

Hovedkontor
 Forskningsveien 3b
 Postboks 123 Blindern
 0314 OSLO
 Telefon 22 96 55 55
 Telefaks 22 69 94 38

Avdelingskontor
 Høgskoleringen 7b
 7491 TRONDHEIM
 Telefon 73 59 33 90
 Telefaks 73 59 33 80

E-mail firmapost@byggforsk.no
 Internett www byggforsk.no
 Foretaksnr. NO 943 813 361 MVA

Oppdragsgiver
 Norske Takstolprodusenters Forening

Oppdragsgivers adresse
 Norges Byggscole
 Postboks 293
 2001 LILLESTRØM

Oppdragsgivers referanse
 Arnold Sagen

Prosjektnr./arkivnr. O14168 IV	Dato 29.06.2005	Rev.dato	Antall sider 9	Antall vedlegg 12	Gradering Lukket	Forfatter(e) Anders Homb
Prosjektleder Anders Homb	Sign.	Ansvarlig linjeleder Berit Time	Sign.	Kvalitetssikrer Sigurd Hveem	Sign. Sign.	

Oppdragsrapport

LYDMÅLINGER GITTERBJELKELAG Pilotbygg

Kort sammendrag

Norges byggforskningsinstitutt (NBI) har gjennomført målinger av lydisolasjonsegenskaper til etasjeskillere med gitterbjelker i to pilotbygg som er under oppføring og ferdigstillelse. Begge måleseriene gjelder boliger, henholdsvis Apaltun (Bergen) og Klosterhaugen (Trondheim). Hensikten med målingene har vært å dokumentere hvilke egenskaper man i praksis oppnår med de valgte løsningene.

Gjennomførte luftlydisolasjonsmålinger viser resultater som tilfredsstillende Lydklasse B for alle målestedene. Resultater fra trinnlydisolasjonsmålingene tilfredsstillende anbefalt verdi for alle målingene med unntak av ett målested som tilfredsstillende lydklasse C. Forskjellene mellom trinnlydisolasjon i forsøkskhus i forhold til ferdig bygg harmonerer godt med innvirkningen flanketransmisjonen har på lydoverføringen.

Oppføring av pilotbyggene og gjennomføringen av målingene viser at løsninger som er utviklet tidligere i prosjektet er godt realiserbart i praksis, og at man har oppnådd tilfredsstillende resultater i forhold til målsettingen i prosjektet. Som en del av prosjektet har det også blitt utarbeidet en del nye detaljløsninger og beskrevet prosjekteringsråd.

Byggverkets adresse			Byggeår
Metode	Emneord SMÅHUSBOLIG, ETASJESKILLER, TRE, GIPS, METALL, MINERALULL, LYD		Filnavn O14168 IV Rapport Norske Takstolprodusenters Forening - GD

1. GENERELT

Norges byggforskningsinstitutt (NBI) har på oppdrag fra Norske Takstolprodusenters Forening (NTF) gjennomført lydisolasjonsmålinger i to pilotbygg hvor det har blitt benyttet gitterbjelkelag i etasjeskiller.

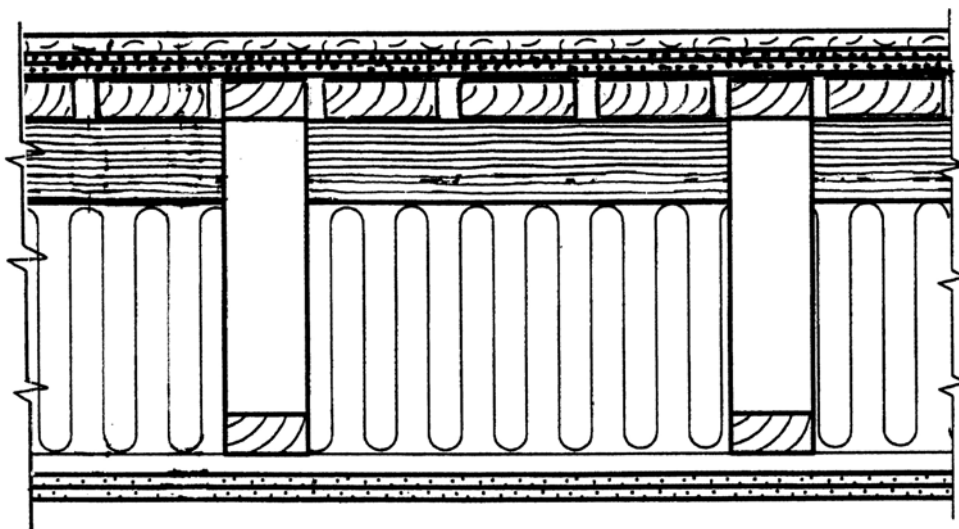
Bakgrunnen for oppdraget er prosjektet som har pågått for å utvikle løsninger med bruk av gitterbjelker i etasjeskiller. Prosjektets innhold er nærmere beskrevet i prosjektsøknad til Innovasjon Norge - Treprogrammet, og inngår i aktivitet vedrørende "Pilotbygg".

