



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



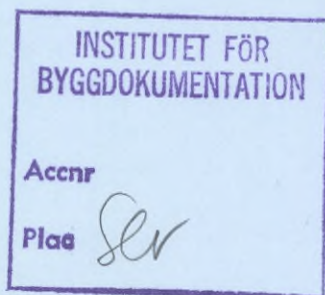
Rapport

R54:1987

Ljudisolering i
ombyggnadsprojekt med
träbjälklag

Kaj Bodlund

R
011



Byggforskningsrådet

R54:1987

LJUDISOLERING I OMBYGGNADSOBJEKT

MED TRÄBJÄLKLÄG

Kaj Bodlund

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830282-7
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
provningsanstalt, Borås.

REFERAT

Rapporten behandlar luft- och stegljudsisoleringen i hus med träbjälklag byggda på 30-talet eller tidigare. När dessa hus en gång byggdes hade man inte samma funktionskrav och möjligheter som idag. Detta innebär att gamla träbjälklag har en otillräcklig ljudisolering i förhållande till dagens behov. Målsättningen med detta arbete har därför varit att kontrollera och informera om hur man bäst löser ljudisoleringsfrågorna för träbjälklagen i samband med en ombyggnad.

Arbetet består huvudsakligen av en litteraturinventering, en undersökning av sex ombyggda bostadshus samt ett antal ljudisoleringsmätningar på kopior av gamla bjälklag i provningsanstaltens stegljudslaboratorium.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R54:1987

ISBN 91-540-4719-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	FÖRORD	Sid. 5
	SAMMANFATTNING	8
1.	INTRODUKTION	12
1.1	Bakgrund och exempel på aktuella frågeställningar	12
1.2	Projektets syfte	13
1.3	Rapportens uppläggning	14
2.	EN LITTERATURGENOMGÅNG	15
2.1	Bjälklagens historiska utveckling	15
2.1.1	Trähusens våningsbjälklag	15
2.1.2	Stenhusens våningsbjälklag	16
2.1.3	Dåtidens golvbeläggningar	19
2.2	De gamla våningsbjälklagens ljudisolering	20
2.2.1	Ljudisoleringstal	20
2.2.2	CTH-rapport från 1949, radhusexperiment i Göteborg	22
2.2.3	Brandts handbok "Akustisk planering" från 1958	25
2.2.4	SBI-meddelelse 11, rivningsfastighet i Köpenhamn	26
2.2.5	KTH-rapport, bostadshus från 1880-talet i Stockholm.	29
2.2.6	SBI-anvisning 136	
2.2.7	Mätprotokoll från Rockwool AB	31
2.2.8	Sammanfattning	31
2.3	Ljudisoleringsförbättringar	36
2.3.1	Allmänna dimensioneringsregler	36
2.3.2	Åtgärder på råbjälklaget	41
2.3.3	Golvbeläggningar	42
2.3.4	Övergolvs	46
2.3.5	Undertak	54
2.3.6	Förbindelsen trävägg - bjälklag	56
3.	VANLIGA OMBYGGNADSÅTGÄRDER	59
3.1	Inledning	59
3.2	Träbjälklag	59
3.2.1	De gamla bjälklagen	59
3.2.2	Golv	60
3.2.3	Tak	62
3.3	Nya lägenhetsskiljande väggar	64
3.4	Sammanfattning	65

4.	LJUDKLIMATET I GAMLA HUS MED TRÄBJÄLKLAG	66
4.1	Hyresgästernas/lägenhetsinnehavarnas omdömen	66
4.2	Svensk Byggnorm SBN 1980	71
5.	NÅGRA OMBYGGNADSOBJEKT	73
5.1	Genomförda undersökningar	73
5.2	Resultat enligt objektbladen	79
5.2.1	Bjälklagens ljudisoleringsindex	83
5.2.2	Typiska stegljudsnivåspektrum	90
5.2.3	Effekten av ombyggnadsåtgärderna	94
5.2.4	Buller från VVS-installationerna	97
5.3	Ett extra ombyggnadsobjekt	98
5.4	Lägenhetsskiljande väggar	101
5.4.1	Tilläggsisolerade plankväggar	103
5.4.2	Helt ny lägenhetsskiljande vägg	108
6.	LABORATORIETESTER PÅ GAMLA BJÄLKLAGS- KONSTRUKTIONER	111
6.1	Målsättning och utförande	111
6.2	Trähusträbjälklag/bjälklag utan takputs	
6.2.1	Grundstommen	112
6.2.2	Fyllningens inverkan i konstruktioner utan blindbotten	121
6.2.3	Krysskolvning	134
6.2.4	Konstruktioner med blindbotten	136
6.2.5	Jämförelser med resultat uppmätta i bostadshus	140
6.2.6	Vidare diskussion av resonans- och koincidens- fenomenen	146
6.2.7	Typiska stegljudsnivåspektrum	152
6.3	Ett stenusträbjälklag	154
6.3.1	Konstruktion	154
6.3.2	Mätresultat	156
6.3.3	Stegljudsspektrets form	158
6.3.4	Jämförelser med ett av fältobjekten	166
	REFERENSER	169

