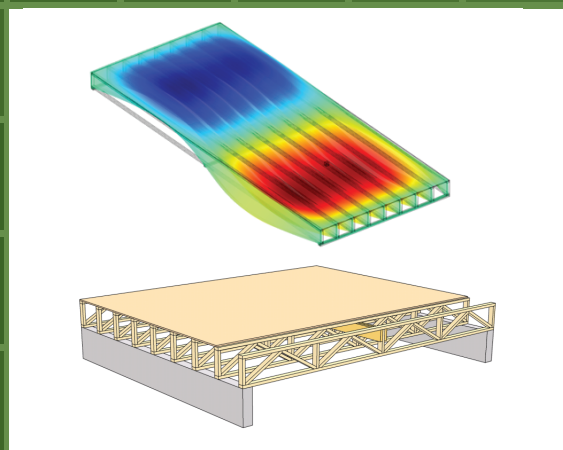


Gitterbjelkelag, løsninger og detaljer

Delrapport fra prosjektet «Moderne bjelkelag»

Prosjektrapport 103

2012



SINTEF Byggforsk

Anders Homb og Svein Terje Kolstad

Gitterbjelkelag, løsninger og detaljer

Delrapport fra prosjektet «Moderne bjelkelag»

Prosjektrapport 103 – 2012

Prosjektrapport nr. 103
Anders Homb og Svein Terje Kolstad
Gitterbjelkelag, løsninger og detaljer
Delrapport fra prosjektet «Moderne bjelkelag»

Emneord:
Måling, beregning, stivhet, vibrasjoner, lyd, brann, tre, bjelkelag, etasjeskiller, installasjoner

ISSN 1504-6958
ISBN 978-82-536-1300-0 (pdf)
ISBN 978-82-536-1301-7 (trykt)

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2012
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

Forord

Denne rapporten omhandler målinger, beregninger og vurderinger som er gjennomført for å utvikle løsninger med bruk av fagverksbjelker i tre. Rapporten gir også en oppsummering av underlag fra tidligere prosjekter, med hovedvekt på praktisk anvendbare resultater.

Det er et stort behov for å utvikle nye bjelkelagsløsninger i tre, både med hensyn til spennvidder, brann- og lydtekniske forhold, og integrasjon av tekniske installasjoner. Spesielt gjelder dette for å kunne bygge flere mellomstore og store bygg i tre, og med løsninger som blir rasjonelle i produksjon og montering. Med en utvikling av trekonstruksjoner vil man også oppnå miljømessige fordeler dersom dette kan erstatte oppføring av bygninger i betong eller stål. Dette prosjektet er et skritt på veien mot nye og bedre trekonstruksjoner som også gir mulighet for nye markedsområder.

Arbeidet i denne projektrapporten er utført innenfor prosjektet med tittelen *Moderne bjelkelag*. Prosjektet er finansiert av NFR og Skogtiltaksfondet, mens prosjektets eiere, Norske Takstolprodusenters Forening, har stått ansvarlig for industriens egeninnsats.

Prosjektets hovedmål har vært å utvikle kunnskaper om golvløsninger i tre basert på todimensjonale bjelkelag (lastbæring i to retninger). Slike løsninger kan gi lange spennvidder slik at tre kan oppnå økt anvendelse i fleretasjes bygninger i tråd med myndighetenes ønsker. Hovedmålet oppnås gjennom arbeid med flere delmål. Prosjektet omhandler kontinuerlige bjelkelag over flere opplegg, optimalisering av spennvidder og hvordan demping påvirker egenskapene. Resultater fra disse arbeidene vil også integreres i arbeidet med komplette golvkonstruksjoner, integrering av tekniske installasjoner samt lyd- og branntekniske egenskaper.

Prosjektet gir kunnskap til arbeidet med å utvikle og revidere anvisninger i Byggforskserien og som underlag for å utarbeide produktdokumentasjon i tekniske godkjenninger og sertifiseringer. Prosjektet har vært ledet av SINTEF Byggforsk, og gjennomføres i samarbeid med Norges forskningsråd, Skogtiltaksfondet, Norske Takstolprodusenters forening og andre industripartnere som har engasjert seg i prosjektet. Prosjektet startet i 2011 og ble avsluttet ved utgangen av 2012.

En spesiell takk til Arnold Sagen, Byggskolen, for aktiv deltakelse og konstruktive innspill. Trond Ramstad har vært ansvarlig for kvalitetskontroll av denne rapporten.

Trondheim, juni 2013

Anders Homb
Prosjektleder
SINTEF Byggforsk

Innhold

1.	Innledning	7
1.1	Bakgrunn.....	7
1.2	Formål og omfang.....	7
2.	Enkle spenn	9
2.1	Målinger og beregninger.....	9
2.2	Generelle løsninger	9
2.3	Løsninger med tverravstivere	10
3.	Doble spenn	12
3.1	Målinger.....	12
3.2	Beregninger.....	14
3.3	Løsninger uten tverravstivere	18
3.4	Løsninger med tverravstivere	18
3.5	Bærebjelke og søyler.....	18
4.	Ikke-bærende vegger	20
4.1	Tverrgående vegger	20
4.2	Langsgående vegger.....	20
5.	Lyd og branntekniske løsninger	21
5.1	Lette konstruksjoner.....	21
5.2	Semi-tunge konstruksjoner	22
5.3	Oppleggsdetaljer	23
6.	Tekniske installasjoner	25
6.1	Generelt.....	25
6.2	Kanaler over himling	25
6.3	Kanaler ned i golv	26
7.	Oppsummering	28
8.	Referanser	29

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Golvkonstruksjoner i tre har i dag en dominerende markedsandel i små bygg, spesielt boliger. Trenden er imidlertid flere større bygg med flere boenheter. Det er i dag sporadisk bruk av trebjelkelag i større bygg, hovedsakelig pga begrensninger med spennvidder og lyd- og vibrasjonsegenskaper. De vanligste bjelketyper i Norge er heltrebjelker, ulike typer limte trebjelker (splittet limtre, K-bjelken osv.), I-bjelker og i de seinere årene fagverksbjelker. Førstnevnte bjelketype har klare begrensninger når det gjelder bøyestivhet pga. tilgjengelige dimensjoner. For de sistnevnte bjelketypene er det stor fleksibilitet mht. stivhet da bjelkehøyden kan økes med små kostnader. Dette betyr at bruksområdet for denne typen bjelker kan økes betraktelig. Fagverksbjelkene har i tillegg den store fordel at avstivninger og tekniske installasjoner kan plasseres uten hulltaking i bjelken. I noen land som f.eks. USA og England har bruken av fagverksbjelker i tre/gitterbjelker blitt svært vanlig.

Fagverk er i dag mest kjent som konstruksjon i tak og bruer, men denne konstruksjonstypen har et betydelig potensial også i golvkonstruksjoner. En fagverksbjelke i tre består av trevirke i over- og undergurt, forbundet med skråstaver og vertikale stivere av tre eller stål. Den vanligste måten å produsere bjelkene på er å benytte staver av trevirke og spikerplater i knutepunktene. Slike bjelker kan dimensjoneres og produseres med et stort variasjonsområde mht. høyde, lengde og spennvidde.

Arbeid i prosjektet har basert seg på kunnskap som er tilgjengelig så langt, se referanser eldre enn 2011 i kap. 8. Nasjonalt og internasjonalt er det begrenset med kunnskap når det gjelder effektive og rasjonelle løsninger for tverravstiving og integrering av bæresystem i kontinuerlige bjelkesystemer, se Hu (2007). Fra egne forsøk har vi erfaring for manglende kompetanse når det gjelder virkningen av flere opplegg mht. dynamiske egenskaper, både når det gjelder egenfrekvenser, amplitude og demping. Det er derfor viktig å utvikle beregningsmetoder med akseptabel nøyaktighet som muliggjør prosjektering av nye løsninger. Et vesentlig underlag for å utvikle slike løsninger er lagt gjennom prosjektet "Comfort properties of timber floor constructions", se Homb (2007, 2009) og Kolstad & Homb (2009). Når det gjelder konstruksjons- og produksjonstekniske momenter så har vi samarbeidet tett med bedriftene som medvirker i prosjektet, og det har vært en gjensidig utveksling av erfaringer for å utvikle bjelkelagsløsningene videre.

1.2 Formål og omfang

Prosjektets hovedmål har vært å utvikle kunnskaper om løsninger for etasjeskillere i tre basert på todimensjonale bjelkelag (lastbæring i to retninger). Slike løsninger kan gi lange spennvidder slik at tre kan oppnå økt anvendelse i fleretasjes bygninger i tråd med myndighetenes ønsker. Hovedmålet oppnås gjennom arbeid med flere delmål. Dette omhandler kontinuerlige bjelkelag over flere opplegg, optimalisering av spennvidder, og hvordan demping påvirker egenskapene. Resultater fra disse arbeidene vil også integreres i arbeidet med komplette etasjeskillerkonstruksjoner, integrering av tekniske installasjoner samt lyd- og branntekniske egenskaper.

Hovedutfordringen ved utviklingen av nye løsninger er todelt:

- utvikle kunnskap slik at vi er i stand til å kvantifisere virkningen av avstivende tiltak spesielt med hensyn til nedbøyning og vibrasjoner.
- utvikle beregningsverktøy som gjør det mulig å forutsi statiske og dynamiske egenskaper til et sammensatt etasjeskillersystem i tre. Måleteknisk kompetanse, bygg under oppføring og laboratorieforsøk vil benyttes for sammenligning med relevante beregningsmetoder.