Hensikten med prosjektet har vært å dokumentere lydisolerende egenskaper til etasjeskiller med gitterbjelker, hvor målet har vært å tilfredsstille anbefalte nivåer for trehus i flere etasjer, se referanse [2] og om mulig lydklasse B i henhold til NS 8175.

2. MÅLEOBJEKTER

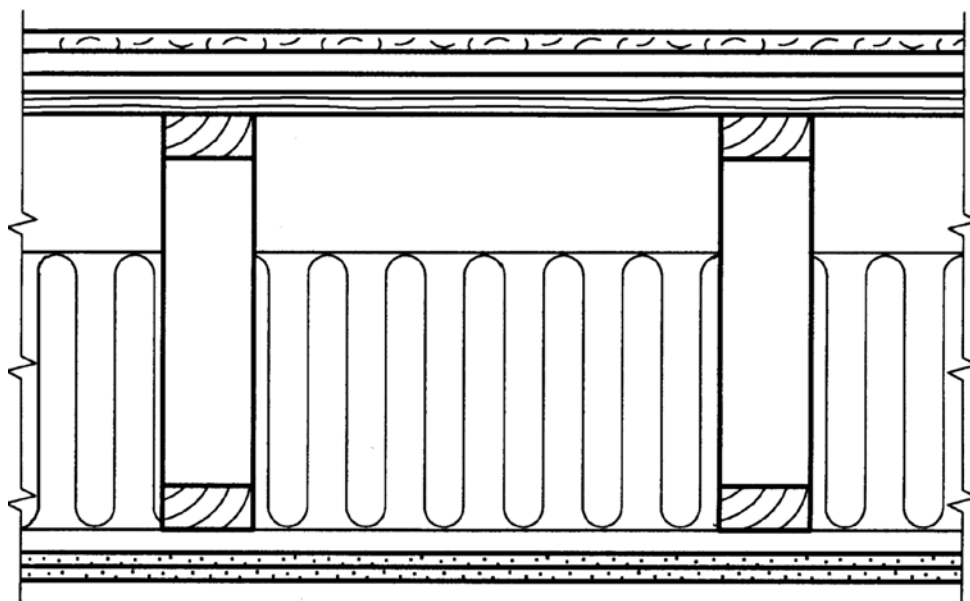
Konstruksjonsløsningene som har blitt valgt har i utgangspunktet blitt bestemt av utbygger/prosjekterende. NBI har imidlertid bidratt i prosjekteringsperioden med råd og anbefalinger når det gjelder lydisolasjon til etasjeskiller, og bistått med noe oppfølging og tilbakemelding under oppføring. Se for øvrig underlag fra tidligere prøveprogram i laboratorium, NBI rapport O 14168 datert 20.06.2003, og O 14168 II datert 20.10.2004.

Snitt av etasjeskiller i byggeprosjektet "Apalhaugen", Bergen er vist i figur 1. Løsningen består prinsipielt av gitterbjelker med tverravstivere og langsgående plank som underlag for platelag i overgolvet. Platekledning i himling er montert til lekter og lydbøyer. Bærebjelker er ført på tvers av gitterbjelker både ved yttervegger og ved midtbæring med laster ført til søyler. Bærende søyler er i stor grad frittstående i forhold til innvendige platekledninger. Dette innebærer at lydoverføring til innvendige vegger i underliggende leilighet sannsynligvis er redusert i forhold til vanlige løsninger. Utdrag av planløsning er vist i blad 1. Fullstendig beskrivelse av detaljoppbygging til skillekonstruksjonene er gitt i de enkelte måleblad 2 til 5. Bygget var ikke ferdigstilt med hensyn til dørmontasje ved målingen. Det ble derfor improvisert med tetting av døråpninger ved hjelp av plater, og lydgjennomgang via åpne rør og kanaler ble redusert ved midlertidige tetttiltak. Målte verdier for luftlydisolasjon viser at vi har oppnådd lydisolasjon uten spesielle svakheter på grunn av mangelfull tetting.



