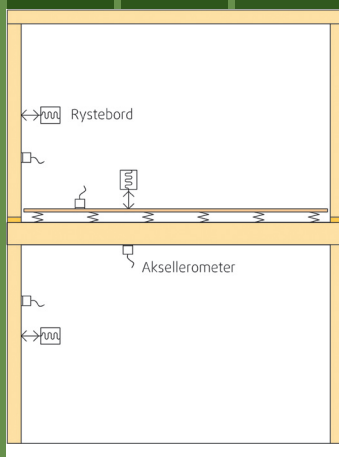


Lydoverføring i byggesystemer med massivtreelementer

Prosjektrapport 80

2011



SINTEF Byggforsk

Anders Homb og Sigurd Hveem

Lydoverføring i byggesystemer med massivtrelementer

Prosjektrapport 80 – 2011

Prosjektrapport nr. 80
Anders Homb og Sigurd Hveem

Lydoverføring i byggesystemer med massivtrelementer

Emneord:

Utredning, beregning, måling, lyd, vibrasjoner, tre, vegger, etasjeskillere

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1216-4 (pdf)

ISBN 978-82-536-1217-1 (trykt)

Prosjektnr.:3D0605

Illustrasjon/foto omslag: SINTEF Byggforsk

60 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2011

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

Samarbeidspartnere Byggesystemer med massivtre

Hovedsamarbeidspartnere
Norges forskningsråd (NFR)
Skogtiltaksfondet
Norsk Treteknisk institutt
Bransjepartnere
Holz100 Norge AS
Moelven MassivTre AS
Øystein Henriksen as
Code arkitektur as



Forord

Denne rapporten omhandler målinger, beregninger og vurderinger som er gjennomført for å utvikle kunnskap om byggesystemer med massivtre med hensyn til lydisolasjon. Den største utfordringen med slike løsninger er lydisolasjon vertikalt og denne rapporten fokuserer derfor hovedsakelig på dette. Målinger og beregninger er gjennomført med elementer av krysslimte sjikt i ulike tykkelser.

Massivtre brukt i dekker er relativt nytt og det eksisterer lite teknisk dokumentasjon for komplette konstruksjonsløsninger som er tilpasset byggeskikk og arkitektenes ønsker i Norge. Det er derfor behov for å studere egenskaper til skillekonstruksjonene og hvordan lydtransmisjonen blir når man kobler sammen vegger og dekker basert på massivtre. Lydoverføring via flankerende konstruksjon er svært sentralt i denne sammenhengen. Prosjektrapporten vil bidra med underlag for utviklingen av sammensatte løsninger og konkrete løsninger.

Arbeidet i prosjektrapporten er utført innenfor delprosjekt b) i Brukerinitiert prosjekt (BIP) ”Byggesystemer med massivtre”. BIP-prosjektets hovedmål er å utvikle og dokumentere byggesystemer basert på massivtre for økt anvendelse i fleretasjes trehus. Dette skal oppnås gjennom arbeid med 4 delmål. Denne rapporten omhandler delmål som går ut på å utvikle og dokumentere lydisolasjonsverdier for byggesystemer basert på massivtre.

Prosjektet er et viktig ledd i arbeidet med å utvikle anvisninger i Byggforskserien og som underlag for å utarbeide produktokumentasjon i tekniske godkjenninger og sertifikater. Delprosjekt b) ledes av SINTEF Byggforsk og gjennomføres i samarbeid med Norges forskningsråd, Norsk Treteknisk institutt og industrideltakerne i prosjektet. Prosjektet startet opp i 2009 og avsluttes i 2011.

En takk også til Kristine Nore for tilrettelegging ved gjennomføring av målinger i forsøkshuset på Krøderen.

Trondheim, desember 2011

Anders Homb
Leder for delprosjekt b), Lydisolasjon
SINTEF Byggforsk

Innhold

1.	Innledning	7
1.1	Bakgrunn.....	7
1.2	Formål og omfang.....	7
2.	Kunnskapsoversikt	8
2.1	Anvisning i Byggforskserien	8
2.2	Prosjektrapport Norsk Treteknisk Institutt.....	8
2.3	Holzforshung Austria.....	9
2.4	FP Innovations Canada	11
3.	Målinger lydisolasjon	12
3.1	Metode	12
3.2	Måleobjekter	12
3.4	Flanketransmisjon	16
4.	Måling av knutepunktsdemping	19
4.1	Metode	19
4.2	Måleobjekter	20
4.3	Hastighetsdifferanser	21
4.4	Målt knutepunktsdemping	26
5.	Beregninger	27
5.1	Metode	27
5.2	Beregningsvarianter	27
5.3	Inngangsdata	28
5.4	Resultater	28
6.	Aktuelle løsninger	30
6.1	Synlige bærevegger i massivtre	30
6.2	Utføring av massivtrevegger.....	31
6.3	Økt flatevekt til etasjeskiller	31
7.	Referanser	33
Appendix A: Måling av knutepunktsdemping		35
1.	Definisjoner	35
2.	Prøving.....	35
2.1	Prinsipp	35
2.2	Eksitasjon.....	36
2.3	Givere og montering	37
2.4	Signalinnsamling og analyse.....	37
2.5	Gjennomføring.....	37
3.	Resultater	38
Appendix B: Målte verdier for knutepunktsdemping		39
1.	Måleserie I med linjeelastisk Sylomer	39
2.	Måleserie II med stiv linjeforbindelse	40

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Bruk av massivtre elementer i bygningskonstruksjoner har fått økt anvendelse i Norge de seinere årene og det har vært produksjon av elementer hos flere produsenter. Aktivitet i industrien og ved forskningsinstitutter i flere land har også medvirket til at det har blitt dokumentert egenskaper og utviklet løsninger med massivtre. SINTEF Byggforsk har blant annet bidratt i flere prosjekter initiert av industrien og Norsk Treteknisk Institutt, spesielt vedrørende kunnskaper om lydisolering og vibrasjoner til etasjeskillere. Internasjonalt har det vært omfattende arbeider i Østerrike, Tyskland, Sverige og Canada, se referanseliste i kap. 7.

Hovedfokuset ved de nordiske arbeidene så langt har vært å dokumentere og utvikle løsninger for vegger og etasjeskillere som er tilstrekkelig gode med hensyn til lydkrav mellom ulike boenheter og mellom rom i andre bygningskategorier. Det viser seg imidlertid at lydoverføring utenom selve skillekonstruksjonen kan gi dominerende bidrag til lydoverføringen ved utstrakt bruk av massivtrelementer eller andre lette flankerende konstruksjoner. Kunnskap om lydoverføring fra alle flankerende konstruksjoner er derfor vesentlig for å kunne beskrive aktuelle løsninger for ulike bruksområder.

Ved defineringen av prosjektet ”Byggesystemer med massivtre” var det spesielt behov for å utvikle mer kunnskap om lydoverføring vertikalt via bærevegger med massivtre og eventuelt via andre lette bærevegger. I prosjektet ”Knutepunktsforbindelser i fleretasjes trehus”, se Austnes (2010a) og Aarstad (2010), ble det satt hovedfokus på å dokumentere virkningen av ulike opplagerløsninger med hensyn til lydtransmisjon vertikalt. Arbeidet i dette prosjektet er en videreføring av disse arbeidene med tanke på bedre prosjekteringsunderlag og generelle løsninger.

1.2 Formål og omfang

Formålet med arbeidet i dette delprosjektet har vært å utvikle og dokumentere lydisolasjonsverdier for byggesystemer med massivtre. Delprosjektet som i kortform har blitt kalt ”Lydisolasjon” inneholder tre hovedaktiviteter:

- Etablere metode for å måle knutepunktsdemping og gjennomføre målinger med massivtre
- Analysere eksisterende og nye data for sammenligning med relevant beregningsmodell
- Videreutvikle prosjekteringsunderlaget og angi aktuelle løsninger

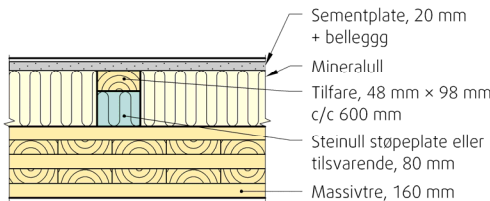
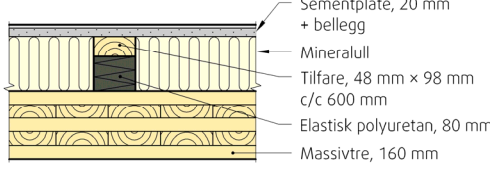
For å utvikle gode beregningsmodeller for lydoverføring i lette konstruksjoner (som inkluderer flanketransmisjon) er det helt nødvendig å etablere pålitelige data for knutepunktsdemping. Da det er lite erfaringer med slike målinger, har det vært nødvendig å bruke tid på å utvikle og prøve ut instrumenterings- og måleteknikk som kan gi pålitelige resultater. Metodikken har blitt prøvd ut i forsøkshuset som vi har hatt tilgang til på Krøderen (hos Moelven Massivtre). Forøvrig baserer analyser av andre data seg på et antall norske målinger utført i laboratorium, forsøkshus og felt. Beregning av lydoverføring inkludert flankerende konstruksjoner er basert på standard NS-EN 12354, se også pkt. 5. Bearbeiding og presentasjon av resultater og løsninger har også vært en betydelig aktivitet i prosjektet.

2. Kunnskapsoversikt

2.1 Anvisning i Byggforskserien

Anvisning i Byggforskserien, Byggdetaljer 522.891 ble gitt ut høsten 2009 og var en dokumentasjon av egenskaper til løsninger med etasjeskillere i massivtre med hensyn til spennvidde og lyd-isolasjon. Anvisningenes format tilsier maksimalt 8 sider slik at det er kun de viktigste dataene som er med og i en komprimert form. Med hensyn til lydisolasjon behandles elementer med tilfarergolv, andre løsninger med tilleggskonstruksjon på oversiden og tilleggskonstruksjon på undersiden. Mht. lydisolerende egenskaper, gis en bred presentasjon av laboratoriemålte verdier for luft- og trinnlyd-isolasjon. Elementer med tilfarergolv og løsning med himling i faste lekter, vil ikke tilfredsstillende krav til lydisolasjon mellom boliger, noe som er en viktig målsetting for flere bruksområder. Løsning med tilleggskonstruksjon på undersiden har så langt ikke vært så mye tatt i bruk i Norge, da mange arkitekter her ønsker synlig massivtre i himling. Tabell 2.1 viser et utdrag fra verdier som er angitt i anvisningen med tilleggskonstruksjon på oversiden.

Tabell 2.1. Laboratoriemålte verdier for luft- og trinnlydisolasjon

Golv på spesielle fjærende sjikt	Flatevekt tilleggskonstruksjon kg/m ²	Luftlydisolasjon dB		Trinnlydisolasjon dB	
		R _w	C ₅₀₋₅₀₀₀	L _{n,w}	C _{i,50-2500}
<p>Fjærende sjikt av 80 mm steinull støpeplate eller tilsvarende¹⁾</p> 	> 26	55–56	-1	52–48	+5 til 8
<p>Fjærende sjikt av spesiell, elastisk polyuretan¹⁾</p> 	> 26 Tillegg med 36 mm porøs trefiberplate	58–60 61–63	-1 -2	55–53 52–49	+3 +5

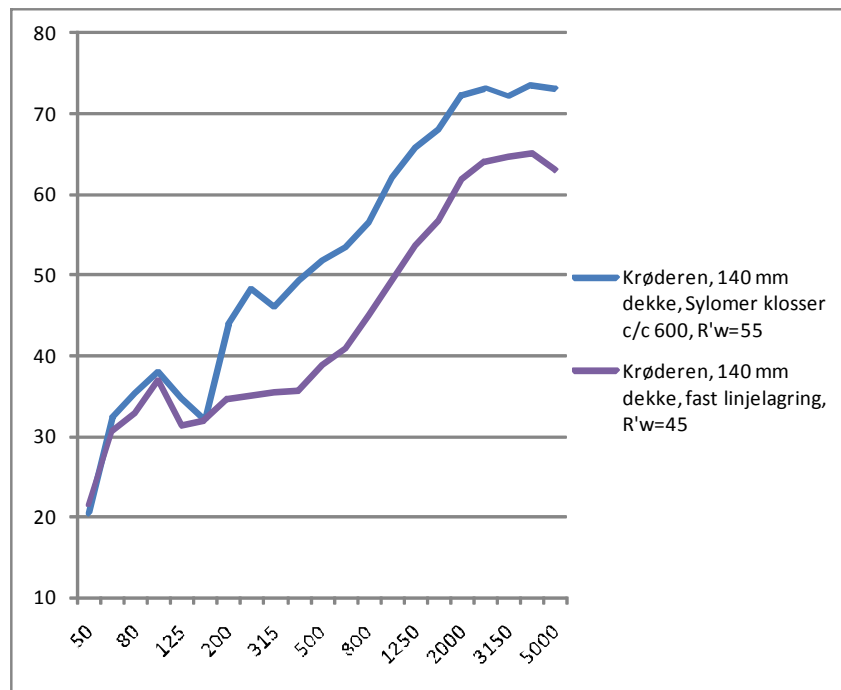
¹⁾ Kun produkter som kan dokumentere gitte krav til deformasjon som funksjon av last vil gi luft- og trinnlydisolasjon som angitt

Anvisningen gir noen generelle råd for løsninger med flankerende vegger i massivtre eller bindingsverk. Lydoverføringen via flankerende konstruksjoner i slike løsninger blir mer og mer kritisk med økende lydisolasjonskrav. Dette er også grunnen til at det er flere FOU-prosjekter som arbeider med dette og som er i startfasen. Anvisningen gir også konkrete råd knyttet til installasjoner av rør i etasjeskilleren, både på over- og underside av massivtredekket.

