

Sigurd Hveem

Trehus i flere etasjer

Lydteknisk prosjektering

Nordisk samarbeid med Per Hammer, Anders Homb, Asko Keronen, Jens Holger Rindel

37 Anvisning 2000

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Sigurd Hveem

Trehus i flere etasjer Lydteknisk prosjektering

Nordisk samarbeid med Per Hammer, Anders Homb,
Asko Keronen, Jens Holger Rindel

Anvisning 37 – 2000

Anvisning 37

Sigurd Hveem

Trehus i flere etasjer

Lydteknisk prosjektering

Nordisk samarbeid med Per Hammer, Anders Homb,
Asko Keronen, Jens Holger Rindel

Emneord:

Trehus

Lydisolering

Støy

ISSN 0332-835X

ISBN 82-536-0684-2

1500 eks. trykt av

PDC Tangen AS

Innmat: 115 g Gallerie Art Silk

Omslag: 240 g Invercote G

© Norges byggforskningsinstitutt 2000

Adr.: Forskningsveien 3 B

Postboks 123 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08 (salg)

Forord

Prosjekteringsanvisningen er utarbeidet innenfor Nordic Wood's hovedprosjekt «Tråhus i flere våningar» som ble gjennomført i to faser i perioden 1995 – 1999. Hovedprosjektet har vært organisert gjennom flere ulike delprosjekter av forsknings- og utviklingskarakter (stabilisering, lyd og svingninger, brann, trebaserte platematerialer, trehusarkitektur, drift og vedlikehold osv.) samt prosjekteringsstøtte og dokumentasjon av en rekke nordiske pilotbygg av fleretasjes trehus. Delprosjektet brann har vært koblet til et annet nordisk prosjekt «Brannsäkra trähus». Grunnlaget for denne prosjekteringsanvisningen er FoU-prosjektet «lyd og svingninger» og erfaringene man har fått gjennom de ulike nordiske pilotbyggene.

Prosjekteringsanvisningen er et nordisk fellesprodukt med bidrag fra Danmark, Sverige, Finland og Norge. Sigurd Hveem, Norges byggforskningsinstitutt (Byggforsk), har hatt hovedansvaret for selve utarbeidelsen. Det ble etablert en nordisk referansegruppe for koordinering av delbidrag og faglig kvalitetssikring. Referansegruppen har bestått av Jens Holger Rindel, Danmarks Tekniske Universitet, Per Hammer, Lunds Tekniska Högskola, Asko Keronen, Tammerfors Tekniska Högskola, Anders Homb, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet/Byggforsk og Sigurd Hveem, Byggforsk. Vi takker styringsgruppen for hovedprosjektet og fagspesialister innen brann og prosjektering av trehus for kommentarer underveis i prosessen.

Finansieringen av hovedprosjektet har skjedd gjennom Nordic Wood som er den nordiske treindustriens forsknings- og utviklingsprogram med målsetting å øke anvendelse av tre. Nordic Wood er initiert av Nordisk Industrifond. Programmet finansieres av den nordiske treindustrien, Nordisk Industrifond og nasjonale forsknings- og utviklingsorgan: Erhvervsfremmestyrelsen i Danmark, TEKES i Finland, Islands Forskningsråd, Island, Norges forskningsråd (gjennom programmet Norwood), Norge og NUTEK i Sverige.

Følgende samarbeidspartnere deltok i hovedprosjektet:
Nordic Timber Council

Fra Sverige:

Södra Timber AB, Skanska AB, Värendshus, Lunds Tekniska Högskola, LTH og Träinformation

Fra Norge:

Block Watne AS og Norges byggforskningsinstitutt, Byggforsk

Fra Danmark:

Cowiconsult, Dansk Teknologisk Institut, DTI og Statens Byggeforskningsinstitut, SBI

Fra Finland:

Helsingfors Tekniska Högskola, HUT og Finnish Wood Research, FWR

Styringsgruppen for hovedprosjektet har bestått av: Thomas Thörnqvist, Södra Timber AB, formann og Gunnar Stone, Skanska AB, Sverige, Hans Jørgen Larsen, Statens Byggeforskningsinstitut, Danmark, Keijo Kolu, Schauman Wood OY, Finland, Svein Gloslie (tidligere Block Watne) og Sverre Tiltnes, Block Watne AS, Norge, som senere er avløst av henholdsvis Bjørn Aage Lunde og Jon Ådalen, Block Watne AS, Norge. Sven Thelander, Lunds Tekniska Högskola, Sverige, har vært prosjektkoordinator.

Vi håper at prosjekteringsanvisningen vil lette arbeidet med den lydtekniske prosjekteringen, og at den vil sikre valg av gode løsninger.

Oslo, mars 2000

Åge Hallquist

Summary in English

Nordic multi-storey timber buildings for residential housing

Design manual and evaluation of sound properties

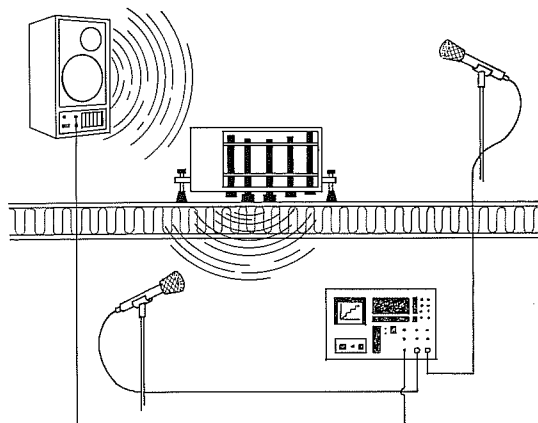
It is generally accepted that noise disturbance from foot-fall noise is one of the greatest challenges in development of multi-storey timber buildings for residential housing. Residents describe this annoyance as low frequency «thumps». This publication focuses on how to design the building to give good sound properties that people are satisfied with. It gives a special attention to the lightweight timber floor constructions: how to ensure good low-frequency impact sound insulation and how it can be measured and evaluated to give a good correlation to subjective scores. The Nordic research programme Nordic R&D project «Multi-storey timber frame buildings» has promoted a large number of pilot-building projects during the last 3 – 4 years. We have compared the results of different solutions that have been chosen and investigated the subjective degree of annoyance related to measuring values. In order to make it possible to evaluate and classify the floors in the pilot building projects and future floor constructions it was necessary to find alternatives to the standard ISO method that had proved to be unsuitable.

The project has financed this publication by the Norwegian Building Research Institute: «Multi-storey timber houses. Acoustic design» (written in Norwegian). This design manual gives examples of the best choice of design including the variety that covers the different building traditions in the Nordic countries securing high-quality acoustic performance. It contains examples of floors and separating walls with connecting details to outer walls, inner walls, separating walls and corridors. It also shows examples of floors in bathroom, staircase, corridors and lift and technical installations (HVAC).

Innhold

Forord	3
1 Innledning	7
2 Definisjoner	9
3 Planlegging av gode lydforhold	11
3.1 Utendørs lydkilder/trafikkstøy	11
3.2 Lokaltrafikk og atkomst	11
3.3 Planløsningstiltak	12
3.4 Flanketransmisjon og lufttetthet	13
4 Lydforhold – krav og anbefalinger	15
4.1 Generelt	15
4.2 Lydisolering og støynivå	16
4.3 Vibrasjoner, svikt og svingninger	17
5 Øvrige funksjonskrav som avgjør konstruksjonsvalg	19
5.1 Bæresystem, setninger og stabilitet	19
5.2 Brannsikring	20
6 Etasjeskiller	21
6.1 Etasjeskiller mellom boenheter	21
6.2 Oppleggsdetaljer og flanketransmisjon	24
7 Skillevegger	25
7.1 Lydskillevegg mellom boenheter	25
7.2 Innvendige skillevegger	26
7.3 Vegger mot korridor	27
8 Hovedkonstruksjoner i pilotbygg	29
8.1 Danmark	29
8.2 Finland	30
8.3 Norge	34
8.4 Sverige	35
8.5 Sammenkoblings- og forankringsdetaljer i pilotbygg	37
8.6 Etasjeskiller for våtrom/husholdningsvaskemaskiner	37
8.7 Altanganger og balkonger	38
9 Måleresultater og subjektiv bedømmelse av lydforhold i pilotbygg	41
9.1 Måleresultater for etasjeskillere	41
9.2 Måleresultater for lydskillevegger	41
9.3 Beboerreaksjoner og bedømmelseskriterier	41
9.4 Eksempler på andre trebjelkelagsløsninger	43
10 Trapperom og heissjakt	45
11 Tekniske installasjoner	47
11.1 Generelt	47
11.2 Vann og avløp	47
12 Litteratur	49

1 Innledning



I det nordiske prosjektet «Trähus i flera våningar» (1995 – 1999) var målsettingen å utvikle teknisk og økonomisk konkurransedyktige bolighus av tre i flere etasjer. Endringer i de nasjonale byggeforskriftene gjorde trehus i flere etasjer mulig. Tidligere var det i flere land generelt forbud mot bruk av brennbart bæresystem i bygninger over to – tre etasjer, men det er nå gitt mulighet for å dokumentere tilstrekkelig brannmotstand. Dette innebærer at bæresystem i tre kan tillates forutsatt at byggverket vil bevare sin stabilitet og bæreevne under et fullstendig brannforløp.

I prosjektet ble det etablert flere støttende forsknings- og utviklingsprosjekter, FoU-prosjekter (stabilisering, lyd og svingninger, brann, trebaserte platematerialer, trehusarkitektur, drift og vedlikehold osv.) som underlag for utvikling av tekniske løsninger. Parallelt med dette ble det også startet separate, nasjonale pilotbyggeprosjekter med mål å løse de utfordringene som skulle muliggjøre bygging av fleretasjes boligblokker i tre.

Delprosjektet akustikk/lyd har vært delt på tre hovedområder: utvikling av beregningsmodeller for trinnlyd (Lunds Tekniska Högskola v/Per Hammer), tekniske løsninger (Norges byggforskningsinstitutt v/Sigurd Hveem) og svingningsegenskaper (Norges byggforskningsinstitutt v/Anders Homb). Hovedproblemene vi har fokusert på, er lavfrekvent trinnlyd og svingninger i bjelkelag. Et annet prioritert område har vært støy fra installasjoner (heis, ventilasjon, vaskemaskiner) og støy fra trapper/atkomstveger. Målsettingen når det gjelder etasjeskiller og lyd, er at egenskapene mest mulig skal tilsvare det som oppnås i boligblokker i betong. Det er en gradvis overgang mellom lavfrekvent, hørbar lyd til lavfrekvente, ikke-hørbare svingninger som oppfattes som rystelser. Rystelsene kan igjen generere hørbar lydavstråling fra andre bygningsdeler.

- Prosjekteringsanvisning for lyd har basis i det nordiske prosjektet «Trähus i flera våningar».
- Et mål har vært å publisere praktiske prosjekteringsanvisninger.
- Det er gitt et utvalg av nordiske løsninger med dokumenterbare gode egenskaper for lyd.

Delprosjektet brann har vært koblet til et annet nordisk prosjekt, «Brandsäkra trähus», og man har arbeidet med dokumentasjon av branntekniske konstruksjonsløsninger og samordning av regelverk mht. brannkrav i de nordiske landene.

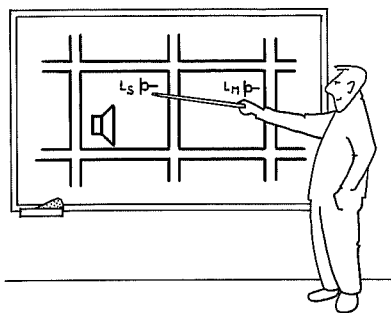
Et konkret hovedmål i prosjektet var å komme fram til praktiske prosjekteringsanvisninger på løsninger og gi treindustrien tilgang til resultater fra FoU-prosjektene for å øke bransjens kompetanse.

Denne prosjekteringsanvisningen for lyd bygger på erfaringer fra delprosjekt akustikk/lyd og fra pilotbygg. Vi har lagt vekt på å vise et utvalg av nordiske løsninger med dokumenterbare gode egenskaper for sentrale bygningsdeler. Utvalget er ment å dekke behovet for forskjeller i byggetradisjon mellom de nordiske landene i tillegg til at mangfoldet og mulighetene blir bedre belyst.

Anvisningen dekker lydforhold spesielt (lydisolasjon, støynivå og svingningsegenskaper), men detaljene som er vist, er forutsatt også å tilfredsstille andre egenskaper, selv om detaljeringsgraden i tegningene ikke alltid er utfyllende.

Anvisningen gir eksempler på løsninger og inneholder råd først og fremst for lydteknisk prosjektering. Ansvaret for valgt løsning og totalfunksjon hviler likevel på de prosjekterende og utførende i byggesaken.

2 Definisjoner



A-veid og C-veid lydtrykknivå

Krav til innendørs lydnivå fra tekniske installasjoner m.m. angis oftest ved A-veid lydtrykknivå. Normalt brukes enheten dB(A) eller lydnivå A. Frekvensveiekurve A tilsvarer ørets vektlegging av de ulike frekvensene. Tilleggskrav kan også være angitt ved C-veid lydtrykknivå som i mindre grad undertrykker lavfrekvensområdet. Normalt brukes da enheten dB(C) eller lydnivå C. Enhetene er definert i IEC 60651:1979 Sound level meters.

Veid lydreduksjonstall R_w , dB

Veid lydreduksjonstall brukes oftest for å karakterisere luftlydisolasjon av konstruksjonselementer i laboratorium. R_w måles og beregnes på grunnlag av lydreduksjonstallet, R , etter EN ISO 140-3 og EN ISO 717-1, og angis som et tall i dB. Dess større R_w -verdien er, dess bedre er luftlydisolasjonen.

Veid, feltmålt lydreduksjonstall, R'_w , dB

Veid, feltmålt lydreduksjonstall benyttes i forbindelse med krav til luftlydisolasjon mellom rom i bygning. Måles etter EN ISO 140-4 og angis på samme måte som R_w , men gjelder for konstruksjoner i ferdig bygning, inkludert flankeoverføringsbidrag m.m. Dess større R'_w -verdien er, dess bedre er luftlydisolasjonen.

Veid trinnlydnivå, $L_{n,w}$, dB

Veid trinnlydnivå brukes oftest for å karakterisere trinnlydnivå fra konstruksjonselementer i laboratorium. $L_{n,w}$ måles og beregnes på grunnlag av normalisert trinnlydnivå, L_n , etter EN ISO 140-6 og EN ISO 717-2. Angis som ett tall i dB. Dess mindre $L_{n,w}$ -verdien er, dess bedre er trinnlydisolasjonen.

Veid, feltmålt trinnlydnivå, $L'_{n,w}$, dB

Veid, feltmålt trinnlydnivå benyttes i forbindelse med krav til trinnlydnivå mellom rom i bygning. Måles etter EN ISO 140-7 og angis på samme måte som $L_{n,w}$, men gjelder for konstruksjoner i ferdig bygning inkludert flankeoverføringsbidrag m.m. Dess lavere $L'_{n,w}$ -verdien er, dess bedre er trinnlydisolasjonen.

- Sentrale begreper for lydisolasjon og lydnivå som brukes i forskrifter og anbefalinger
- Luftlydisolasjon, R'_w (høyt tall = god verdi)
- Trinnlydnivå, $L'_{n,w}$ (lavt tall = god verdi)
- Støy fra installasjoner, dB(A)
- Korreksjoner for frekvensspekter

dert flankeoverføringsbidrag m.m. Dess lavere $L'_{n,w}$ -verdien er, dess bedre er trinnlydisolasjonen.

Trinnlydforbedringstallet, ΔL_w , dB

Trinnlydforbedringstallet som beskriver trinnlydegenskapene til ulike belegg/golv, og er differansen mellom veid trinnlydnivå med og uten belegg/golv på rådekket (referanse til et standarddekke i laboratorium eller direkte til et angitt dekke i felt e.l.)

Omgjøringstall for spektrum for utvidet frekvensområde (C-korreksjoner)

EN ISO 717-1 og EN ISO 717-2 anbefaler at man skal bedømme luftlydisolasjon og trinnlydnivå i et utvidet frekvensområde. Omgjøringstallene $C_{50-5000}$ (luftlydisolasjon) og $C_{1,50-2500}$ (trinnlydnivå) beregnes, og kravgrenser angis da henholdsvis ved $R'_w + C_{50-5000}$ og $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$. I Sverige brukes frekvensområdet 50 – 3 150 Hz for enheten av standarden etter siste revisjon. Omgjøringstall for spektrum gir en strengere (og riktigere) bedømmelse enn $L'_{n,w}$ av lydisolasjonsegenskapene i lavfrekvensområdet, spesielt for trinnlydnivå.

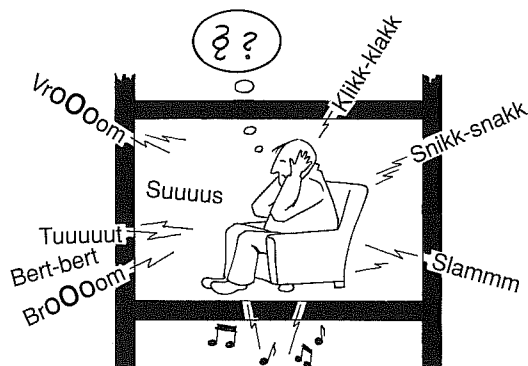
Bodlunds indeks, L_5

Bodlunds indeks benyttes som alternativ bedømmelse av trinnlydnivå. Indeksen beregnes med utgangspunkt i normalisert trinnlydnivå, L_n , men veiingen gjelder frekvensområdet 50 – 1 000 Hz. Metoden vektlegger sterkt lavfrekvensområdet. Angis ved enheten L_5 i dB. Enheten gir erfaringsmessig bedre bedømmelse av trinnlydegenskapene i forhold til subjektiv oppfattelse. Enheten er beskrevet nærmere i kap. 4.1.

Flanketransmisjon

Flanketransmisjon er lydoverføring via flankerende (tilstøtende) bygningsdeler utenom hovedskillekonstruksjonen. Flanketransmisjon brukes også ofte om all lydoverføring som ikke går direkte gjennom skillekonstruksjonen, f.eks. gjennom kanaler, over himling (innertak), gjennom utettheter o.l. Se eksempler i kap. 3.4.

3 Planlegging av gode lydforhold



- Grunnlaget for gode lydforhold blir lagt under planleggingen.
- Trafikkstøy løses best i bebyggelsesplanen.
- Velg planløsning med støymessig likeverdige rom mot hverandre.
- Atkomst (trapper, korridor) må skilles strukturelt fra boenheter.
- Tekniske installasjoner bør samles slik at støytiltak kan kombineres.

3.1 Utendørs lydkilder/trafikkstøy

Regulerings- og bebyggelsesplaner

Grunnlaget for å kunne skape gode lydforhold i bygninger med tilhørende utearealer blir lagt allerede i reguleringsplanen/bebyggelsesplanen. Plassering og utforming av veger og trafikkanlegg i forhold til bebyggelsen har her stor betydning. God avstand mellom støykilden og bebyggelsen, eller støyskjerming, kan redusere støyproblemet. I enkelte tilfeller kan det også være aktuelt å legge større trafikkarer i tunnel eller under lokk.

Utendørs støy – utforming og orientering av bygningen

Ved planløsning og utforming av bygningen kan en redusere de negative virkningene av utendørs støy på ulike måter, f.eks.:

- ved å legge sekundære rom (korridor, sanitærom, boder, lagerrom) i den delen av bygningen som er mest utsatt for støy.
- ved å bruke klimaskjerm (vinterhage) i småhus eller glassgårder i større bygninger som «bufferzone» mot utvendig støy.

Eksempler er vist i fig. 3.1.1

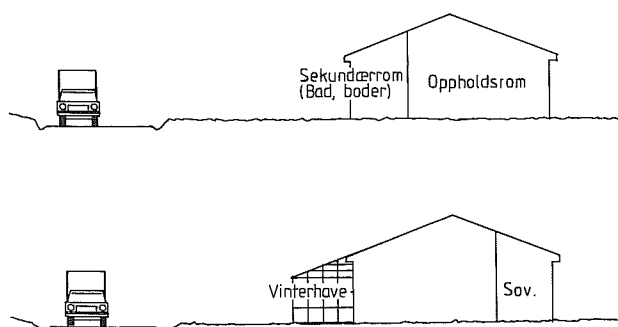


Fig. 3.1.1 Sekundærom og vinterhage som skjerming mot støy

Vibrasjoner fra veg og jernbane

Vibrasjoner i bygninger fra veg og jernbane kan gi sjenerende, følbare rystelser, men også hørbar lyd (strukturlyd), se fig. 3.1.2. Problemet er blitt mer aktuelt med økt bruk av tunneler for veg og jernbane under bebyggelse. Vibrasjonsproblemet avhenger av grunnforholdene både for kilde og mottaker.

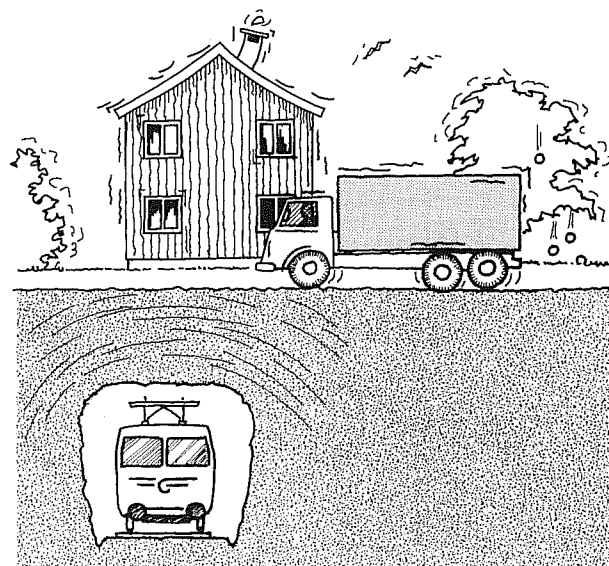


Fig. 3.1.2 Vibrasjoner fra veg og jernbane

3.2 Lokaltrafikk og atkomst

Garasje/parkeringsanlegg

Erfaringsmessig er støy fra garasje/parkeringsanlegg et viktig problemområde, særlig i boligbygninger. Årsaken er integrerte garasjer i boligene og trafikk og parkering nær boligene. Typiske støysituasjoner som gir grunnlag for konflikter, er:

- slag fra bildører som lukkes
- slag fra manuelle porter, og strukturlyd fra drivverk for automatiske garasjeporter
- rusing i bratte ramper
- kjøring på lavt gir
- musikkanlegg fra biler med åpne dører

Generelt bør man unngå soveromsvindu ved garasjeinnkjørsel. Automatiske porter må ha eget, vibrasjonsisoleret bæresystem for å redusere strukturlyd. Takparkering over boliger bør unngås pga. strukturlyd (piggdekk og snømåking).

Atkomst

Så vel innvendige som utvendige atkomstarealer kan gi støy både i form av trinnlyd (gangtrafikk), luftlyd (høy-røstet tale, skrik og skråll) og strukturlyd (slag av dører, dunking i vegger, slag på rekkverk), se fig. 3.2.1. Både ved planløsning av bygningen og detaljutformingen må man ta hensyn til en rekke forhold:

- Utvendige trapper og altanganger må være frittstående fra bygningskroppen.
- Mot hoveddør/hovedinngang må det bare ligge sekundære rom.
- Innvendige trapper og repos må ligge i eget trappehus eller være elastisk opplagret.
- Interntrapper i småhus må ikke festes til skillevegg mot nabo, men være frittstående.
- Mot trapper og altanganger bør det bare ligge sekundære rom.
- Åpen planløsning mot trapperom gir ofte lydproblemer, og lukket entré er avgjort best.
- Riktig utforming av trapperom med gode lyddører og akustisk regulering er viktig.
- Korridorer må ha godt trinnlyddempende belegg og være godt dempet.
- Unngå lite dempet og «syngende» rekkverk av stål i trapperom.
- Hoveddører må ha myke dørstoppere, effektive dørpumper og myke anslagslister.