FÖRORD

I december 1983 erhöill provningsanstalten ett forskningsanslag från Byggforskningsrådet. Uppgiften hade titeln:

Brand- och ljudfrågor rörande träbjälklag
vid ombyggnad av flerfamiljshus

Arbetet var planenligt klart i augusti 1986. I projektet ingick ett studium av 6 ombyggnadsobjekt vilket förklarar den långa projekttiden.

Som titeln anger så gällde det att studera bjälklagens brand- och ljudisoleringssegenskaper. Både brandlaboratoriet och akustiklaboratoriet har därför deltagit i projektet från provningsanstaltens sida. Som brandexpert verkade Lennart Månsson.

Tanken var först att skriva en gemensam rapport om brand- och ljudfrågorna. Denna idé föll dock relativt snart. Den viktigaste anledningen var att arbetsmetodiken var så olika för de bägge disciplinerna. Ljudisoleringsfrågorna diskuterades bäst med utgångspunkt från faktiska fält- och laboratoriemätningar medan brandfrågorna endast kunde penetreras genom jämförelser med befintligt erfarenhetsmaterial. Det fanns inte heller avsatt några medel för brandtekniska laboratorieförsök inom projektet. Arbetet kom därför att ske parallellt och med helt olika förutsättningar.

En systerrapport har därför också publicerats. Författare är Lennart Månsson och rapportens titel är "Brandisolering i ombyggnadsobjekt med träbjälklag".

En del av projektet bestod i att följa och analysera sex faktiska ombyggnadsobjekt från en tidpunkt före ombyggnaden till efter ombyggnaden. De primärdata som samlades in i samband med detta arbete presenteras i informationshäftet

SP-INFO 1986:19 AKUSTIK/BRANDTEKNIK
Brand- och ljudisoleringsdata för 6 om-
byggnadsobjekt med träbjälklag.

Kaj Bodlund och Lennart Månsson

Häftet som omfattar 12 st A3-sidor kan rekvireras kostnadsfritt från provningsanstalten (tel. 033/165000). Till skillnad mot rapporterna så diskuteras här brand- och ljudfrågorna samtidigt.

I den ursprungliga projektplanen ingick inte några laboratorieförsök. Eftersom fältobjekten var få och bjälklagens uppbyggnad och ljudisolering varierade inom vida gränser, såväl som valet av ombyggnadsåtgärder, så valde vi att komplettera med ett antal laboratorieprov. Förutom att förbättra förståelsen för ljudisoleringsmekanismerna så var avsikten med detta arbete att bygga upp en laboratorieresurs för provning av olika förbättringsåtgärder.

Laboratorieförsöken har dels finansierats med hjälp av byggforskningsrådets projektanslag och dels av provningsanstalten. Materiellt stöd har dessutom erhållits från Cementa AB som gratis bidrog med kalkbruk till det putsade laboratoriebjälklaget och från VGB-Golvsand AB som gratis bidrog med dammfri sand. Sanden användes för att kontrollera bjälklagsfyllningens betydelse. Dessa bidrag från Cementa AB och VGB-Golvsand AB tillkännages härmed med stor tacksamhet.

Författaren vill samtidigt passa på att tacka Susanne Hurtig som sammanställde det första utkastet till kapitel 3 och till Joakim Kristiansen och Jonas Johansson för benägen och skicklig hjälp i samband med ljudisoleringsmätningarna. Stort tack slutligen till Yvonne Samuelsson som renskrev detta manuskript.

Borås, augusti 1986

Kaj Bodlund

SAMMANFATTNING

Rapporten behandlar luft- och stegljudsisoleringen i hus med träbjälklag byggda på 30-talet eller tidigare. När dessa hus en gång byggdes hade man inte samma funktionskrav och möjligheter som idag. Detta innebär att gamla träbjälklag har en otillräcklig ljudisolering i förhållande till dagens behov. Målsättningen med detta arbete har därför varit att kontrollera och informera om hur man bäst löser ljudisoleringsfrågorna för träbjälklagen i samband med en ombyggnad.