Figur 1. Oppbygging av gitterbjelkelag Apalhaugen, Bergen

Snitt av etasjeskiller i byggeprosjektet "Klosterhaugen", Trondheim er vist i figur 2. Løsningen består prinsipielt av gitterbjelker med tverrgående spaltebord på oversiden som underlag for platelag i overgolvet. Platekledning i himling er montert til akustikkprofil (lydskinne i stål). Bærebjelke er ført på tvers av gitterbjelker ved midtbæring med laster ført til søyler. Disse søylene er i hovedsak frittstående i forhold til innvendige platekledninger. Ved yttervegger er bjelkelaget lagt opp på bindingsverksvegger på tradisjonelt vis. Ikke-bærende gavlvegger (både lydskillevegger og yttervegger) har fast forbindelse til bjelkelaget både på over- og undersiden. Løsningen er derfor i stor grad slik tradisjonelle bjelkelagskonstruksjoner i småhus bygges. Dette innebærer at lydoverføring til innvendige vegger i underliggende leilighet er en begrensende faktor i deler av frekvensområdet. Bjelkelag under bad i 2. etasje er bygd opp med tverravstivere som underlag for plate og påstøp slik at ferdig golv er på samme nivå som resten av leiligheten. Utdrag av planløsning er vist i blad 6. Fullstendig beskrivelse av detaljoppbygging til skillekonstruksjonene er gitt i de enkelte måleblad 7 til 11. Bygget var ferdigstilt og innflyttingsklart ved målingen.



Figur 2. Oppbygging av gitterbjelkelag Klosterhaugen, Trondheim

3. MÅLEUTSTYR og METODE LYDISOLASJON

Ved lydisolasjonsmålingene ble det benyttet utstyr gitt i tabell 1.

Tabell 1. Måleutstyr ved lydisolasjonsmålinger – pilotbygg gitterbjelkelag

Enhet	Type
Analysator	Norsonic type Nor-121
Mikrofoner	Norsonic type 1233 og Brüel & Kjær type 4166
Mikrofon-forsterkere	Norsonic type 1201
Mikrofon-strømforsyning	Norsonic front end type 336
Kalibrator	Brüel & Kjær type 4230
Høytaler med forsterker	Norsonic type P 250 og 260
Trinnlydapparat	Brüel & Kjær type 3207
Gummiball *	Japansk, betegnelse NF8, 2550 g - fallhøyde 500 mm
Slippapparat *	Utviklet ved NTNU for slipp av gummiball, fjernbetjent

* Brukt ved målinger på Apalhaugen

3.1 Standardiserte lydmålinger

Standardiserte målinger av luft- og trinnlydisolasjon ble gjennomført 3. mars 2005 på Apalhaugen og 15. mars 2005 på Klosterhaugen i henhold til S-EN ISO 140-4 og 140-7. Antall målepunkter er større eller lik standardens minstekrav, hvor antallet er avhengig av individuelle avvik mellom målepunktene. Det ble benyttet opptil åtte posisjoner for plassering av trinnlydapparatet med to mikrofonposisjoner og opptil ni mikrofonposisjoner ved luftlydisolasjonsmålingene. Målingene omfatter frekvensområdet fra 50 til 5000 Hz, mens veid verdi i henhold til standardisert prosedyre omfatter frekvensområdet fra 100 til 3150 Hz, se referansekurve i blad 2 til 5 og blad 7 til 11.

