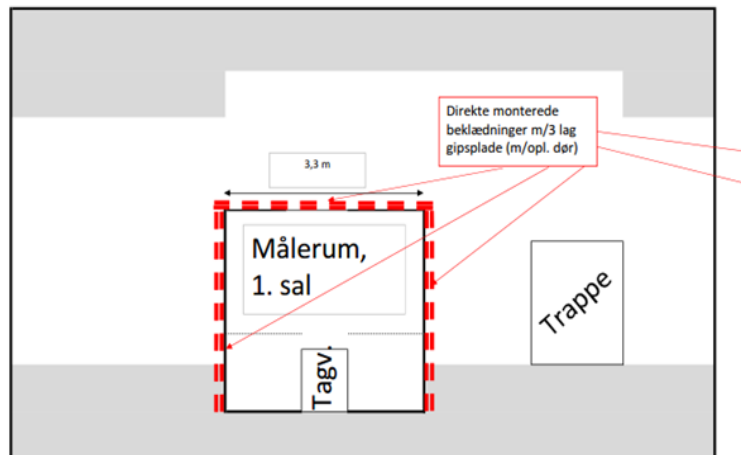
For den tunge facade er kontrol af omvejstransmission via loft og interne skillevægge vist i Figur 27, Bilag 3: Supplerende analyser.

Delkonklusion: Med en tung facade, tunge interne skillevægge og træetageadskillelse fungerer bygningen tilstrækkeligt lydisolerende i sig selv – også ved lave frekvenser.

For den lette facade i tagetagen er der udført tilsvarende forsøg med supplerende isolering af interne skillevægge som vist på Figur 10.

Kontrol af omvejstransmission via interne skillevægge er vist i Bilag 3: Supplerende analyser.

Delkonklusion: De lette interne skillevægge på bygningens 1. sal påvirker i nogen grad resultaterne ved lave frekvenser (25 og 31,5 Hz) samt over 60 Hz.

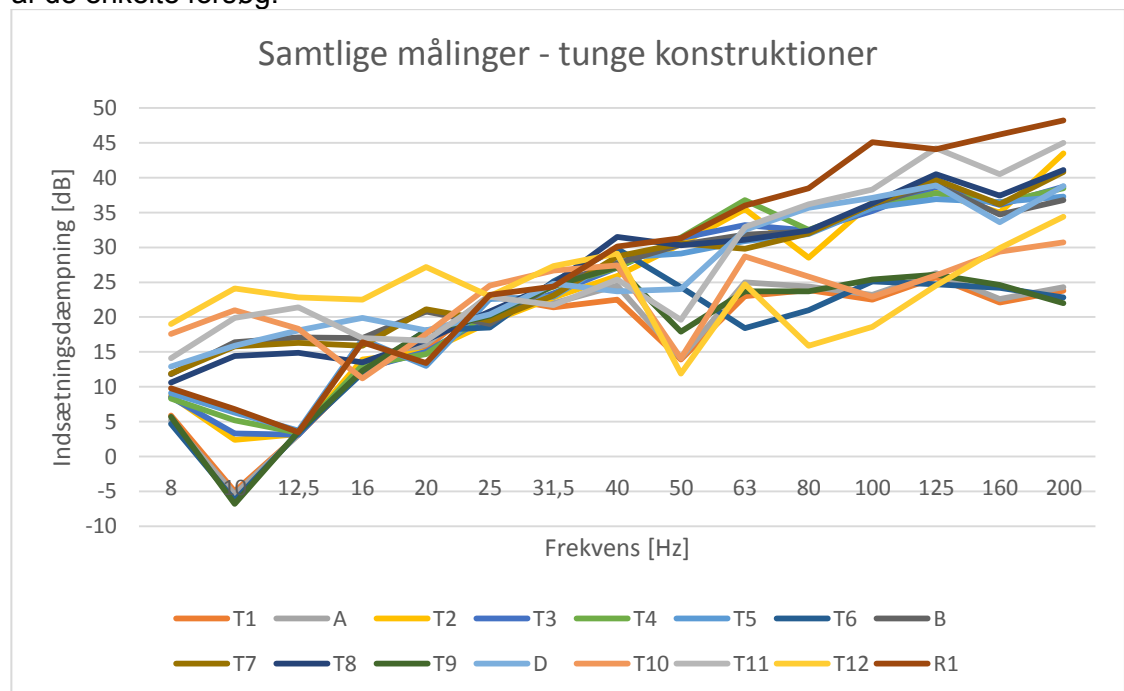


Figur 10. Planskitse af 1. salen - med den lette facade, hvor mulige veje for omvejstransmission via interne skillevægge er vist

6.2 Forbedring af tunge bygningsdele

Måleresultaterne for alle målinger på tunge bygningsdele er vist i Bilag 1: Måleblade (T1-T12 og R1), hvor der også findes detaljerede beskrivelser af de udførte forbedringsforsøg.

I Figur 11 er indsætningsdæmpningen vist for alle udførte målinger. Selvom kurverne forløber i grupper, er det nødvendigt at opdele resultaterne, for at vurdere virkningen af de enkelte forsøg.



Figur 11. Indsætningsdæmpning for samtlige målinger på tunge konstruktioner

Umiddelbart synes der at være nogle fællestræk for nogle af kurverne, eksempelvis dykkene ved 10 og 50 Hz. Ved 10 Hz er det følgende tre målinger, som har negativ indsætningsdæmpning: T1, A og T6, dvs. målinger hvor vinduet i den eksisterende facade er synligt indefra og dermed frit kan udstråle lyd. De mest markante dyk i kurverne ved 50 Hz findes i målingerne T1, A, T9, T10, T11 og T12. I alle disse målinger er vinduet i den eksisterende facade også synligt på samme måde som ved 10 Hz. I de tre sidste målinger er facadevinduet dog afblændet udvendigt og derudover med udvendig facadeisolation på de to sidste målinger.

Andre fællestræk i Figur 11 er de relativt høje værdier af indsætningsdæmpning i frekvensområdet fra 8-12,5 Hz for en tredje gruppe af målinger (B, T7, T8, D, T10, T11, T12) og fra 63 – 200 Hz for en fjerde gruppe (T2, T3, T4, T5, B, T7, T8, D, T11). Umiddelbart er målingerne B, T7, T8, D og T11, (dvs. forsøg med forsatsvæg og tungt forsatsvindue samt tung udvendig facadeisolering) med i begge grupperne og har høje værdier for indsætningsdæmpning i både den lave og den højere ende af det undersøgte frekvensinterval 8-200 Hz. Endelig er der i Figur 11 en tendens til at alle kurverne ligger meget tæt omkring 25 og 31,5 Hz. Da kurverne efter forbedringer ikke løfter sig, opnås der stort set ingen effekt af forbedringsforsøgene ved disse frekvenser. En nærmere beskrivelse vil blive givet i forbindelse med gennemgangen af de enkelte målinger.

6.2.1 Mulige akustiske årsager til fælles kurveforløb

Dykket ved 10 Hz skyldes den laveste egenfrekvens ($f_{1,1}$) i termorudens glasplader, der kan beregnes ud fra følgende udtryk:

$$f_{m,n} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left[\left(\frac{m}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n}{l_y}\right)^2 \right] \text{ enhed Hz, hvor}$$

c_0 er lydens hastighed i luft [344 m/s ved stuetemperatur]

f_c er den kritiske frekvens for pladematerialet ($f_c = K_c/h$, hvor K_c er 12 [m*Hz] for glas og 32-40 [m*Hz] for gipsplader, h er pladens tykkelse i [m])

l_x og l_y er glaspladens dimensioner [m] (i dette tilfælde 1,185m og 1,83m)

m og n er heltal (1,2,3...)

Når der optræder egenfrekvenser i lydisolerende konstruktioner vil deres eftergivelse være større og deres evne til at lydisolere være mindre ved disse frekvenser.

Dykkene i kurverne ved 50 Hz er som nævnt alle relaterede til målinger, hvor facadevindue er synligt indefra og derfor kan egenfrekvenser i pladefelterne (glas, gips og udvendig facadeisolering) også spille en rolle her. I så fald skulle årsagen være en af de lidt højere egenfrekvenser $f_{2,3}$, der for 4 mm glas kan beregnes til ca. 49 Hz. Umiddelbart kan dykkene ved 50 Hz ikke forklares ved resonansfrekvensen i hulrummet mellem de to glaslag i termoruden, der for en 4-12-4 rude kan beregnes til 245 Hz ved hjælp af følgende udtryk:

$$f_m = \left[\frac{\rho_0 c_0^2}{4\pi^2 d} \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \right) \right]^{1/2} \text{ enhed Hz, hvor betegnelserne er som ovenfor og}$$

ρ_0 er luftens densitet [kg/m³], (ca. 1,2 kg/m³)

d er afstanden mellem de to flademasser (glassene) [m], (0,012 m)

m_1 og m_2 er flademassen af hver af de to glaslag [kg/m²], (10 kg/m²)

Forklaringen på de næsten ens værdier af indsætningsdæmpning omkring 25 og 31,5 Hz findes sandsynligvis i resonansfrekvenser i kombination af murværk og forsatsvægge[‡] samt i facadevindue og tungt forsatsvindue.

Endelig vil enkelte egensvingninger i målerummet også influere på resultaterne ved de aktuelle lave frekvenser. Ved frekvenser over f_s , Schrøders grænsefrekvens vil egensvingninger i rum normalt ikke give problemer, da denne frekvens angiver den nedre grænse for, hvornår man kan regne med at lydfeltet i målerummet er diffust. Dvs. at der er så mange egenfrekvenser i hvert 1/3-oktav bånd at de ikke dominerer – og derudover vil lydfeltet ikke være præget af nogle dominerende retninger.

Schrøders grænsefrekvens beregnes af følgende udtryk:

$$f_s = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}} \text{ enhed sek.}, \text{ hvor}$$

T er efterklangstiden [sek.]

V er volumnet af målerummet [m^3]

Med de aktuelle data for målerummet ($T \approx 1,4$ sek. jf. sidste side i Bilag 1: Måleblade, og $V = 30,9 \text{ m}^3$) fås $f_s = 426$ Hz.

Målerummet er således ikke diffust i det aktuelt undersøgte frekvensområde 8-200 Hz, men vil være præget af egensvingninger og egenfrekvenser.

Egenfrekvenser i rum kan beregnes efter udtryk som ligner det tidligere udtryk for egensvingninger i plader:

$$f_n = \frac{c_0}{2} \left[\left(\frac{n_x}{l_x} \right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y} \right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ enhed Hz, hvor betegnelserne er som tidligere og}$$

l_x , l_y og l_z er rummets dimensioner [m] (i måling A 3,96m, 3,35m og 2,33m)

n_x , n_y og n_z er heltal.

Som det ses i Tabel 1 forekommer følgende 7 egenfrekvenser, f_n under 100 Hz:

f_n [Hz]	43,4	51,3	73,8	67,3	85,6	89,9	86,9
n_x	1	0	0	1	1	0	2
n_y	0	1	0	1	0	1	0
n_z	0	0	1	0	1	1	0

Tabel 10. Beregnede egenfrekvenser for det kasseformede målerum

Da der både er en egensvingning i rummet og i vinduesglasset omkring 50 Hz er det en plausibel forklaring på det markante dyk ved 50 Hz.

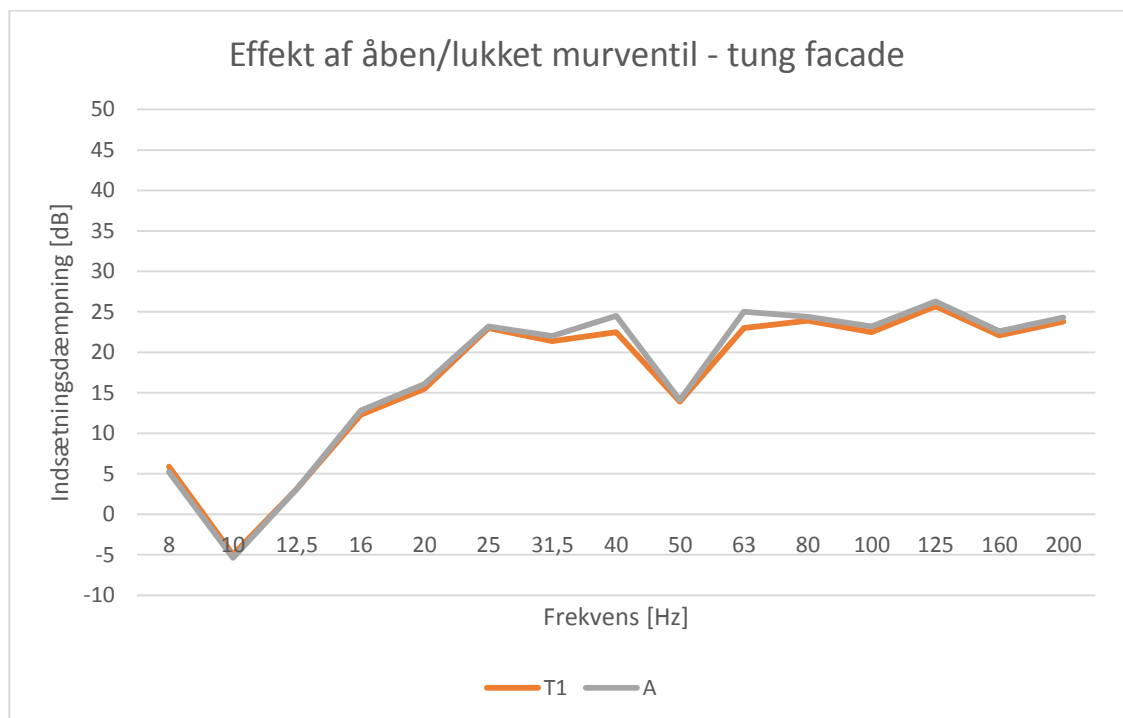
Det skal tilføjes, at ved frekvenser under den laveste egenfrekvens vil lydfeltet i teorien optræde som et trykkammer, med næsten ens lydtryk i hele rummet.

[‡] Resonansfrekvensen for murværk og forsatsvægge er ca. 20 og 30 Hz for 30 og 15 cm afstand, med m_1 og m_2 for murværk og gipsvægge på henholdsvis 350 og 30 kg/m^2) og for det tunge forsatsvindue ca. 30 Hz med ca. 40 cm afstand, med m_1 og m_2 for 16 mm 2x4mm glas på henholdsvis 40 og 20 kg/m^2

6.2.2 Forsøg – lille utæthed

Det første forsøg blev udført for at afklare, hvilken betydning en murventil har på den lavfrekvente indsætningsdæmpning. Der blev derfor efter retablering/tætning af bygningen og montering af standard termorude i facaden udført målinger med henholdsvis åben og lukket murventil.

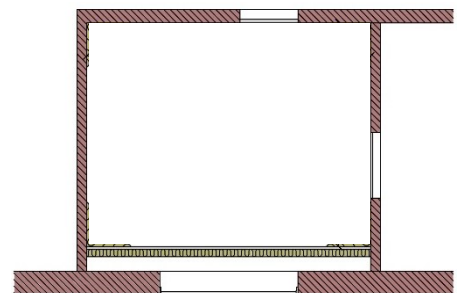
Resultatet af dette forsøg kan ses på Figur 12, og det fremgår, at det i praksis ikke betyder noget for den lavfrekvente indsætningsdæmpning af den oprindelige facade om en murventil er åben eller lukket. Dette resultat er ikke umiddelbart, hvad der kunne forventes, eftersom den normale lydisolations – angivet ved det vægtede reduktionsstal, R'_w i det bygningsakustiske frekvensområde fra 100-3150 Hz - sædvanligvis er meget følsom over for utætheder i en konstruktion. Det vægtede reduktionsstal, R'_w forøges da også med 6 dB fra 32 til 38 dB, når murventilen lukkes, som det fremgår af Figur 12.



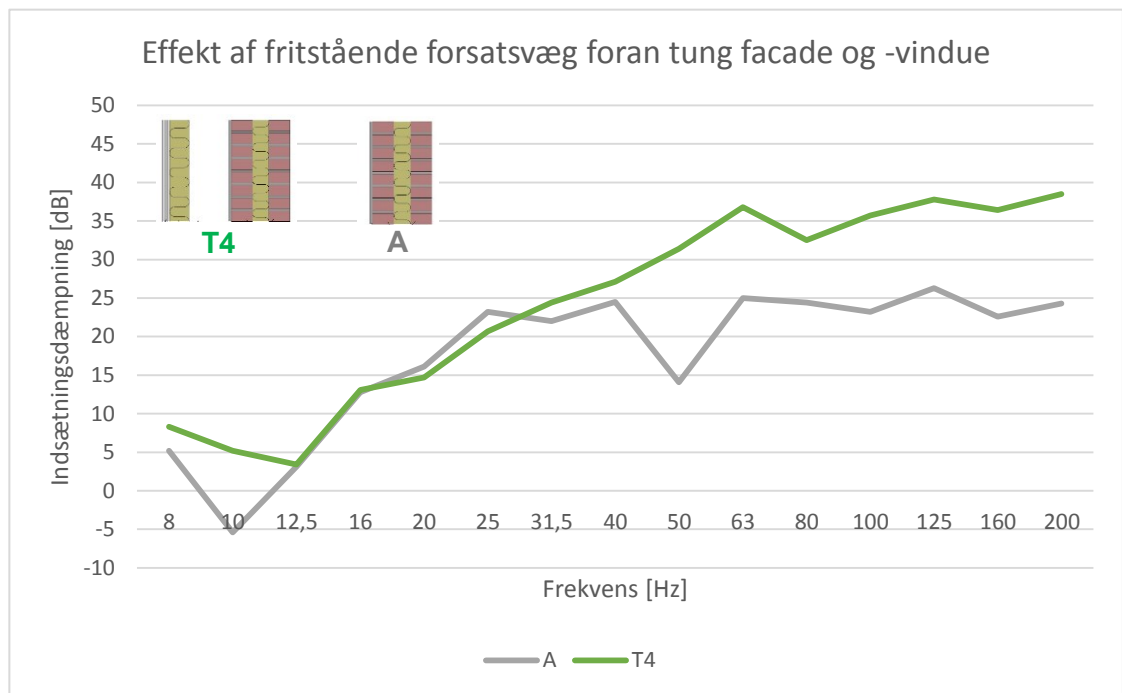
Figur 12. Indsætningsdæmpning for tung facade med alm. termorude og åben/lukket murventil

6.2.3 Forsøg – fritstående forsatsvæg samt afstivning

Næste forsøg omfattede den bedst tænkelige indvendig isolering i form af en fritstående tung forsatsvæg med god afstand og glasuld i hulrummet dækkende hele facaden – også vinduet.

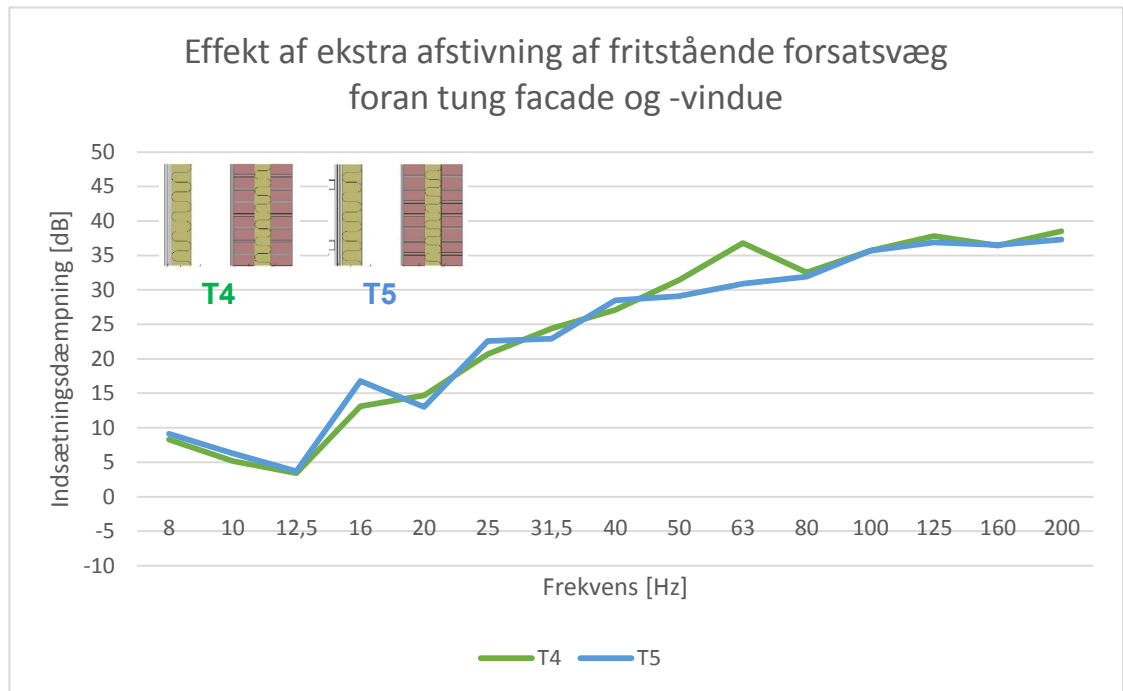


Resultatet ses på Figur 13. Sammenlignet med udgangspunktet er der en betydelig effekt af den fritstående forsatsvæg. Mere end 10 dB's forbedring ved frekvenser over 50 Hz og ca. 10 dB omkring 10 Hz. Til sammenligning kan nævnes, at den fritstående forsatsvæg forøger den normale lydisolations angivet ved det vægtede reduktionstal, R'_w med ca. 20 dB, fra 38 til ca. 58 dB.



Figur 13. Indsætningsdæmpning for tung facade og -vindue afblændet med indvendig fritstående forsatsvæg

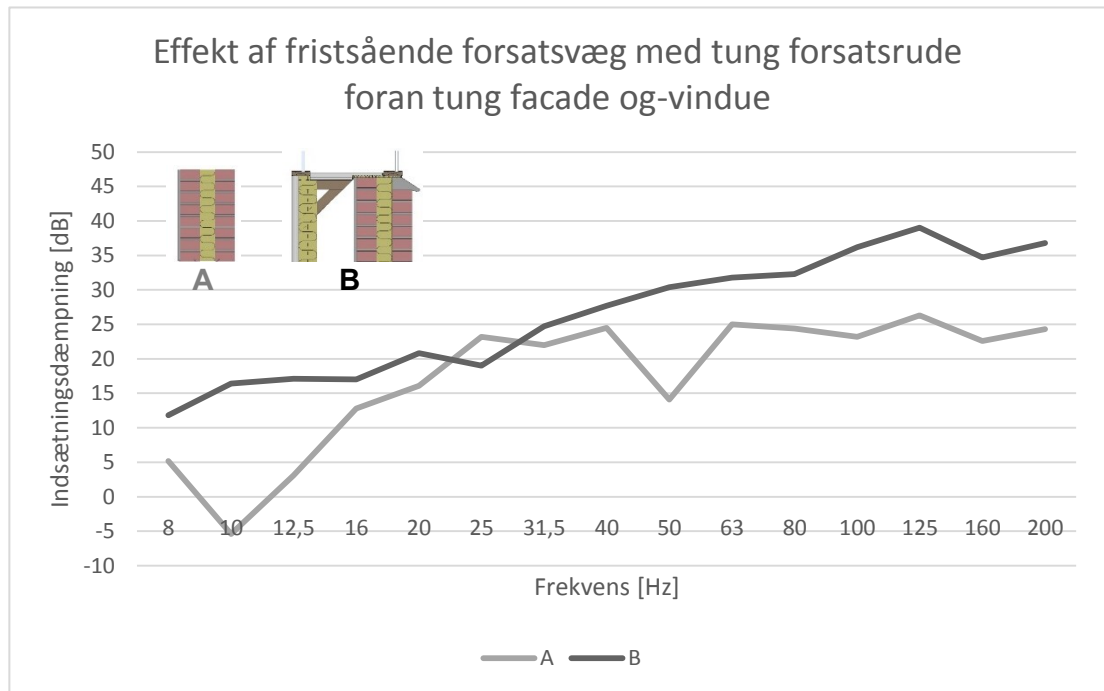
Som nævnt i afsnit 4.1 blev der også udført et forsøg med ekstra afstivning af den fritstående forsatsvæg. Resultatet kan ses på Figur 14, hvoraf det fremgår, at der er en lille og negativ effekt på den lavfrekvente indsætningsdæmpning af at afstive forsatsvæggen yderligere. Det kan således ikke anbefales at øge stivheden af forsatskonstruktioner, hvis formålet er at forøge lydisolationen ved de helt lave frekvenser.



Figur 14. Indsætningsdæmpning for tung facade og -vindue afblændet med indvendig fritstående forsatsvæg med ekstra afstivning

6.2.4 Forsøg – tung forsatsrude i forsatsvæg samt karmabsorbent/skråstillet glas

Forsøg med en praktisk anvendelig forsatsløsning vil indeholde et vindue i den fritstående forsatsvæg. For at sikre god lydisolations ved de meget lave frekvenser skal der monteres et tungt forsatsvindue i forsatsvæggen. Resultatet af forsøget med en 16 mm rude er vist på Figur 15, og det fremgår, at der generelt er en betydelig positiv effekt af forsatsvæg og den tunge forsatsrude. Ved de laveste frekvenser, 8-12,5 Hz endog en større forbedring end med den fritstående forsatsvæg alene, som det kan ses ved en sammenligning med grafen i Figur 13.



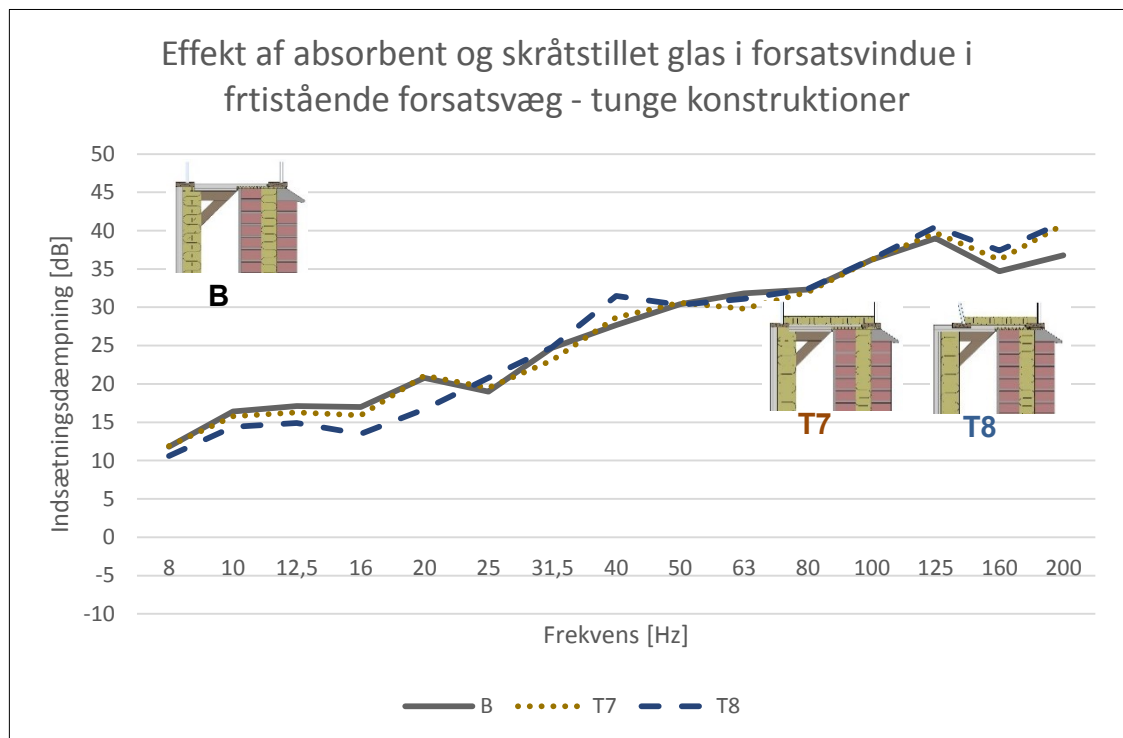
Figur 15. Indsætningsdæmpning for tung facade og -vindue samt indvendig fritstående forsatsvæg med tung forsatsrude.