2.2 Prosjektrapport Norsk Treteknisk Institutt

I prosjektet ”Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus”, se Aarstad (2010) var hovedmålet å utvikle knutepunktforbindelser som ivaretar gode lydforhold i fleretasjes trehus hvor det benyttes massivtreelementer. Det ble oppført et prøvehus i to etasjer, hvor den øvre delen enkelt kunne løftes opp slik at man kunne legge inn og skifte opplagre mellom dekkeelement og overliggende veggelement. Det ble gjennomført måling av luft- og trinnlydisolasjon med ulike opplagre. Resultatene viser at det (som tidligere påvist) er stor lyd gjennomgang (flanketransmisjon) gjennom

bærevegger i massivtre. Forsøkene viser at opplagre av elastisk vibrasjonsisolerende materiale gir de beste måleresultatene. Figur 2.2 viser måleresultater for luftlydisolasjon fra forsøkshuset med fast linjeopplagring (ingen vibrasjonsisolator) og med den mest fordelaktige vibrasjonsisolator.



Figur 2.2.
Forsøkshus Krøderen: Luftlydisolasjon (feltmålt, veid lydreduksjonstall, R'_w) ved fast linjeopplagring og punktelastisk opplegg med Sylomer. Data fra referanse Austnes (2010a)

Måleresultater i figur 2.2 viser at forskjellen mellom fordelaktig elastisk forbindelse og fast linjeopplagring kan være omkring 10 dB i store deler av frekvensområdet. Men denne virkningen vil være avhengig av flere forhold, hvor de viktigste er:

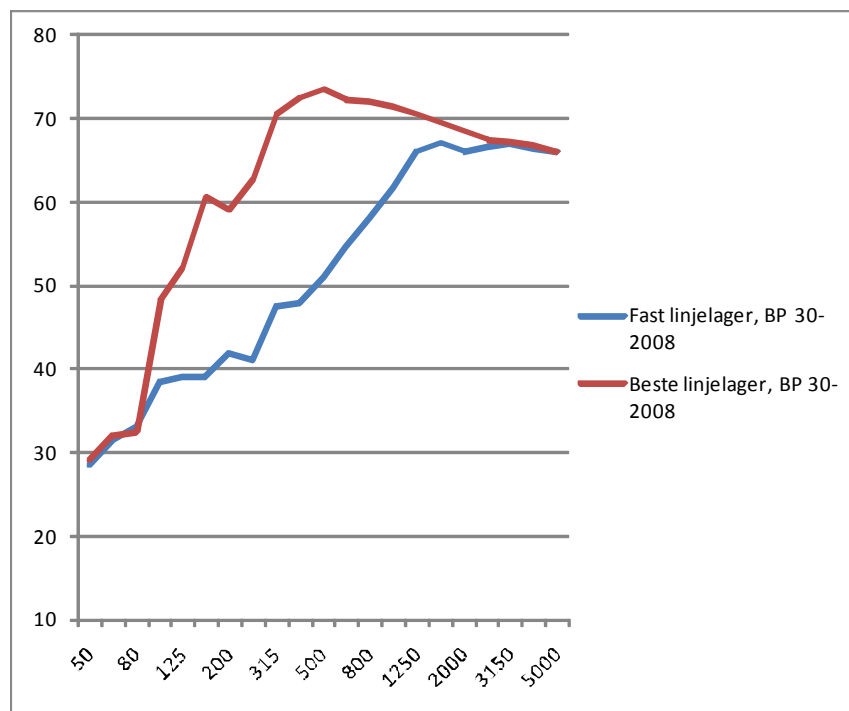
- Etasjeskillerens lydisolerende egenskap
- Massivtreveggenes tykkelse
- Masseforholdet mellom etasjeskiller og massivtrevegg

Målinger fra forsøkshuset og i ferdige bygg har derfor vist at masseforholdet nevnt i siste strekpunkt er av stor betydning. Dette vil bli nærmere behandlet seinere i rapporten, og underlag fra kap. 2.3 er også med på å belyse denne innvirkningen.

2.3 Holzforschung Austria

Bruk av massivtre elementer i bygg har hatt sitt opphav i Østerrike, Sveits og Tyskland. De har derfor også gjennomført utviklings- og forskningsprosjekter knyttet til lydtransmisjon i en rekke år. Problemstillingen har i stor grad vært den samme, med å klarlegge egenskaper til skillekonstruksjoner og innvirkningen av flanketransmisjon via bærende konstruksjoner. Men i de mellemeuropeiske landene er det en sterk tradisjon for at golvkonstruksjonene skal være tunge, noe som medfører at alle dekkekonstruksjoner enten har en påstøp av betong eller andre typer materialer (sand etc.) som gir økt vekt. Holzforschung Austria har publisert en rekke artikler og en detaljkatalog med bruk av massivtreelementer, se referanseliste.

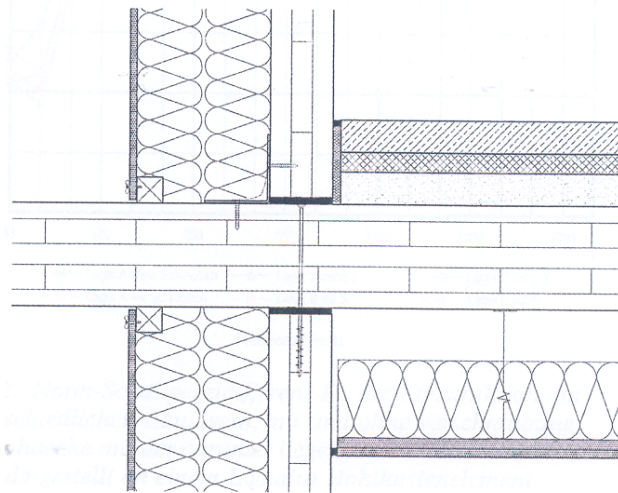
Artikkel av Dolezal & al (2008a) omhandler forbedring av flanketransmisjonen med bruk av elastiske mellomlegg og verifikasjon av beregningsmetoden i NS-EN 12354. Siden massive trekonstruksjoner oppnår økt anvendelse i fleretasjes bygninger, øker behovet for pålitelige beregningsmetoder for lydisolasjon. Beregninger er utført iht. NS-EN 12354, som imidlertid ikke inneholder inngangsdata for massive trekonstruksjoner. Derfor er lyd- og vibrasjonsmålinger gjennomført med massivtre i et forsøksbygg hvor flanketransmisjon og inngangsdata for standardisert beregning nødvendig. Normalisert trinnlydnivå er beregnet for forskjellig elastiske mellomlegg og sammenlignet med resultater fra målingene. Entallsverdiene viser tilfredsstillende sammenheng mellom målinger og beregninger med avvik mellom 0 og 2 dB. Når det gjelder frekvensavhengige nivåer er det større avvik, som kan knyttes til et bestemt frekvensområde, noe som krever mer nøyaktig modellering. Figur 2.3a viser måleresultater for luftlydisolasjon fra forsøkshuset med fast forbindelse og mest fordelaktige vibrasjonsisolator.



Figur 2.3a. Forsøkshus KLH Massivholz GmbH: Luftlydisolasjon (feltmålt, veid lydreduksjonstall, R'_w) ved fast linjeopplagring og linjeelastisk opplegg. Data fra referanse Dolezal & al (2008a)

Måleresultater i figur 2.3a viser samme tendens som figur 2.2 med stor differanse i luftlydisolasjon mellom fordelaktig elastisk forbindelse og ugunstig fast forbindelse (linjeopplagring) i et bredt frekvensområde. Disse løsningene er med påstøp på massivtredekket, noe som gir gunstigere luftlydisolasjon i utgangspunktet.

Artikkel Dolezal & al (2008b) omhandler innvirkningen av festemidler på forbedringen som oppnås med elastiske mellomlegg. Som vist i avsnittet over, medfører elastiske mellomlegg signifikant forbedring av lydoverføring via flankerende konstruksjoner. Resultatet er imidlertid betydelig påvirket av forankringsbeslag som det er nødvendig å installere av statiske grunner. Ved hjelp av lyd- og vibrasjonsmålinger er virkningen knyttet til enkelte forbindelser kvantifisert. Optimaliserte forankringsbeslag presenteres også med verifisering av lydempingspotensialet. Figur 2.3b og Tabell 2.3 viser henholdsvis konstruksjonsdetalj og oppnådd forbedring av entallsverdi for luft- og trinnlydisolasjon fra referanse Dolezal & al (2008b).



Figur 2.3b.
Forsøkshus KLH Massivholz GmbH: Snitt av forbindelse mellom vegg- og golvkonstruksjon med forankringsbeslag, fra referanse Dolezal & al (2008b)

Tabell 2.3.
Entallsverdier for luft- og trinnlydisolasjon med ulike forankringsbeslag plassert over og under 5-sjikts KLH golvelement 162 mm, fra referanse Dolezal & al (2008b)

Entallsverdi	Uten forankringsbeslag	Skruer og vinkler ¹⁾	Skruer og 2 x vinkler ¹⁾
$D_{n,w}$ ²⁾ (dB)	55	62	59
$L_{n,w}$ (dB)	47	45	45

¹⁾ Vibrasjonsisolert forbindelse for skruer og vinkelforbindelse

²⁾ Tilsvarende parameter som R_w

Resultater i tabell 2.3 viser at forankringsbeslag tydelig svekker luftlydisolasjonen, selv med vibrasjonsisolert forbindelse for skruer og beslag. Antallet festemidler påvirker også verdiene. Dette viser derfor at man bør vurdere om det finnes alternative metoder å stive av bygget på for å unngå at lydisolasjonen blir så sterkt påvirket av forankringsbeslagene.

2.4 FP Innovations Canada

I Canada har de ingen praktisk erfaring med bruk av massivtre elementer i bygg foreløpig, men pga. store skogressurser ønsker de å introdusere slike byggetekniske løsninger. De har derfor arbeidet med utvikling og dokumentasjon av egenskaper og løsninger og gitt ut en håndbok om massivtre, se FP Innovations (2011). I denne håndboken omhandler kapittel 9 akustikk, dvs. lyd-isolering til etasjeskillere og skillevegger. Alle løsningene som er vist er med massivtre elementer produsert i Europa og i hovedsak utført ved French Institute of Technology for Forest-Based and Furniture Sectors, FCBA. I en rekke av løsningene som er vist i håndboken benyttes spesielle produkter som ikke er vanlig tilgjengelige i Norge. Dette gjelder for eks. elastiske underlag og vibrasjonsisolerende himlingsoppheng. Løsningene kan derfor ikke uten videre benyttes av oss. Enkelte løsninger i håndboken med nedsenkete himlinger og nedsenkete himlinger pluss elastiske overgolv viser trinnlydisolasjon som tilfredsstillende norske krav i Byggeteknisk forskrift, TEK10 og NS 8175, lydklasse C for boliger dersom flanketransmisjonen er liten. Lydoverføring via flankerende konstruksjoner behandles ikke i håndboken.

3. Målinger lydisolasjon

3.1 Metode

Måling av luft- og trinnlydisolasjon bør gjennomføres med de mest presise metodene som er etablert for henholdsvis laboratorie- og feltmålinger. Tabell 3.1 gir en oversikt over de aktuelle metodene.

Tabell 3.1.