3.2 Målinger med lydnivå fra gummiball

Måle- og bearbeidingsprosedyre som benyttes for gummiballen inngår som en del av et forskningsarbeid ved NBI knyttet til lyd og vibrasjoner til lette etasjeskillere. En del dokumentasjon av prosedyrene er gitt i referanse [3] og [4]. Gummiballen slippes i golvet fra en fallhøyde på 500 mm og fanges opp etter ett støt. Støtet fra ballen tilsvarer støtet som oppstår når en person hopper på golvet – både i nivå og med hensyn til pulsens tidslengde. Se foregående rapporter for prosjekt O 14168 med hensyn til nærmere beskrivelse av forsøksoppstilling, måleprosedyre og presentasjon av resultater.

Målingene på Apalhaugen ble gjennomført henholdsvis 3. mars 2005 med støt fra ball i fem posisjoner. For hver ballposisjon er det benyttet to mikrofonposisjoner og det er målt maksimalnivå fire ganger pr. posisjon. Alle maksimalnivåer er i ettertid midlet til gjennomsnittlig maksimalnivå, $L_{\max,ball}$ for hvert frekvensbånd fra 20 Hz til 1000 Hz. Gjennomsnittlige maksimalnivåer er så normalisert med hensyn til etterklangstid, T og romvolum, V tilsvarende trinnlydmålinger med ISO-normert hammerverk etter formelen:

$$L_{n,ball} = L_{\max,ball} + 10 \cdot \log\left(\frac{0.16 \cdot V}{10 \cdot T}\right)$$

Måleresultater med bruk av gummiball som støtkilde er vist i blad 12. Etterklangstiden er målt ned til 50 Hz. Lenger ned i frekvens er det ikke relevant å måle etterklangstid, og for beregning av $L_{n,ball}$ er det benyttet gjennomsnittlig etterklangstid i frekvensområdet 50-100 Hz for frekvensområdet fra 20 til 40 Hz.

4. MÅLERESULTATER LYDISOLASJON

4.1 Standardiserte lydmålinger

Fullstendige måleresultater fra standardiserte målinger er vist i blad 2 til 5 og 7 til 11. I tabell 2 og 3 nedenfor gis et konsentrat av måleverdiene for henholdsvis luftlydisolasjon og trinnlydisolasjon sammenlignet med gjeldende forskrift og standard. Omgjøringstall for utvidet frekvensspekter (spekterkorreksjon) er angitt i tabellene, og brukt som underlag for angivelse av lydklasser.

Tabell 2. Luftlydisolasjonsmålinger pilotbygg med gitterbjelkelag, vår 2005

Luftlydisolasjon		Indeks	Teknisk forskrift 1997 NS 8175		
Fra	Til	R'_w (dB)	Omgjørings- tall (dB), $C_{50-5000}$	Lyd- klasse ¹⁾	Data- blad nr.
Apalhaugen Stue/kjøkken leil. 4 B, 2. et.	Apalhaugen Stue/kjøkken leil. 3 B, 1. et.	63	-1	B	2
Apalhaugen Sov (stort) leil. 4 B, 2. et.	Apalhaugen Sov (stort) leil. 3 B, 1. et.	63	-3	B	3
Klosterhaugen Stue/kjøkken leil. 17 B, 2. et.	Klosterhaugen Stue/kjøkken leil. 17 A, 1. et.	64	-2	B	7
Klosterhaugen Sov (stort) leil. 17 B, 2. et.	Klosterhaugen Sov (stort) leil. 17 B, 1. et.	64	-2	B	8
Teknisk forskrift / NS 8175		≥ 55	Lydklasse C		
Anbefalt i Håndbok 51 og NS 8175 NS 8175 NS 8175		$R'_w + C_{50-5000} \geq 55$ $R'_w + C_{50-5000} \geq 58$ $R'_w + C_{50-5000} \geq 63$		B A	

¹⁾ Ved angivelse av lydklasse C tas det ikke hensyn til omgjøringstall for spektrum

På tilsvarende måte som vanlige bjelkelagskonstruksjoner er lydisolasjonen noe begrenset i det aller laveste frekvensområdet. Reduksjonstallene er imidlertid høyere enn 40 dB allerede fra 80 Hz, noe som indikerer en fordelaktig løsning. Ved høye frekvenser oppnås høy lydisolasjon spesielt på grunn av store hulrom og fjærende opphengt himling, men det viser også at tettingen av skillekonstruksjonen er god. I praksis vil brukerne oppleve mest lydgjennomgang i det laveste frekvensområdet.