De lydisolerende egenskaber af forsatsvinduer kan i nogle konstruktioner forbedres ved at indbygge absorbenter i karmene mellem forsatsruden og det oprindelige vindue. Derved dæmpes lydfeltet i mellem de to vinduer og dette kan forbedre lydisolationen. Ligeledes arbejder man i lydstudie-vinduer med at skråtstille ruderne (vinkle dem om en vandret akse) blandt andet for at forøge lydisolationen.

Effekten ved de helt lave frekvenser kendes ikke og derfor blev effekten af karmabsorbenter og skråtstillet glas afprøvet.

Resultaterne af disse forsøg er vist på Figur 16 sammen med det normale facadevindue. Det ses, at karmabsorbenter har negativ indflydelse på indsætningsdæmpningen ved de laveste frekvenser og effekten af skråtstillet glas er generelt meget beskedent - i visse frekvensområder endog negativ.

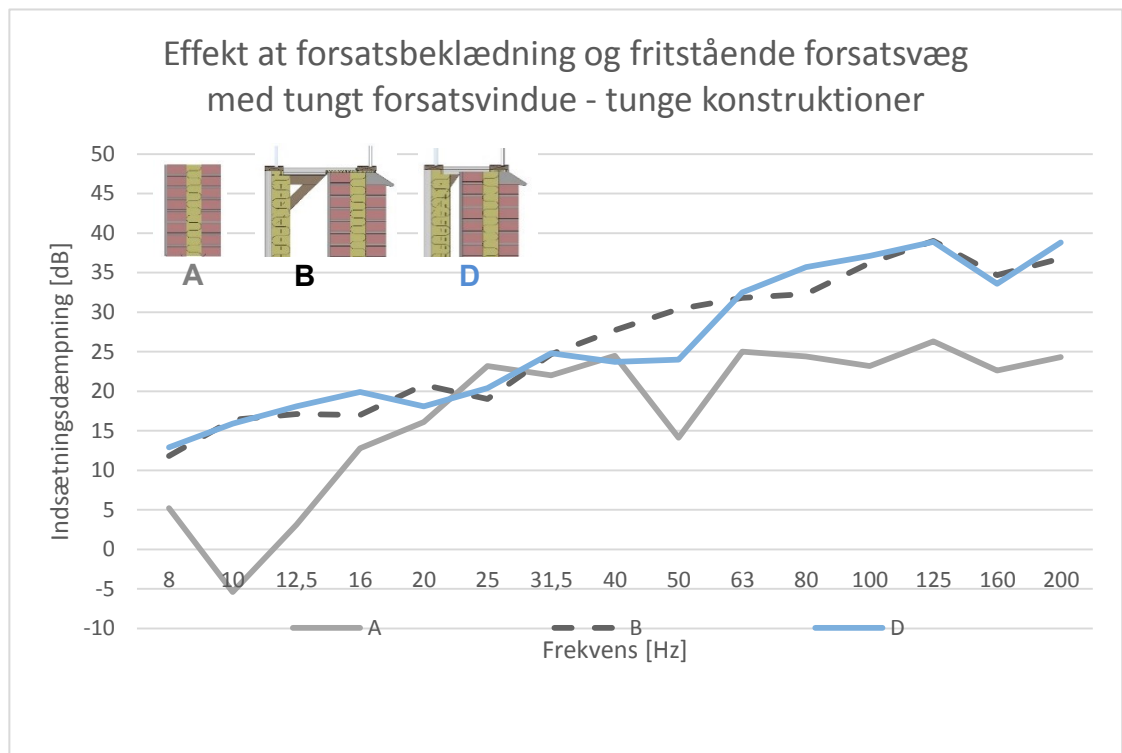
Til forøgelse af den lavfrekvente lydisolation kan det på denne baggrund ikke anbefales at udføre karmabsorbenter eller at stille forsatsruder på skrå.



Figur 16. Indsætningsdæmpning for tung facade og -vindue samt indvendig fritstående forsatsvæg med tung forsatsrude, som er forsøgt forbedret med karmabsorbenter og skråtstillet glas.

Et enklere alternativ til en fritstående forsatsvæg er en forsatsbeklædning, der er en forsatsvæg, som har kontakt til facaden via et lægtesystem. Dette blev afprøvet i et forsøg, hvor den samlede tykkelse af forsatsbeklædning blev reduceret (fra ca. 340 mm til 190 mm), så gulvarealet i det lydisolerede rum ikke reduceres for meget.

Der er udført forsøg med forsatsbeklædning med og uden tungt forsatsvindue. Resultatet med det tunge forsatsvindue er vist på Figur 17 sammen med den oprindelige facade. Til sammenligning er også den fritstående forsatsvæg med tungt forsatsvindue vist. Det fremgår, at de to typer af forsatsvægge med forsatsvinduer udviser sammen positive forløb af forbedring af den lavfrekvente lydisolation. Fra 8 – 31,5 Hz fungerer de to forsatsvægge stort set lige godt, og kun ved 40 og 50 Hz er den fritstående forsatsvæg op til ca. 6 dB bedre end forsatsbeklædningen.



Figur 17. Indsætningsdæmpning for tung facade og -vindue samt indvendig forsatsvæg (-beklædning og fritstående) og tung forsatsrude,

Hvis der blot er etableret et hul i forsatsvæggene til det oprindelige facadevindue, vil en betydelig del af lydenergien udefra transmitteres via dette vindue. Facadevinduet bliver derved det svageste led i den lydisolerende konstruktion. Effekten af forsatsvægge med åbning til det oprindelige facadevindue sammenlignet med det oprindelige tætte hus er vist på Figur 29 i Bilag 3: Supplerende analyser. Der er stort set ingen effekt af forsatsvæggene – kun ved 31,5 – 50 Hz er der opnået en dæmpningseffekt. Ved enkelte frekvenser er effekten negativ. Det er således altafgørende, at vinduerne også lydisoleres.

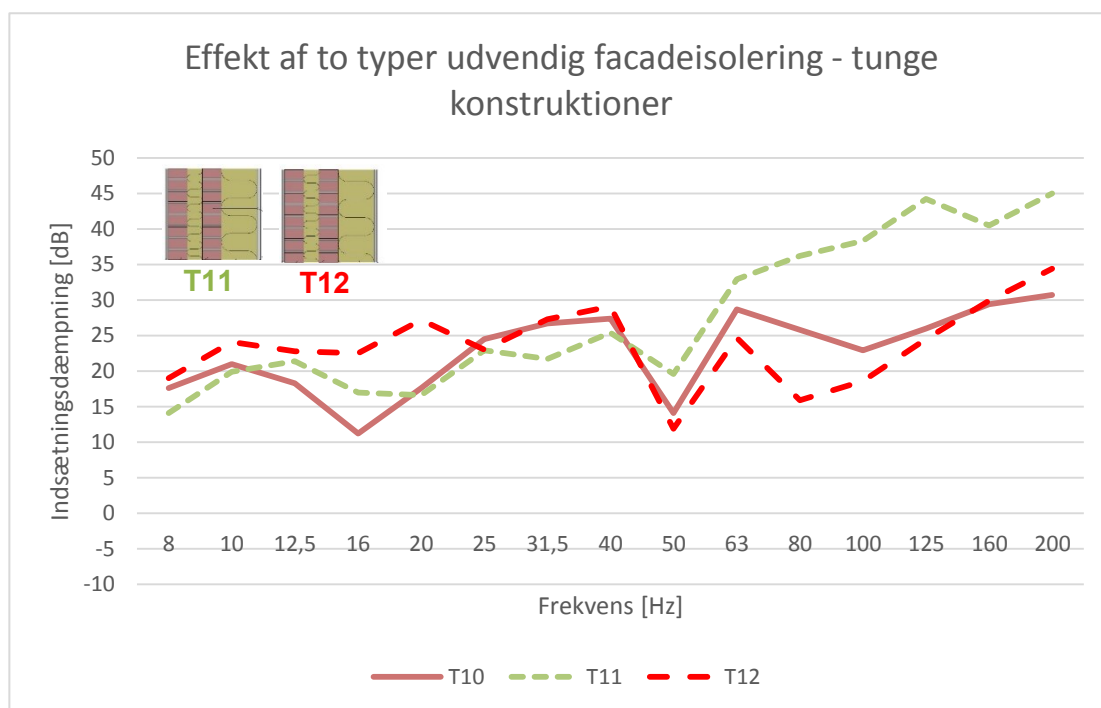
6.2.5 Forsøg – udvendig facadeisolering

Afslutningsvist blev der udført forsøg med udvendig facadeisolering. Dette forsøg måtte udføres i forenklet udgave af praktiske og økonomiske hensyn. Der blev således udført udvendig facadeisolering foran hele facaden inklusive én meter ekstra bredde, se Figur 4 for at undgå flanketransmission via ikke-afdækkede facadedele. Facadeisoleringen dækkede således også facadevinduet. Da vinduer er et svagt led i relation til lydisolation, har det været nødvendigt at afblænde facadevinduet inden den udvendige facadeisolering blev monteret. På denne måde var det muligt at måle den lydisolerende effekt af den udvendige facadeisolering alene. Senere vil det blive beregnet, hvilken ændring af den lydisolerende effekt det vil have at montere et tungt forsatsvindue i de udvendigt isolerede facader, se Bilag 4: Beregnet indsætningsdæmpning for kombinationer af dæmpningsforsøg.

Der blev afprøvet to udvendige facadeisoleringssystemer:

- T11: 200 mm glasuld monteret med isolerende lægter, 2 vindtætte afdækningsplader og yderst en puds bærende gipsplade samt finish-puds (Isover Plus system)
- T12: 200 mm glasuld limet til facaden, armeringsmørtel og -net samt finish-puds (Isover Facadekoncept)

Resultatet af de udførte forsøg med udvendig facadeisolering er vist på Figur 18. Det fremgår, at udvendig facadeisolering generelt har en positiv effekt på indsætningsdæmpningen. Facadeisolering med gipsplader og puds er – som forventet med den øgede vægt – generelt mest effektiv. Dette er tilfældet ved frekvenser fra 50 Hz og oppefter. Ved frekvenser under 50 Hz forøger den lettere facadeisolering med puds alene indsætningsdæmpningen mere end den tunge facadeisolering, hvilket er bemærkelsesværdigt.



Figur 18. Indsætningsdæmpning for tung facade med afblændet vindue samt to typer af udvendig facadeisolering – foran facade og blændet vindue

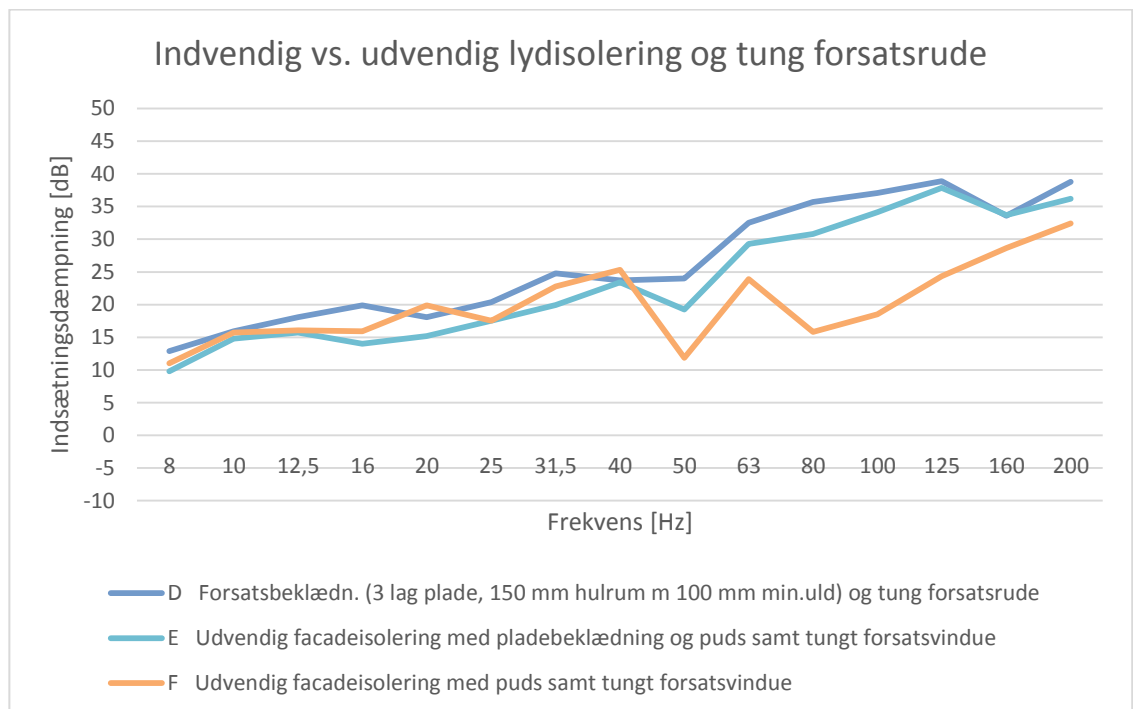
En vurdering af, hvordan de to facadeisoleringssystemer vil påvirke det forventede indendørs vindmøllestøjniveau og den oplevede gene, forudsætter at der er et vindue i facaden, hvilket der som nævnt er regnet på i Bilag 4: Beregnet indsætningsdæmpning for kombinationer af dæmpningsforsøg og i Bilag 5: Beregnede indendørs vindmøllestøjspektre.

Efter at have målt på både indvendig og udvendig lydisolering kunne det være interessant at sammenligne resultaterne for de to metoder. Dette kræver, at man sammenligner datasæt med samme forudsætninger, i dette tilfælde forsatskonstruktioner med tung forsatsrude, som jf. ovenfor også er relevante for den oplevede genevirkning indendørs.

I Figur 19 sammenlignes indsætningsdæmpning for konstruktioner med tung forsatsrude:

- Indvendig forsatsbeklædning, (målt spektrum D)
- To udvendige facadeisoleringssystemer med pladebeklædning/puds og henholdsvis puds yderst (beregnete spektre E og F).

Sammenligningen viser, at den tunge udvendige facadeisolering lydisolerer 2-5 dB *mindre* end den indvendige forsatsbeklædning ved frekvenserne 50 – 100 Hz, men 2-5 dB *mere* ved frekvenser fra 31,5 Hz og derunder.

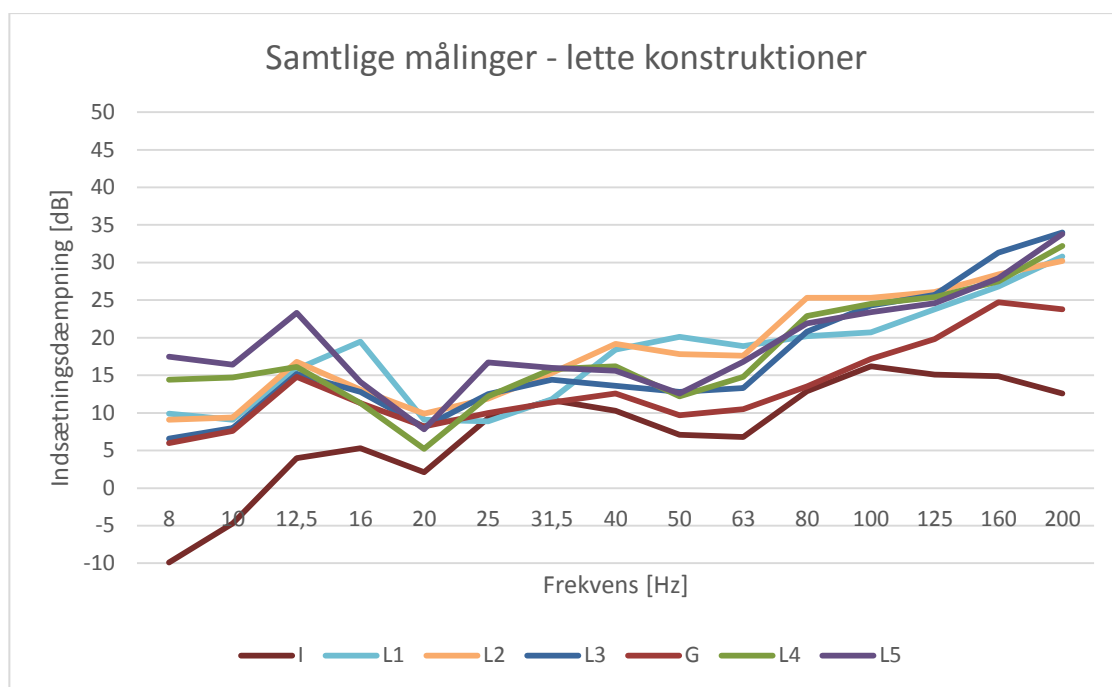


Figur 19. Sammenligning af indsætningsdæmpning for indvendig lydisolering med tung forsatsrude (målt) og udvendig lydisolering i to udgaver, med tung forsatsrude (beregnet)

6.3 Forbedring af lette bygningsdele

Måleresultaterne for alle målinger på lette bygningsdele er vist i Bilag 1: Måleblade (G, I og L1-L5), hvor også en detaljeret beskrivelse af de udførte forbedringsforsøg er anført.

I Figur 20 er indsætningsdæmpningen vist for alle udførte målinger. Da kurverne forløber tæt er det også her nødvendigt at opdele resultaterne for at vurdere virkningen af de enkelte forsøg.



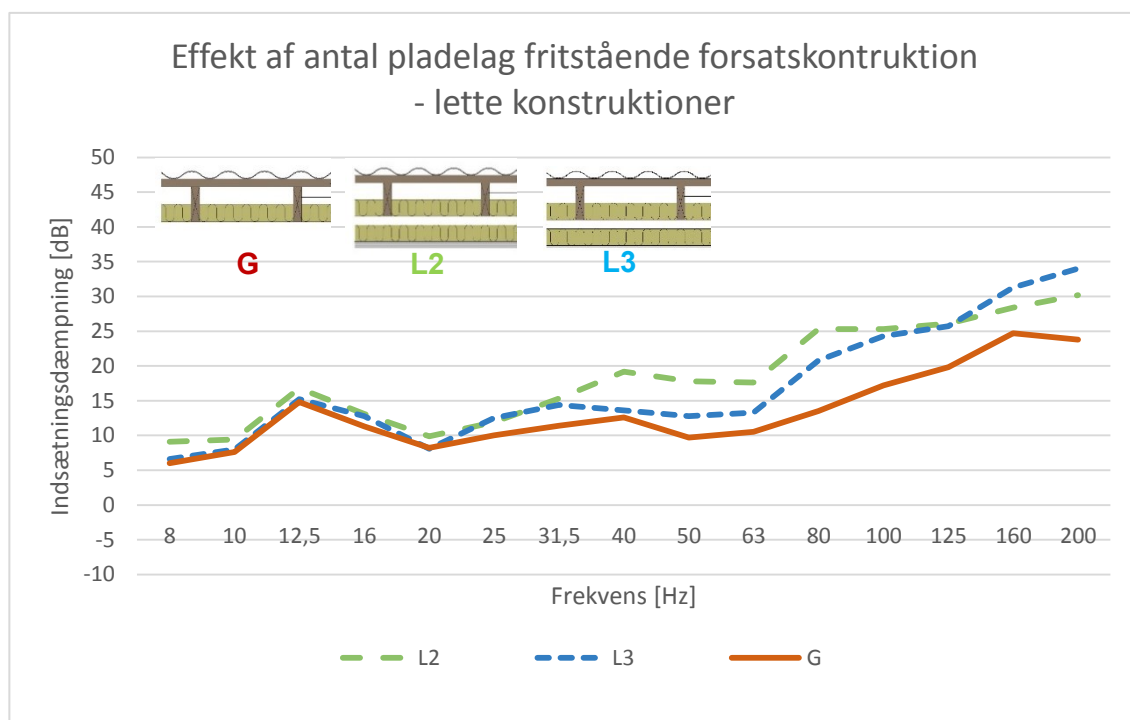
Figur 20. Indsætningsdæmpning for samtlige målinger på lette konstruktioner

Indledningsvis kan det konstateres, at der er et fællestræk for kurverne, idet alle målinger har et dyk ved 20 Hz. Dette dyk kan have samme årsag som ved den tunge facade, nemlig en egensvingning i tagvindues glasflader, men det er ikke sikkert at dette er den eneste årsag, da tagvinduet også blev afdækket i en del af forsøgene (L2-L5).

6.3.1 Forsøg – fritstående forsatskonstruktion og varierende antal gipspladelag

Første forsøg med den lette bygningskonstruktion var at etablere en fritstående forsatsvæg og –loft foran eksisterende skunkvæg, skråvæg og loft. Der blev anvendt 3 lag gipsplade og et moderat hulrum på 150 mm isoleret med 100 mm glasuld. Senere blev der målt med 1 lag gipsplade.

Resultatet af disse målinger sammenlignet med udgangspunktet er vist på Figur 21, hvoraf det fremgår, at der er en positiv effekt på 7 – 10 dB af de 3 gipspladelag i frekvensintervallet 40 – 80 Hz. Med 1 lag gipsplade er effekten ca. 5 dB lavere.

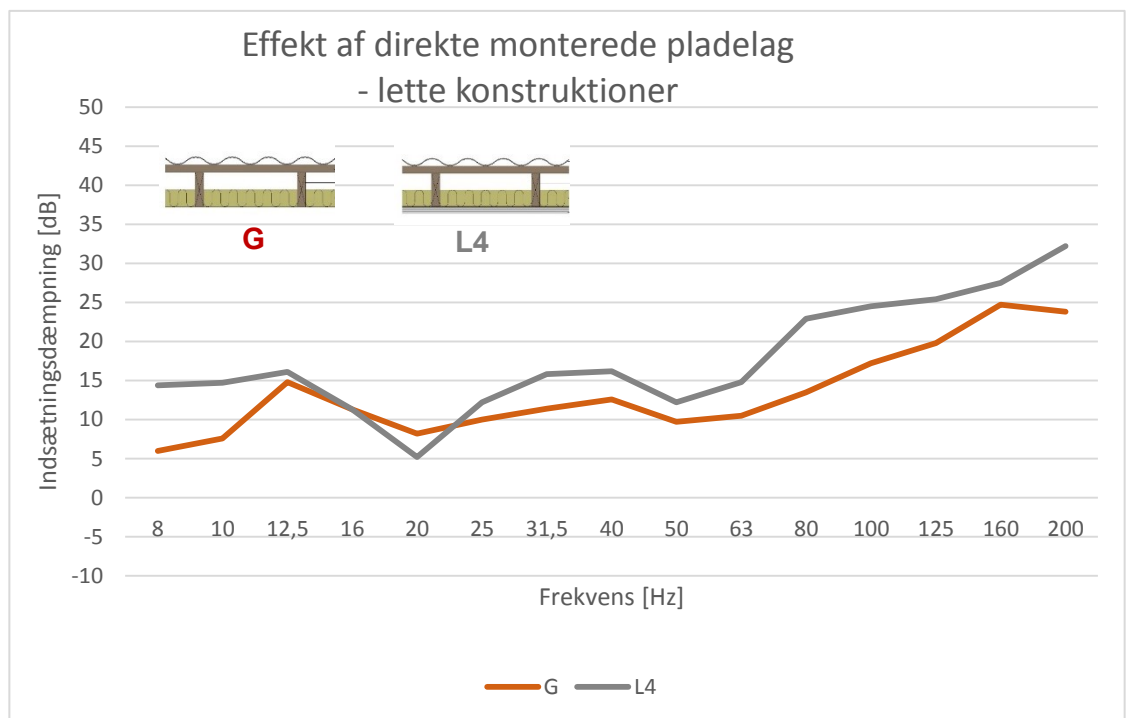


Figur 21. Indsætningsdæmpning - lette konstruktioner. Effekt af antal gipspladelag

6.3.2 Forsøg – ekstra gipspladelag direkte på eksisterende vægge og loft

Dernæst blev der udført forsøg, hvor der blev monteret 3 lag gipsplader direkte på den eksisterende skunkvæg, skråvæg og loft. Resultaterne af dette forsøg kan ses på Figur 22, hvoraf det fremgår, at der er en positiv effekt på ca. 5 dB fra 31,5 Hz og op efter.

Masseforøgelsen har således også betydning for indsætningsdæmpningen frekvenser over 31,5 Hz men ikke ved de lavere frekvenser 12,5-25 Hz.