Det er et fellestrekk for arbeidspakkene at utfordringene løses ved en kombinasjon av beregninger, målinger i laboratoriet og i bygg under oppføring. I tillegg har vi analysert et stort antall måle-

resultater fra tidligere prosjekter, spesielt med hensyn til demping og avstivende tiltak. Det er også arbeidet mye med modellering og beregning av bjelkelagsløsningene ved hjelp av elementmetodeprogrammene BTAB og COMSOL. I nært samarbeid med industripartnerne i prosjektet har det også blitt satt fokus på løsninger for å integrere tekniske installasjoner og utvikle komplette etasjeskillersystemer. Dette åpner mulighetene for å benytte gitterbjelkelag i ulike bygningskategorier, eksempelvis boliger, skoler og næringsbygg med ulike krav til brann- og lydtekniske egenskaper.

2. Enkle spenn

2.1 Målinger og beregninger

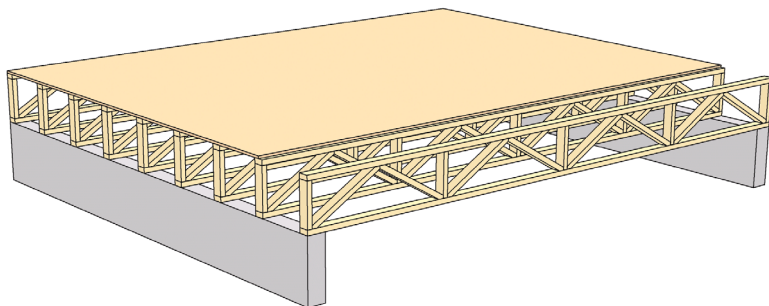
Tidligere studier viser at det er mulig å få akseptabel overensstemmelse mellom målte og beregnede verdier både for nedbøyning under punktlast og laveste egenfrekvens for et bjelkelag med enkelt spenn, se Kolstad & Homb (2009) og Homb (2009). Disse parametrene benyttes som hovedstørrelser for å bestemme om bjelkelaget er akseptabelt mht. komfort ved vanlig personlast, se Homb (2007). Dette kriteriet har blitt betegnet som ”komfortkriteriet”, og er benyttet ved utarbeidelsen av Byggforskseriens anvisning 522.351 Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse, se SINTEF Byggforsk (2011).

SINTEF Byggforsk benytter beregningsprogrammet BTAB for å beregne nedbøyning ved punktlast. For å beregne egenfrekvenser har vi benyttet analytiske beregningsmodeller, se Homb (2006) eller Ohlsson (1988). Norske Takstolprodusenters Forening (NTF) har utviklet et regneark som beregner disse parametrene, der beregning av laveste egenfrekvens gjøres med samme analytiske modell. Dette programmet har navnet "Hulldekke i TRE". I tilknytning til prosjektet "Moderne Bjelkelag" har vi også benyttet programmet COMSOL til å beregne både nedbøyning og egenfrekvens. Slik vi har modellert gitterbjelkelaget nå får vi akseptabel overensstemmelse med målte verdier for nedbøyning, men noe større avvik for laveste egenfrekvens.

Benytter man nøyaktige inngangsdata kan vi oppsummere med at beregninger med de enkleste modellene gir akseptabel nøyaktighet for et enkelt bjelkelag når innvirkningen av bjelkelagets sidekanter er liten.

2.2 Generelle løsninger

Tabell 2.1 viser orienterende spennvidder som kan forventes for fagverksbjelker med gurter av 98 mm x 48 mm konstruksjonsvirke. Verdiene er orienterende fordi maksimale spennvidder er litt avhengig av spikerplatetypene til de forskjellige produsentene. Tabellen gjelder for bjelkelag i bolighus, kontorbygninger og andre bygninger der nyttelasten er i kategori A eller B i henhold til NS-EN 1991-1-1, med unntak som nevnt under tabellen. Se SINTEF Byggforsk (2011) mht. beregningsgrunnlaget og pkt. 23 i anvisningen mht. tabellkorreksjoner. Foruten hensynet til stivhet er spennviddene kontrollert for jevnt fordelt nyttelast pluss egenlast som angitt i tabellen. Den angitte egenlasten dekker alle vanlige etasjeskillere av tre med undergolv av 22 mm sponplater eller tilsvarende, og himling av bord eller platematerialer. Spennviddene er gitt som lysåpninger, det vil si netto avstand mellom oppleggene som bjelkene er lagt på. Figur 2.1 viser prinsipptegning for enkelt bjelkelag uten himling.



Figur 2.1
Enkelt bjelkelag uten himling.

Tabell 2.1

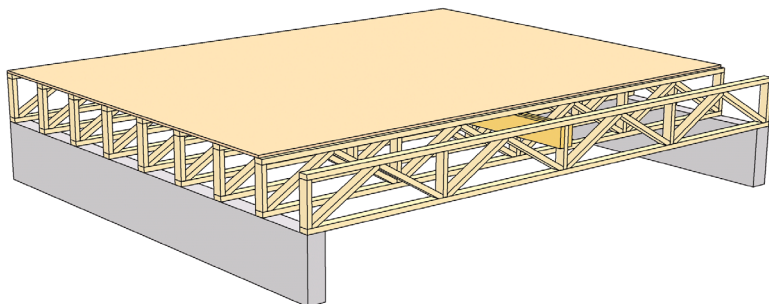
Orienterende spennvidder som kan oppnås for bjelkelag av fagverksbjelker med gurter av 98 mm × 48 mm konstruksjonstrevirke klasse C30*.

Bjelkehøyde mm	Lysåpning i meter	
	Bjelkeavstand	
	c/c 600 mm	c/c 300 mm
300	4,6	5,25
350	5,1	5,8
400	5,55	6,3
450	6,0	6,75
500	6,4	7,15
550	6,75	7,55
600	7,1	7,9

* Tabellen gjelder for etasjeskillere til brukskategori A og B i henhold til NS-EN 1991-1-1 (maks 3,0 kN/m² nyttelast), med egenlast inntil 0,7 kN/m² og tilleggslast fra lette skillevegger. Løsningen inkluderer et overgolv med parkett, isolasjon, lekter og ett platelag i himling. Tabellen gjelder samtidig for etasjeskillere i mindre rom med egenlast 2,6 kN/m², for eksempel med ca. 50 mm påstøp, forutsatt at nyttelasten er maks 2,0 kN/m² og uten tilleggslast fra skillevegger.

2.3 Løsninger med tverravstivere

Tabell 2.2 viser orienterende spennvidder som kan forventes for fagverksbjelker med gurter 98 mm x 48 mm og hvor det er montert en størst mulig tverravstiver midt i spennet. Verdiene er orienterende fordi maksimale spennvidder er litt ulike for de forskjellige produsentene. Se SINTEF Byggforsk (2011) mht. beregningsgrunnlaget og pkt. 23 i anvisningen mht. tabellkorreksjoner. Spennviddene er gitt som lysåpninger, det vil si netto avstand mellom oppleggene som bjelkene er lagt på. Figur 2.2 viser prinsipptegning av et bjelkelag uten himling, med tverravstiver montert inntil en vertikal midt i spennet.



Figur 2.2

Enkelt bjelkelag med tverravstiver på midten uten himling

Tabell 2.2

Orienterende spennvidder som kan oppnås for bjelkelag av fagverksbjelker med gurter av 98 mm × 48 mm konstruksjonstrevirke klasse C30 og størst mulig tverravstiver midt i spennet.

Bjelkehøyde mm	Dimensjon til tverravstiver, mm x mm	Lysåpning i meter ved bjelkeavstand c/c 600 mm
300	48 x 198	5,15
350	48 x 248	5,8
400	48 x 300	6,4
450	48 x 350	7,0
500	48 x 400	7,5
550	48 x 450	8,05
600	48 x 500	8,5

* Tabellen gjelder for etasjeskillere til brukskategori A og B i henhold til NS-EN 1991-1-1 (maks 3,0 kN/m² nyttelast), med egenlast inntil 0,7 kN/m² og tilleggslast fra lette skillevegger. Løsningen inkluderer et overgolv med parkett, isolasjon, lekter og ett platelag i himling. Tabellen gjelder samtidig for etasjeskillere i mindre rom med egenlast 2,6 kN/m², for eksempel med ca. 50 mm påstøp, forutsatt at nyttelasten er maks 2,0 kN/m² og uten tilleggslast fra skillevegger.

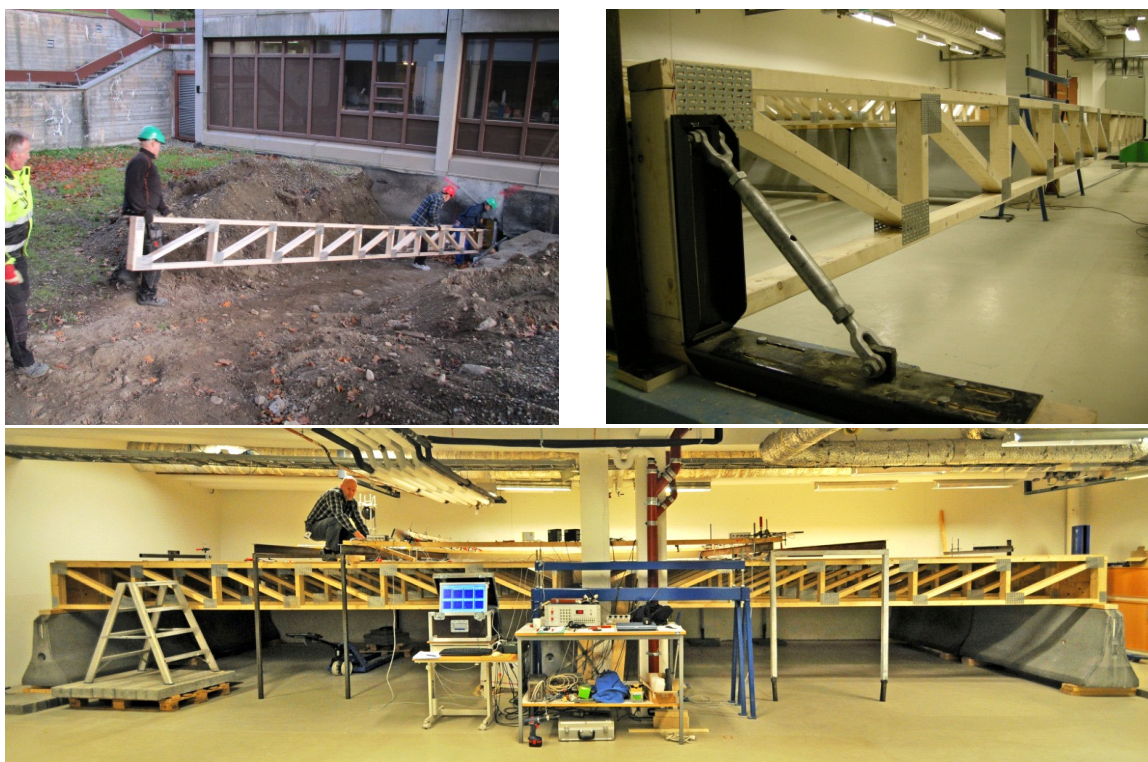
3. Doble spenn

3.1 Målinger

I dette prosjektet har det blitt gjennomført en større måleserie i laboratorium med kontinuerlige gitterbjelker over to spenn. Hensikten med måleopplegget har vært todelt:

- bestemme en faktor for enkel beregning av maksimal spennvidde til kontinuerlig bjelkelag basert på spennvidde for et enkelt spenn
- sammenligne måleresultater med beregning av samme bjelkelagsløsning

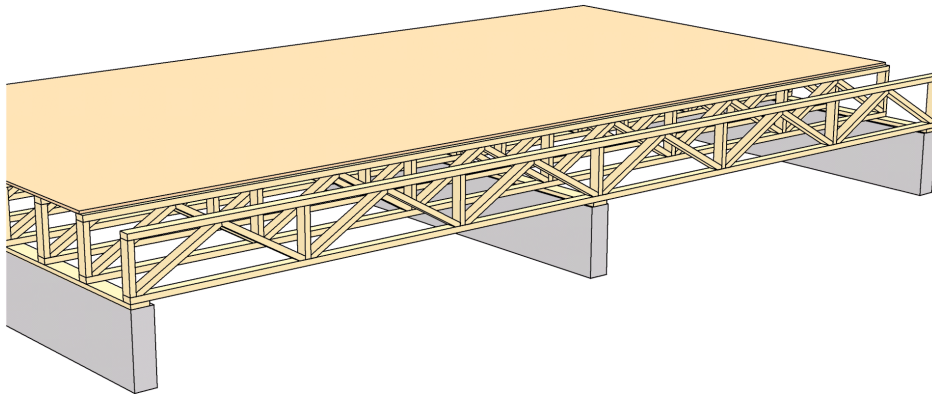
Figur 3.1 viser bilder av enkeltbjelke transportert inn i laboratorium, enkeltbjelke i testrigg og hele bjelkelaget installert med instrumentering.



Figur 3.1
Opprigging og måling av gitterbjelkelag med total lengde 12 m

Gitterbjelkene var dimensjonert av Bjørn Norum ved PBM og produsert av Støren Treindustri høsten 2011. Det var valgt en total bjelkelengde på 11,99 m og en høyde på 500 mm. I testriggen ble 7 enkeltbjelker målt individuelt i testriggen, se figur 3.1. Målte parametre var nedbøyning under punktlast og laveste egenfrekvens. Ved montering i bjelkelaget ble bjelkene sortert ut fra målingene slik at bjelker med minst forskjell i stivhet ble plassert på midten av bjelkelaget.

Bjelkelaget ble montert fritt opplagt på opplegg i hver ende med en 148 mm bred svill på betongfundament. Samme type opplegg ble brukt som midtopplegg på en slik måte at det kunne frigjøres og flyttes til en annen posisjon. Figur 3.2 viser prinsipptegning med kontinuerlig bjelkelag over to spenn. Tabell 3.1 viser en oversikt over målevariantene for oppmontert bjelkelag.

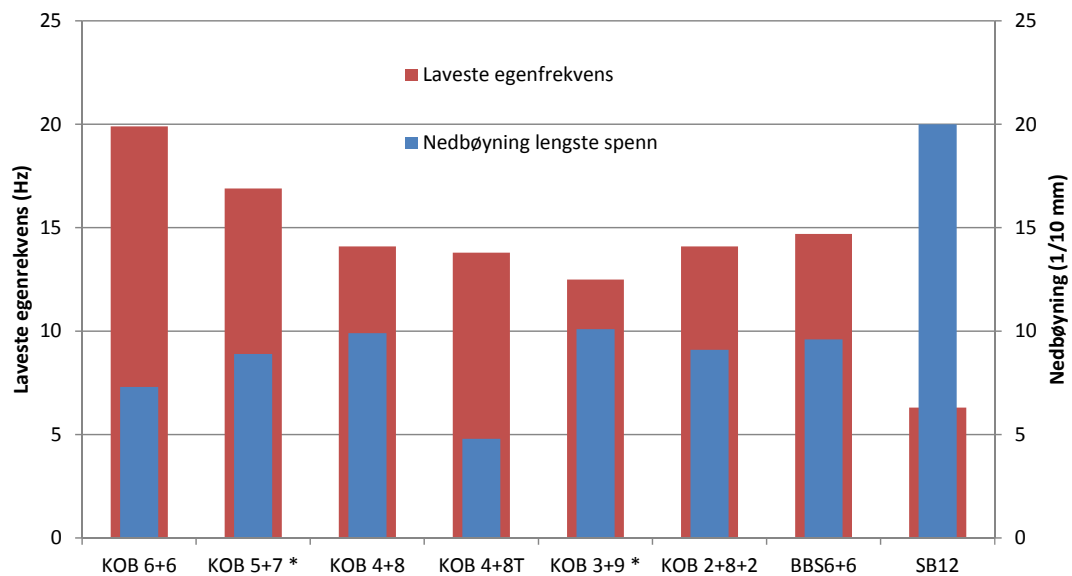


Figur 3.2
Prinsipptegning med kontinuerlig bjelkelag over to spenn

Tabell 3.1
Målevarianter med kontinuerlig bjelkelag

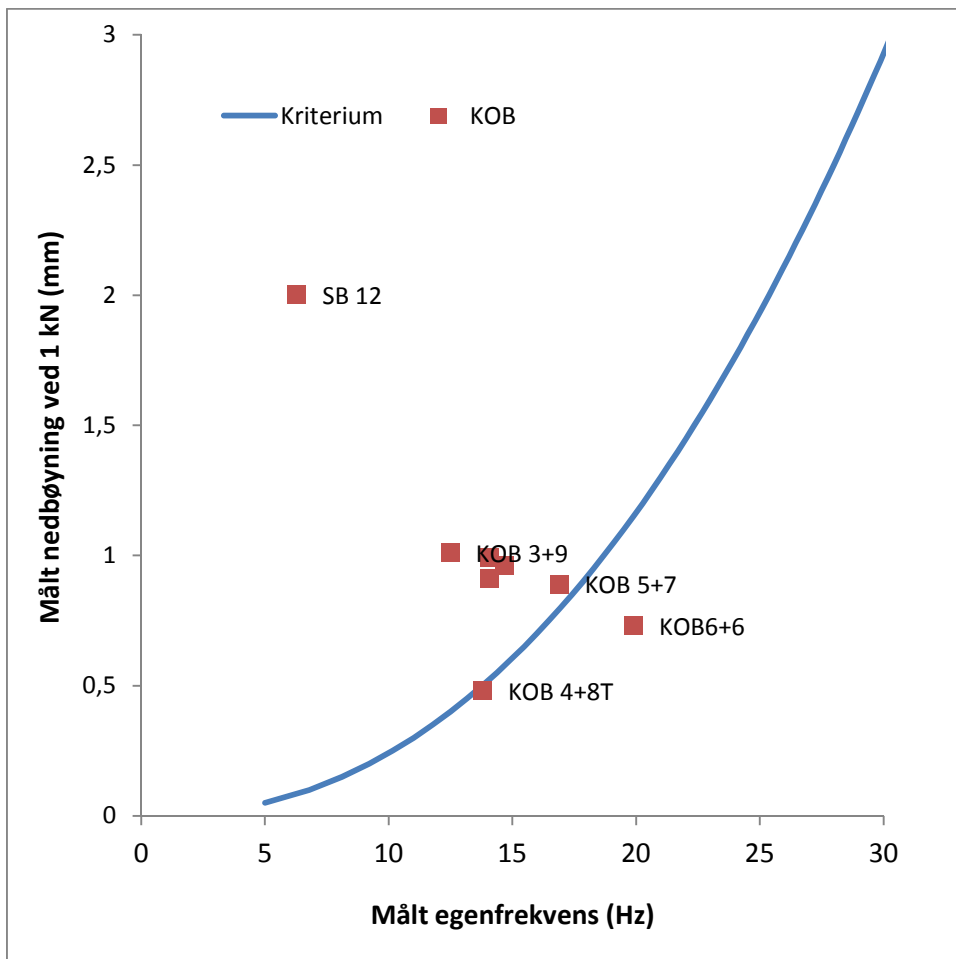
Variant	Lysåpning spenn 1 / spenn 2 meter	Kommentar
KOB 6+6	5,77 / 5,78	Bærebjelke på søyle i hver ende Tverravstiver midt i lengste spenn
BBS 6+6	5,77 / 5,78	
KOB 5+7	4,78 / 6,77	
KOB 4+8	3,78 / 7,77	
KOB 4+8T	3,78 / 7,77	
KOB 3+9	2,77 / 8,78	
KOB 2+8+2	1,9 / 7,75 / 1,9	Enkelt spenn
SB12	11,7	

Figur 3.3 viser målte verdier for statisk nedbøyning ved 1 kN punktlast og laveste egenfrekvens for varianter fra tabell 3.1. Angitte verdier er for lengste spenn. Som forventet øker nedbøyningen markert med økene spennvidde, mens laveste egenfrekvens avtar betydelig med økende spennvidde.