Arbetet består huvudsakligen av en litteraturinventering, en undersökning av sex ombyggda bostadshus samt ett antal ljudisoleringsmätningar på kopior av gamla bjälklag i provningsanstaltens stegljudslaboratorium.

De viktigaste resultaten och erfarenheterna av detta arbete kan sammanfattas enligt nedan.

Beträffande de gamla bjälklagen

- Variationsområdet är mycket stort både beträffande de gamla bjälklagens uppbyggnad och beträffande deras ljudisoleringssegenskaper.
- Gamla träbjälklag har normalt en ljudisolering som är klart otillfredsställande vilket motiverar särskilda ombyggnadsåtgärder.

- Det bästa sättet att ta reda på ljudisoleringen före en ombyggnad är att genomföra ett lämpligt antal ljudisoleringstester. Vill man istället uppskatta ljudisoleringen med stöd av teoretiska samband och tidigare erfarenheter är det nödvändigt att göra ordentliga håltagningar och att fastställa bjälklagets uppbyggnad med avseende på alla väsentliga detaljer. Även om man känner konstruktionen blir en sådan uppskattning ofta osäker eftersom det förekommer fenomen som saknar sin förklaring i de tillgängliga teoretiska sambanden. Det är inte heller ovanligt att bjälklagens konstruktion och ljudisolering varierar avsevärt inom en och samma byggnad.
- Bjälklag med blindbotten har väsentligt sämre ljudisoleringsvärden än liknande bjälklag vars fyllning ligger direkt på takpanelen.
- Den totala bjälklagsvikten är som ensam variabel en mycket osäker parameter när det gäller att förutsäga ljudisoleringen, speciellt om bjälklagsfyllningen vilar på en blindbotten.
- Bjälklag med putsade innertak har väsentligt bättre ljudisoleringsvärden än liknande bjälklag med trätak.

Angående ljudisoleringsindexen och byggnormskraven

- Ombyggnadskraven i SBN 80 är så lågt satta att man riskerar stora ljudisoleringsproblem även om normkraven uppfylls.

- För normala mätfall föreligger ett nära samband mellan luft- och stegljudsindexen. Sambandet ges av uttrycket

$$I_a + I_i = 118 \pm 2 \text{ dB}$$

Vill man göra både en luft- och en stegljudsmätning så har man härigenom en utmärkt möjlighet att kontrollera huruvida mätningarna är korrekt genomförda och att bevaka huruvida det förekommer något unikt luft- eller stegljudsisoleringsproblem.

- I normala fall är stegljudskraven dimensionerande, vilket innebär att det räcker med att prova stegljudsisoleringen.

Beträffande olika förbättringsåtgärder

- Om man vid en ombyggnad inte tillför ett nedhängt ljudisolerande undertak eller genomför någon annan verksam förbättringsåtgärd, så riskerar man oförändrade eller till och med försämrade ljudisoleringsvärden.
- Ett nedhängt undertak av 13 mm gips på stålreglar, pendlat med stålband till det gamla taket och utan mineralull i luftmellanrummet, ger normalt en stor förbättring av ljudisoleringen.
- Det har varit svårt att uppskatta några generella förbättringsvärden för olika golvåtgärder eftersom dessa alltid företagits i kombination med andra ombyggnadsåtgärder. Klart är emellertid att förbättringspotentialen är större för nedhängda undertak än för normala golvåtgärder.

Övriga aspekter

- Nyupprättade lägenhetsskiljande väggar får inte placeras direkt på ett genomgående golv om man vill undvika störande flanktransmission av stegljud.

- Nya VVS-installationer med kringgjutna håltagningar i bjälklagen och med ledningsschakt av 2 x 13 mm gips på stålreglar, medför inte något bullerproblem om de utförs enligt normal praxis.

1. INTRODUKTION

1.1 Bakgrund och exempel på aktuella frågeställningar

En stor del av byggandet ligger idag inom ROT-sektorn. Projekteringen och renoveringen av ombyggnadsobjekt ställer speciella krav på byggarna.