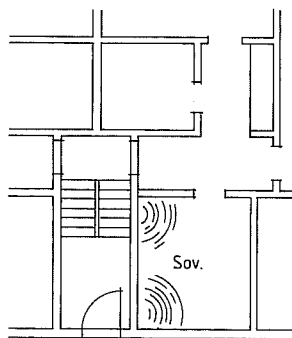


Fig. 3.2.1
Uheldig plassering av soverom mot trapperom og hovedinngang. Her burde det legges et underordnet rom, f.eks. vaskerom e.l.

3.3 Planløsningstiltak

Innbyrdes romplassering mot annen bruksenhet

Gjennom en fornuftig planløsning av boligene legges forholdene til rette for god lydisolering mellom boenheter og minst mulig støy fra tekniske installasjoner.

En del støysituasjoner er det vanskelig å løse teknisk uten at det er lagt til rette for det gjennom planløsnings-tiltak. Et generelt råd er å legge likeverdige rom i støymessig sammenheng mot hverandre og unngå å legge rom med støyende aktivitet mot «støyømfintlige» rom, se fig. 3.3.1. Særlig kritiske blir forholdene når kvelds- og nattaktiviteter skal tilpasses hvile og søvn i boliger. For boliger kan tabell 3.3.1 være en veileder for innbyrdes plassering av typer rom og aktiviteter. Installasjoner bør samles i et eget «skjermet» område.

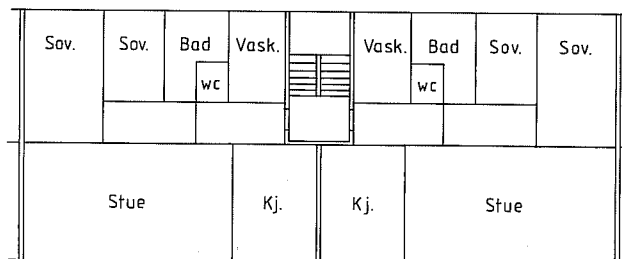


Fig. 3.3.1
Innbyrdes romplassering med samme aktiviteter mot hverandre

Tabell 3.3.1
Veileder for innbyrdes romplassering i boliger

Type rom i egen bolig	Mot nabo				Mot fellesrom		
	Sov.	Stue	Vask.	Kjøkken	Trapper	Heis	Felles
Soverom	ja	-	nei	nei	nei	nei	nei
Stue	-	ja	-	-	-	nei	nei
Vask.	nei	-	ja	ja	ja	ja	-
Kjøkken	nei	-	ja	ja	ja	-	-

Spesielle konfliktsituasjoner når det gjelder innbyrdes romplassering mot annen bruksenhet:

- restauranter som støter til bolig (nattåpent, dansemusikk/diskotek, kjøkken, inngang, vifter o.l.)
- forretningslokaler som støter til boliger (kjøle-maskiner, varelevering, søppelpresser)
- fyrrom, heisrom og ventilasjonsrom mot tilstøtende boligrom
- felles hobbyrom mot tilstøtende boligrom med virksomhet på kvelden/om natten

Støy fra tekniske installasjoner

Tekniske installasjoner som kan forårsake støy/vibrasjoner, er f.eks.:

- ventilasjonsaggregater
- kjølemaskiner
- sirkulasjonspumper
- vaskemaskiner
- heismaskiner
- vann- og avløpsinstallasjoner

Støy fra tekniske installasjoner skyldes i hovedsak vibrasjoner som forplanter seg som strukturlyd i bygningen. Dette må man forsøke å ta hensyn til ved planleggingen av bygningen, både når det gjelder plassering av installasjonene, valg av konstruksjoner og materialer og vibrasjonsisolering av maskiner og installasjoner. Installasjonsføring vertikalt bør samles i felles sjakt som grenser til sekundære rom, se fig. 3.3.2. Planløsningen er ofte avgjørende for å få til enklest mulig tekniske løsninger og minst mulig problemer med støy fra avløpsrør. I valg av føringsveger bør man f.eks. unngå å legge rør i konstruksjoner inntil rom for varig opphold.

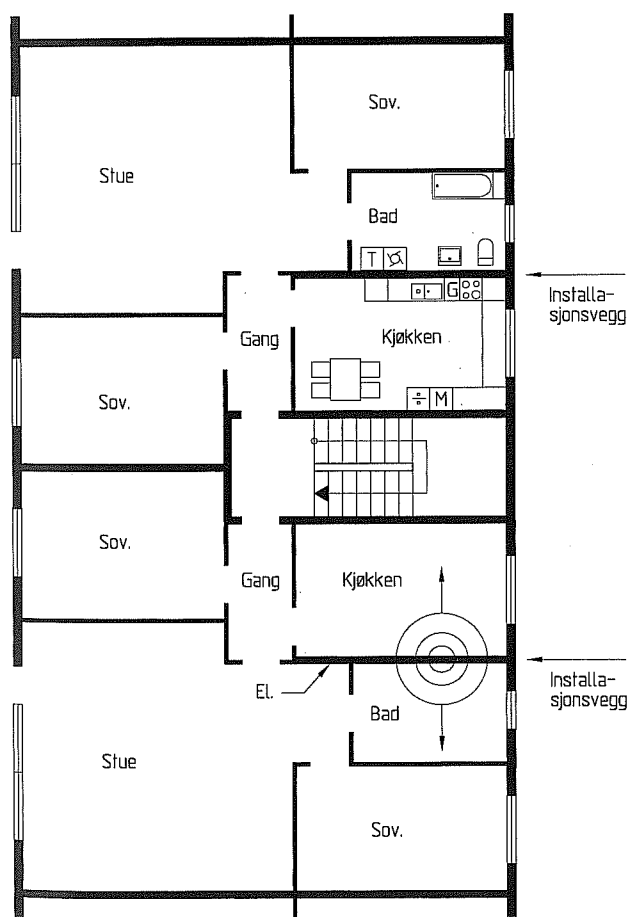


Fig. 3.3.2
Installasjonsføring vertikalt bør samles i felles sjakt som grenser til sekundære rom

Intern lydisolering

Mange vil i perioder ønske å ha bedre lydskiller internt i leiligheten. Det ville bli for omfattende å lage gode lyd-isolerende konstruksjoner overalt i en bolig. Her ligger nok løsningen i å tenke planløsning og «bufferoner», eller å dele boligen i to «lydceller».

3.4 Flanketransmisjon og lufttethet

Flanketransmisjon

Det er som regel store forskjeller mellom laboratoriemålinger av en bygningsdel og det man kan oppnå med samme bygningsdel i et hus. Årsaken er at en del av lyden i huset overføres via de andre bygningsdelene (flanketransmisjon) som støter til selve skillekonstruksjonen, se fig. 3.4.1. Flanketransmisjonen kan ha stor betydning i trehus, bl.a. fordi de lette konstruksjonsdelene lett blir satt i svingninger, og fordi konstruksjonene er sammensatt av mange sjikt og hulrom der lyden lett kan forplante seg. Alle konstruksjonsdetaljer må derfor utformes med tanke på dette.

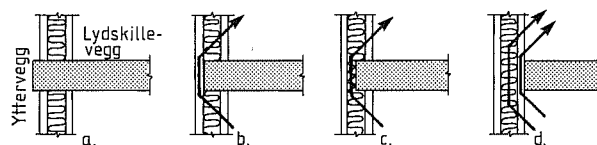
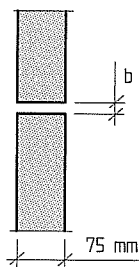
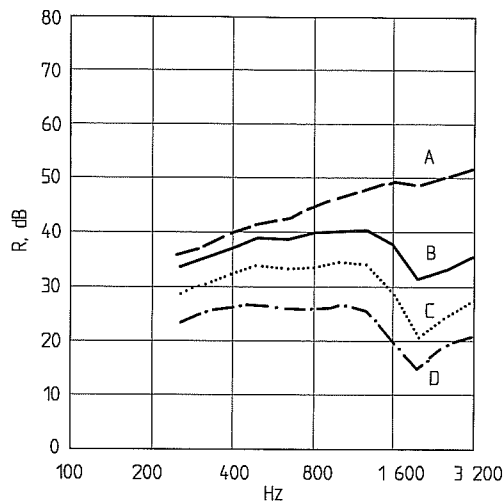


Fig. 3.4.1
Eksempel på flanketransmisjon via yttervegg (a gir best lydisolering, mens d gir dårligst)

Lufttethet

For å oppnå god lydisolering må alle overganger være lufttette. Figur 3.4.2 viser betydningen av utettheter i form av spalter/sprekker. Sprekklekkasjer oppstår i utette overganger mellom bygningsdeler eller ved dårlige tettelister i ulike bygningskomponenter. Selv svært små utettheter reduserer lydisolasjonen sterkt, og det oppstår resonanser avhengig også av spaltedybde og spaltelengde.

I trehus i flere etasjer vil innvendig kledning mot tilstøtende boenhet normalt være to lag gipsplater på vegg og i himling (innertak). I overgang vegg/himling og i hjørner for vegg/vegg bør man vekse mellom hvilket av platelagene som føres helt ut. Med en slik monteringsmåte og sparkling av ytre overgang vil tettingen som regel bli tilfredsstillende uten bruk av fugemasse e.l. Alternativt kan man sette av en spalte og legge en fugemasse f.eks. i ytre overgang som dekkes med taklist. Eksempler er vist i fig. 3.4.3.



- A : - - - - - $b = 0 \text{ mm}$
 $R_m = 45 \text{ dB}$
- B : ————— $b = 1 \text{ mm}$
 $R_m = 37 \text{ dB}$
- C : $b = 3 \text{ mm}$
 $R_m = 30 \text{ dB}$
- D : - · - · - $b = 7 \text{ mm}$
 $R_m = 23 \text{ dB}$

Fig. 3.4.2 Betydning av utettheter. Lydreduksjonstall (middelverdi, R_m) for en 75 mm tykk vegg (1 m^2) med 1 m lang åpen spalte med varierende spaltebredde fra 0 til 7 mm

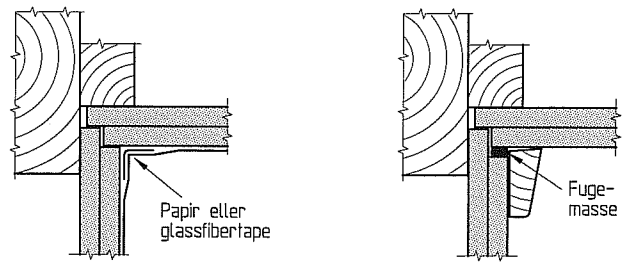
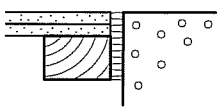
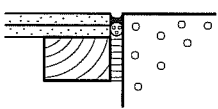
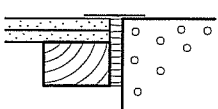
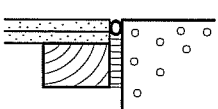
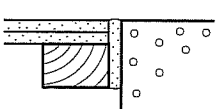


Fig. 3.4.3 Tetting av overgang mellom gipsplatekledninger. Venstre figur viser tetting med tape og sparkling, og høyre figur viser tetting med fugemasse. Eventuel dampspærre som skal avsluttes i overgangen, kan klemmes mellom platelagene; se konstruksjonseksempler for etasjeskille og vegger, kap. 7 og 8.

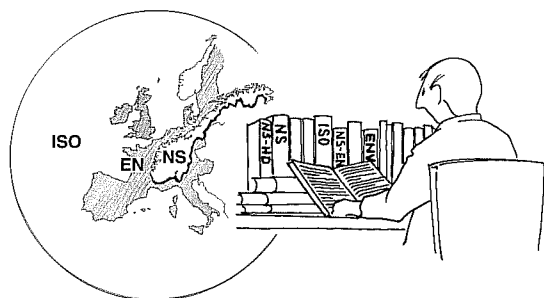
Tetting mot andre vegger og ved gjennomføringer må utføres ved at det settes av en spalte som tettes med mineralulldytting, bunnfyllingslist og elastisk fugemasse som vist i tabell 3.4.1. Tettemetoden bør brukes på begge sider av fugen.

Enklere utførelser av fuger kan aksepteres, avhengig av krav til opptak av bevegelser og krav til utførelse. Tabell 3.4.1 gir en generell oversikt over ulike tettemetoder med vurdering av lydisolasjonsegenskapene.

Tabell 3.4.1 Oversikt over tettemetoder med vurdering av lydisolasjonsegenskaper

Tettemetode	Vurdering
Mineralulldytting i hele fugedybden (løs og hard)	 Særlig svak i mellomfrekvensområdet og kan ikke brukes som eneste tetting
Mineralulldytting i hele fugedybden + elastisk fugemasse ved ytterkantene	 God utførelse som også kan ta opp forholdsvis store bevegelser
Mineralulldytting i hele fugedybden + bygningstape på begge sider av fugen	 Brukbar utførelse for maksimalt 5 – 10 mm brede spalter. Noe tap i det øverste frekvensområdet
Gummitetelister av hulrørsprofiler og massiv cellegummi	 Avhengig av god sammenpressing. Kan normalt ikke brukes som eneste tetting. Bør plasseres tosidig i ytterkantene av fugen
Fugeskum (polyuretan) i hele fugedybden	 God utførelse med ubetydelig svekkelse i det øverste frekvensområdet. Kan imidlertid bare oppta svært begrensede bevegelser i fugen

4 Lydforhold – krav og anbefalinger



- Prosjektets anbefalinger for krav til lydforhold for at beboerne skal bli tilfredse
- Minimum forskriftskrav i Norden
- Beboerintervjuer i pilotbygg
- Anbefalinger om vibrasjoner, svikt og svingninger

4.1 Generelt

Minstekravene til lydisolasjon må tilfredsstillende det offentlige regelverket i hvert enkelt land, se kap. 4.2 – 4.4. Erfaringene med lette konstruksjoner er at beboerne ofte er misfornøyd med lydforholdene selv om det offentlige regelverket er tilfredsstillende. Dette gjelder spesielt etasjeskiller og trinnlydnivå. I prosjektet «Trähus i flera våningar» ble det derfor lagt til grunn at løsninger i pilotbygg skulle ha kvaliteter som mest mulig tilsvarte det man oppnår med betongdekker.

Det er spesielt lavfrekvenssegenskapene som er vanskelig å få tilfredsstillende med lette konstruksjoner, og bedømmelsen etter offentlig regelverk har til nå heller ikke vektlagt dette. Her har det i de siste årene skjedd en endring i nasjonale og internasjonale standarder som også anbefaler måling og bedømmelse også for frekvensområdet fra 50 – 100 Hz, selv om det foreløpig ikke er obligatorisk. Standardene for bedømmelse av luftlydisolasjon (EN ISO 717-1) og for bedømmelse av trinnlydnivå (EN ISO 717-2) angir metoder for korreksjonstillegg bl.a. av lavfrekvenssegenskapene. Når korreksjonstillegget inkluderes i måleverdien, blir samsvaret mellom regelverk og beboernes forventninger bedre. En alternativ bedømmelsesmetode for lavfrekvent trinnlyd ble foreslått av Bodlund allerede i 1985 [2]. Denne metoden har i stor utstrekning blitt ytterligere verifisert gjennom spørreundersøkelser i pilotprosjektene.

Figur 4.1.1 viser referansekurvene for trinnlyd i 1/3 oktavbånd for henholdsvis EN ISO 717-2 og for Bodlunds indeks. EN ISO tar i utgangspunktet bare hensyn til frekvensområdet 100 – 3 150 Hz (16 stk. 1/3-oktavbånd), men man kan inkludere frekvensområdet 50 – 100 Hz dersom man regner ut korreksjonsverdien «omgjøringsstall for spektrum». Bodlunds indeks er i utgangspunktet en lavfrekvensvurderingsmetode der kun frekvensområdet 50 – 1 000 Hz (14 stk. 1/3-oktavbånd) skal vektlegges. Med gjennomsnittlig tillatt maksimalt avvik på 2 dB pr. 1/3-oktavbånd, blir maksimalt avvik for hele området 28 dB. I beregningene fra pilotbyggene er det dels benyttet 28 dB og dels 32 dB maksimalt avvik.

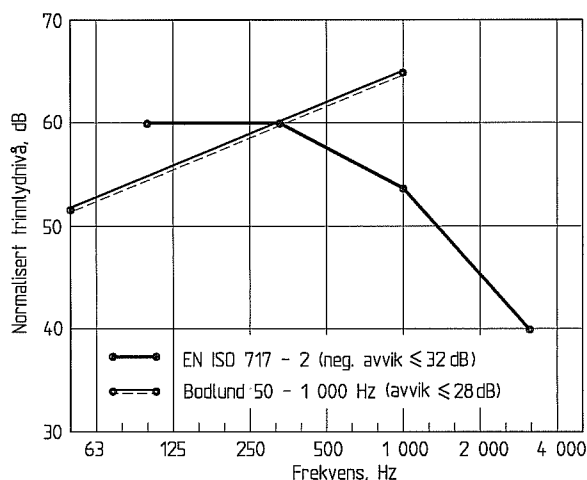


Fig. 4.1.1 Referansekurver for bedømmelse av trinnlydnivå

Forskjellen vil normalt bli maksimalt 1 dB slik at dette har mindre praktisk betydning.

Denne fokuseringen på lavfrekvenssegenskaper i kombinasjon med at regelverket er endret, har ført til at nye, tekniske løsninger for trebjelkelag er blitt utviklet. Samtidig har man i prosjektet definert egne lydkrav for prosjektering av trehus i flere etasjer. Kravene er igjen kontrollert mot senere intervjuer av beboerne for å sikre at kvaliteten er tilfredsstillende, se kap. 4.3.

I tillegg til trinnlyd er det lagt vekt på krav til luftlydisolasjon og lydnivå fra tekniske installasjoner. Her fokuseres også spesielt på de mer lavfrekvente lydkildene som radio/tv, vaskemaskiner, mekanisk ventilasjon o.l.

Et viktig område er også krav til stivhet av bjelkelagene for å sikre at svingningsegenskapene (rystelser av inventar, ubehag osv.) er tilfredsstillende. For trebjelkelag med moderate spennvidder (inntil 4 – 5 m) har man tidligere utviklet bjelkelagstabeller som sikrer at svingningsegenskapene er gode. Det er svingningsegenskapene som er dimensjonerende for trebjelkelag og ikke lastkapasiteten. I prosjektet er det arbeidet spesielt med vurderingskriterier for trebjelkelag med store spenn (5 – 8 m), se kap. 4.3.

4.2 Lydisolering og støynivå

Tabell 4.2.1 viser anbefalte hovedkrav (dvs. lydkrav mellom oppholdsrom i boenheter) ved prosjektering av trehus i flere etasjer.

De nasjonale regelverkene i de nordiske landene har svært ulike krav med hensyn til lydforhold, se tabell 4.2.2. Forskjellen henger sammen med at kravene i Norden er under vurdering for en generell skjerpelse og at man erkjenner at krav, spesielt til trinnlyd, må defineres ut fra andre kriterier enn standard EN-ISO-metode. I Danmark er det planlagt å innføre spesielle regler for lette konstruksjoner.

Når det gjelder kravet til luftlydisolasjon, ble det også angitt at dobbelveggesonansen bør ligge under 50 Hz for å sikre god lydisolasjon mot radio/tv/musikkanlegg som ofte inneholder sterke basskomponenter. I kap. 4.3 er kravspesifikasjonene vurdert opp mot resultatet i ferdig bygning gjennom intervju med beboerne.

I Norden har det også pågått et arbeid med å etablere felles lydklassestandarder. Flere av de nordiske landene har vedtatt slike klassestandarder der man har definert fire klasser (A, B, C og D) slik at klasse A har de strengeste lydkravene og klasse D de svakeste. Samtidig er altså kravene til lydforhold etter nasjonalt regelverk søkt knyttet til klasse C.

Det er i gang et arbeid med å etablere en felles nordisk standard for lydklassifisering av boliger. Den norske lydklassestandard er nesten identisk med forslag til internordisk standard INSTA (forslag INSTA 122:1997, 4. utg.). Tabell 4.2.3 gir en oversikt over hovedkrav i oppholdsrom i boliger etter lydklassestandarder i Norge og Sverige. På sikt kan man regne med en harmonisering av disse gjennom INSTA for alle de nordiske landene.

I forhold til anbefalt hovedkrav i prosjektet «Tråhus i flere våningar» (tabell 4.2.1) er kravgrensen lagt i området klasse A – klasse B, ifølge tabell 4.2.3, avhengig av hvilket land vi sammenlikner med.

Tabell 4.2.1
Anbefalte hovedkrav til lydforhold for boliger ved prosjektering av trehus i flere etasjer

Kriterier for lydisolasjon og støynivå	Luftlydisolasjon etter EN ISO 717-1 $R'_w + C_{1,5-5000}$	Trinnlydnivå etter EN ISO 717-2 $L'_{n,w} + C_{50-2500}$	Bodlunds indeks for trinnlyd L_s	Lydnivå fra tekniske installasjoner $L_{A, maks}$
Anbefalt verdi i prosjektet «Trehus i flere etasjer»	≥ 55 dB	≤ 53 dB	≤ 62 dB	≤ 30 dB(A)

Tabell 4.2.2
Krav til lydforhold i oppholdsrom i boliger (se referanser for detaljkrav)

Minimumskrav etter offentlig regelverk	Luftlydisolasjon mellom boenheter etter EN ISO 717-1 R'_w ¹⁾	Trinnlydnivå til boenhet etter EN ISO 717-2 $L'_{n,w}$ ²⁾	Lydnivå fra tekniske installasjoner (møblert rom) $L_{A, maks} / L_{A, eq,T}$	Lydnivå fra tekniske installasjoner (møblert rom) $L_{C, maks}$	Referanse til nasjonalt regelverk
Danmark	≥ 52 dB ³⁾	≤ 58 dB	- / ≤ 27 dB(A)	-	BR-95
Finland	≥ 55 dB	≤ 53 dB	≤ 33 dB(A) / -	-	RakMkC1
Norge	≥ 55 dB	≤ 53 dB	≤ 32 dB(A) / -	≤ 47 dB(C)	Teknisk forskrift 97 og NS 8175
Sverige	≥ 52 dB ⁴⁾	≤ 58 dB ⁴⁾	$\leq 35 / 30$ dB(A)	-	BBR

¹⁾ Det anbefales at omgjøringsstall for spektrum inkluderes ved bedømmelsen, dvs. $R'_w + C_{1,50-5000}$

²⁾ Det anbefales at omgjøringsstall for spektrum inkluderes ved bedømmelsen, dvs. $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$

³⁾ Vertikalt er kravet 1 dB høyere.

⁴⁾ Inkludert C-korreksjon ($C_{1,50-3150}$ for luftlyd og $C_{1,50-2500}$ for trinnlyd)

Tabell 4.2.3
Lydklasser i Norge og Sverige, hovedkrav oppholdsrom i boliger (se referanser for detaljkrav)

Lydklasser for boliger	Luftlydisolasjon etter EN ISO 717-1 R'_w eller $R'_w + C_{50-5000}$	Trinnlydnivå etter EN ISO 717-2 $L'_{n,w}$ eller $L'_{n,w} + C_{1,5-2500}$	Referanse til nasjonal standard
Norge	Klasse A: ≥ 63 dB ²⁾ Klasse B: ≥ 58 dB ²⁾ Klasse C: ≥ 55 dB ^{1) 5)} Klasse D: ≥ 50 dB ¹⁾	Klasse A: ≤ 43 dB ⁴⁾ Klasse B: ≤ 48 dB ⁴⁾ Klasse C: ≤ 53 dB ^{3) 5)} Klasse D: ≤ 58 dB ³⁾	NS 8175
Sverige	Klasse A: ≥ 60 dB ²⁾ Klasse B: ≥ 56 dB ²⁾ Klasse C: ≥ 52 dB ^{1) 5)} Klasse D: ≥ 48 dB ¹⁾	Klasse A: ≤ 50 dB ⁴⁾ Klasse B: ≤ 54 dB ⁴⁾ Klasse C: ≤ 58 dB ^{3) 5)} Klasse D: ≤ 62 dB ⁴⁾	SS 02 52 67 (2)

¹⁾ R'_w , ²⁾ $R'_w + C_{50-5000}$. (I Sverige brukes etter siste utgave frekvensområdet 50 – 3 150 Hz, slik som foreslått i INSTA), ³⁾ $L'_{n,w}$, ⁴⁾ $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$

⁵⁾ Omgjøringsstall for spektrum er anbefalt inkludert, dvs. $R'_w + C_{50-5000}$ eller $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$

4.3 Vibrasjoner, svikt og svingninger



Fig. 4.3.1
Trebjelkelag må dimensjoneres slik at sjenerende rystelser og svingninger unngås.

