

Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus

Junction connections in multi-storey timber buildings

Saksbehandler: Jarle Aarstad
Finansiering: Innovasjon Norge og deltakende bedrifter
Dato: Juni 2010

Sammendrag

I prosjektet "Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus" var hovedmålet å utvikle knutepunktforbindelser som ivaretar gode lydforhold i fleretasjes trehus. Det er bygget et prøvehus i massivtreelementer over to etasjer, hvor den øvre delen kan "frikobles" fra den nedre delen, slik at ulike opplagre kan testes mellom de to delene.

Ulike opplagre er testet, og resultatene viser, som tidligere antatt, at det er stor lydgjennomgang gjennom veggene (stor flanketransmisjon). Det er derfor av stor betydning for god lydisolasjon hvordan veggene opplagres mot dekke, m.a.o. hvordan knutepunktet utformes. Forsøkene viser at opplagre av elastisk vibrasjonsisolerende materiale gir de beste måleresultatene. I tillegg har prosjektet gjennom måleresultatene fra prøvehuset og målinger i bygg, avdekket at masseforholdet mellom etasjeskille og tilstøtende vegger er av stor betydning. Det er derfor viktig at man også tar hensyn til masseforholdet mellom etasjeskille og vegg, og valgt konstruksjonssystem, ved valg av type opplager mellom vegg og etasjeskille.

Denne rapporten er hovedrapporten fra forskningsprosjektet og beskriver hovedaktivitetene, resultatene og foreslår løsninger omkring knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus.

Selve måleresultatene fra prøvehuset er presentert i egne målerapporter med tilhørende målekurver. I tillegg er det utført feltmålinger i Nordengveien 1 på Røa i Oslo – et fleretasjes trehus (fire etasjer) i massivtre. Dette for å verifisere teorien omkring masseforholdet mellom vegg og etasjeskille. SINTEF Byggforsk har utført lydmålinger på dobbeltvegger i massivtre i lydlaboratorium. Disse målingene var nødvendige som en kvalitetssikring, og for at prosjektet skulle kunne presentere "komplette" løsninger for fleretasjes trehus. Tabell 1 viser rapporter og publikasjoner tilhørende forskningsprosjektet "Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus".

Stikkord: Knutepunktforbindelser, fleretasjes trehus, massivtre
Keywords: *Junction connections, multi-storey timber buildings, cross-laminated timber elements*

Tabell 1. Rapporter og publikasjoner tilhørende prosjektet.

Publikasjon / rapport	Tittel, forfatter
Målerapport	Jan Arne Austnes, Sweco, mars 2010 <i>Målerapport fra forskningsprosjektet: "Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus" - Lydisolasjonsmåling i massivtre prøvehus</i>
Målerapport	Jan Arne Austnes, Sweco, mars 2010 <i>Nordengveien 1, Røa, Oslo - Lydisolasjonsmåling i massivtrebygg</i>
Laboratorierapport	Sigurd Hveem, SINTEF Byggforsk, mars 2010 <i>Lydmåling i laboratorium av enkle og doble vegger av 100 mm massivtre</i>
Vitenskapelig konferanse publikasjon	Anders Homb, SINTEF Byggforsk, Jan Arne Austnes, Sweco, 2010 <i>Experiences with sound insulation for cross-laminated timber floors</i> BNAM (Baltic-Nordic Acoustics Meeting) Bergen, Norway, May 10-12, 2010
Hovedprosjekt Høgskolen i Oslo Avdeling for ingeniørutdanning	Erik Kongsgård Berg og Preben Christian Anker (Høgskolen i Oslo, studenter ved byggavdelingen, 3 BK) <i>Lydisolasjon gjennom massivtredekke</i>

I løpet av prosjektperioden har prosjektet vært presentert ved seminarer og konferanser. Dette har resultert i flere interessante "spinn off"-aktiviteter, som er nærmere beskrevet i Kapittel 7.

Til slutt er det gledelig å registrere at det allerede nå planlegges nye forsøk ved prøvehuset. Det samme gjelder aktiviteter og interessen omkring prøvehuset og fleretasjes trehus generelt. Verdt å merke seg er også artikkel i Teknisk Ukeblad, nr. 13/15. april 2010 om verdens høyeste trehus, Barentshuset i Kirkenes.

Summary

The project "Junction connections in multi-storey timber buildings" had as its main objective to develop junction connections that ensure good sound conditions in multi-storey buildings. A test house has been built using cross-laminated timber elements in two storeys, where the upper part can be "disconnected" from the lower part, so that various bearings may be tested between the two parts.

Various bearings have been tested, and the results show that, as previously assumed, a lot of sound is travelling through the walls (large flanking transmission). The bearing of the walls towards the surface is thus significant, i.e. how the junction connections are designed. The tests show that bearings made of elastic vibration insulating materials give the best test results. The project has also established through the test results that the mass relationship between floor and wall is of great significance. This relationship, and type of construction principal, must be considered when choosing type of bearing between wall and floor.

This report is the main report from the research project and describes the main activities, results and suggests solutions regarding junction connections in multi-storey timber buildings.

The test results from the test house are presented in separate reports with belonging charts. In addition, field tests have been performed in Nordengveien 1, Røa, Oslo - a multi-storey building (four storeys) in cross-laminated timber. These tests were performed in order to verify the theory regarding the mass relationship between wall and floor. In addition, SINTEF Byggforsk has performed sound measurements on double walls in cross-laminated timber in a sound laboratory. These measurements were necessary as a quality assurance, and for the project to be able to present "complete" solutions for multi-storey timber buildings.

During the project period, the project has been presented at different seminars and conferences.

Finally, it is gratifying to note that there already now are plans for new tests at the test house and that the activity and the interest regarding the test house, and multi-storey timber buildings in general, is not ending with the writing of this report.

Forord

I dag er bygging med massivtreelementer i fleretasjes trehus en anerkjent byggemetode i Mellom-Europa og den har fått godt fotfeste i Norden.

Endringer i bygningskrav fra myndighetene, økte komfortkrav fra brukere/beboere, klimaspørsmål og krav til miljøeffektive og rasjonelle konstruksjons-systemer, medfører at bygging med massivtreelementer hele tiden er under utvikling.

En av de store utfordringene til fleretasjes trehus, har til nå vært å skape gode lydforhold og samtidig kunne ivareta rasjonelle detaljer og konstruksjonsprinsipper. I dette prosjektet er knutepunktene viet stor oppmerksomhet, samtidig som man har vurdert løsningene i forhold til rasjonalitet, utførelse og systemer. Gjennom dette prosjektet har man langt på vei lykket i arbeidet med å skape gode lydforhold i fleretasjes trehus med massivtreelementer og samtidig kommet frem til gode løsninger som er anvendbare i de fleste fleretasjes bygg i tre. Flere av løsningene er presentert i denne rapporten, mens alle løsningene blir tilgjengelige på websidene til Treteknisk (www.treteknisk.no) og Trefokus (www.trefokus.no).

Prosjektet og resultatene har også generert flere aktiviteter, som for eksempel hovedprosjekt ved Høgskolen i Oslo, avdeling bygg, og paper i forbindelse med BNAM (Baltic-Nordic Acoustics Meeting) i Bergen, 10.-12. mai i år, "Experiences with sound insulation for cross-laminated timber floors", skrevet av Anders Homb, SINTEF Byggforsk og Jan Arne Austnes, Sweco.

Treteknisk vil gjerne takke Innovasjon Norge som har vært med å finansiere prosjektet. En stor takk til de enkeltfirmaene i næringen som også har bidratt med finansiering, materialer og mange faglige innspill.

En spesiell takk til Jan Arne Austnes i Sweco Norge for muntert, godt og kreativt arbeid gjennom hele prosjektet.

Prosjektleder har vært Jarle Aarstad, Treteknisk.

Innhold

Sammendrag.....	3
Summary	5
Forord	6
1 Innledning.....	8
2 Lyd i trehus og forskriftskrav	14
3 Beskrivelse av prøvehuset	17
4 Vibrasjonsisolerende materialer	22
5 Måleresultater og diskusjon	26
6 Tilhørende målerapporter	31
6.1 Nordengveien 1, Røa, Oslo	31
6.2 Målerapport fra forskningsprosjektet	32
6.3 Lydisolasjonsmålinger i laboratorium	32
7 Aktiviteter omkring prøvehuset.....	33
7.1 Utvikling av randdrager	33
7.2 Hovedoppgave	34
7.3 Paper	35
7.4 Byggdetaljblad.....	36
7.5 Pilotprosjekter.....	36
8 Resultatformidling.....	38
9 Hva nå?.....	40
10 Referanser	43

1 Innledning

Trehusbygging er en viktig del av norsk kultur, og trehus preger i høy grad bygningsmiljøet over hele landet. Få land har like stor andel trehus i boligmassen som Norge. Norge har rike trehustradisjoner, som viser hvordan konstruksjons- og byggeteknikk har utviklet seg gjennom flere hundre år. Denne utviklingen innebærer en tilpasning både til ulike bruksbetingelser og til de spesielle klimaforholdene i landet. Samtidig har skiftende stilarter og moteretninger i høy grad påvirket byggeskikken. Utviklingen av trehusbyggingen reflekterer også utviklingen i økonomi og levestandard.

I den senere tid har også trehusbygging blitt påvirket av klimaspørsmål, økte komfortkrav fra beboere, økonomi og endringer i bygningskrav fra myndighetene. Dette har ført til at ikke bare Norge, men også store deler av Europa har sett behovet for utvikling av mer miljøeffektive og rasjonelle konstruksjonssystemer. I den forbindelse begynte utviklingen av byggesystemer med massivtreelementer.

Byggesystemer med massivtreelementer forbindes med store treelementer, produsert og bearbeidet industrielt, som monteres sammen på byggeplass. Massivtreelementene kan også anvendes sammen med andre materialer og konstruksjonssystemer. I dag benyttes massivtreelementer i bolighus, fleretasjes hus, næringsbygg, barnehager, skoler og flerbrukshaller.

Ved bygging av fleretasjes trehus er det generelt to hovedbæresystemer som benyttes:

- Bokssystem
- Søyle-/bjelkesystem

Bokssystem

Med boksprinsippet tenkes esker/bokser/volumer satt sammen til større enheter (bygg), der massivtreelementene alene utgjør enkeltkomponentene i eskene.



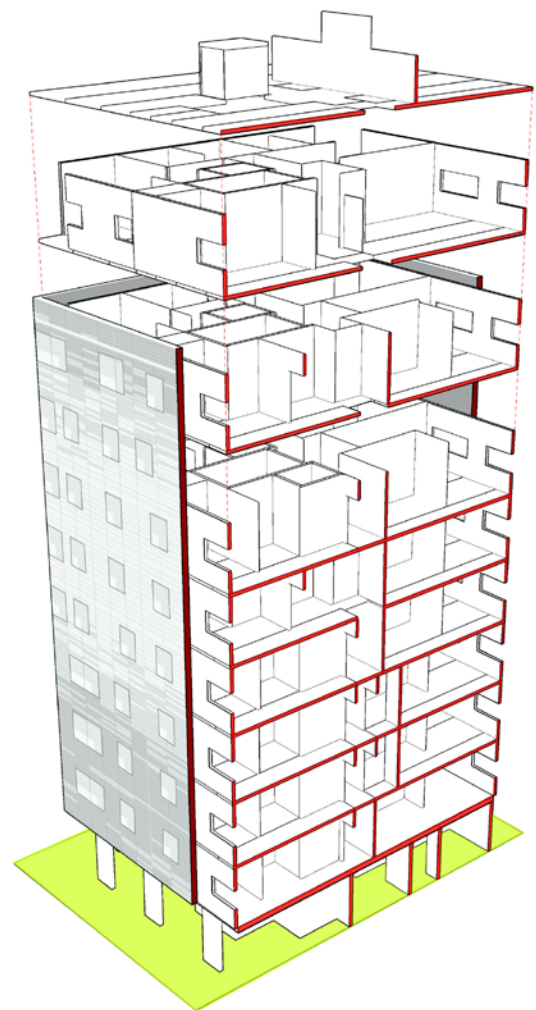
Foto: Jarle Aarstad, Treteknisk.

Byggeteknisk gir dette et "rent" konstruksjonssystem, enkel montasje, stor grad av repetisjon, store muligheter for åpne og gode planløsninger og en god mulighet for god strukturell adskillelse. God strukturell adskillelse er meget viktig i lyd-sammenheng.

Det høyeste bygget som til nå er bygget etter dette prinsippet, er Murray Grove i London, ni etasjer, tegnet av Waugh Thistleton Architects. Montasjetid for massivtrestammen var ni uker.



Foto: Waugh Thistleton Architects Ltd.
www.waughthistleton.com



Søyle-/bjelkesystem

Det andre hovedbæresystemet er et søyle-/bjelkesystem, som er et velkjent konstruksjonssystem for de fleste. Systemet kan benyttes med mange materialkombinasjoner. Ved bruk av tre anvendes stående limtresøyler med innhengte limtrebjelker. Mellom limtrebjelkene spenner dekkene. Dekkene kan gjerne være massivtreelementer. Ytter- og innvendige vegger kan være i bindingsverk. Med stående (loddrette) limtresøyler vil trefibrene i trevirket bli stående på høykant (loddrett) og derav redusere setningene i bygget betraktelig. Med dette konstruksjonsprinsippet kan man bygge trehus oppimot 15 etasjer.