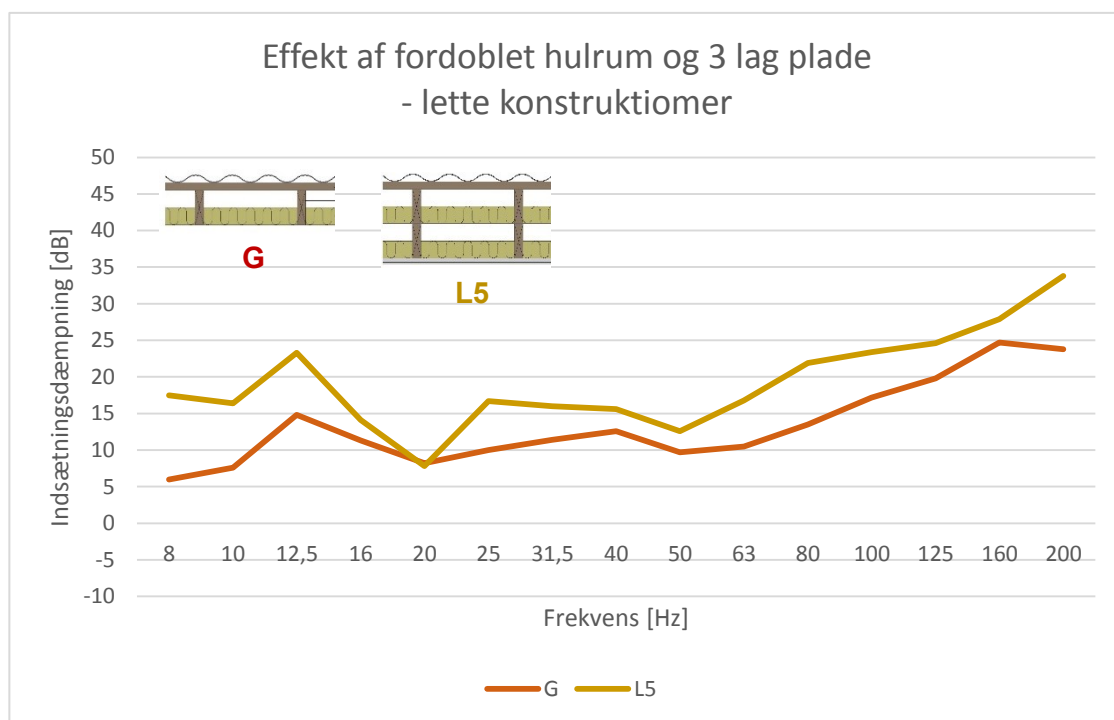


Figur 22. Indsætningsdæmpning - lette konstruktioner. Effekt af direkte monterede gipspladelag

6.3.3 Forsøg – øget tykkelse af hulrum og 3 gipspladelag på vægge og loft

Der blev også udført et forsøg med demontering af den eksisterende væg- og loftbeklædning, hvorefter der blev påført en ekstra spærkonstruktion, således at tykkelsen af hulrummet i skråvæggen blev fordoblet. Der blev placeret mineraluld i hulrummet og afsluttet med 3 lag gipsplade.

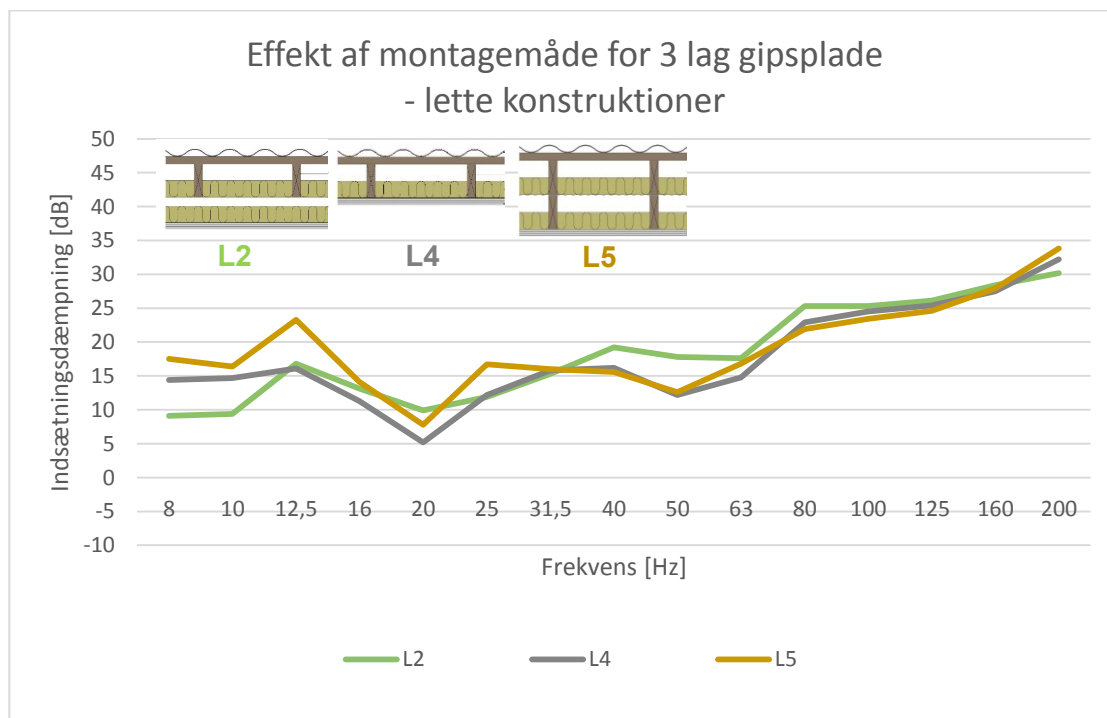
Resultatet af dette forsøg er vist på Figur 23. Det fremgår, at der også her er en positiv effekt (2-10 dB) på indsætningsdæmpningen sammenlignet med udgangspunktet.



Figur 23. Indsætningsdæmpning - lette konstruktioner. Effekt af fordoblet hulrum og 3 lag gipsplade

6.3.4 Sammenligning – effekt af montage af 3 lag lade

For sammenligningens skyld er der på Figur 24 vist effekten af de 3 gipspladelag monteret på hver sin måde. Det fremgår, at direkte montage (L4) giver mindst forbedring af indsætningsdæmpningen bortset fra 8 og 10 Hz, mens den fritstående montage (L2) er bedst i frekvensområdet 40-80 Hz. Det fordoblede hulrum (L5) er bedst ved de lavere frekvenser 8-25 Hz. Direkte montage og fordoblet hulrum har samme indsætningsdæmpning fra 31,5 Hz og derover.



Figur 24. Indsætningsdæmpning - lette konstruktioner. Effekt af montagemåde for 3 lag gipsplade

For at effekten på det forventede indendørs vindmøllestøjniveau og genevirkningen kan vurderes, skal virkningen af et tungt forsatsvindue medtages, hvilket er beregnet i Bilag 4: Beregnet indsætningsdæmpning for kombinationer af dæmpningsforsøg.

Som forventeligt har ovenstående 3 spektre (K, J og H) beregnet med tungt forsatsvindue tilsvarende kurveforløb som i Figur 24, da de alle korrigeres på samme måde.

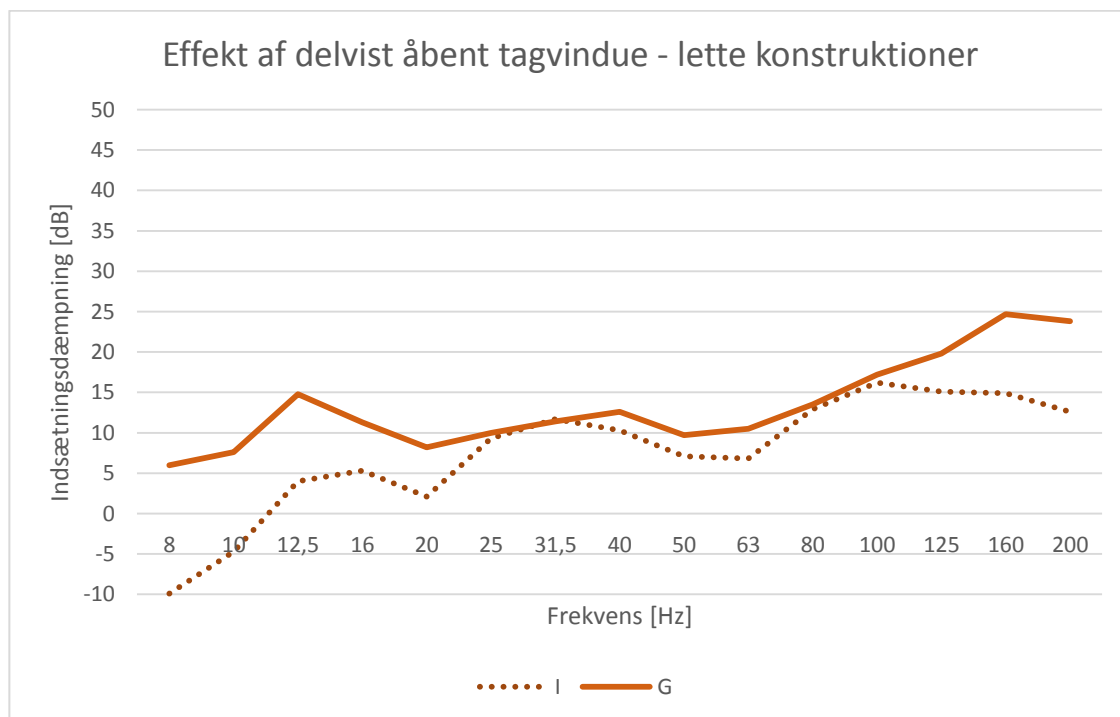
6.3.5 Forsøg – delvist åbent tagvindue

Den sidste måling, der blev udført på den lette konstruktion, var en simpel undersøgelse af effekten på indsætningsdæmpningen, hvis tagvinduet blev sat på klem (ca. 5 cm åbent).

Resultatet af forsøget er vist på Figur 25. Det ses, at der er en betydelig generel negativ effekt på indsætningsdæmpningen, mellem 5 og 15 dB, bortset fra enkelte frekvenser (25; 31,5; 80 og 100 Hz), hvor der næsten ingen ændring kan måles. Den negative effekt vil afspejle sig i det forventede indendørs vindmøllestøjniveau, og derfor indgår støj via det lukkede og det delvist åbne vindue på 1. sal også i genevurderingen.

Det skal bemærkes, at der i lydmæssig henseende er forskel på en lille cirkulær åbning og en spalte, da spalten normalt vil tillade større transmission af lyd end den cirkulære åbning. Ved sammenligning med resultatet for den åbne murventil i Figur 12, lader det også til at være tilfældet ved de aktuelle, meget lave frekvenser.

Et vindue på klem vil således være ødelæggende for ethvert forsøg på at øge lydisoleringen af en bygning, da den forventede forbedring vil blive elimineret af det åbne vindue. Dette må forventes at gælde alle åbne vinduer – også andre steder end på 1. sal.

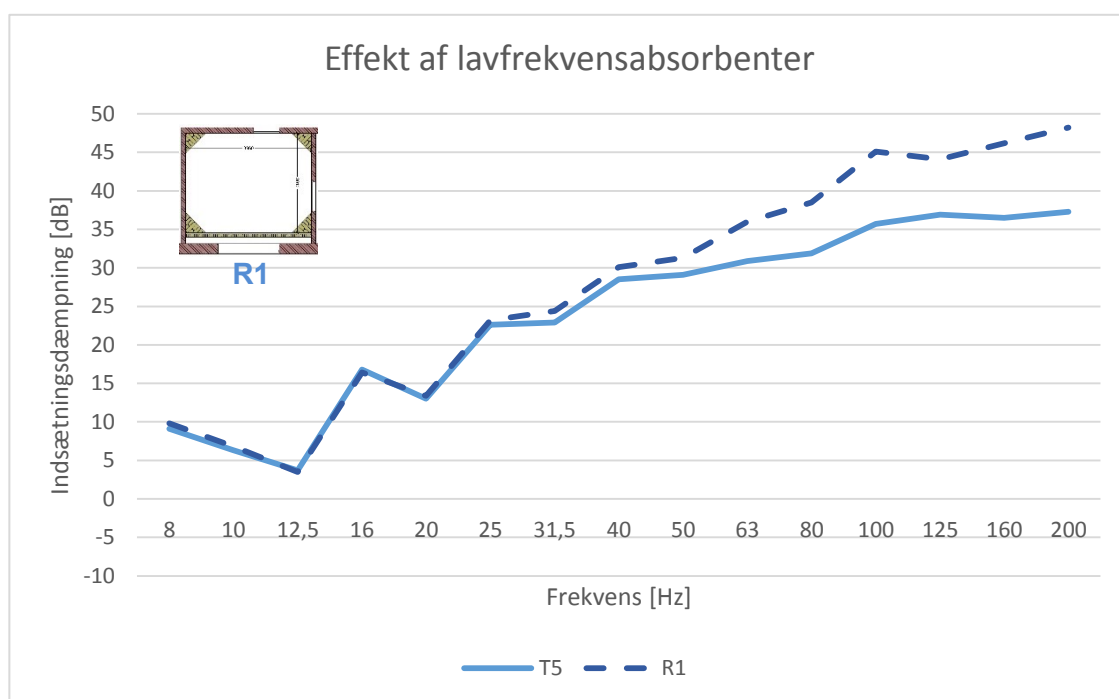


Figur 25. Indsætningsdæmpning - lette konstruktioner. Effekt af delvist åbent tagvindue

6.4 Forbedring af rumakustik

Effekten af at dæmpe efterklangstiden og dermed reducere den rumakustiske forstærkning, som især findes i rum med sparsom møblering, blev afprøvet ved hjælp af særlige lavfrekvensabsorbenter. Sådanne kendes fra bl.a. lydstudier og de består af lydabsorbenter – typisk baseret på porøse materialer, glasuld eller lignende – placeret i rummets hjørner. Forsøget med forbedring af rumakustik blev udført i tilknytning til et af det tidligere omtalte forsøg T5 (afstivning af forsatsvæg). Effekten af lavfrekvensabsorbenterne afhænger alene af rummet. Det som skal undersøges, er den niveauændring, der opstår med og uden lavfrekvensabsorbenter i rummet.

Resultatet af undersøgelsen er vist på Figur 26. Det fremgår, at der er en tydelig positiv effekt på indsætningsdæmpningen fra omkring 50 Hz stigende til ca. 10 dB ved 200 Hz.



Figur 26. Indsætningsdæmpning - Rumakustik. Effekt af lavfrekvensabsorbenter.

Efterklangstiden fra 50 Hz og derover med og uden lavfrekvensabsorbenter er vist på sidste side af Bilag 1: Måleblade. Det fremgår at målerummet uden absorbenter er meget klangfuldt sammenlignet med et almindeligt møbleret opholdsrum, og derfor vil effekten af lavfrekvensabsorbenter i et møbleret opholdsrum blive mindre end her angivet.

7 KOMMENTARER VEDR. GENEVURDERINGER

I Appendix A: Rapport om genevurdering (ref. [13]) bedømmes hørbarheden[§] ud fra en forudsætning om, at der ikke forekommer anden støj, som kan maskere vindmøllestøjen indendørs, dvs. der ses bort fra vindgenereret støj i vegetation og bygninger samt fra andre eksterne eller interne støjkilder. Rapportens betragtninger repræsenterer således en "worst case" situation, hvor et hus er udsat for det højst tilladte støjniveau i medvind fra vindmøller en stille nat.

Rapporten konkluderer bl.a. – baseret på et typisk udendørs vindmøllestøjniveau med A-vægtet lydtrykniveau på 44 dB, at:

1. Hørbar indendørs vindmøllestøj er domineret af frekvenskomponenter fra 50 Hz og derover
2. Indendørs vindmøllestøj med eksisterende^{**} *tung* og *let* bygningsfacade vurderes som tydeligt hørbar, dette gælder også med et delvist åbent tagvindue
3. Indendørs vindmøllestøj vurderes som ikke hørbar hvis *tunge* facader efterisoleres med tungt forsatsvindue samt et af følgende tiltag
 - indvendig fritstående forsatsvæg
 - indvendig forsatsbeklædning
 - udvendig facadeisolering med gipspladebeklædning og puds
4. Indendørs vindmøllestøj vurderes som lige netop hørbar, hvis *lette* facader efterisoleres med en fritstående forsatskonstruktion foran vægge og loft samt tungt forsatsvindue.
5. Den mest enkle efterisoleringsløsning til lette facader, at påføre gipspladelag direkte på vægge og loft giver samme oplevet virkning (hørestyrke) som den mere komplicerede løsning hvor væg- og loftkonstruktion gøres tungere og tykkere ved at øge hulrummet.
6. Indendørs vindmøllestøj vurderes at blive dobbelt så kraftig med løsningerne i pkt. 5 (påføring eller tungere konstruktion og øget hulrum) som med løsningen i pkt. 4 (fritstående forsatskonstruktion).
7. Indendørs vindmøllestøj over 50 Hz kan reduceres væsentligt ved hjælp af lavfrekvensabsorbenter i det/de rum, hvor støjen ønskes reduceret.

Sammenfattende kan umiddelbart udledes, at indendørs vindmøllestøj i eksisterende bygninger under de givne forudsætninger kan være hørbar, og at det med nogle af de udførte forsøg er muligt at forbedre den lavfrekvente lydisolation så hørbarheden af indendørs vindmøllestøj i nogle tilfælde bliver ikke hørbar eller kun lige netop hørbar.

[§] Genevurdering og hørbarhed er vurderet på basis af et frekvensområde fra 10-1250 Hz, dvs. et bredere frekvensområde end de 8-200 Hz, der primært undersøges i denne rapport. For alle efterisolerede konstruktioner på nær én er niveauerne i de kritiske bånd ved frekvenser over 200 Hz lavere end høretærsklen.

^{**} Bemærk, at indendørs vindmøllestøj med eksisterende tung bygningsfacade overholder den indendørs støjgrænse for lavfrekvent støj på L_{PA}-LF 20 dB med en margin på 7 dB, mens det lavfrekvente støjniveau med den eksisterende lette bygningsfacade (tagrummet) kun er 0,2 dB højere end grænsen.

8 KONKLUSION

Undersøgelserne i denne rapport har omfattet et litteraturstudie, 23 forsøg med målinger af lydisolations ved meget lave frekvenser fra 8-200 Hz på eksisterende og efterisolerede tunge og lette bygningsdele samt en detaljeret vurdering af genevirkningen for lavfrekvent indendørs vindmøllestøj for 11 udvalgte konstruktioner påvirket af udendørs vindmøllestøjniveau med et A-vægtet lydtrykniveau på 44 dB.

Litteraturstudiet har givet adgang til viden fra ca. 60 publikationer, hvori der kun er fundet ganske få nye data for lavfrekvent lydisolations i frekvensområdet 10 – 160 Hz for bygningsfacader mv. Ved frekvenser over 50 Hz er der derimod fundet nye data (primært fra laboratoriemålinger) for ydervægge og tag – herunder data, hvor forbedringstiltag evalueres. Litteratursøgningen har givet begrænset viden med hensyn til ideer til efterisolering udover traditionelle virkemidler.

De udførte målinger og vurderinger af kombinerede løsningsforslag til forbedring af lavfrekvent lydisolations har givet følgende hovedresultater:

- For *tunge* facader er indvendige gipsforsatsvægge med tungt forsatsvindue effektive løsninger til at forbedre lavfrekvent lydisolations
 - Forsatsbeklædninger - med 15 cm hulrum og kontakt mellem eksisterende facademur og forsatsvæg, med tungt forsatsvindue - er stort set lige så effektivt som en fritstående forsatsvæg - med 30 cm hulrum og ingen kontakt til eksisterende facademur, med tungt forsatsvindue.
- For *tunge* facader er udvendig facadeisolering med gipsplader og puds en næsten lige så effektivt lydisolering løsning ved de vigtigste lave frekvenser, som en indvendig forsatsbeklædning
- For *lette* facader er det vigtigt
 - at anvende flere tunge gipspladelag ved indvendig efterisolering
 - at supplere med lydisolering af interne skillevægge omkring det/det rum, hvis facader ønskes isoleret
- Montageformen ved indvendig efterisolering af lette facader har mindre betydning for indsætningsdæmpningen ved frekvenser over 50 Hz, hvor der ikke er forskel mellem direkte montage af gipsplader og forøget hulrum i forsatsvæggene.
- Lavfrekvensabsorbenter kan reducere indendørs vindmøllestøj
- En lille cirkulær åbning påvirker ikke lydisolations mellem 8 og 200 Hz i den oprindelige tunge facade
- En spalte på 5 cm i et delvist åbent tagvindue påvirker i høj grad lydisolations og dermed genevirkningen af indendørs vindmøllestøj.
- Delvist åbne vinduer kan ikke anvendes sammen med lydisolering tiltag – da åbningen vil eliminere effekten af efterisoleringen.
- Der opnås ingen ekstra lydisolering effekt i det undersøgte frekvensområde 8-200 Hz ved at placere karmabsorbenter mellem facadevinduer og forsatsvinduer og ved at stille forsatsvinduer på skrå.

Genevurderinger viser, at indendørs vindmøllestøj er domineret af frekvenskomponenter fra 50 Hz og derover.

Udendørs vindmøllestøjniveau på ca. 44 dB vil indendørs være tydelig hørbar bag de målte eksisterende tunge eller lette facader, selv om de indendørs niveauer (afrundet til hele dB) overholde støjgrænsen $L_{pA-LF} 20$ dB.

Hørbarheden af indendørs lavfrekvent vindmøllestøj kan i nogle tilfælde reduceres til at være ikke hørbar, hvis tunge facader isoleres med indvendige, lette gipsforsatsvægge eller med udvendig facadeisolering med gipspladebeklædninger og puds – samt tunge forsatsvinduer. Isolering af lette facader med indvendig fritstående forsatsvægge og tunge forsatsvinduer reducerer hørbarheden af indendørs vindmøllestøj til i nogle tilfælde kun at være lige netop hørbar. Direkte montage af indvendig efterisolering af lette facader inkl. tunge forsatsvinduer vil også virke effektivt, men vil dog kun begrænse genevirkningen af vindmøllestøjen halvt så meget som den fritstående montage.

Fremtidige undersøgelser kunne omfatte konkrete forbedringsforanstaltninger inklusive optimering af lavfrekvent lydisolering af ventilationsvinduer i et eller flere beboelseshuse - med lydmålinger før og efter. En delundersøgelse af den opnåelige støj-dæmpende effekt af lavfrekvensabsorbenter i beboede og normalt møblerede rum vil også være relevant.

Sweco Danmark A/S, afdeling Acoustica,
Claus Møller Petersen

9 REFERENCER

- [1] Miljøstyrelsen – projektrapport maj 2015. Udvidet datagrundlag for danske boligers lydisolation mod lavfrekvent støj (Sweco A/S' afdeling Acoustica)
- [2] Bekendtgørelse 1736 fra Miljøministeriet, Støj fra vindmøller, 21. december 2015
- [3] Hoffmeyer, Dan and Søndergaard, Bo: *Low Frequency Noise from Large Wind Turbines - Measurements of Sound Insulation of Facades*. EFP06, AV 1097/08. DELTA April 2008.
- [4] DELTA Akustik og Vibration: *Vurdering af lavfrekvent støj fra færger - 2*, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 10, 1997.
- [5] Hoffmeyer, Dan and Jakobsen, Jørgen: *Sound Insulation of dwellings at low frequencies*. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, Volume 29 Number 1 2010.
- [6] RL 20/08 Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for støjmålinger. Supplerende databehandling af resultater af lydisolationsmålinger gennemført i projektet "Lavfrekvent støj fra store vindmøller"
- [7] Miljøstyrelsen. Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksternt miljø Orientering nr. 9/1997 med tilhørende rettelsesbrev.
- [8] Petersen, Claus Møller og Rasmussen, Birgit m.fl.: *Lydisolering i bygninger – teori og vurdering*. Anvisning 245 fra Statens Byggeforskningsinstitut, 2014
- [9] DS EN ISO140-5:1998: Akustik. Lydisolationsmålinger i bygninger og af bygningselementer. Del 5: Måling af facadeelementers luftlydisolation
- [10] DELTA Akustik og Vibration: Måling af lydisolation I lavfrekvensområdet. Analyse af betydningen af udendørshøjtalerens placering. TC-100847. 30 juni 2015.12.14
- [11] Søndergaard Bo: Low Frequency Noise from Wind Turbines: Do the Danish Regulations Have Any Impact? An analysis of noise measurements. International Journal of Aeroacoustics Volume 14 number 5&6 2015 pages 909 – 215
- [12] DS/EN ISO 12999-1 "Akustik – Bestemmelse og anvendelse af måleusikkerheder i bygningsakustik – Del 1: Lydisolation" 1. udgave 2014-06-12
- [13] Pedersen, Torben Holm: *Vurdering af genevirkning af indendørs vindmøllestøjspektre*. TC-101073, DELTA / SenseLab, februar 2017

BILAG 1: MÅLEBLADE

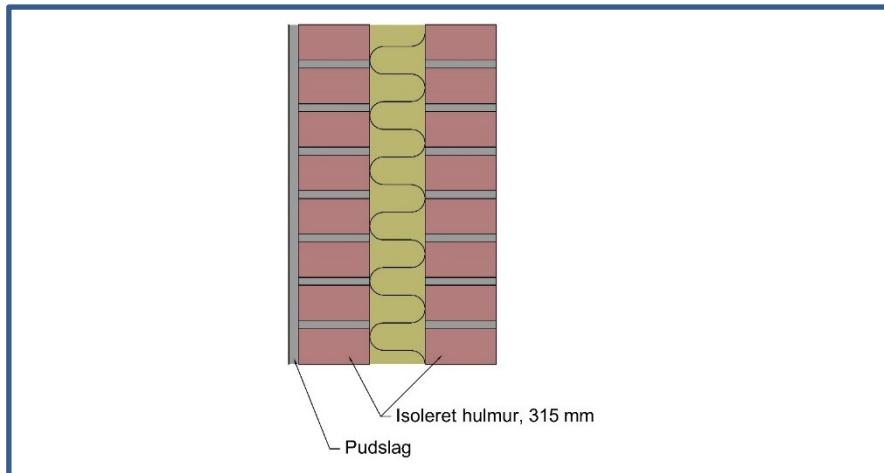
Spektrum	Bygningsfacade	Forsøgsbeskrivelse
T1	Tung	Retablering til tæt bygning m/termorude i stueetagen (åben murventil i facaden)
A	Tung	Tæt bygning m/termorude i stueetagen (lukket murventil i facaden)
T2	Tung	Fritstående indvendig forsatsvæg (3 lag gipsplade og 300 mm hulrum) - uden indvendigt vindue
T3	Tung	Som T2 med loft direkte monteret i målerum (afklaring af omvejstransmission via loftrum)
T4	Tung	Som T3 og med beklædning direkte monteret på målerummets vægge (afklaring af omvejstransmission via rum i stueetagen)
T5	Tung	Som T4 med ekstra afstivning af fritstående forsatsvæg
T6		Fritstående indvendig forsatsvæg med lysningsåbning til facadevindue med almindelig termorude
B	Tung	Fritstående indvendig forsatsvæg og -vindue m/tung forsatsrude
T7	Tung	Som T6 - med karmabsorbent i mellemrum mellem termorude og tung forsatsrude
T8	Tung	Som T7 – med skråstillet tung forsatsrude samt karmabsorbent i mellemrum ruder.
T9	Tung	Indvendig forsatsbeklædning (3 lag gipsplade og 150 mm hulrum) med lysningsåbning til facadevindue med almindelig termorude
D	Tung	Indvendig forsatsbeklædning og -vindue m/tung forsatsrude
T10	Tung	Oprindelig tæt bygning med facadevindue med termorude og blændet murventil samt udvendigt afblændet vindue
T11	Tung	Udvendig facadeisolering Isover Plus system
T12	Tung	Udvendig facadeisolering Isover Facadekoncept
G	Let	1. Sal – eksisterende forhold
L1	Let	Fritstående indvendig forsatskonstruktion (3 lag)
L2	Let	Vægbeklædninger omkring målerum (afklaring af omvejstransmission via interne skillevægge)
L3	Let	1. Sal – Fritstående indvendig forsatskonstruktion (1 lag)
I	Let	Oprindelige forhold m/tagvindue på klem (åbent 5 cm)
L4	Let	Direkte monterede gipsplader på skunk- og skråvægge samt loft
L5	Let	Ny påforing på oprindelige spær – efter fjernelse af eksist. beklædning (tykkere hulrum) og mont. af 3 lag gipsplader på skunk- og skråvægge samt loft
R1	Let	Stueetage – supplerende basabsorbenter (i tilknytning til forsøg med ekstra afstivning af fritstående forsatsvæg)