Standarder for måling av luft- og trinnlydisolasjon til skillekonstruksjoner i felt og laboratorium

Situasjon/verdi	Luftlydisolasjon	Trinnlydisolasjon	Spesielle situasjoner
Laboratorium	NS-EN ISO 140-3	NS-EN ISO 140-6	-
Felt	NS-EN ISO 140-4	NS-EN ISO 140-7	NS-EN ISO 140-14

For å oppnå best mulig reproduserbarhet og repeterbarhet er antall posisjoner til lydkilde (høytaler eller trinnlydapparat) viktig, og man bør minst følge anbefalinger i standarden for spesielle situasjoner. Beregning av entallsverdier, for eks. R'_w eller $L'_{n,w}$ gjennomføres iht. henholdsvis NS-EN ISO 717-1 og 717-2. Disse to standardene åpner for bedømmelse av lydisolasjonen for et utvidet frekvensområde. Her er spesielt lavfrekvensområdet (1/3-oktavbåndene 50, 63 og 80 Hz) viktig for å få bedre samsvar med opplevd lydisolasjon. Det anbefales derfor å inkludere disse frekvensbåndene ved alle målinger. Slike verdier gir mulighet til å beregne omgjøringstall for spektrum, såkalte C-korreksjoner for utvidet frekvensområde $C_{50-5000}$ (luftlyd) og $C_{i,50-2500}$ (trinnlyd). I NS 8175 er det anbefalt å inkludere $C_{50-5000}$ i lydklasse C, mens det er obligatorisk i lydklasse A og B. Store negative verdier for $C_{50-5000}$ er uttrykk for at konstruksjonen isolerer dårlig for lavfrekvensområdet. Store positive verdier for $C_{i,50-2500}$ er uttrykk for det samme (negative tall skal ikke regnes med). Alle målinger som er gjennomført i tilknytning til dette prosjektet inkluderer data for å beregne C-korreksjoner for utvidet frekvensområde.

3.2 Måleobjekter

Nedenfor gir vi en oversikt over de viktigste måleseriene som har blitt gjennomført i Norge med bruk av massivtre i etasjeskiller. Flere av disse målingene har blitt gjennomført i tidligere prosjekter som det framgår av referansene. Sammenstillingen er tatt med fordi dette danner et viktig underlag for å vurdere komplette løsninger i ferdige bygg som dette prosjektet fokuserer på.

Oversikt over måleseriene fordelt på henholdsvis laboratoriemålinger, forsøksbygg og feltmålinger er vist i tabell 3.2a, 3.2b og 3.2c.

Tabell 3.2a
Etasjeskillere med massivtre. Hovedvarianter målt i laboratorium

Referanse	Basiskonstruksjon massivtre	Elastisk sjikt	Overgolv
Hveem (2007)	180 mm	Punkt-elastisk spesialprodukter	Diverse platelag
Hveem (2007)	180 mm + 80 mm pukk	Flate-elastisk diverse produkter	Diverse platelag
Hveem (2007)	180 mm + 60 mm påstøp	Flate-elastisk mineralull	Diverse platelag

Tabell 3.2b
Etasjeskillere med massivtre. Hovedvarianter målt i forsøkshus

Referanse	Basiskonstruksjon	Elastisk sjikt	Flankerende konstruksjon
Homb (2003)	160 mm	Flate-elastisk tykk mineralull	Dobbelt bindingsverk
Homb (2003)	160 mm	Linje-elastisk mineralull	Dobbelt bindingsverk
Austnes (2010a)	120 mm	Punkt-elastisk Sylodyn + flate- elastisk min.ull	Massivtre, stiv linjeforbindelse
Austnes (2010a)	120 mm	Punkt-elastisk Sylodyn + flate- elastisk min.ull	Massivtre, punkt- elastisk, diverse gummi/polymer
Homb & Hveem	120 mm	Punkt-elastisk Sylodyn + flate- elastisk min.ull	Massivtre, stiv linjeforbindelse + utforet bindingsverk
Skjemstad (2002)	145 mm	Separat himling	Dobbelt bindingsverk

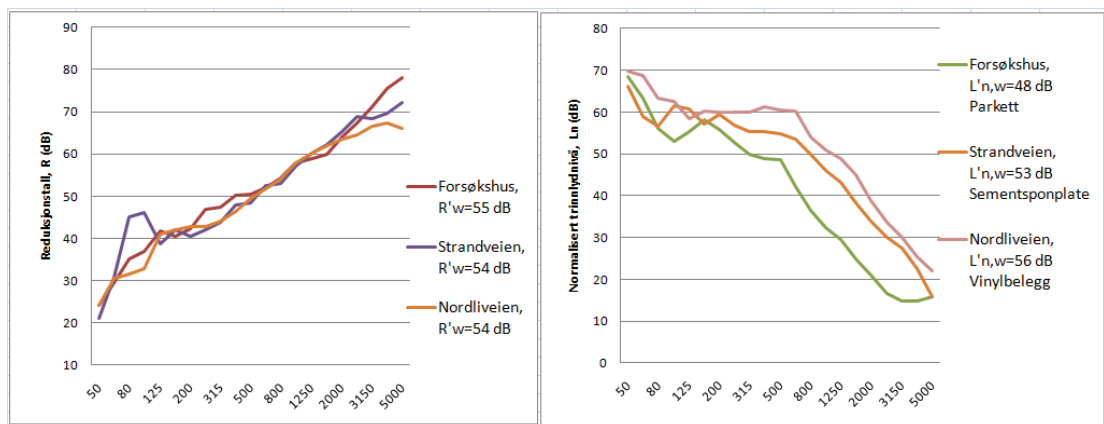
Tabell 3.2c
Etasjeskillere med massivtre. Hovedvarianter målt i ferdige bygg (felt)

Referanse	Basiskonstruksjon	Elastisk sjikt	Flankerende konstruksjon
Homb (2005) Svartlamoen	218 mm	Linje-elastisk mineralull	Massivtre, stiv linjeforbindelse
Homb & Austnes (2010) Hokksund	220 mm	Linje-elastisk mineralull	Massivtre, stivt punkttopplagret
Homb & Austnes (2010) Egenes	220 mm	Punkt-elastisk Sylomer	Linje-elastisk Sylomer + avstivingsbraketter
Austnes (2010b) Røa	210 mm + 70 mm pukk	Flate-elastisk mineralull	Massivtre, stiv linjeforbindelse

3.3 Sammenligning, laboratorium - felt

3.3.1 Linjeelastisk opplagret golv

Figur 3.3a viser en sammenligning av måleresultater (luft- og trinnlyd) fra forsøkshus og felt som har samme prinsipielle oppbygging av overgolvet med linjeelastisk opplagret golv. Data fra Homb (2003), Homb (2005) og Homb & Austnes (2010).



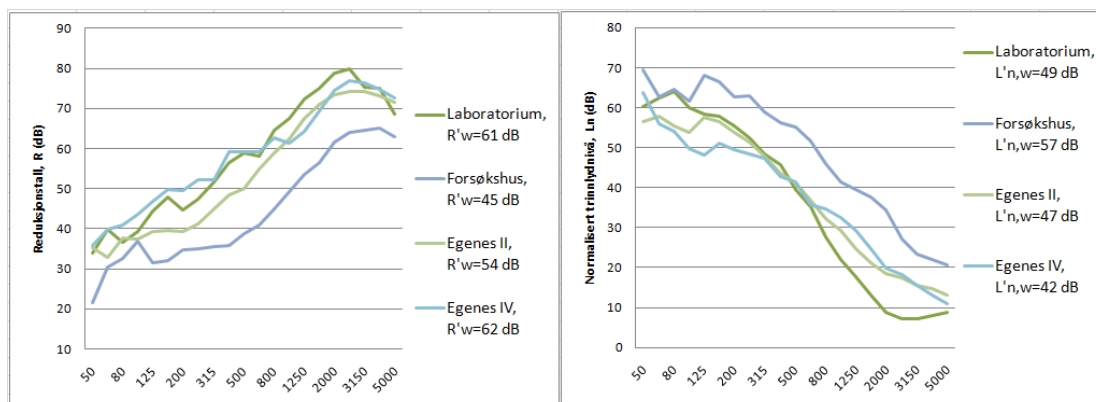
Figur 3.3a.
Linjeelastisk opplagret golv. Sammenligning av måledata fra forsøkshus og felt

Skillekonstruksjonenes oppbygging er nokså like i disse tilfellene, men det er noe forskjellige tykkelser til massivtre dekket, se tabell 3.2b og 3.2c. I forsøkshuset er flankerende bærevegg en lett dobbeltvegg, noe som medfører at flanketransmisjonen blir liten. Løsningene i felt består av bærevegger med massivtre. Luftlydisolasjonen er ganske lik i disse tilfellene bortsett fra i det lavfrekvente og høyfrekvente området, men i forsøkshuset er luftlydisolasjonen noe bedre i mellomfrekvensområdet, sannsynligvis pga. mindre lydoverføring via bærevegger. Måling av trinnlydisolasjon

viser store forskjeller. Noe av dette skyldes ulik/manglende belegg, men forøvrig er det sannsynligvis lydoverføring til bærevegger som forklarer dette.

3.3.2 Punktlastisk opplagret golv

Figur 3.3b viser en sammenligning av måleresultater (luft- og trinnlyd) fra laboratorium, forsøkshus og felt som har samme prinsipielle oppbygging av overgolvet med punktlastisk opplagret golv. Data fra Hveem (2007), Austnes (2010a) og Homb & Austnes (2010).

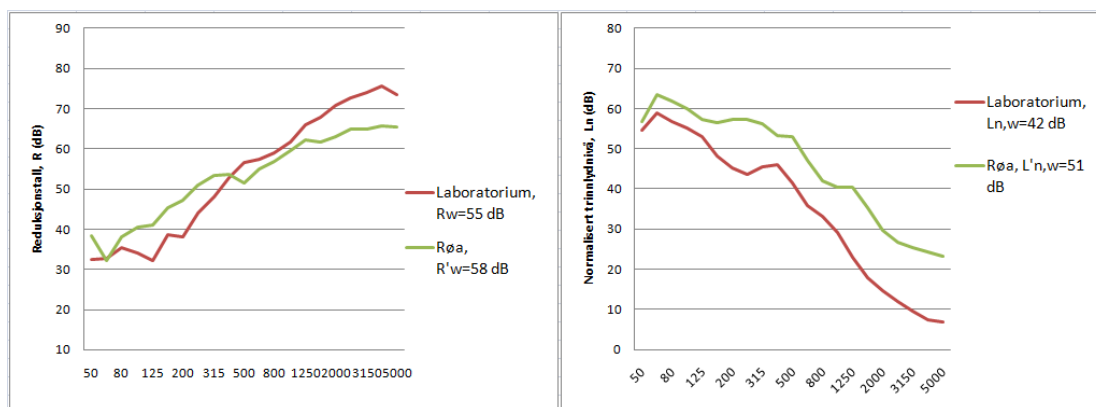


Figur 3.3b.
Punktlastisk opplagret golv. Sammenligning av måledata fra laboratorium, forsøkshus og felt

Skillekonstruksjonenes oppbygging er delvis nokså forskjellige i disse tilfellene, og det er store forskjeller mellom tykkelsene til massivtredekket, se tabell 3.2a, 3.2b og 3.2c. I forsøkshuset er massivtredekket kun 120 mm. I laboratorieforsøket og forsøkshuset består overgolvet av flytende golv med trinnlydplate av mineralull, mens i felt er oppført golv hele 200 mm med bruk av porøs plate i overgolvet. Luftlydisolasjonen varierer betydelig på grunn av forskjellene både i basiskonstruksjon og overgolvsløsning. De to målingene i felt med samme løsning viser hvilken virkning flanketransmisjonen kan ha. Måling av trinnlydisolasjon viser tilsvarende forskjeller, men måleresultater fra felt viser bedre verdier ved lave frekvenser enn laboratoriemålingene.

3.3.3 Overgolv med pukk

Figur 3.3c viser en sammenligning av måleresultater (luft- og trinnlyd) fra laboratorium og felt som har samme prinsipielle oppbygging av overgolvet med bruk av pukk. Data fra Hveem (2007) og Austnes (2010b).