Föråldrade installationer och utrustningsdetaljer ersättes. Normalt behålles endast stommen och de bärande väggarna varefter huset ges en ny planlösning, nya VVS-installationer, inredning och fasaddetaljer. De äldre husens brand- och ljudegenskaper är också normalt otillräckliga i förhållande till dagens behov, vilket medför kompletteringsåtgärder på bjälklagen. För att kunna välja lämpliga åtgärder måste man känna dels det gamla husets egenskaper och dels veta vad man kan förvänta sig av olika kompletteringar och nyinstallationer i samverkan med det gamla huset. Detta är en betydligt svårare situation än nybyggnadssitsen, vilket också avspeglar sig i att byggnormskraven är lägre för denna typ av byggande. Ofta krävs dessutom att man utför en varsam ombyggnad med hänsyn till kulturella värden och de boende.

Kunskapsbristerna är samtidigt stora. Många byggare uppger att man famlar i mörkret. Kanske tar man till alldeles för mycket eller också snålar man där man verkligen hade behövt satsa på bättre åtgärder. Ingen vet med säkerhet hur pass nödvändigt det är med de åtgärder som vidtages.

Kunskapsåterföringen till projekteringskonsulten är dessutom i stort sett försumbar, vilket innebär att dessa inte kan förkovra sig erfarenhetsmässigt på ett effektivt sätt.

Ombyggnadsproblematiken är naturligtvis mycket komplex eftersom det finns så många olika byggnadstyper. Det ena huset är inte det andra likt. Många äldre bostadshus har ofta någon typ av träbjälklag, vilket i sig innebär speciella problem ur brand- och ljudisolerings synpunkt. En åtgärd som så gott som alltid förekommer är vidare att man måste göra nya rörinstallationer. Ett nytt schakt tas därför upp på lämpligt ställe, samtidigt som horisontella rörstammar lägges i skydd av undertak. Vilka problem medför detta och vilka materialval är lämpliga? Nya planlösningar innebär ofta att man bygger upp helt nya lägenhetskiljande väggar av traditionell dubbelväggstyp. En sådan vägg har bevisligen i sig en tillräcklig luftljudsisolering, men hur stor blir flanktransmissionen genom bjälklagsplattan?

1.2 Projektets syfte

Projektets målsättning har varit:

- att ställa en diagnos på vilken isoleringsstandard som uppnås i dagens ombyggnadsobjekt i relation till ombyggnadskraven i byggnormen
- att beskriva vilka kompletteringsåtgärder som normalt användes och deras nytta
- att peka ut eventuella genomgående misstag och felsatsningar
- att ge säkrare underlag till val av bättre renoveringsåtgärder.

Projektet har avgränsats till brand- och ljudfrågor för träbjälklag vid ombyggnad av flerfamiljshus och denna rapport diskuterar ljudisoleringsproblematiken.

1.3 Rapportens uppläggning

Först presenteras en sammanställning av de erfarenheter man kan finna i den befintliga litteraturen. Sammanställningen gäller uppbyggnaden och ljudisoleringsegenskaperna hos de gamla träbjälklagen såväl som aktuella förbättringsåtgärder.

I kapitel 3 redovisas sedan resultaten av en enkät med 16 st arbetsledare från olika delar av landet. Arbetsledarna blev tillfrågade om var sitt ombyggnadsobjekt och målsättningen var att ge en allmän uppfattning om vilka åtgärder som kan komma i fråga för att tillgodose dagens isoleringskrav.

I kapitel 4 diskuteras den subjektivt upplevda ljudisoleringen i bostäder med gamla träbjälklag. Dessa resultat som hämtats från ett tidigare byggforskningsprojekt, visar och poängterar att det är nödvändigt att företa förbättringsåtgärder. De gamla bjälklagen har normalt en helt oacceptabel ljudisoleringsstandard. I detta sammanhang diskuteras även byggnormens ombyggnadskrav.

Projektets tyngdpunkt ligger på de sex ombyggnadsobjekt som följdes från tidpunkten straxt före till efter ombyggnaden. Bland dessa hus ingår mindre plankhus såväl som större stenhus. Samtliga objekt återfinns i Borås och byggnadsåren omfattar perioden 1894-1935. Ljudisoleringsresultaten för dessa objekt presenteras och diskuteras i kapitel 5.

Rapporten avslutas med en presentation och diskussion av några laboratorieprov. Ett antal tidstypiska gamla bjälklag byggdes och testades i provningsanstaltens stegljudslaboratorium för att öka förståelsen för bjälklagens ljudisoleringsegenskaper.