Figur 3.3
Måleresultater for lengste spenn til varianter i tabell 3.1.
* Verdier korrigeret for nedbøyning av overgurt mellom vertikaler

Måleresultatene benyttes til å vurdere om løsningen tilfredsstillende komfortkriteriet og som underlag for å angi en faktor for kontinuerlig spenn i forhold til enkelt spenn. Figur 3.4 viser måleresultatene vurdert i forhold til komfortkriteriet. Tre av variantene er innenfor eller svært nær kriteriekurven. Målte varianter er uten overgolv, isolasjon og himling som gir en økt flatevekt til bjelkelaget. Dobles flatevekten vil laveste egenfrekvens reduseres med en faktor 1/1.414 og spennvidden må reduseres for at bjelkelaget fortsatt skal befinne seg på kriteriekurven.



Figur 3.4
Målte bjelkelagsvarianter vurdert i forhold til komfortkriteriet.

3.2 Beregninger

Beregning av nedbøyning og vibrasjoner er gjennomført ved hjelp av FEM (Finite Element Method) programmet COMSOL. Det er arbeidet mye med hvordan bjelkene og bjelkelaget bør modelleres mot samsvar med måleresultater, se Kolstad (2013) for utfyllende detaljer. Nedenfor er det vist resultater fra to forskjellige måter å modellere bjelkelagskonstruksjonen på.

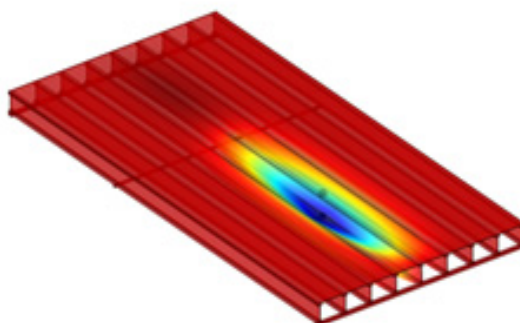
Bøyemodellen

Resultater av COMSOL-beregninger og tilsvarende målinger i laboratoriet for gitterbjelker med høyde 500 mm er vist i tabell 3.2. Figur 3.5 viser eksempel på resultat fra beregning av nedbøyning under 1 kN punktlast.

Tabell 3.2

Resultater for gitterbjelker med høyde 500 mm. Sammenligning av målte og beregnede verdier.

Tilfelle	Nedbøyning under punktlast 1 kN (mm)		Laveste egenfrekvens (Hz)	
	Lab.-måling	COMSOL	Lab.-måling	COMSOL
Enkeltbjelke 12 m	6,8	6,84	9,0	8,3
Enkeltbjelke 8 m (nedkappet)	2,5	2,27	18,9	
Enkeltbjelke 6 m (nedkappet)	1,3	1,08	31,3	
Bjelkelag (ett felt) 12 m	2,00	1,89	6,3	6,6
Bjelkelag (to felt) 6 m + 6 m	0,78 / 0,73	0,52	20,9 / 19,9	23,9



Figur 3.5

Beregning av nedbøyning under 1 kN punktlast for gitterbjelkelag H450 over to felt.

Resultatene for enkeltbjelke med lengde 12 m i tabell 3.2 viser ganske god overenstemmelse mellom lab-måling og COMSOL-analyse. Men for nedkappet bjelke er målt nedbøyning større enn nedbøyning fra COMSOL-analyser.

Resultater for bjelkelag over et felt på 12 m viser også viser ganske god overenstemmelse mellom lab-måling og COMSOL-analyse. Men for bjelkelag over to felt med redusert feltlengde, er avviket mellom målt og beregnet nedbøyning /egenfrekvens betydelig større. Resultatene ovenfor tyder på at en større andel av nedbøyning skyldes skjærdeformasjon av bjelkene.

Gitterbjelkelag med høyde 450 mm og konstruksjonsvirke i fasthetsklasse C30 er analysert med bruk av "Bøyemodellen" og bruk av komfortkriteriet. Som i Byggforskseriens anvisning 522.351, se SINTEF Byggforsk (2011), er det i tillegg til bjelkene og undergulvet tatt hensyn til masse av isolasjon, overgolv og himling. Resultater og sammenligning med verdier fra Byggforskserien 522.351 er vist i tabell 3.3. For COMSOL-analyser er det ingen sideveis fastholdning av nedre flens.

Tabell 3.3

Komfortkriteriet for etasjeskillere med gitterbjelker med høyde 450 mm og senteravstand 600 mm. Sammenligning av COMSOL-analyser med verdier i Byggforskserien 522.351

Tilfelle	Maksimal lysåpning ¹⁾ basert på komfortkriteriet for gitterbjelkelag	
	Verdi i anvisning 522.351	COMSOL analyse med "bøyemodell"
Lysåpning for bjelkelag over et felt	5,98 m	L1 = 5,65 m
Lysåpning for bjelkelag over to like felt	6,28 m (verdi over + 5 %)	6,05 m (L1 + 7 %)
Lysåpning for bjelkelag over to felt med lysåpning i det ene feltet lik 0,5 ganger lysåpning i det andre feltet	-	6,3 m (L1 + 11,5 %)
Lysåpning for bjelkelag over to felt med lysåpning i det ene feltet lik 0,25 ganger lysåpning i det andre feltet	-	6,50 m (L1 + 15 %)

¹⁾ Lysåpning for største felt ved kontinuerlig bjelkelag over to felt

Sammenlignes resultatene fra tabell 3.3 med spennvidder i tabell 2.2 ser vi at denne beregningsmodellen gir noe kortere spennvidder med ett felt, noe avvik i forhold til måleresultater, men markert virkning av midtopplegg.

Skjærmodellen

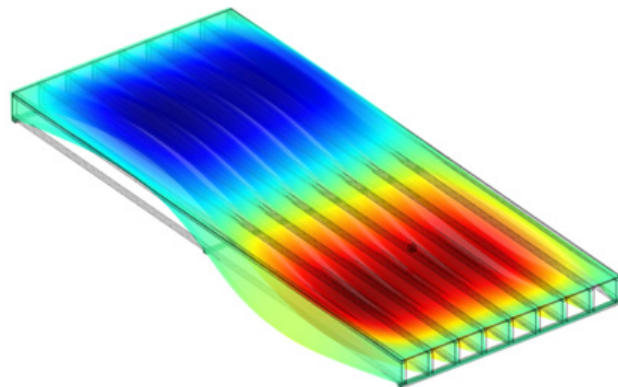
Resultater av COMSOL-beregninger og tilsvarende målinger i lab for gitterbjelker med høyde 500 mm er vist i tabell 3.4.

Tabell 3.4

Resultater for gitterbjelker med høyde 500 mm. Sammenligning målte og beregnede verdier.

Tilfelle	Nedbøyning under punktlast 1 kN (mm)		Laveste egenfrekvens (Hz)	
	Lab.-måling	COMSOL	Lab.-måling	COMSOL
Enkeltbjelke 12 m	6,8	6,80	9,0	8,4
Enkeltbjelke 8 m (nedkappet)	2,5	2,48	18,9	17,0
Enkeltbjelke 6 m (nedkappet)	1,3	1,32	31,3	29,5
Bjelkelag (et felt) 12 m	2,00	2,03	6,3	6,6
Bjelkelag (to felt) 9 m + 3 m	1,01	1,19	12,5	12,2
Bjelkelag (to felt) 8 m + 4 m	0,99	1,02	14,1	14,2
Bjelkelag (to felt) 6 m + 6 m	0,78 / 0,73	0,72	20,9 / 19,9	20,9

Som resultatene i tabell 3.4 viser, er det god overenstemmelse mellom lab.-målinger og COMSOL-analyser, både for enkeltbjelker og bjelkelag, og for nedbøyning og laveste egenfrekvens. Figur 3.6 viser eksempel på resultat fra beregning av egenfrekvens til gitterbjelkelag over to likefelt.



Figur 3.6
Beregning av egenfrekvens til gitterbjelkelag H500 over to like felt.

Gitterbjelkelag med høyde 500 mm og konstruksjonsvirke i fasthetsklasse C30 er analysert med bruk av "Skjærmodellen" og bruk av komfortkriteriet. Som i Byggforskseriens anvisning 522.351 er det i tillegg til bjelkene og undergulvet tatt hensyn til masse av isolasjon, overgolv og himling. Resultater og sammenligning med verdier fra Byggforskserien 522.351 er vist i tabell 3.5 nedenfor.

Tabell 3.5
Komfortkriteriet for etasjeskillere med gitterbjelker med høyde 500 mm og senteravstand 600 mm. Sammenligning av COMSOL beregninger med verdier i Byggforskserien 522.351

Tilfelle	Maksimal lysåpning ¹⁾ basert på komfortkriteriet for gitterbjelkelag	
	Verdi i anvisning 522.351	COMSOL analyse med "skjærmodell"
Lysåpning for bjelkelag over et felt	6,4 m	L1 = 5,20 m
Lysåpning for bjelkelag over to like felt	6,72 m (verdi over + 5 %)	5,70 m (L1 + 10 %)
Lysåpning for bjelkelag over to felt med lysåpning i det ene feltet lik 0,5 ganger lysåpning i det andre feltet	-	5,85 m (L1 + 12,5 %)
Lysåpning for bjelkelag over to felt med lysåpning i det ene feltet lik 0,25 ganger lysåpning i det andre feltet	-	5,85 m (L1 + 12,5 %)

¹⁾ Lysåpning for største felt ved kontinuerlig bjelkelag over to felt

Sammenlignes resultatene fra tabell 3.5 med spennvidder i tabell 2.2 ser vi at denne beregningsmodellen gir vesentlig kortere spennvidder med ett felt, god overensstemmelse med måleresultater, og en markert virkning av midtopplegg.