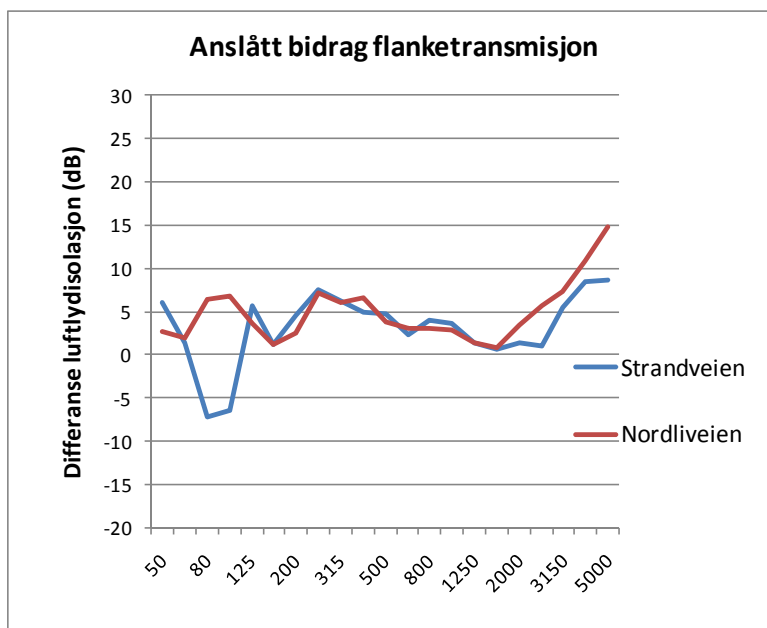


Figur 3.3c.
Overgolv med pukk. Sammenligning av måledata fra laboratorium og felt

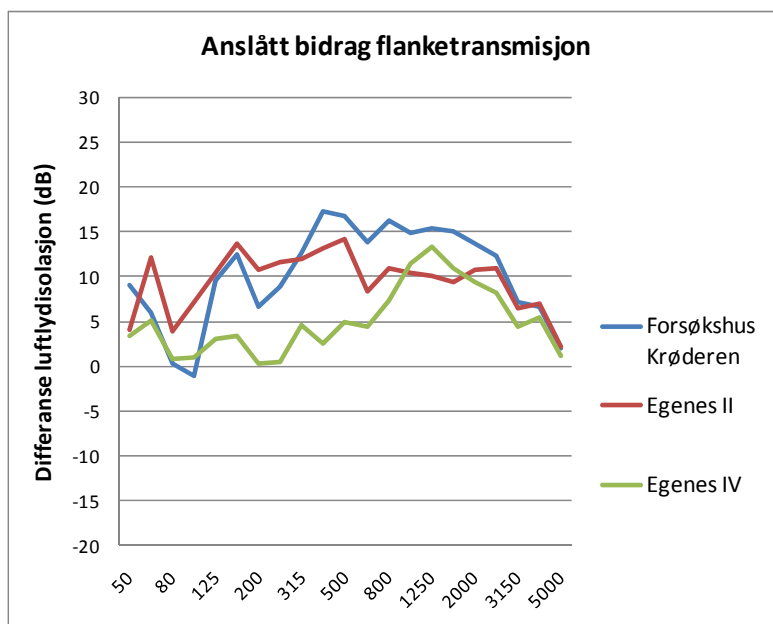
Skillekonstruksjonenes oppbygging er nokså like i disse tilfellene, men det er noe forskjellige tykkelser til massivtredekket og pukklag, se tabell 3.2b og 3.2c. Laboratorieforsøkene er gjennomført med platelag på trinnlydplate av mineralull, mens det i felt er benyttet en armert flytsparkel. Luftlydisolasjonen viser noe forskjellig spekter med høyest verdi i midlere og lavere frekvenser for feltmålingen. Dette skyldes sannsynligvis det tunge flytende golvet og noe tykkere massivtre element sammenlignet med laboratoriemålingen. Måling av trinnlydisolasjon viser store forskjeller, med lavest verdi for laboratoriemålingen i hele frekvensområdet. Årsaken til dette er i hovedsak lydoverføring via flankerende (bærende) konstruksjoner.

3.4 Flanketransmisjon

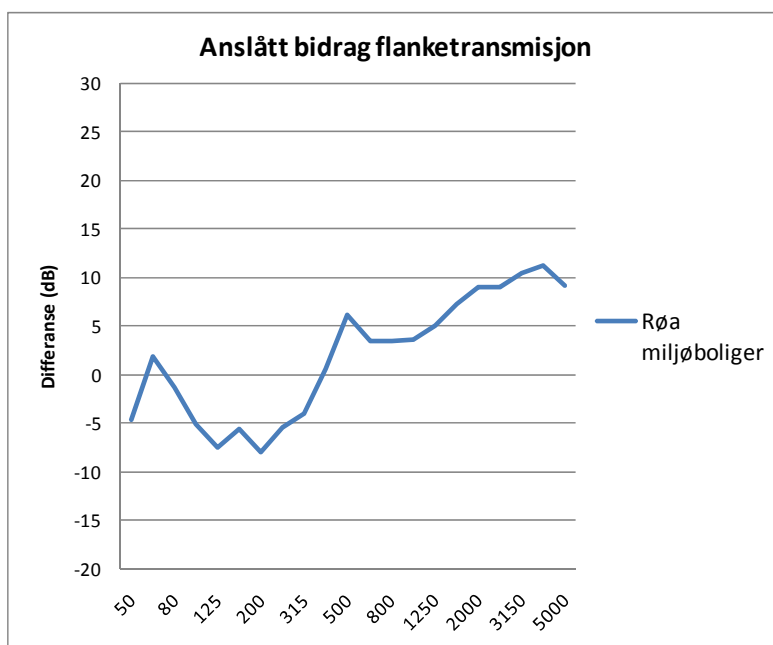
For å se hvilket bidrag flanketransmisjonen gir på oppnådd lydisolasjon benytter vi data presentert i pkt. 3.3. Det er imidlertid nødvendig å sammenligne konstruksjoner med mest mulig lik oppbygging. Formler for disse korreksjonene basert på forenklet teori er gitt i pkt. 5.3. For å gi en sikrere sammenligning av alle de målte verdiene, har vi korrigert de laboratoriemålte verdiene og verdier fra forsøkshus med lite flanketransmisjon, ref. Homb (2003) med øvrige måleverdier. Deretter er differanse mellom korrigert verdi og verdi fra felt eller forsøkshus med tydelig flanketransmisjon, ref. Austnes (2010a) beregnet. Resultatene for luftlydisolasjon er vist i figur 3.4a, 3.4b og 3.4c.



Figur 3.4a. Linjeelastisk opplagret golv. Teoretisk differanse for luftlydisolasjon mellom måleresultat fra forsøkshus og felt



Figur 3.4b.
Punktelastisk opplagret golv. Beregnet differanse for luftlydisolasjon mellom måleresultat fra laboratorium og forsøkshus/felt



Figur 3.4c.
Overgolv med pukk. Beregnet differanse mellom måleresultat for luftlydisolasjon fra laboratorium og felt.

Mht. luftlydisolasjon antar vi at det er lydoverføringen via flankerende vegger i massivtre som dominerer, og med unntak av måletilfellet Røa Miljøboliger (ved lavere frekvenser) er feltmålt verdi i alle tilfellene svakere enn sammenlignbar verdi fra målesituasjon uten flanketransmisjon. Differanser vist i figur 3.4a, b og c gir et anslag på hvor mye reduksjonstallet svekkes på grunn av flanketransmisjonen i feltsituasjon/forsøkshus.

Prinsipielt skal overgolvet oppbygging (linjeelastisk eller punktelastisk opplagret golv) ikke ha noen spesiell innvirkning på lydoverføringen fra vegg til vegg. Det er derfor oppbyggingen for øvrig som medfører at det er markerte forskjeller mellom verdier i figur 3.4a og 3.4b. I frekvensområdet fra 125 Hz til ca. 1000 Hz viser figur 3.4a en innvirkning fra flanketransmisjon på ca. 5 dB, mens figur 3.4b for to av tilfellene viser en innvirkning på 10-15 dB i det samme frekvensområdet. I det laveste og høyeste frekvensområdet vil en sammenligning ikke være relevant, da det sannsynligvis er andre momenter som bestemmer måleverdiene. Både målested Egenes II og Egenes IV er en løsning med vibrasjonsisolerende list (Sylomer) mellom bærende massivtre vegg og dekke, noe som skulle tilsi at bidraget fra flanketransmisjon skulle være tilnærmet 0. Målested Egenes IV viser dette i frekvensområdet opp til ca. 630 Hz. Figur 3.4c viser et bidrag fra flanketransmisjon på 5-10 dB i frekvensområdet over ca. 500 Hz.

Samlet sett viser resultatene at man må regne med at lydreduksjonstallet svekkes fra ca. 5 dB til 15 dB i viktige deler av frekvensområdet når det er en stiv linje- eller punktforbindelse mellom bærevegg og dekkeelement i massivtre, men dette avhenger av konstruksjonenes oppbygging. Resultatene viser også tydelig at økt flatevekt til dekkekonstruksjonen (på undersiden av opplagret golv) forbedrer knutepunktdempingen og derav gir mindre svekkelse av luftlydisolasjonen vertikalt.

4. Måling av knutepunktsdemping

4.1 Metode

Måling av knutepunktsdemping (reduksjon av vibrasjoner fra senderside til mottakerside av knutepunktet) i lette konstruksjoner er krevende både med hensyn til metode og analyse av resultater. Årsaken til dette er at det foreløpig er gjennomført få studier av metode og anvendbarhet til resultater. Det er imidlertid entydig at dersom man skal utvikle gode beregningsmodeller for lydoverføring i lette konstruksjoner (som inkluderer flanketransmisjon) er det helt nødvendig å etablere pålitelige data for knutepunktsdemping. Tabell 4.1 gir en oversikt over standardene som er etablert med relevans for dette arbeidet. Det er prinsipielt to metoder for å klarlegge flanketransmisjon i konstruksjonssystemer:

- A) isolere delflater
- B) måle vibrasjonsnivåer til delflater

Tabell 4.1.
Standarder knyttet til lydoverføring og knutepunktsdemping

Prinsipp metode	Basis standard	Målestandarder
A) Isolere delflater eller	NS-EN 12354 -1: Luftlydisolasjon	NS-EN ISO 10848: Laboratoriemåling - 1: Rammedokument
B) Måle knutepunktsdemping	- 2: Trinnlydisolasjon	- 2: Knutepunkt har liten innvirkning - 3: Knutepunkt har betydelig innvirkning

Standarden NS-EN 12354 er et rammedokument som angir hvordan man prinsipielt skal beregne lydisolasjon når det er lydtransmisjon via mange delflater, og hvilke inngangsparametre som er nødvendige. Standardene NS-EN ISO 10848 beskriver hvordan man skal bestemme disse inngangsparametrene. I tilknytning til konstruksjonsløsninger med massive elementer vil knutepunktet ha betydelig innvirkning på lydoverføringen og det er derfor del 3 som er aktuell i tillegg til selve rammedokumentet.

Prinsipp med å isolere delflater (metode A) innebærer at man må tilleggisolere én og én delflate (med tilstrekkelig god lydisolasjon) og måle luft- og trinnlydisolasjon for hver gang. Se tabell 3.1 mht. målestandarder. I en feltsituasjon er dette ikke realistisk og det er også svært ressurskrevende. I en laboratoriesituasjon hvor det er lett tilgang til håndverkere og utstyr er dette derimot mulig. Vi vurderte derfor denne metoden som uaktuell i forbindelse med forsøkshuset på Krøderen.

Prinsipp med å måle vibrasjonsnivåer til delflater (metode B) er realiserbar uten å foreta store inngrep i konstruksjonene. Metoden baserer seg på å sette én og én delflate i bevegelse og måle vibrasjonsnivåer på "sender"-flaten og alle aktuelle "mottaker"-flater. Flatene kan settes i bevegelse ved luftlydeksitasjon eller strukturlydeksitasjon. Førstnevnte eksitasjonsmetode er ikke egnet når delflatene ikke isoleres (metode A). Ved strukturlydeksitasjon setter man elementet direkte i bevegelse ved hjelp av trinnlydapparat, rystebord eller impulsstøt (hammerslag for eks.). Trinnlydapparatet kan kun benyttes for å sette en golvflate i bevegelse, og er derfor kun egnet når det er lydoverføring fra golvkonstruksjonen til andre konstruksjonsflater som er dominerende.

Strukturlydeksitasjon ved hjelp av et rystebord har blitt valgt i disse forsøkene. Dette medfører at man må skru fast en tapp fra rystebordet til konstruksjonen. Forøvrig er det ikke nødvendig med noen inngrep i konstruksjonen. Ved måleserie 9-2009 ble det valgt en bredbåndet eksitasjon (rosa støy) og parallelle målinger av vibrasjonsnivåer i 1/3-oktavbånd. Disse forsøkene ble imidlertid lite vellykket fordi vibrasjonsdempingen fra element til element var relativt høy, vibrasjoner fra nabo-

bygg var forstyrrende (bakgrunnsstøy) kombinert med at rystebordet ikke ga tilstrekkelig høye nivåer. Dette medførte at vi kun oppnådde pålitelige måleverdier for knutepunktsdempingen i deler av frekvensområdet.

Vi besluttet derfor å gjennomføre en nærmere studie av hvilken metode det var aktuelt å benytte i videre forskning for å få sikre måleverdier for knutepunktsdemping i lette konstruksjoner. Følgende alternativer ble vurdert:

- i) Innkjøp av vesentlig større rystebord med tilhørende forsterkere etc.
Kostnadene ved dette ville blitt vesentlig høyere enn vi hadde investerings- og prosjektmidler til. I tillegg medfører dette en betydelig praktisk ulempe ved forsøk i felt da utstyret får en høy vekt (> 100 kg). Fordelene med denne løsningen er at vi kunne benytte vanlig måling med bredbåndet eksitasjon og parallelle målinger av vibrasjonsnivåer i 1/3-oktav-bånd.
- ii) Utprøving av metode med eksitasjon ved hjelp av sinussveip
Dette innebærer en investering i programvare som styrer eksitasjon i sinussveip og tilhørende impulsresponsmetode for å beregne nivåer til akselerometrene. Da kunne vi forhåpentligvis benytte eksisterende rystebord og forsterker. Denne løsningen ble prøvd ut i en prøveoppstilling i laboratoriet.