Bilder fra Trondheim og prosjektet "Borkeplassen" viser hvordan konstruksjonsprinsippet er anvendt. Innfestingen mellom søyle og bjelke er utført med innslissede dybelforbindelser. Denne forbindelsesteknikken ble utviklet under arbeidet med OL-hallene på Lillehammer og hovedflyplassen på Gardermoen. Teknikken er senere videreutviklet og industrialisert.

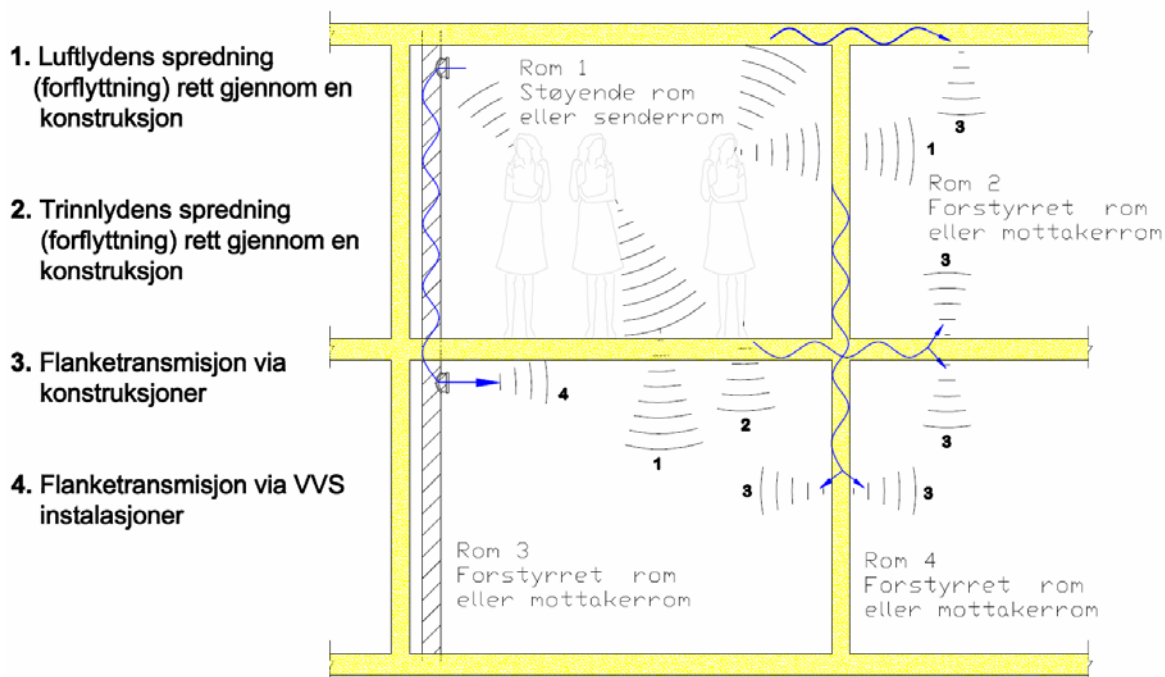


Foto: Jarle Aarstad, Treteknisk.

Byggesystemer og lyd

I lydsammenheng er det bokssystemet som byr på de største utfordringene. Løses utfordringene som bokssystemet byr på, vil man langt på vei kunne anvende de fleste løsninger også for et søyle-/bjelkesystem. Det er derfor valgt å se nærmere på bokssystemet i dette prosjektet.

Figur 1 illustrerer hvordan lyden overføres i fleretasjes hus og bokssystemet.



Figur 1. Lydoverføring i fleretasjes hus.

Lydoverføring i bygninger kan deles inn i tre hovedkategorier:

- Luftlyd
- Trinnlyd
- Flanketransmisjon

Luftlyd

Luftlyd er bølger som spres ut i rommet fra en lydkilde. Eksempel på lydkilde er stereoanlegg, TV eller tale. Når bølgene treffer en bygningsdel, en skillekonstruksjon, vil bølgene sette konstruksjonen i svingninger. Noe av den innfallende lyden vil stråle ut på baksiden. Forskjellen i utstrålt effekt på baksiden, i forhold til innfallende effekt på fremsiden, er gitt i dB og kalles lydreduksjonstallet, R. Det vil si, jo høyere lydreduksjonstallet R til en skillekonstruksjon er, desto bedre isolerer den mot luftlyd. Derav ønskes R størst mulig.

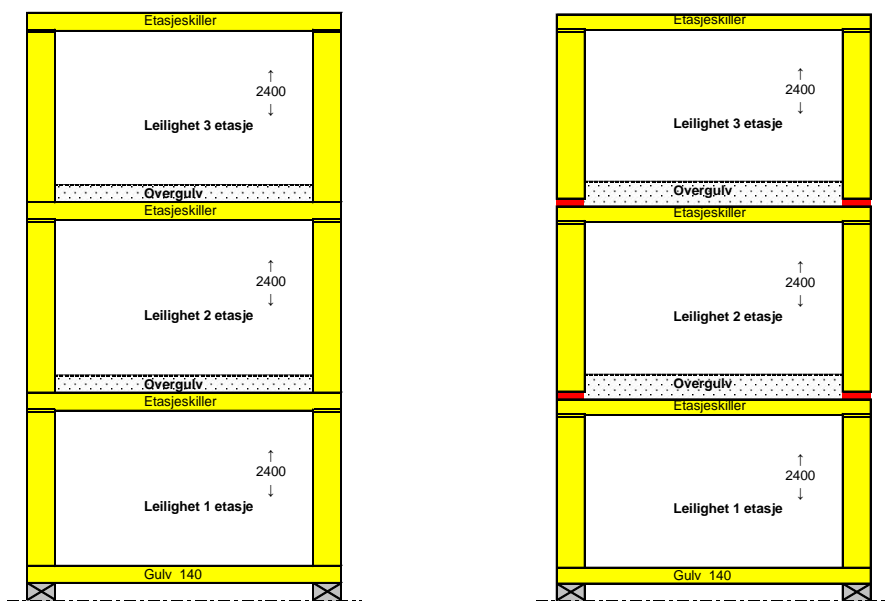
Trinnlyd

Svingninger som oppstår i etasjeskilleren på grunn av gangtrafikk og utstråles som lyd, kalles trinnlyd. Ved trinnlydmålinger søkes ikke forskjellen i lydnivå mellom to rom, men det faktiske lydtrykksnivået man registrerer i mottakerrommet. Dette lydtrykksnivået ønskes lavest mulig, og betegnes L . På samme måte som for luftlyd, måles veid trinnlydnivå, L_w , i laboratoriet og feltmålt veid normalisert trinnlydnivå, L'_{nw} , i den ferdige bygningen. Normalisert, vil si at det er gjort korreksjoner som gjør målingene uavhengige av mottakerrommets absorpsjonsevne (møblering, innredning).

Trinnlyd og annen strukturlyd kan spres langt i en konstruksjon, avhengig av bæresystem, materialvalg og knutepunktsdemping. Størst utfordring gir lavfrekvent strukturlyd fra gangtrafikk, tekniske installasjoner som vaske- og oppvaskmaskiner, tørketromler, kjøleaggregater og ventilasjonsanlegg, samt basslyder fra radio, TV og musikkanlegg.

Flanketransmisjon

Flanketransmisjon er lydoverføring via flankerende (tilstøtende) bygningsdeler. Når en konstruksjon settes i svingninger fra innfallende luftlyd, vil svingningene i større eller mindre grad kunne overføres via knutepunkter til tilstøtende konstruksjoner (flankerende konstruksjoner), og fra disse utstråle lyd i mottakerrommet. Eksempel på knutepunkt er forbindelsen mellom et dekke og veggen som det ligger an på, og veggen som står ovenpå dekket. Flanketransmisjon brukes også om all lydoverføring som ikke går direkte gjennom skillekonstruksjonen, f.eks. gjennom kanaler, over himling (innertak), gjennom utettheter o.l. Figur 2 viser til venstre konstruksjon uten tiltak mot flanketransmisjon og til høyre konstruksjon med tiltak mot flanketransmisjon (røde klosser).



Figur 2. Konstruksjon uten tiltak mot flanketransmisjon (til venstre) og med tiltak mot flanketransmisjon (til høyre).

Oppsummering

For å imøtekomme kravene som kan avledes fra Teknisk forskrift ved veiledningens henvisning til NS 8175, lydklasse C for fleretasjes trehus, og krav fra brukere, må følgende tre hovedpunkter for lyd være ivaretatt:

Vertikal lydoverføring

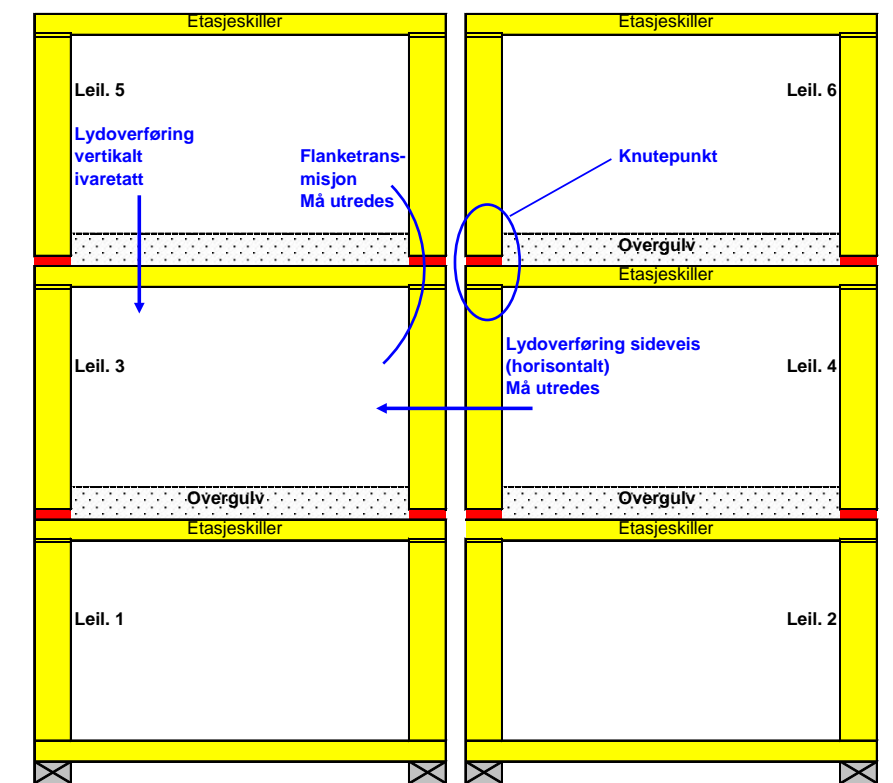
Det er tidligere gjort laboratiemålinger (trinnlyd og luftlyd) på massivtre-elementer som etasjeskiller med ulike overgulvskonstruksjoner. Disse dekkekonstruksjonene med tilhørende måleresultater er tilgjengelige i "Håndbok - bygge med massivtrelementer", hefte 4, Treteknisk, 2006 og Byggdetaljblad "Etasjeskillere i massivtre" nr. 522.891, SINTEF Byggforsk, 2009.

Horisontal lydoverføring

Det er derimot ikke utført konkrete laboratiemålinger omkring luftlydisolasjon sideveis (horisontalt) i dobbeltvegger med massivtrelementer i Norge.

Flanketransmisjon

Det har vært utført enkelte feltmålinger i fleretasjes trehus, og samtidig gjort generelle vurderinger omkring flanketransmisjon. Erfaringer basert på feltmålinger og vurderinger, konkluderer med at det er nødvendig å gjøre tiltak for å redusere flanketransmisjonen (lydoverføring via knutepunkt) i fleretasjes trehus. Det er ikke utført laboratiemålinger for flanketransmisjon tidligere i Norge. De røde stripene under veggene i Figur 3 illustrerer tiltak mot flanketransmisjon.



Figur 3. Overføringsveier for lyd.

2 Lyd i trehus og forskriftskrav

Tre er et lett byggemateriale, og det har vist seg i praksis at det er vanskelig å oppfylle lydkravene i Teknisk forskrift bare ved hjelp av trekonstruksjonens egen masse. For å oppfylle kravene har man derfor brukt doble konstruksjoner med skivematerialer. Typiske eksempler er leilighetsskillende dobbeltvegg med 2" x 4" med gipsplate, eller dobbeltvegg med massivtreelementer (se figur forrige side). Bjelkelag med undertak opphengt i akustiske profiler eller massivtreelementer med overgulvkonstruksjon.

Det er derfor relativt store forskjeller i bygningsakustiske egenskaper for et trehus sammenlignet med et betonghus. Forskjellene er fremstilt i Tabell 2.

Tabell 2. Bygningsakustiske egenskaper for betonghus vs. trehus.

Betongkonstruksjon	Trekonstruksjon
Bygningsakustisk stiv konstruksjon	Bygningsakustisk elastisk konstruksjon
Lydisoleringsforholdene baserer seg på masse	Lydisoleringsforholdene baserer seg på masse-/fjærsystem
Høy lydstrålingsfaktor stråler lyden effektivt	Lav lydstrålingsfaktor stråler lyden begrenset
Stive knutepunkter/koblinger	Elastiske knutepunkter/koblinger
Koinsidens normalt ikke noe problem	Koinsidens må vurderes ved prosjektering
God lydisolering ved lave frekvenser	Dårlig lydisolering ved lave frekvenser
God lydisolering ved høye frekvenser	Meget god lydisolering ved høye frekvenser
Gulvmaterialet har stor betydning for trinnyden ved høye frekvenser	Naturlig god trinnydisolering ved høye frekvenser

Hvordan vi mennesker reagerer og blir påvirket av lyd er individuelt. Lyd er definert som en trykkforandring (i luft) som øret kan oppfatte. Trykkforandringene gir en bølgebevegelse (svingning) mot ørets trommehinne med små variasjoner omkring atmosfæretrykket. Antall trykkvariasjoner (svingninger) per sekund kalles frekvens. Enheten for frekvens er Hertz (Hz). Det hørbare området til mennesket er i området 20-20 000 Hz.