Forutsetninger

Bjelkelag må dimensjoneres slik at de har tilfredsstillende styrke og stivhet til å bære foreskrevne nyttelast. For boliger i Norge er dette nå $2,0 \text{ kN/m}^2$ iht. NS 3491-1 og Eurocode 1. I de andre nordiske landene er verdien mellom $1,5 - 2,0 \text{ kN/m}^2$. I tillegg er det imidlertid viktig at lette trebjelkelag blir dimensjonert slik at ikke sjenerende rystelser og svingninger oppstår ved normal bruk. Det er i praksis dette kravet som avgjør maksimal spennvidde for gulvbjelkene og ikke bjelkenes styrke mot brudd, se fig. 4.3.1.

Liten stivhet merkes først og fremst ved at kopper og fat i skap klirrer og at inventar vibrerer. Men rystelser kan også merkes direkte på kroppen når man f.eks. sitter i en stol og andre går over golvet. Uansett hvor stivt et trebjelkelag gjøres, vil det være noen merkbare rystelser f.eks. ved voldsom barnelek eller når mange danser. Det viktigste er å unngå sjenerende svingninger ved normal gangtrafikk. Bjelkelag med høy stivhet er også fordelaktig med hensyn til trinnlydisolasjon ved lave frekvenser.

Generelt anbefales det at man gjennomfører en beregning av deformasjon og dynamiske egenskaper for alle løsninger, unntatt de man erfaringsmessig vet er gode (dvs. vanlige bjelkelag). Aktuelle kriterier med hensyn til deformasjon og dynamiske egenskaper og eksempler på målte og beregnede verdier er gitt i de neste punktene.

Statisk punktlast som nedbøyningskriterium

Tabell 4.3.1 gir en oversikt over aktuelle verdier for anbefalt nedbøyning til trebjelkelag ved en statisk punktlast på 1 kN . Maksimale nedbøyningsverdier etter Canadian Construction Material Center, CCMC, Canada og Byggforsk er ment som vikarierende krav for å ivareta funksjonen vibrasjoner/rystelser, mens Ohlsson/Eurocode

Tabell 4.3.1
Beregnet maksimal nedbøyning ved 1 kN punktlast

CCMC – Canada		Byggdetaljer 522.351	Ohlsson/Eurocode 5
Spennvidde/lysåpning (m)	Nedbøyning (mm)	Spennviddebegrensning avhengig av bjelketype og c/c-avstand:	For alle spennvidder: $\leq 1,5 \text{ mm}$ forutsatt egenfrekvens $> 8 \text{ Hz}$
$\leq 3,0$	2,00	Min. stivhet gir nedbøyning $\leq 1,33 \text{ mm}^1$	
3,5	1,54	Høy stivhet gir nedbøyning $\leq 0,87 \text{ mm}^2$	
4,0	1,30		
4,5	1,13		
5,0	1,00		
5,5	0,87		
6,0	0,82		
6,5	0,78		
7,0	0,74		
7,5	0,70		

¹⁾ Tilsvarer $0,9 \text{ mm}$ i ferdig bygg

²⁾ Tilsvarer $0,6 \text{ mm}$ i ferdig bygg

forutsetter at dynamiske egenskaper ivaretas i tillegg til nedbøyningskriteriet. I andre land har også nedbøyningskriterier basert på beregnet nedbøyning under jevnt fordelt last vært brukt (f.eks. maksimalt $L/600$ ved jevnt fordelt nyttelast e.l.). Ut fra erfaringer anbefaler Byggforsk (Byggdetaljer 522.351) at man benytter tabell for høy stivhet.

Velger man å dimensjonere kun etter ett nedbøyningskriterium, stiller bjelkelagstabeller fra Byggforsk strengest krav ved spennvidder mindre enn ca. $4,0 \text{ m}$ ved minimum stivhet og mindre enn $5,5 \text{ m}$ ved høy stivhet. For større spennvidder enn dette er kriteriene fra CCMC strengest og mest spesifisert. Beregning av dynamiske parametre og tilhørende kriterier iht. Ohlsson/Eurocode 5 vil i mange tilfeller medføre at maksimal nedbøyning blir mindre enn verdien i tabell 4.3.1 angir.

Kriterier for dynamiske egenskaper

Det er utviklet en dimensjoneringsmetode for svikt, svingninger og stivhet til trebjelkelag [19]. Metoden bør benyttes for alle konstruksjonsløsninger, unntatt de man erfaringsmessig vet er gode. Man vil her også finne beregningseksempler som er til hjelp ved gjennomføring av egne beregninger. Samme prinsipielle metode er gjengitt i Eurocode 5 [19], men vurderingskriteriet i Eurocode 5 er enklere enn i [20]. Beregningsprosedyren omfatter:

- beregning og kontroll av nedbøyning ved en punktlast på 1 kN
- beregning og kontroll av golvet maksimale initialverdi for vibrasjonshastighet, $h'_{\text{max}} [(m/s)/Ns]$, forårsaket av en ideell enhetsimpuls (1 Ns) påført det punktet i golvet som gir maksimal respons («mykeste punkt»). Dette forutsetter at man har beregnet laveste egenfrekvens for golvet og antall egensvingninger under 40 Hz . Formler for dette er gitt i [19] og [20].

Vurderingskriteriet i [20] krever anslått eller målt dempekoeffisient. Ved hjelp av et diagram kan man vurdere om konstruksjonens dynamiske egenskaper oppfattes som god, usikker eller forstyrrende. Dette vurderingskriteriet er under utvikling, og for gråsonen «usikker» er anbefalingene vage, men trolig det beste hjelpemidde-

let som er tilgjengelig. Vurderingskriteriet i [18] krever også data for dempekoeffisient. Man benytter anslått verdi dersom man ikke selv har pålitelige måleverdier å benytte. Kriteriet for akseptable/ikke akseptable dynamiske egenskaper finner man ved bruk av en enkel formel. Eksempler på beregnede verdier er gitt i det følgende.

Eksempler på beregnede verdier

I tabell 4.3.2 oppgis beregningsverdier for noen aktuelle konstruksjonsløsninger. Vurdering av dynamisk egenskap etter kriterium gitt i [18] er også angitt. Beregningene gjelder for et bjelkelag med bredde 7,2 m, og bjelker med senteravstand på 600 mm fritt opplagt langs alle fire kantene. Beregningene er gjennomført for en konstruksjon uten plater/kledning festet til undersiden av bjelkene, da dette vil være den vanligste situasjonen for lydisolerende skillekonstruksjoner.

Beregnings- og dataeksemplene i tabell 4.3.2 viser at en dynamisk beregning gir et viktig supplement til et nedbøyningskriterium, selv om et strengt nedbøyningskriterium alene kan fungere innenfor gitte begrensninger.

Kriteriene for akseptable/ikke akseptable dynamiske egenskaper er imidlertid noe usikre med hensyn til menneskers reaksjoner i ulike situasjoner, og det er behov for etterprøving av dette. Man bør derfor være varsom ved bruk av vurderingskriteriet.

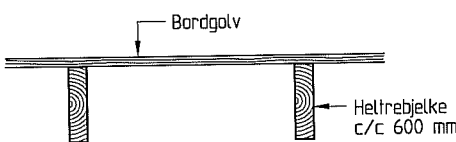
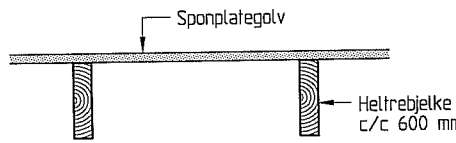
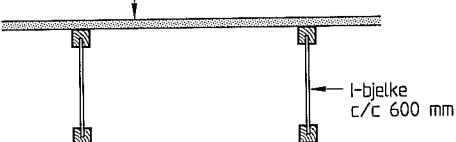
Generelle anbefalinger og tiltak

Ved planlegging av nye bjelkelagskonstruksjoner anbefaler vi at man gjennomfører beregning med hensyn til kontroll både av nedbøyning under en punktlast og dynamiske egenskaper. Ved vurdering av beregningsresultatene benytter man fortrinnsvis strengeste kriterium, dersom man ikke har spesielle erfaringer og data som man vet gir tilfredsstillende bruksmessig resultat.

Følgende generelle tiltak kan benyttes for å forbedre svikt- og svingningsegenskapene til trebjelkelag, se [28]:

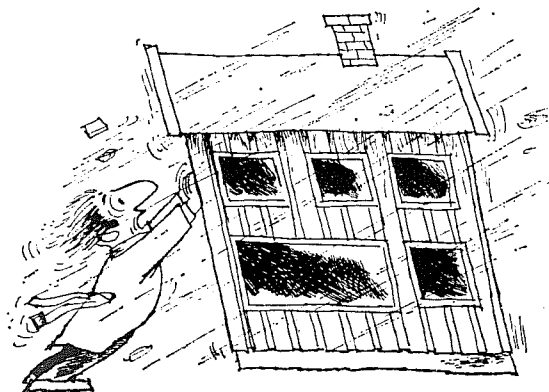
- redusere senteravstand mellom bjelker
- redusere spennvidde
- øke bjelkestivhet
- øke stivheten til plate- eller bordkledninger
- tverravstive bjelkelaget
- øke dempningen

Tabell 4.3.2
Beregningsverdier for noen vanlige bjelkelagsvarianter

Konstruksjon	Spennvidde m	Nedbøyning ved 1 kN punktlast mm	Frekvens for laveste egen-svingning Hz	Impulshastighetsrespons, h'_{maks} (mm/s)/Ns	Vurdering iht. Eurocode 5 [18] ¹⁾
Trebjelker med bordgolv 	4,2	2,2	14,0	30,1	Forstyrrende
	3,35	1,5	21,9	30,2	Usikker/akseptabel
Trebjelker med sponplategolv 	3,55	1,5	19,0	42,2	Usikker/akseptabel
I-bjelkelag med sponplategolv 	1 250:	2,6	10,6	27,0	Forstyrrende
	5,9				
	1 400:	1,7	11,6	22,1	Forstyrrende
7,2					
5,3	0,9	21,3	30,6	Akseptabel	

¹⁾ Dempekoeffisient basert på laboratoriemålt verdi for tapsfaktor

5 Øvrige funksjonskrav som avgjør konstruksjonsvalg



- Lydkrav begrenser mulighetene for et effektivt stabiliserende statisk system.
- Krav til brannmotstand og lydsolasjon går ofte hånd i hånd mht. valg av konstruksjon. Her gir vi noen generelle påminnelser og viktige parametre. Se referansene i kap. 12, Litteratur, for mer utførlig behandling av temaene.

5.1 Bæresystem, setninger og stabilitet

Generelt

Lydkravene er i sterk grad med på å begrense mulighetene for et effektivt stabiliserende statisk system. I prinsippet bygges hver boenhet atskilt sideveis mot naboene. Det samme gjelder trapperom og heissjakt. Dette innebærer at bjelkelagene ikke får virke sammen, og at bygget må reises med uavhengige «tårn» av boenheter som ligger over hverandre. Hvert «tårn» må være stabilt enkeltvis, noe som gir en lite effektiv utnyttelse av den stabiliseringskapasiteten man kunne ha fått, dersom hele bygningskroppen kunne involveres samlet.

Trebygninger er forholdsvis lette, og man må ta mer hensyn til stabilitet enn i tyngre bygninger, særlig for smale bygningskropper. For stabilisering av lave trebygninger (inntil tre etasjer) er det vanligvis tilstrekkelig med enkel platekledning som spikres til bindingsverket. Dette forutsetter at det er tilstrekkelig store veggfelt mellom åpninger for dører og vinduer. For trebygninger høyere enn tre etasjer brukes også kryssfiner eller spesielle sponplater for stabilisering. For smale bygninger kan strekkraftene bli store ved oppleggene, og det er behov for forankringer som føres ned til grunnen via fundamentet for å få tilfredsstillende sikkerhet mot velting og forskyvning på grunnmur. Bjelkelagene fører vindlastene fra fasadene til de stabiliserende veggene. Bjelkelagene fungerer derved som horisontale skiver eller bjelker.

Plattformkonstruksjon

Plattformkonstruksjon er det vanligste konstruksjonsprinsippet for trehus i Norden. Det er også dette systemet som er vanlig i Nord-Amerika. Bindingsverket plas-

seres oppå bjelkelaget, og når golvbjelkene krymper, følger veggene med.

Det er viktig å være klar over den store forskjellen det er mellom krymp av treet i ulike retninger. Når treet tørker fra helt vått til helt tørt, så er krympingen i radial retning av årringene ca. 4 % og i tangentiell retning ca. 8 %. I fiberretningen er krympingen bare 0,2 %. Dette betyr at en 200 mm bjelke av heltre kan krympe 8 – 16 mm, mens en søyle på 2,5 m bare krymper 5 mm. Normalt regner man med at krympingen pr. etasje for plattformkonstruksjoner med bjelker av heltre blir i størrelsesorden 3 – 5 mm og med bjelker av I-profiler 1 – 2 mm.

Krymping vertikalt er bare skadelig dersom ikke alle deler av konstruksjonen krymper like mye. Det er da viktig at det brukes samme konstruksjon både for innervegger og yttervegger slik at det blir jevn setning i alle deler av huset. Koblingen til «faste» konstruksjoner som heissjakt av betong eller trappehus med kontinuerlige søyler, må være elastisk.

Undergolvet legges før veggene reises, og man får et sikkert og godt underlag å arbeide på. Til bindingsverk og bjelkelag brukes konstruksjonstre eller spesielt sammensatte profiler. Fordelen med byggesystemet er enkel produksjon på byggeplass med utgangspunkt i standarddimensjoner av trelast, gjerne levert i ferdig kappede lengder. Ulempen er at flankeoverføringen av lyd i vertikal retning kan bli stor, men erfaringer viser at dette problemet reduseres ved bruk av riktige tekniske løsninger. Systemet forutsetter tilstrekkelig veggarealer uten åpninger for å oppnå tilstrekkelig stabiliserende effekt.

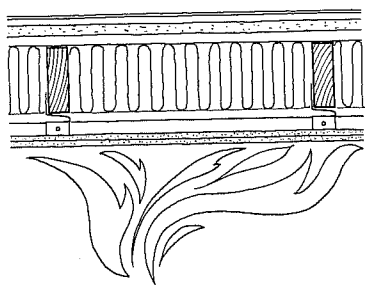
Søyle-/bjelkekonstruksjon

Det fins også konstruksjonssystemer for trehus med søyle-/bjelkesystem. For stabilisering brukes egne kryssavstivinger av søyle/bjelke i rammene. Systemet er lite

i bruk pga. mer krevende teknikk for bæresystem og forbindelser. Pilotbygget i Ylöjärvi er bygd med dette systemet. Fordelen med systemet er kort byggetid og lette, ikke-stabiliserende vegger med enklere krav til innfesting. Innerveggene kan plasseres fritt. Det er lett å redusere flanketransmisjon av lyd med elastiske koblinger av veggene. Man står fritt til å lage åpninger i fasaden, og bjelkelaget kan spenne fritt over hele bygningens lengde. Det kreves fortsatt videreutvikling for å stabilisere bæresystemet. Systemet gir mulighet for lange spennvidder av bjelkelag, men dette er ugunstig når det gjelder svingningsegenskaper. I badetrom kan det ofte være behov for et eget bæresystem der det skal plasseres husholdningsvaskemaskin.

Krymp vertikalt i søyle-/bjelkekonstruksjon er ubetydelig dersom søylene er kontinuerlige. På grunn av en viss krymp må kryssavstivningene etterspennes.

5.2 Brannsikring



Funksjonsbaserte brannforskrifter

Det er innføringen av funksjonsbaserte brannforskrifter i de nordiske landene som har gjort bygging av fleretasjes hus med bærende trekonstruksjoner mulig. I Sverige er det etter byggnorm BBR 1994 ingen begrensninger i bruk av tre i bærende konstruksjoner så fremt funksjonskravene er oppfylt, men i praksis vil begrensningen være seks – sju etasjer. Etter teknisk forskrift til plan- og bygningsloven fra 1997 er det i Norge krav om at konstruksjonen skal overleve et fullstendig brannforløp. Kravet i teknisk forskrift er relativt likt regelverket i Sverige. I Finland er det fortsatt, etter nytt regelverk i 1997, restriksjoner på bruk av tre i fleretasjes hus med bærende trekonstruksjoner. Her tillates inntil fire etasjer for boliger, men det forutsetter sprinkling. I Danmark er det besluttet å innføre mer funksjonsrelaterte bestemmelser som kan åpne for bruk av tre i bærende konstruksjoner, men regelverket er ennå ikke klarlagt.

Fasadekledning

Når det gjelder bruk av trefasader, er det foreløpig store forskjeller mellom de nordiske landene. I Norge er man

mest liberal og tillater trekledning dersom den er tilgjengelig for brannslukking. I de øvrige nordiske landene er bruk av trekledning begrenset til boliger med inntil to etasjer, med mindre man iverksetter spesielle tiltak. Trekledning kan i begrenset grad brukes på mindre utsatte partier, og restriksjonene er spesielt knyttet til faren for brannspredning via vindu til overliggende bolig.

Sprinkling

Når det gjelder sprinkling av boliger, er dette ikke vanlig i Norden, men er svært utbredt i USA. Der benyttes enkle, rimelige sprinkleranlegg som knyttes til det vanlige vannledningsnett.

I Norge og Sverige har man ikke ønsket å innføre krav om sprinkling, mens det i Finland er krav om sprinkling. Dersom man sprinkler husene, kan man gi avkall på andre krav. I sprinklede hus er det liten risiko for brann med flammer ut gjennom vinduer. Det tillates derfor trekledning i de finske byggeprosjektene, mens de svenske har pusset fasade.

Konstruktiv brannbeskyttelse

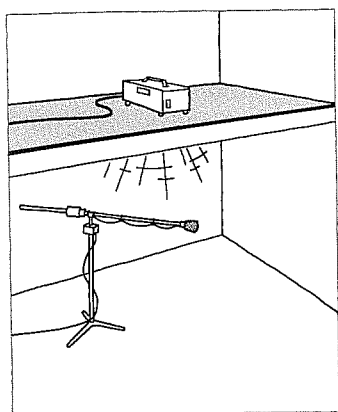
For fleretasjes hus i tre har brannbestemmelsene i stor grad bestemt utformingen. For å oppnå tilfredsstillende brannsikkerhet for fleretasjes trehus har det delvis vært nødvendig å utvikle ny teknikk. Vanligvis sikrer man tilstrekkelig brannmotstand for en bærende vegg med kledning av gipsplater. Ofte har man anvendt doble gipsplater for å oppnå 60 minutters brannmotstand, men dette kreves normalt ikke. Bruk av doble gipsplater er også ønskelig ut fra lydkrav. Den overordnede funksjon er at konstruksjonen beholder sin funksjon gjennom et helt brannforløp. Det er viktig at en brann ikke får spre seg forbi de branncellebegrensende konstruksjonene. Spredningen som kan skje via luftspalter og installasjoner, kan hindres gjennom såkalt brannblokkering. I leilighets skillende vegger kan spalten mellom de to vegg halvdelene tettes med mineralull. Eksempler er vist i kap. 8. Det må tettes godt rundt rør, ventilasjonskanaler og skorsteiner. Fasadekledningen skal ikke medvirke til spredning av brann mellom brannceller, verken i horisontal eller vertikal retning.

I konstruksjonsdetaljene for pilotbyggene (etasjeskiller, yttervegg osv.) inngår brannbeskyttelse med utførelse som minst tilfredsstillende nasjonalt regelverk, men vi må ta forbehold om at den enkelte prosjekterende selv vurderer totalløsning med hensyn til brannegenskaper.

Håndbok om brannteknisk prosjektering

Vi viser ellers til egen håndbok for brannteknisk prosjektering som er utarbeidet i Nordic Wood-prosjektet «Brandsäkra trähus», se [3].

6 Etasjeskiller



- Lavfrekvent trinnlyd avgjør valg av konstruksjon.
- Undergolvet bør ha høy flatemasse og stivhet.
- Flytende, lette golv på mineralull kan gi ekstra lavfrekvensproblemer.
- Dersom man ivaretar lavfrekvensområdet, blir isolasjonen i det øvrige frekvensområdet som regel god nok.
- Bjelkehøyden bør være minst 300 mm.
- Himling i lydbøyle/akustikkprofil eller separat himling må benyttes.

6.1 Etasjeskiller mellom boenheter

Hovedbjelker

Tradisjonelt har massive bjelker blitt brukt, men sammensatte profiler brukes i stor grad bl.a. for større spennviddekapasitet. Eksempler på bjelketyper er gitt i fig. 6.1.1. Bjelkedimensjoner bestemmes av krav til stivhet (svingningsegenskaper), se kap. 4.3. Det er store lyd-messige fordeler ved store hulrom (høye bjelker), gjerne 350 – 400 mm, der hulromsresonansfrekvensen blir lav.

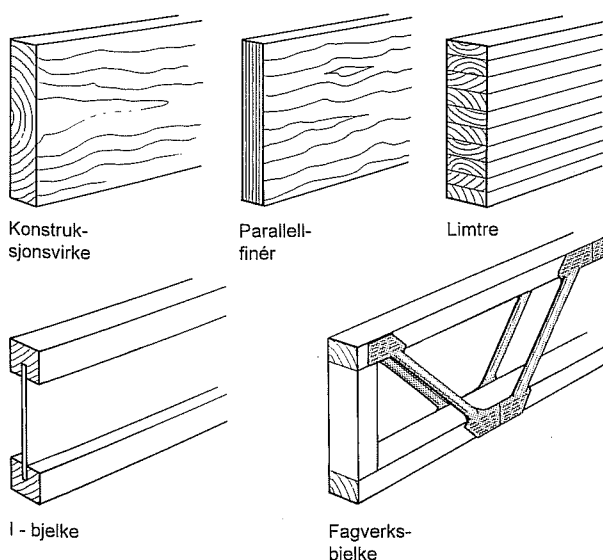


Fig. 6.1.1
Eksempler på bjelketyper

Tabell 6.1.1 gir spennvidder for I-bjelker med nyttelast 1,5 – 2,0 kN/m², hvor det av hensyn til lydisoleringen er stilt krav til større stivhet enn i tradisjonelle bjelkelagstabeller. Tabellene gjelder for undergolv med limte skjøter, og for himling (innertak) som ikke er festet direkte til bærebjelkene (separate himlingsbjelker, lydbøyer eller lydskinner). For bjelkelag som går kontinuerlig over to tilnærmet like spenn, kan spennviddene i tabellene multipliseres med 1,05. Som spennvidde regnes netto avstand (lysåpning) mellom understøttelser (sviller).

Tabell 6.1.1

Maksimalt anbefalte spennvidder (m) for bjelkelag av I-bjelker med senteravstand 0,6 m, hvor det av hensyn til lydisolering er stilt krav til større stivhet enn i tradisjonelle bjelkelagstabeller. Det forutsettes godkjente bjelker og flensdimensjoner min. 45 mm x 45 mm.