Forsøk med metode ii) i laboratoriet ble såpass vellykket at vi valgte å satse på løsningen for dette prosjektet og planla en ny måleserie ved forsøkshuset på Krøderen.

Appendix A gir en mer detaljert presentasjon av prinsippene for måling av knutepunktsdemping fra de aktuelle standardene sammen med en beskrivelse av måleoppsett ved målingen i forsøkshuset.

4.2 Måleobjekter

I prosjektet har det blitt gjennomført to måleserier for å bestemme knutepunktsdemping til konstruksjonsløsninger med massivtreelementer. Begge disse målingene har blitt gjennomført ved forsøkshuset på Krøderen, se oversikt i tabell 4.2.

Tabell 4.2
Knutepunktsdemping i konstruksjoner med massivtre elementer, forsøkshus Krøderen

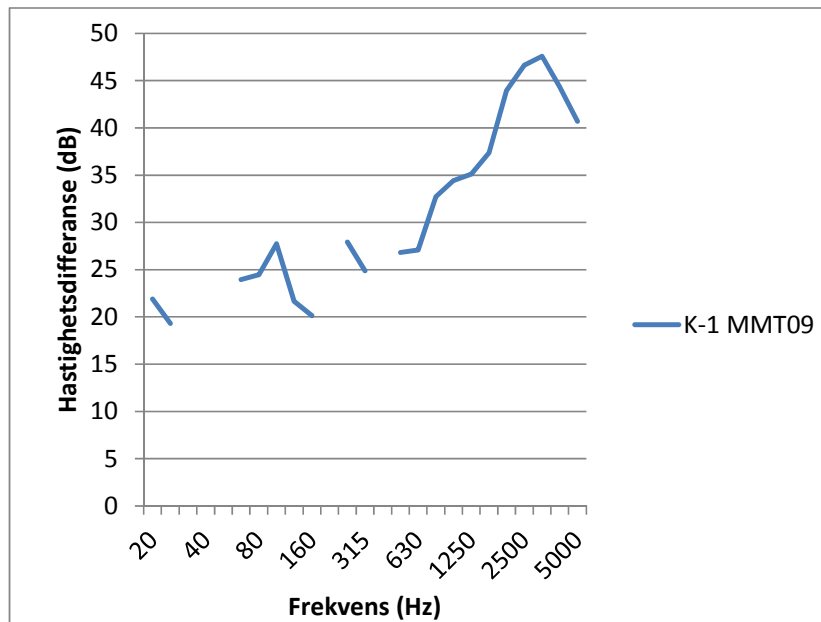
Måleserie	Basiskonstruksjon	Elastisk sjikt	Flankerende konstruksjon
I: 09-2009	120 mm	Punkt-elastisk Sylodyn	100 mm massivtre,
* K-1		+ flate-elastisk min.ull	* linjeelastisk Sylodyn
* K-2			* stiv linjeforbindelse
II: 11-2010	120 mm	Punkt-elastisk Sylodyn	100 mm massivtre,
* K-3		+ flate-elastisk min.ull	* stiv linjeforbindelse
* K-4			* utforet bindingsverk i 1. etasje

Målevariant K-2 og K-3 er like, men gjentatt på grunn av måletekniske begrensninger, se pkt. 4.3.1.

4.3 Hastighetsdifferanser

4.3.1 Måleserie I

Måleserie I ble gjennomført med bredbåndet eksitasjon (rosa støy) og parallelle målinger av vibrasjonsnivåer i 1/3-oktavbånd som nevnt i pkt. 4.1. Det viste seg fort at det var svært vanskelig å oppnå tilstrekkelig høye vibrasjonsnivåer på mottakersiden på grunn av en kombinasjon av for lavt nivå på sendersiden, for høye vibrasjonsnivåer (bakgrunnsstøy) fra omgivelsene og begrensninger i tilgjengelig måleutstyr forøvrig. Måleverdiene er bearbeidet og så langt som mulig er nivåene korrigert for bakgrunnsstøy. Allikevel er det ikke mulig å angi pålitelige verdier ved en del frekvensbånd under 500 Hz. Figur 4.3a viser målte hastighetsdifferanser mellom flankerende vegg på senderside og mottakerside for variant K-1. Det var ikke mulig å angi noen verdi for K_{ij} fra disse målingene fordi vi ikke fikk pålitelige måledata for strukturell etterklangstid, T_s .

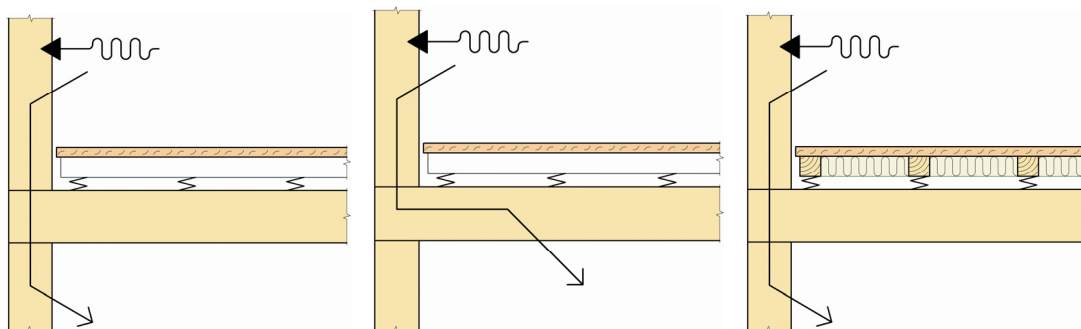
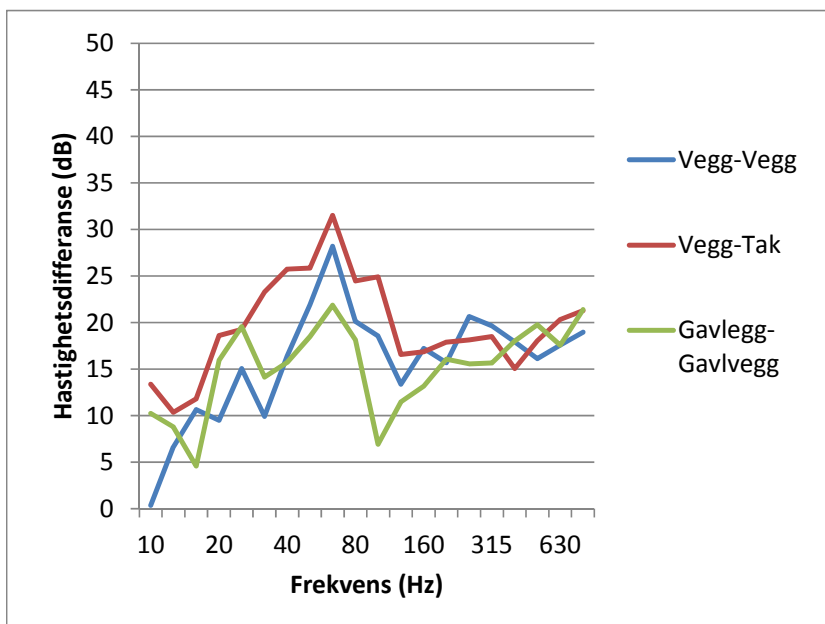


Figur 4.3a
Forsøkshus Krøderen, variant K-1 med linjeelastisk Sylomer. Hastighetsdifferanser mellom vegg på sender- og mottakerside.

Målingene viser at hastighetsdifferansene er relativt konstante i frekvensområdet under ca. 800 Hz, og at differansene stiger markert over dette. Valgt løsning med linjeopplagret Sylomer forventer vi derfor kun gir en forbedring av luftlydisolasjonen i frekvensområdet over ca. 630 Hz.

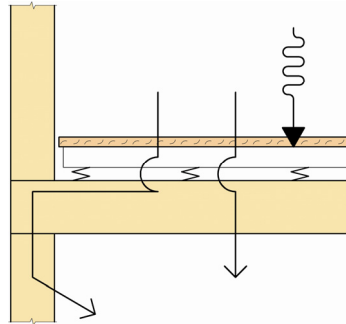
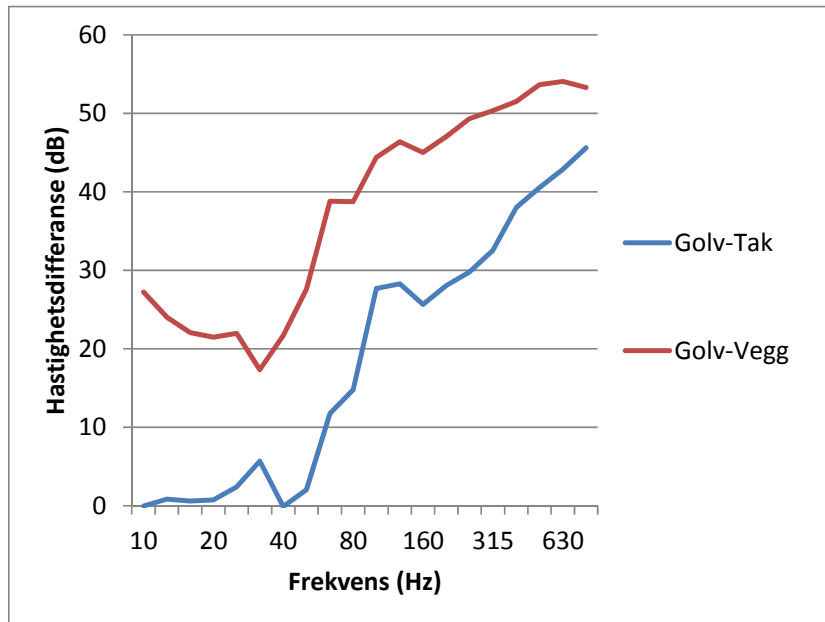
4.3.2 Måleserie II

Disse måleseriene ble gjennomført med metode beskrevet i Appendix A, se også pkt. 4.1. Målingene viser at vi nå oppnår tilstrekkelig høye vibrasjonsnivåer på mottakersiden uten nevneverdige begrensninger på grunn av bakgrunnsstøy. Måleverdiene er bearbeidet og korrigert for bakgrunnsstøy. Måleserie II er gjennomført uten opplager (dvs. stiv linjeforbindelse) mellom vegger i 2. etasje og massivtre element i etasjeskiller og med synlige massivtre flater også i 1. etasje, dvs. variant K-3 i tabell 4.2. Figur 4.3b viser målte hastighetsdifferanser mellom flankerende vegg på sender- og mottakerside og mellom flankerende vegg på senderside og tak (himlingselement). Figur 4.3c viser målte hastighetsdifferanser mellom overgolv i 2. etasje og vegg på mottakerside og mellom golv i 2. etasje og tak (himlingselement).



Figur 4.3b
Forsøkshus Krøderen, variant K-3 med stiv linjeforbindelse.
Hastighetsdifferanser ved eksitering av vegg i 2. etasje.

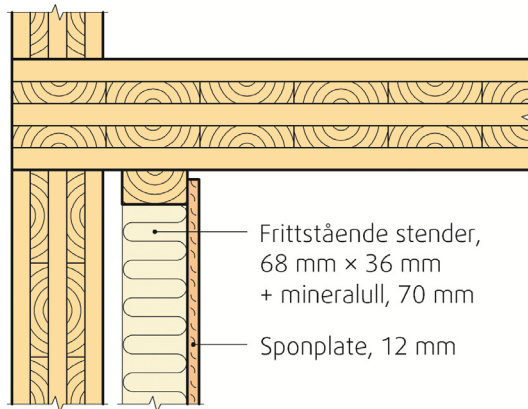
Måleresultater i figur 4.3b viser at hastighetsdifferansene i store deler av det målte frekvensområdet er mellom 15 og 20 dB, med unntak av ved svært lave frekvenser og i området 40 til 100 Hz (toppverdi ved 63 Hz). Dette gjelder både vibrasjonsoverføring fra vegg til vegg og fra vegg til tak (golvement). Vi har ikke full klarhet i hva som er årsaken til at differansene er markert høyere i frekvensområdet 40 til 100 Hz, men at elementenes stivhet på en eller annen måte innvirker er sannsynlig.



Figur 4.3c
Forsøkshus Krøderen, variant K-3 med stiv linjeforbindelse.
Hastighetsdifferanser ved eksitering av overgolv i 2. etasje.