MÅLEBLAD - Spektrum T1

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

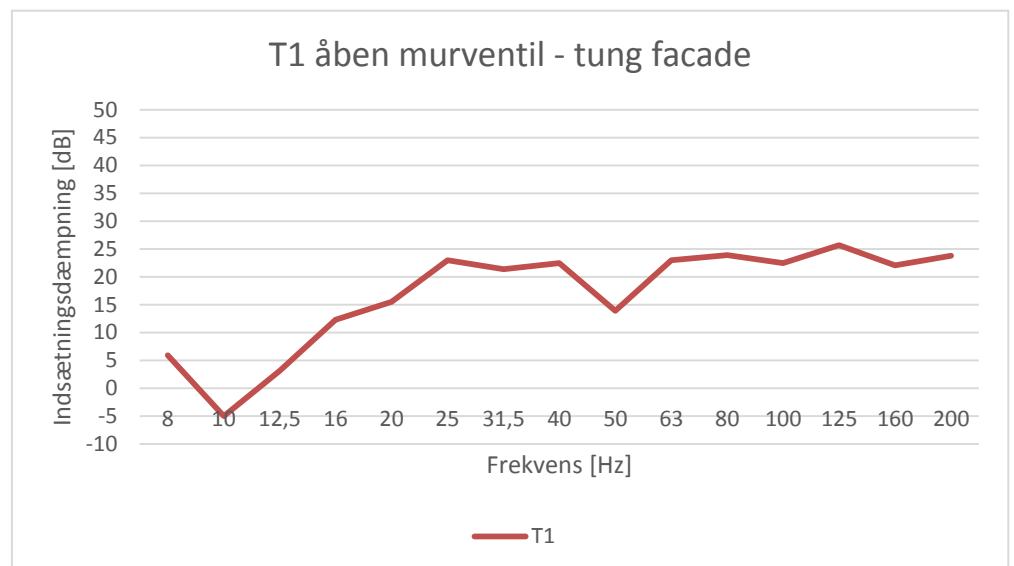
Forsøgsbeskrivelse: Retablering til tæt bygning m/termorude i stueetagen
(åben murventil i facaden)



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret, med åben ventil Ø=100mm	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4 mm).	
Værelsesstørrelse	A _f =9,2m ² V=30,9m ³ L=3,96m B=3,35m H=2,33m	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	5,9
10	-5,0
12,5	3,1
16	12,3
20	15,5
25	23,0
31,5	21,4
40	22,5
50	13,9
63	23,0
80	23,9
100	22,5
125	25,7
160	22,1
200	23,8

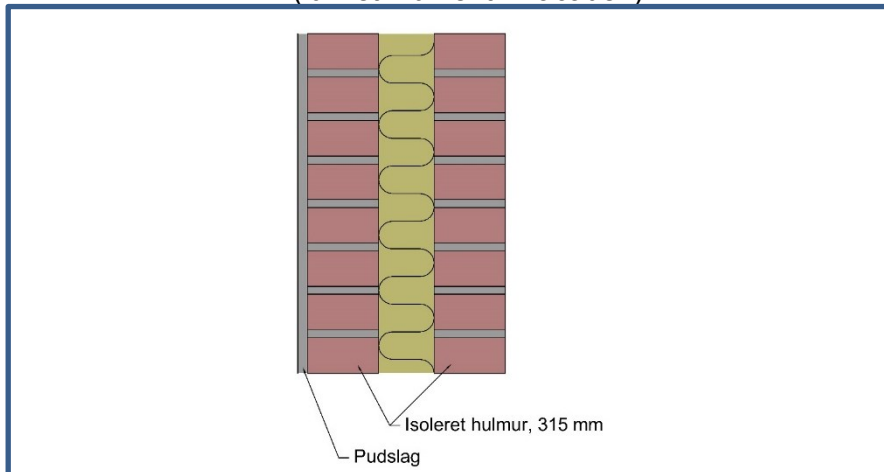


MÅLEBLAD – Spektrum A

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

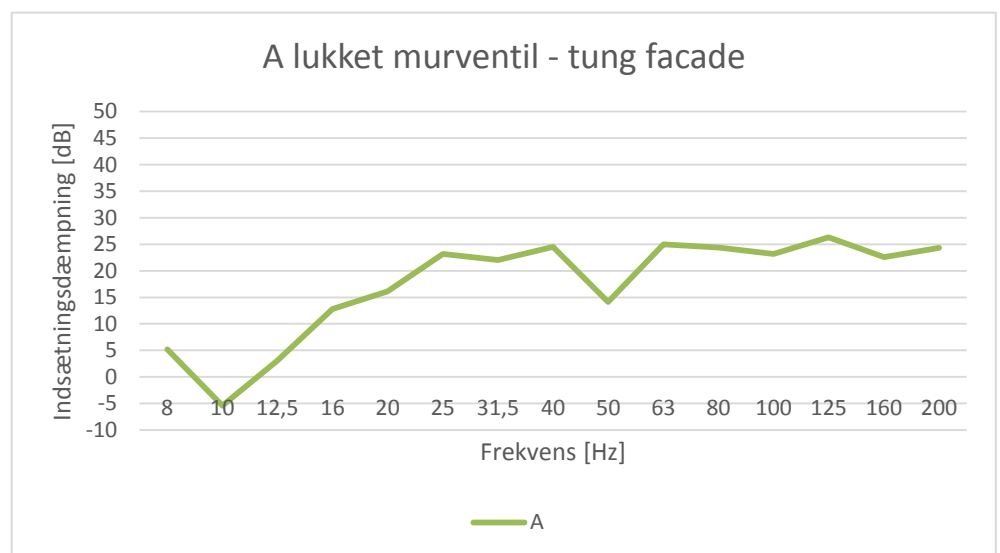
Forsøgsbeskrivelse: Tæt bygning m/termorude i stueetagen
(lukket murventil i facaden)



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4 mm).	
Værelsesstørrelse	A _f =9,2m ² V=30,9m ³ L=3,96m B=3,35m H=2,33m	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	5,2
10	-5,4
12,5	3,1
16	12,8
20	16,1
25	23,2
31,5	22,0
40	24,5
50	14,1
63	25,0
80	24,4
100	23,2
125	26,3
160	22,6
200	24,3

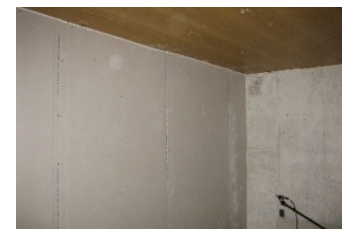
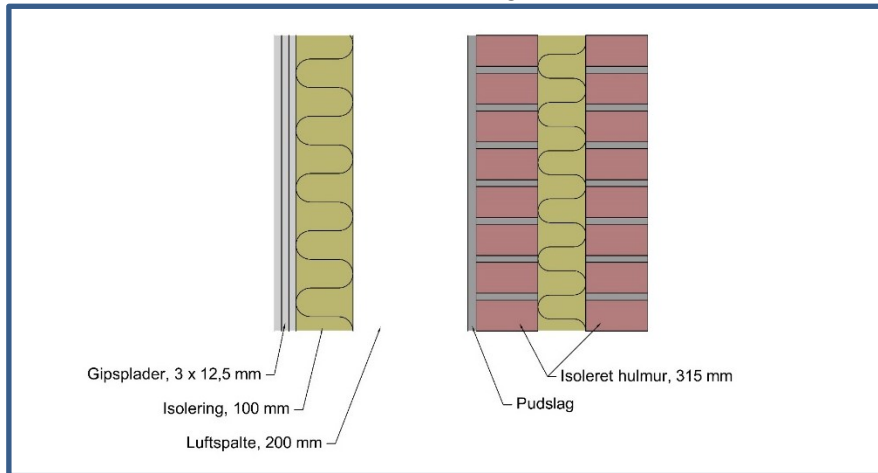


MÅLEBLAD – Spektrum T2

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

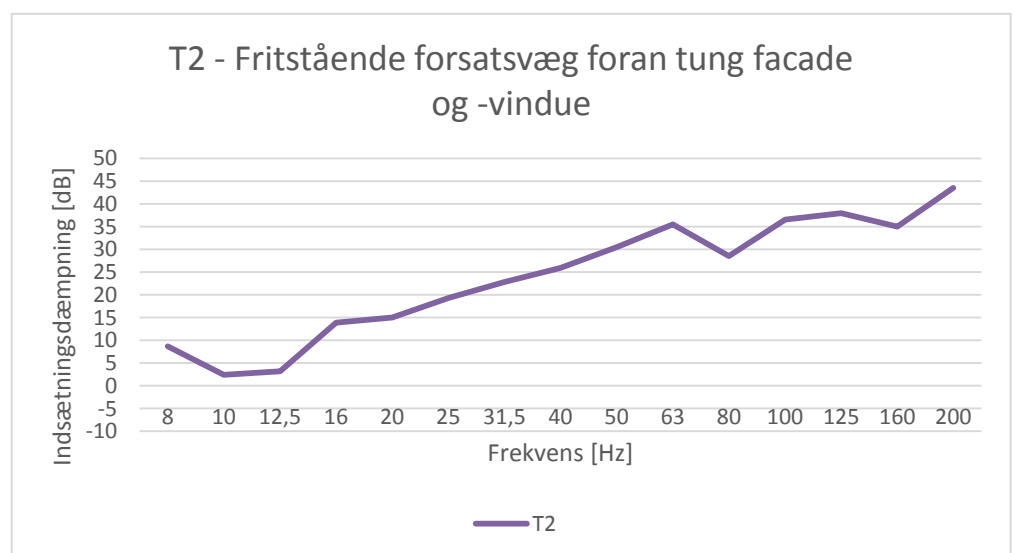
Forsøgsbeskrivelse: Fritstående indvendig forsatsvæg (3 lag gipsplade og 300 mm hulrum) - uden indvendigt vindue



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med fritstående indvendig forsatsvæg (300 mm)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1 stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4 mm).	
Værelsesstørrelse	$A_f=9,2m^2$ $V=27,8m^3$ $L=3,96m$ $B=3,01m$ $H=2,33m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	8,7
10	2,4
12,5	3,2
16	13,9
20	15
25	19,3
31,5	22,8
40	25,9
50	30,5
63	35,5
80	28,5
100	36,5
125	37,9
160	35
200	43,5

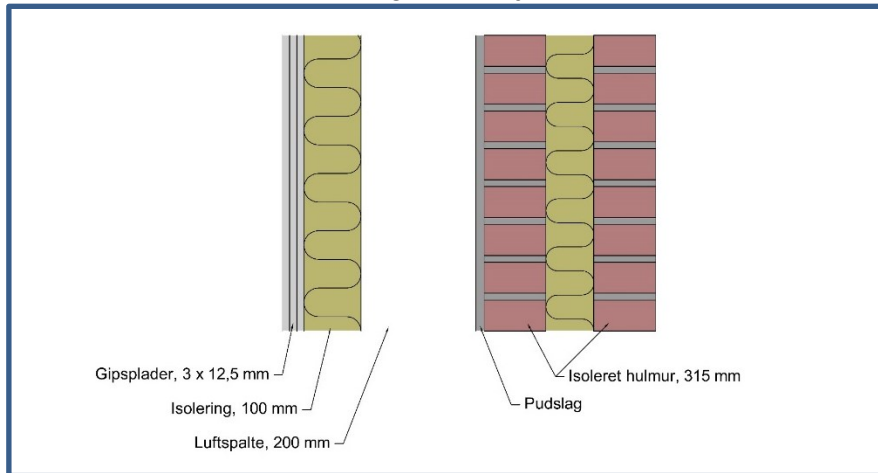


MÅLEBLAD – Spektrum T3

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

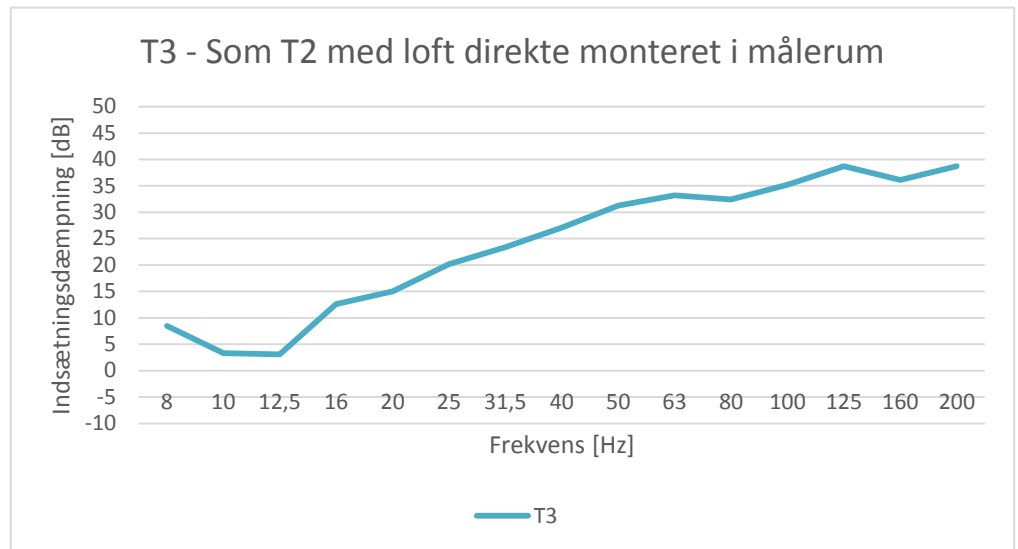
Forsøgsbeskrivelse: Som T2 med loft direkte monteret i målerum
(afklaring af omvejstransmission via loftrum)



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med fritstående indvendig forsatsvæg (300 mm)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4 mm).	
Værelsesstørrelse	$A_f=9,2m^2$ $V=27,3m^3$ $L=3,96m$ $B=3,01m$ $H=2,29m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	8,5
10	3,3
12,5	3,1
16	12,6
20	15
25	20,2
31,5	23,4
40	27,1
50	31,3
63	33,2
80	32,4
100	35,2
125	38,7
160	36,1
200	38,7

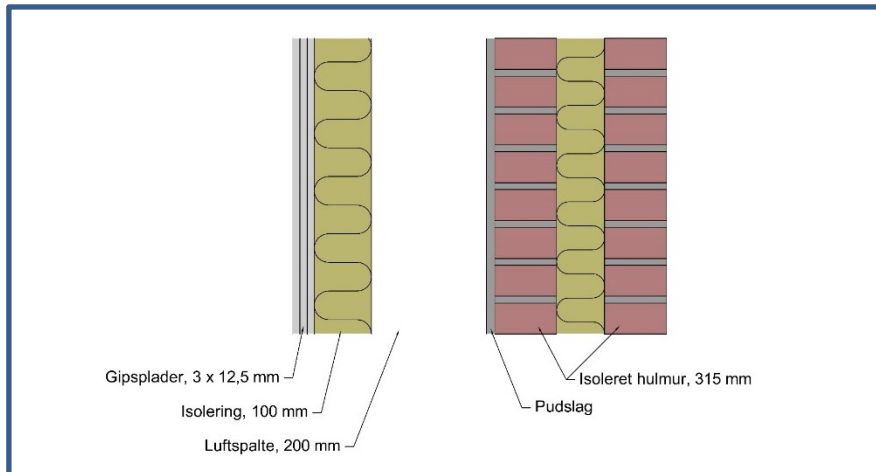


MÅLEBLAD – Spektrum T4

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

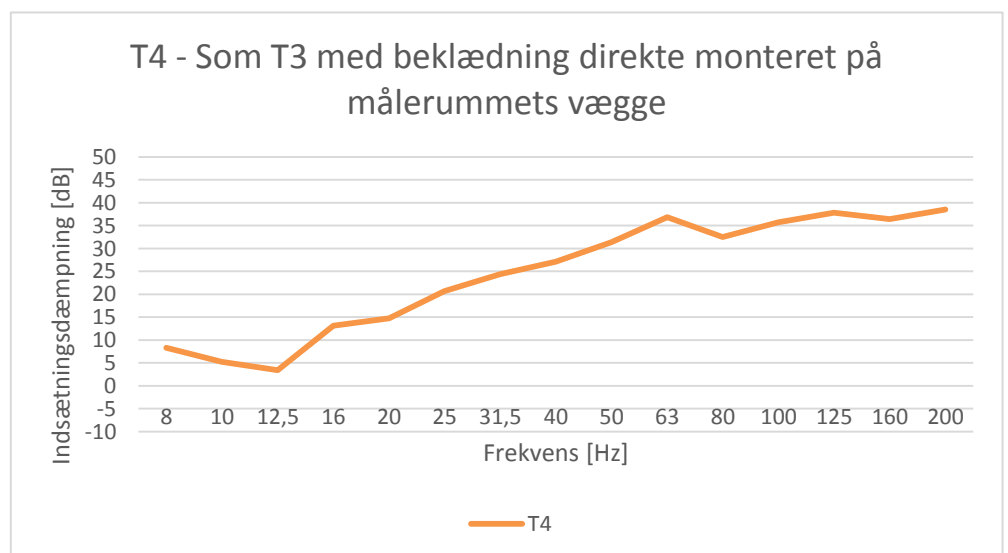
Forsøgsbeskrivelse: Som T3 og med beklædning direkte monteret på målerummets vægge (afklaring af omvejstransmission via rum i stueetagen)



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med fritstående indvendig forsatsvæg (300 mm)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4 mm).	
Værelsesstørrelse	$A_f=9,2m^2$ $V=27,3m^3$ $L=3,96m$ $B=3,01m$ $H=2,29m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	8,3
10	5,2
12,5	3,4
16	13,1
20	14,7
25	20,7
31,5	24,4
40	27,1
50	31,4
63	36,8
80	32,5
100	35,7
125	37,8
160	36,4
200	38,5

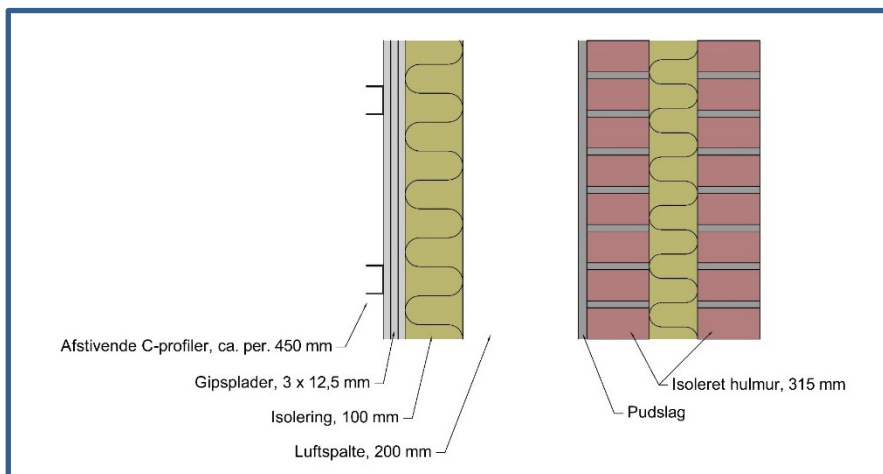


MÅLEBLAD – Spektrum T5

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

Forsøgsbeskrivelse: Som T4 med ekstra afstivning af fritstående forsatsvæg



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med fritstående indvendig forsatsvæg (300 mm)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4).	
Værelsesstørrelse	$A_r=9,2m^2$ $V=27,3m^3$ $L=3,96m$ $B=3,01m$ $H=2,29m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	9,1
10	6,3
12,5	3,7
16	16,8
20	13
25	22,6
31,5	22,9
40	28,5
50	29,1
63	30,9
80	31,9
100	35,7
125	36,9
160	36,5
200	37,3

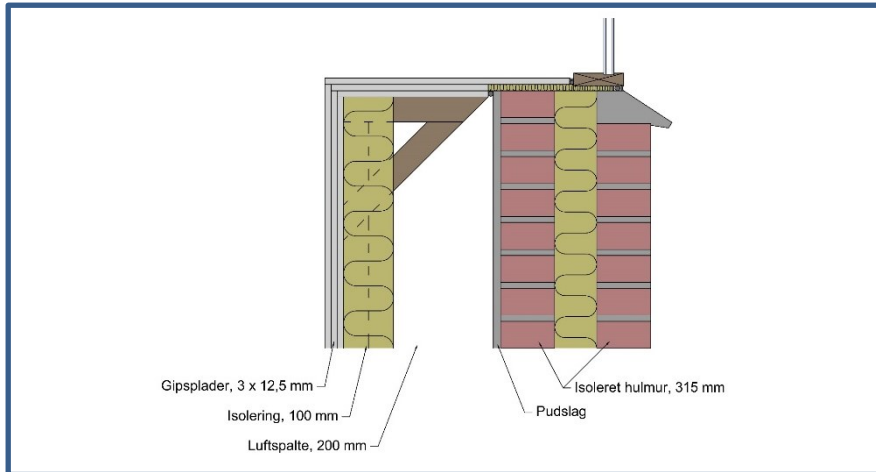


MÅLEBLAD – Spektrum T6

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

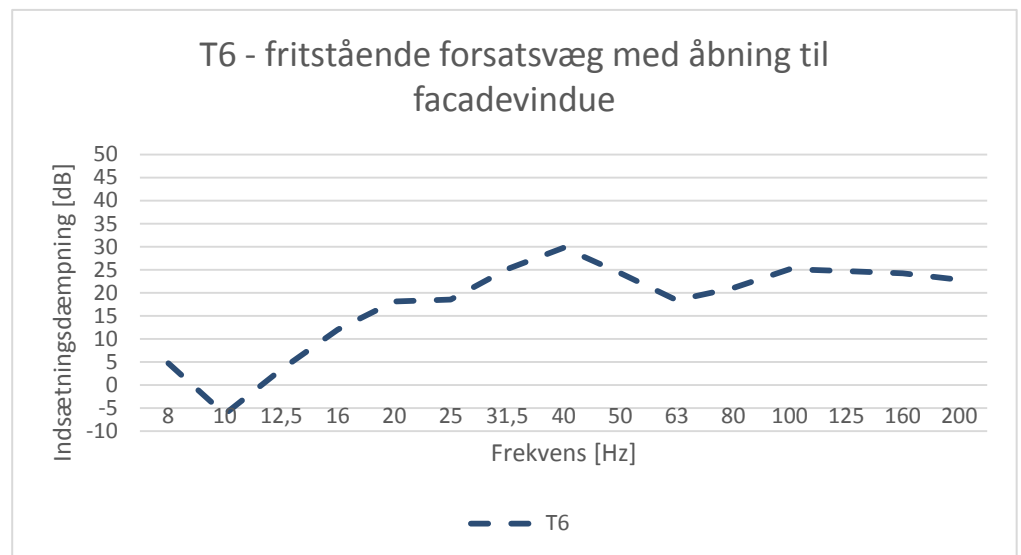
Forsøgsbeskrivelse: Fritstående indvendig forsatsvæg med lysningsåbning til facadevindue med almindelig termorude



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med fritstående indvendig forsatsvæg (300 mm)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4 mm).	
Værelsesstørrelse	$A_f=9,2m^2$ $V=28,5m^3$ $L=3,96m$ $B=3,01m$ $H=2,29m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	4,7
10	-6,3
12,5	3,4
16	12
20	18,1
25	18,5
31,5	25,1
40	29,8
50	24,3
63	18,4
80	21
100	25,1
125	24,7
160	24,2
200	22,8

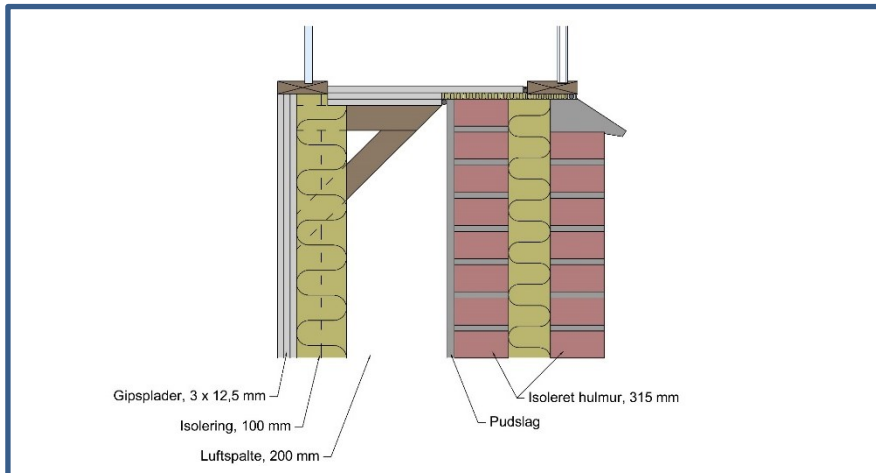


MÅLEBLAD – Spektrum B

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

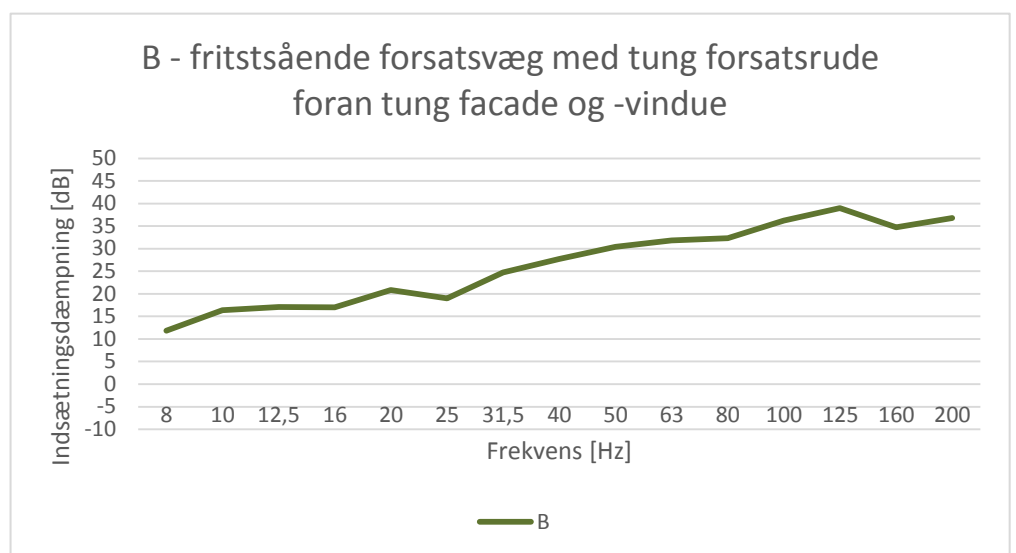
Forsøgsbeskrivelse: Fritstående indvendig forsatsvæg og -vindue m/tung forsatsrude