Bjelkehøyde (mm)	Maks. spennvidde/lysåpning (m) for I-bjelker
200	2,90
220	3,15
250	3,55
300	4,05
350	4,50
400	4,80

Undergolv

Et bærende undergolv må minimum bestå av 18 mm kryssfinerplater, 22 mm sponplater eller tilsvarende. I byggefasen er undergolvet arbeidsplattform (plattformkonstruksjon) og må tåle mekaniske påkjenninger og nedbør. For å oppnå tilfredsstillende trinnlydisolasjon må undergolvet kompletteres med økt masse og/eller

stivhet, eller vibrasjonsisolert golv (flytende golv, dvs. golv på elastisk underlag). Dette er omtalt nærmere i avsnittet om tilleggskonstruksjoner mellom undergolv og golvoverflate senere i dette kapitlet.

Hulromsabsorbent (mineralullisolasjon)

Av lyd- og branntekniske grunner skal hulrommet i trebjelkelag isoleres med mineralull. Tradisjonelt har det vært vanlig å begrense isolasjonstykkelsen til ca. 50 – 70 % av hulrommet. Effekten av å isolere hele hulrommet er dokumentert gjennom forsøk i det finske pilotbygget «Ylöjärvi». Tabell 6.1.2 gir reduksjon av trinnlydnivå etter EN ISO 717-2 og Bodlund.

Tabell 6.1.2
Eksempel på effekt av variasjon i tykkelse av hulromsabsorbent (etasjeskiller i pilotbygg Ylöjärvi)

Tykkelse og kvalitet av hulromsabsorbent	Trinnlydnivå etter EN ISO 717-2, $L'_{n,w}$	Trinnlydnivå etter Bodlund, L_s
100 mm (33 %), Rockwool 30 kg/m ³	46 dB	63 dB
300 mm (100 %) Rockwool 20 kg/m ³	43 dB	58 dB

Isolasjonen skal av brannhensyn (for EI 60 krav) fastholdes mot å falle ned (ståltråd e.l. i c/c 400 mm). Når man isolerer hele hulrommet, er det viktig at man ikke bruker mineralull med for høy densitet (begrenses til lav eller middels densitet, f.eks. 039 eller 036).

Himling (innertak)

Himlingsplater bør monteres i et elastisk opphengsystem som er effektivt både mht. luftlydisolasjon og trinnlyd. Man kan enten bruke en spesiell lydskinne i tynnplatestål (akustikkprofil), eller trelekter festet til spesielle lydbøyler av stål. Opphengssystemene regnes å være likeverdige med tanke på lydoverføring, og begge er tilstrekkelig fjærende til at man kan oppnå tilnærmet samme lydisolering som konstruksjoner med separate himlingsbjelker. Det er forutsatt at lasten fra himlingen (innertaket) fordeles jevnt til lekter/skinner og bøyler. Det er viktig at man følger produsentens monteringsanvisning for produktene, da fjæringsegenskapene er tilpasset bestemte utførelser. Lydbøylene og lydskinnene er utformet og dimensjonert for anbefalt last som tilsvarer et platelag. Lydbøyler og lydskinner er vist i fig 6.1.2.

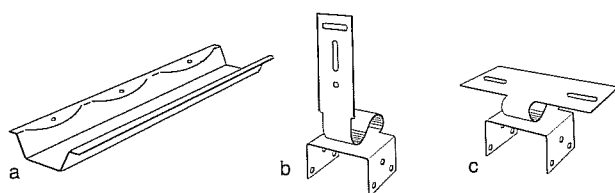


Fig. 6.1.2
a. Akustikkprofil/lydskinne av stål
b. Lydbøyle for vertikal innfesting til bjelker
c. Lydbøyle for horisontal innfesting oppunder en plan flate eller bjelke

Lydbøylene festes med senteravstand 1,2 m langs hver hovedbjelke, og i et rutemønster slik at himlingslektene får en spennvidde på 1,2 m mellom hver bøyle, se fig. 6.1.3. Lekter monteres i c/c 0,6 m på tvers av hovedbjelkene. Lydskinner monteres i senteravstand 0,4 m tvers på bjelkelaget og festes til hver hovedbjelke (senteravstand 0,6 m) med skruer i forborede hull (i skinnene). Se også fig. 6.1.4. Det er spesielt viktig at innfestingspunktene ikke endres, da fjæringseffekten er avhengig av korrekt montering.

Det er fortsatt mulig å bruke separate bjelker for himlingen som stikker ned under hovedbjelkene slik at det ikke er kontakt mellom bjelkelag og himling (innertak). Lydmessig kan det ha fordeler, men bjelkene må ha relativt store dimensjoner, og konstruksjonen blir derved materialkrevende og er mer komplisert å utføre.

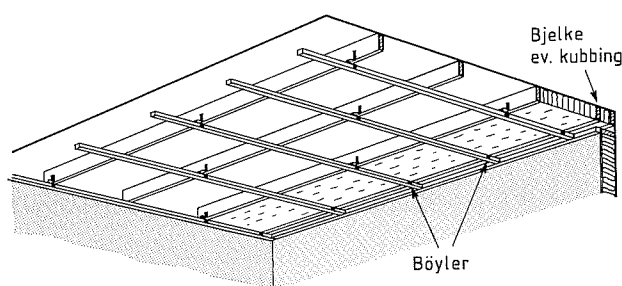


Fig. 6.1.3
Montering av lydbøyler og lekter. Lekter monteres tvers på bjelkelaget i c/c 600 mm. NB! Lydbøylene skal monteres i c/c 1 200 mm langs lektene. Det er forutsatt bruk av to lag gipsplater i himling (innertak). Alternativt kan man bruke separate himlingsbjelker.

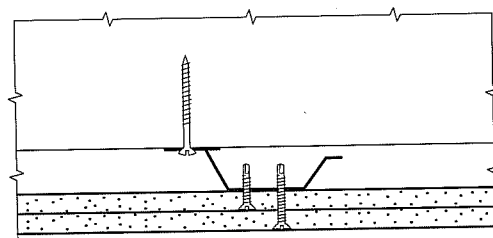


Fig. 6.1.4
Montering av lydhimling til akustikkprofiler. Akustikkprofilene monteres tvers på bjelkelaget i c/c 400 mm. Det er forutsatt bruk av to lag gipsplater i himling (innertak). Bruk ikke lange skruer i første platelag pga. fare for «kortslutning»!

Golvoverflate

Trinnlydegenskapene til ulike beleggtypen kan vurderes ut fra trinnlydforbedringstallet, ΔL_w (dB), som er differansen i veid trinnlydnivå, målt uten og med belegg/overgolv etter EN ISO 717-2: $\Delta L_w = L_{n,w}$ (rådekke) – $L_{n,w}$ (med belegg/overgolv). Vanligvis er trinnlydforbedringstallet relatert til rådekke av 140 mm – 180 mm betong. Et trebjelkelag uten belegg har i seg selv mye bedre høyfrekvensisolering for trinnlyd enn et rådekke av betong. Golvbelegget får dermed mye lavere forbedrings-

tall på et trebjelkelag enn på et betongdekke. Typiske verdier for «gode trinnlydbelegg» er et trinnlydforbedringstall på 15 – 21 dB målt på betongdekker, men bare 2 – 4 dB målt på trebjelkelag. Det er da bare vurdert standard frekvensområde fra 100 – 3 150 Hz.

Golvbelegg (banebelegg av vinyl eller linoleum + tepper) kan leveres enten med myk bakside eller med et dempesjikt for å øke trinnlyddempingen. Belegget virker fjærende ved høyere frekvenser og reduserer kraften fra hammerapparatet. Resonansfrekvensen, f_0 , er den frekvensen der man begynner å få reduksjon i trinnlydnivået. Det er viktig at resonansfrekvensen er lav. Vanligvis er resonansfrekvensen for «gode» golvbelegg imidlertid ikke lavere ca. 250 Hz.

Tynne parkettgolv/plastlaminatgolv må ha underlag av dempesjikt (skumplast, korksmulepapp e.l.) for å gi en viss trinnlydforbedring. Dette gir en dobbelkonstruksjon der hulromsresonansen ofte fører til en markert svekkelse av luftlydisoleringen. Normalt øker trinnlydnivået tilsvarende i det samme frekvensområdet. Enkle overslagsberegninger viser at med typiske parkettykkelser (7 – 15 mm) og dempesjikt (3 mm ekspandert skumplast) blir resonansfrekvensen i området 300 – 400 Hz.

Ut fra hva vi tidligere har sagt om krav og anbefalinger, bl.a. til lavfrekvent trinnlydisolasjon (kap. 4.1 og 4.2), er det åpenbart at golvoverflaten overhodet ikke kan gi noe tilskudd til lavfrekvent trinnlyddemping siden effekten først kommer fra ca. 250 – 400 Hz. Golvbelegg og golv på myke dempesjikt kan derimot gi en god effekt for mellom- og høyfrekvensområdet. For de typene av trebjelkelag som vi behandler, er imidlertid behovet for tilleggsdemping i dette frekvensområdet sterkt begrenset.

Tilleggskonstruksjoner mellom undergolv og golvoverflate

Lydavstråling fra fottrinn reduseres mest effektivt i lavfrekvensområdet med økt masse og/eller stivhet av undergolvet, eller ved å legge inn et vibrasjonsisolert golv oppå undergolvet. Det vil si at undergolvet må kompletteres med tilleggskonstruksjoner i tillegg til tradisjonell golvoverflate. Tabell 6.1.3 gir oversikt over noen prinsipper/metoder som går igjen i flere av etasjeskille- lerne i pilotbyggeksempelene. Mange av løsningene gjør konstruksjonene relativt kompliserte og dyre, samtidig som de produksjonsmessig kan gi nye utfordringer (mht. framdrift, fuktsikring osv.)

Med økt masse og/eller økt stivhet vil lydavstrålingen pga. svikt, vibrasjoner og svingninger fra etasjeskille- ren reduseres.

Med plate på elastisk dempesjikt vil dempesjiktet bidra til redusert trinnlydnivå. For å unngå sjenerende svikt i golvoverflaten er det ofte nødvendig å bruke flere tykke platelag (f.eks. 22 mm sponplate + 13 mm gipsplate) oppå dempesjiktet. Selve dempesjiktet bør derimot ha så lav stivhet som mulig (vanligvis 25 – 30 mm mineralull, trinnlydmatte). For å oppnå maksimal demping bør det elastiske dempesjiktet legges på et luft- åpent undergolv slik at luften i dempesjiktet kan evakuere ved dynamisk belastning. Man kan bruke et spaltegolv av bord med minst 23 mm x 98 mm med avstand minst 20 mm, eller min. 18 mm golvplater som er perforert eller slisset (perforeringsgrad minst 20 %). Målinger har vist at det er mulig å oppnå fra 2 til 6 dB forbedring av trinnlydnivåene ved å utnytte muligheten for evakuering av luft ned i hulrommet.

Tabell 6.1.3
Oversikt over prinsipper/metoder for tilleggskonstruksjoner på golv

Prinsipp	Beskrivelse	Merknad
Tilleggsmasse på undergolvet	25 mm avrettingsmasse (gipsbetong e.l.) ev. på gummimatte	Effekten av grensefrekvensen for avrettingen (700 – 800 Hz) påvirker lydisolasjonen, men dempes av parkett og parkettunderlag.
	50 mm betongheller på undergolvet, avretting og plategolv	Legges kant i kant
	50 mm tørr sand mellom trelekter, plategolv	Sanden sikres mot forskyvning ved trafikk på golvet (pumpeeffekt) av trelektene.
	30 mm sand i honeycomb-celler, plategolv	Sanden sikres mot forskyvning ved trafikk på golvet (pumpeeffekt) av cellene.
Økt masse og/eller stivhet av undergolvet	Korrugerte stålplater med to lag golvgipsplater skrudd fast	
	38 mm sponplate og 13 mm golvgipsplate	
	Korte ned senteravstanden mellom bjelker til 300 mm eller 400 mm	Økt stivhet pga. kortere spennvidde i tverretningen
Plate på elastisk dempesjikt (vibrasjonsisolert golv)	36 mm porøse trefiberplater, plategolv	
	25 mm stive mineralullplater, plategolv	Uheldige lavfrekvensresonanser (masse i overgolvet/stivhet i dempesjikt)
	50 mm støpeplate av mineralull, 50 – 80 mm påstøp av betong	Resonansfrekvensen reduseres med tyngre overgolv og lavere stivhet i dempesjikt

Det er vanskelig å få resonansfrekvensen under 80 – 100 Hz for golv på elastisk underlag. Man får uansett en forsterkning rundt resonans som slår negativt ut i frekvensområdet under 100 Hz, som vi har definert som svært betydningsfullt ved subjektiv bedømmelse av trinnlyd.

6.2 Oppleggsdetaljer og flanke-transmisjon

Ved opplegg av bjelkelag på yttervegg, lydskillevegg, innervegg og utvekslingsbjelker vil lyd overføres til underliggende konstruksjon. Utforming av detaljløsninger er viktig.

Følgende forhold er viktige:

- Lette bærevegger gir mindre flankeoverføring med økt stivhet i stendere og flere platelag.
- Kontinuerlige bjelker over bærevegger gir lavere trinnlydnivå til rommet under fordi lydenergien fordeles til flere rom.

Åpne dragere (limtredrager) gir betydelig svekkelse (særlig ved separate himlingsbjelker) pga. uheldig kobling mot lydhimling, se fig. 6.2.1.

Punktvis opplagring av bjelkelaget på bærevegger gir mindre lydoverføring.

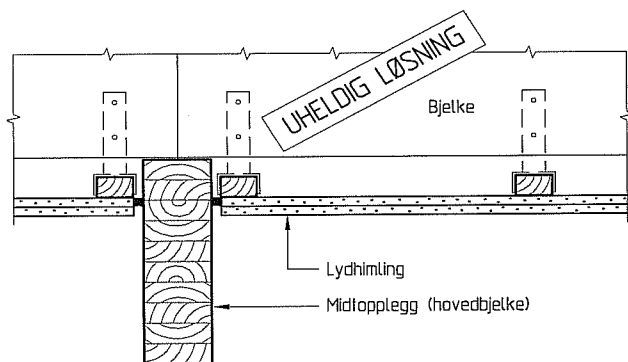


Fig. 6.2.1 Uheldig løsning med åpen limtredrager i forbindelse med lydhimling. Med vanlig utførelse av vibrasjonsisolerende opphengssystem eller separate himlingsbjelker svekkes trinnlydisolasjonen betydelig ved lave frekvenser pga. at vibrasjoner lett overføres fra bjelkelaget via bærebjelke til himling (innertak).

Figur 6.2.2 viser alternativ midtopplegg av bjelkelag, med innfelt hovedbjelke (her av stål).

Flytende golv på mineralull kan gi betydelig redusert overføring av lyd til gjennomgående vegger. Det er

forutsatt at golvene legges med klaring til veggene som fig. 6.2.3 viser. Det er viktig at det legges inn forsterkning ved alle frie platekanter for å unngå for store deformasjoner/nedbøyning. Her kan det legges inn strimler av porøse trefiberplater e.l.

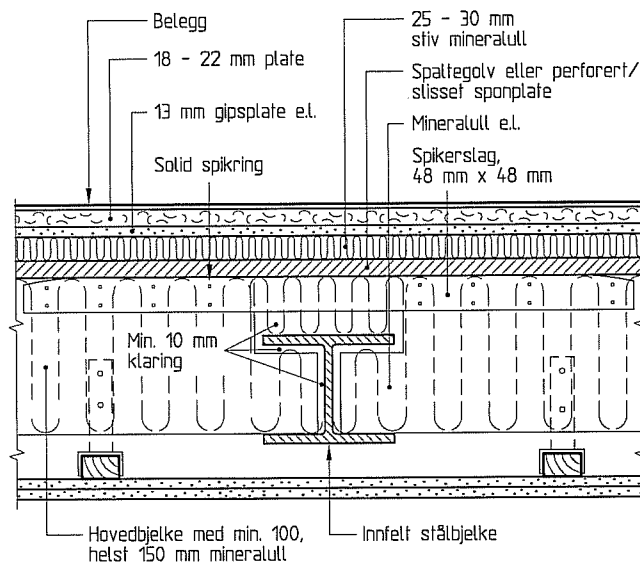


Fig. 6.2.2 Midtopplegg på innfelt stålbejelke. Figuren viser også løsning med flytende golv på mineralull. Flytende golv på mineralull har begrensede egenskaper når det gjelder lavfrekvent trinnlyd, se foran.

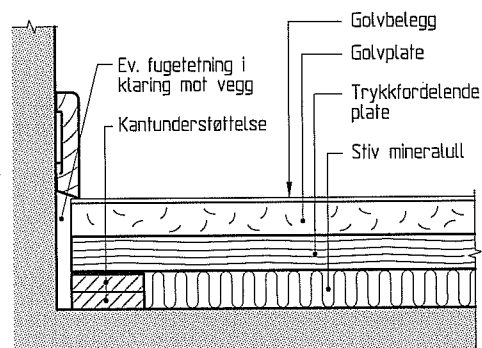
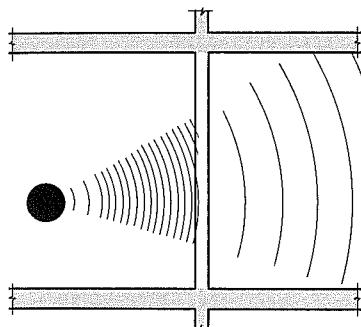


Fig. 6.2.3 Flytende golv på mineralull trenger kantforsterkning med strimler av porøse trefiberplater e.l.

7 Skillevegger



- Dobbelt bindingsverk med hulromsavstand 220 mm – 300 mm
- I intervju med beboerne fikk skilleveggene god bedømmelse.
- Korridorvegger med utførelse som leilighets-skillevegg
- Tilslutningsdetaljer mot golv og himling

7.1 Lydskillevegg mellom boenheter

Konstruksjonsprinsipp

Lydskillevegger mellom boenheter består av doble bindingsverksvegger. Resonansfrekvensen, f_0 (dobbelveggsresonansen), for skillevegger bør være lavere enn 50 Hz. Man er da sikret er rimelig god isolasjon mot basslyder bl.a. fra radio, tv og musikkanlegg. Resonansfrekvensen bestemmes av innvendig avstand mellom to tilnærmet lufttette sjikt (hulromsdybden) og flatemassen for sjiktene (platekledning på hver side av veggen). Den bestemmes av formelen:

$$f_0 \approx 60 [(1/m_1 + 1/m_2)/d]^{1/2}$$

m_1 = flatemassen for sjikt 1 (kg/m^2)

m_2 = flatemassen for sjikt 2 (kg/m^2)

d = innvendig avstand mellom yttersjiktene (m)

De parametrene man kan variere, er densitet, bøyestivhet og antall kledningsplater på veggen, isolasjonstykkelse i veggen og stendernes bøyestivhet og senteravstand. For vegger som er helt fylt med isolasjonsmateriale, viser undersøkelser at man kan få et tap i lydisoleringen dersom densiteten overskrider 50 – 70 kg/m^2 . Med to platelag på hver side av veggen og hulromsdybde på 200 mm blir resonansfrekvensen ca. 45 Hz, hvilket er en løsning man anbefaler.

Konstruksjonsoppbygning er vist i fig. 7.1.1. Dobbelkonstruksjonen må ikke kobles sammen i forbindelse med tilslutninger til andre bygningsdeler.

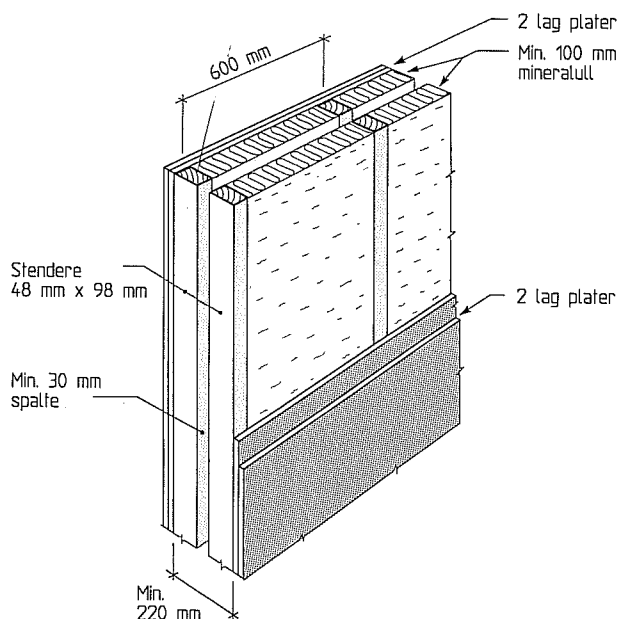


Fig. 7.1.1
Konstruksjonsoppbygning for dobbelt lydskillevegg

brannspredning monteres normalt mineralullisolasjon (brannstopp) i overgangen mellom etasjene. Mineralullisolasjon monteres også mot yttervegg for å sikre mot luftbevegelser (trekk) og for å øke brannmotstanden. Se fig. 7.1.2.

Tilslutning mot yttervegg

En typisk tilslutning mellom lydskillevegg og yttervegg med stående tømmermannskledning er vist i fig. 7.1.2.

Hulrommet mellom bindingsverkene skal normalt ikke fylles med isolasjon pga. fare for mekanisk sammenkobling, som vil redusere lydisolasjonen. Men pga.

Tilslutning til støpt golv på grunnen

For å hindre lydoverføring i golvet er det viktig at betongplaten, inklusive armeringen, er brutt under skillevegg. Spalten må gjøres lufttett med et pappsjikt e.l. slik at ikke fuktig luft fra grunnen får trekke opp i skillevegg. Fugen i betongplaten fylles med lett mineral-

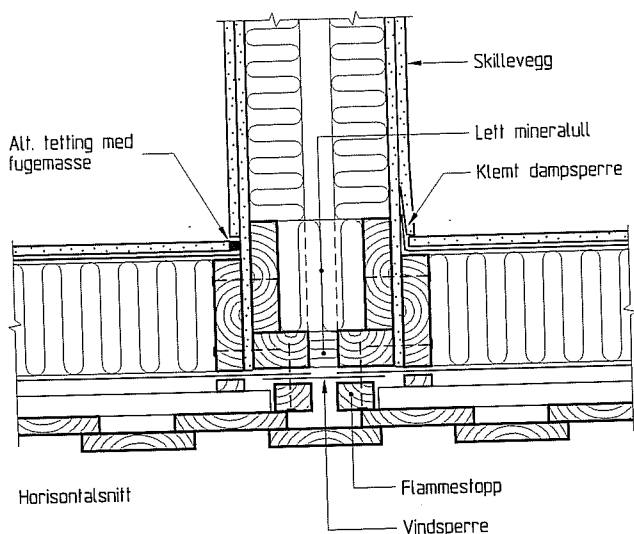


Fig. 7.1.2
Typisk tilslutning mellom skillevegg og yttervegg med tømmermannspanel

ull for å hindre at det senere i byggeperioden kommer annet materiale inn i fugen. Eksempel er vist i fig. 7.1.3. Som alternativ til spalte under lydskilleveggen er det lagt en kontinuerlig betongplate med tykkelse minst 160 mm. Lydisoleringen kan imidlertid bli dårlig med kontinuerlig betongplate ved lave frekvenser, dersom golvet har parkett på elastisk sjikt.

Ved bærende lydskillevegg må betongplaten forsterkes, som vist i fig. 7.1.4.

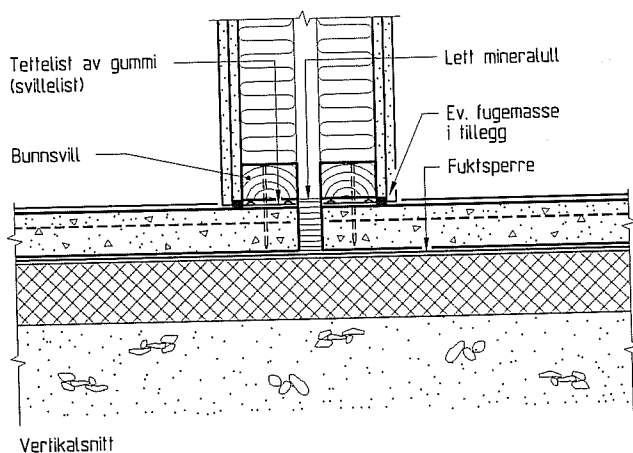


Fig. 7.1.3
Tilslutning mot golv på grunnen
Betongplaten kan støpes med et skillebord som fjernes etterpå. Det må påses at fugen er helt fri for materialrester før den fylles med lett mineralull. Tetting mellom bunnsviller og golv suppleres med fugemasse dersom tettelistene ikke får tilstrekkelig klem i praksis. Fugen må tettes med fugemasse e.l. for å unngå at fuktig luft trenger opp fra grunnen.