Bruk av "Skjærmodellen" gir bedre samsvar med måleresultatene enn bruk av "Bøyemodellen". Dette indikerer at skjærdeformasjon tydelig påvirker egenskapene til gitterbjelkelaget. Det anbefales derfor at beregningsresultatene benyttes med varsomhet inntil årsakssammenhengene er nærmere avklart.

3.3 Løsninger uten tverravstivere

Måleresultater fra pkt. 3.1 er benyttet til å vurdere hvor mye spennvidden kan økes når det benyttes kontinuerlig bjelke over et midtopplegg, se prinsipptegning i figur 3.2. Som nevnt i pkt. 3.1 må måleresultatene korrigeres for en økt flatevekt for at de skal være sammenlignbare med angitte tabellverdier, noe som gir redusert spennvidde. Resultatene viser at spennviddene må være tilnærmet de samme som ved enkelt spenn. Tabell 2.1 bør derfor benyttes som utgangspunkt for spennvidder også med et midtopplegg tilnærmet midt i spennet. Når korteste spenn blir 2-3 m vil man få en innspenningseffekt som kan gi en liten økning av lengste spenn i forhold til disse verdiene. Resultatene viser at skjærdeformasjonen ved midtopplegget har en markert innvirkning ved de gjennomførte målingene.

3.4 Løsninger med tverravstivere

På tilsvarende måte som i pkt. 3.3 har vi benyttet måleresultater fra kap. 3.1 til å vurdere hvor mye spennvidden kan økes når det benyttes kontinuerlig bjelke over et midtopplegg med tverravstiver midt i spennet. Som nevnt i pkt. 3.1 må måleresultatene korrigeres for en økt flatevekt for at de skal være sammenlignbare med angitte tabellverdier. Resultatene viser at spennviddene må være tilnærmet de samme som ved enkelt spenn. Tabell 2.2 bør derfor benyttes som utgangspunkt for spennvidder også med et midtopplegg tilnærmet midt i spennet. Resultatene viser at skjærdeformasjonen ved midtopplegget har en markert innvirkning ved de gjennomførte målingene.

3.5 Bærebjelke og søyler

I prosjektet ble det også gjennomført en måling hvor kontinuerlig bærevegg midt i spennet ble erstattet med en bærebjelke på to søyler. Bærebjelken ble dimensjonert etter vanlige prinsipper som ga en dimensjon på 140 mm x 315 mm med spennvidde (lysåpning) 3,6 m. Hovedresultater fra målingene sammenlignet med samme løsning på kontinuerlig bærevegg er vist i tabell 3.6.

Tabell 3.6

Resultater fra måling med kontinuerlig bærevegg sammenlignet med bjelkelaget på bærebjelke og søyler.

Opplegg ved 6 m	Gjennomsnitt for begge lysåpningene	
	Nedbøyning (mm)	Laveste egenfrekvens (Hz)
KOB: Stiv bærevegg	0,76	20,2
BBS: Bærebjelke på søyler	0,88	14,7 (20,3)
BBS korrigeret for nedbøyning på bærebjelke *	0,79	-

* Målt gjennomsnitt $\Delta = 0,16$ mm

Last over midtre bærebjelke $\Delta = 0,4$ mm

Som resultatene i tabell 3.6 viser gir bærebjelken økt nedbøyning. Bærebjelke på søyle introduserer et nytt svingemønster bestemt av stivhet til bærebjelken, lysåpning og lastsituasjon. I dette tilfellet blir egenfrekvensen for dette systemet vesentlig lavere enn hva som måles i spennretningen for gitterbjelkene. Amplituden er også på nivå med egenfrekvensen for gitterbjelken, og ved vurdering av komfortegenskapen blir løsningen på uakseptabel side av kurven vist i figur 3.4. Laveste egenfrekvens for systemet med bærebjelke på søyle kan overslagsmessig beregnes etter følgende formel:

$$f_0 = \frac{9,87}{2 \times \pi} \sqrt{\frac{EI}{m \times L^4}}$$

EI = Stivhet til bærebjelke

m = last på bærebjelke (kg/m)

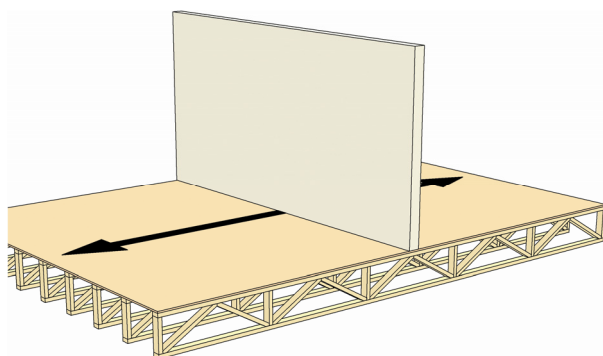
L = lysåpning (m)

Beregnet verdi er i dette tilfellet 15,8 Hz som er akseptabelt sammenlignet med målt verdi. Målingene med bærebjelke på søyler viser derfor at man bør gjøre en kontroll av nedbøyning og egenfrekvens ved slike løsninger. Komfortkriteriet bør benyttes på tilsvarende måte som for bjelkelaget for øvrig. Ved resultat på ugunstig side av kriteriekurven, se figur 3.4, bør man øke bærebjelkens stivhet eller redusere lysåpningen mellom søylene.

4. Ikke-bærende vegger

4.1 Tverrgående vegger

Ikke-bærende vegger som settes på tvers av bjelkelaget vil gi en avstivende effekt når veggene plasseres omtrent midt i spennet, og forutsatt at veggen er stiv i veggplanet og er festet til bjelkelaget. Prinsippløsning er vist i figur 4.1.

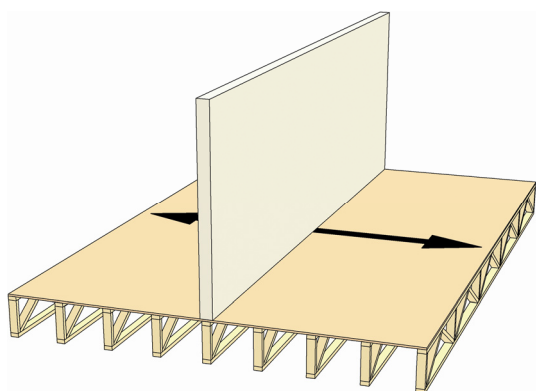


Figur 4.1
Ikke-bærende, stiv vegg montert på tvers av bjelkelaget.

Målinger fra både laboratorieforsøk og felt viser at avstivningen er minst like effektiv som en løsning med en maksimal tverravstiver i gitterbjelkelaget. Tverrgående vegg øker også dempingen i golvet. Hvis løsningen benyttes der man er sikker på at veggen ikke fjernes ved ominnredning av bygget kan man benytte spennvidder for bjelkelag med tverravstiver, se eksempler i tabell 2.2.

4.2 Langsgående vegger

Ikke-bærende vegger som plasseres i lengderetningen av bjelkelaget, på over- eller undersiden, vil gi en viss avstivende effekt. Prinsippløsning er vist i figur 4.2.



Figur 4.2
Ikke-bærende, stiv vegg montert i lengderetningen av bjelkelaget.

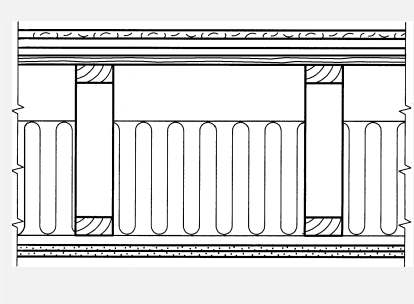
Selv om veggene er stive i veggplanet og er festet til bjelkelaget vil den avstivende effekten og økt demping bare være av betydning for de nærmeste 2-3 bjelkene. Dersom tverrstivheten til bjelkelaget øker antar vi at fordelene mht. nedbøyning og vibrasjoner vil være fordelaktig for en større del av golvflaten. Virkningen av en slik løsning kan altså være begrenset, og man bør derfor ikke basere komfortegenskapene på denne effekten. På grunn av at veggen er ikke-bærende kan den også fjernes ved ominnredning av bygget.

5. Lyd og branntekniske løsninger

5.1 Lette konstruksjoner

Tabell 5.1 viser en løsning med gitterbjelker som kan tilfredsstillte anbefalte grenseverdier for lyd-isolasjon til skillekonstruksjon mellom boliger med $R'_w + C_{50-5000} \geq 55$ dB og $L'_{n,w} + C_{i,50-2500} \leq 53$ dB. Overgolvet oppbygging er angitt i figuren. Ved alle variantene er det benyttet gitterbjelker med høyde ≥ 400 mm, minimum 200 mm isolasjon i hulrommet, lydbøyle eller akustikkprofil festet til bjelker og 2 platelag gips på undersiden. Benyttes det 2 lag branngips i himling vil brannmotstand minst tilsvare REI 60. Lydisolasjonen vil også være avhengig av hvilken type yttervegg bjelkelaget legges på og type midtbæring, se pkt. 5.3.

Tabell 5.1
Gitterbjelkelag med spaltegolv. Målte lydisolasjonsverdier.