Feltmålte verdier er tilnærmet som sammenlignbare verdier fra tidligere målinger i forsøkshuset (sum av $R'_w + C_{50-5000}$ innenfor ± 1 dB), se rapportene O 14168 datert 20.06.2003 og O 14168 II datert 18.10.2004. Dette tilsier at flanketransmisjonen med hensyn til overføring av luftlyd ikke har blitt nevneverdig endret fra forsøkshus til ferdige leiligheter. Målt luftlydisolasjon for alle skillekonstruksjonene tilfredsstillende lydklasse B.

Tabell 3. Trinnlydisolasjonsmålinger pilotbygg med gitterbjelkelag, vår 2005

Trinnlydisolasjon		Indeks	Teknisk forskrift 1997 NS 8175		
Fra	Til	$L'_{n,w}$ (dB)	Omgjørings- tall (dB), $C_{i,50-2500}$	Lyd- klasse ¹⁾	Data- blad nr.
Apalhaugen Stue/kjøkken leil. 4 B, 2. et.	Apalhaugen Stue/kjøkken leil. 3 B, 1. et.	47	+ 4	C + Anbef.	4
Apalhaugen Sov (stort) leil. 4 B, 2. et.	Apalhaugen Sov (stort) leil. 3 B, 1. et.	49	+ 3	C + Anbef.	5
Klosterhaugen Stue/kjøkken leil. 17 B, 2. et.	Klosterhaugen Stue/kjøkken leil. 17 B, 1. et.	52	+ 2	C	9
Klosterhaugen Sov (stort) leil. 17 B, 2. et.	Klosterhaugen Sov (stort) leil. 17 B, 1. et.	51	+ 1	C + Anbef.	10
Klosterhaugen Bad leil. 17 B, 2. et.	Klosterhaugen Bad leil. 17 B, 1. et.	49	0	C + Anbef	11
Teknisk forskrift / NS 8175		≤ 53	Lydklasse C		
Anbefalt i Håndbok 51 og NS 8175 NS 8175		$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} \leq 53$ $L'_{n,w} + C_{i,50-2500} \leq 48$		B	

¹⁾ Ved angivelse av lydklasse C tas det ikke hensyn til omgjøringstall for spektrum

Veid, normalisert trinnlydnivå, $L'_{n,w}$ begrenses av måleverdier i frekvensområdet under ca. 400 Hz for alle målte varianter med unntak av løsning med betong påstøp og flis (bad Klosterhaugen). For sistnevnte etasjeskiller er $L'_{n,w}$ i hovedsak bestemt av måleverdier i frekvensområder over 1250 Hz.

Feltmålte verdier fra Apalhaugen viser 2 dB høyere verdier enn mest sammenlignbar verdi fra tidligere målinger i forsøkshuset (sum av $L'_{n,w} + C_{i,50-2500}$), se rapport O 14168 II datert 18.10.2004. Feltmålte verdier fra Klosterhaugen viser henholdsvis 2 og 4 dB høyere verdier enn mest sammenlignbar verdi fra målinger i forsøkshuset, se rapport O 14168 datert 20.06.2003. Det vil si at flanketransmisjonen er av en viss betydning i frekvensområdet som bestemmer trinnlydisolasjonen. Dette gjelder også for Apalhaugen hvor det har blitt valgt gode løsninger med bæresystem, men ikke optimal montering av lydbøylehimling. For begge målestedene er leilighetenes størrelse ca. 70 m². Større golvareal i forhold til bæresystem vil redusere bidraget fra flanketransmisjon. Målt trinnlydisolasjon for alle konstruksjonsvariantene tilfredsstillende anbefalt verdi i henhold til referanse [2] med unntak av stue/kjøkken Klosterhaugen som tilfredsstillende lydklasse C.

4.2 Målinger med lydnivå fra gummiball

Fullstendige måleresultater fra målinger med gummiball er vist i blad 12. Hensikten med å benytte målemetode med gummiball er at denne gir en impuls som er svært lik en person som hopper på en lett bjelkelagskonstruksjon. Metoden er imidlertid ikke standardisert, men foreslått som metode (i Japan) og blitt benyttet en del i forskningssammenheng i en del land. I tabell 4 nedenfor gis et konsentrat av de måleverdiene som vi i dag anser for å være de viktigste. Dette er $L_{n,ball}$ presentert i pkt. 3.2 veid med henholdsvis A-veiekurve med to ulike frekvensområder og C-veiekurve.