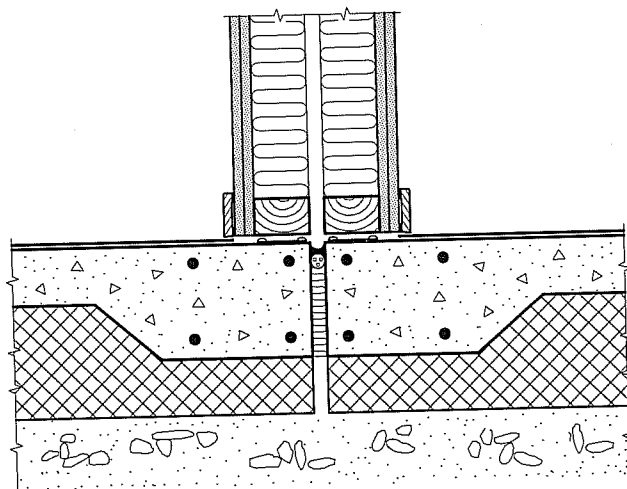


Fig. 7.1.4
Forsterkning av betongplate ved bærende lydskillevegg
Fugen må tettes med fugemasse e.l. for å unngå at fuktig luft trenger opp fra grunnen

7.2 Innvendige skillevegger

Lettvegger kan monteres oppunder lydhimling som vist i fig. 7.2.1.

Mot golv skal lettvegger fortrinnsvis plasseres ned på undergolvet. På flytende golv kan lettvegger (ikke-bærende) plasseres etter at golvet er lagt. Vær oppmerksom på at flytende golv på dempesjikt vil gi en reduksjon i sideveis luft- og trinnlydisolasjon. Eksempel er vist i fig. 7.2.2.

Innvendig bærende skillevegger for understøttelse av bjelkelag må føres opp til bjelkelaget. Det er viktig at bæreveggen isoleres og kles med to lag platekledning for å begrense avstrålingen fra bærevegg, se fig. 7.2.3.

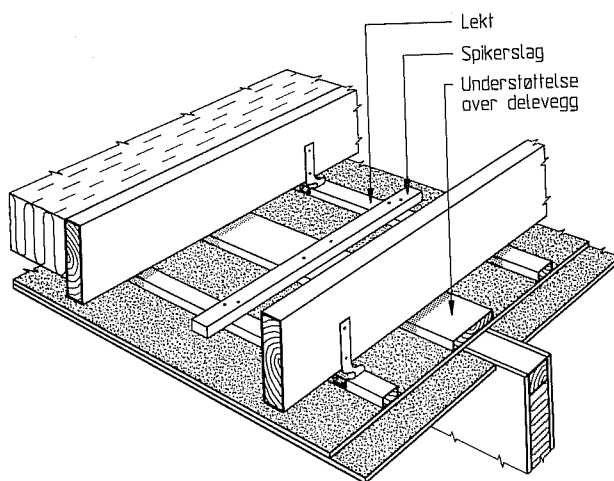


Fig. 7.2.1
Tilslutning mellom lydbøylehimling og ikke-bærende skillevegg

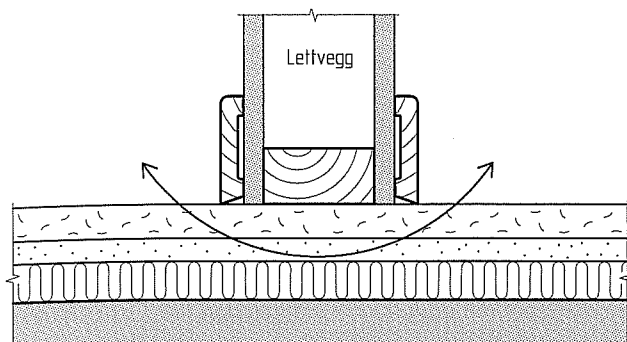


Fig. 7.2.2

Lettvegg på lett, flytende golv

NB! Kan bare brukes for skillevegger i samme boenhet pga. redusert sideveis lydisolasjon

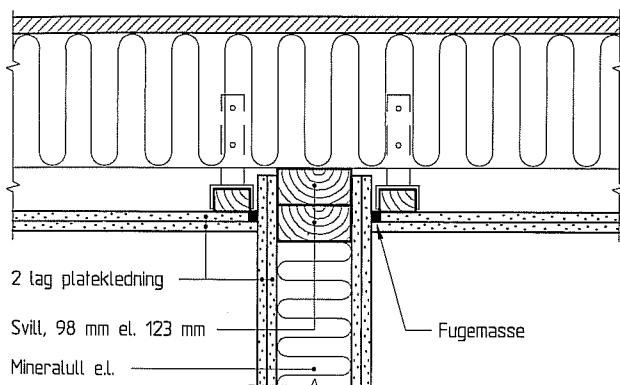


Fig. 7.2.3

Bærevegg bør isoleres og kles med to lag platekledning for å begrense avstrålingen fra bærevegg.

7.3 Vegger mot korridor

Vegger mot korridor skal i utgangspunktet utføres som doble lydskillevegger slik som vegger mellom boenheter. I etasjeskiller/golv i korridor bør det legges inn en fuge slik at trinnlydoverføringen sideveis reduseres. Det er da naturlig å montere den doble skilleveggen på hver side av denne fugen.

8 Hovedkonstruksjoner i pilotbygg

- Totalt er det oppført åtte – ti pilotbyggeprosjekter i Norden innenfor prosjektet.
- Ulike bæresystemer er benyttet.
- Oppbygging av etasjeskiller, yttervegg og skillevegger viser alternative muligheter.
- Ulike fasadekledninger etter tradisjon og regelverk

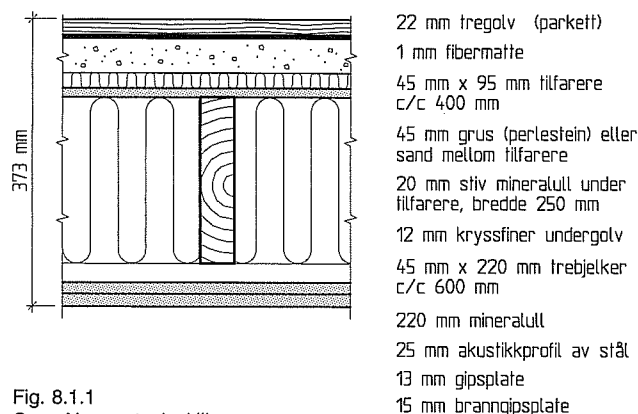


Fig. 8.1.1
Casa Nova, etasjeskiller
Hørsholm: sand mellom tilfarerne
Herning: grus (perlestein) mellom tilfarerne

8.1 Danmark

Casa Nova, Hørsholm og Herning

Beskrivelsen av prosjektene er hentet fra [6], [23] og [26]. Prosjektet i Hørsholm er et bolighus i tre etasjer på 3 200 m² som inneholder 36 leiligheter. Prosjektet i Herning er også et bolighus på tre etasjer, på 5 500 m² og med 72 leiligheter. Byggesystemet er basert på prefabrikkerte, romstore elementer for innervegger, yttervegger og etasjeskillere. Veggelementene er etasjehøye med bredde opp til 5 m. Det er brukt bjelker og stolper av tre med en tykkelse på 45 mm. Stolpene er typisk 120 mm brede i bærende vegger og 195 mm brede i yttervegger. I bjelkelag er bjelkene 220 mm høye. Alle trekonstruksjonene er kledd med gipsplater. Det statiske systemet er bærende tverrvegger og bjelkelag med bjelker i husets lengderetning. På bjelkene ligger et undergolv av 12 mm kryssfinerplate som en samlet vannrett skive i hele husets utstrekning. Bade- og våtrom er egne enheter. Trapper har bærende konstruksjoner av stål eller betong pga. brannkrav. Figur 8.1.1 viser snitt av etasjeskiller.

Figur 8.1.2 – 8.1.4 viser tilslutningsdetaljer mellom etasjeskiller, lydskillevegg og yttervegg.

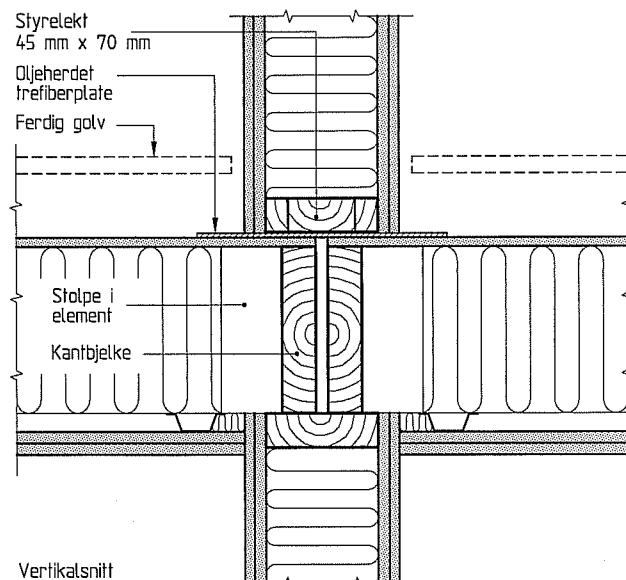
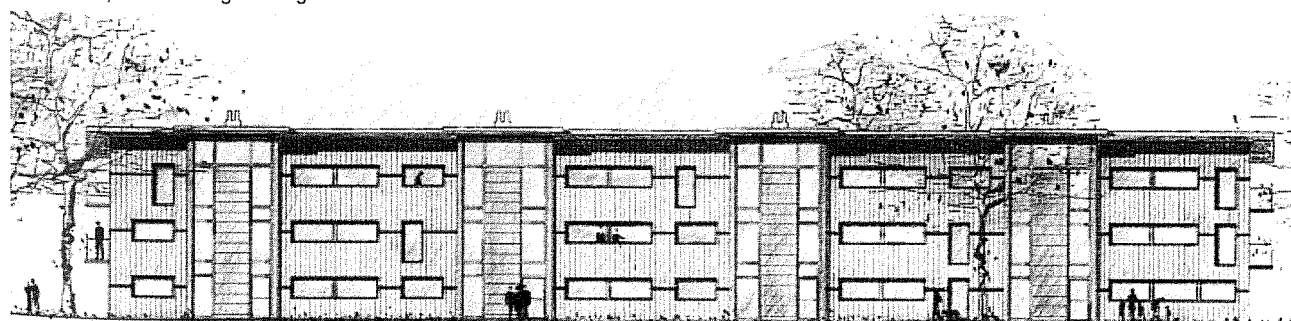


Fig. 8.1.2
Casa Nova, tilslutning etasjeskiller – bærevegg

Casa Nova, Hørsholm og Herning



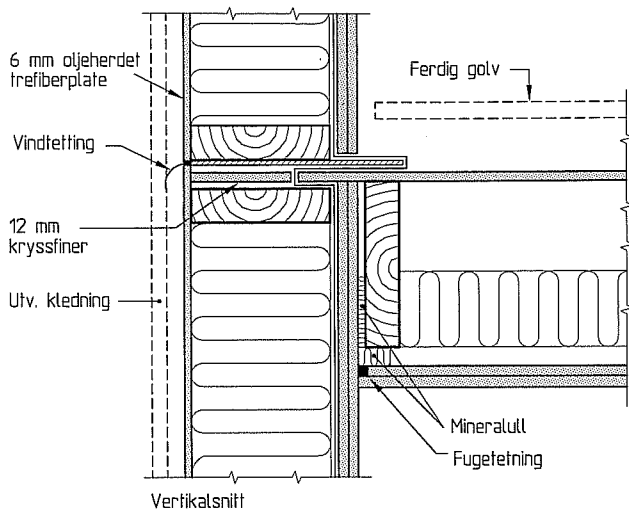


Fig. 8.1.3
Casa Nova, tilslutning etasjeskiller – yttervegg

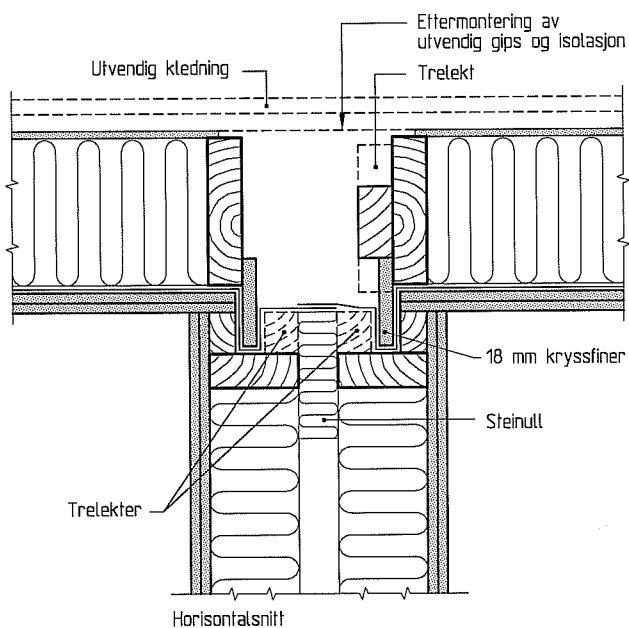
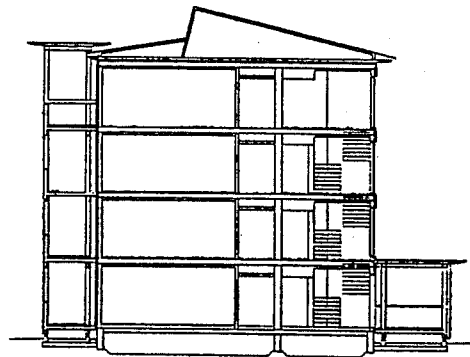


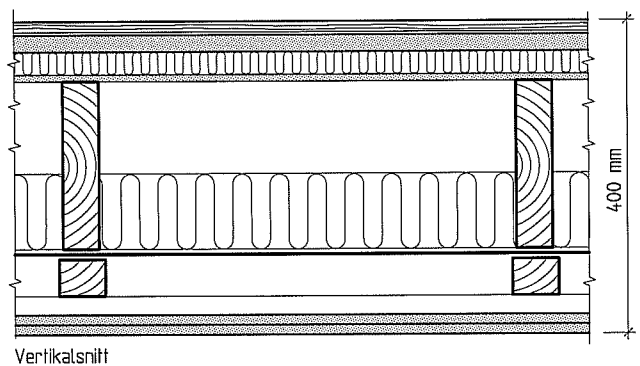
Fig. 8.1.4
Casa Nova, tilslutning lydskillevegg – yttervegg (horisontalsnitt)

8.2 Finland Vik/Viikki, Helsingfors



Beskrivelsen av prosjektet er hentet fra [6] og [26]. Pilotprosjektet består av bolighus i to til fire etasjer. Husene er bygd av elementer (rommoduler og fasadeelementer). Bjelkelaget består av 222 mm massive trebjelker med 12 mm undergolv av kryssfiner. Bjelkelaget er komplettert med 22 mm sponplate på 30 mm stiv mineralull. Himlingene består av 15 mm sponplate og 13 mm gipsplate i akustikkprofil. Yttervegger består av 147 mm trestendere med utvendig luftet trekledning over 9 mm utvendig gipsplate. Innvendig er veggen kledd med 13 mm gipsplate. Bærende innervegger består av dobbelt 122 mm bindingsverk med en 12 mm sponplate og en 13 mm gipsplate på hver side. Heissjakt og trappelhus er også trekonstruksjoner. Alle rom er sprinklet, siden tre er brukt som fasademateriale.

Figur 8.2.1 viser snitt av etasjeskiller. Figur 8.2.2 og 8.2.3 viser tilslutningsdetaljer mellom etasjeskiller, lydskillevegg og yttervegg.



- | | |
|---|------------------------------|
| 14 mm parkett | Stålnett under mineralull |
| 4 mm kork | 48 mm x 61 mm lekter |
| 22 mm sponplate | 25 mm akustikkprofil av stål |
| 30 mm stiv mineralull (trinnlydplate) | 2 stk. 13 mm gipsplater |
| 9 mm kryssfiner | |
| 48 mm x 222 mm eller 73 mm x 222 mm bjelker
c/c 300 - 600 mm | |

Fig. 8.2.1
Vik/Viikki, etasjeskiller

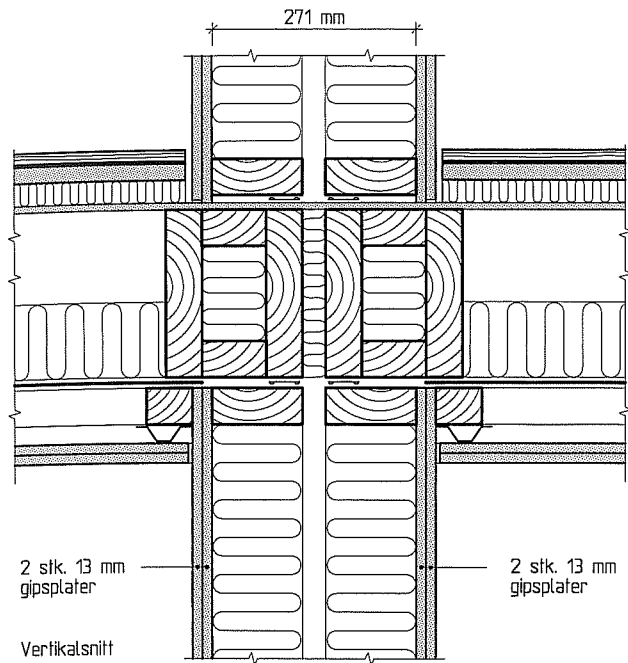


Fig. 8.2.2
Vik/Viikki, tilslutning etasjeskiller – lydskillevegg

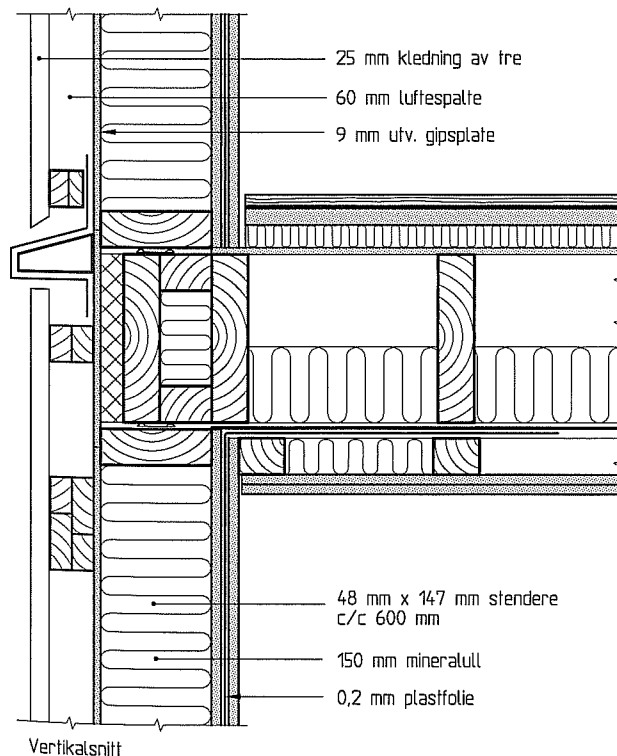
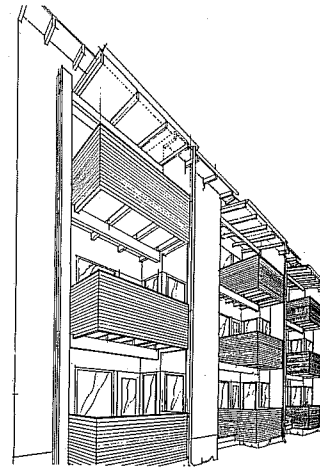


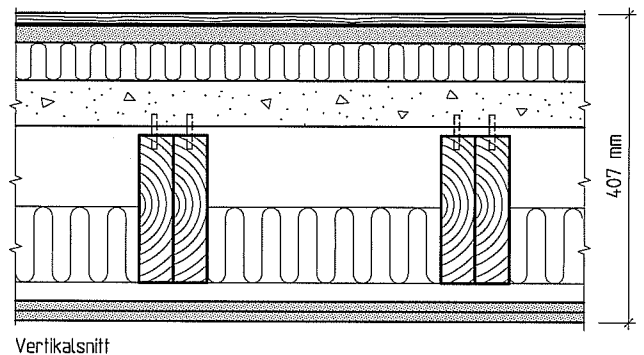
Fig. 8.2.3
Vik/Viikki, tilslutning etasjeskiller – yttervegg

Uleåborg/Oulu



Beskrivelsen av prosjektet er hentet fra [6] og [26]. Pilotprosjektet består av et bolighus i tre etasjer. Det er brukt to typer etasjeskillere. Den ene er et bjelkelag av samvirke tre-betong (60 mm betong på tre, RL-dekke). Det andre er med I-bjelker av tre med steg av trefiberplate (Titanite I-bjelke). Det er brukt flytende golv av sponplate og himling av gipsplater i akustikkprofil. Ytterveggene er av tre med doble gipsplater på utvendig side. Bærende innervegger er av tre med kryssfiner og gipsplater. Heissjakten er av betong. Fasaden består av utlektet trekledning med lettsprinkling.

Figur 8.2.4 og 8.2.5 viser snitt av etasjeskiller (to typer). Figur 8.2.6 og 8.2.7 viser tilslutningsdetaljer mellom etasjeskiller (type 1), lydskillevegg og yttervegg.