Det svakeste lydtrykket vi kan oppfatte (høregrensen) er omkring 2×10^{-5} Pa. Et effektivt lydtrykk på 20 Pa gir smertefornemmelser i øret (smertegrense). Som måleenhet for lydtrykk brukes en logaritmisk enhet, desibel (dB), som angir et lydtrykknivå i forhold til lydtrykket ved høregrensen. Med denne måleenheten blir smertegrensen omkring 120 dB, mens høregrensen er 0 dB.

Svingninger som ligger utenfor dette området kan likevel merkes, spesielt lavfrekvente lyder, i form av rystelser og vibrasjoner. Vibrasjoner er en betegnelse for svingninger i mekaniske systemer. Både lyd og vibrasjoner er dynamiske fenomener. Svingningene forplanter seg på forskjellige måter i forskjellige medier (faste stoffer, vesker eller gasser).

For å kunne skape gode lydforhold i bygninger og i omgivelsene omkring, må man så tidlig som mulig i prosjekteringsfasen ta hensyn til lydforhold og aktiviteter. Se Tabell 3.

Tabell 3. Lydforhold og aktiviteter.

Lydkilde	Lydtrykknivå, dB
Høregrense	0
Rasling i løv og blader	5 - 25
Hvisking på ca. 1 m avstand	25 - 30
Kraftig røst (roping)	50 - 70
Trafikk	70 - 85
Motorsykkkel	85 - 90
Smertegrense	110 - 130
Jetmotor	150

Forskriftskrav

TEK (Teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven) gir krav til lydforhold som overordnede funksjonskrav. Veiledningen til TEK angir at dersom man tilfredsstiller grenseverdiene til lydklasse C i NS 8175, "Lydforhold i bygninger, lydklasser for ulike bygningstyper", vil forskriftens intensjon være tilfredsstilt.

I NS 8175 er det gitt grenseverdier for lydklasse A, B, C og D for ulike bygningstyper, hvor klasse A har de strengeste grenseverdiene og klasse D de svakeste. Grenseverdiene for lydklasse C og B i NS 8175 er gitt i Tabell 4.

Tabell 4. Grenseverdier for lydklasse C og B i NS 8175.

Luftlydisolasjon og trinnlydnivå		Luftlydisolasjon R_w eller $R_w + C_{50-5000}$		Trinnlydnivå $L_{n,w}$ eller $L_{n,w} + C_{i,50-2500}$	
		Klasse B	Klasse C	Klasse B	Klasse C
Boliger	Mellom boenheter, og boenheter og fellesareal	≥58	≥55	≤48	≤53
	Mellom rom internt i boenhet	43	-	63	-
Skoler	Mellom klasserom, og klasserom og fellesareal	52	48	58	63
Barnehager, fritidshjem	Mellom rom for søvn og hvile og andre fellesrom	52	48	53	58
Sykehus	Mellom sengerom, og sengerom og fellesarealer	50	48	55	58
Pleieanstalter	Mellom beboerrom, og beboerrom og fellesarealer	54	52	55	58
Overnattingssteder	Mellom gjesterom, og gjesterom og fellesarealer	55	52	53	58
Kontorer	Mellom kontorer, og kontorer og fellesarealer	40	37	58	63

Lavfrekvenssegenskaper, omgjøringstall (C-korreksjon)

Det er spesielt lavfrekvenssegenskapene som er vanskelige å tilfredsstille med lette konstruksjoner. Lavfrekvent lyd er heller ikke godt nok behandlet i dagens regelverk. Eksempel på lavfrekvente lydkilder er radio, tv, vaskemaskiner, mekanisk ventilasjon o.l. Det har imidlertid i de senere årene skjedd en endring i nasjonale og internasjonale standarder som anbefaler måling og bedømmelse også for frekvensområdet fra 50 Hz til 100 Hz, selv om det foreløpig ikke er obligatorisk. Standardene for bedømmelse av luftlydisolasjon (NS-EN ISO 717-1) og for bedømmelse av trinnlydnivå (NS-EN ISO 717-2) angir metoder for korreksjonstillegg bl.a. av lavfrekvenssegenskapene. *Erfaring viser at når korreksjonstillegget inkluderes i måle verdien, blir samsvaret mellom regelverk og beboernes forventninger bedre.*

3 Beskrivelse av prøvehuset

Prøvehuset er bygget hos Moelven MassivTre as på Krøderen, ca. 100 km fra Oslo.

Prøvehuset er bygget med krysslimte massivtreelementer og består av to "moduler". Modulene er plassert over hverandre. Det er montert stålbraketter på veggene. Mellom stålbrakettene plasseres hydrauliske jekker. På denne måten kan den øvre modulen heises opp og "frikobles" fra modulen under.

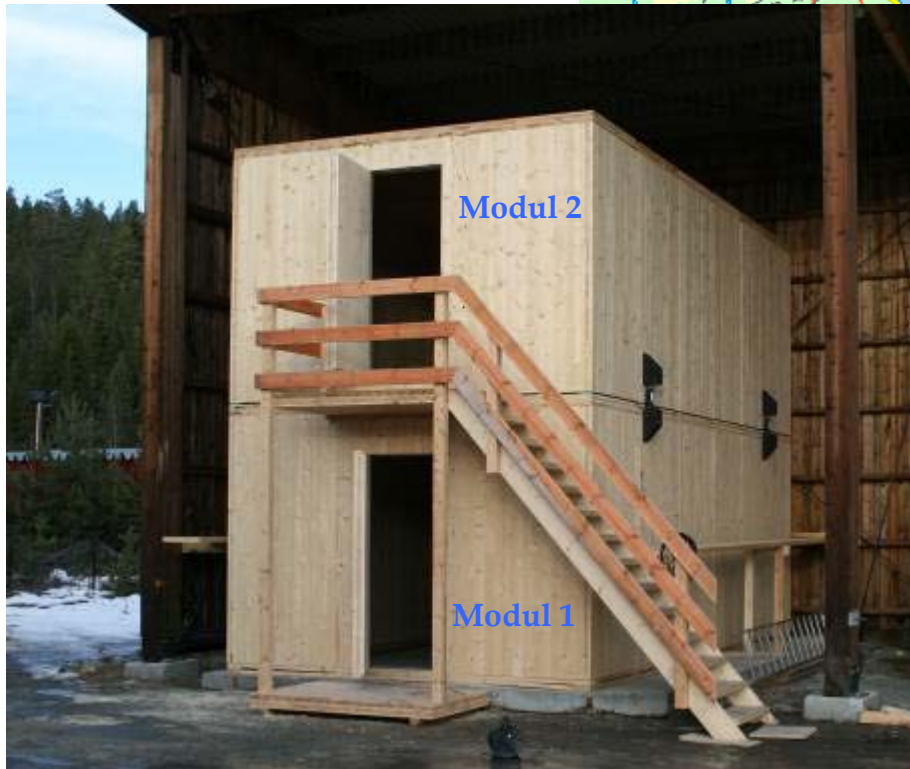
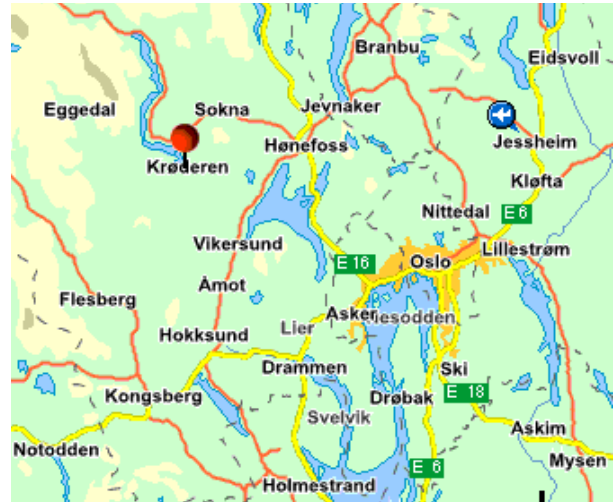


Foto: Jarle Aarstad, Treteknisk.