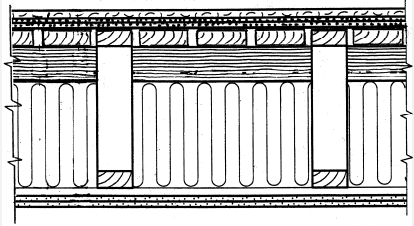
Snitt, basiskonstruksjon	Oppbygging	Luftlyd $R'_w + C_{50-5000}$ dB	Trinnlyd $L'_{n,w} + C_{i,50-2500}$ dB	Tilfreds- stiller
	22 mm sponplate 24 mm porøs plate 21 mm spaltegolv	forsøkshus $\geq 64 - 5$	forsøkshus 44 + 6	Anbefalt verdi
	parkett 22 mm sponplate 13 mm gipsplate 12 mm porøs plate 21 mm spaltegolv	bygning ¹⁾ : 64 - 2	bygning ¹⁾ : 51 + 2	Anbefalt verdi
			bygning 53 + 3	Lydklasse C

¹⁾ Bærebjelke og søyler ved midtbæring uten fast forbindelse til vegger, forøvrig vanlige bindingsverksvegger

Tabell 5.2 viser en løsning med gitterbjelker som kan tilfredsstillte anbefalte grenseverdier som nevnt over. Overgolvet oppbygging er angitt i figuren. Porøs plate er lagt på 48 mm tykk langs-gående plank, som ligger på tverravstivere festet til gitterbjelkenes overgurt og vertikaler. Ved alle variantene er det benyttet gitterbjelker med høyde ≥ 400 mm, minimum 200 mm isolasjon i hulrommet, lydbøyle eller akustikkprofil festet til bjelker og 2 platelag gips på undersiden. Benyttes det 2 lag branngips i himling vil brannmotstand minst tilsvare REI 60. Lydisolasjonen vil også være avhengig av hvilken type yttervegger bjelkelaget legges på og type midtbæring, se pkt. 5.3.

Tabell 5.2

Gitterbjelkelag med langsgående plank på tverravstivere. Målte lydisolasjonsverdier.

Snitt, basiskonstruksjon	Oppbygging	Luftlyd $R'_w + C_{50-5000}$ dB	Trinnlyd $L'_{n,w} + C_{i,50-2500}$ dB	Tilfreds- stiller
	22 mm sponplate 24 mm porøs plate	forsøkshus 67 – 4	forsøkshus 46 + 4	Anbefalt verdi
	parkett 22 mm sponplate 2 x 13 mm gipsplate 24 mm porøs plate	bygning ¹⁾ : 63 – 1	bygning ¹⁾ : 47 + 4	Anbefalt verdi
	parkett 22 mm sponplate 13 mm gipsplate 24 mm porøs plate	bygning ²⁾ : 62 - 2	bygning ²⁾ : a) 51 + 4 b) 49 + 8	Lydklasse C

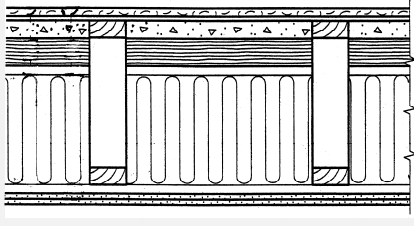
¹⁾ Bærebjelker og søyler for hele etasjen uten fast forbindelse til underliggende vegger²⁾ Bjelkelag lagt opp på bindingsverksvegger

5.2 Semi-tunge konstruksjoner

Tabell 5.3 viser en løsning med gitterbjelker som kan tilfredsstillende lydklasse B i NS 8175 mellom boliger, dvs. med $R'_w + C_{50-5000} \geq 58$ dB og $L'_{n,w} + C_{i,50-2500} \leq 48$ dB. Overgolvet oppbygging er angitt i figuren. Porøs plate er lagt på 50 mm betong heller eller 60 mm påstøp, som ligger på tverravstivere festet til gitterbjelkenes overgurt og vertikaler. Ved alle variantene er det benyttet gitterbjelker med høyde ≥ 400 mm, minimum 200 mm isolasjon i hulrommet, lydbøyle eller akustikkprofil festet til bjelker og 2 platelag gips på undersiden. Benyttes det 2 lag branngips i himling vil brannmotstand minst tilsvare REI 60. Lydisolasjonen vil også være avhengig av hvilken type yttervegger bjelkelaget legges på og type midtbæring, se pkt. 5.3.

Tabell 5.3

Gitterbjelkelag med heller/betong. Målte lydisolasjonsverdier.

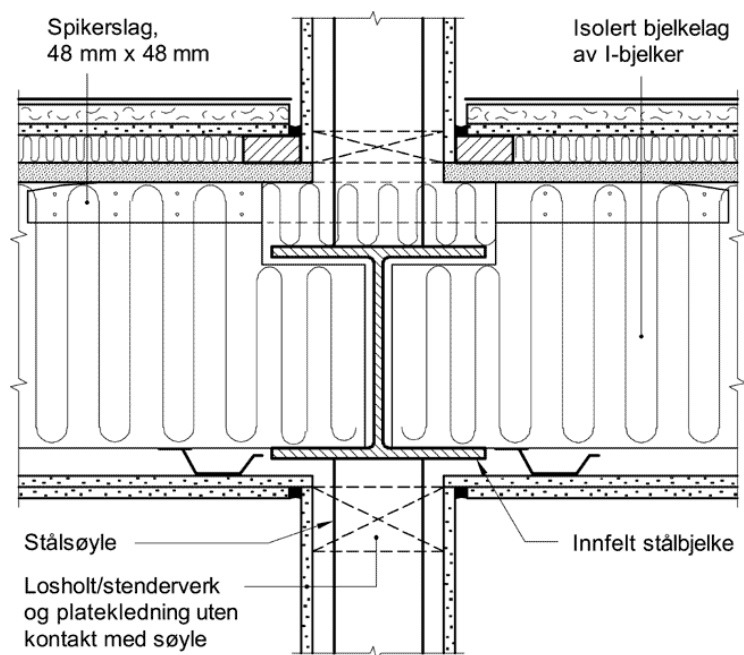
Snitt, basiskonstruksjon	Oppbygging	Luftlyd $R'_w + C_{50-5000}$ dB	Trinnlyd $L'_{n,w} + C_{i,50-2500}$ dB	Tilfreds- stiller
	22 mm sponplate 12 mm porøsplate 50 mm betongheller på tverravstivere	forsøkshus $\geq 63 -$	forsøkshus 40 + 6	Lydklasse B
	flis eller vinyl 60 mm påstøp på duk 13 mm gipsplate 12 mm porøs plate 22 mm sponplate tverravstivere	–	bygning ¹⁾ : med flis: 49+0 med vinyl: 42+2	Lydklasse B med vinyl

¹⁾ Bærebjelke og søyler ved midtbæring uten fast forbindelse til vegger, forøvrig vanlige bindingsverksvegger

5.3 Oppleggsdetaljer

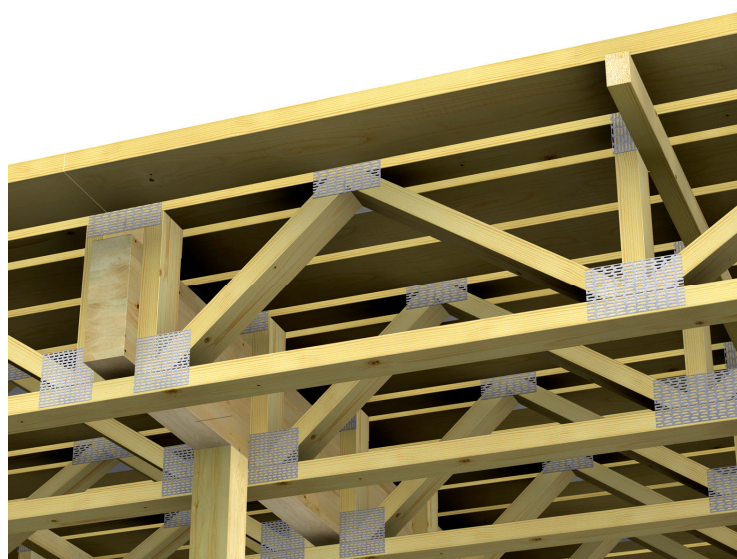
Lydisolasjon som oppnås med lette konstruksjoner er svært avhengig av hvordan oppleggsdetaljene utføres. Det er spesielt forbindelsene mellom bærende konstruksjonsdeler, dvs. knutepunktene og hvordan platekledningene er festet til bærende konstruksjonsdeler som er kritiske. For slike lette sammensatte konstruksjoner eksisterer det ikke beregningsverktøy, dvs. pålitelige modeller som tar hensyn til bjelkelag lagt på lette bærevegger, utforinger, bærebjelker osv. Detaljløsninger som vises er derfor basert på erfaringsdata fra feltmålinger. I SINTEF Byggforsk (2001) vises en del generelle oppleggsdetaljer som også gjelder for gitterbjelkelag.

Resultater vist i tabell 5.1 og 5.2 viser at trinnlydisolasjonen kan forbedres med opptil 5 dB når midtbærevegg erstattes av skjult bærebjelke og søyle som ikke er i kontakt med platekledninger til vegg. Av den grunn anbefaler vi ikke opplegg av bjelkelag på en bærende vegg av bindingsverk. Anbefalt detalj er vist i figur 5.1 og 5.2.



Figur 5.1

Anbefalt løsning med bjelkelag på bærebjelke av stål og frittstående søyle, prinsipp som i figur 5.2.



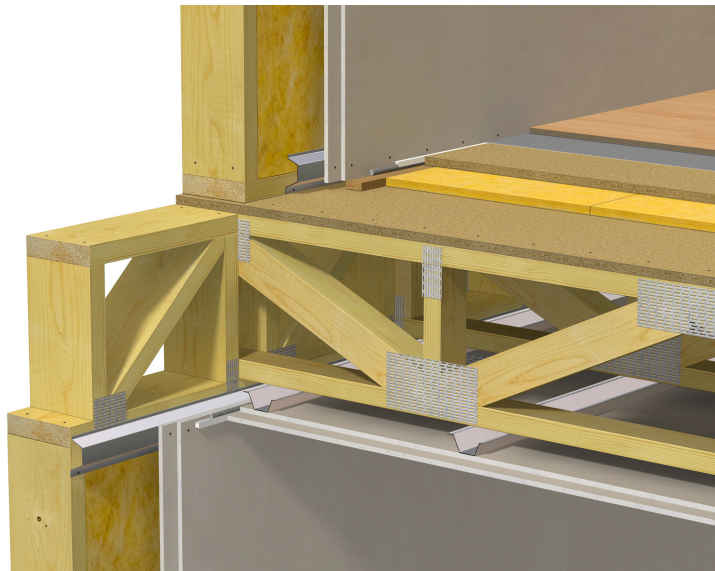
Figur 5.2

Anbefalt løsning med integrert limtrebjelke på søyler.