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med fritstående indvendig forsatsvæg (300 mm)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4 mm) og to-delt tung forsatsrude t=16mm	
Værelsesstørrelse	A _r =9,2m ² V=27,3m ³ L=3,96m B=3,01m H=2,29m	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	11,8
10	16,4
12,5	17,1
16	17
20	20,8
25	19
31,5	24,7
40	27,7
50	30,4
63	31,8
80	32,3
100	36,2
125	39
160	34,7
200	36,8

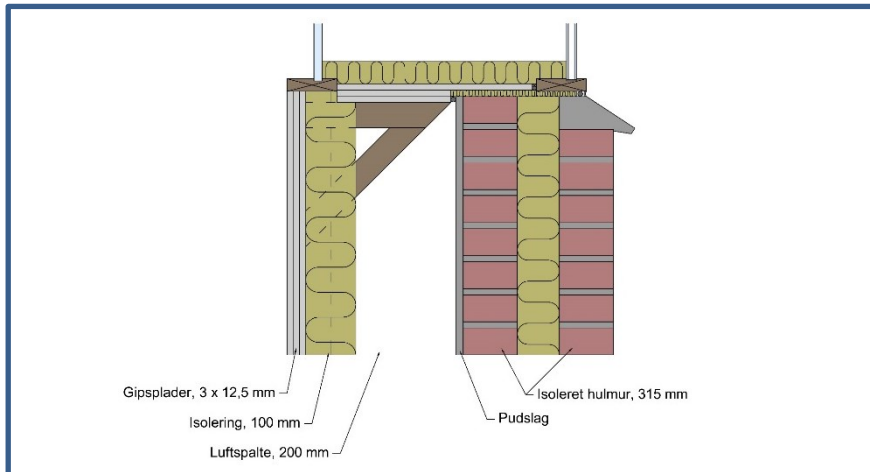


MÅLEBLAD – Spektrum T7

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

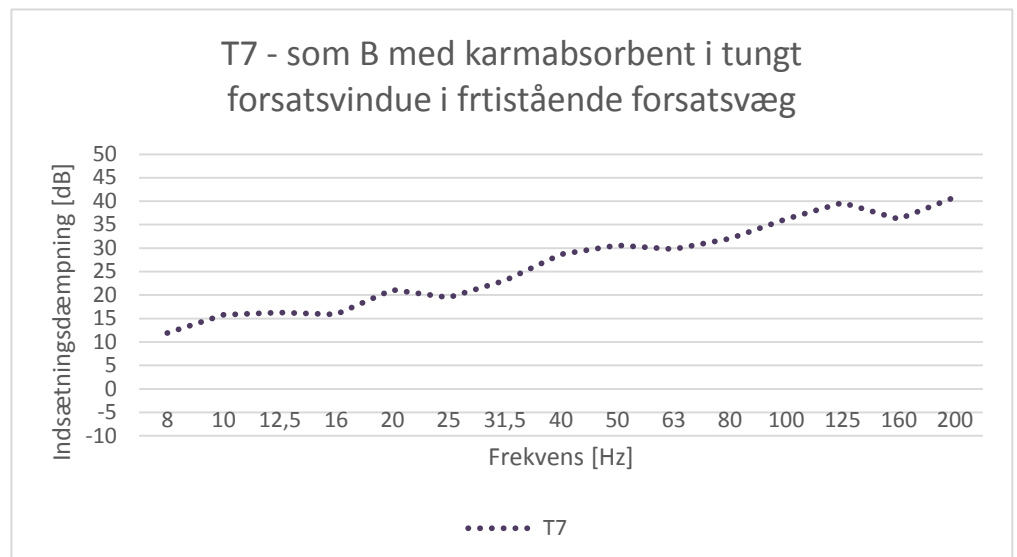
Forsøgsbeskrivelse: Som T6 - med karmabsorbent i mellemrum mellem termorude og tung forsatsrude



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med fritstående indvendig forsatsvæg (300 mm)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4 mm) og to-delt tung forsatsrude t=16mm	
Værelsesstørrelse	$A_f=9,2m^2$ $V=27,3m^3$ $L=3,96m$ $B=3,01m$ $H=2,29m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	11,9
10	15,8
12,5	16,3
16	15,9
20	21,1
25	19,5
31,5	23,1
40	28,7
50	30,6
63	29,8
80	32
100	36,2
125	39,7
160	36,2
200	40,8

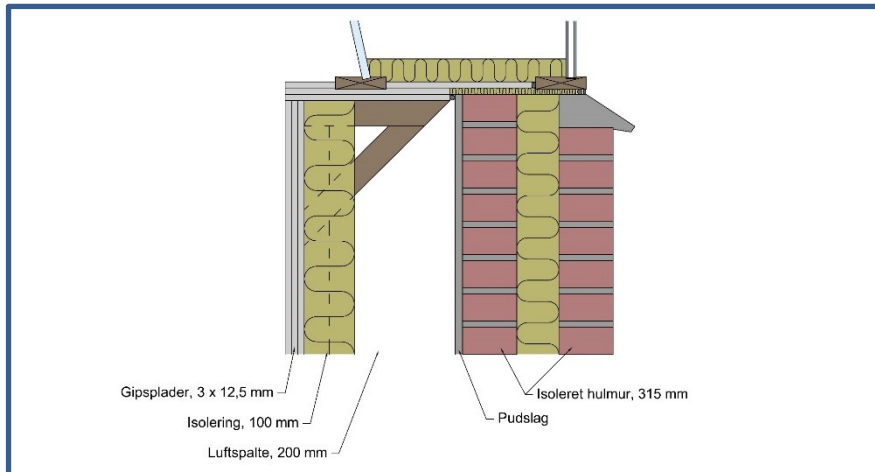


MÅLEBLAD – Spektrum T8

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

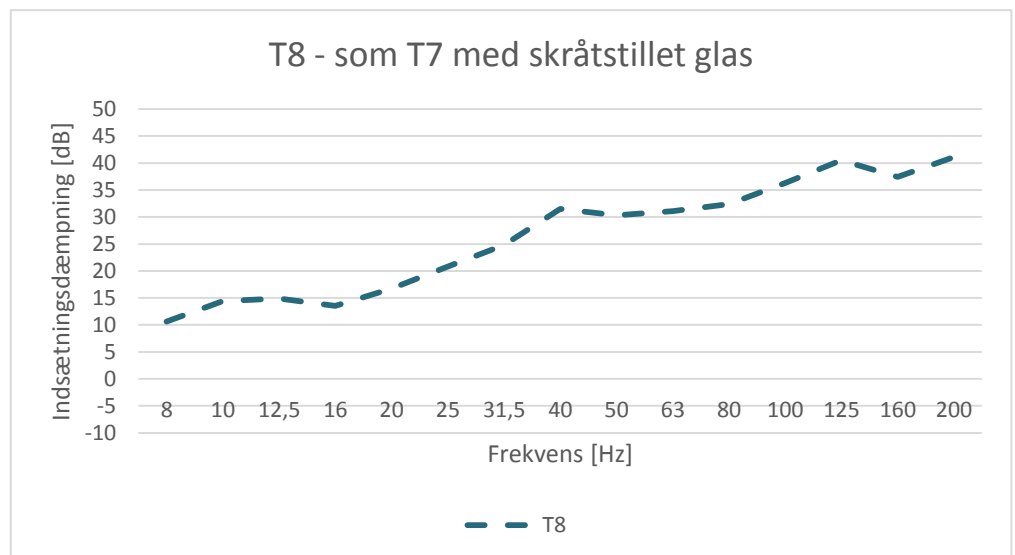
Forsøgsbeskrivelse: Som T7 – med skråtstillet tung forsatsrude samt karmabsorbent i mellemrum ruder.



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med fritstående indvendig forsatsvæg (300 mm)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4 mm) og to-delt tung forsatsrude t=16mm	
Værelsesstørrelse	$A_f=9,2m^2$ $V=27,3m^3$ $L=3,96m$ $B=3,01m$ $H=2,29m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	10,6
10	14,4
12,5	14,9
16	13,5
20	16,7
25	20,8
31,5	24,8
40	31,5
50	30,3
63	31,1
80	32,4
100	36,3
125	40,5
160	37,4
200	41,1

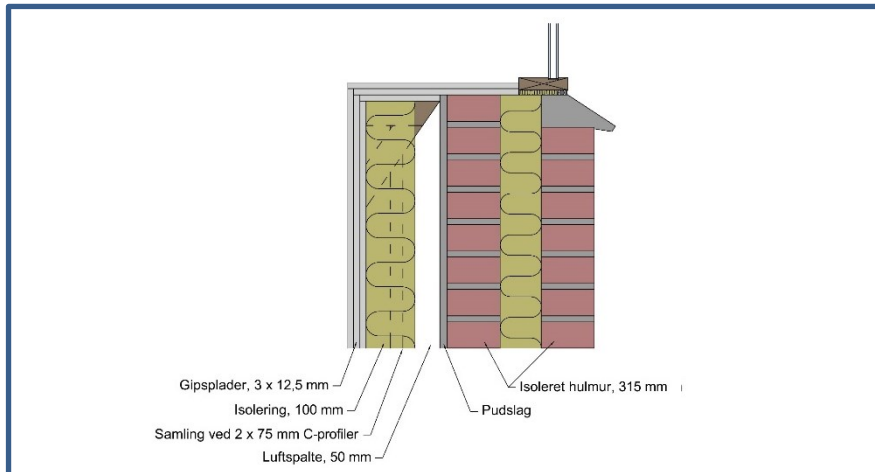


MÅLEBLAD – Spektrum T9

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

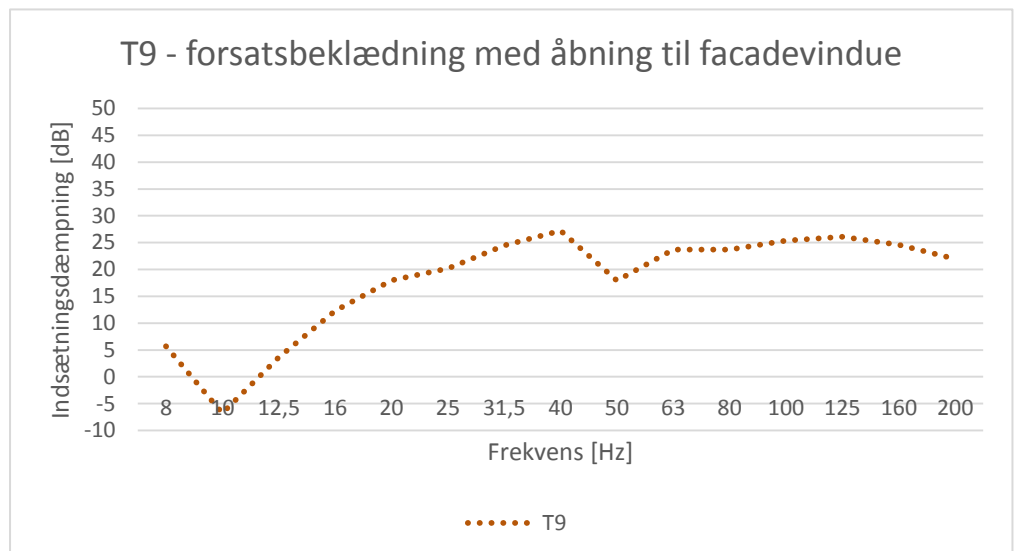
Forsøgsbeskrivelse: Indvendig forsatsbeklædning (3 lag gipsplade og 150 mm hulrum) med lysningsåbning til facadevindue med almindelig termorude



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med fritstående indvendig forsatsbeklædning (150 mm)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk med alm. termorude (4-12-4 mm)	
Værelsesstørrelse	$A_f=9,2m^2$ $V=28,7m^3$ $L=3,96m$ $B=3,16m$ $H=2,29m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	5,7
10	-6,8
12,5	3,6
16	12,3
20	18
25	20,2
31,5	24,5
40	27,2
50	17,9
63	23,7
80	23,7
100	25,4
125	26,1
160	24,6
200	22

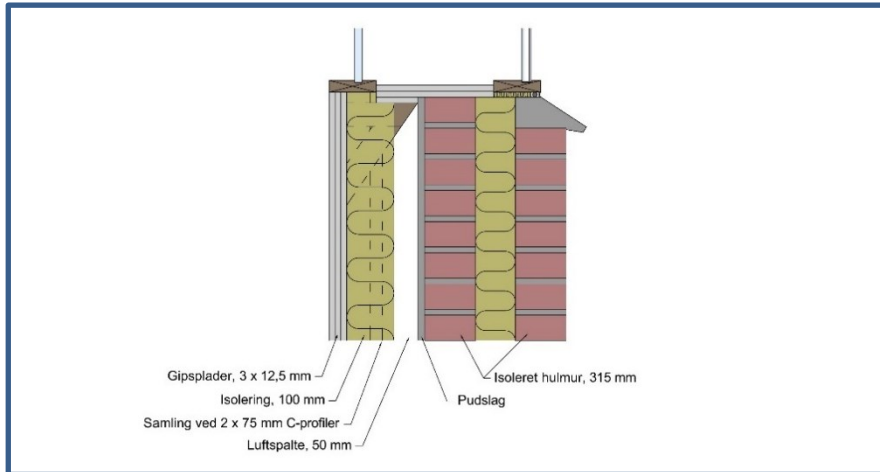


MÅLEBLAD – Spektrum D

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

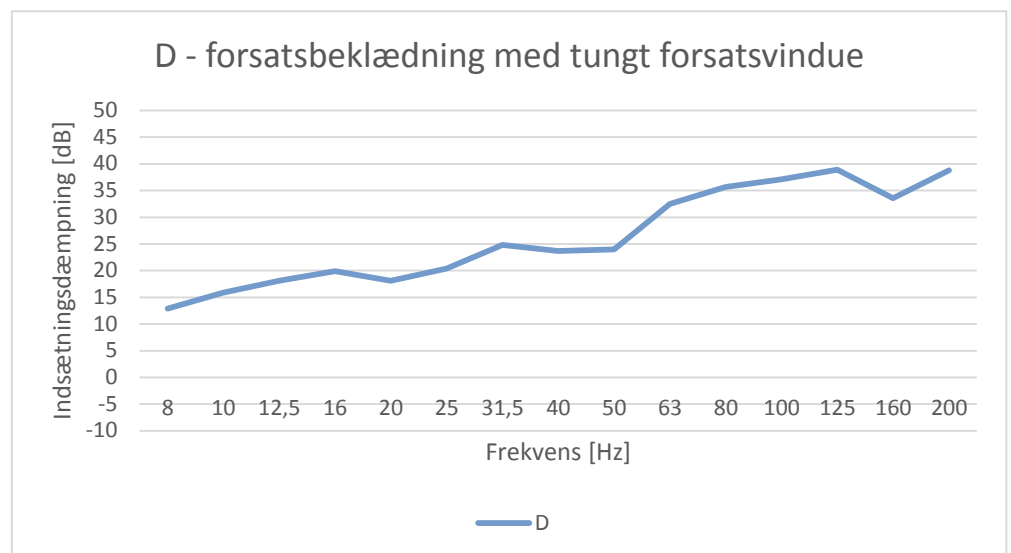
Forsøgsbeskrivelse: Indvendig forsatsbeklædning og -vindue m/tung forsatsrude



Hustype	Landhus, 1953					Udnyttet tagetage
Facade	Muret med fritstående indvendig forsatsbeklædning (150 mm)					
Tagkonstruktion	Eternit					
Vinduer	1stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4 mm) og to-delt tung forsatsrude t=16mm					
Værelsesstørrelse	$A_f=9,2m^2$	$V=27,3m^3$	$L=3,96m$	$B=3,01m$	$H=2,29m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	12,9
10	15,9
12,5	18,1
16	19,9
20	18,1
25	20,4
31,5	24,8
40	23,7
50	24
63	32,5
80	35,7
100	37,1
125	38,9
160	33,6
200	38,8



MÅLEBLAD – Spektrum T10

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

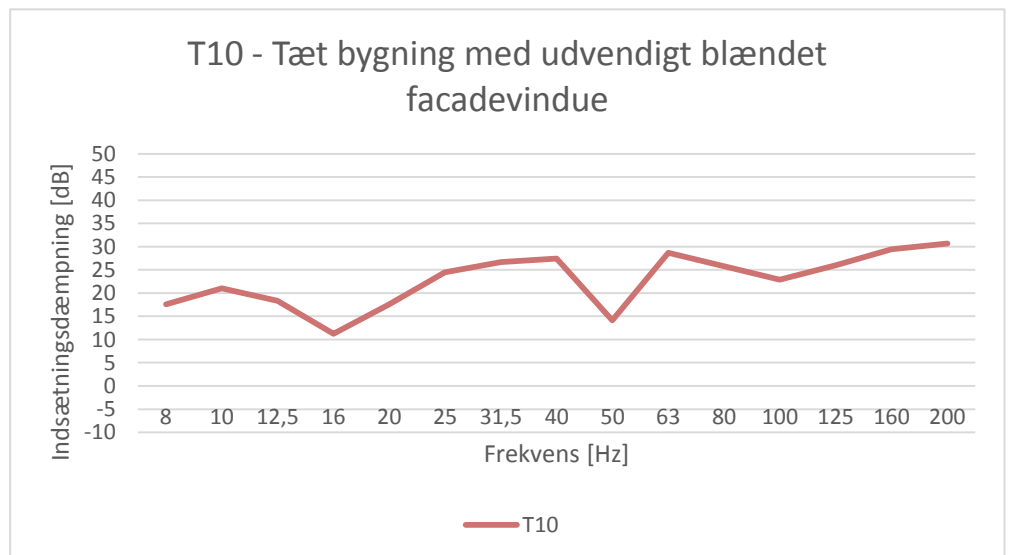
Forsøgsbeskrivelse: Oprindelig tæt bygning med facadevindue med termorude og blændet murventil samt udvendigt afblændet vindue



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk med alm. termorude (4-12-4 mm) – blændet udefra	
Værelsesstørrelse	A _r =9,2m ² V=30,9m ³ L=3,96m B=3,35m H=2,33m	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	17,6
10	21
12,5	18,3
16	11,2
20	17,6
25	24,5
31,5	26,7
40	27,4
50	14,1
63	28,7
80	25,8
100	22,9
125	26
160	29,4
200	30,7

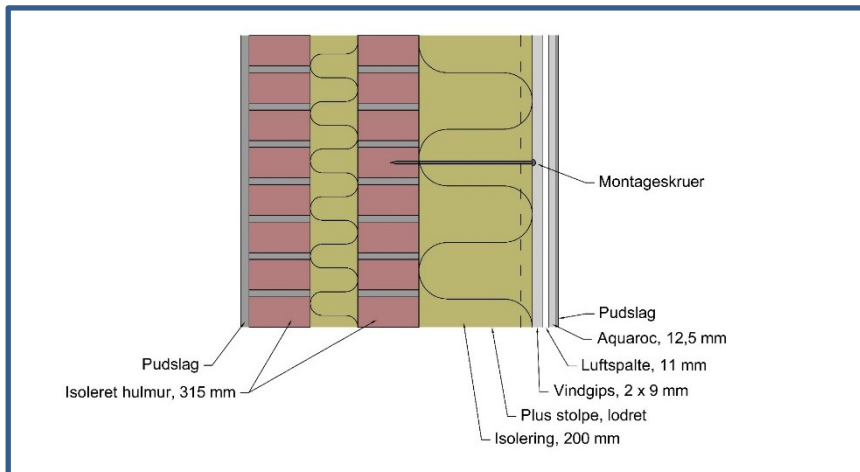


MÅLEBLAD – Spektrum T11

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

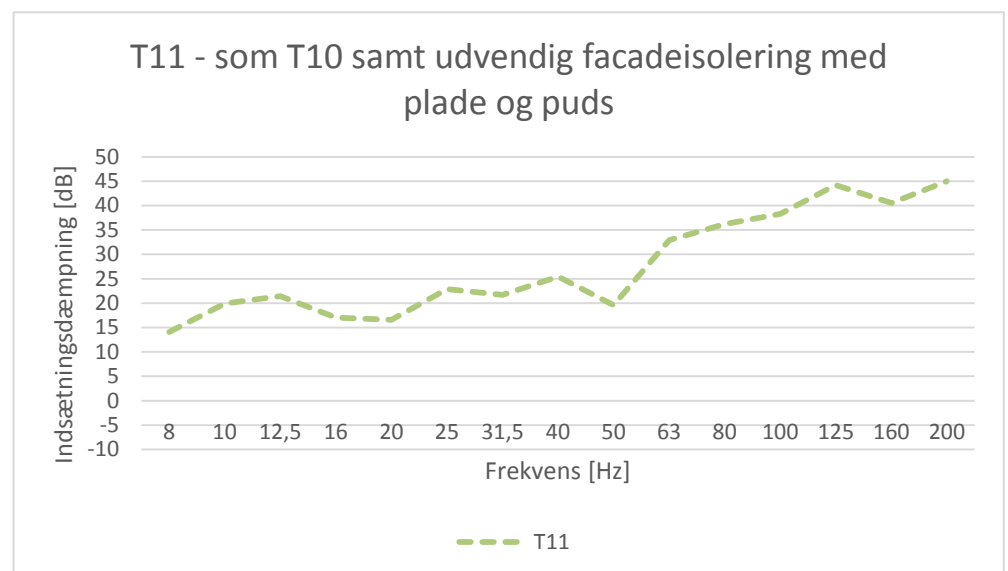
Forsøgsbeskrivelse: Udvendig facadeisolering Isover Plus system



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med udvendig facadeisolering (glasuld, gipsplade og puds)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk med alm. termorude (4-12-4 mm) – blændet udefra	
Værelsesstørrelse	$A_r=9,2m^2$ $V=30,9m^3$ $L=3,96m$ $B=3,35m$ $H=2,33m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	14,1
10	19,9
12,5	21,4
16	17
20	16,6
25	22,9
31,5	21,7
40	25,4
50	19,6
63	32,9
80	36,2
100	38,3
125	44,2
160	40,5
200	45

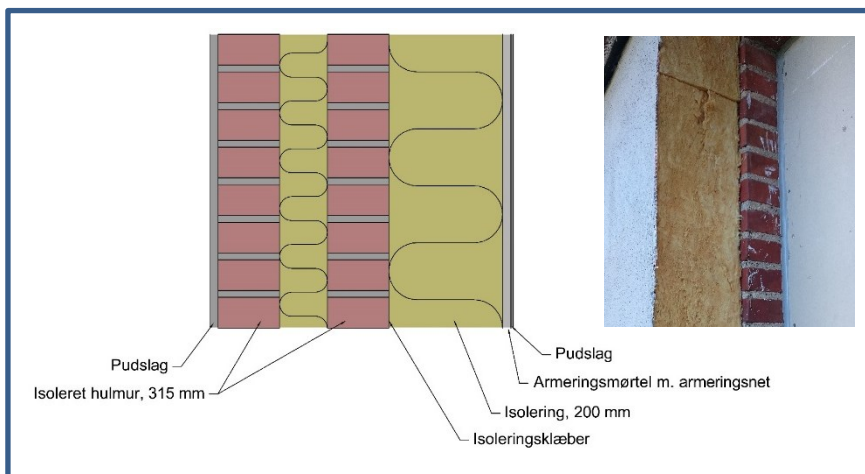


MÅLEBLAD – Spektrum T12

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

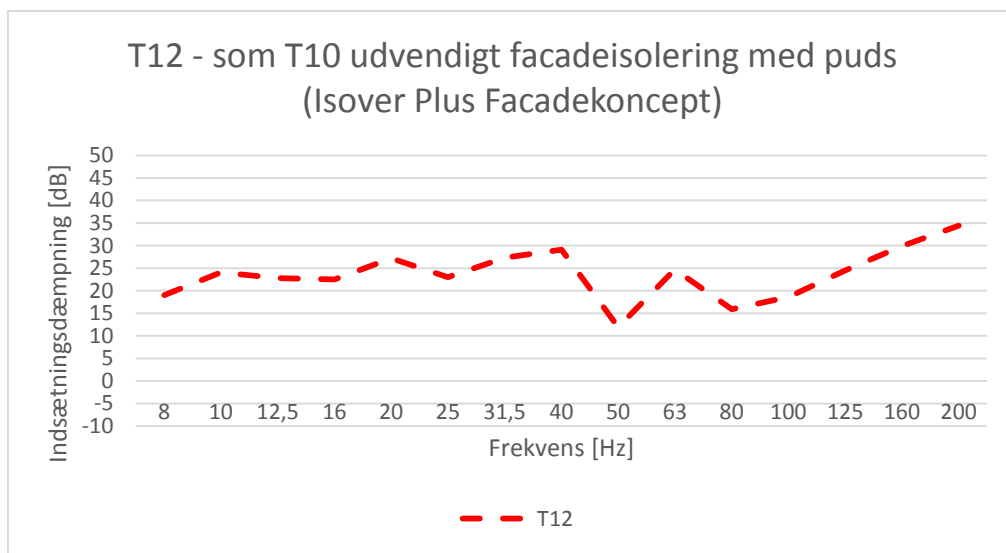
Forsøgsbeskrivelse: Udvendig facadeisolering Isover Facadekoncept



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med udvendig facadeisolering (glasuld og puds)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk med alm. termorude (4-12-4 mm) – blændet udefra	
Værelsesstørrelse	$A_f=9,2m^2$ $V=30,9m^3$ $L=3,96m$ $B=3,35m$ $H=2,33m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	19
10	24,1
12,5	22,8
16	22,5
20	27,2
25	23
31,5	27,3
40	29,1
50	11,9
63	24,7
80	15,9
100	18,6
125	24,5
160	29,9
200	34,4