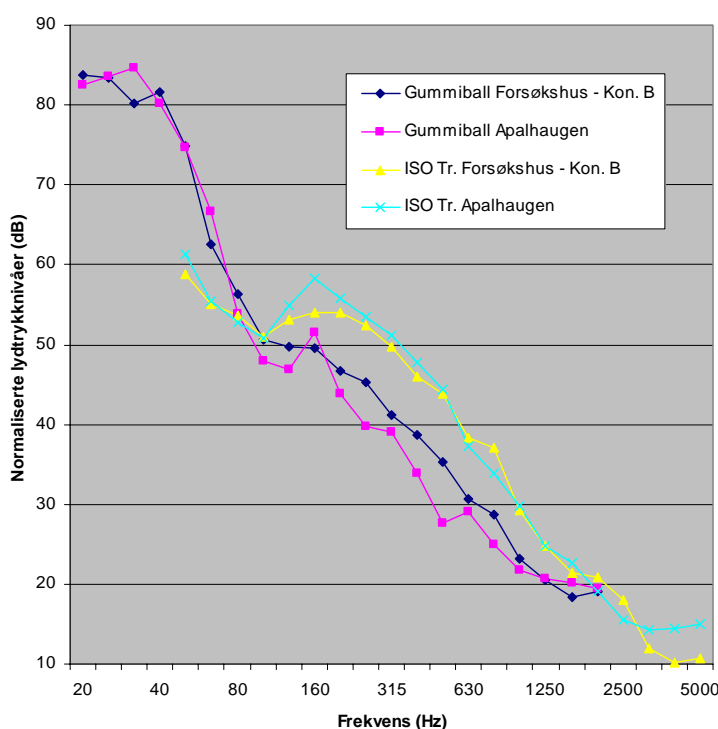
Tabell 4. *Lydnivå fra gummiball, Apalhaugen vår 2005*

Konstruksjons-variant	Belegg	$L_{A,ball}$ 50-5000 Hz (dBA)	$L_{A,ball}$ 20-2000 Hz (dBA)	$L_{C,ball}$ 50-5000 Hz (dBC)	Datablad nr.
Apalhaugen se pkt. 2	Parkett	48	51	74	12

Det er ingen forskjell mellom verdier fra Apalhaugen vist i tabell 4 og mest sammenlignbare verdier fra målinger i forsøkshuset, se rapport O 14168 II datert 18.10.2004 og figur 3. På Apalhaugen er imidlertid flatevekten i overgolvet noe høyere enn sammenlignbar konstruksjon fra forsøkshuset. $L_{A,ball}$ kan med forsiktighet sammenlignes med $L'_{n,w} + C_{i,50-2500}$. Det er for øvrig ikke gjennomført noen studie som sammenligner måling etter standardisert metode med gummiball-metoden, eller samlet inn noe bredt måleunderlag i Norge ved bruk av gummiballen.

5. SAMMENSTILLING TRINNLYDISOLASJON

Sammenstilling av målte verdier fra Apalhaugen med de mest sammenlignbare verdier fra målinger i forsøkshuset er vist i figur 3. Dette gjelder både normalisert trinnlydnivå med ISO-normert trinnlydapparat og gummiball.



Figur 3. *Normalisert trinnlydnivå med ISO-normert trinnlydapparat og gummiball, Apalhaugen og Forsøkshus*

Alle målingene viser at lydnivåene stiger med synkende frekvens, men med et noe avflatende parti i frekvensområdet 80 til 160 Hz. Dette er spesielt synlig med bruk av gummiball som er en kraftigere støtkilde enn ISO-normert trinnlydapparat. Målinger med gummiball er gjennomført ned til 20 Hz som er nedre område der den menneskelige hørsel oppfatter lyd. Følsomheten til den menneskelige hørsel avtar også sterkt ved disse lave frekvensene, slik at for eksempel en A-veiting gir et bedre uttrykk for hvordan denne impulslyden oppfattes av mennesker, se tabell 4.