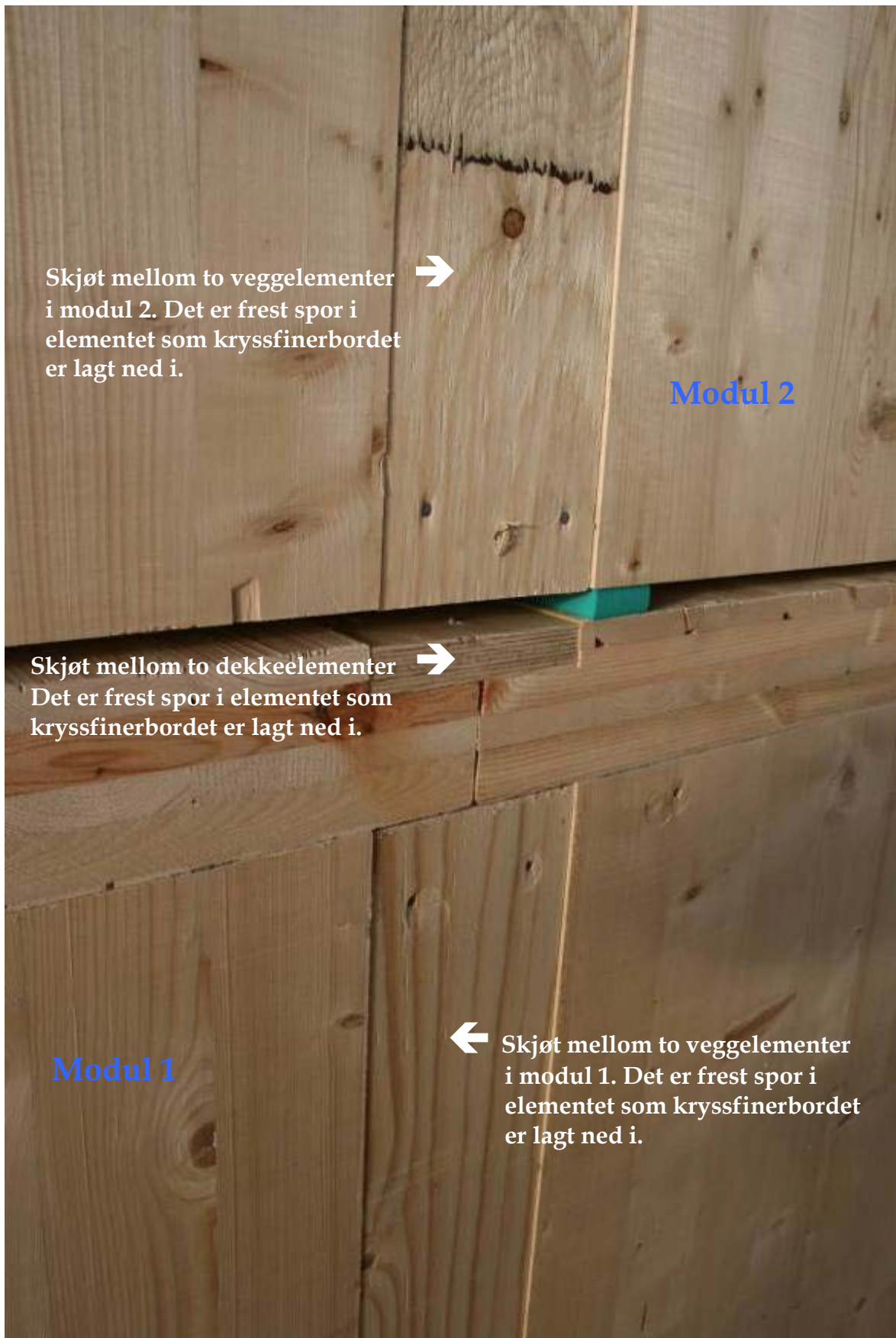
Tekniske data

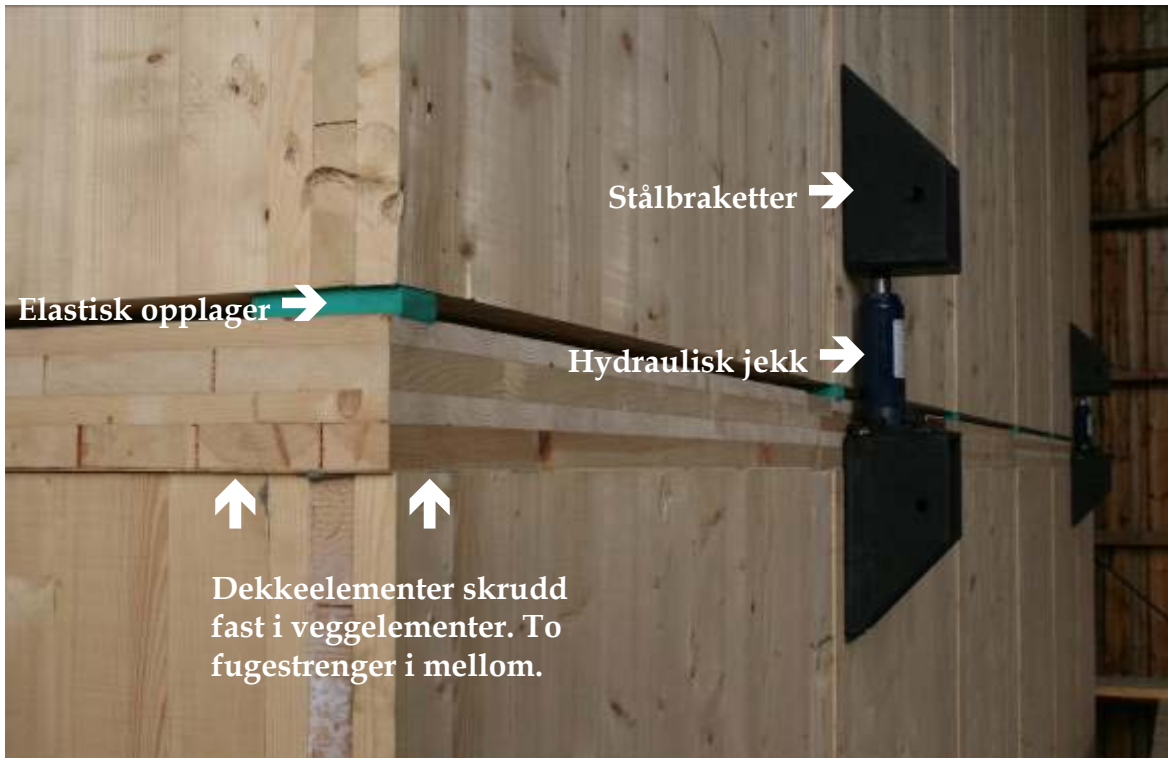
Utvendige mål:	Lengde: 7.200 mm
	Bredde: 3.800 mm
Innvendige mål:	Lengde: 7.000 mm
	Bredde: 3.600 mm
	Høyde: 2.480 mm (modul 1, fra betong til tak)
	Høyde: 2.180 mm (modul 2, fra parkett til tak)
Innvendig areal:	25,2 m ²
Innvendig volum i modul 1:	62,50 m ³
Innvendig volum i modul 2:	54,95 m ³
Vegger:	Tykkelse 100 mm, krysslimte elementer, gran
Etasjeskille:	Tykkelse 120 mm, krysslimte elementer, gran
Tak:	Tykkelse 120 mm, krysslimte elementer, gran

Prøvehuset er plassert under tak, og er derfor ikke overflatebehandlet utvendig eller beskyttet med kledning. Det er heller ikke laget tak på prøvehuset. Prøvehuset er forankret til betongplaten med bunnsvill. Bunnsvill nr. 2 er justert i vater, og veggelementene i modul 1 er skrudd/montert til denne. Veggelementene er montert stående og festet sammen med kryssfinerplate på utsiden. Mellom kryssfinerplaten og veggelementet er det lagt på to fugestrenger. Etasjeskillet, dvs. taket til modul 1, er festet direkte til veggene i modul 1. Det er også her lagt på to fugestrenger istedenfor å bruke tettepakninger. Taket er montert/skrudt direkte i toppen av veggen til modul 2. Det er også her lagt to fugestrenger på toppen av veggelementet.



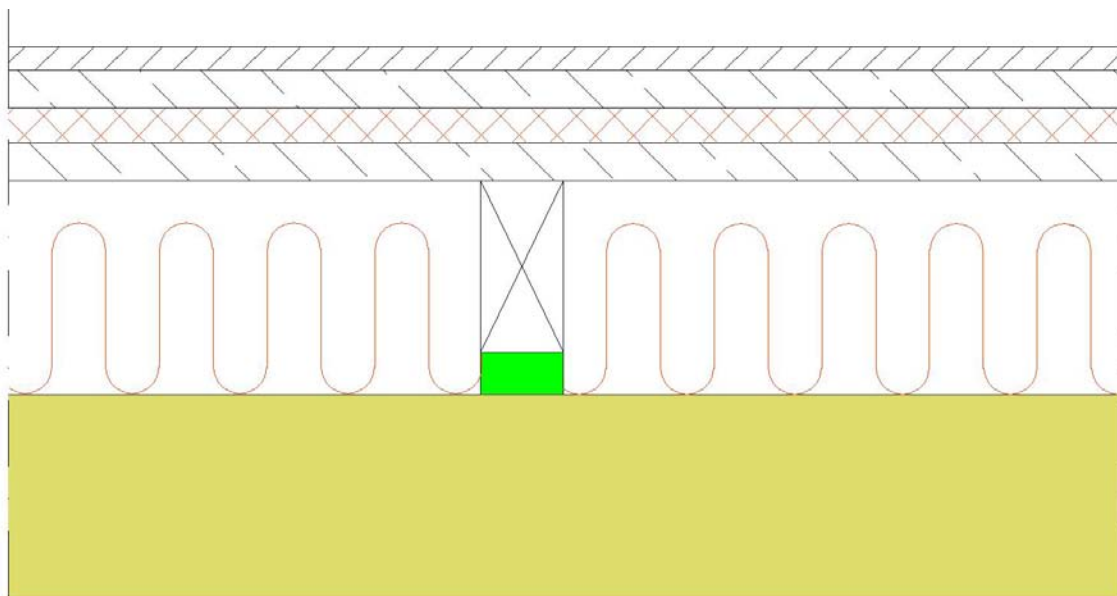
Foto: Jarle Aarstad, Treteknisk.





Tilfarergulv

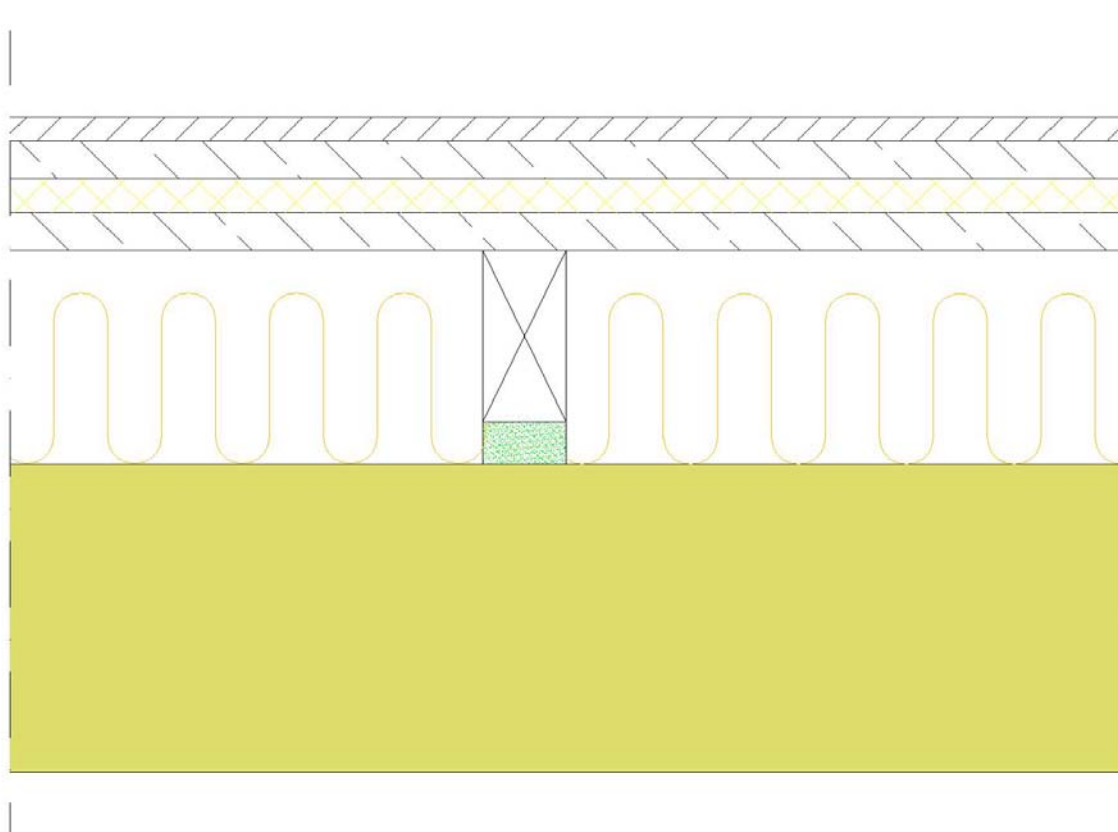
Inne i modul 2 er det bygget et lett tilfarer gulv oppå etasjeskille i massivtre. Figur 4 viser gulvets oppbygging.



- 14 mm Parkett, eik
- 22 mm Gulvsponplate
- 20 mm Trinnlydplate, Rockwool "trinnlydplate med duk"
- 22 mm Gulvsponplate
- 98 mm Tilfarer (48 x 98 mm, hulrom mellom tilfarere er fylt med Glava 36)
- 25 mm Sylodynklosser, grønne (H 25 mm/B 50 mm/L 150 mm)
- 120 mm Massivtreelement

Figur 4. Oppbygging av tilfarergulv.

Dette tilfarergulvet ble valgt fordi man tidligere har målt en nesten identisk gulvkonstruksjon i lydlaboratorium ved SINTEF Byggforsk i Oslo. I dette lydlaboratoriet er det kun selve gulvkonstruksjonen som måles, uten flankebidrag fra laboratorieveggene. Figur 5 viser gulvkonstruksjonens oppbygging.



14 mm Parkett
 22 mm Gulvsponplate
 20 mm Glava trinnlydplate
 22 mm Gulvsponplate (slisset)
 100 mm Glava 36
 25 mm Sylomer, grønn (H 25 mm/B 40 mm/L 450 mm)
 98 mm Tilfarer
 180 mm Massivtreelement

Figur 5. Oppbygging av tilfarergulv i lydlaboratorium.

Laboratoriemålte verdier:

Luftlydisolasjon	Rw	60 dB	C ₅₀₋₅₀₀₀	-1
Trinnlydisolasjon	Ln,w	49 dB	C _{i,50-2500}	3

Forskjellene mellom tilfarergulvet i prøvehuset og tilfarergulvet i lydlaboratoriet er:

- Trinnlydplate i Glava istedenfor Rockwool.
- 22 mm gulvsponplate slisset istedenfor 22 mm gulvsponplate uslisset.
- Etasjeskilleren i prøvehuset er 120 mm mot 180 mm i lydlaboratoriet.

4 Vibrasjonsisolerende materialer

Vibrasjonsisolerende materialer har eksistert i lange tider og brukes til veldig mange formål, alt fra vibrasjonsisolering av jernbanesviller til vibrasjonsisolering av rør i offshoreindustrien. I byggeindustrien derimot, har det ikke vært så vanlig å anvende denne type produkter. Komfortkravene fra beboere og brukere har i de senere årene ført til økt etterspørsel av vibrasjonsisolerte utførelser. Det har også ført til at produsentene utvikler sine produkter mer og mer til også å gjelde byggeindustrien.

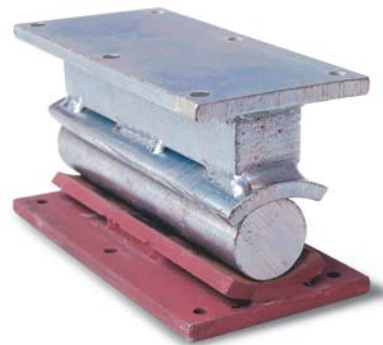


Foto: Setragroup

Mange av produktene som finnes på det norske markedet blir produsert i utlandet. De fleste produsentene har salgskontorer i Norge. Under arbeidet med valg av vibrasjonsisolerende materiale, ble det også utført en studie omkring hvilke produkter/systemer som brukes i andre land. Nedenfor vises et eksempel.

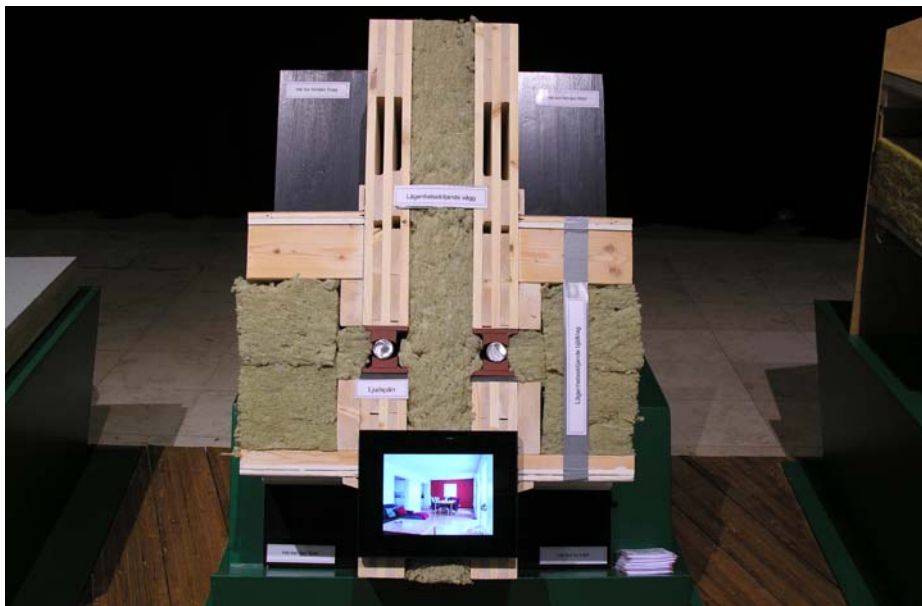


Foto: Setragroup

Både hardpresset ask og rullelager i stål fungerer bra rent lydteknisk. Men denne type opplager vanskeliggjør byggets stabilitet, spesielt over to etasjer! Rent byggeteknisk er rullelagrene i stål tunge. Både stållageret og "trelageret" har begge vist seg å være vanskelige å holde på plass under montasjen.