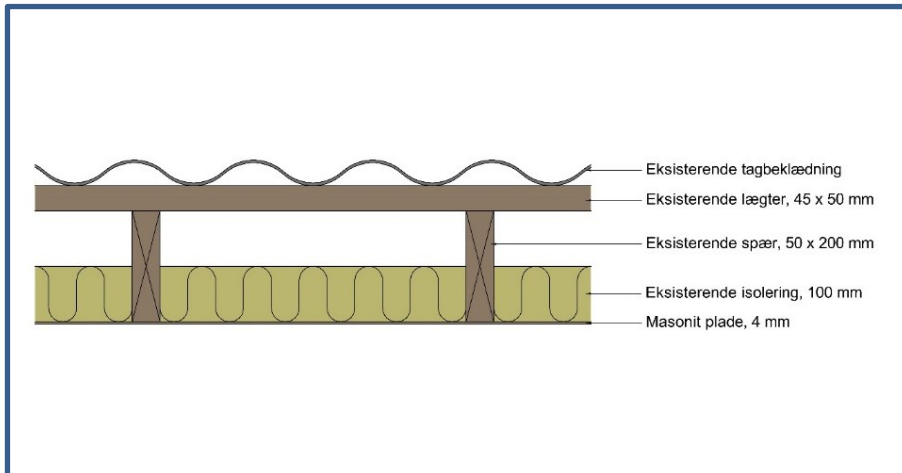


MÅLEBLAD – Spektrum G

Bygningsfacade: Let (1. sal)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

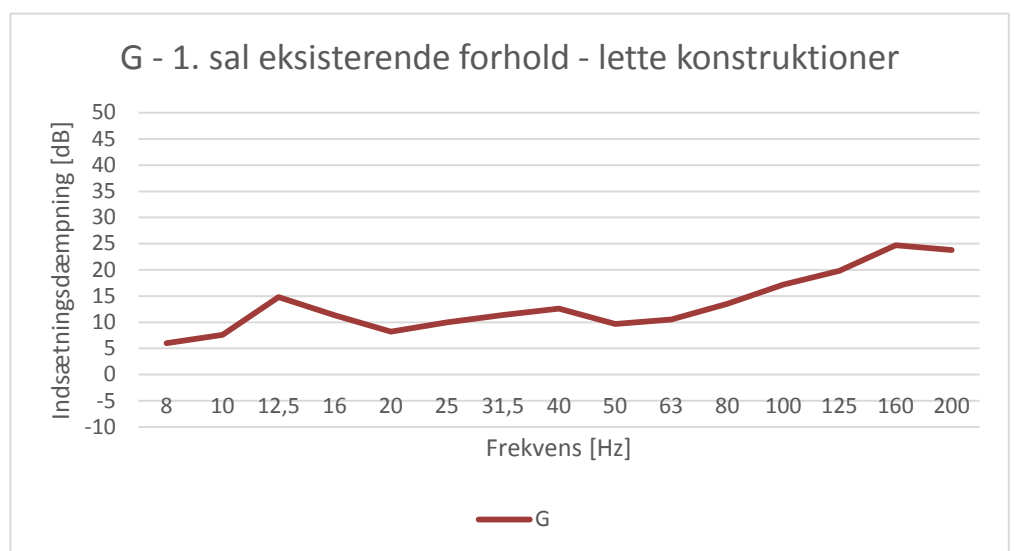
Forsøgsbeskrivelse: 1. Sal – eksisterende forhold



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage				
Facade	Muret					
Tagkonstruktion	Eternit					
Vinduer	Tagvindue med termorude. BxH=0,66x1,18=0,78m ²					
Værelsesstørrelse	A _{skrå-og skunkvæg} =13m ²	V=20m ³	L=3,3m	B=3,1m	H=1,1/2,12m	Rektangulært med skråvægge

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	6
10	7,6
12,5	14,8
16	11,3
20	8,2
25	10
31,5	11,4
40	12,6
50	9,7
63	10,5
80	13,5
100	17,2
125	19,8
160	24,7
200	23,8

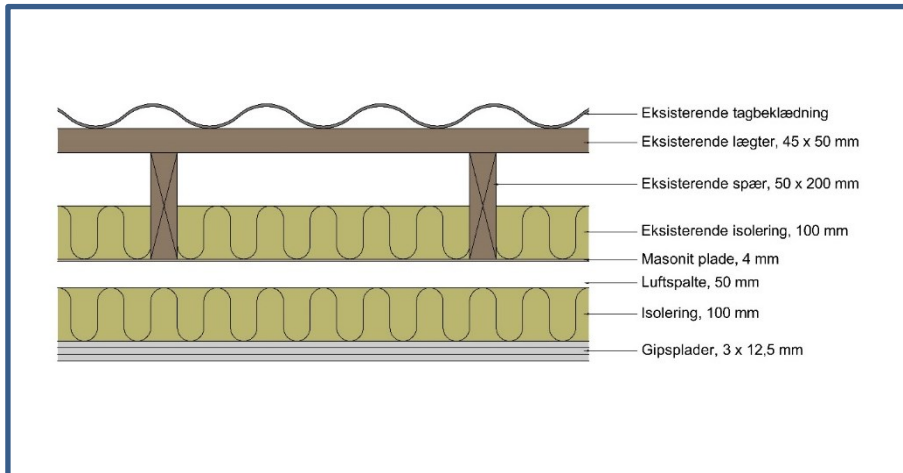


MÅLEBLAD – Spektrum L1

Bygningsfacade: Let (1. sal)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

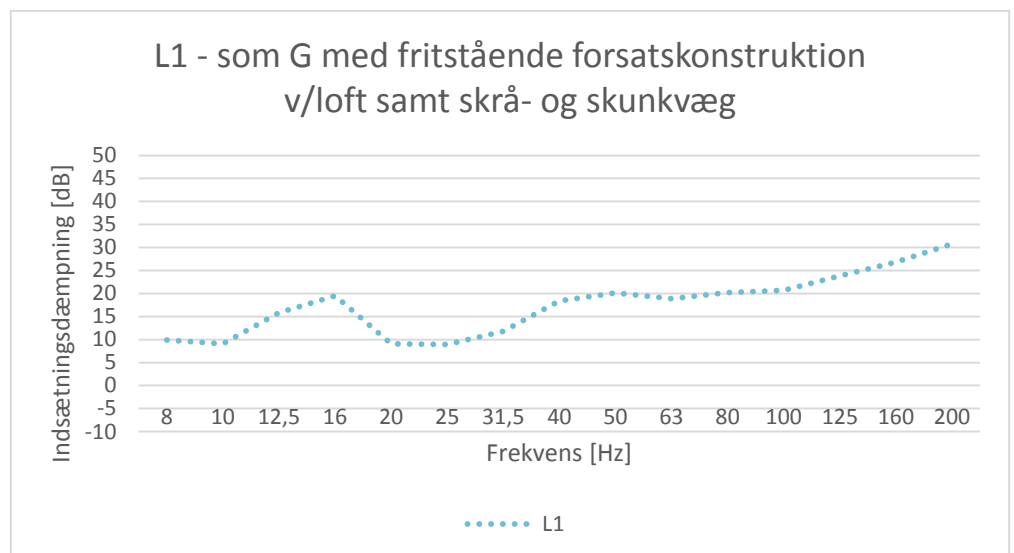
Forsøgsbeskrivelse: Fritstående indvendig forsatskonstruktion (3 lag)



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret	
Tagkonstruktion	Eternit	Indvendig fritstående forsatskonstruktion v/loft samt skrå- og skunkvæg
Vinduer		Tagvindue med termorude. BxH=0,66x1,18=0,78m ²
Værelsesstørrelse	A _{skrå-og skunkvæg} =13m ² V=20m ³	L=3,3m B=2,9m H=0,93/1,94m Rektangulært med skråvægge

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	9,9
10	9,1
12,5	15,8
16	19,5
20	9,1
25	8,9
31,5	11,8
40	18,4
50	20,1
63	18,9
80	20,2
100	20,7
125	23,8
160	26,8
200	30,8

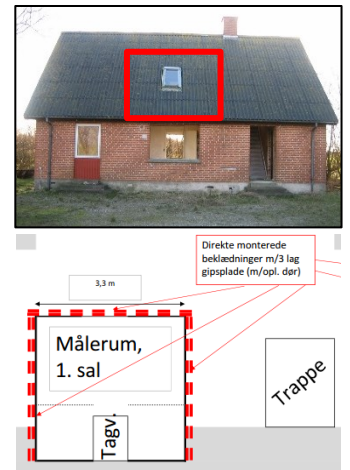
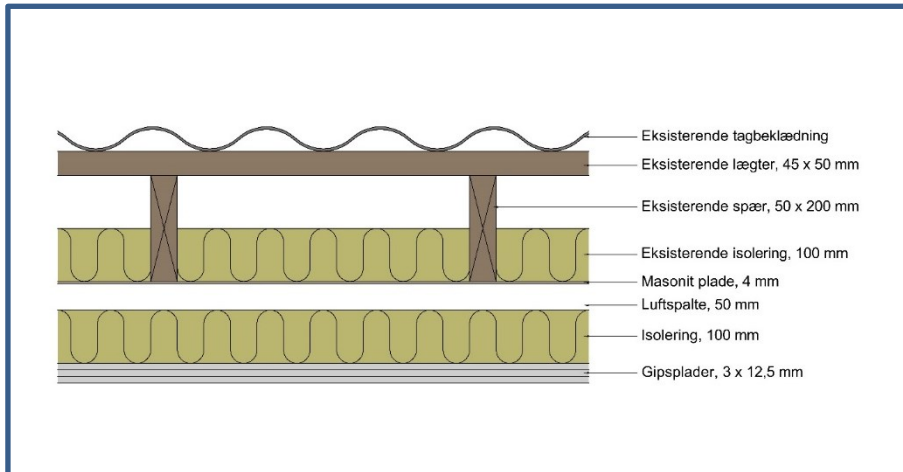


MÅLEBLAD – Spektrum L2

Bygningsfacade: Let (1. sal)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

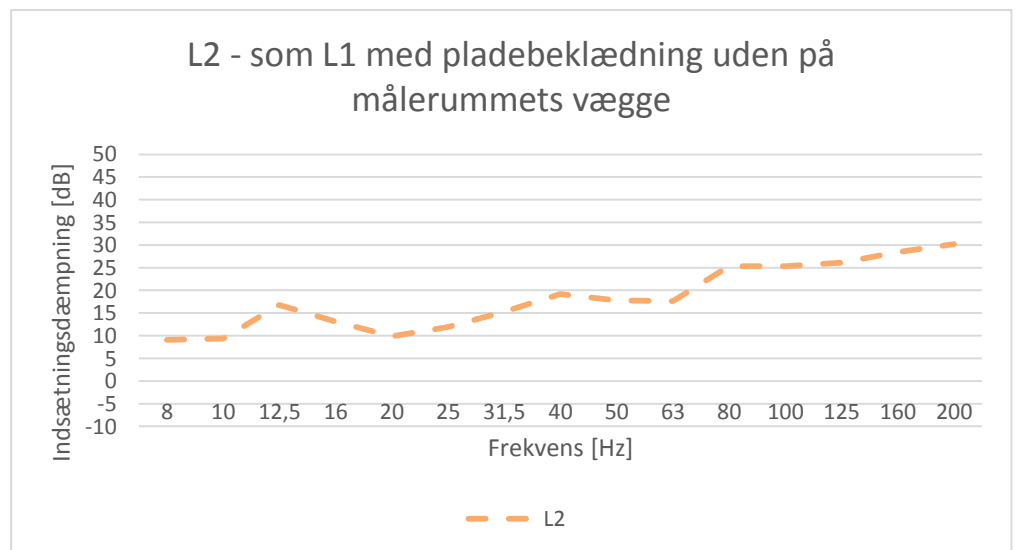
Forsøgsbeskrivelse: Vægbeklædninger omkring målerum
(afklaring af omvejstransmission via interne skillevægge)



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret	
Tagkonstruktion	Eternit	Indvendig fritstående forsatskonstruktion v/loft samt skrå- og skunkvæg
Vinduer		Tagvindue med termorude. BxH=0,66x1,18=0,78m ²
Værelsesstørrelse	A _{skrå-og skunkvæg} =13m ² V=20m ³	L=3,3m B=2,9m H=0,93/1,94m Rektangulært med skråvægge

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	9,1
10	9,4
12,5	16,8
16	13,1
20	9,9
25	11,9
31,5	15,3
40	19,2
50	17,8
63	17,6
80	25,3
100	25,3
125	26,1
160	28,4
200	30,2

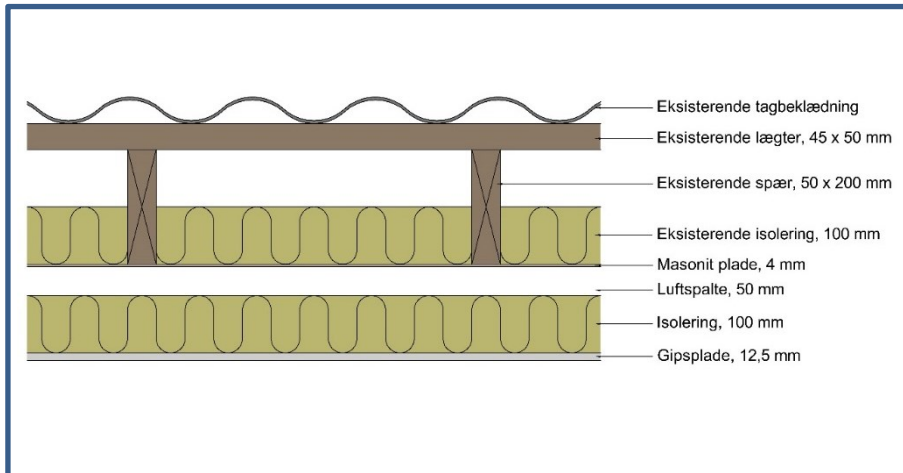


MÅLEBLAD – Spektrum L3

Bygningsfacade: Let (1. sal)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

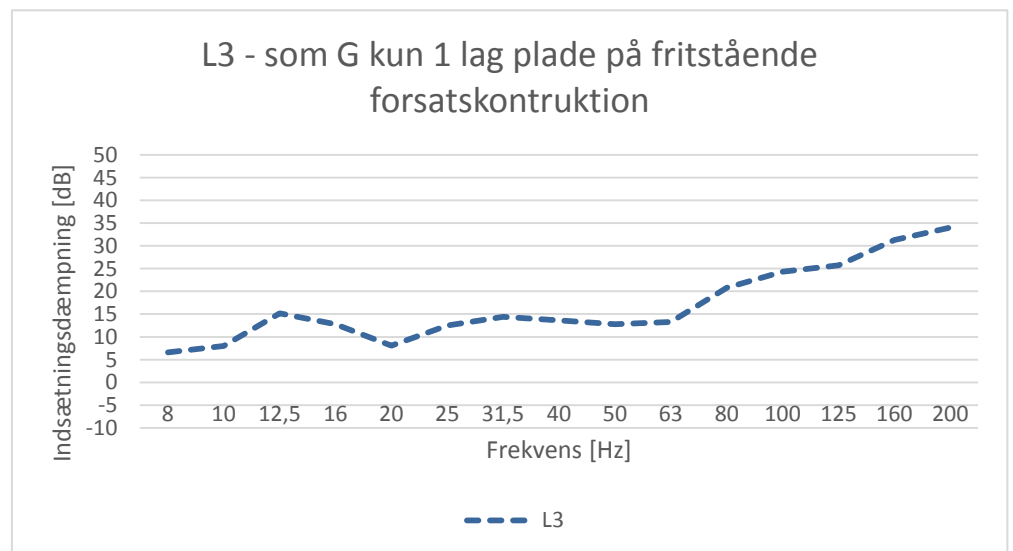
Forsøgsbeskrivelse: 1. Sal – Fritstående indvendig forsatskonstruktion (1 lag)



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret	
Tagkonstruktion	Eternit	Indvendig fritstående forsatskonstruktion v/loft samt skrå- og skunkvæg
Vinduer		Tagvindue med termorude. BxH=0,66x1,18=0,78m ²
Værelsesstørrelse	A _{skrå-og skunkvæg} =13m ² V=20m ³	L=3,3m B=2,9m H=0,93/1,94m Rektangulært med skråvægge

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	6,6
10	8,0
12,5	15,2
16	12,8
20	8,1
25	12,5
31,5	14,4
40	13,6
50	12,8
63	13,3
80	20,8
100	24,3
125	25,7
160	31,3
200	34,0

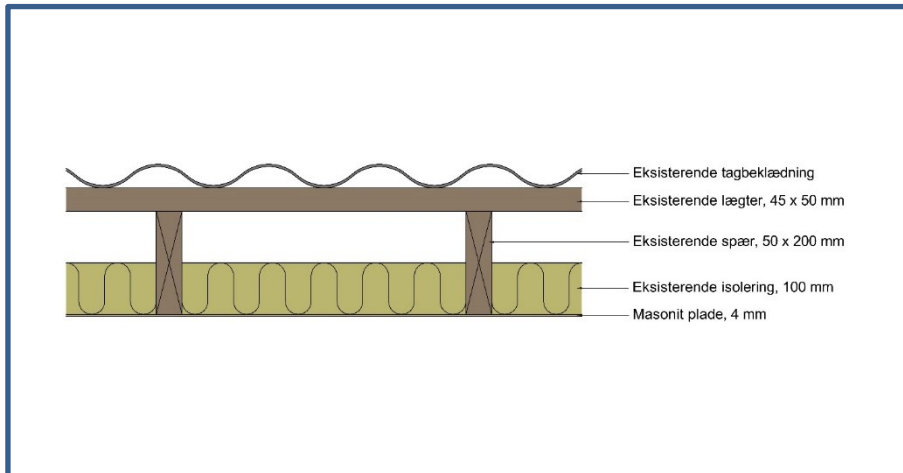


MÅLEBLAD – Spektrum I

Bygningsfacade: Let (1. sal)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

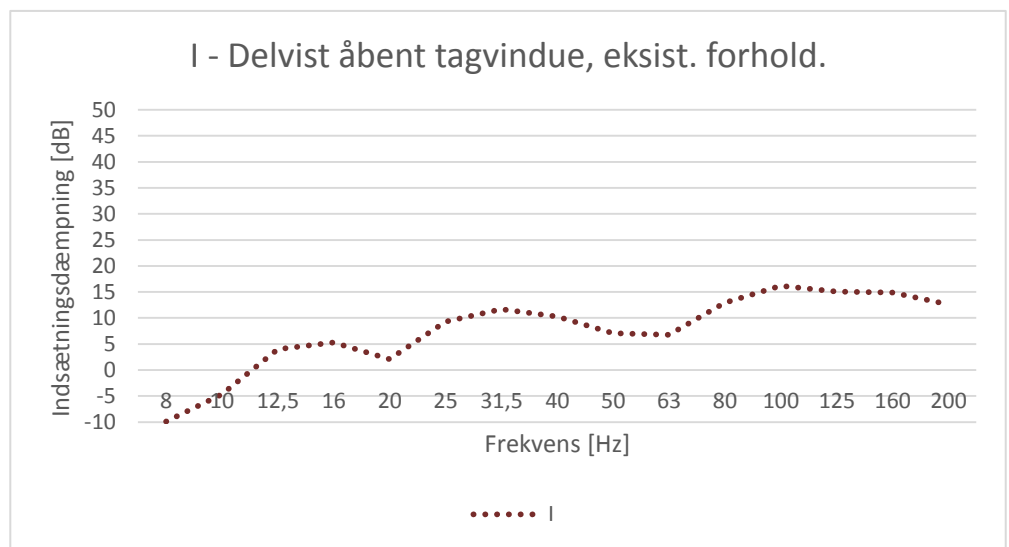
Forsøgsbeskrivelse: Oprindelige forhold m/tagvindue på klem (åbent 5 cm)



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer		Tagvindue med termorude. BxH=0,66x1,18=0,78m ²
Værelsesstørrelse	A _{skrå-/skunkvæg} =13m ² V=20m ³	L=3,3m B=3,1m H=1,1/2,12m Rektangulært med skråvægge

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	-9,9
10	-4,7
12,5	4,0
16	5,3
20	2,1
25	9,3
31,5	11,7
40	10,3
50	7,1
63	6,8
80	12,9
100	16,2
125	15,1
160	14,9
200	12,6

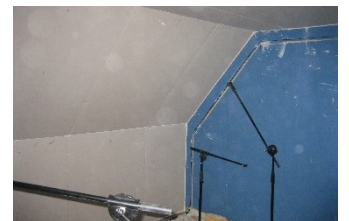
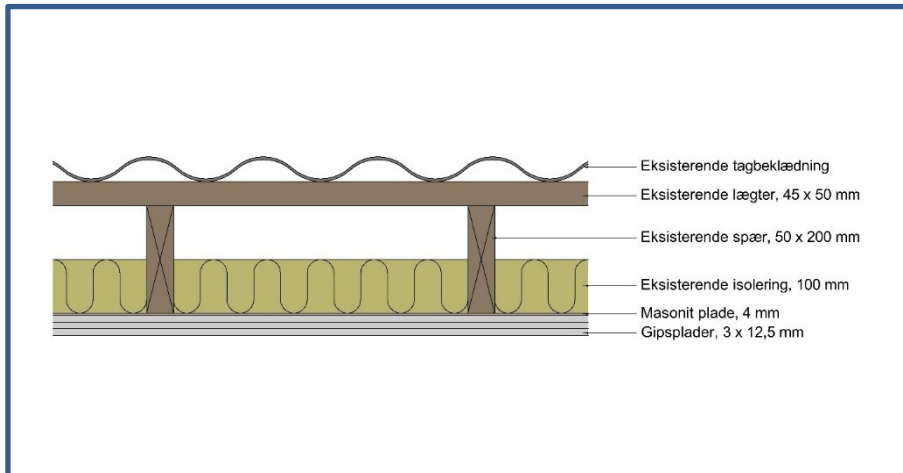


MÅLEBLAD – Spektrum L4

Bygningsfacade: Let (1. sal)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

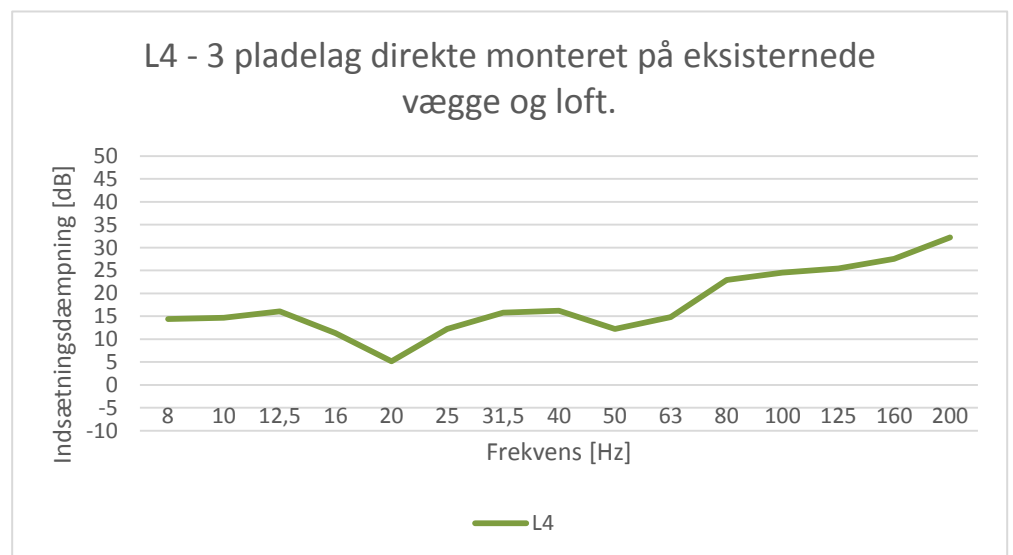
Forsøgsbeskrivelse: Direkte monterede gipsplader på skunk- og skråvægge samt loft



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret	
Tagkonstruktion	Eternit	Indvendigt direkte monterede gipsplader på loft samt skrå- og skunkvæg
Vinduer		Tagvindue med termorude. BxH=0,66x1,18=0,78m ²
Værelsesstørrelse	A _{skrå-/skunkvæg} =13m ² V=20m ³	L=3,3m B=2,9m H=0,93/1,94m Rektangulært m/skråvægge

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	14,4
10	14,7
12,5	16,1
16	11,3
20	5,2
25	12,2
31,5	15,8
40	16,2
50	12,2
63	14,8
80	22,9
100	24,5
125	25,4
160	27,5
200	32,2

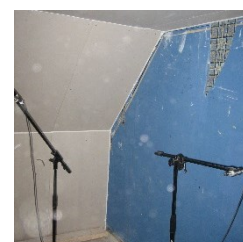
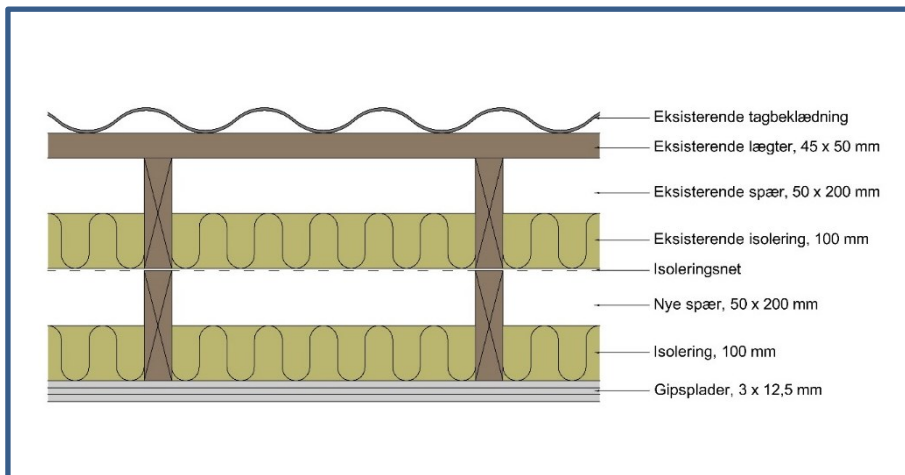


MÅLEBLAD – Spektrum L5

Bygningsfacade: Let (1. sal)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

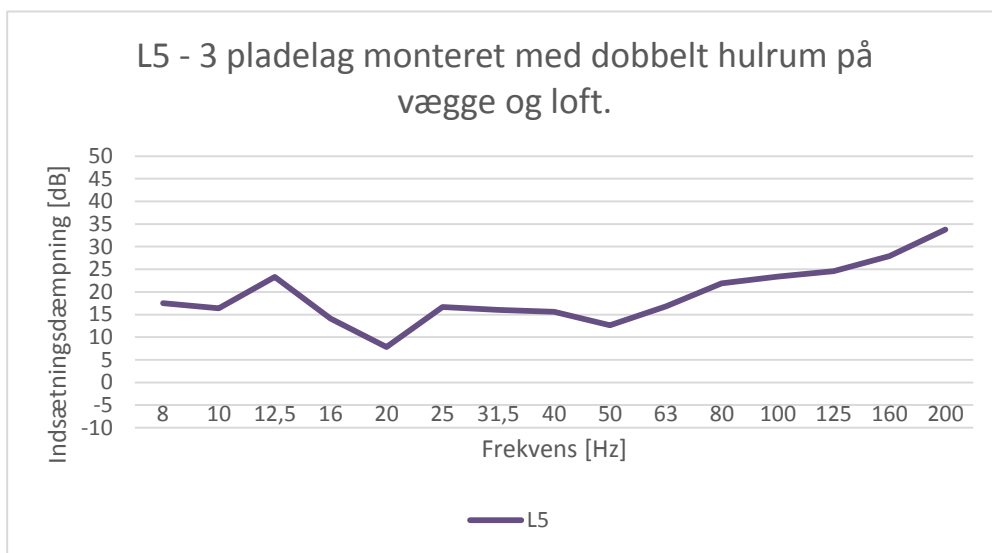
Forsøgsbeskrivelse: Ny påføring på oprindelige spær – efter fjernelse af eksist. beklædning (tykkere hulrum) og mont. af 3 lag gipsplader på skunk- og skråvægge samt loft