Tabell 5 gir en sammenstilling av målt trinnlydisolasjon fra pilotbyggene med de mest sammenlignbare måleverdier fra forsøkshuset. Måleresultater for trinnlydisolasjon viser gode verdier for begge målestedene og tilfredsstillende anbefalt verdi i henhold til referanse [2] med unntak av stue/kjøkken Klosterhaugen som tilfredsstillende lydklasse C.

Tabell 5. Sammenstilling trinnlydisolasjon Gitterbjelkelag, Pilotbygg og Forsøkshus

Konstruksjons-variant	Flatemasse til bjelkelagskonstruksjonen uten min.ull og himling (kg/m ²)	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ (dB)	$L_{A,ball,50-5000}$ Hz (dBA)	$L_{A,ball,20-2000}$ Hz (dBA)
Forsøkshus fase II Konstr. B	71	49	48	51
Apalhaugen stue/kjøkken	78	51	48	51
Apalhaugen soverom	73	52	-	-
Forsøkshus fase I Konstr. II spon	60	50	-	-
Forsøkshus fase I Konstr. II laminat	68	50	-	-
Klosterhaugen Stue/kjøkken	58	54	-	-
Klosterhaugen Soverom	52	52	-	-

6. OPPSUMMERING

NBI har gjennomført målinger av lydisolasjonsegenskaper til etasjeskillere med gitterbjelker som har blitt oppført og ferdigstilt. Begge måleseriene gjelder boliger, henholdsvis Apaltun (Bergen) og Klosterhaugen (Trondheim).

Gjennomførte luftlydisolasjonsmålinger viser resultater som tilfredsstillende Lydklasse B for alle målestedene. Resultater fra trinnlydisolasjonsmålingene tilfredsstillende anbefalt verdi for alle målingene med unntak av stue/kjøkken Klosterhaugen som tilfredsstillende lydklasse C. Sammenligner vi målinger i forsøkshuset med resultater fra pilotbyggene viser målinger fra Apalhaugen en endring på 2 dB for mest sammenlignbare konstruksjon. Tilsvarende målinger fra Klosterhaugen viser en endring på henholdsvis 4 og 2 dB i forhold til mest sammenlignbare konstruksjon i forsøkshuset. Disse differansene harmonerer godt med innvirkningen som flanketransmisjonen har på trinnlydisolasjonen. For å oppnå lydklasse B i ferdig bygg vil man derfor være avhengig både av liten flanketransmisjon og høyere flatevekt til konstruksjonen.

Oppføring av pilotbyggene og gjennomføringen av målingene viser at løsninger som er utviklet tidligere i prosjektet er godt realiserbart i praksis, og at man har oppnådd tilfredsstillende resultater i forhold til målsettingen i prosjektet. Som en del av prosjektet har det også blitt utarbeidet en del nye detaljløsninger og beskrevet prosjekteringsråd, se blant annet referanse [2] og [5].

Trondheim 29. juni 2005

for **NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT**
MATERIALER OG KONSTRUKSJONER - TRONDHEIM

Anders Homb

Referanser

- [1] NBI, Byggforskserien. Byggdetaljer 522.511 Lydisolerende etasjeskillere med trebjelkelag, Del I og II. Oslo 2002.
- [2] Homb A. & Hveem, S. (2003). Hefte 2 - Lyd. Fleretasjes Trehus. *NBI Håndbok 51*. Oslo 2003.
- [3] Homb, A. (2000). Floor vibrations and low frequency sound pressure levels using a rubber ball impact method. *Proceedings Inter.noise 2000*; Nice France, august 2000, pp. 770-773.
- [4] Homb, A. (1998). Ball method for combined low frequency sound insulation and vibration measurements. In *Cost Action E5 Workshop, Acoustic Performance of Medium-Rise Timber Buildings*, pp. 7, 1998.
- [5] Norske Takstolprodusenters Forening (2005). Gitterbjelkelag. Teknisk datablad 06-2005.

Vedlegg	Blad 1:	Utdrag av planløsning Apalhaugen
	Blad 2-5:	Måleresultater Apalhaugen, standardiserte metoder
	Blad 6:	Utdrag av planløsning Klosterhaugen
	Blad 7-11:	Måleresultater Klosterhaugen, standardiserte metoder
	Blad 12:	Måleresultat Apalhaugen, gummiball