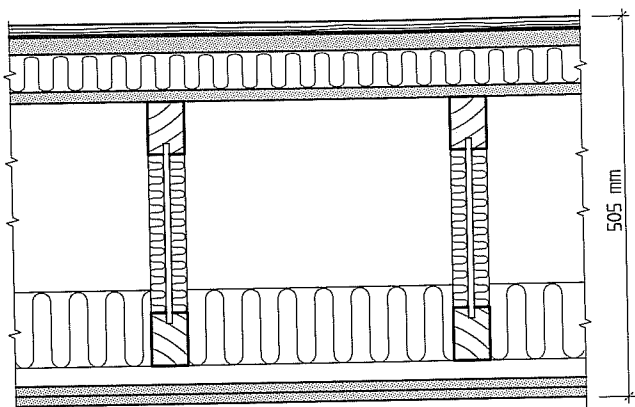


Vertikalsnitt

14 mm parkett	100 mm mineraltull
3 mm ekspandert polyeten	25 mm akustikkprofil av stål c/c 400 mm
22 mm sponplate	2 stk. 13 mm gipsplater
50 mm stiv mineralull (trinnlydplate)	

Trelement av:
Doble 45 mm x 195 mm bjelker
c/c 400 mm
med 60 mm betongplate

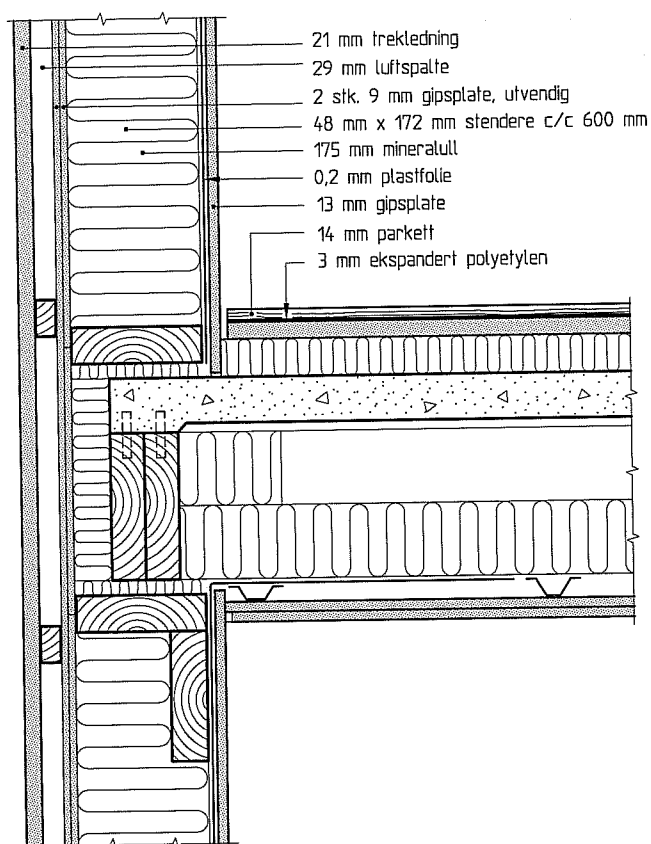
Fig. 8.2.4
Uleåborg/Oulu, etasjeskiller – 1



Vertikalsnitt

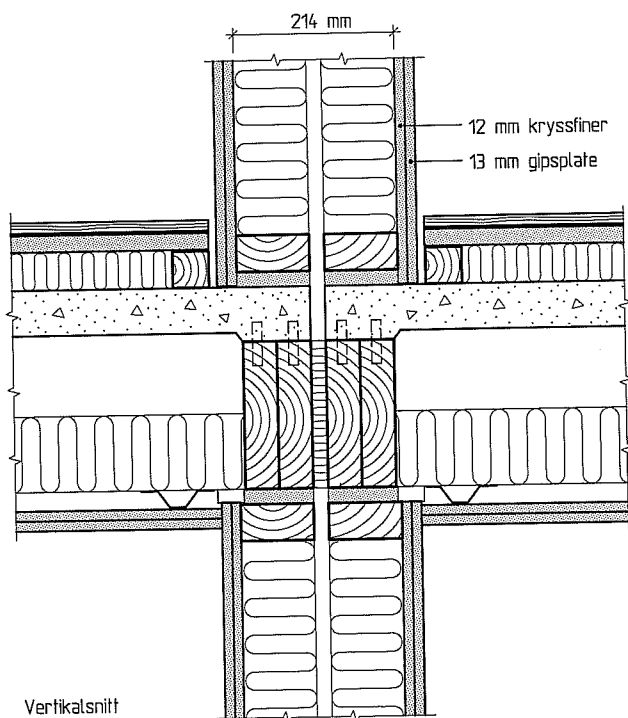
- 14 mm parkett
- 3 mm ekspandert polyetylen
- 22 mm sponplater
- 50 mm stiv mineralull (trinnlydplate)
- 15 mm kryssfiner
- 350 mm I-bjelker c/c 400 - 600 mm
- 100 mm mineralull
- 25 mm akustikkprofil av stål
c/c 400 mm
- 2 stk. 13 mm gipsplater

Fig. 8.2.5
Uleåborg/Oulu, etasjeskiller - 2



Vertikalsnitt

Fig. 8.2.7
Uleåborg/Oulu, tilslutning etasjeskiller - yttervegg



Vertikalsnitt

Fig. 8.2.6
Uleåborg/Oulu, tilslutning etasjeskiller - lydskillvegg

Ylöjärvi



Beskrivelsen av prosjektet er hentet fra [6] og [26]. Pilotprosjektet består av et bolighus i tre etasjer. Husene har søyle-/dragerkonstruksjon med kryssfiner (fanertre). Bæresystemet er prefabrikkert, mens øvrige ikke-bærende deler er plassbygde. Husene har lett sprinkelsystem. Bjelkelaget består av sammensatt fagverksbjelke (Kerto) med undergolv av 30 mm kryssfinerplater, komplettert på oversiden med 3 stk. 13 mm golvgipsplater på 30 mm mineralull. På undersiden er det montert 2 stk. 13 mm gipsplater i akustikkprofil. Ytterveggen består av bindingsverk av tre med 9 mm utvendig gipsplater under ytterkledding av tre med 13 mm gipsplater på innsiden. Leilighetsskilleveggene består av dobbelt bindingsverk med 2 stk. 13 mm gipsplate på hver side. Veggene i korridorene og trappehusene er kledd med sementsponplater. Fasaden er kledd med trepanel. Det er et beslag ved hvert bjelkelag som bryter luftspalten, og som fungerer som flammeskjerm. Trappehusene er i tre, mens heissjaktene er i betong.

Figur 8.2.8 viser snitt av etasjeskiller. Figur 8.2.9 – 8.2.11 viser tilslutningsdetaljer mellom etasjeskiller, lydskillevegg og yttervegg.

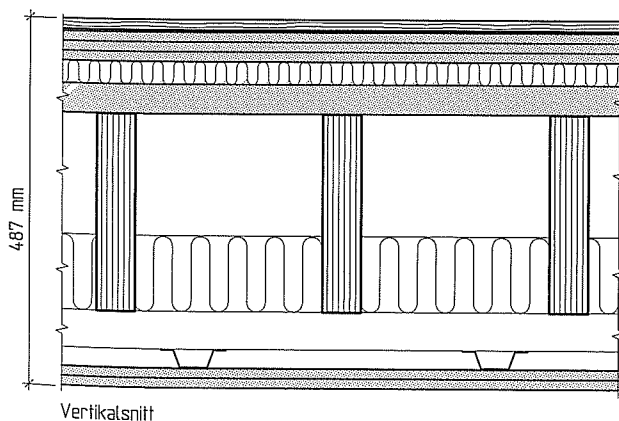


Fig. 8.2.8
Ylöjärvi, etasjeskiller

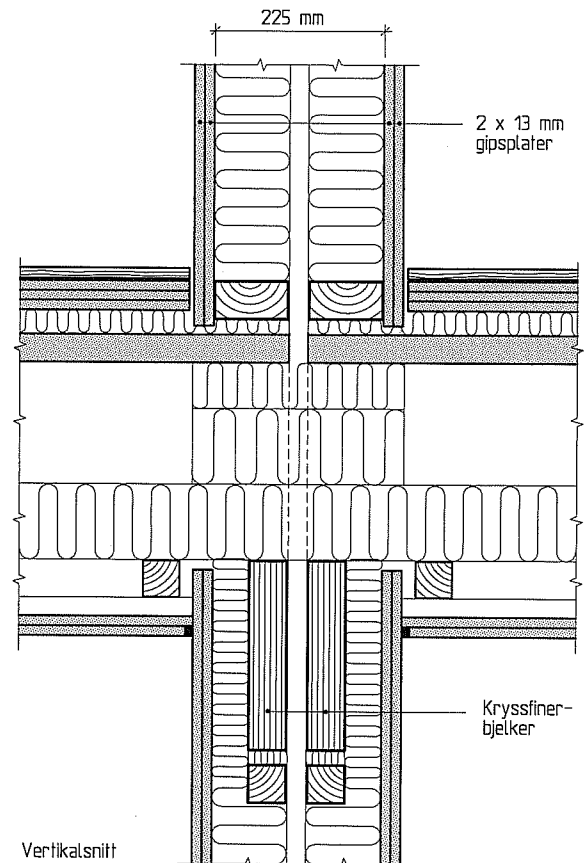


Fig. 8.2.9
Ylöjärvi, tilslutning etasjeskiller – lydskillevegg

Vinyl eller parkett på 3 mm ekspandert polyetylen
 3 stk. 13 mm gipsplater, undergolv
 30 mm stiv mineralull (trinnlydplate)
 300 mm golvelement (39 mm LVL-plate, 51 mm x 261 mm LVL-bjelker c/c 300 mm)
 100 mm mineralull
 50 mm x 50 mm lekter c/c 300 mm
 25 mm akustikkprofil av stål c/c 400 mm
 2 stk. 13 mm gipsplater

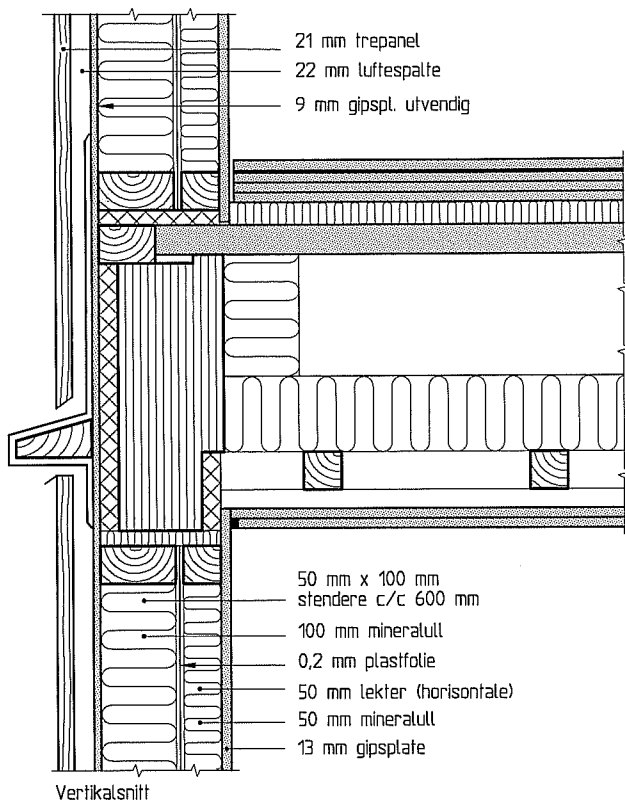


Fig. 8.2.10
Ytöjörvi, tilslutning etasjeskiller – yttervegg (tvers på bjelkeretningen)

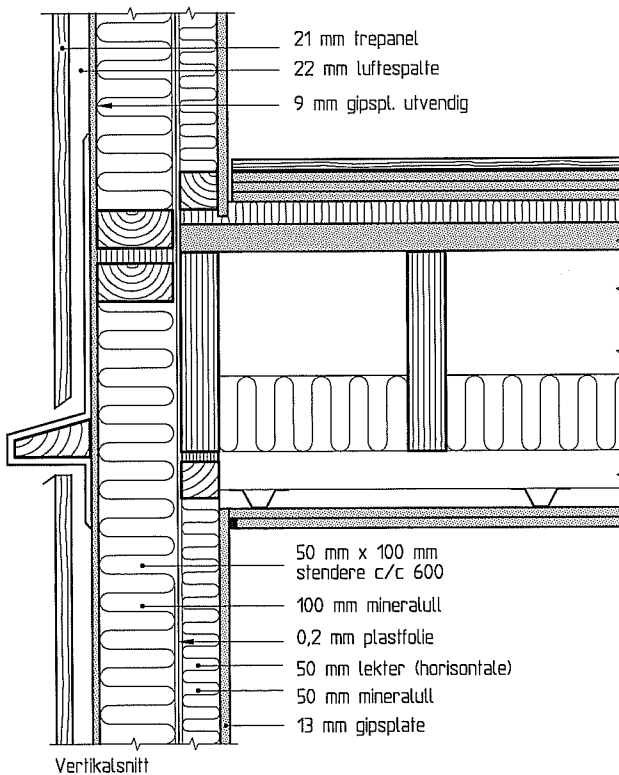
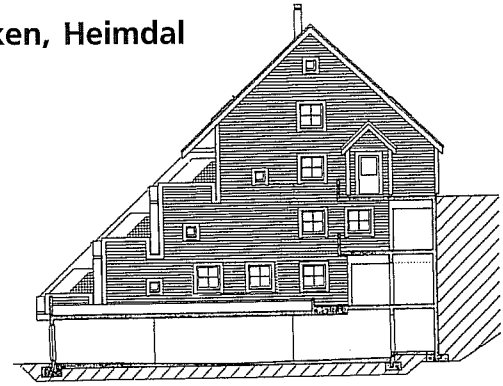


Fig. 8.2.11
Ytöjörvi, tilslutning etasjeskiller – yttervegg (parallelt bjelkeretningen)

8.3 Norge Solbakken, Heimdal



Pilotprosjektet består av et bolighus i fire etasjer (terrassehus). Huset er bygd med tradisjonell plattformkonstruksjon. Bjelkelaget består av 400 mm høye I-bjelker av tre med undergolv av 22 mm sponplate (slisset), komplettert på oversiden med 25 mm stiv mineralull, 13 mm gipsplate, 22 mm sponplate og 14 mm parkett. På undersiden er det montert 13 mm + 15 mm gipsplater i akustikkprofil. Ytterveggen består av bindingsverk av tre med 9 mm utvendig gipsplate under utlektet ytterkledning av tre og med 13 mm gipsplate på innsiden. Leilighetsskilleveggene består av dobbelt bindingsverk med 2 stk. 13 mm gipsplater på hver side. Fasaden er kledd med trepanel på tradisjonell måte. Trappehusene er i betong. Det er store terrasser i front av hver leilighet der det også er lagt et trinnyddempende sjikt i konstruksjonen.

Figur 8.3.1 viser snitt av etasjeskiller. Figur 8.3.2 og 8.3.3 viser tilslutningsdetaljer mellom etasjeskiller, lydskillevegg og yttervegg.

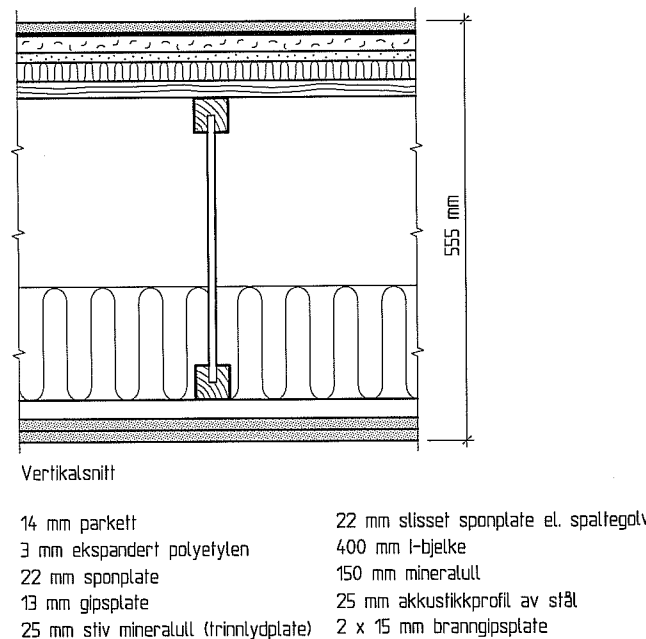


Fig. 8.3.1
Solbakken, etasjeskiller

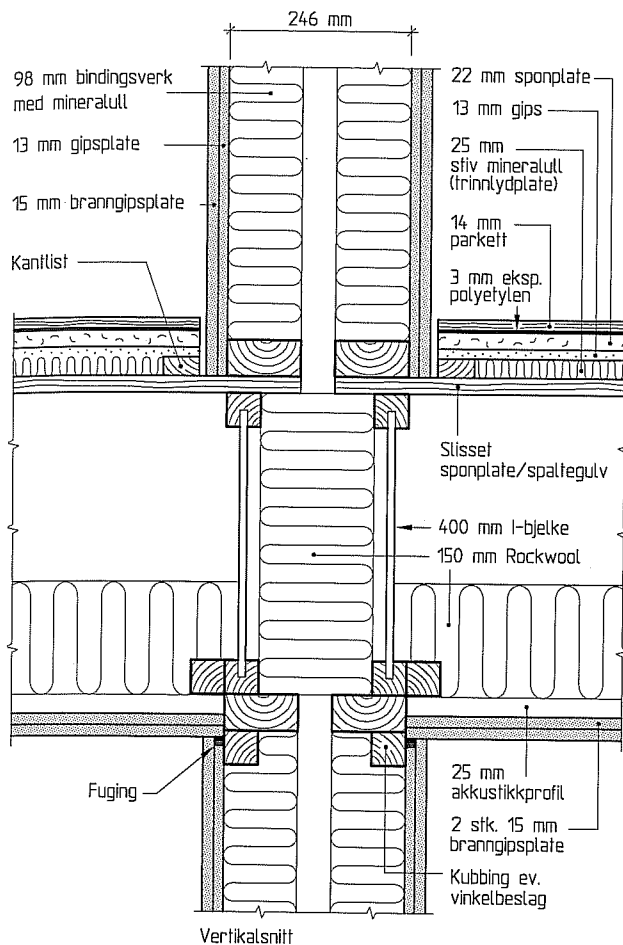


Fig. 8.3.2
Solbakken, tilslutning etasjeskiller – lydskillevegg

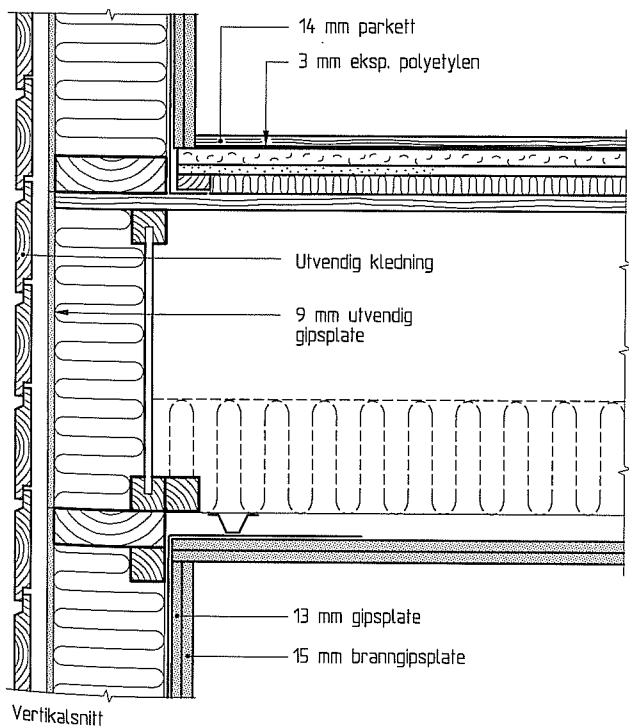
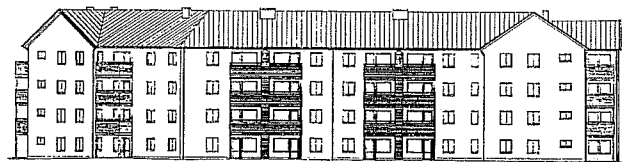


Fig. 8.3.3
Solbakken, tilslutning etasjeskiller – yttervegg

8.4 Sverige

Orgelbänken, Linköping



Beskrivelsen av prosjektet er hentet fra [6] og [26]. Pilotprosjektet består av et bolighus i fire etasjer. Orgelbänken er nesten en eksakt kopi av et tilsvarende nord-amerikansk prosjekt. Det er brukt fagverksbjelker av tre, satt sammen med spikerplater. Senteravstanden er 400 mm. Golvet er av OSB-plater istedenfor tradisjonelle sponplater med påstøp av gipsbetong på gummimatte. På undersiden av trebjelkelaget er det lydhimling. Byggesystemet er en plattformkonstruksjon. Alt trevirke ble levert ferdigkappet. Veggene ble montert liggende på bjelkelaget og reist opp manuelt. Ytterveggene ble reist med utvendig gipsplate montert. Øvrige platekledninger og isolasjon ble først montert etter at taket var på plass. Fasadekledningen er utvendig puss. Trappehusene og heissjakten er i tre.

Figur 8.4.1 viser snitt av etasjeskiller. Figur 8.4.2 og 8.4.3 viser tilslutningsdetaljer mellom etasjeskiller, lydskillevegg og yttervegg.

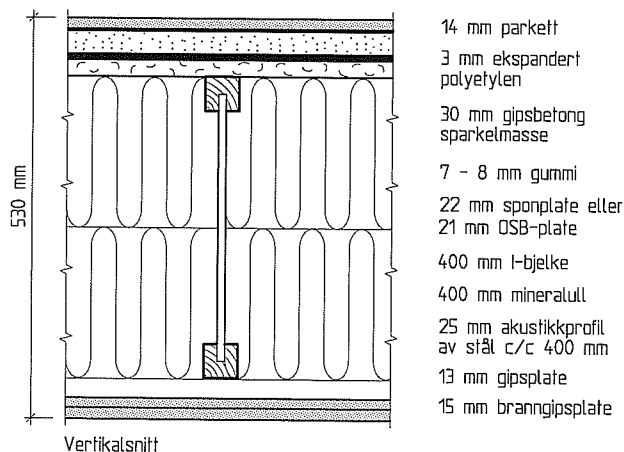


Fig. 8.4.1
Orgelbänken, etasjeskiller

Wälludden, Växjö

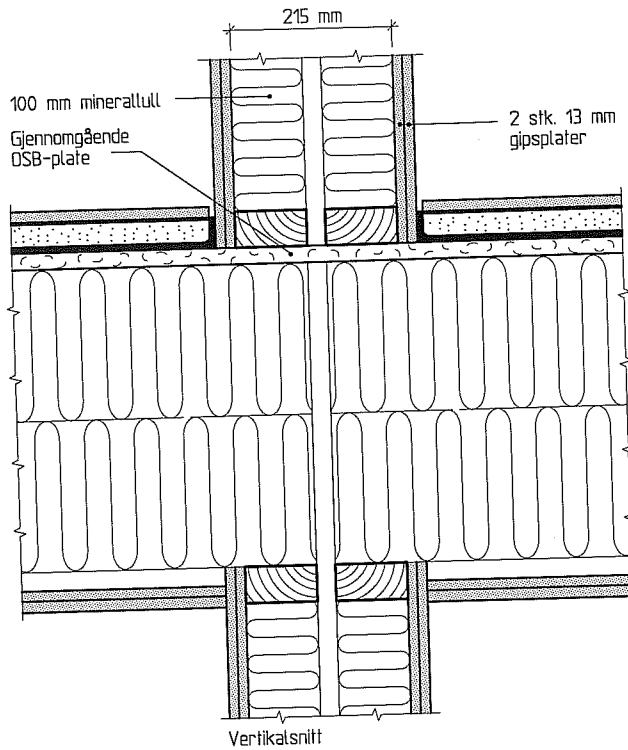
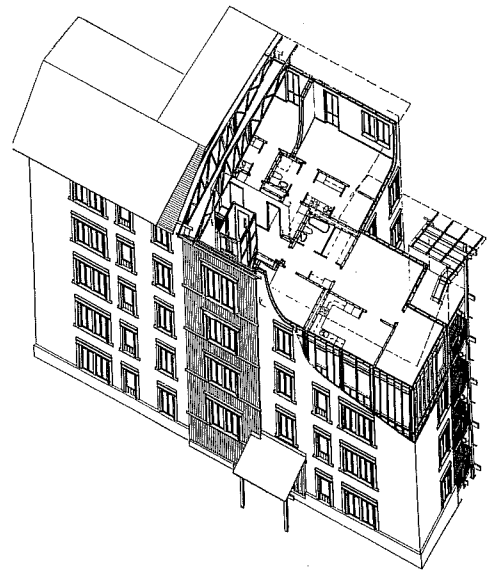


Fig. 8.4.2
Orgelbänken, tilslutning etaseskiller – lydskillevegg



Beskrivelsen av prosjektet er hentet fra [6] og [26]. Pilotprosjektet består av bolighus i fire – fem etasjer. Huset i fem etasjer øker brannkravet til R90, i motsetning til husene i fire etasjer, der kravet er R60. Husene ble bygget med store planelementer i en provisorisk fabrikk på byggeplassen. De største bjelkelagselementene dekket to rom, og takelementene dekket 7 m lengde. Takkonstruksjonen ble brukt som tildekking av de enkelte etasjene i byggetiden og ble heist på og av i helger og ved dårlig vær. Bjelkelaget er av kryssfiner med to lag gipsplater på over- og undersiden. Leilighetsskilleveggene består av dobbelt bindingsverk med 13 mm + 15 mm gipsplate på hver side (alternativt 2 stk. 15 mm gipsplate). Ytterveggen har pusset fasade med ca. 20 % trekledning (vindusomramming, balkonger og trappehus). Trappehusene og heissjaktene har stamme av limtre.