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret	
Tagkonstruktion	Eternit	Ny påforet forsatskonstruktion (tykkere hulrum) v/loft og vægge
Vinduer		Tagvindue med termorude. BxH=0,66x1,18=0,78m ²
Værelsesstørrelse	A _{skrå-og skunkvæg} =13m ² V=20m ³	L=3,3m B=2,9m H=0,93/1,94m Rektangulært med skråvægge

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	17,5
10	16,4
12,5	23,3
16	14,1
20	7,8
25	16,7
31,5	16,0
40	15,6
50	12,6
63	16,8
80	21,9
100	23,4
125	24,6
160	27,9
200	33,8



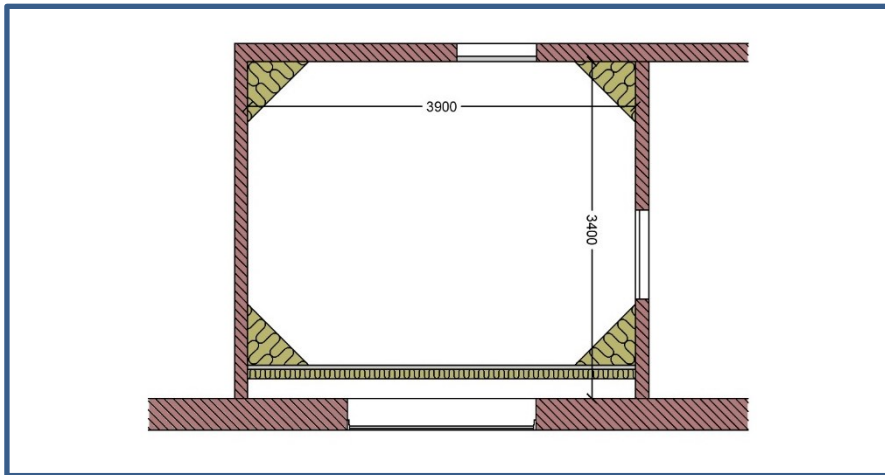
MÅLEBLAD – Spektrum R1

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

Forsøgsbeskrivelse: Stueetage – supplerende basabsorbenter

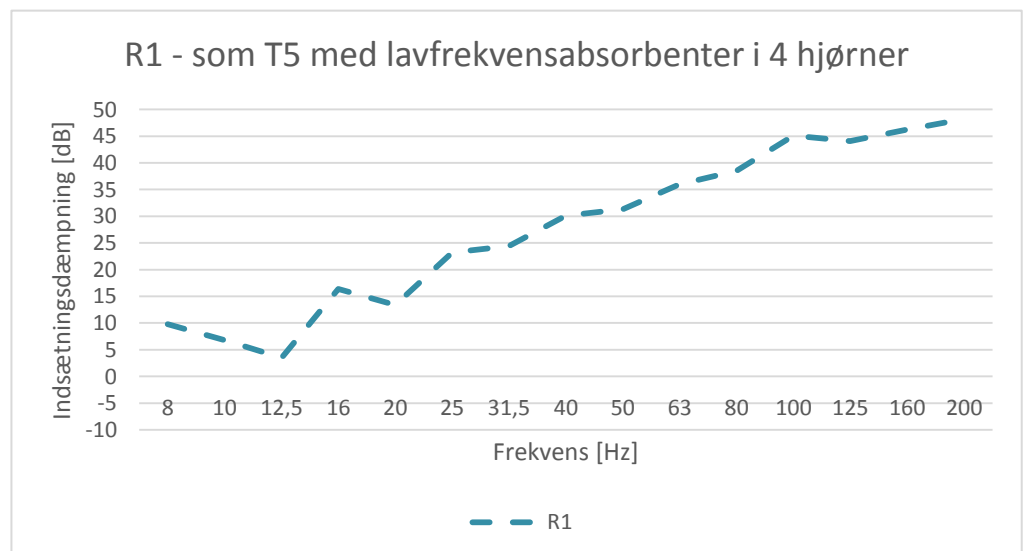
(i tilknytning til forsøg med ekstra afstivning af fritstående forsatsvæg)



Hustype	Landhus, 1953	Udnyttet tagetage
Facade	Muret med fritstående indvendig forsatsvæg (300 mm)	
Tagkonstruktion	Eternit	
Vinduer	1stk BxH=191x127cm med alm. termorude (4-12-4).	
Værelsesstørrelse	$A_f=9,2m^2$ $V=27,3m^3$ $L=3,96m$ $B=3,01m$ $H=2,29m$	

Måleresultater:

Frekvens [Hz]	Indsætningsdæmpning [dB]
8	9,8
10	6,8
12,5	3,5
16	16,4
20	13,4
25	23,2
31,5	24,4
40	30,1
50	31,3
63	36,0
80	38,5
100	45,1
125	44,1
160	46,2
200	48,2



MÅLEBLAD – Spektrum R1 (fortsat)

Bygningsfacade: Tung (stueetagen)

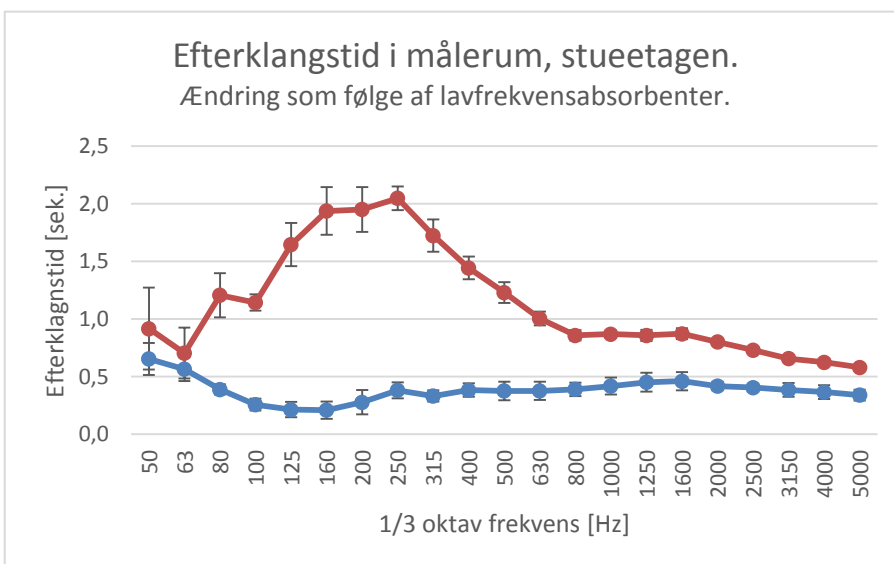
Adresse: Bollerupvej 75, 9240 Nibe

Forsøgsbeskrivelse: Stueetage – supplerende basabsorbenter

(i tilknytning til forsøg med ekstra afstivning af fritstående forsatsvæg)

Ændring af efterklangstider, T med/uden lavfrekvensabsorbenter:

Frekvens [Hz]	T, uden LF-abs [sek.]	T, med LF-abs. [sek.]
50	0,92	0,65
63	0,70	0,56
80	1,21	0,39
100	1,14	0,26
125	1,65	0,21
160	1,94	0,21
200	1,95	0,28
250	2,05	0,38
315	1,72	0,33
400	1,44	0,38
500	1,23	0,37
630	1,00	0,38
800	0,86	0,39
1000	0,87	0,42
1250	0,86	0,45
1600	0,87	0,46
2000	0,80	0,42
2500	0,73	0,40
3150	0,66	0,38
4000	0,62	0,37
5000	0,58	0,34



BILAG 2: OVERSIGT, MÅLERESULTATER FOR INDSÆTNINGSDÆMPNING

Signal/støjniveau for alle målinger var bedre end 6 dB – hvorfor resultaterne er ”reliable”.

Etag	Basiskonstruktion	Beskrivelse	Spektrum	1/3 oktav center frekvens [Hz]															
				8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	
Stue	Tung	Retablering til tæt bygning m/termorude i stueetagen (åben murventil i facaden)	T1	5,9	-5,0	3,1	12,3	15,5	23,0	21,4	22,5	13,9	23,0	23,9	22,5	25,7	22,1	23,8	
Stue	Tung	Som T1 med lukket murventil i facaden	A	5,2	-5,4	3,1	12,8	16,1	23,2	22,0	24,5	14,1	25,0	24,4	23,2	26,3	22,6	24,3	
Stue	Tung	Fritstående indvendig forsatsvæg (3 lag plade og 300 mm hulrum) - uden indvendigt vindue	T2	8,7	2,4	3,2	13,9	15,0	19,3	22,8	25,9	30,5	35,5	28,5	36,5	37,9	35,0	43,5	
Stue	Tung	Som T2, loft direkte monteret i målerum (afklaring af omvejstransmission via loftrum)	T3	8,5	3,3	3,1	12,6	15,0	20,2	23,4	27,1	31,3	33,2	32,4	35,2	38,7	36,1	38,7	
Stue	Tung	Som T3 og ekstra vægbeklædninger omkring målerum (afklaring af omvejstransmission via interne skillevægge)	T4	8,3	5,2	3,4	13,1	14,7	20,7	24,4	27,1	31,4	36,8	32,5	35,7	37,8	36,4	38,5	
Stue	Tung	Som T4 og ekstra afstivning af fritstående forsatsvæg	T5	9,1	6,3	3,7	16,8	13,0	22,6	22,9	28,5	29,1	30,9	31,9	35,7	36,9	36,5	37,3	
Stue	Tung	Fritstående indvendig forsatsvæg med lysnings-åbning til facadevindue med almindelig termorude	T6	4,7	-6,3	3,4	12,0	18,1	18,5	25,1	29,8	24,3	18,4	21,0	25,1	24,7	24,2	22,8	
Stue	Tung	Som T6, fritstående indvendig forsatsvæg samt forsatsvindue m/tung forsatsrude	B	11,8	16,4	17,1	17,0	20,8	19,0	24,7	27,7	30,4	31,8	32,3	36,2	39,0	34,7	36,8	
Stue	Tung	Som B, fritstående indvendig forsatsvæg og -vindue m/tung forsatsrude, samt karmabsorbent i mellemrum	T7	11,9	15,8	16,3	15,9	21,1	19,5	23,1	28,7	30,6	29,8	32,0	36,2	39,7	36,2	40,8	
Stue	Tung	Som T7, fritstående indvendig forsatsvæg og -vindue samt karmabsorbent i mellemrum m/tung skråstillet forsatsrude	T8	10,6	14,4	14,9	13,5	16,7	20,8	24,8	31,5	30,3	31,1	32,4	36,3	40,5	37,4	41,1	
Stue	Tung	Indvendig forsatsbeklædning (3 lag plade og 150 mm hulrum) med lysningsåbning til facadevindue med almindelig termorude	T9	5,7	-6,8	3,6	12,3	18,0	20,2	24,5	27,2	17,9	23,7	23,7	25,4	26,1	24,6	22,0	
Stue	Tung	Som T9, indvendig forsatsbeklædning med forsatsvindue m/tung forsatsrude	D	12,9	15,9	18,1	19,9	18,1	20,4	24,8	23,7	24,0	32,5	35,7	37,1	38,9	33,6	38,8	
Stue	Tung	Oprindelig tæt bygning med facadevindue med termorude og lukket murventil samt udvendigt afblændet vindue	T10	17,6	21,0	18,3	11,2	17,6	24,5	26,7	27,4	14,1	28,7	25,8	22,9	26,0	29,4	30,7	
Stue	Tung	Udvendig facadeisolering Isover Plus system (plade og puds)	T11	14,1	19,9	21,4	17,0	16,6	22,9	21,7	25,4	19,6	32,9	36,2	38,3	44,2	40,5	45,0	
Stue	Tung	Udvendig facadeisolering Isover Facadekoncept (puds)	T12	19,0	24,1	22,8	22,5	27,2	23,0	27,3	29,1	11,9	24,7	15,9	18,6	24,5	29,9	34,4	
1. sal	Let	1. Sal – eksisterende forhold	G	6,0	7,6	14,8	11,3	8,2	10,0	11,4	12,6	9,7	10,5	13,5	17,2	19,8	24,7	23,8	
1. sal	Let	Som G, fritstående indvendig forsatskonstruktion (3 lag)	L1	9,9	9,1	15,8	19,5	9,1	8,9	11,8	18,4	20,1	18,9	20,2	20,7	23,8	26,8	30,8	
1. sal	Let	Som L1, samt vægbeklædninger omkring målerum (afklaring af omvejstransmission via interne skillevægge)	L2	9,1	9,4	16,8	13,1	9,9	11,9	15,3	19,2	17,8	17,6	25,3	25,3	26,1	28,4	30,2	
1. sal	Let	1. Sal – Fritstående indvendig forsatskonstruktion (1 lag)	L3	6,6	8,0	15,2	12,8	8,1	12,5	14,4	13,6	12,8	13,3	20,8	24,3	25,7	31,3	34,0	
1. sal	Let	Oprindelige forhold m/tagvindue på klem (åbent 5 cm)	I	-9,9	-4,7	4,0	5,3	2,1	9,3	11,7	10,3	7,1	6,8	12,9	16,2	15,1	14,9	12,6	
1. sal	Let	Direkte monterede plader på skunk- og skråvægge samt loft	L4	14,4	14,7	16,1	11,3	5,2	12,2	15,8	16,2	12,2	14,8	22,9	24,5	25,4	27,5	32,2	
1. sal	Let	Fjernet beklædning på skunk-, skråvæg og loft, samt ny påføring på oprindelige spær (tykkere hulrum) og 3 lag plader på skunk- og skråvægge samt loft	L5	17,5	16,4	23,3	14,1	7,8	16,7	16,0	15,6	12,6	16,8	21,9	23,4	24,6	27,9	33,8	
Stue	Tung	Som T5 med supplerende basabsorbenter	R1	9,8	6,8	3,5	16,4	13,4	23,2	24,4	30,1	31,3	36,0	38,5	45,1	44,1	46,2	48,2	

Tabel 11. Resultater af målte indsætningsdæmpninger pr. 1/3 oktav fra 8 – 200 Hz for samtlige udførte forsøg.

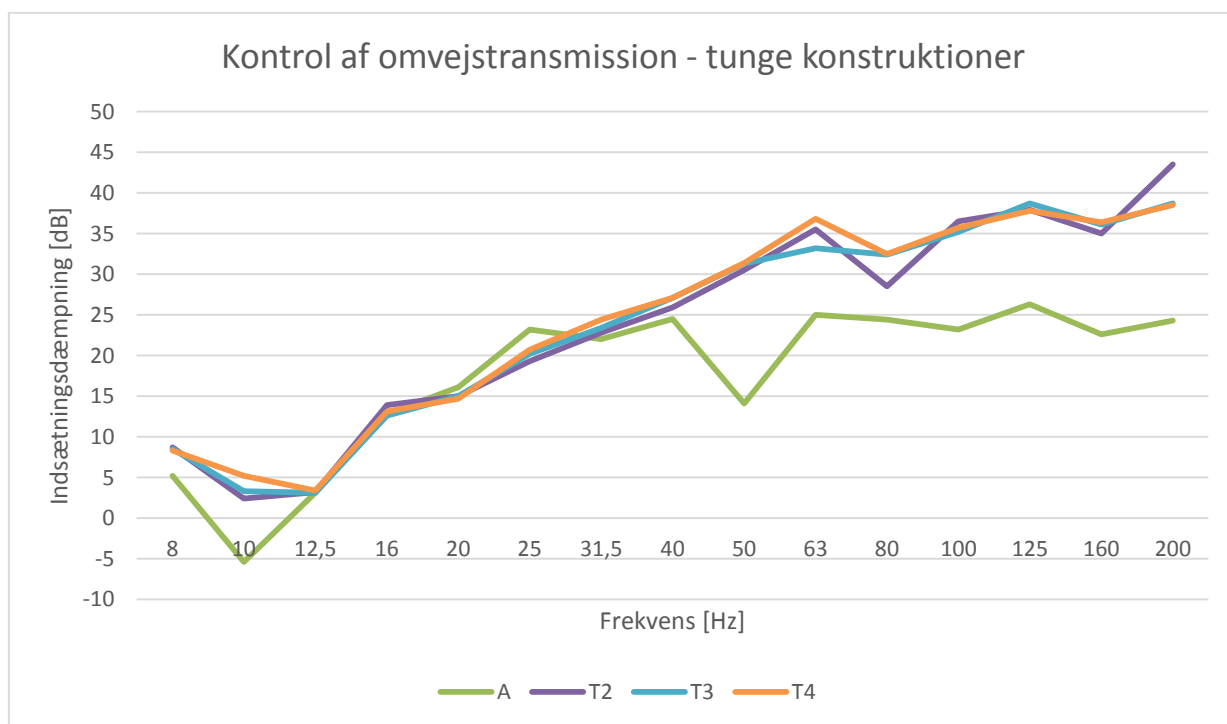
BILAG 3: SUPPLERENDE ANALYSER

- Kontrol af omvejstransmission (tung/let konstruktion)
- Lysningsåbning i forsatsvægge

I dette bilag beskrives først to analyser af målerummenes tæthed over for lavfrekvent lydtransmission uden om den adskillende facadekonstruktion som er under test.

Først vises i Figur 27 hvordan indsætningsdæmpningen af en tung facade ikke påvirkes signifikant, når lydtransmissionen via flankerende bygningsdele (loft og interne skillevægge) begrænses ved montage af supplerende gipspladelag.

Det kan således konkluderes, at målerummet bag den tunge facade i stueetagen som udgangspunkt – alene med facadeforbedringer – ville have været tilstrækkeligt lydisolerende uden ekstra gipspladebeklædninger på loft og indervægge. Dette har den konsekvens for fremtidige forbedringsforanstaltninger i enkelte rum i bygninger med tunge facader, at det med tunge indervægge er tilstrækkeligt alene at forbedre det aktuelle rum. Det er derfor ikke nødvendigt også at isolere indervægge mod tilgrænsende rum.



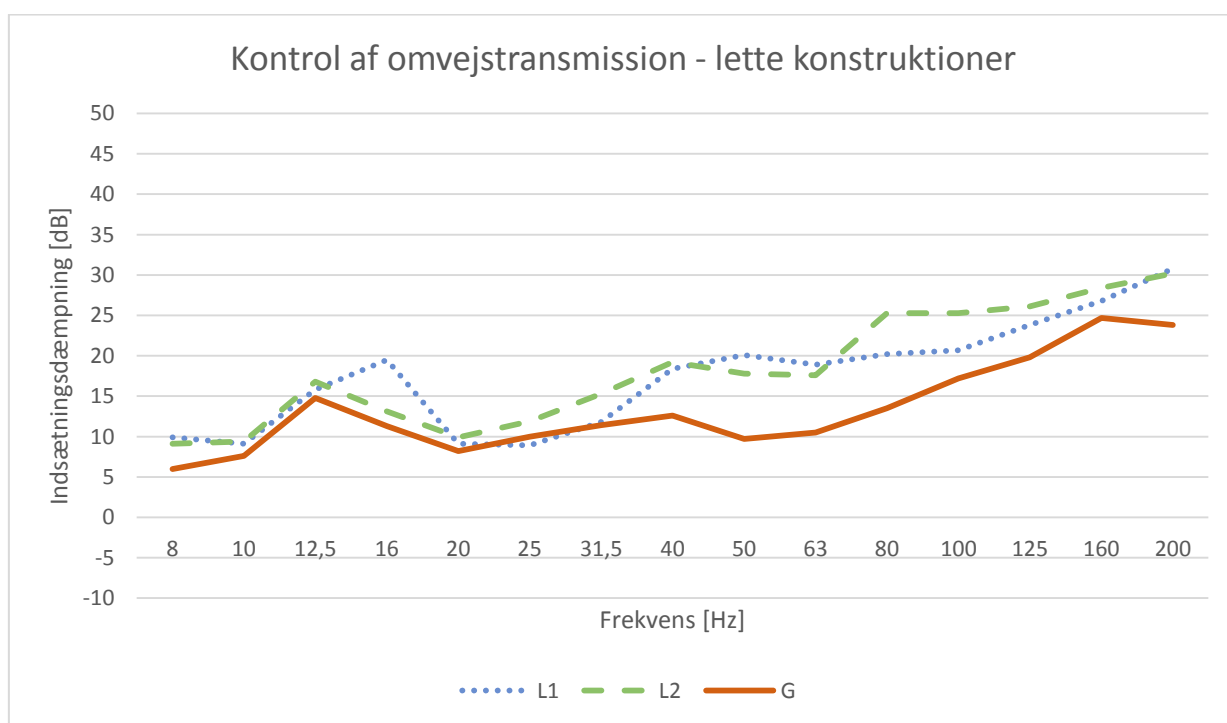
Figur 27. Kontrol af omvejstransmission - Indsætningsdæmpning for tunge konstruktioner

Dernæst beskrives samme kontrolmåling i forhold til rum bag en let facade.

Det fremgår således i Figur 28, at indsætningsdæmpningen af en let facade påvirkes signifikant, når lydtransmissionen via flankerende bygningsdele (interne skillevægge) begrænses ved montage af supplerende gipsplade lag.

Det kan konkluderes, at forbedringer af facadens lydisolations i målerummet bag den lette facade (på 1. sal) vil være påvirket af omvejstransmission via flankerende lette vægge. Facadeisolationen vil ikke i sig selv have fuld effekt på grund af lydtransmission uden om facaden.

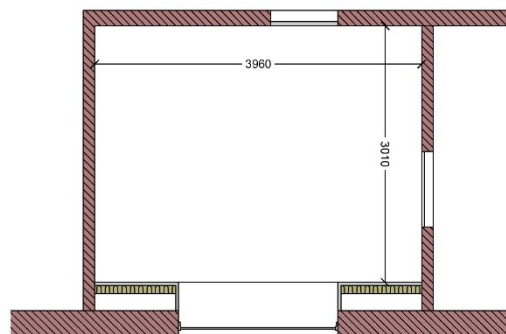
Konsekvensen for fremtidige forbedringsforanstaltninger i enkelte rum i bygninger med let facade og lette interne skillevægge er, at det ikke er tilstrækkeligt alene at forbedre facaden i det aktuelle rum. Det er således nødvendigt også at isolere indervægge mod tilgrænsende rum.



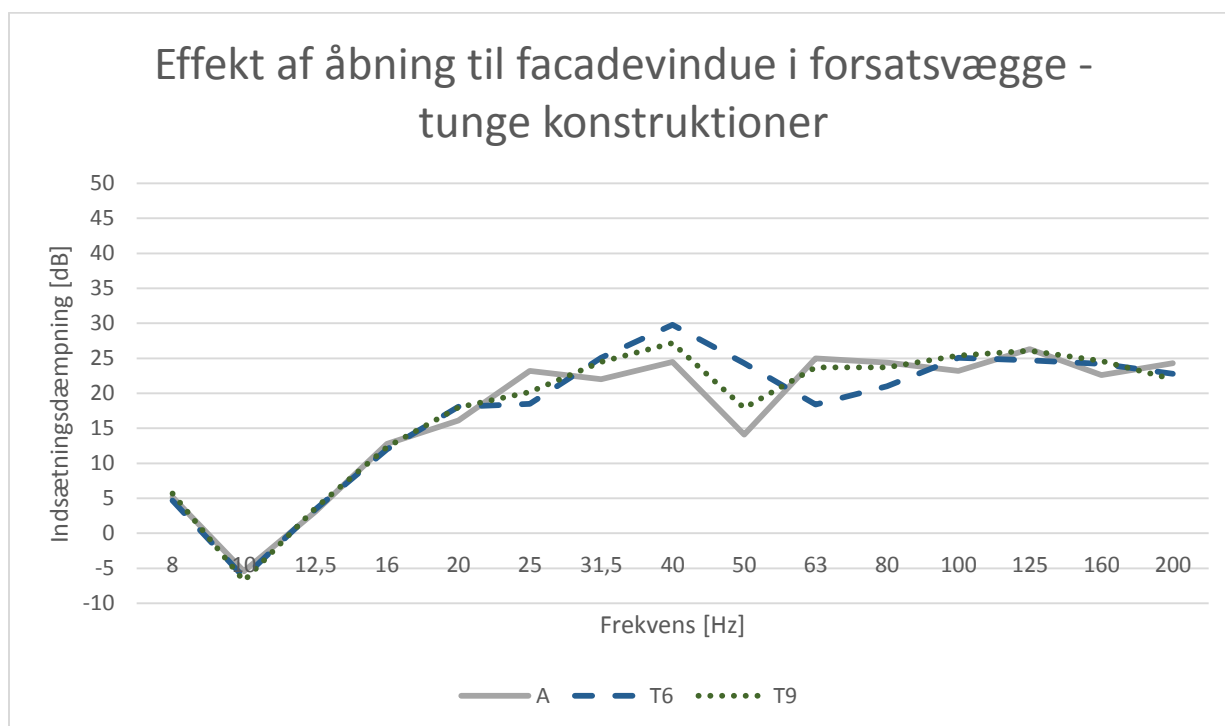
Figur 28. Kontrol af omvejstransmission - Indsætningsdæmpning for lette konstruktioner

Den tredje supplerende analyse omhandler en vurdering, af om der er stor forskel på indsætningsdæmpningen for to forskellige typer af forsatsvægge (fritstående og forsatsbeklædning), hvis der er en lysningsåbning til vinduet i den eksisterende facade.

Dette er belyst i Figur 29: Det fremgår dog, at i frekvensområdet fra 8 – 20 Hz kan der ikke konstateres en forbedring af indsætningsdæmpningen, uanset hvilken type af forsatsvæg, der er opstillet foran den tunge facade – inkl. lysningsåbning til det oprindelige facadevindue.



I frekvensområdet 8-20 Hz er det således afgørende, at der i forsatsvægge med vinduesåbning monteres et forsatsvindue. Dette fremgår tydeligt, hvis der sammenlignes med kurverne i Figur 17. Indsætningsdæmpning for tung facade og –vindue samt indvendig forsatsvæg (-beklædning og fritstående) og tung forsatsrude, hvor indsætningsdæmpningen forbedres med ca. 5 – 20 dB. Signifikante forskelle mellem de to typer forsatsvægge – uden forsatsruder – optræder først i frekvensområdet 50 -80 Hz. Ved 50 Hz isolerer den fritstående forsatsvæg ca. 5 dB bedre end forsatsbeklædningen mens det omvendt er forsatsbeklædningen, som isolerer ca. 5 dB bedre ved 63 og 80 Hz. Samme karakteristika genfindes i Figur 17 for de to typer forsatsvægge med tung forsatsrude.