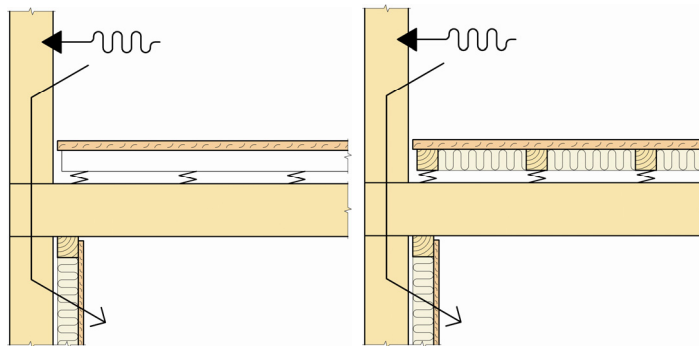
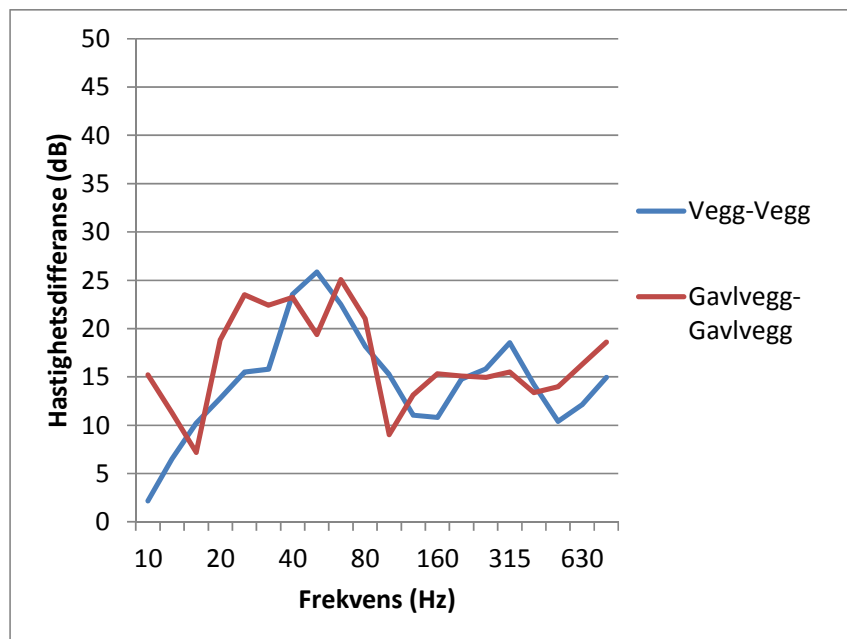
Måleresultater i figur 4.3c viser at hastighetsdifferansene stiger markert fra ca. 50 Hz med hensyn til vibrasjoner som overføres fra golv til henholdsvis vegg og tak. I frekvensområdet under 50 Hz er det i praksis ingen reduksjon av vibrasjonsnivået i tak (himlingsselement) i forhold til overgolvet. For overføring av vibrasjoner fra overgolv til vegg er det en hastighetsdifferanse på ca. 20-25 dB. Differansen mellom vibrasjonsoverføringen til tak (himlingsselement) og vegg gjenspeiler den samme reduksjonen av vibrasjonsoverføringen som vises i figur 4.3b fra vegg til vegg.

Måling av variant K-4, se tabell 4.2 er gjennomført med utføring av vegger i 1. etasje. Utføringen består av stendere med klaring til vegger, toppsvill festet til golvelement, mineralull i hulrommet og platekledning som vist i figur 4.3d.



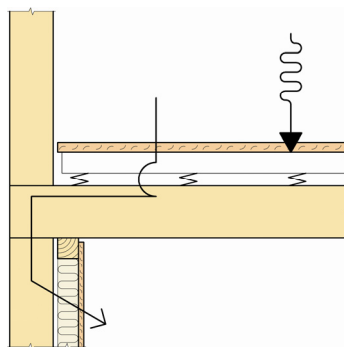
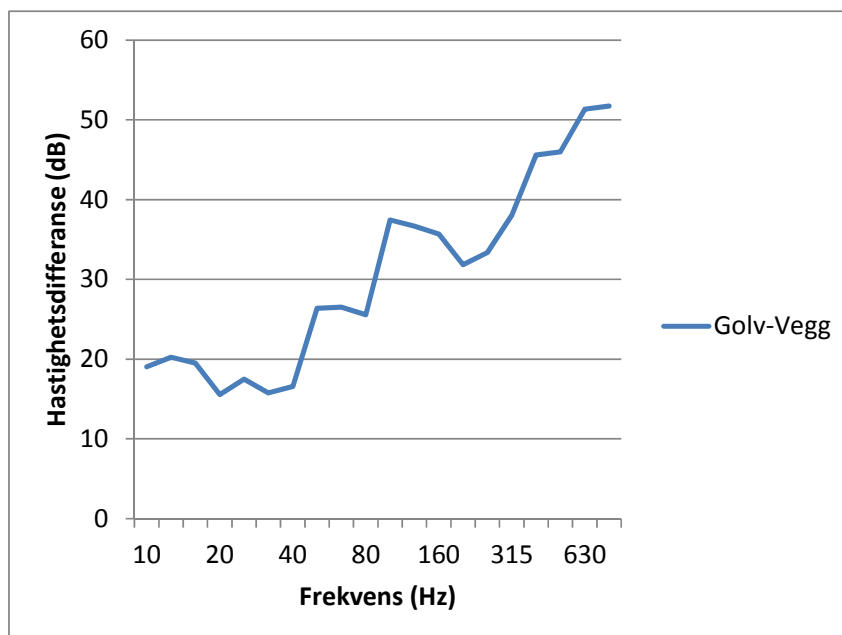
Figur 4.3d
Forsøkshus Krøderen, variant K-4. Utføring av vegg i 1. etasje.

Figur 4.3e viser målte hastighetsdifferanser mellom flankerende vegg på sender- og mottakerside (utføret), mens figur 4.3f viser hastighetsdifferanser mellom golv i 2. etasje og vegg på mottakerside.



Figur 4.3e
Forsøkshus Krøderen, variant K-4. Hastighetsdifferanser ved eksitering av vegg i 2. etasje.

Måleresultater i figur 4.3e viser at hastighetsdifferansene i store deler av det målte frekvensområdet er mellom 15 og 20 dB, med unntak av ved svært lave frekvenser og i området 40 til 100 Hz (topp-verdi ved 63 Hz). Sammenlignes disse måleresultatene med figur 4.3 b (uten utføring av massivtre vegg) ser vi at resultatene er nokså like. Det vil da være strålingsfaktoren (hvor effektiv flaten er til å avstråle lyd) som er avgjørende for hvor stor reduksjon det blir i lydnivået i underliggende rom ved eksitering av vegger i massivtre.



Figur 4.3f
Forsøkshus Krøderen, variant K-4. Hastighetsdifferanser ved eksitering av golv i 2. etasje.

Måleresultater i figur 4.3f viser at hastighetsdifferansene stiger markert fra ca. 50 Hz med hensyn til vibrasjoner som overføres fra golv til vegg. For overføring av vibrasjoner fra overgolv til vegg er det en hastighetsdifferanse på ca. 15-20 dB i frekvensområdet under ca. 50 Hz. Sammenlignes disse måleresultatene med figur 4.3 c (uten utføring av massivtre vegg) ser vi at hastighetsdifferansen faktisk er mindre med utføret vegg. Det vil da være strålingsfaktoren som avgjør om det blir en reduksjon av lydnivået i underliggende rom med golvflaten som kilde.

4.4 Målt knutepunktsdemping

For å bestemme knutepunktsdemping fra målinger må man i tillegg til målte hastighetsdifferanser ha data for strukturell etterklangstid og lengde av knutepunktsforbindelsen som vist i pkt. 1 i Appendix A. Ved målinger i måleserie II ble det gjennomført slike målinger som grunnlag for beregning av vibrasjonsreduksjonsindeks K_{ij} . Verdier for K_{ij} basert på målinger av variant K-3 er gitt i Appendix B. Verdiene avviker kun noen dB fra verdier for hastighetsdifferanse i figur 4.3a til 4.3f.

5. Beregninger

5.1 Metode

Beregning av lydoverføring som inkluderer flankerende konstruksjoner er basert på standard NS-EN 12354 (2000). Vi benytter beregningsprogrammet "BASTIAN" som er utviklet for å ivareta prinsippene i denne standarden. Metoden går i korthet ut på at man summerer bidragene fra lydtransmisjon direkte gjennom skillekonstruksjonen med lydtransmisjonsbidragene fra hver enkelt flankerende flate som omhyller selve skilleflaten. Man trenger da å kjenne lydreduksjonstallet til skilleflaten, flankerende flater og knutepunktsdempingen. Sistnevnte parameter kvantifiserer hvilken reduksjon av vibrasjoner som man får fra senderside til mottakerside av knutepunktet.

Nøyaktigheten til beregningsresultatet er svært avhengig av nøyaktigheten til alle inngangsverdiene. Som nevnt tidligere finnes det lite data tilgjengelig for knutepunktsdempingen i lette konstruksjoner. Slike verdier kan heller ikke generaliseres, da små detaljendringer kan gi store utslag på verdiene. Beregningsprogrammet gir ikke mulighet til å definere egne datasett for knutepunktsdempingen. Dette medfører at programmet benytter forhåndsdefinerte verdier avhengig av type knutepunkt.

Beregninger er også gjennomført etter metode beskrevet i Homb & al. (1983). Denne metoden er prinsipielt lik metoden beskrevet over, men er basert på entallsverdier for reduksjonstall og knutepunktsverdier. Som en del av metoden er det oppgitt diverse knutepunktsverdier for lette konstruksjoner, delvis basert på grove anslag. Begge beregningsmetodene simulerer hvilken samlet lydreduksjon man oppnår i en ferdig konstruksjon med de valgte konstruksjonsløsningene.

5.2 Beregningsvarianter

I tabell 5.2 er det gitt en oversikt over hvilke varianter vi har gjennomført beregninger for. Disse tar utgangspunkt i løsninger der vi har mest mulig sikre data for lydreduksjonstall.

Tabell 5.2
Beregningsvarianter – samlet lydreduksjon

Variant	Etasjeskiller	Opplegg	Flankerende konstruksjon
S	218 mm linje- elastisk mineralull	Stiv linjeforbindelse	140 mm massivtre
K1 og K3	120 mm punkt- elastisk Sylomer	Stiv linjeforbindelse og elastisk linjeforbindelse	100 mm massivtre
E-II og E-IV	220 mm punkt- elastisk Sylomer	Stiv linjeforbindelse og elastisk linjeforbindelse	100 mm massivtre
R	210 mm, pukk og flateelastisk min.ull	Stiv linjeforbindelse	120 mm massivtre

5.3 Inngangsdata

Inngangsdata for beregninger etter NS-EN metode er frekvensavhengige reduksjonstall for skillekonstruksjonene og flankerende flater. Som nevnt i pkt. 5.1 benytter programmet forhåndsdefinerte verdier for knutepunktsdempingen. I tillegg må man angi skilleflatens areal og areal av flankerende flater. Reduksjonstall for skillekonstruksjonene er basert på laboratoriemålte verdier for tilnærmet lik konstruksjon. Ved avvik er verdiene teoretisk korrigert for endring av flatemasse og hulrom i henhold til formler gitt nedenfor, basert på forenklet teori:

$$\text{Luftlydisolasjon, massiv konstruksjon: } \Delta R = 20 \cdot \log\left(\frac{m_1}{m_2}\right)$$

der m_1 og m_2 er flatemasse til alternativ 1 og alternativ 2

$$\text{Luftlydisolasjon og trinnlydisolasjon, konstruksjon med hulrom: } \Delta R = 20 \cdot \log\left(\frac{d_1}{d_2}\right)$$

der d_1 og d_2 er hulromsavstand til alternativ 1 og alternativ 2

$$\text{Trinnlydisolasjon, massiv konstruksjon: } \Delta L_n = 30 \cdot \log\left(\frac{m_1}{m_2}\right)$$

der m_1 og m_2 er flatemasse til alternativ 1 og alternativ 2

Beregninger basert på metode i Homb & al. (1983) presenteres som "A28" i tabell 5.4. Tabell 5.3 viser hvilke verdier for knutepunktsdempingen som er benyttet ved beregningene med denne metoden. Beregninger er gjennomført både med teoretiske verdier for knutepunktsdemping iht. Vigran (2002) for massive T-kryss og målte verdier, se pkt. 4.4.