Figur 8.4.4 viser snitt av etaseskiller. Figur 8.4.5 og 8.4.6 viser tilslutningsdetaljer mellom etaseskiller, lydskillevegg og yttervegg.

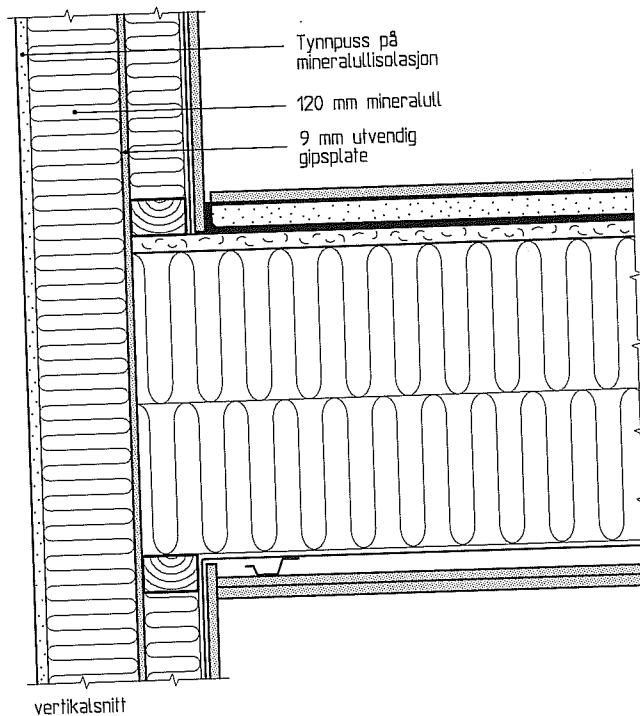


Fig. 8.4.3
Orgelbänken, tilslutning etaseskiller – yttervegg

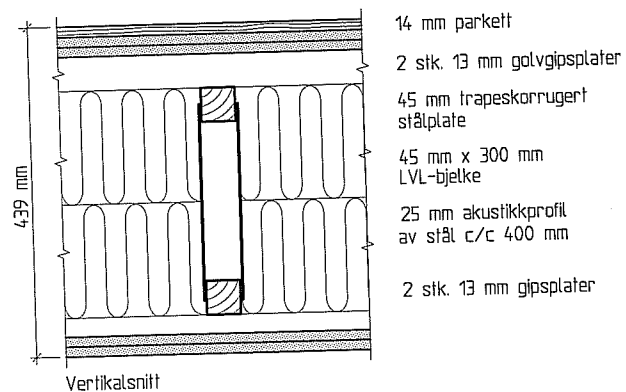


Fig. 8.4.4
Wälludden, etaseskiller

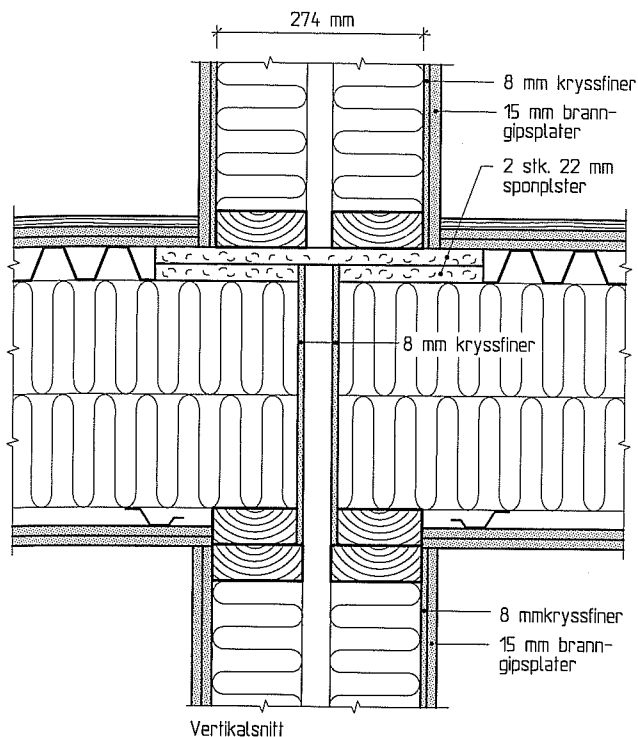


Fig. 8.4.5
Wälludden, tilslutning etasjeskiller – lydskillevegg

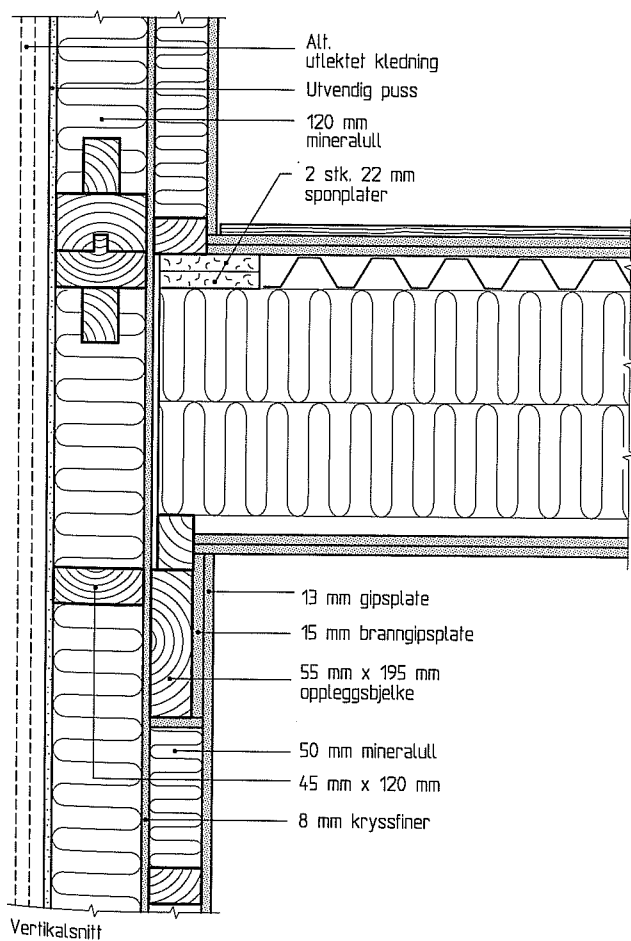


Fig. 8.4.6
Wälludden, tilslutning etasjeskiller – yttervegg

Vadstena

Bjelkelagene i dette prosjektet bygger på samme prinsipp som pilotprosjektet i Wälludden. Den eneste forskjellen er at densiteten og trykkstivheten på isoleringen er økt en del. Resultatet ble for trinnlydisoleringen $L'_{n,w} \leq 44$ dB og $L_s \leq 55$ dB.

8.5 Sammenkoblings- og forankringsdetaljer i pilotbygg

Tradisjonelt utformes knutepunkt mellom leilighetsskilende vegg og bjelkelag slik at koblingen er minst mulig for unngå flankerende lyd. For stabilisering av bæresystemet kan man punktvis koble sammen bjelkelagene over leilighetsskillet med remser av sponplater. Remsen bør plasseres der leilighetsskillevegg og yttervegg møter bjelkelaget, se fig. 8.1.2 (Casa Nova) og 8.4.6 (Wälludden), eller der leilighetsskillevegg møter innervegg, se fig. 8.4.5 (Wälludden). Knutepunktet blir derved bøyestivt og reduserer forplantningen av lyd og vibrasjoner.

En mer ukonvensjonell løsning er å koble sammen bjelkelagene med gjennomgående OSB-plater som vist i fig. 8.4.2 (Orgelbänken). Erfaringene er gode på luftlyd, mens det er usikkert om trinnlydisolasjonen sideveis blir tilfredsstillende. Løsningen krever i alle fall et flytende golv oppå.

8.6 Etasjeskiller for våtrom/husholdningsvaskemaskiner

Støy/strukturlyd fra egne installasjoner og utstyr, spesielt vaskemaskiner ved sentrifugering, må løses ved spesielle tiltak. Det er delte meninger om hvor store lydmeslige problemer vaskemaskiner og ev. oppvaskmaskiner er for nabo-leiligheter. Utviklingen av nye maskiner har ført til en reduksjon både av lydnivå og vibrasjoner. Vibrasjonene har ofte svært lavfrekvent karakter, gjerne under 20 Hz. Det kreves derfor vibrasjonsisolatorer med svært lav stivhet for å redusere overføringen til bjelkelaget. Maskinene skal dessuten stå på et relativt stabilt underlag, og disse to kriteriene er ikke så lett å forene. I Finland fins det et eksempel på en løsning med et eget bæresystem for vaskerommet på samme måte som trapperom/heissjakt.

Bæresystemet må være stivt og gir da redusert overføring av vibrasjoner. Det er derfor viktig å plassere baderom i et område nær opplegget for bjelkelaget og ikke midt i et spenn.

Eksempel på etasjeskiller for våtrom (Solbakken) er vist i fig. 8.6.1.

I pilotprosjektet Pinja, Lahti, er det brukt 180 mm betongelementer i baderom, spesielt for å sikre tilstrekkelig reduksjon av støy fra vaskemaskin, se fig. 8.6.2.

I pilotprosjektet Casa Nova er det brukt prefabrikerte baderom (seksjoner) i stål og betong.

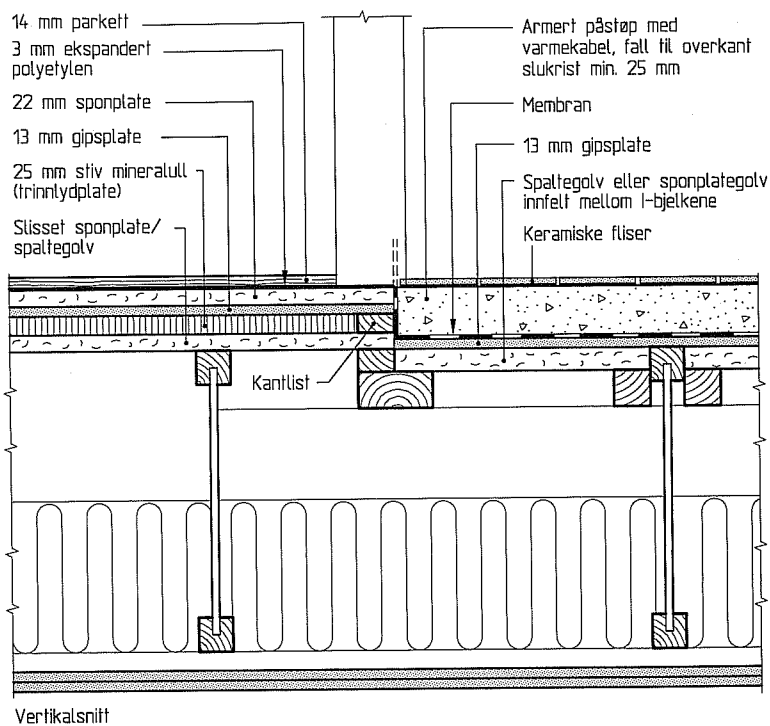


Fig. 8.6.1
Etasjeskiller for våtrom

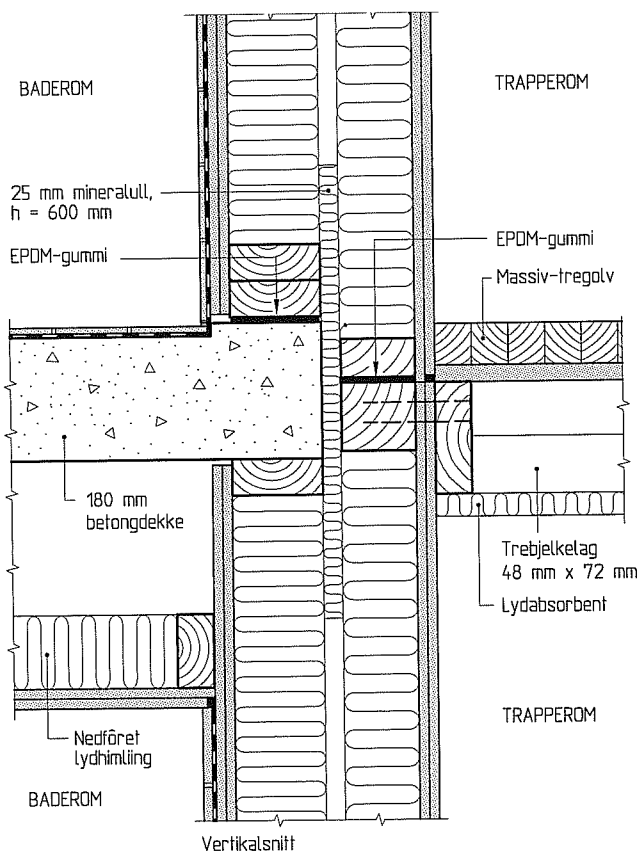


Fig. 8.6.2
Vegg og etasjeskiller mellom korridor og boenhet i pilotbygg Pinja

8.7 Altanganger og balkonger

Planløsning med altgang forekommer, og da bør helst altgangens bærende konstruksjon være frittstående i forhold til bygningen. Forankringer kan skje mot knutepunkter der ytterveggen møter innerveggen. Disse knutepunktene er bøyestive og hindrer at trinnlyd forplanter seg til leilighetene. Figur 8.7.1 viser en løsning med vibrasjonsisoleret opplagring, mens fig. 8.7.2 viser en uheldig løsning med direkte innfesting i ytterveggen.

Eksempel på balkong/terrasseløsning for Solbakken er vist i fig. 8.7.3.

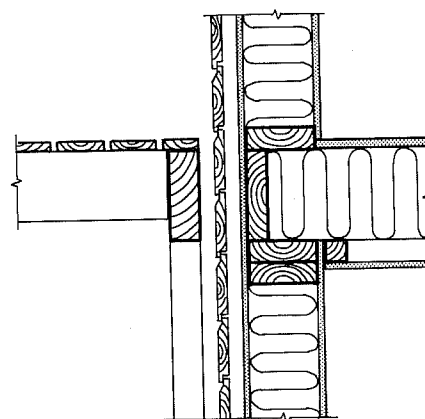


Fig. 8.7.1
Vibrasjonsisoleret opplagring av altgang

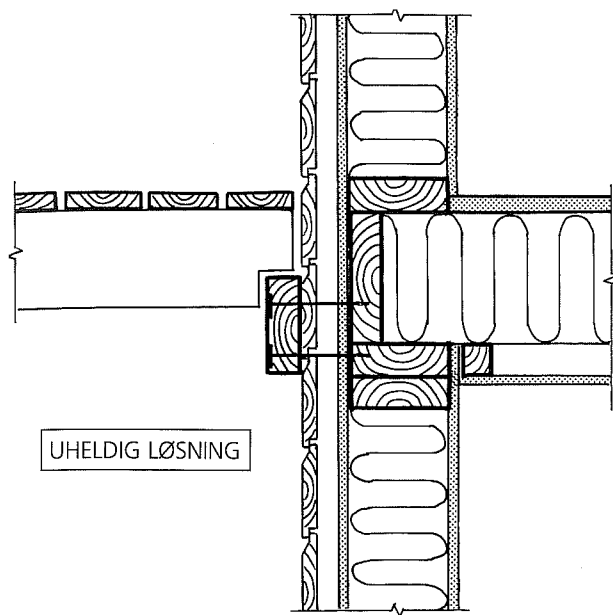


Fig. 8.7.2
Uheldig løsning med direkte innfesting av altangang i ytterveggen

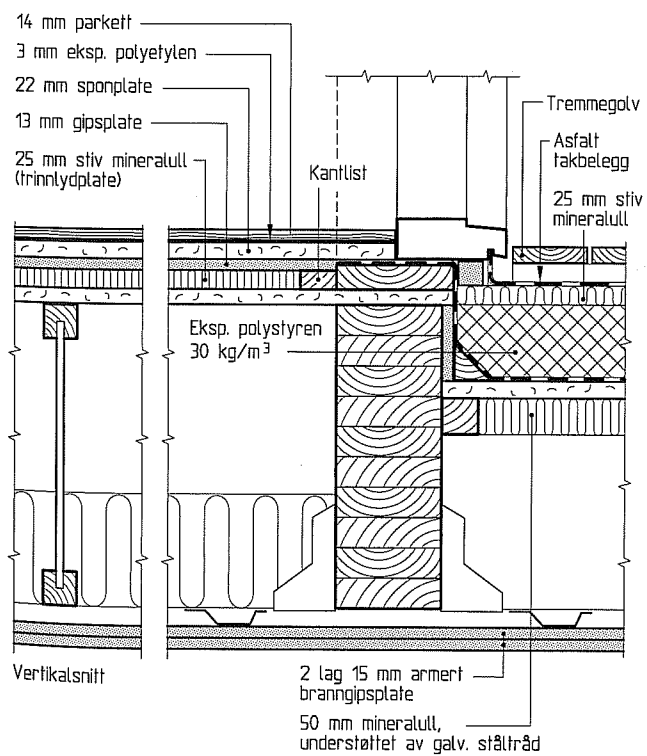


Fig. 8.7.3
Balkong/terrasseløsning (for Solbakken)

9 Måleresultater og subjektiv bedømmelse av lydforhold i pilotbygg

9.1 Måleresultater for etasjeskillere

Tabell 9.1.1 gir en oversikt over luft- og trinnlydegenskapene til etasjeskillerne i de nordiske pilotbyggene. Konstruksjonsdetaljer er vist i kap. 8.

9.2 Måleresultater for lydskillevegger

Tabell 9.2.1 gir en oversikt over konstruksjon og måleresultater for skilleveggene som er brukt i pilotbyggeprosjektene. Tilbakemeldingene er generelt svært gode når det gjelder luftlydisolasjon sideveis mot nabo.

9.3 Beboerreaksjoner og bedømmelseskriterier

For å kontrollere om de anbefalte lydkravene var riktige, ble det iverksatt systematiske intervjuundersøkelser med beboerne. Det foreligger resultater fra Finland, Norge og Sverige. Konstruksjonene er beskrevet nærmere i kap. 8.

Erfaringer fra Finland

I Finland er det gjennomført en større beboerundersøkelse i flere av de finske pilotbygningene. Undersøkelsene er dokumentert i rapporter på finsk, men Karjalainen, Sipari og Toratti har laget utdrag på engelsk som et proceedings til en internasjonal konferanse [24]. Un-

Tabell 9.1.1
Oversikt over luft- og trinnlydegenskapene til etasjeskillerne i de nordiske pilotbyggene

Sted	Totaltykkelse, mm (ca.-verdi)	$L'_{n,w}$ dB	$L'_{n,w} + C_{l,50-2500}$ dB	L_s dB	R'_{w} dB	$R'_{w} + C_{50-5000}$ dB
Casa Nova (Hørsholm)	375	44 – 47	52 – 54	58 – 62	59 – 63	—
Casa Nova (Herning)	375	ca. 50	—	—	ca. 58	—
Ylöjärvi	487	36 – 44	41 – 47	49 – 56	62 – 67	—
Vik/Viikki	400	48 – 53	54 – 58	62 – 67	58 – 62	—
Uleåborg/Oulu (RL-dekke)	407	44 – 49	49 – 54	55 – 62	61 – 65	—
Uleåborg/Oulu (I-bjelke)	505	51 – 54	54 – 57	62 – 66	61 – 65	—
Solbakken	555	46 – 48	58 – 60 ¹⁾	65 – 66	62 – 65	58 – 59
Wälludden	439	50 – 52	52 – 54	60 – 62	56 – 58	55 – 56
Orgelbänken	530	48 – 51	50 – 52	57 – 59	60 – 63	56 – 59

¹⁾ Lavfrekvensegenskapene ved 50 Hz er relativt dårlige og gir høyt omgjøringsstall for spektrum i utvidet frekvensområde.

Tabell 9.2.1
Oversikt over lydskillevegger i pilotbygg

Sted	Plater på hver side (mm)	Dobbelt bindingsverk (mm)	Mineralull i hvert veggskall (mm)	Spalte mellom bindingsverk (mm)	Feltmålt lyd-reduksjonstall R'_{w} (dB)	Hulromsdybde (ca. verdi mm)	Total veggtykkelse (ca.-verdi mm)
Casa Nova	2 x 15 GF	120	120	50	ca. 59	290	350
Ylöjärvi	2 x 13 GN	100	100	25	ca. 63	225	275
Vik/Viikki	2 x 13 GN	122	120	31	ca. 62	275	325
Uleåborg/Oulu	13 GN +12 PL	97	75	20	ca. 65	215	265
Solbakken	15 GF +13 GN	98	100	50	ca. 63	250	300
Orgelbänken	2 x 13 GN	95	100	50	ca. 62	240	290
Wälludden	15 GF +13 GN	120	120	34	ca. 57	275	330

GF = branngips, GN = normal gips, PL = Plywood, SW = Steinull, GW = Glassull

dersøkelsene gjaldt bedømmelse av brannsikkerhet, lyd-isolasjon, trivsel, håndverksmessig utførelse og arkitektur. Hensikten har vært å gjøre en evaluering ut fra beboernes mening. En god del spørsmål gjelder lydforhold, og vi gjengir her hovedresultatene, se oversikt i tabell 9.3.1.

Tabell 9.3.1
Målt trinnlyd (gjennomsnitt for flere rom) og bedømmelse av lydforhold i finske pilotbygg

Pilotbygg	$L'_{n,w}$ (EN-ISO 717-2)	L_s (Bod- lund)	% sterkt plaget	% noe plaget	% sum plaget
Vik/Viikki	51	65	48	38	86
Uleåborg/Oulu (Titanite I-bjelker)	53	64	100	0	100
Uleåborg/Oulu (RL, 60 mm betong)	46	59	43	36	79
Ylöjärvi	42	56	- 1)	- 1)	- 1)

¹⁾ Det er ikke tilstrekkelig materiale til statistisk vurdering, men det er relativt stor andel sterkt plagede til tross for gode måleverdier.

Luftlydisolasjonen i fleretasjes trehus er tilfredsstillende og minst like god som i studier av betongbygg. Klager på lydforhold i fleretasjes trehus er klart sterkest knyttet til trinnlyd fra golvkonstruksjonen. Den er klart dårligere enn i sammenliknende studier i betongbygg. Støy fra balkonger er også noe høyere enn i betongbygg; det samme gjelder vibrasjoner og sviikt. Støy fra husholdningsmaskiner er omtrent som i betongbygg.

Det beste golvet etter beboernes bedømmelse er trekompositt bjelkelag med 60 mm betongplate (concrete timber composite slab with 60 mm of concrete). Det beste golvet etter måling av trinnlyd er fra «Ylöjärvi»; imidlertid hadde dette prosjektet en svært høy andel plagede.

Erfaringer fra Norge

I november 1998 foretok Byggforsk intervjuer av beboerne i «Solbakken» (Okstadvplassen 34) for subjektiv bedømmelse av lydforholdene. Det ble spurt om trinnlydisolasjon (fottrinn), luftlydisolasjon (tv/stereo/tale) og lyd fra trapperom/korridor og installasjoner. Svaralternativene på spørsmålene var på en skala fra 1 – 7 der 1 er helt utilfredsstillende og 7 er helt tilfredsstillende. Terrassehuset som ble bygd i tre, inneholder bare fem leiligheter hvorav bare tre leiligheter har nabo i etasjen over. Det statistiske materialet er derfor svært lite. Imidlertid er tilbakemeldingen når det gjelder trinnlyd fra nabo, at den er helt utilfredsstillende. Luftlydisolasjonen (vertikalt og sideveis) ble bedømt til helt tilfredsstillende, mens støy fra korridor og fra installasjoner ble bedømt til å være ganske bra. Byggefeltet «Solbakken» består av flere terrassehus i betong og med ett pilotbygg i tre. Det ble derfor gjort parallelle spørreundersøkelser i betonghusene. Tabell 9.3.2 gir en oversikt over enkeltverdiene av svarene. Sammenlikning med oppnådd lydisolasjon i trehusene er gitt i tabellen. I betongbygg er lydisolasjonen ikke målt, men konstruksjonen er standard med ca. 200 mm dekker med trinnlydempende belegget og 200 mm vegger. Betonghusene har til dels også fått bedømmelsen «dårlig» av trinnlyd.