Dersom man benytter tilsvarende løsning ved yttervegger, dvs. opplegg på bærebjelker understøttet av søyler i relativt stor avstand, antar vi at man kan oppnå ennå lavere trinnlydisolasjon. Luftlydisolasjonen påvirkes også av disse detaljløsningene, men det er vanligvis en god margin mellom grenseverdi og oppnådd resultat i ferdig bygg.

Når bjelkelaget legges opp på bærevegger i bindingsverk vil lydisolasjonen være avhengig av hvor mange løpemetere det er av en slik veggtype mot underliggende rom i forhold til selve skilleflatens areal. For eksempel vil bjelkelag opplagt på to langvegger i rommet gi dårligere lydisolasjon enn om bjelkelaget legges opp på en av de korte veggene i rommet.

Figur 5.3 viser en detaljløsning der bærevegg møter lydisolerende bjelkelag. Tilsvarende løsning kan man benytte med lydisolerende bjelkelag lagt opp på en lydskillevegg. Ved å legge til en tilsvarende løsning i en dobbeltveggkonstruksjon (med klaring i mellom) får man en dobbeltvegg uten forbindelser som sikrer lydisoleringen sideveis. Ved å montere akustikkprofil/lydskinner på veggene over og under vil man sikre at lydgjennomgangen vertikalt (fra bindingsverk oppe, gjennom knutepunkt og til bindingsverk nede) blir tilstrekkelig lav. I bygg med flere etasjer er det fordelaktig å utnytte skilleveggen til vindavstiving. Benytter man en gitterbjelke som kantbjelke som vist i figur 5.3, oppnår man en kontinuerlig avstiving av veggene over flere etasjer.



Figur 5.3
Oppleggsdetalj i knutepunktet mellom bærende yttervegg/lydisolerende skillevegg og lydisolerende bjelkelag.

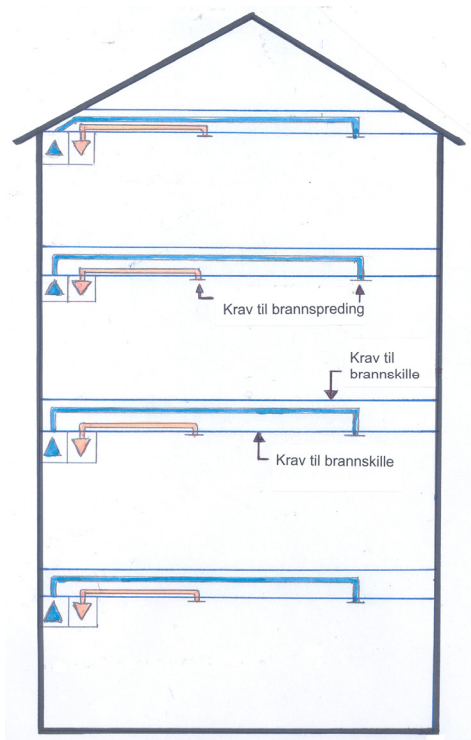
6. Tekniske installasjoner

6.1 Generelt

Føring av ventilasjonskanaler i gitterbjelkelag er svært aktuelt i nye bygg hvor det vanligvis installeres balansert ventilasjon. Innenfor samme boenhet hvor det ikke er forskriftskrav vedrørende lyd og brann er det svært fordelaktig å utnytte de fleksible mulighetene for kanalføringer i denne typen bjelkelag. I situasjoner hvor det er krav til lyd og brann må det velges preaksepterte løsninger eller man må dokumentere at kravene tilfredsstilles på annen måte. I prosjektet er det gjennomført en studie av mulighetene for å tilfredsstille lyd og brannkrav med utgangspunkt i krav til lydisolasjon mellom boenheter og bygning inntil 4 etasjer, dvs. brannklasse 2 og risikoklasse 4, se blant annet Friquin (2012).

6.2 Kanaler over himling

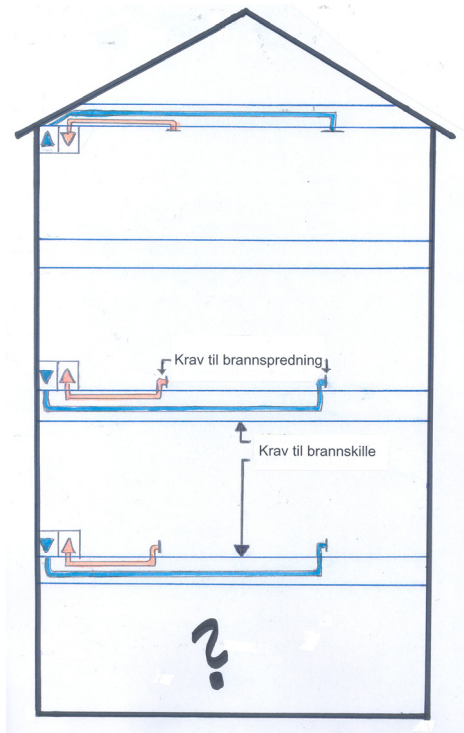
Figur 6.1 viser prinsippskisse ved en montering av kanaler over himling til egen boenhet. Brann-tekniske forhold kan i prinsippet løses ved hjelp av selvlukkende brannspjeld. Føring av kanal gjennom lydhimling (fjærende opphengt) innebærer stor risiko for svekkelse av lydisolasjonen både, på grunn av utettheter, lyd inn i kanal og mulig kortslutning av fjærende himling. En slik løsning frarådes. En alternativ løsning er å føre kanaler ned i innvendige lettvegger slik at man unngår direkte utettheter i lydhimling og kortslutning av fjærende himling. Løsningen bør imidlertid dokumenteres mht. brann og prøves mht. lydisolasjon.



Figur 6.1
Prinsippskisse med kanaler over himling. Ikke anbefalt løsning ved brann- og lydkrav.

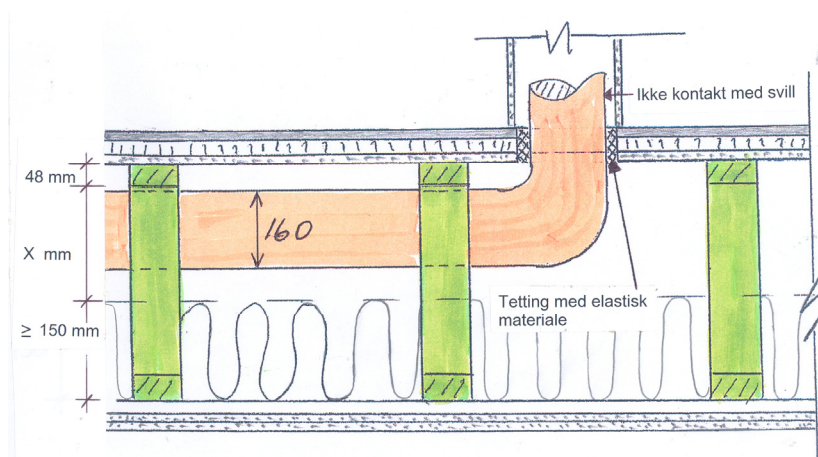
6.3 Kanaler ned i golv

Figur 6.2 viser prinsippskisse for montering av kanaler i golv til egen boenhet. Brann tekniske forhold løses ved tilstrekkelig ubrennbar isolasjon mellom himlingsplater og kanaler. Man unngår på denne måten hulltaking i himling, som kan ha store konsekvenser for lyd og brann, se pkt. 6.2. Løsningen forutsetter at det er en elastisk og tett forbindelse mellom kanal og golvplater for å unngå svekkelse av lydisolasjonen. Røret kan festes fast til bjelkene, for eksempel til gitterbjelkenes overgurt, eller henge de opp i en gummiring. Skisse av løsning med kanal på tvers av bjelker uten tverravstiver er vist i figur 6.3 og 6.4, mens løsning med kanal parallelt bjelker med tverravstiver er vist i figur 6.5. Beregninger viser at brannmotstanden blir ivaretatt med minst 150 mm steinull under kanalene.



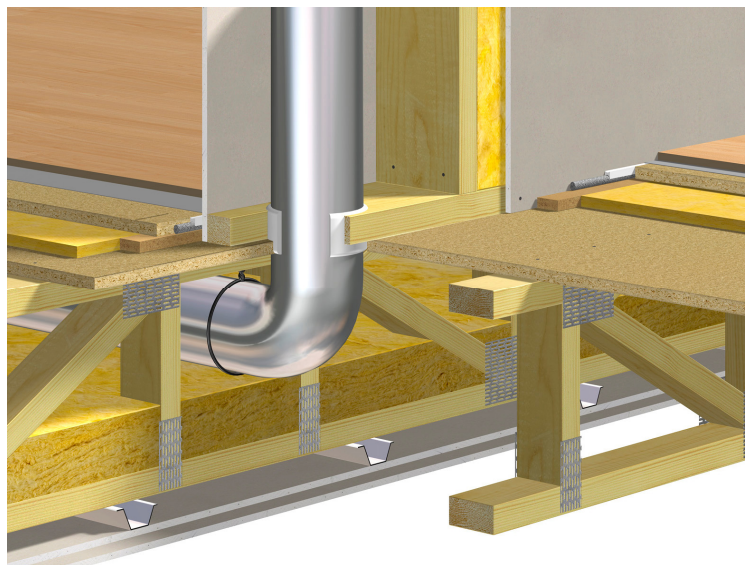
Figur 6.2

Prinsippskisse med kanaler i golv. Løsningen kan benyttes i kombinasjon med skisse i figur 6.3/6.4, unntatt i leilighet med golv på grunn.