Tabell 5.3

Entallsverdier for knutepunktsdemping benyttet ved beregninger iht. A28, Homb & al. (1983)

	S	K-1	K-3	E-IIa	E-IIb	E-IVa	E-IVb	R-1a	R-1b
Verdier	stiv	stiv	sylomer	stiv	sylomer	stiv	sylomer	uten pukk	med pukk
iht. Vigran (2002)	11	8	18 ¹⁾	16	20 ¹⁾	16	20 ¹⁾	13	19
basert på målinger	17	14	30 ²⁾	21	30 ²⁾	21	30 ²⁾	-	-

¹⁾ Anslått verdi

²⁾ Veiet verdi basert på 6 dB/oktav stigning fra 125 Hz

5.4 Resultater

Tabell 5.4 viser resultater fra målte og beregnede verdier av luftlydisolasjon til beregningsvariantene presentert i tabell 5.2. Tabellen viser også avvik mellom målt verdi og henholdsvis verdi beregnet iht. NS-EN 12354 (2000) og Homb & al (1983). For variant E er beregninger gjennomført med stiv linjeforbindelse og elastisk linjeforbindelse, begge med to arealforhold mellom vegg og dekke.

Bakgrunnen for dette er at målte varianter er med en elastisk linjeforbindelse, men noen stive innfestingspunkter. For variant R er beregninger gjennomført uten og med flatevekt til pukk inkludert i knutepunktsdempingen.

Tabell 5.4
Beregningsresultater – samlet lydreduksjon, R'w (dB)

Målt / beregnet	S stiv	K-1 stiv	K-3 sylomer	E-IIa stiv	E-IIb sylomer	E-IVa stiv	E-IVb sylomer	R-1a uten pukk	R-1b med pukk
Målt verdi	54	45	55	54	62	54	62	58	58
NS-EN ³⁾	48	43	49	46	52	48	54	47	52
avvik	6	2	6	8	10	6	8	11	6
A28 ⁴⁾	48	39	49	48	52	51	54	48	57
avvik	6	6	6	6	10	3	8	10	1
A28 ⁵⁾	53	44	55	53	61	55	62	-	-
avvik	1	1	0	1	1	-1	0	-	-

³⁾ Forhåndsdefinerte verdier for knutepunktsdemping i programmet Bastian

⁴⁾ Verdier for knutepunktsdemping iht. Vigran (2002), se tabell 5.3

⁵⁾ Verdier for knutepunktsdemping basert på måleresultater, se tabell 5.3

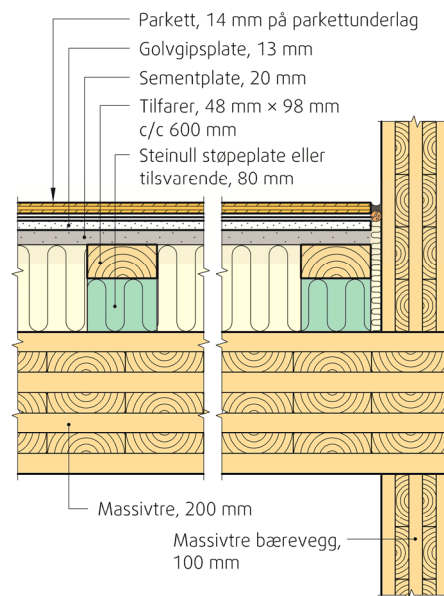
Beregningene med forhåndsdefinerte eller teoretiske verdier for knutepunktsdemping, viser konsekvent vesentlig dårligere luftlydisolasjon enn målte verdier. Varianter hvor avviket er inntil 3 dB er markert med grønt. For de øvrige resultatene er avviket mellom 6 og 11 dB for begge beregningsmetodene. Med unntak av resultater markert med grønt gir de to beregningsmetodene nokså like resultater. En tydelig konklusjon fra beregningene er at hele flatevekten (under elastisk sjikt) til etasjeskilleren må være med for oppnå realistisk beregningsresultat.

Beregninger med knutepunktsverdier basert på måledata for knutepunktsdempingen viser god overensstemmelse med målte verdier. Dette gjelder løsninger både uten og med elastiske opplager under bærende vegger i massivtre. Resultatene og beregningene illustrerer betydningen av å dokumentere knutepunktsdata for lette konstruksjoner og videreutvikle beregningsmodellen.

6. Aktuelle løsninger

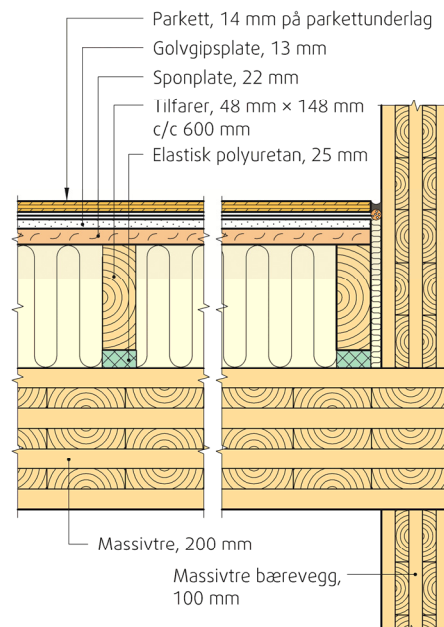
6.1 Synlige bærevegger i massivtre

Figur 6.1a og 6.1b viser to aktuelle løsninger for etasjeskiller med opplegg på synlige bærevegger i massivtre. Luftlydisolasjonen vil være avhengig av både oppbyggingen til etasjeskilleren og tykkelsen til veggelementene.



Figur 6.1a
Aktuell løsning med synlige bærevegger i massivtre

Beregnet luftlydisolasjon for løsningen i figur 6.1a er $R'_w \geq 55$ dB og beregnet trinnlydisolasjon er $L'_{n,w} \leq 53$ dB. Andre kombinasjoner enn det som er vist i figuren for å oppnå de samme grenseverdiene er mulig.



Figur 6.1b
Aktuell løsning med synlige bærevegger i massivtre

For løsningen i figur 6.1b med stiv linjeforbindelse og maksimalt 1 vegg med massivtre pr. rom, er beregnet luftlydisolasjon $R'_w \geq 55$ dB og beregnet trinnlydisolasjon, $L'_{n,w} \leq 50$ dB. Med linjeelastisk opplegg av massivtrevegger er beregnet luftlydisolasjon $R'_w \geq 60$ dB og beregnet trinnlydisolasjon $L'_{n,w} \leq 47$ dB. For disse løsningene vil det også være mulig å oppnå samme eller bedre grenseverdier med andre oppbyggingsvarianter.

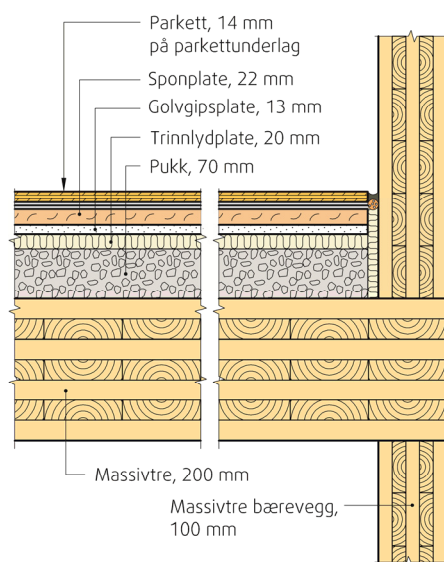
6.2 Utføring av massivtrevegger

En innvendig utføring med plateledning gir redusert lydavstråling og vil derfor forbedre luftlydisolasjonen sammenlignet med tilsvarende løsning vist i pkt. 6.1 og 6.3. Det er gjennomført både målinger og beregninger med detaljløsningen som er vist i figur 4.3d. Disse verdiene samsvarer godt, men maksimal forbedring som kan oppnås er 6-7 dB for denne løsningen. Dvs. at dette tiltaket kan benyttes når løsning uten utføring gir $R'_w \geq$ ca. 50 dB for å tilfredsstille en grenseverdi på $R'_w \geq 55$ dB.

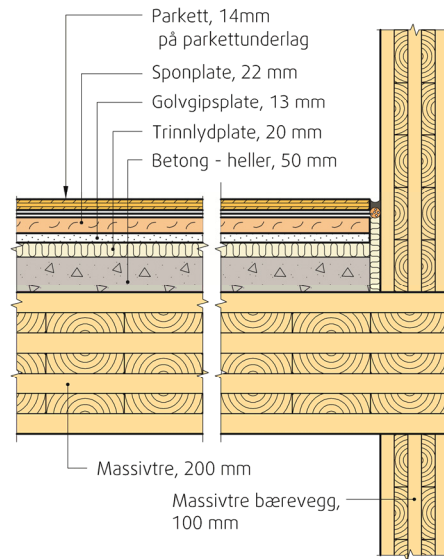
Beregninger kan gjennomføres hvis det er aktuelt med større hulromsavstand eller flere platelag, noe som gir en forbedring av luftlydisolasjonen. Luftlydisolasjonen forbedres også dersom toppsvill for utføring monteres i lydbøyle istedenfor direkte til golvelement i massivtre. Med hensyn til forbedring av trinnlydisolasjon må det gjennomføres mer detaljerte analyser og beregninger.

6.3 Økt flatevekt til etasjeskiller

Figur 6.3a og 6.3b viser to aktuelle løsninger for etasjeskiller med økt flatevekt og opplegg på synlige bærevegger i massivtre. Luftlydisolasjonen vil være avhengig av både oppbyggingen til etasjeskilleren, flatevekt og tykkelsen til veggelementene. Beregnet luftlydisolasjon for løsningene i figur 6.3a og 6.3b er $R'_w \geq 55$ dB og beregnet trinnlydisolasjon er $L'_{n,w} \leq 53$ dB. For disse løsningene vil det også være mulig å oppnå samme eller bedre lydisolasjonsverdier med andre oppbyggingsvarianter.



Figur 6.3a
Aktuell løsning med økt flatevekt til etasjeskiller (alternativ 1)



Figur 6.3b
Aktuell løsning med økt flatevekt til etasjeskille (alternativ 2)

7. Referanser

- Austnes, J.A. (2010a). Lydisolasjonsmåling i massivtre prøvehus. Målerapport fra forskningsprosjektet: "Knutepunktsforbindelser i fleretasjes trehus". Sweco, mars 2010.
- Austnes, J.A. (2010b). Lydisolasjonsmåling i massivtrebygg, Røa – Oslo. Sweco mars 2010.
- Dolezal, F., Bednar, T. & Teibinger, M. (2008a). Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen. Teil 1: Verbesserung der Flankendämmung durch Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit von EN 12354. Bauphysik 30 (2008), Heft 3, s.143-151.
- Dolezal, F., Bednar, T. & Teibinger, M. (2008b). Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen. Teil 2: Einfluss von Befestigungsmitteln auf die Verbesserung durch den Einbau elastischer Zwischenschichten. Bauphysik 30 (2008), Heft 5, s. 314-319.
- FP Innovations (2011). CLT Handbook: Cross-laminated timber edited by Sylvain Gagnon and Ciprian Pirvu. Special Publication SP-528E, FPInnovations, Quebec, Canada 2011.
- Holzforschung Austria. Detailkatalog: Deckenkonstruktionen für den mehrgeschossigen Holzbau-Schall- und Brandschutz. www.bauenmitholz.de
- Homb, A. (2002). Status lydisolasjon massivtreelementer. Oppdragsrapport O 14084, 29. mai 2002 for Moelven Limtre AS. Trondheim 2002.
- Homb, A. (2003). Lydisolasjon massivbjelkelag, forsøkshus laboratorium. Oppdragsrapport O 8788III, 7. mai 2003 for Norsk Treteknisk Institutt + Industrideltakere. Trondheim 2003.
- Homb, A. (2004). Massivtre etasjeskiller. Beregning og oppsummering av lydisolasjon. Oppdragsrapport O 14367, 10. august 2004 for Heimdalgruppen AS. Trondheim 2004 (lukket).
- Homb, A. (2005). Lydisolasjonsmålinger massivtrebygg – Svartlamoen. Oppdragsrapport O 20425, 7. juli 2005 for Norsk Treteknisk Institutt. Trondheim 2005.
- Homb, A. (2006). Low frequency sound and vibrations from impacts on timber floor constructions. Doctoral theses at NTNU, 2006:132. IME Faculty, Dep. of Electronics and Telecommunications, Trondheim, Norway.
- Homb, A. (2008). Vibrasjonsegenskaper til dekker av massivtre. SINTEF Byggforsk, Prosjekt-rapport 24-2008. Oslo, 2008.
- Homb, A. & Austnes, J.A. (2010). Experiences with sound insulation for cross-laminated timber floors. Proceedings at BNAM 2010 Bergen, May 10-12, 2010.
- Homb, A., Hveem, S. & Strøm, S. (1983). Lydisolerende konstruksjoner. Datasamling og beregningsmetode. Norges Byggforskingsinstitutt, Anvisning nr. 28. Oslo, 1983.
- Hveem, S. (2007). Laboratoremålinger av lydreduksjonstall og trinnlydnivå for massivtredekker med ulike typer gulv. Måleserie I og II. Oppdragsrapporter fra prosjektene O20723, O21158 og Q21624 for Treteknisk Institutt, 16. april 2007. Byggforsk, Oslo 2007.
- Industrikonsortiet Massivträ. Massivträ. Håndboken. www.solidwood.nu. Sverige, 2006.