Ved utvelgelsen av forskjellige vibrasjonsisolerende materialer er det tatt hensyn til følgende:

- Brukervennlighet under montering/bygging
- Produktets levetid
- Produktets referanser
- Produktets tekniske dokumentasjon
- Pris
- Tilgjengelighet og support

Det er kun de vibrasjonsisolerende materialene som er testet i prøvehuset som er beskrevet i denne rapporten.

Produkt 1



Forhandler: Christian Berner as
Hjemmeside: www.cbass.no
Produkt: SYLOMER®
Beskrivelse: SYLOMER® er et celleformet polyuretan som anvendes for vibrasjons- og strukturlydisolasjon når kravene er høye. Materialet er fjærende med relativt høy indre dempning. Produktet har ulike farger avhengig av bruksområde.

Produkt 2



Forhandler: Christian Berner as
Hjemmeside: www.cbass.no
Produkt: SYLODYN®
Beskrivelse: SYLODYN® er et celleformet polyuretan som anvendes for vibrasjons- og strukturlydisolasjon når kravene er svært høye. Materialet er like mykt dynamisk som statisk, og er ofte den beste løsningen for applikasjoner med høye belastninger og krav ved lave resonansfrekvenser. Produktet har ulike farger avhengig av bruksområde.

Produkt 3



Forhandler: Vibratec Norway
Hjemmeside: www.vibratec.no
Produkt: Elastisk element CDM
Beskrivelse: Elastisk element CDM-81060 med mål 40 x 36 x 60 mm. Celleformet gummimateriale.

Produkt 4

Forhandler: Hunton
 Hjemmeside: www.hunton.no
 Produkt: SILENCIO® 36
 Beskrivelse: SILENCIO® 36 er en trinnlydisolerende plate som er laget av trefiber. Den porøse trefiberplaten har høy dynamisk trykkstivhet.
 SINTEF Byggforsk Teknisk Godkjenning nr. 2330.

Produkt 5

Forhandler: Alle!
 Hjemmeside: Ingen
 Produkt: Kryssfinerkloss
 Beskrivelse: Den aller enkleste og rimeligste punktopplagringen er en enkel kryssfinerkloss. Den gir en god lyd-reduksjon sammenlignet med direkte linjeopplagring (dvs. veggen står direkte på etasjeskille).

Produkt 6 Andre produkter

Forhandler: R.J.Rygg
 Hjemmeside: www.rjrygg.no
 Forhandler: Otto Olsen as
 Hjemmeside: www.otto-olsen.no
 Forhandler: Mjøsplast
 Hjemmeside: www.mjosplast.no

Gummikvaliteter

Elastiske opplager kan også bestå av gummi. Når man skal velge gummikvalitet er det viktig å vite hva profilen kommer i kontakt med i form av andre materialer. Skal listen bare tåle vær og vind, er EPDM den riktige kvaliteten. Skal listen tåle en del kjemikalier, bør man benytte neoprenkvalitet (CR). Mot olje og bensin benytter

man nitrilkvalitet (NBR). Det finnes også en brannhemmende kvalitet som er mye brukt i offshoresammenheng.

Når det gjelder hardhet, benytter man en skala som måler hardheten i shore A (shA). Skalaen går fra 1-100. Som en sammenligning har sommerdekk på biler f.eks. ca. 60 shA.

Svampgummi er en gummitype som inneholder luftceller (også kalt cellegummi). Svampgummi må skilles fra skumgummi som har åpne luftceller og som ikke er vanntett. Svampgummi kan også fås med hud utenpå (ekstrudert type). Denne type vil være mer robust mot rifter og andre ytre påkjenninger. Svampgummi har en hardhet på mellom 13 shA og 20 shA (avhenger av om den har hud eller ikke).

Polyuretan

Polyuretan er en fellesbetegnelse for en gruppe av plastmaterialer som kjenne- tegnes ved å inneholde uretanbindinger eller derav avledede bindinger. PUR lar seg lett støpe til produkter i egnede formverktøy, og kan lett varieres og tilpasses produktets krav. Materialet er enkelt å bearbeide, metallisere og lakkere. Polyuretan er et flerkomponent flytende plastmateriale som i sluttfasen består av polyol og isosyanat (MDI). Materialet er en herdeplast og kan ikke smeltes etter form- givning. På grunn av nettverkstrukturen i materialet, kan det oppnås meget harde, stive og sterke produkter. Samt at det lett lar seg armere med fiber og metaller.

Cellestrukturen hos polyuretan kan lett varieres ved å kombinere mengde og sammensetning av tilsetningsstoffene. Denne muligheten er spesiell for polyuretan, og gir materialet mulighet til å kunne varieres innen svært vide grenser, og kan således tett tilpasses de forskjellige produkters behov mht. styrke, stabilitet, vekt, isolasjon og design. Fremstilling av produkter med høy kvalitet i polyuretan krever eksakt dosering og effektiv miksing av basisråstoffene. Etter blanding skjer en hurtig kjemisk reaksjon som danner en sterkt fortettet, tredimensjonal molekyl- struktur.

Materialet har følgende karakteristika

Meget stor designfrihet

Gode akustiske egenskaper, gunstig vekt/styrkeforhold

Materialet kan ikke smelte

Motstandsdyktig mot de fleste kjemikalier, korroderer ikke

Gir varierende godstykkelse uten synkemerker

Dobbelt krommede flater

“Sandwich-strukturen” gjør at produktene blir både lette og sterke

Enkle modeller til formfremstilling

Innstøping av forsterkninger, gjengeinnsatser o.l.

God korrosjonsmotstand og gode egenskaper mot utmatting

Dimensjonsstabilt og god isolasjonsevne

5 Måleresultater og diskusjon

I denne rapporten presenteres hovedresultatene fra målingene. Målebilagene for alle målingene for de ulike produktene, beskrivelse av målemetoder og utstyr finnes i rapport "Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus" – Lydisolasjonsmåling i massivtre prøvhus av Jan Arne Austnes, Sweco Norge.

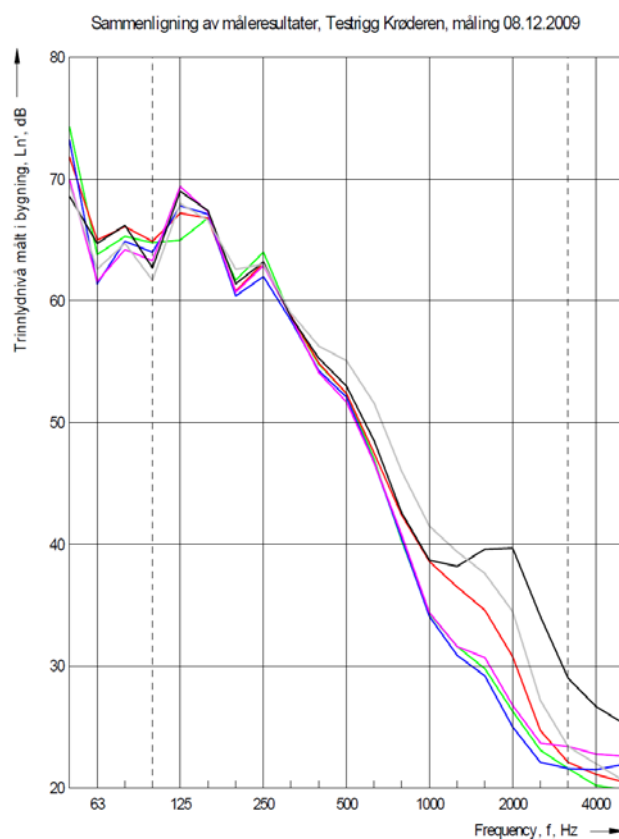
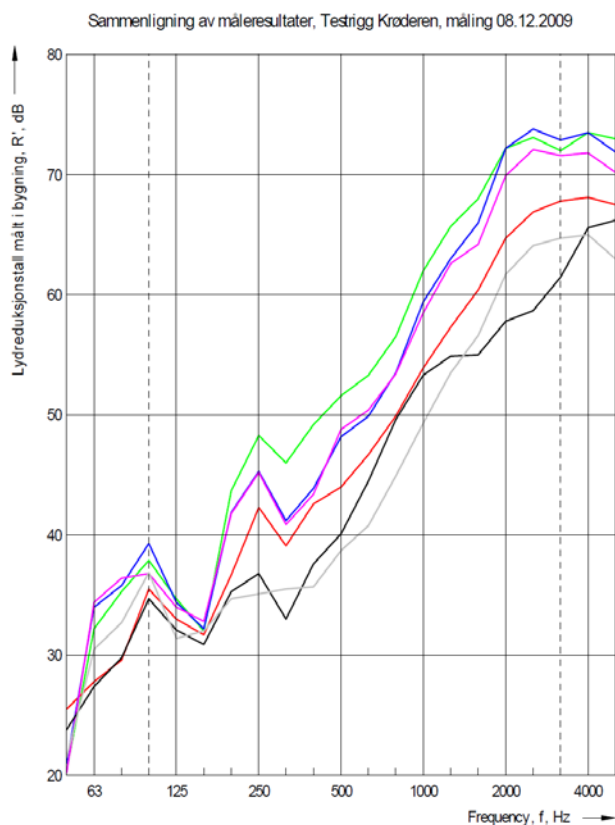
Figur 6 viser luftlydisolasjon og trinnlydnivå for ulike produkter målt fra modul 2 til modul 1.

Luftlydisolasjon

	53: Sylodyn 25mm kloss c/c 1200 m/tetting - R _w = 55 dB
	75: Kryssf-kloss 15mm c/c 1200 m/tetting - R _w = 49 dB
	93: CDM 57mm kloss c/c 600 m/tetting - R _w = 52 dB
	120: CDM 57mm kloss c/c 1200 m/tetting - R _w = 52 dB
	131: Silencio 36mm remse - R _w = 46 dB
	149: Direkte lagring - R _w = 45 dB

Trinnlydnivå

	36: Sylodyn ND 25mm kloss c/c 1200 u/tett TL - L _{n,w} = 57 dB
	82: Kryssf-kloss 15mm c/c 1200 m/tetting - L _{n,w} = 57 dB
	101: CDM81060 57mm kloss c/c 600 m/tetting - L _{n,w} = 56 dB
	108: CDM81060 57mm kloss c/c 1200 m/tetting - L _{n,w} = 57 dB
	138: Silencio 36mm remse - L _{n,w} = 57 dB
	161: Direkte lagring - L _{n,w} = 57 dB



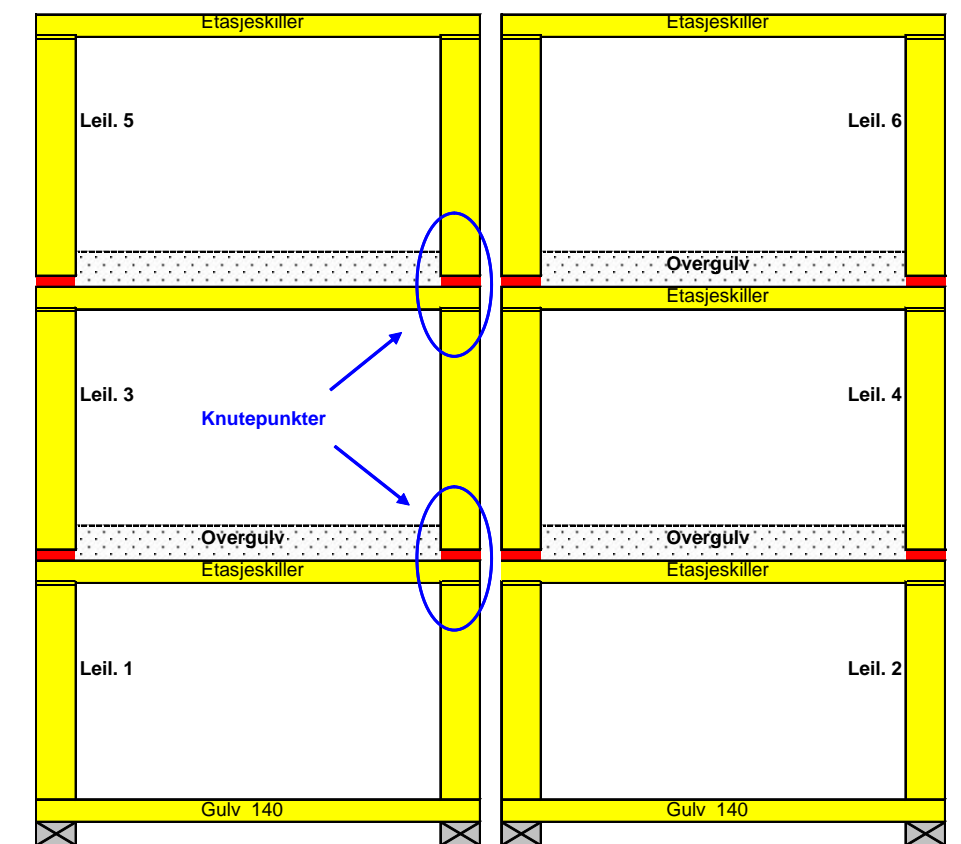
Figur 6. Luftlydisolasjon og trinnlydnivå for ulike produkter.