Figur 29. Indsætningsdæmpning for tung facade med forsatsvægge med åbninger til facadevindue

BILAG 4: BEREGNET INDSÆTNINGSDÆMPNING FOR KOMBINATIONER AF DÆMPNINGSFORSØG

I dette afsnit redegøres for beregninger af indsætningsdæmpning for kombinationer af dæmpningsforsøg, som ikke er målt samtidig. Eksempelvis hvordan et tungt lydisolerende forsatsvindue vil virke i kombination med udvendig facadeisolation. I dette tilfælde beregnes den kombinerede effekt, spektrum E, som tilnærmet værdi med udgangspunkt i delresultaterne af hvert af de to forsøg for henholdsvis tungt lydisolerende forsatsvindue spektrum B, (hvor det antages, at hovedparten af lydenergien transmitteres via vinduet) og udvendig facadeisolation, spektrum T11.

Den kombinerede indsætningsdæmpning D_E beregnes pr. 1/3 oktav ved hjælp af følgende udtryk:

$$D_E = -10 \log_{10}(10^{-D_B/10} + 10^{-D_{T11}/10})$$

Tilsvarende er de øvrige kombinerede indsætningsdæmpninger beregnet ved hjælp af de efterfølgende udtryk:

$$\begin{aligned} D_F &= -10 \log_{10}(10^{-D_B/10} + 10^{-D_{T12}/10}) \\ D_H &= -10 \log_{10}(10^{-D_B/10} + 10^{-D_{L5}/10}) \\ D_J &= -10 \log_{10}(10^{-D_B/10} + 10^{-D_{L4}/10}) \\ D_K &= -10 \log_{10}(10^{-D_B/10} + 10^{-D_{L2}/10}) \end{aligned}$$

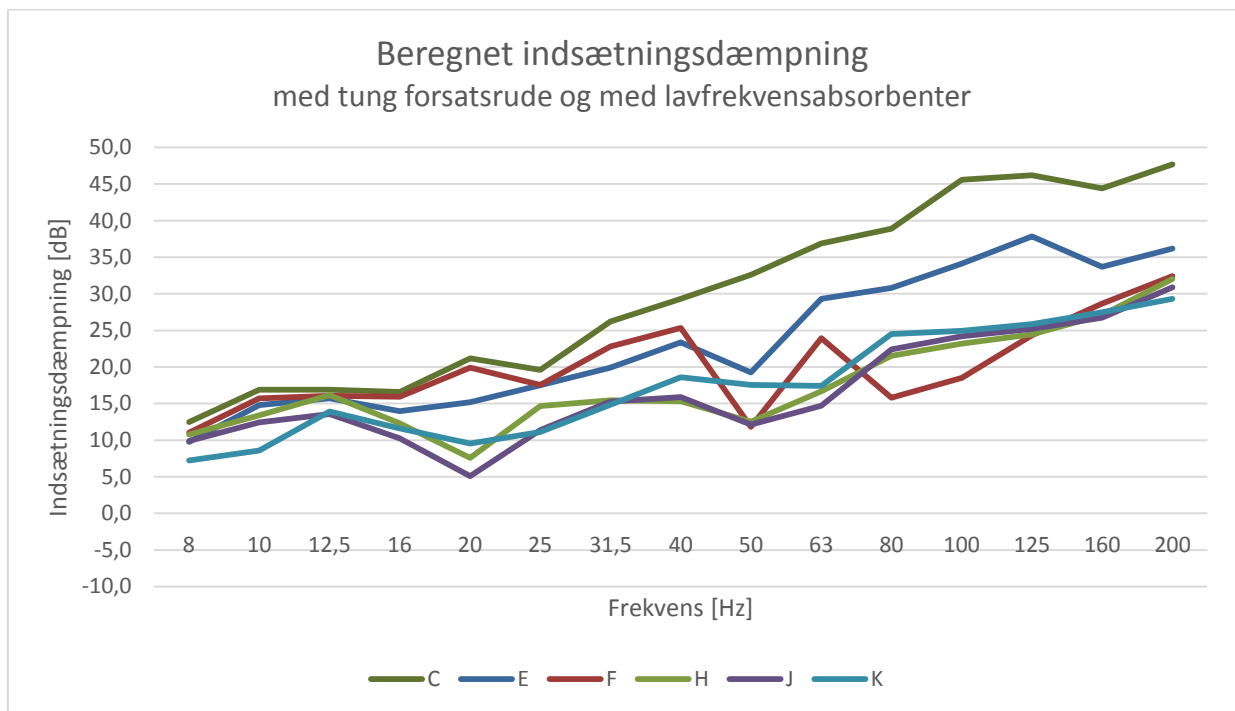
Effekten af lavfrekvensabsorbenter (spektrum C) i stueetagen med fritstående forsatsvæg og tungt forsatsvindue er beregnet anderledes, da der er tale om en anden dæmpningsmekanisme, som ikke er afhængig af konstruktionerne. Først beregnes nettoeffekten af lavfrekvensabsorbenterne i forbindelse med den afstivede, fritstående forsatsvæg med tungt forsatsvindue (differensen mellem spektrum R og T5). Dernæst adderes nettoeffekten til forsøget med fritstående forsatsvæg og tungt forsatsvindue spektrum B:

$$D_C = D_B + (D_R - D_{T5})$$

Resultaterne pr. 1/3 oktav fremgår af den efterfølgende Tabel 12 og grafisk i Figur 30.

Etage	Basiskonstruktion	Beskrivelse	Spektrum	1/3 oktav center frekvens [Hz]															
				8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	
Stue	Tung	Fritstående forsatsvæg (3 lag gips m 300 mm hulrum og 100 mm min.uld samt lavfrekvensabsorbenter i modtagerum.	C	12,5	16,9	16,9	16,6	21,2	19,6	26,2	29,3	32,6	36,9	38,9	45,6	46,2	44,4	47,7	
Stue	Tung	Udvendig facadeisolering med pladebeklædning og puds samt tungt forsatsvindue	E	9,8	14,8	15,7	14,0	15,2	17,5	19,9	23,4	19,3	29,3	30,8	34,1	37,9	33,7	36,2	
Stue	Tung	Udvendig facadeisolering med puds samt tungt forsatsvindue	F	11,0	15,7	16,1	15,9	19,9	17,5	22,8	25,3	11,8	23,9	15,8	18,5	24,3	28,7	32,4	
1. sal	Let	Isoleret skunkvæg, loft og øget tykkelse af hulrum i tagets skråvæg samt tungt forsatsvindue.	H	10,8	13,4	16,2	12,3	7,6	14,7	15,5	15,3	12,5	16,7	21,5	23,2	24,4	27,1	32,0	
1. sal	Let	Direkte monteret pladebeklædning samt tungt forsatsvindue	J	9,9	12,5	13,6	10,3	5,1	11,4	15,3	15,9	12,1	14,7	22,4	24,2	25,2	26,7	30,9	
1. sal	Let	Fritstående forsatskonstruktioner og tungt forsatsvindue.	K	7,2	8,6	13,9	11,6	9,6	11,1	14,8	18,6	17,6	17,4	24,5	25,0	25,9	27,5	29,3	

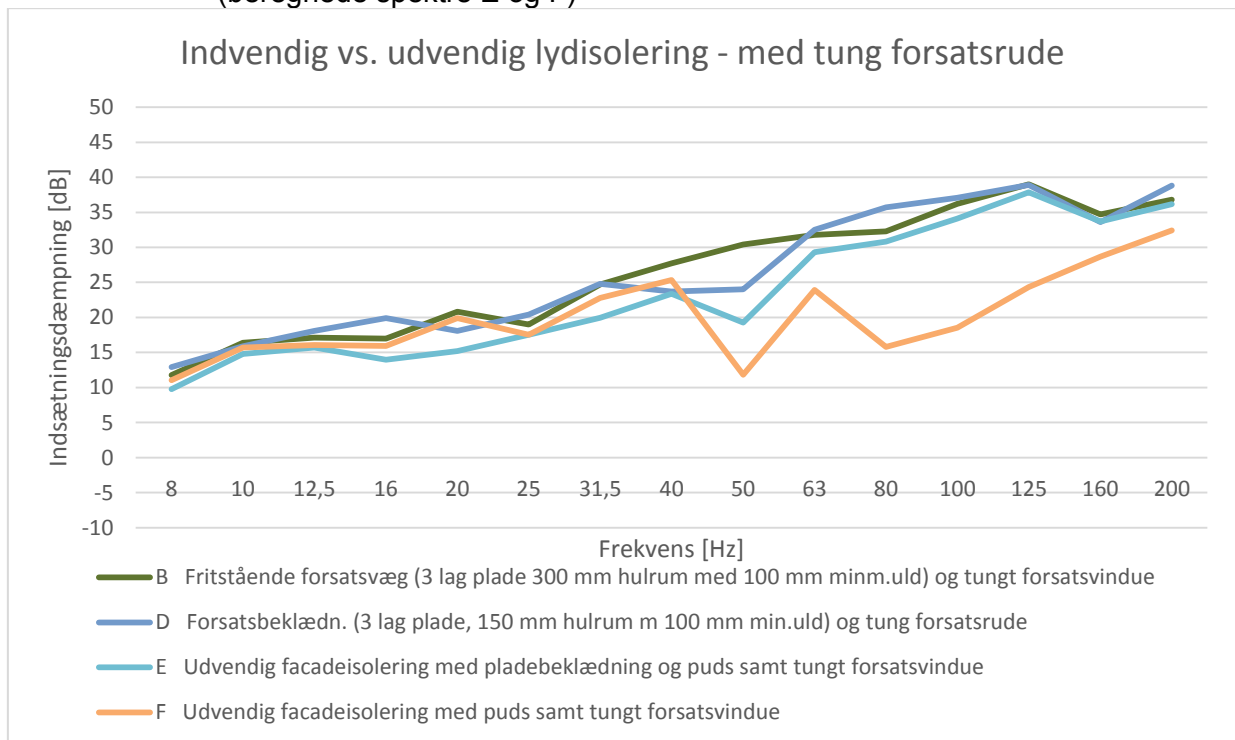
Tabel 12. Beregnede værdier pr. 1/3 oktav for indsætningsdæmpning for kombinationer af dæmpningsforsøg.



Figur 30. Beregnet indsætningsdæmpning med tung forsatsrude for tung facade med udvendig henholdsvis let facade med indvendig isolering, samt for fritstående forsatsvæg inkl. lavfrekvensabsorbenter

For sammenligningens skyld er der i Figur 31 vist en sammenligning af indsætningsdæmpning for konstruktioner med tung forsatsrude:

- Indvendig fritstående forsatsvæg og forsatsbeklædning (målte spektre B og D)
- Udvendig facadeisolering med pladebeklædning/puds yderst og puds yderst (beregnete spektre E og F)



Figur 31. Sammenligning af konstruktioner med tung forsatsrude, hhv. indvendig og udvendig lydisolering.

BILAG 5: BEREGNEDE INDENDØRS VINDMØLLESTØJSPEKTRE

1/3-otav frekvens [Hz]		10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250		
Spektrum	$L_{pA,LF}$ (10-160Hz) [dBA]	L_{pA} -total [dBA]	A-vægtede indendørsstøjniveauer pr . 1/3-oktav med LF-terrænkorrektion [dB]													A-vægtede indendørsstøjniveauer pr . 1/3-oktav med normal terrænkorrektion [dB]									
A	13,0	20,8	-5,1	-8,1	-11,8	-10,1	-12,2	-7,5	-6,1	7,7	-0,4	3,5	5,7	3,3	6,0	6,8	15,5	13,3	13,7	10,8	1,1	-5,5	-5,2	-3,2	
B	2,2	4,8	-26,9	-22,1	-16,0	-14,8	-8,0	-10,2	-9,3	-8,6	-7,2	-4,4	-7,3	-9,4	-6,1	-5,7	-4,7	-5,6	-6,0	-9,7	-16,0	-20,3	-17,3	-16,1	
C	-1,9	-1,1	-27,4	-21,9	-15,6	-15,2	-8,6	-11,7	-10,9	-10,8	-12,3	-11,0	-16,7	-16,6	-15,8	-16,6	-14,9	-16,0	-16,2	-18,6	-24,8	-27,8	-26,3	-25,5	
D	3,2	5,0	-26,4	-23,1	-18,9	-12,1	-9,4	-10,3	-5,3	-2,2	-7,9	-7,8	-8,2	-9,3	-5,0	-7,7	-7,2	-6,0	-5,9	-9,3	-14,3	-19,1	-16,0	-15,3	
E	6,5	7,8	-25,3	-20,7	-13,0	-9,2	-6,5	-5,4	-5,0	2,6	-4,7	-2,9	-5,2	-8,3	-5,1	-5,1	-3,7	-4,5	-4,6	-8,6	-14,5	-19,0	-16,9	-15,7	
F	16,4	17,1	-26,3	-21,1	-14,9	-13,9	-6,6	-8,3	-6,9	10,0	0,6	12,1	10,4	5,2	-0,1	-1,4	3,0	1,2	0,8	3,0	-0,7	-5,9	-12,2	-11,7	
G	20,2	23,7	-18,1	-19,8	-10,3	-2,2	1,0	3,1	5,8	12,1	14,1	14,4	11,7	9,8	3,9	7,3	6,2	12,8	14,8	12,1	8,7	10,7	11,9	12,6	
H	15,0	15,4	-23,9	-21,2	-11,3	-1,6	-3,7	-0,9	3,1	9,3	7,9	6,4	5,8	5,1	1,5	-1,0	-1,7	-1,4	-4,9	-7,7	-9,6	-11,0	-15,4	-13,8	
I	23,1	34,7	-5,8	-9,0	-4,3	3,9	1,7	2,8	8,1	14,7	17,8	15,0	12,7	14,5	13,7	18,5	19,3	24,5	25,0	26,7	25,8	26,8	25,9	24,7	
J	15,4	15,8	-23,0	-18,6	-9,3	0,9	-0,4	-0,8	2,5	9,7	9,9	5,4	4,7	4,4	1,8	0,2	-2,0	-2,2	-5,0	-8,0	-10,3	-12,5	-15,7	-14,5	
K	12,9	13,6	-19,2	-19,0	-10,6	-3,6	-0,2	-0,3	-0,2	4,3	7,1	3,4	4,0	3,7	1,1	1,7	-1,2	-2,3	-4,9	-8,1	-11,1	-13,9	-16,1	-15,1	

BILAG 6: INSTRUMENTLISTE

Type	Navn	SN	Acoustica udstyrsnr.	Bemærkninger
Højtaler Subwoofer	Behringer B1800X pro	S1500171288	374	Blokerede basreflex porte
Højtaler Subwoofer	Behringer B1800X pro	S1500204288	375	Blokerede basreflex porte
Højtaler Fuldtone	Behringer B212XL	S1406727A0R	379	
Effektforstærker	Behringer INUKE NU1000DSP	S1101462AEJ	371	
Effektforstærker	Behringer INUKE NU3000DSP	S1500336AHO	372	
Effektforstærker	Behringer INUKE NU3000DSP	S1105483AHO	302	
Mikrofon + forforstærker	BSWA MPA231	490861	328	
Mikrofon + forforstærker	BSWA MPA231	500208 + 530414	273	
Mikrofon + forforstærker	BSWA MPA231	492930	201	
Mikrofon + forforstærker	BSWA MPA231	490445	270	
Mikrofon + forforstærker	BSWA MPA231	500257 + 530472	275	
Mikrofon + forforstærker	BSWA MPA231	490272	269	
Mikrofon + forforstærker	BSWA MPA231	490662	113	
Mikrofon + forforstærker	BSWA MPA231	490661	112	
4 kanals A/D modul	National Instruments NI9234	167649C	178	
4 kanals A/D modul	National Instruments NI9234	1A537B6	337	
Output modul	National Instruments NI9260	1A263E0	369	
Chassis for moduler	National Instruments NI cDAQ 9174	1A49463	339	
Software	ACA Labshop 12ch recorder m.generator	Version 2.01.11	-	
Kalibrator	B&K 4231	1897596	618	

††

††

BILAG 7: LITTERATURSTUDIETS REFERENCER

- [1] Mao, Q. & Pietrzko, S. (2009): *Experimental study for control of sound transmission through double glazed window using optimally tuned Helmholtz resonators*. Applied Acoustics 71 (2010): 32-38.
- [2] Scrosati, C. et al. (2015): *Uncertainty of façade sound insulation in buildings by a Round Robin Test*. Applied Acoustics 96 (2015): 27-38.
- [3] Scrosati, C. & Scamoni, F. (2015): *Uncertainty of façade sound insulation measurements obtained by a round robin test: The influence of the low frequencies extension*. ICSV22, Florence (Italy) 2015.
- [4] Bradley, J.S. & Birta, J.A. (2000): *Laboratory Measurements of the Sound Insulation of Building Façade Elements*. IRC Internal Report, IRC IR-818. NRC Publications Record.
- [5] Scrosati, C. & Scamoni, F. (2015): *Managing Measurement Uncertainty in Building Acoustics*. Buildings 5 (2015): 1389-1413.
- [6] Jakobsen, J. (2012): *Danish regulation of low frequency noise from wind turbines*. J of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31 (4): 239-246
- [7] Tachibana, H. et al. (2015): *Practical methods for measuring and assessing wind turbine noise*. Inter-Noise, San Francisco (California, USA) 2015.
- [8] Argiento, R. et al. (2015): *Multilevel Functional Principal Component Analysis of Façade Sound Insulation Data*. Quality Reliability Engineering International 2015.
- [9] Rabold, A. et al. (2015): *Wärmedämmverbundsysteme und Außendämmungen aus nachwachsenden Rohstoffen in der Altbausanierung*. Bauphysik 37 (2015), Heft 1.
- [10] Holtz, Fritz et al. *Schallschutz Wände und Dächer, Holzbau handbuch*, Informationsdienst Holz, Holzabsatzfonds Bonn Germany (2004) ISSN-Nr. 0466-2114
- [11] Scrosati, C. et al. (2013): *Uncertainty analysis by a Round Robin Test of field measurements of sound insulation in buildings: Single numbers and low frequency bands evaluation - Airborne sound insulation*. Noise Control Engr. J. 61 (3): 291-306.
- [12] Schäffer, B. et al. (2015): *Annoyance potential of wind turbine noise compared to road traffic noise*. Euro-Noise, Maastricht (The Netherlands) 2015.
- [13] Koppen, E. (2015): *Low Frequency Noise Proposal Wind Farm in Maastricht, The Netherlands*. Euro-Noise, Maastricht (The Netherlands) 2015.
- [14] Koppen, E. & Fowler, K. (2015): *International Legislation for Wind Turbine Noise*. Euro-Noise, Maastricht (The Netherlands) 2015.
- [15] Preis, A. et al. (2015): *The influence of visual information on assessment of wind turbine noise*. Euro-Noise, Maastricht (The Netherlands) 2015.
- [16] Nieuwenhuizen, E. & Köhl, M. (2015): *Difference in noise regulations for wind turbines in four European countries*. Euro-Noise, Maastricht (The Netherlands) 2015.
- [17] Lenchine, V.V. & Song, J. (2014): *Special Noise Character in Noise from Wind Farms*. Inter-Noise, Melbourne (Australia) 2014.
- [18] Grimwood, C. & Turner, S. (2014): *The evolution of noise policy and noise management in England during the life of the UK's Institute of Acoustics*. Inter-Noise, Melbourne (Australia) 2014.
- [19] McBride, D. et al. (2014): *Investigating the impacts of wind turbine noise on quality of life in the Australian context: A case study approach*. Inter-Noise, Melbourne (Australia) 2014.

- [20]Tachibana, H. (2014): *Outcome of systematic research on wind turbine noise in Japan*. Inter-Noise, Melbourne (Australia) 2014.
- [21]Schwela, D.H. et al. (2014): *Progress on environmental noise policies from 2008-2013 in Asia and the world*. Inter-Noise, Melbourne (Australia) 2014.
- [22]Søndergaard, B. (2014): *Noise and Low frequency noise from Wind Turbines*. Inter-Noise, Melbourne (Australia) 2014.
- [23]Geetere, L & Ingelaere, B. (2014): *A new building acoustical concept for lightweight timber frame constructions*. Inter-Noise, Melbourne (Australia) 2014.
- [24]Kropp, W. & Bérillon, J. (1998): *A Theoretical Model to Investigate the Acoustic Performance of Building Facades in the Low and Middle Frequency Range*. *Acoustica* vol. 84 (1998): 681-688.
- [25]Kropp, W. & Rebillard, E. (1999): *On the Air-Borne Sound Insulation of Double Wall Constructions*. *Acoustica* vol. 85 (1999): 707-720.
- [26]Gibbs, B.M. & Maluski, S. (2007): *The Interrelation between the modal characteristics of the rooms and the separating wall, in the sound insulation between dwellings at low frequencies*. University of Liverpool, Pacs ref.: SS-RBA-07.
- [27]Iannace, G. et al. (1995): *Sound insulation improvement of a double window for airborne narrow band noise at very low frequency*. Inter-Noise, Newport Beach (California, USA) 1995.
- [28]Maluski, S. & Gibbs, B.M. (2000): *Application of a finite-element model to a low-frequency sound insulation in dwellings*. *J. Acoust. Soc. Am.* 108 (4): 1741-1751.
- [29]Chazot, J. & Guyader, J. (2009): *Transmission loss of double panels filled with poro-granular materials*. *J. Acoust. Soc. Am.* 126 (6): 3040-3048.
- [30]Pietrzyk, A. et al. (1994): *Numerical simulation of low frequency air-borne sound transmission in buildings*. Proceedings from Meeting of CIB – W51, Committee Acoustics Building Research Institute Warsaw, Poland
- [31]Prato, A. et al. (2015): *Transmission of impact noise at low frequency: A Modal approach for impact sound insulation measurements (50-100 Hz)*. ICSV22, Florence (Italy) 2015.
- [32]Jean, P. & Villot M. (2008): *Sound transmission through opened windows*. *Acoustics08*, Paris (France) 2008
- [33]Jean, P. (2009): *Sound transmission through opened windows*. *Applied Acoustics* 70 (2009): 41-49.
- [34]Osipov, A. et al. (1997): *Low-Frequency Airborne Sound Transmission through Single Partitions in Buildings*. *Applied Acoustics* vol. 52 (1997): 273-288.
- [35]Duarte, E.A.C et al. (2012): *Indirect measurement of acoustic power into a small room at low frequencies*. *Applied Acoustics* 73 (2012): 248-255.
- [36]Gibbs, B.M. & Maluski, S. (2004): *Airborne Sound Level Difference Between Dwellings at Low Frequencies*. *Building Acoustics* vol. 11 no. 1 (2004): 61-78.
- [37]Hodgdon, K.K. et al. (2007): *Low Frequency Noise Study*. Report no. Partner-coe-2007-001.MIT, Cambridge, USA
- [38]Bock, E. (2015): *Zur Schalldämmung von Dach- und Wandkonstruktionen bei Außenlärm mit tieffrequenten Anteilen (Verkehrslärm)*. *Lärmbekämpfung* Bd. 10 (2015) Nr. 4.
- [39]Robinson, D.H. et al. (2008): *Passive Sound Insulation*. Report no. Partner-coe-2008-003.MIT, Cambridge, USA
- [40]Prato, A. & Schiavi, A. (2015): *Sound Insulation of building elements at low frequency: a modal approach*. *Energy Procedia* 00 (2015) 000–000.

- [41]DELTA (1997): *Vurdering af lavfrekvent støj fra færger -2*. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 10.
- [42]DELTA (2008): *Low Frequency Noise from Large Wind Turbines. Measurements of Sound Insulation of Facades*. Project Report.
- [43]DELTA (2012): *Lavfrekvent støj fra vindmøller*. Rapport.
- [44]Hoffmeyer, D. & Jakobsen, J. (2010): *Sound insulation of dwellings at low frequencies*. Journal of low frequency noise, vibration and active control vol. 29 no. 1 (2010): 15-23.
- [45]Miljøstyrelsen (2008): *Supplerende databehandling af resultater af lydisolationsmålinger gennemført i projektet "Lavfrekvent støj fra store vindmøller"*. Teknisk Notat.
- [46]Løvholt, F. et al. (2011): *Analysis of low frequency sound and induced vibration in a Norwegian wooden building*. Noise Control Eng. J. 59 (4): 383-396.
- [47]Homb, A. et al. (2012): *Lydmåling i laboratorium av vinduer, yttervegger, tak og ytterveggventiler* SINTEF Byggforsk, Prosjektrapport 102.
- [48]Brunskog, J. & Jacobsen, F. (2008): *Measurements of low-frequency noise in rooms*. Acoustic Technology, Departments of Electrical Engineering, DTU.
- [49]Løvholt, F. et al. (2013): *On the low frequency sound transmission and induced vibration from aircrafts*. Inter-Noise, Innsbruck (Austria) 2013.
- [50]Cosgriff, K. et al. (2015): *Measurements and FE-simulations of low frequency sound transmission and induced building vibrations from aircraft*. Inter-Noise, San Francisco (California, USA) 2015.
- [51]Løvholt, F. et al. (2010): *Low frequency sound induced vibration in buildings*. BNAM, Bergen (Norway) 2010.
- [52]Løvholt, F. et al. (2010): *Low frequency sound generated vibration in buildings due to military training and air traffic*. Inter-Noise, Lisbon (Portugal) 2010.
- [53]Tachibana, H. et al. (2015): *Modelling of house filter for wind turbine noise*. Wind Turbine Noise, Glasgow (Scotland) 2015.
- [54]Fernandez, F. A. & Burdisso, R. A. (2015): *Indoor simulation of wind turbine amplitude modulated noise*. Wind Turbine Noise, Glasgow (Scotland) 2015.
- [55]WSP | Parsons Brinckerhoff (2015) *Wind Turbine AM Review, Phase 1 report, Dep. of Energy & Climate Change*, project no. 3514482A
- [56]WSP | Parsons Brinckerhoff (2016) *Wind Turbine AM Review, Phase 2 report, Dep. of Energy & Climate Change*, project no. 3514482A
- [57]IOA (2016). *A method for Rating Amplitude Modulation in Wind Turbine Noise*. Final Report. UK Institute of Acoustics.

APPENDIX A: RAPPORT OM GENEVURDERING

Vurdering af genevirkning af indendørs vindmøllestøjspektre,
Torben Holm Pedersen
TC-101073, DELTA / SenseLab, februar 2017

Ny viden om lavfrekvent lydisolering af boliger

I denne rapport præsenteres resultaterne af en undersøgelse om tilvejebringelse af ny viden om mulighederne for at forbedre lydisolering mod lavfrekvent støj i danske boliger i områder med vindmøller.



Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

www.mst.dk