NS-EN 12354 (2000). Lydforhold i bygninger. Vurdering av produkters akustiske ytelse.
Del 1: Luftlydisolasjon mellom rom.
Del 2: Trinnlydisolasjon mellom rom.

NS-EN ISO 10848 (2006). Akustikk. Laboratoriemåling av flanketransmisjon av luftlyd og trinnlyd mellom tilstøtende rom.
Del 1: Rammedokument.
Del 2: Anvendelse på lette bygningsdeler når sammenkoplingen har liten innvirkning
Del 3: Anvendelse på lette bygningsdeler når sammenkoplingen har betydelig innvirkning

SINTEF Byggforsk (2009). Anvisning Byggforskserien 522.891. Etasjeskillere i massivtre. Oslo, 2009.

Skjemstad, S.E. (2002). Lydegenskaper for etasjeskillere av massivtre. Hovedoppgave ved NTNU, Institutt for bygg- og anleggsteknikk. Trondheim, juli 2002.

Teibinger, M. & Dolezal, F. (2008). Dem Schall auf der Spur. Bauen mit Holz 7-8/2008, s.46-51.

Treteknisk. Håndbok – bygge med massivtreelementer. Hefte 2. Byggeteknikk. Hefte 3. Dimensjonering. Hefte 5. Lyd. Norsk Treteknisk Institutt. Oslo, 2006.

Vigran, T.E. (2002). Bygningsakustikk – et grunnlag. Tapir Akademisk Forlag, Trondheim 2002.

Aarstad, J. (2010). Knutepunktsforbindelser i fleretasjes trehus. Norsk Treteknisk Institutt, juli 2010.

Appendix A:

Måling av knutepunktsdemping

1. Definisjoner

Prinsipp for beregning av lydtransmisjon fra flere delflater iht. NS-EN 12354 baserer seg på vibrasjonsreduksjonsindeks, K_{ij} definert ved:

$$K_{ij} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \cdot \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i \cdot a_j}} \quad \text{der}$$

D_v er hastighetsdifferanser over knutepunktet (middelverdier), henholdsvis i retning ij og retning ji .
 l = lengde av forbindelse

a_i = ekvivalent absorpsjonslengde av element i , definert ved:

$$a = \frac{2,2 \cdot \pi^2 \cdot S}{c_o \cdot T_s} \cdot \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \quad \text{der}$$

S = areal av element i/j

T_s = strukturell etterklangstid av element i/j

f_{ref} = 1000 Hz

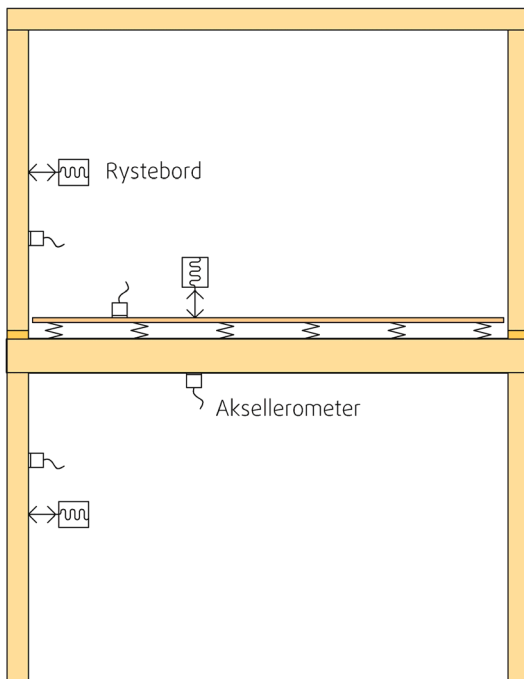
c_o = lyd hastighet i luft

K_{ij} skal bestemmes etter prEN ISO 10848, del 1 - Rammedokument og del 3 – Anvendelse på lette bygningsdeler når sammenkoplingen har betydelig innvirkning.

2. Prøving

2.1 Prinsipp

Bygningselementet settes i bevegelse med en egnet kilde. Kilden må gi tilstrekkelig energi til å gi vibrasjoner i hele det aktuelle frekvensområdet uten å eksitere ikke-lineær respons. Vibrasjoner registreres av akselerometre som plasseres i ulike punkter på bygningselementene. Målesignaler går til innsamlingssystem/analysator og bearbeides ved hjelp av egnet programvare på datamaskin. Prinsipielt oppsett for målesystemet er vist i figur B-1.



Figur B-1. Oppsett for måling av knutepunktsdemping i bygningskonstruksjoner

2.2 Eksitasjon

Man kan velge eksitering med trinnydapparat, rystebord eller impulseksitering med hammer. Sistnevnte er det meget krevende å kontrollere og trinnydapparatet er det ikke mulig å benytte i forbindelse med vegg. Derfor foreslås generell bruk av rystebord. Dette er også nødvendig for å bestemme strukturell etterklangstid. Målinger gjennomføres i 1/3-oktavbånd, for frekvensområde fra 50 Hz eller lavere (helst ned til 20 Hz), mens øvre avgrensning bør vurderes etter behov i forhold til konstruksjonsløsning (standarden angir 5 kHz). Figur B-2 viser bilde fra et oppsett med rystebord opphengt for eksitering av vibrasjoner i vegg.



Figur B-2. Rystebord opphengt for eksitering av vibrasjoner i vegg

Hvis man velger andre metoder må utstyr og prosedyre beskrives detaljert. Dynamisk kraft bør måles når man eksiterer konstruksjonen med en impuls eller man har behov for absoluttnivåer til målepunkter/flater.

2.3 Givere og montering

Akselerometre benyttes for å registrere vibrasjoner til konstruksjonene. Tabell B-1 viser en oversikt over givere vi har benyttet ved disse målingene.

Tabell B-1.
Givere brukt ved vibrasjonsmålinger av golvkonstruksjoner

Type	Merke	Følsomhet	Vekt	Strøm-forsyning
Akselerometer	Dytran 8136 A	~ 10 mV/m/s ²	18 g	Dytran 4105 B
Akselerometer	Dytran 3041 A4	~ 53 mV/m/s ²	10 g	Dytran 4103 C
Akselerometer	Brüel & Kjær 4371	~ 0.9 mV/m/s ²	11 g	Brüel & Kjær 2635

Det finnes flere måter å feste givene til konstruksjonen på. Hvis man kan borre hull i konstruksjonen skrur man inn en gjengetapp som man igjen skrur fast i akselerometret. Vanligvis fester vi akselerometrene til underlaget med bivoks. Dette fungerer fint mot alle harde flater og setter ingen varige merker. Mot myke underlag kan man for eks. bruke en metallplate (anbefalt vekt avhengig av underlag og frekvensområde) med tynne stifter på som slås ned i konstruksjonen slik at den sitter godt fast. Akselerometret vokses deretter til metallplata.

2.4 Signalinnsamling og analyse

Kabler fra givere via strømforsyning/forsterkerenhet kobles til signal innsamlingsenhet. Vi benytter løsning med datainnsamling via lydkort og PC, se oppsett i tabell B-2.

Tabell B-2.
Signal innsamling og analyse ved måling av knutepunktsdemping

Prinsipp	Merke	Innstallering	Filformat
Lydkort	RME Fireface 400, 4 kanaler	Selvstendig enhet, firewire- tilkobling til bærbar PC	Diverse

For målinger som er gjennomført fra høsten 2010 benytter vi programvaren WinMLS til å styre genereringen av vibrasjoner i sinus-sveip og bearbeiding av målesignaler fra akselerometre ved hjelp av impuls-responsmetoden. Programmet beregner nivåer i 1/3-oktavbånd og angir terskelnivåer for bakgrunnsstøy. Ønskede data lagres til regneark for videre bearbeiding.

2.5 Gjennomføring

Måleutstyr kobles sammen og kontrolleres mht. signal fra givere. For hvert målested eller ny oppkobling benyttes en akselerometer-kalibrator.

Måling av hastighetsdifferanser gjennomføres ved å eksitere minst 3 punkter på hver flate. For hvert eksitasjonspunkt må man benytte minst 3 målepunkter for akselerometre for hver av de aktuelle delflatene. Dette gir 9 datasett for både K_{ij} og K_{ji} som minimum. Akselerometre må plasseres

> 0,5 m fra kanter og > 0,8 m fra knutepunkt. Standarden setter i utgangspunktet krav til flatenes dimensjoner med dybde > 3,5 m og bredde > 4,0 m.

Måling av strukturell etterklangstid gjennomføres ved å eksitere minst 3 punkter på hver flate. For hvert eksitasjonspunkt må man benytte minst 3 målepunkter for akselerometre, som gir minst 9 datasett for hver flate. Det er i tillegg viktig å følge kontrollbetingelsene: $T_s > 35/f$ og $T_{\text{detektor/målesystem}}$ (se ev. NT ACOU 090:1994).

Det er viktig å føre logg for målingene. Posisjoner til rystebord, givere, lagrings-filnavn og innstillinger i oppsettet for målesystem og programvare er vesentlig. Generelt loggføres også type utstyr i tillegg til opplysninger om konstruksjon, knutepunktsdetaljer m.m.

3. Resultater

Lagrede data bearbeides slik at man bestemmer gjennomsnittlig hastighetsdifferanse for de ulike delflatene. Alle verdiene må være kontrollert eller korrigert for eventuell bakgrunnsstøy. Forøvrig beregnes parameterne som er angitt i pkt. 1.

Appendix B:

Målte verdier for knutepunktsdemping

1. Måleserie I med linjeelastisk Sylomer

Resultater fra måling av knutepunktsdemping og beregning av vibrasjonsreduksjonsindeks, K_{ij} for målevariant K-1 er gitt i tabell 1. Manglende verdier skyldes at måledataene har vært for usikre, se pkt. 4.3.1.

Tabell 1. Resultater for K_{ij} til målevariant K-1

Frekvens (Hz)	Vegg – Vegg K_{ij} (dB)
10	
12,5	
16	
20	25
25	23
31,5	
40	
50	
63	29
80	29
100	31
125	25
160	23
200	
250	32
315	29
400	
500	31
630	32
800	36

- Benyttet strukturell etterklangtid fra variant K-3

2. Måleserie II med stiv linjeforbindelse

Resultater fra måling av knutepunktsdemping og beregning av vibrasjonsreduksjonsindeks, K_{ij} for målevariant K-3 og K-4 er gitt i tabell 2 og 3.

Tabell 2. Resultater for K_{ij} til målevariant K-3

Frekvens (Hz)	Vegg – Vegg K_{ij} (dB)	Gavlvegg - Gavlvegg K_{ij} (dB)	Vegg - Himling K_{ij} (dB)	Golv – Vegg K_{ij} (dB)	Golv – Himling K_{ij} (dB)
10	3	10	16	27	0
12,5	8	7	12	26	3
16	13	4	14	26	4
20	13	16	22	23	4
25	19	20	23	26	7
31,5	13	15	27	20	7
40	21	17	30	24	3
50	27	21	31	31	5
63	33	24	36	41	16
80	25	20	29	41	18
100	23	8	29	48	31
125	17	12	20	47	31
160	20	13	20	48	29
200	19	16	21	49	31
250	24	16	22	52	32
315	24	17	23	53	35
400	21	19	19	58	41
500	20	21	22	56	43
630	23	20	25	57	45
800	23	22	25	56	49

- Benyttet strukturell etterklangstid fra variant K-3

Tabell 3. Resultater for K_{ij} til målevariant K-4 med utføret vegg

Frekvens (Hz)	Vegg – Vegg K_{ij} (dB)	Gavlvegg - Gavlvegg K_{ij} (dB)	Golv – Vegg K_{ij} (dB)
10	2	12	18
12,5	8	10	22
16	14	8	23
20	16	19	18
25	19	24	21
31,5	18	22	18
40	26	23	19
50	29	19	29
63	25	25	29
80	21	21	28
100	18	9	40
125	13	13	39
160	15	16	39
200	18	15	35
250	19	15	37
315	21	15	40
400	17	13	48
500	13	14	49
630	15	16	54
800	18	19	55

- Benyttet strukturell etterklangstid fra variant K-3

Tabell 3. Resultater for K_{ij} til målevariant K-4 med utføret vegg

Frekvens (Hz)	Vegg – Vegg K_{ij} (dB)	Gavlvegg - Gavlvegg K_{ij} (dB)	Golv – Vegg K_{ij} (dB)
10	2	12	18
12,5	8	10	22
16	14	8	23
20	16	19	18
25	19	24	21
31,5	18	22	18
40	26	23	19
50	29	19	29
63	25	25	29
80	21	21	28
100	18	9	40
125	13	13	39
160	15	16	39
200	18	15	35
250	19	15	37
315	21	15	40
400	17	13	48
500	13	14	49
630	15	16	54
800	18	19	55

- Benyttet strukturell etterklangstid fra variant K-3

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