Trinnlydnivå

Ved sammenligning av trinnlydnivåene for de ulike produktene, varierer veid målestørrelse med kun 1 dB. Det er altså ingen forandring om veggen i modul 2 står linjelagret rett på dekket, uten noe form for spesielt opplager, dvs. måling 161 (direkte lagring), eller om veggene i modul 2 står på antatt mest effektive elastiske opplager. Men, dette er ikke underlig, det var nettopp dette resultatet man ønsket å oppnå (se Figur 3 og Figur 4). Figur 3 viser at vertikal lydoverføring (trinnlydnivå) er ivaretatt. Med resultatene fra målingene i prøvehuset for trinnlydnivå viser man nettopp dette, ved at lyd og vibrasjoner som overføres fra etasjeskille (det oppforede tilfarergulvet) til tilstøtende bærende bygningsdeler (vegger) er minimale. Dermed er vibrasjoner og flankeoverføring i denne retning ivaretatt.

Luftlydisolasjon

For luftlydisolasjon er det store variasjoner i måleresultatene. Det er målt 10 dB forskjell i veid målestørrelse fra måling 149, direkte lagring, dvs. at veggen i modul 2 står direkte på dekket uten noen form for spesielt opplager, til måling 53 med elastisk opplager, dvs. at veggene i modul 2 står på elastiske SYLOMER®-klosser. I lydsammenheng er en forskjell på 10 dB mye! Det betyr at det overføres mye "lyd" via knutepunkter, med andre ord, betydelig flanketransmisjon via tilstøtende bærende bygningsdeler (gjerne ytter- og/eller innervegger).



Figur 7. Lydoverføring via knutepunkter.

Tabell 5 viser rangeringen av ulike produkter som er testet i prøvehuset.

Tabell 5. Ulike produkter testet i prøvehuset.

Opplager	Luftlydisolasjon dB	Redusert lydoverføring via knutepunkt
Ikke-elastiske opplegg		
Direkte lagring	45	(mye "lyd" overføres via knutepunktet)
Striper av Silencio tykkelse 36 mm	46	
Kryssfinerklosser tykkelse 18 mm	49	(mindre "lyd" overføres via knutepunktet)
Elastiske opplegg		
Generelle gummiprodukter (Neopren, etc.)	50-52	
CDM-klosser tykkelse 18 mm	52	
SYLODYN®-klosser tykkelse 25 mm	55	(lite "lyd" overføres via knutepunktet)

Forsøkene viser store forskjeller mellom produktene og deres innvirkning på lydoverføring via knutepunkter (flanketransmisjon). Av tabellen fremgår det også at utformingen av selve opplageret, enten som striper eller klosser, har innvirkning på måleresultatene. Den opplagerforbindelsen som gir mest flankeoverføring er (ikke overraskende) direkte opplagring, dvs. veggen står direkte ned på dekket. Den opplagerforbindelsen som gir minst flankeoverføring (overfører minst lyd gjennom knutepunktet) er elastisk opplager av SYLODYN®-klosser.

Resultatene viser at det er meget viktig for de prosjekterende å ha et bevisst forhold til valg av konstruksjonssystem og valg av opplagerforbindelse for å ivareta hensynet til flanketransmisjonen så tidlig som mulig i prosjekteringsfasen.

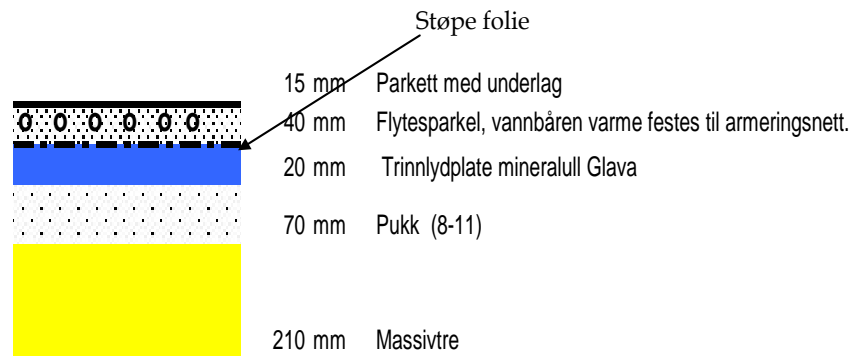
Masseforhold mellom etasjeskiller og vegg

Ved tidligere lydforsøk av etasjeskiller i massivtre i laboratorium ved SINTEF Byggforsk i Oslo, har det vært testet ut overgulvkonstruksjoner oppbygget med pukk (fraksjon 8-11, smågrus). Måleresultatene fra pukkløsningene tilfredsstillende kravene i NS 8175, "Lydforhold i bygninger" med god margin.

Erfaringer fra disse målingene og feltmålinger fra tidligere prosjekter, som for eksempel Svartlamoen i Trondheim (Strandveien 37), medførte at det underveis i prosjektet ble stilt spørsmål omkring hvilken innvirkning vekten av etasjeskilleren har på knutepunktsdempningen. Samme spørsmål ble stilt omkring ytterveggene. Hvilken innvirkning har vekten og innfestningen av isolasjonen til ytterveggene på knutepunktsdempningen. *Med andre ord, kan masseforholdet mellom etasjeskille og vegg også ha vesentlig betydning for lydoverføring via knutepunktet?*

Underveis i dette prosjektet har det kommet mange henvendelser fra arkitekter og prosjekterende om hvordan man løser lydforholdene i fleretasjes trehus. Mange av disse prosjektene har nytt godt av resultatene fra prøvehuset underveis, se for

øvrig Kapittel 7.5. Ett av disse prosjektene var Røa Miljøboliger. Her var det krav til meget lav byggehøyde for overgulvet. Det ble derfor valgt å benytte en løsning basert på pukk og armert flytsparkel, se Figur 8.



Figur 8. Oppbygging av overgulv ved Røa Miljøboliger.

Ved ferdigstillelse av dette byggeprosjektet fikk prosjektet lov til å utføre lydmålinger i Røa Miljøboliger. Resultatene er presentert i egen målerapport "Nordengveien 1, Røa, Oslo – Lydisolasjonsmåling i massivtrebygg" av Jan Arne Austnes, Sweco, mars 2010, se for øvrig Kapittel 6.

Målingene som ble utført ga en meget viktig erfaring i forbindelse med spørsmålet omkring hvilken innvirkning masseforholdet mellom etasjeskille og bærende yttervegger har på knutepunktsdempningen.

Tabell 6 viser masseforholdet mellom etasjeskille og vegg, type opplager og tilhørende måleverdier for noen prosjekter. Tallene må leses med en margin på $\pm 5\%$.

Tabell 6. Masseforhold mellom etasjeskille og vegg, type opplager og tilhørende måleverdier for noen prosjekter.

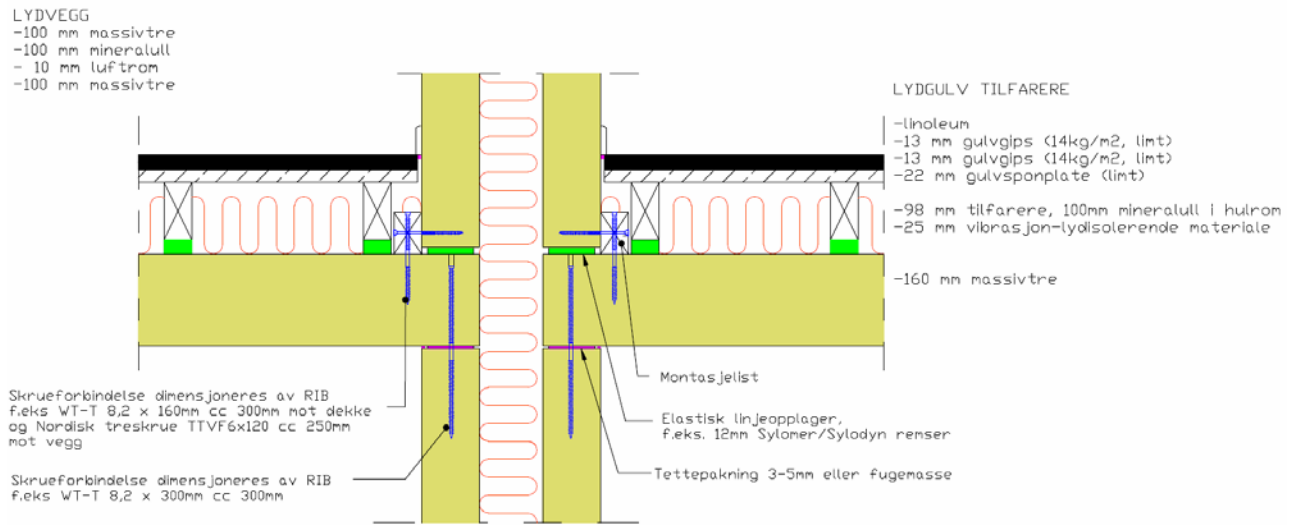
Prosjekt	Etasjeskille Kg/m ²	Yttervegg Kg/m ²	Forhold E/Y	Opplager	R _w dB	L _{n,w} dB
Røa Miljøboliger	256	85	3,01	finerklosser	58	51
Svartlamoen	133	79	1,68	direkte	55	53
Prøvehuset	99	45	2,2	direkte	45	57

Det man foreløpig kan antyde ut ifra dette (riktignok beskjedent materiale), er at høyere masseforhold mellom etasjeskiller og bærende yttervegg medvirker til økt knutepunktsdempning og derav mindre lydoverføring gjennom knutepunktet.

Fra dette avstedkommer det nå to hovedprinsipper for løsning av reduksjon av flanketransmisjon gjennom knutepunkter i fleretasjes trehus, anvendt for eksempel til boligformål.

Løsning 1

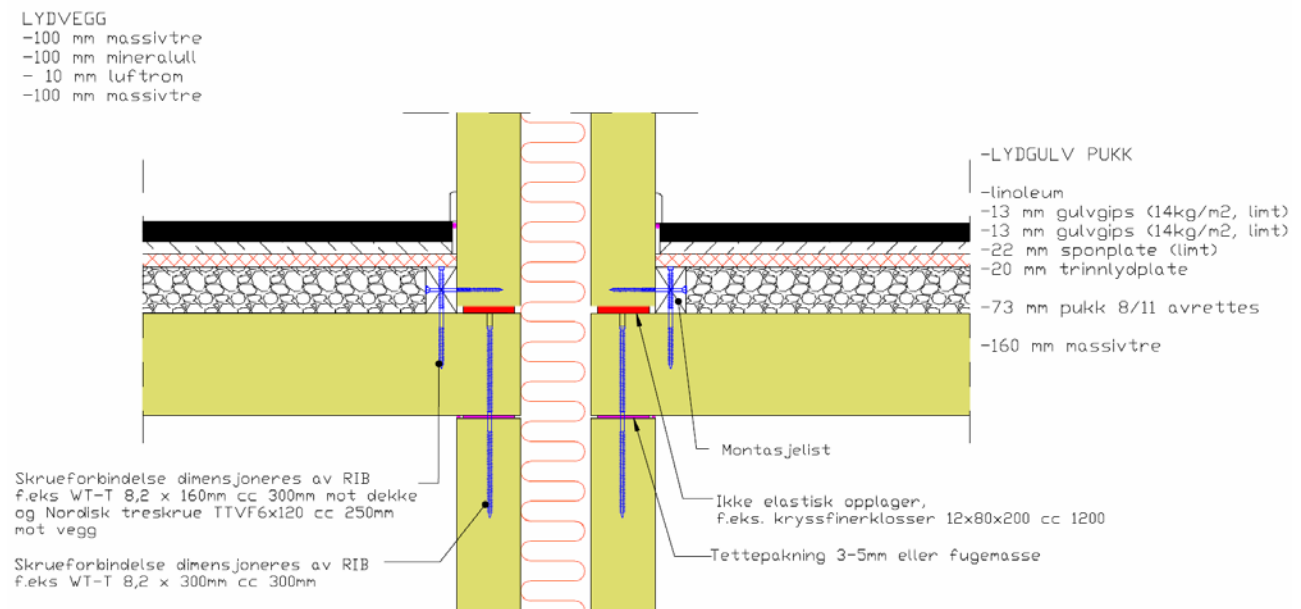
Lett elastisk tilfarergulv med elastisk opplager i knutepunkt.



Figur 9. Lett elastisk tilfarergulv med elastisk opplager i knutepunkt.

Løsning 2

Tung overgulvkonstruksjon og ikke-elastiske opplager i knutepunkt. Ved denne løsningen vil energien (forårsaket av lydbølgene) fra veggene være for liten til å sette etasjeskilleren med tungt overgulv i svingninger, og dermed vil energien fra veggene stråle tilbake.



Figur 10. Tung overgulvkonstruksjon og ikke-elastiske opplager i knutepunkt.

6 Tilhørende målerapporter

I dette prosjektet ble det mest hensiktsmessig å fordele målebilag fra gjennomførte lydmålinger, beskrivelse av anvendt målingsutstyr, m.m. i egne målerapporter. Denne rapporten, som er "hovedrapporten" fra prosjektet, gjengir og anvender resultatene fra målerapportene, samtidig som den også beskriver andre aktiviteter knyttet til prosjektet, eller aktiviteter som har "sprunget ut" fra prosjektet.

Tabell 7 viser hvilke målerapporter som inngår i prosjektet.

Tabell 7. Målerapporter i prosjektet.