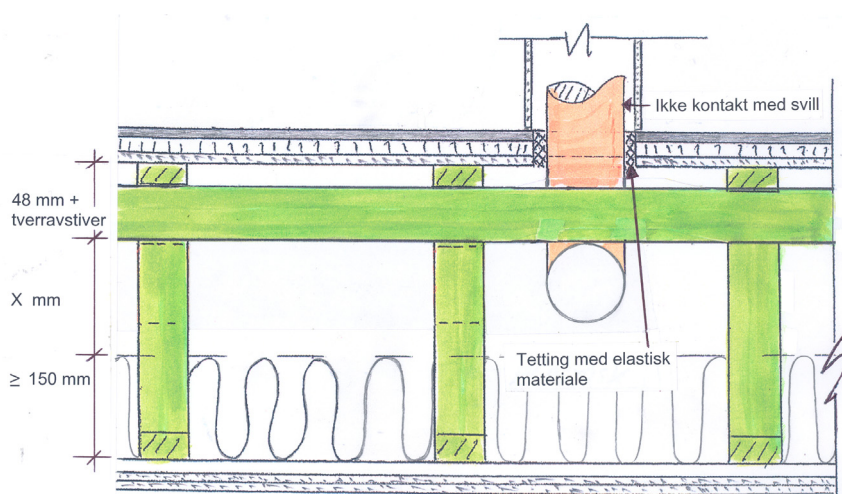


Figur 6.3

Kanal på tvers av bjelkelaget ved gjennomføring i golv.



Figur 6.4
 Detalj av kanal på tvers av bjelkelaget ved gjennomføring i golv.



Figur 6.5
 Kanal parallelt bjelker med tverravstiver ved gjennomføring i golv. Rør hengt opp i en gummiring.

Tabell 6.1 viser hvilke bjelkehøyder som er nødvendig når det skal være plass til 150 mm mineralull under kanaler med og uten tverravstivere i bjelkelaget.

Tabell 6.1
 Nødvendige bjelkehøyder for å få plass til kanal, isolasjon og ev. tverravstiver

Konstruksjon	Minste bjelkehøyde	
	Ø 125 mm	Ø 160 mm
Bjelkelag uten tverravstiver eller bjelkelag med tverravstiver og kanal på tvers av bjelker	375 mm	410 mm
Bjelkelag med tverravstiver når kanal legges parallelt bjelker	470 mm	505 mm

7. Oppsummering

Prosjektrapporten gir en oppsummering av brukte resultater fra prosjektet "Moderne Bjelkelag". Flere detaljer fra prosjektet finnes i diverse notater. Resultater fra prosjektet har også blitt formidlet ved en rekke foredrag og artikler, se Homb (2011 til 2013), Homb, Hveem & Time (2011) og Kolstad (2013). Hovedmålet med prosjektet har vært å utvikle kunnskaper om golvløsninger med gitterbjelker og ulike oppleggs-løsninger, blant annet lastbæring i to retninger. Det har også vært arbeidet med utvikling av komplette golvkonstruksjoner med integrering av tekniske installasjoner.

I prosjektet er det gjennomført en rekke laboratoriemålinger for å se virkningen av kontinuerlig bjelke over et midtopplegg og bruk av bærebjelke. I rapporten gir vi en anbefaling av hvilke spennvidder som kan benyttes for ulike situasjoner, se kap. 2 og kap. 3. For løsninger med bærebjelke anbefaler vi å benytte komfortkriteriet på tilsvarende måte som for bjelkelag generelt. Vurderingen baseres på beregning av laveste egenfrekvens og nedbøyning med en punktlast på 1 kN midt i spennet for bærebjelken.

Beregning av nedbøyning og vibrasjoner er gjennomført ved hjelp av FEM (Finite Element Method) programmet COMSOL. Det har vært krevende å etablere en beregningsmodell med beregningsresultater som samsvarer med måleresultatene. To alternative modeller er benyttet, hhv. *bøyemodellen* og *skjærmodellen*. *Skjærmodellen* har gitt best overensstemmelse med målinger som er gjennomført i prosjektet, men dette gir kortere spennvidder enn hva tidligere beregninger og målinger tilsier. *Bøyemodellen* har gitt resultater i tråd med resultater fra foregående prosjekter, men mangelfullt samsvar med målinger av kontinuerlige bjelkelag over et midtopplegg.

I rapporten gir vi også en vurdering av hvordan ikke-bærende vegger kan bidra med hensyn til spennvidder og demping, og i tabeller vises oppnådde resultater for lydisolasjon til etasjeskillere med gitterbjelker. Erfaringer gjennom en rekke år viser at trinnlydisolasjon er en utfordring. I kap. 5 vises løsninger med gitterbjelker som kan tilfredsstillende anbefalte grenseverdier med hensyn til trinnlydisolasjon.

I gitterbjelkelag ligger det godt til rette for integrering av kanaler og rør på en effektiv måte. I prosjektet er det gjennomført en vurdering av ventilasjonskanaler i forhold til lyd- og brannkrav, se blant annet Friquin (2012). Disse egenskapene kan ivaretas når kanaler går ned i golv, mens vi fraråder kanalføring som går gjennom lydhimling. I prosjektperioden har det blitt oppført flere bygninger med integrerte kanaler, men dette er tilfeller hvor det ikke er spesielle krav til lyd eller brann. I rapporten vises noen aktuelle detaljløsninger med ventilasjonskanaler, og det vises noen detaljløsninger med hensyn bæresystem og lydoverføring ved opplegg.

I løpet av prosjektet har også flere bedrifter investert med hensyn til effektiv prosjektering og produksjon av gitterbjelker. Enkelte bedrifter satser også på leveranse av elementer med gitterbjelker som monteres i bygget direkte fra transport. Utviklingsprosjektet har i samarbeid med bedriftene og Norske Takstolprodusenters Forening bidratt til økt anvendelse av trekonstruksjoner i fleretasjes bygninger i tråd med myndighetenes ønsker.

8. Referanser

- Friquin, K.L. (2012). Moderne trebjelkelag – brannmotstand. Prosjektinternt notat. SINTEF Byggforsk 3D1155, Trondheim 2012.
- 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. (2007). Kriterier for opplevde vibrasjoner i etasjeskillere. *Prosjektrapport 8-2007*. SINTEF Byggforsk. Oslo 2007.
- Homb, A. (2009). Nedbøyning og vibrasjoner til bjelkelag. *Prosjektrapport 49*. SINTEF Byggforsk. Oslo 2009.
- Homb, A. (2011). *On-going projects in Norway*. Presentation at "European Workshop on R&D in Acoustics and Vibration in wood construction". Skogsindustrierna, Stockholm, 17-18. October 2011.
- Homb, A. (2011). *Lyd gjennom trebjelkelag – trebygningers akilleshæl*. Foredrag på seminar "Norsk Tredag 2011". Diverse arrangører, Oslo, 10. november 2011.
- Homb, A. (2012). *Resultater fra prosjektet "Moderne Bjelkelag"*. Foredrag på seminar "Trekonstruksjoner – dimensjonering og detaljering". NTF i samarbeid med Norges Byggskole, Oslo/Kiel, 7. og 8. februar 2012.
- Homb, A. (2012). *Moderne bjelkelag – aktiviteter og resultater*. Workshop NTNU, Trekonstruksjoner, Trondheim 6. juni 2012.
- Homb, A. (2012). *Flaskehalsen for tre i større bygg, fra FOU-synsvinkelen*. Statsbygg seminar, "Tre i offentlige bygg – veien videre", Oslo 4. september 2012.
- Homb, A. (2012). *Vibration measurements*. Presentation, final conference COST-Action FP0702 "Net-Acoustics for timber based lightweight building and elements". Grenoble, France 18th October 2012.
- Homb, A. (2012). *Measurements of floor deflections*. E-book, final conference COST-Action FP0702 "Net-Acoustics for timber based lightweight building and elements". Grenoble, France 18th October 2012.
- Homb, A. (2013). *Gitterbjelkelag, komfortegenskaper ved frie spenn og kontinuerlige bjelker*. Foredrag på seminar "Rasjonell bruk av tre i bygg". NTF i samarbeid med Norges Byggskole, Tromsø, 22. og 23. januar 2013.
- Homb, A., Hveem, S. & Time, B. (2011). *Trinnlyd i trebjelkelag – trebyggeriets akilleshæl*. Tømreren1211.
- Hu, L.J. (2007). Design Guide for Wood-Framed Floor Systems. *Report no. 32 to Canadian Forest Service*. Final Report 2006/2007. Forintek Canada Corp., Σ 111 p.
- Kolstad, S.T. (2013). COMSOL beregninger av gitterbjelkelag. Prosjektinternt notat. SINTEF Byggforsk 3D1155, Trondheim 2013.

Kolstad, S.T. og Homb, A. (2009). Beregning av nedbøyning til trebjelkelag. Vurdering av parametre og beregningsresultater. *Prosjektrapport 37. SINTEF Byggforsk*. Oslo 2009.

Ohlsson, S. (1988). Springiness and human induced floor vibrations. A design guide. *Report D12:1988, Swedish Council for Building Research*. Stockholm 1988.

SINTEF Byggforsk (2001). Lydisolerte trebjelkelag. *Byggforskserien, Byggetaljer 522.511*. SINTEF Byggforsk, Oslo 2001.

SINTEF Byggforsk (2007). Forbedring av stivhet i trebjelkelag. *Byggforskserien, Byggforvaltning 722.528*. SINTEF Byggforsk, Oslo 2007.

SINTEF Byggforsk (2011). Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse. *Byggforskserien, Byggetaljer 522.351*. SINTEF Byggforsk, Oslo 2011.

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.