Erfaringer fra Sverige

I 1996 ble det i Sverige gjennomført en undersøkelse av beboernes oppfatning av lydisoleringen i byggeprosjektene «Orgelbänken» og «Wälludden». Intervjuundersøkelsen er dokumentert nærmere i [7] og [8]. Totalt antall beboere som ble intervjuet, var ca. 60 personer. Samtlige var eiere av leilighetene. Beboerne fikk bedømme lydisoleringen på en skala fra 1 – 7, der 1 tilsvarer helt utilfredsstillende lydisolering og 7 helt tilfredsstillende lydisolering. Undersøkelsen ble gjort pr. telefon, og det

Tabell 9.3.2
Bedømmelse av lydforhold i norsk pilotbygg «Solbakken»

Type bygning	Målte verdier	Bedømmelse. Skala fra 1 – 7 der 1 er helt utilfredsstillende og 7 er helt tilfredsstillende			
		Trinnlydisolasjon (fottrinn) fra nabo	Luftlydisolasjon mellom leiligheter (tv, stereo, radio)	Lyd fra installasjoner (vann, avløp, ventilasjon)	Lyd fra korridor/trapperom (fottrinn, tale)
Trehus	$L'_{n,w} = \text{ca. } 46 \text{ dB}$ $L'_{n,w} + C_{i, 50-2500} = \text{ca. } 60 \text{ dB}$ $L_s = \text{ca. } 65 \text{ dB}$ $R'_w = 63 \text{ dB}$ $R'_w + C_{50-5000} = \text{ca. } 59 \text{ dB}$	1, 1	7, 6, 7	7, 3, 7	4, 4, 7
Betonghus	Ikke målt	1, 1, 5, 1, 5	5, 5, 7, 7, 6	2, 7, 6, 1, 4	1, 1, 5, 1, 6

Trehus: klager på trinnlyd både ved vanlig gange og barns lek (til dels sterke klager)
Betonghus: klager på trinnlyd fra barn som løper og rullebrett/rulleskøyter i korridor

er ikke brukt skriftlig spørreskjema. Dette ble gjort for å sikre at de som ble intervjuet, ikke misforsto spørsmålene og f.eks. forvekslet luftlydisolering med trinnlydisolering. Kravene til lydisolering ved prosjektering for boligene var følgende:

Luftlydisolering	$R'_w \geq 57 \text{ dB}$, $f_0 \leq 50 \text{ Hz}$
Trinnlydnivå	$L'_{n,w} \leq 52 \text{ dB}$, $L_s \leq 62 \text{ dB}$
Installasjonsstøy	$L_{eq,A} \leq 30 \text{ dB(A)}$

Disse kravene var tilfredsstillt for boligene og kan brukes som referanse ved sammenlikning med svarene fra intervjuundersøkelsen.

Resultatene fra intervjuundersøkelsen er gitt i tabell 9.3.3 som middelverdier.

9.4 Eksempler på andre trebjelkelagsløsninger

Det er mange andre måter å bygge trebjelkelag med gode lydegenskaper på. Vi viser her noen eksempler. Løsningene er delvis markedsført gjennom artikler og rapporter.

Figur 9.4.1 viser løsning med tilleggsmasse av betongheller [15].

Figur 9.4.2 viser løsning med tilleggsmasse av tørr sand.

Figur 9.4.3 viser løsning med dempesjikt av 36 mm porøse trefiberplater. Det er oppnådd en verdi for veid, feltmålt trinnlydnivå $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 55 \text{ dB}$.

Uprøving av doble I-bjelker (Masonite) har gitt gode resultater i kombinasjon med stivt og massivt undergolv [17]. Dobbel (bred) bjelke i c/c 600 mm gir bedre resultater enn enkel bjelke. Det er oppnådd en verdi for veid, feltmålt trinnlydnivå $L'_{n,w}$ i trinnlydklasse A i

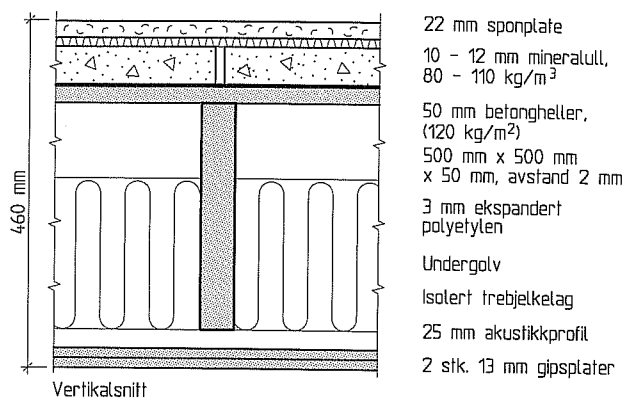


Fig. 9.4.1
Etasjeskiller med betongheller

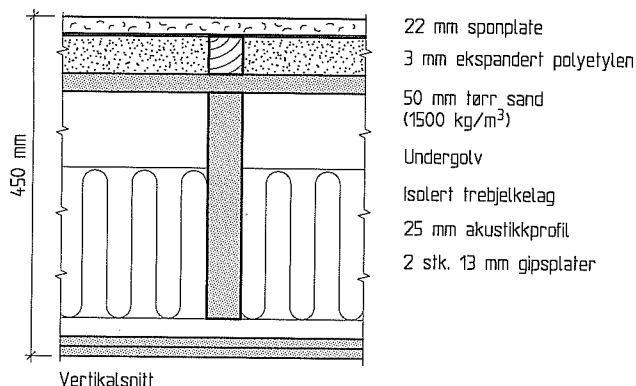


Fig. 9.4.2
Etasjeskiller med sand

Tabell 9.3.3

Målte verdier og subjektiv bedømmelse av lydisolasjon i svenske pilotbygg «Orgelbänken» og «Wälludden»

Byggeprosjekt	Målte verdier	Bedømmelse. Skala fra 1 – 7 der 1 er helt utilfredsstillende og 7 er helt tilfredsstillende		
		Trinnlydisolasjon (fottrinn) fra nabo	Luftlydisolasjon mellom leiligheter (tv, stereo, radio)	Lyd fra installasjoner (vann, avløp, ventilasjon)
Orgelbänken (middeltall)	$L'_{n,w} = 49 \text{ dB}$ $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 51 \text{ dB}$ $L_s = 59 \text{ dB}$ $R'_w = 60 \text{ dB}$	4, 8	6	5, 4
Wälludden (middeltall)	$L'_{n,w} = 51 \text{ dB}$ $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 54 \text{ dB}$ $L_s = 61 \text{ dB}$ $R'_w = 57 \text{ dB}$	4, 4	6	5, 7

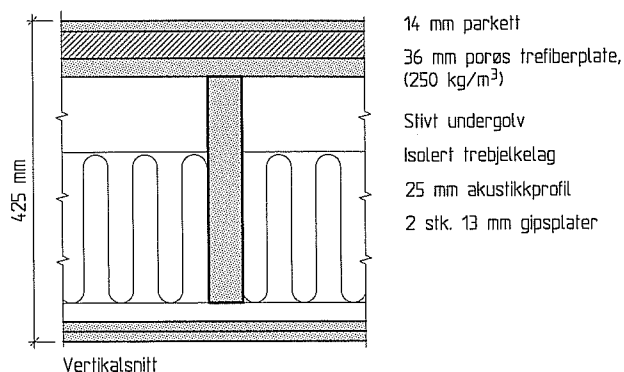


Fig.9.4.3
Etasjeskiller med porøse trefiberplater

Sverige, dvs. $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 50$ dB, men det forutsetter bjelkehøyde på 350 mm. Resultatene er fra fullskala modellforsøk, men konstruksjonen er ikke utprøvd i bolighus.

Det er også utviklet bjelkelag av massivt tre der det foreligger beskrivelse og måleresultater av lydisolasjon inkludert ulike tilleggskonstruksjoner på over- og undersiden både fra Sveits [15] og Sverige [18]. Massive bjelke-

lag består av bord eller plank som settes på høykant tett inntil hverandre, og som spennes sammen til en samvirkende plate, se fig. 9.4.4. Typisk tykkelse er 145 mm. Konstruksjonen har gode egenskaper mht. svikt og vibrasjoner. For å tilfredsstille lydkrav må konstruksjonen kompletteres med golvoverflate og/eller himling (innertak).

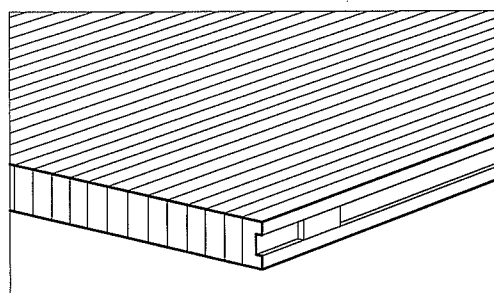
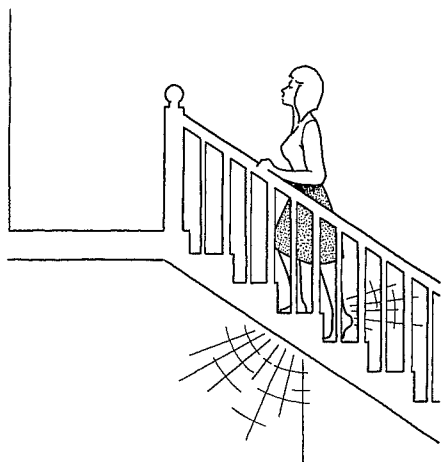


Fig. 9.4.4
Massivt bjelkelag av bord eller plank som spennes sammen til en samvirkende plate. Bjelkelaget må kompletteres med golv/himling dersom lydisolasjonsegenskapene skal bli gode.

10 Trapperom og heissjakt



- Frittstående trapperom og heissjakt utenfor hovedbygningsskroppen
- Trinnlyd fra lette trapper krever frikobling av trappeløp og reposer.

Man benytter seg av de samme prinsippene enten man prosjekterer trapperom eller heis. Trinnlydkraften som dannes når man går i trapper, er svært høy; normalt høyere enn trinnlyd på etasjeskiller eller altangang. Der- som man bygger trappehuset med lett trekonstruksjon, kan man med et enkelt prinsipp løse trinnlydoverførin- gen ved å frikoble trapp og reposer fra hovedkonstruk- sjonen. De forankringspunktene som kan forekomme, må plasseres i et bøyestivt område av konstruksjonen.

Eksempel: Trappehuset bæres hovedsakelig av heis- sjaktens bærende konstruksjon og bare i begrenset grad av de øvrige veggene. Heissjaktens bæresystem er festet inn i bæresystemet for heissjaktens. Vangene er festet til bjelkene uten kon- takt med veggene.

Figur 10.1.1 viser bæresystemet for trapperom som ble benyttet i pilotbygget Wälludden. Figur 10.1.2 viser opplegg av trapp (repos) på lydskillevegg i pilotbygget Orgelbänken.

Det kan ofte være naturlig å se på mulighetene for å lage både trapperom og heissjakt samlet, som en fritt- stående konstruksjon utenfor hovedbygningsskroppen.

Eksempel på opplegg av repos i trapperom og lyd- skillevegg mot baderom er vist i kap. 8.6.

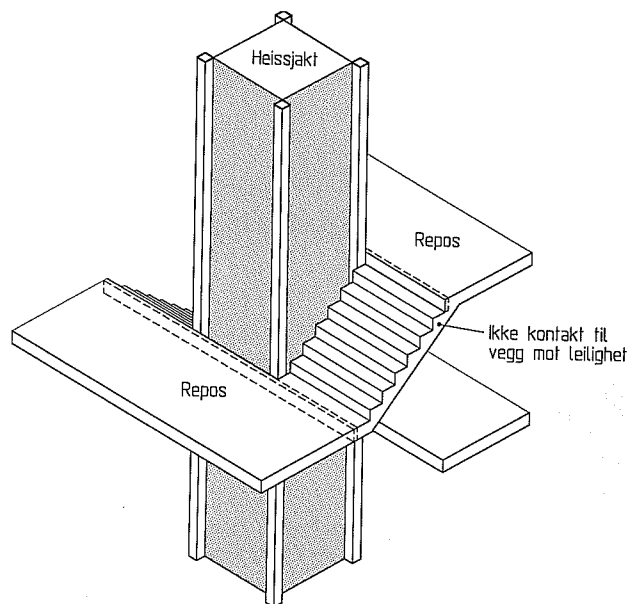


Fig. 10.1.1
Wälludden. Bæresystem for trapperom
Deler av reposene bæres av utragede bjelker. Bjelkene er festet inn i bæresystemet for heissjaktens. Vangene er festet til bjelkene uten kon- takt med veggene.

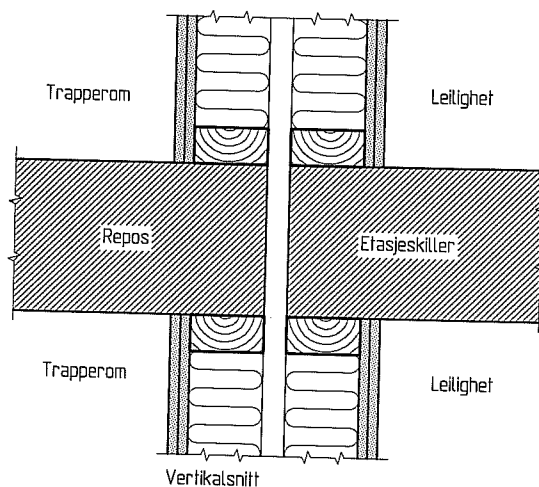
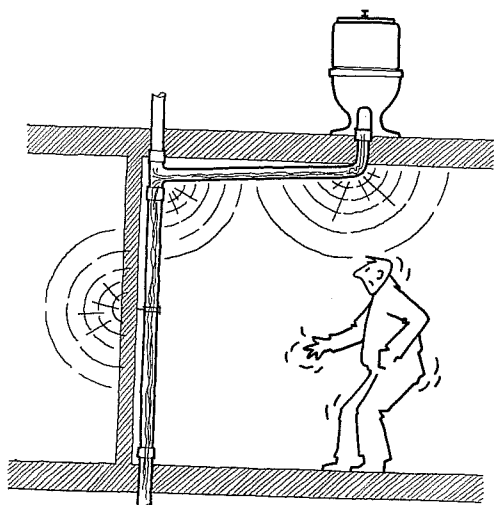


Fig. 10.1.2
Orgelbänken. Opplegg av trapp (repos) på den ene delen av lydskille- vegg

11 Tekniske installasjoner



- Støy fra avløpsrør gjennom etasjene er kritisk.
- God planløsning og føringer i felles sjakt er viktig.
- Vibrasjonsisolering av maskiner/vaskemaskiner på trebjelkelag krever ekstra tiltak.
- Mulig lydoverføring gjennom pipevanger

11.1 Generelt

Det er en fordel å samle installasjonene i et eget «skjermet» område, f.eks. ved en separat installasjonsvegg (våtvegg) for hver leilighet. Samling av installasjonene er gunstig både for luftlydisolasjonen og støynivået mellom de ulike bruksenhetene i bygningen. Man bør plassere bad og kjøkken mot separat våtvegg som vist i kap. 3.3. Et annet alternativ kan være felles installasjonsvegg for to og to leiligheter i samme etasje.

Gjennomgående vannrør, luftkanaler eller andre lydoverførende installasjoner bør unngås. Man bør benytte separate føringsveger hvor man har kontroll med innfesting, og som gjør det mulig å komme til ved ev. reparasjon/vedlikehold senere. Hvis dette ikke er mulig, bør gjennomføringene være nær oppleggene og utføres slik at det ikke blir kontakt f.eks. mellom vannrør og golv/himling. Rundt gjennomføringer må det tettes med fugemasse e.l.

11.2 Vann og avløp

Støy fra avløpsinstallasjoner er ofte sjenerende selv om lydnivået ikke er særlig høyt eller langvarig. Lyden blir lett oppfattet pga. sin spesielle karakter, selv med bakgrunnsstøy på omtrent samme nivå. Hvilket støynivå fra sanitærinstallasjoner som betraktes som sjenerende, avhenger av bakgrunnsstøy og miljø. Ett støynivå kan være mer sjenerende i stua enn på toalettet osv. Støy fra avløpsrør skyldes i første rekke at vannet «kolliderer» med rørvæggen. Figur 11.2.1 viser tiltak med sideforskyvning av avløpsrør for å redusere støy.

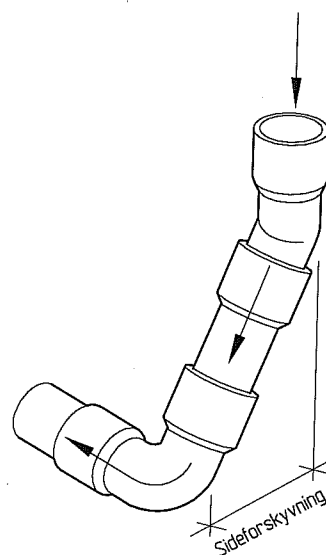


Fig. 11.2.1
Sideforskyvning av rør før et bend gir redusert støy.

Støy fra vannrør kan reduseres ved elastisk oppheng med gummibånd, se fig. 11.2.2.

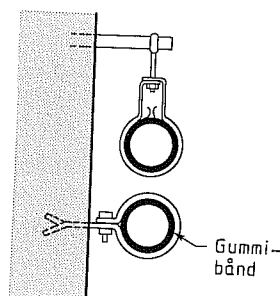


Fig. 11.2.2
Opphengsløsninger for vibrasjonsisolerende rørfeste

Det er viktig at avløpsrør ikke har direkte kontakt med lette konstruksjonsdeler. Innfesting bør begrenses til stive konstruksjonsdeler (f.eks. etasjeskillere, men ikke golv/himling) og aldri til lettvegger eller til innkassinger. Eksempel er vist i fig. 11.2.3.

12 Litteratur

1. Acoustic Performance of Medium-Rise Timber Buildings. COST E5 Workshop in cooperation with Lund University and Enterprise Ireland. 3rd and 4th December 1998. Dublin, Ireland
2. Bodlund, K. Alternative reference curves for evaluation of the impact sound insulation between dwellings. *Journal of Sound and Vibration*; v. 102 n. 3, pp. 381 – 402, 1985
3. Östman, Birgit m.fl. Brandsäkra trähus. Kunnskapsöversikt och vägledning för lättbyggsystem i Norden. Träteknik publ. nr. 9908034. Träteknik. Stockholm, 1999
4. Brandsäkra trähus – ett Nordic Wood projekt, slutrapport fas 1. Träteknik Rapport P 9702014
5. Brandsäkra trähus – fas 2. Träteknik projektinfo, Stockholm, Sverige, 1998
6. Flervånings trähus. Sammenfatning av rapporter fra fase 1 av Nordic Wood prosjektet «Trähus i flera våningar». Sammenstilling og tekstbearbeiding av Tore Hansson, Träinformation. Träinformation i samarbeid med Nordic Timber Council og Nordic Wood. Stockholm, Sverige, 1997
7. Hammer, Per. Sound insulation in a multi-storey wooden house: Orgelbänken; Rapport TVBA-3100. Teknisk akustik. Lunds tekniska högskola, Lund, Sweden. 1996
8. Hammer, Per. Sound insulation in a multi-storey wooden house: Wälludden; Rapport TVBA-3000. Teknisk akustik. Lunds tekniska högskola, Lund, Sweden, 1996
9. Hammer, Per and Nilsson, Erling. On subjective grading of impact sound transmission trough lightweight floor structures. Inter-Noise 97. Proceedings. Volume I. Budapest. Ungarn 1997
10. Homb, A., Hveem, S. og Gulbrandsen, O. Svingninger i lette bjelkelag. Rapport O 1375, 22. januar 1988 for industrisamarbeidsgruppe og NTNf (ikke publisert). Norges byggforskningsinstitutt, Oslo, 1988
11. Hveem, Sigurd m.fl. «Low frequency footfall noise in multi-storey timber frame buildings» NKB Work report 1996:12 E. Helsingfors, Finland, 1997
12. Hveem, Sigurd. Fleretasjes hus i tre, delprosjekt H, del 2. Rapport fra Nordic Wood forskningsprosjekt «Akustikk: Flervåningshus i trä». Norges byggforskningsinstitutt. Oslo, 1997. Oppdragsrapport til Nordic Wood forskningsprosjekt
13. Hveem, Sigurd. O 9010 Lydisolasjonsmålinger i fleretasjes hus i tre. Pilotbygg «Solbakken», Heimdal, Trondheim. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo, 1997. Oppdragsrapport til Nordic Wood forskningsprosjekt
14. Keronen, Asko and Kylliäinen, Mikko. Sound insulating structures of beam-to-column framed wooden apartment buildings. Tampere University of Technology, Laboratory of Structural Engineering. Publication 77. Tampere, Finland 1997
15. Kolb, Josef and Stupp, Georg. Schalldämmung von Geschossdecken aus Holz. Bundesamt für Konjunkturfragen 1990. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA) and Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für das Holz (LIGNUM), Lignum, Zürich, 1990
16. Ljudisolering och bullerskydd i byggnader – Föreskrifter och anvisningar. Finlands byggestämmelse-samling, del C1. Miljöministeriet, Helsingfors, Finland, 1998
17. Masonite-reglar klarar höga ljudkrav. Nya möjligheter att bygga flerbostadshus med lätta träbjälklag. Nordisk Träteknik Träindustrin, NTT Trä 6/99
18. Massivbjälklaget. Plattbjälklag av trä till byggnader med höga krav. Kontenta: Resultat i sammandrag från Institutet för Träteknisk Forskning, Träteknik. Stockholm, Sverige, 1996
19. NS-ENV 1995-1-1. Eurocode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner. Del 1-1: Generelle regler og regler for bygninger
20. Ohlsson, Sven. Svikt, svängningar & styvhet hos bjälklag. Dimensjoneringsmetoder. Statens råd för Byggnadsforskning, T 20:1984. Stockholm, Sverige, 1984
21. Pedersen, Dan Brøsted. Lydforhold i bygninger – lette konstruksjoner. Boligministeriet, København, Danmark, 1997
22. Persson, Stefan. Wälludden trähus i fem våningar. Erfarenheter och lärdomar. Tekniska högskolan i Lund. Avdelningen för Bärande Konstruktioner. Rapport TVBK-3032. Lund, Sverige 1998
23. Riberholt, Hilmer, Cowi. Casa Nova – træbaserede etagehuse. Særtrykk fra Byggeindustrien nr. 1 – 99, København, Danmark
24. Toratti, Tomi (VTT Building Technology). «The users experience from the pilot timber multi-storey build-

- ings in Finland». Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Roturua, New Zealand, 14. – 18. mars 1999
25. Trehus. Håndbok 45. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo. 1997
26. Träinformation. En tidning om tre. Nr. 1/97. Diverse artikler
27. Östman, Birgit. Träteck, Stockholm. Brandsäkra trähus. Særtrykk av artikkel i Bygg&Teknik 6/98
28. Byggforskserien. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo. Utvalg av blad fra delserien Byggdetaljer om lyd:
- 522.511 Lydisolerende etajseskillere av tre (1996)
- 522.515 Flytende golv for lyd- og vibrasjonsisolering (1996)
- 524.301 Skillevegg av tre mellom rekkehusboliger (1993)
- 524.321 Lydisolasjonsegenskaper til innervegger (1992)
- 524.361 Luftlydisolasjon mellom trapperom/korridor og oppholdsrom (1988)
- 527.307 Støydemping i trapperom og korridorer (1993)
- 532.225 Trinnlyd fra innvendige og utvendige lette trapper og altanganger (1990)
- 541.121 Egenskaper til trinnlyddempende belegg (1995)
- 552.306 Støy fra ventilasjonsanlegg. Del I og II (1988)
- 553.181 Støy fra vanntilførselsnett (1990)
- 553.182 Støy fra avløpsinstallasjoner (1995)
- 722.528 Forbedring av stivhet til trebjelkelag i bolig (1994)