Publikasjon / rapport	Tittel, forfatter
Målerapport	Jan Arne Austnes, Sweco, mars 2010 <i>Målerapport fra forskningsprosjektet: "Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus" – Lydisolasjonsmåling i massivtre prøvohus</i>
Målerapport	Jan Arne Austnes, Sweco, mars 2010 <i>Nordengveien 1, Røa Oslo – Lydisolasjonsmåling i massivtrebygg</i>
Laboratorierapport	Sigurd Hveem, SINTEF Byggforsk, mars 2010 <i>Lydmåling i laboratorium av enkle og doble vegger av 100 mm massivtre</i>

Innholdet i rapportene er kort gjengitt nedenfor.

6.1 Nordengveien 1, Røa, Oslo

Bakgrunnen for lydmålingene i Nordengveien 1 var å tilegne seg erfaringer fra et relativt tungt etasjeskille og dens innvirkning på knutepunktdempningen. Etasjeskillet er opplagt på 21 mm kryssfinerklosser som tiltak mot flanketransmisjon via etasjeskille og yttervegg.



Etasjeskilletts oppbygging:
 15 mm parkett på filt
 40 mm armert flytsparkel m/v.b.rør
 20 mm Glava trinnlydplate
 70 mm puk (8-11 mm)
 210 mm krysslimt massivtre

Foto: Sigurd Eide, Treteknisk.

Resultater fra målingene

Luftlydisolasjon	vertikalt R_w	58 dB	> 55 dB Grenseverdi
Trinnlydnivå	vertikalt $L_{n,w}$	51 dB	< 53 dB Grenseverdi

“Tung” etasjeskiller bidrar til økt knutepunktsdempning og er gunstig for reduksjon av flanketransmisjon.

6.2 Målerapport fra forskningsprosjektet

Målerapporten inneholder målebilag for alle målingene som er utført på ulike vibrasjonsisolerende materialer, beskrivelse av anvendt måleutstyr, m.m. for prøvehuset. Hovedresultatene fra målerapporten er presentert i denne rapporten i Kapittel 5.

6.3 Lydisolasjonsmålinger i laboratorium

Hensikten med lydmålingene hos SINTEF Byggforsk var å utføre en enkel kvalitetssikring av antatte lydisolasjonsverdier mellom doble vegger i massivtre.

SINTEF Byggforsk har foretatt måling av lydreduksjonstall av enkle og doble vegger av 100 mm massivtre. Målingene har også vært utført med ulik avstand mellom veggskallene og med ulike grader av fyllinger av mineralull i hulrommet. En av variantene er innblåst mineralull med romvekt 80 kg/m³. Det viste seg at den innblåste mineralullen ga en betydelig svekkelse av lydreduksjonstallet, noe som var litt overraskende. Forklaringen på dette er at ved innblåst mineralull blir mineralullen pakket/ komprimert, slik at isolasjonen kan overføre skjærspenninger fra det ene veggskallet til det andre. Derav får man en form for kortslutning mellom de to elementene, som på fagspråket kalles lydbro.

7 Aktiviteter omkring prøvehuset

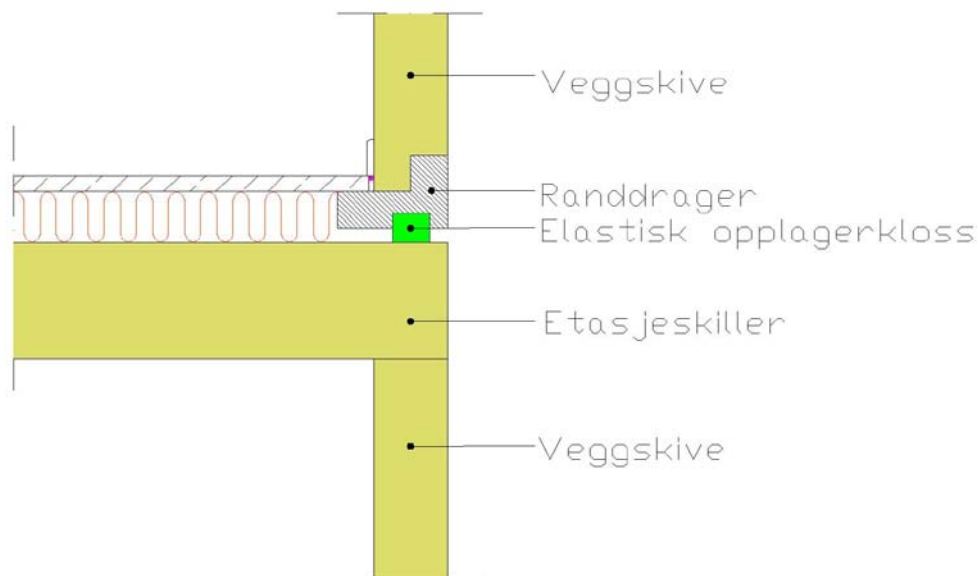
I tillegg til å ha utført sin funksjon som prøvehus for lydmålinger, har det også tilkommet aktiviteter knyttet til prøvehuset som ikke var påtenkt ved prosjektstart. Aktivitetene er initiert på egne initiativ, og viser en tydelig interesse for lyd og fleretasjes trehus hos studenter, utbyggere og forskningsinstitusjoner. Noen av aktivitetene er nevnt nedenfor.

Moelven MassivTre

Forsøkshuset er lokalisert på Krøderen ved produksjonslokalene til Moelven MassivTre (www.moelvenmassivtre.no), se for øvrig Kapittel 3. Mange utbyggere, studenter og arkitekter som har vært på besøk hos Moelven MassivTre for å se på deres produksjon av massivtreelementer, har også besøkt prøvehuset og fått en god innføring omkring lyd i trehus og bygging med massivtreelementer.

7.1 Utvikling av randdrager

Resultatene fra målingene viser at elastiske opplagre har best effekt på reduksjon av lydoverføring gjennom knutepunktet (liten flanketransmisjon). Elastiske opplagre skal helst ikke perforeres med for mange skruer, etc., slik at forbindelsen blir mindre og mindre elastisk. På en annen side er skruer helt nødvendig for sammenføyning av vegger til dekker. Antall stive forbindere, som f.eks. skruer, øker selvfølgelig med antall etasjer og størrelsen på bygningen. Å kunne utvikle noe som gjør montasjen omkring elastiske opplagre mer stabil og håndverksmessig lettere, vil være en stor fordel. Litt på sidelinjen ble det foreslått flere alternativer, men bare ett slapp gjennom "nåløyet"!



Figur 11. Snitt av en elastisk opplagret randdrager.
Kilde: Jan Arne Austnes, Sweco Norge AS.

Figur 11 viser et snitt av en elastisk opplagret randdrager som kan stabilitetsforankres/-sperres horisontalt i hjørner/sider og kun yte vertikal stoppvirkning.

Denne drageren vil gi en effektiv monteringslinje med kantstøtte/forankring for veggskivene. Den kan være plassbygget eller formet i limtre med utfrest spor for de elastisk isolerende og tettende materialene (f.eks. Sylomer/CDM/Neopren/vibrachoch, etc.) og virke som stopper for maksimaldeformasjoner. Videre kan denne drageren utgjøre fast kantopplegg for det flytende gulvet (installasjonsgulvet), slik at relativ bevegelse mellom vegg og gulv er hindret. Ettersom en slik kantdrager løser mange praktiske problemer ved montasje og i bruk, ville dette kunne bli en lønnsom investering! Den vil også bidra til større (viskøs) randdempning og øke koblingstapet i knutepunktet ved å "lukke" rommodulen – dette bidrar i sum til ytterligere forbedring av flankeisolasjonen! Randdrageren må tilpasses høyden av installasjonsgulvet som kan variere mye – minimumshøyden anses å være ca. 150 mm.

7.2 Hovedoppgave

Erik Kongsgård Berg og Preben Christian Anker var studenter ved Høgskolen i Oslo, avdeling bygglinjen, våren 2009. De valgte å skrive sin avslutningsoppgave (hovedoppgave/hovedprosjekt) omkring lyd i massivtrehus og fikk lov til å utføre enkle målinger på prøvehuset. Sitatet nedenfor er hentet fra oppgavens diskusjon.

“Det skal nevnes at vi før vi fikk satt oss ordentlig inn i hva oppgaven med å gjennomføre feltmålinger av lydisolasjon innebar, var noe skuffet over å ikke ha kommet opp med en oppgave der vi fikk sett mer på selve massivtreelementene.

Men dess mer vi leste om problemstillinger i forhold lyd i bygg og spesielt bygg av massivtre, og dess mer vi fikk sett på omfanget av slike lydmålinger, jo mer begynte vi å like oppgaven. Først og fremst var det viktig for oss å kunne bidra med noe som Moelven Massivtre også kunne dra nytte av. Det foreligger forholdsvis lite erfaringsdata hva gjelder lydisolasjon i massivtrehus i forhold til for eksempel dimensjoneringsgrunnlag for statiske laster, etc. Vi synes det har vært utrolig moro å få gjennomføre eksperimenter og lydmålinger på et slikt testbygg, og skulle gjerne hatt mer tid og ressurser til å forske videre på den ultimate lydisolerende løsningen.

Samtidig synes vi det har vært moro å lære om et nytt fagfelt. Vi innser at vi på langt nær er utlærte innenfor akustikk og fagfeltet lyd i bygg, men har i det minste fått en god introduksjon i faget, og kunne godt tenke oss å jobbe videre innenfor dette fagfeltet. Lyd i bygg er en viktig del av innemiljøet, noe vi etter å ha bodd i bygård i flere år, begge har fått erfare på kroppen.

Kort oppsummert må vi si å være meget fornøyd med læringsutbyttet vi har hatt med denne oppgaven. Vi har kanskje ikke kommet opp med noe revolusjonerende, men har i det minste bidratt med mer erfaringsdata om lydisolasjon i massivtrebygg”.

7.3 Paper



I forbindelse med deltakelse i BNAM, (Baltic-Nordic Acoustics Meeting) har Anders Homb, SINTEF Byggforsk og Jan Arne Austnes, Sweco, tatt initiativet til å skrive et paper som blant annet inneholder resultater fra dette prosjektet. BNAM har vært arrangert annethvert år siden 1952 og samler flere hundre deltakere. Kort oppsummering fra paperet er gjengitt nedenfor.

Oppsummering

Resultatene som presenteres i paperet "Experiences with sound insulation for cross-laminated timber floors" viser mange forskjellige målinger utført på ulike måleobjekter. Måleobjektene er fra forsøkshuset på Krøderen og fleretasjes trehus i Trondheim og Stavanger. Måleobjektene har forskjellige typer overgulv, men felles for alle er at de har synlig massivtre i himling og vegger i rommet under. Lydisolasjonsverdiene varierer veldig mye mellom de forskjellige måleobjektene. Resultatene viser også at tiltak for flanketransmisjon kan redusere luftlydisolasjonen med nærmere 15 dB, noe som gjør det fortsatt nødvendig å utvikle løsninger for vibrasjonsdempning i knutepunkter.

De løsningene som her presenteres, viser en "state of the art" for utprøvde løsninger, som kan anbefales for lydisolering i fleretasjes trehus.

7.4 Byggdetaljblad

Byggdetaljbladet "522.891 Etasjeskillere i massivtre" ble utgitt i november 2009 og inngår i Byggforskserien til SINTEF Byggforsk.

Hensikten med Byggforskserien er å tilrettelegge erfaring og resultater fra praksis og forskning på en slik måte at de hurtig kan komme til nytte. Anvisninger, løsninger og anbefalinger skal lette arbeidet og fremme god kvalitet ved prosjektering, bygging og forvaltning av bygninger. Byggforskseriens anvisninger tilfredsstiller funksjonskravene i Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (TEK).

Resultater fra prøvehuset har hatt innvirkning på både innhold og løsninger i byggdetaljbladet. Å kunne formidle en del av resultatene fra prosjektet gjennom et byggdetaljblad har prosjektet sett på som en meget viktig del av resultatformidlingen. Generelt er byggdetaljbladene viktige dokumenter for prosjekterende i byggebransjen, og også med tanke på dokumentasjon omkring fleretasjes trehus spesielt.

7.5 Pilotprosjekter

Forskningsprosjektet og prøvehuset har vært omtalt på mange seminarer, konferanser og workshops, se for øvrig Kapittel 8. Dette har ført til konkrete henvendelser fra konkrete byggeprosjekter som er og har vært under prosjektering. Henvendelsene har kommet fra arkitekter, prosjekterende, utbyggere og entreprenører. Prosjektet har valgt å videreformidle foreløpige resultater fra prosjektet og sett på dette som en del av resultatformidlingen. Selv om prosjektet ikke hadde en formell rapport å henvise til, er resultatene etter hvert som de er kommet, formidlet gjennom notater og møter. Det har selvfølgelig vært full åpenhet mellom giver og mottaker av resultatene omkring resultatenes foreløpige tilstand. Nedenfor er det valgt ut noen prosjekter som har mottatt resultater og informasjon underveis i prosjektet.

Egenes park, Stavanger



Foto: Helene Amundsen, Treindustrien

Arkitekt	HLM plan & arkitektur as
Konsulent	Multiconsult, Bergen
Utbygger	Svein Aase
Entreprenør	Byggmester Tore Ravndal AS
Beskrivelse	Europas største massivtrebygg målt i volum massivtre. Totalt 56 leiligheter over fem etasjer. Parkeringsanlegg i kjeller. Barnehage og rekkehus i forkant av fleretasjeshuset er også i massivtre.

Skadebergbakken, Stavanger

Foto: Helen & Hard arkitekter

Arkitekt	Helen & Hard arkitekter
Konsulent	A.L.Høyer, Oslo
Utbygger	Skadeberg eiendom
Entreprenør	Hemsedal Trevare as
Beskrivelse	Boligområde i nærheten av Sola flyplass. Området består av flere fleretasjes trehus, barnehager og rekkehus i tre og massivtre.

Røa Miljøboliger, Oslo

Foto: Sigurd Eide, Treteknisk

Arkitekt	Gaia Oslo v/Fredrica Miller
Konsulent	Ingeniør Rolv Selvaag
Utbygger	Marianne Rudolph Lund
Entreprenør	Tømrer Thomas
Beskrivelse	Leilighetsbygg på Røa i Oslo, fire etasjer. Massivtre i vegger, dekker og tak.

Nina-bygget, Trondheim

Foto: Pir II arkitekter

Arkitekt	Pir II arkitekter
Konsulent	Rambøll Norge, Trondheim
Utbygger	NINA (Norsk institutt for naturforskning)
Beskrivelse	Næringsbygg på Gløshaugen i Trondheim. Rambøll Norge utreder to alternativer, ett trebygg og ett stål- og betongbygg. Bygget er under prosjektering.

8 Resultatformidling

Denne rapporten beskriver resultater og aktiviteter i prosjektet og er prosjektets hovedrapport. I tillegg leverer prosjektet følgende rapporter/publikasjoner: (Alle rapportene vil være tilgjengelige på www.treteknisk.no).

Tabell 8. Rapporter/publikasjoner i prosjektet.

Publikasjon / rapport	Tittel, forfatter
Målerapport	Jan Arne Austnes, Sweco, mars 2010 <i>Målerapport fra forskningsprosjektet: "Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus" – Lydisolasjonsmåling i massivtre prøvehus</i>
Målerapport	Jan Arne Austnes, Sweco, mars 2010 <i>Nordengveien 1, Røa, Oslo – Lydisolasjonsmåling i massivtrebygg</i>
Laboratorierapport	Sigurd Hveem, SINTEF Byggforsk, mars 2010 <i>Lydmåling i laboratorium av enkle og doble vegger av 100 mm massivtre</i>
Vitenskapelig konferanse publikasjon	Anders Homb, SINTEF Byggforsk, Jan Arne Austnes, Sweco, 2010 <i>Experiences with sound insulation for cross-laminated timber floors</i> BNAM (Baltic-Nordic Acoustics Meeting) Bergen, Norway, May 10-12, 2010
Hovedprosjekt Høgskolen i Oslo Avdeling for ingeniørutdanning	Erik Kongsgård Berg og Preben Christian Anker (Høgskolen i Oslo, studenter ved byggavdelingen, 3 BK) <i>Lydisolasjon gjennom massivtredekke</i>

Omtale

Prosjektet "Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus" er omtalt i en rekke sammenhenger. Først og fremst gjennom foredraget "Lyd i fleretasjes trehus" som har vært en del av et treseminar for rådgivere. Treseminaret er avholdt hos en rekke rådgiverselskaper i Norge og er i regi av Tresenteret i Trondheim. Nedenfor følger en liste over besøkte rådgiverselskaper.

2007

14.02 Multiconsult AS, Oslo
17.10 COWI AS, Oslo
07.11 Rambøll, Oslo
21.11 Norconsult AS, Sandvika

2008

29.01 Tremodulen – Kurs i moderne trebygg
(samarbeid med Norges Byggskole)
26.02 Myklebust AS, Trondheim
03.03 Regionsseminar Innlandet, Hamar
16.06 Rambøll Norge AS, Trondheim
02.09 Opticonsult/SWECO, Bergen
16.09 Region Buskerud/Vestfold, Viken skog
17.10 Reinertsen, Trondheim

Hei
Takk for at dere kom. Folk var veldig fornøyde.



Med vennlig hilsen
Tom Husebye
Dr.techn.Olav Olsen a.s

2009

01.04 Dr. techn. Olav Olsen, Lysaker

29.04 Kristiansand

23.11 Alta

Andre seminarer

8. februar 2010

Eco Box (www.ecobox.no), fagseminar "Massiv-Passiv" i Oslo.

Avslutningsseminar

Det planlegges for tiden et avslutningsseminar for prosjektet, arrangert i regi av Forum for trekonstruksjoner.

Forum for trekonstruksjoner er en selvstendig, ideell, faglig organisasjon.

FFT har som formål:

- å arbeide for utvikling av trekonstruksjonsteknikk, og for bruk av tre som konstruksjonsmateriale,
- å fremme utveksling av fagkunnskaper, forskningsresultater og erfaring.

Formålet fremmes primært gjennom arrangementer, konferanser, seminarer, studieturer, samt skrifter og initiering av forskning. For tiden har FFT ca. 130 medlemmer som omfatter rådgivende ingeniører, arkitekter og representanter fra trebransjens bedrifter.

Web

Rapporter, publikasjoner fra prosjektet og tegninger, illustrasjoner for knutepunktløsninger er tilgjengelig på www.treteknisk.no.

Weblog for massivtre, se <http://norskmassivtre.wordpress.com/>.

9 Hva nå?

En av de store utfordringene til fleretasjes trehus har til nå vært å skape gode lydforhold og samtidig kunne ivareta rasjonelle detaljer og konstruksjonsprinsipper. Gjennom dette prosjektet har man langt på vei lyktes i arbeidet med å skape gode lydforhold og samtidig kommet frem til gode løsninger som er anvendbare i de fleste bygningskonstruksjoner.

Endringer i bygningskrav fra myndighetene og krav til miljøeffektive og rasjonelle konstruksjonssystemer medfører at byggebransjen hele tiden er under utvikling.

For å kunne åpne opp for flere nye løsninger og bedre dokumentasjon vil det også i fremtiden være behov for supplerende målinger både i prøvehus og i ferdige bygninger. Sist, men ikke minst, vil videre forskning og utvikling omkring anbefalte løsninger for lydisolasjon være viktig.

Prosjektet har mot slutten viet litt oppmerksomhet rundt dette temaet og foreslår følgende satsningsområder:

- Bestemmelse av overføringsparametere
- Masseforhold mellom etasjeskiller og vegg
- Lydmålinger i eksisterende og fremtidige fleretasjes trehus
- Anvisninger og dokumentasjonsarbeid

Bestemmelse av overføringsparametere

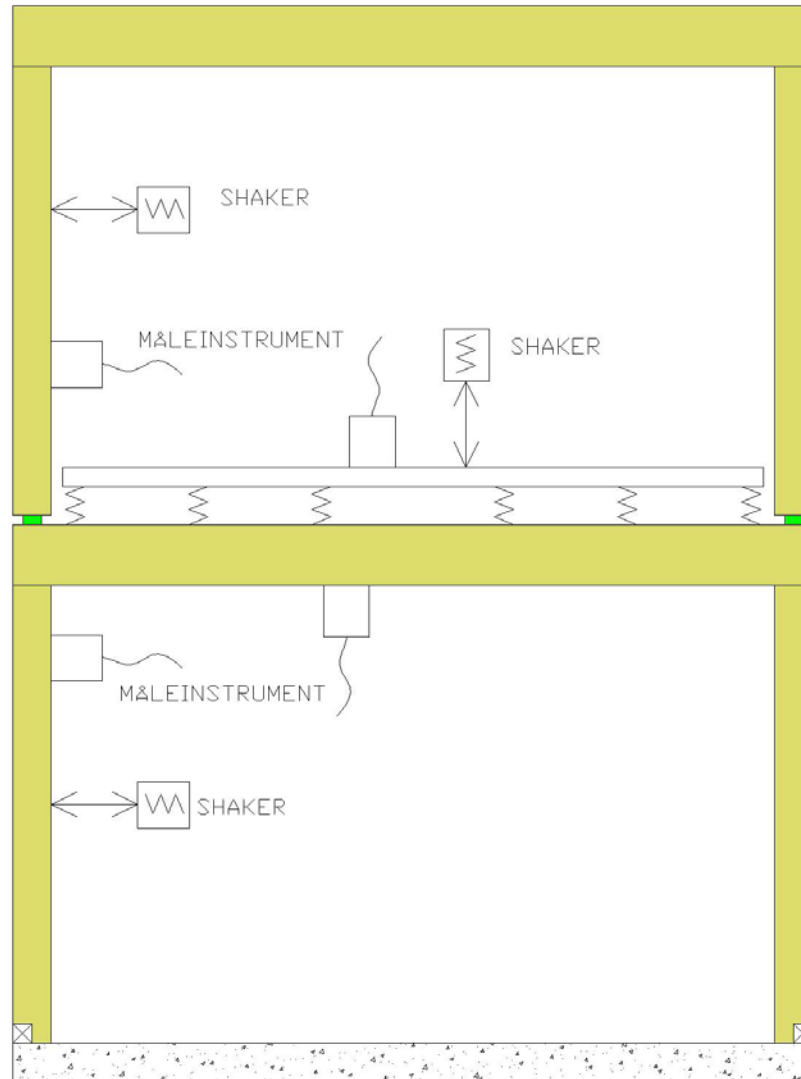
Innenfor fagområdet lyd, er det ønskelig å kunne få mer erfaring omkring enkelte basisegenskaper, slik at man kan tallfeste ulike overføringsparametere som inngår i beregningsmodeller for lydisolering. Eksempler på beregningsmodeller finnes for eksempel i EN 12354- 1/2, eller i dataprogrammer som "BASTIAN".

Dersom man lykkes med å tallfeste parameterne vil man kunne anvende parameterne i standardiserte beregningsmodeller og dataprogrammer og kunne beregne lydisoleringen ved hjelp av dette. Dette vil være til stor hjelp, og i stor grad forenkle arbeidet med dokumentasjon omkring lydisolasjon i fleretasjes trehus. Med andre ord, lykkes man med dette har man fremskaffet et "verktøy" som gjør at terskelen blir betraktelige lavere for å dokumentere lydisolasjonsegenskapene i fleretasjes trehus.

For å anvende beregningsmodellene må man vite mer om følgende overføringsparametere:

- Hastighetsdifferanser, vegg/vegg, vegg/himling, gulv/vegg
- Strukturell etterklangstid, alle flater
- Luft- og trinnlydisolasjon

Overføringsparameterne kan for eksempel måles i prøvehuset på Krøderen ved hjelp av et "rystebord". Et "rystebord" kan monteres på en av veggene. Rystebordet setter veggen i bevegelse. Derav kan svingningene/vibrasjonene i veggen måles og parametere beregnes. Figur 12 viser prinsippet med et slikt rystebord.



Figur 12. Skisse av prinsipp med rystebord.

Masseforhold mellom etasjeskiller og vegg

Prosjektet har avdekket at masseforholdet mellom etasjeskiller og vegg har innvirkning på knutepunktsdempningen, m.a.o. hvor mye lyd som overføres via knutepunktet. Høyere masseforhold fører til bedre knutepunktsdempning. Tabell 9 viser masseforholdet mellom etasjeskille og vegg, type opplager og tilhørende måleverdier for noen prosjekter. Tallene må leses med en margin på $\pm 5\%$.

Tabell 9. Masseforhold mellom etasjeskille og vegg, type opplager og tilhørende måleverdier for noen prosjekter.

Prosjekt	Etasjeskille Kg/m ²	Yttervegg Kg/m ²	Forhold E/Y	Opplager	R _w dB	L _{n,w} dB
Røa Miljøboliger	256	85	3,01	finerklosser	58	51
Svartlamoen	133	79	1,68	direkte	55	53
Prøvehuset	99	45	2,2	direkte	45	57

Det er av stor interesse og det vil ha høy nytteverdi for prosjekterende å komme frem til et forholdstall mellom etasjeskille og yttervegg som kan være medvirkende til beslutningen om elastisk- eller ikke elastisk punktopplagring.

Lydmålinger i fremtidige fleretasjes trehus

I Norge er fleretasjes trehus foreløpig i beskjedent antall sammenlignet med fleretasjes hus i stål og betong. For videreutvikling og dokumentasjon av lydløsninger er feltmålinger i fleretasjes trehus viktig grunnlagsmateriale. Feltemålingene utføres på fleretasjes trehus som er under bygging og ved ferdigstillelse. I tillegg vil man kunne dokumentere hvordan anbefalte løsninger fungerer i praksis.

Anvisninger og dokumentasjonsarbeid

Dokumentasjonsarbeid for rådgivende ingeniører og arkitekter er stadig økende. Derfor er gode anvisninger og videreformidling av resultater og løsninger helt avgjørende for økt anvendelse av fleretasjes trehus. Anvisningene bør inneholde gode illustrative tegninger sammen med fyldige beskrivende tekster. Dette materialet bør foreligge i trykte versjoner og være tilgjengelig via internett.

The end

Det er gledelig å registrere at prosjektet har gitt gode og nødvendige resultater og løsninger for prosjekterende, utførende og brukere. I tillegg kommer prosjektet i sin slutfase med ideer og forslag til nye temaer som bør utredes for videreføringen av utviklingsarbeidet omkring lyd og fleretasjes trehus. Sist, men ikke minst, at prøvehuset er blitt kjent i fagmiljøene og at forespørsler om å benytte prøvehuset i ulike sammenhenger, ikke lar vente på seg.

10 Referanser

Treteknisk. Håndbok – bygge med Massivtreelementer, 2006

Tor Erik Vigran. Bygningsakustikk – et grunnlag, Trondheim, 2002

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Ljudisolering i trähus, SP Rapport 2007:78

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Acoustics in wooden buildings – State of the art 2008, SP Rapport 2008:16

SINTEF Byggforsk. Byggforskserien Byggdetaljblad “522.891 Etasjeskillere i massivtre”, 2009.

SINTEF Byggforsk. Trehus – Håndbok 53, 2010