2. EN LITTERATURGENOMGÅNG

2.1 Bjälklagens historiska utveckling

Den byggnadshistoriska utvecklingen och de gamla husens uppbyggnad beskrives på ett utmärkt sätt i Byggeforskningens skrifter [1-3]. Nedanstående uppgifter har uteslutande hämtats från dessa referenser.

Alla riktigt gamla hus är av naturliga skäl byggda med träbjälklag. Bjälklag av betong började först användas i de stenhus som byggdes under 30-talet. Efter 2:a världskriget konstruerades i allmänhet samtliga bjälklag av betong. Betongbjälklagen gav ett bättre brandskydd, förbättrade hållfasthetsegenskaper och gav även bättre ljudisoleringssegenskaper än de gamla träbjälklagen.

Då detta arbete enbart berör flerfamiljshus med träbjälklag kommer det alltså att handla om hus som är mer än 40 år gamla. Med hänsyn till projektets urval av studieobjekt kan det vara intressant att titta lite närmare på träbjälklagets byggnadshistoriska utveckling.

2.1.1 Trähusens våningsbjälklag

De gamla trähusens våningsbjälklag konstruerades fram till omkring 1910 av skrädda (uthuggna) bjälkar i dimensioner från 6" x 8" till 7" x 10". Centrumavstånden varierade mellan 0,6 och 0,8 m. Sågade bjälkar vann ökad användning från 1880 och framåt och efter 1930 minskade man dimensionerna till 3" x 9" eller max 4" x 10". Bjälkarnas centrumavstånd valdes numera allmänt till 0,6 m. I de enklare trähusen hade man redan tidigare använt klenare dimensioner från 2 1/2" x 7" till 3" x 8".

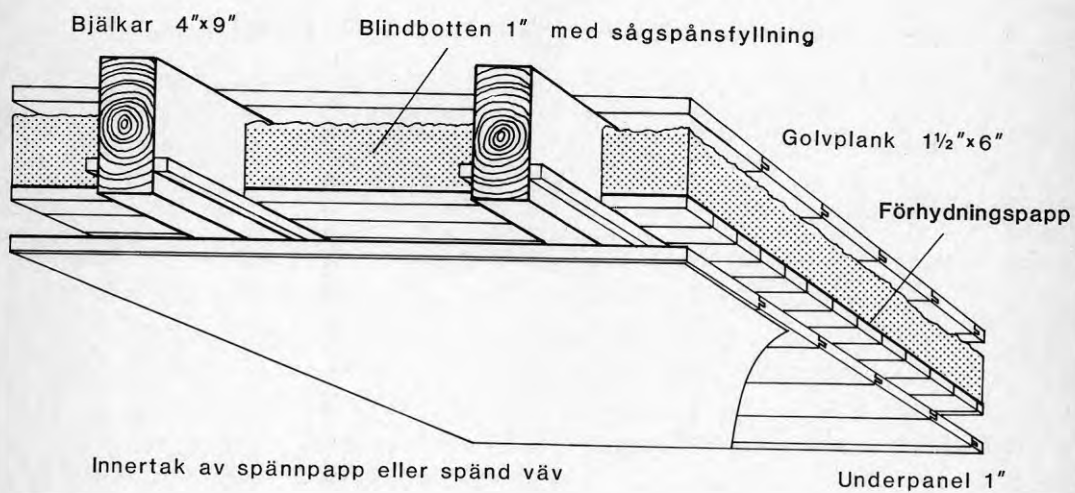
Mellan bjälkarna placerades mestadels en blindbotten av spillvirke som bildade underlag för fyllningen. Vilket var då motivet till att man använde blindbotten? Den mest troliga förklaringen är att det var lätt att åstadkomma den nödvändiga bärigheten för fyllningen på detta sätt. Man ville också spara på fyllningsmaterialet och möjligen öka skyddet mot nedträngande fukt. Blindbotten användes även till att gå på under byggnadstiden (stomkompletteringsskedet).

Fyllningen bestod vanligen av sågspån blandat med annat tillgängligt tyngre material. Ovanpå bjälkarna spikades sedan golvbräder och även här minskade man successivt dimensionerna med tiden alltefter sågteknikens utveckling. Under 1800-talets senare hälft var bräderna 2 1/2" till 3" tjocka och saknade spont. Under perioden 1880-1910 minskade tjockleken till 2" och mellan 1910 och 1930 minskade den ytterligare till 1" - 1 1/2". Bräderna var nu försedda med fast spont.

Under bjälklaget spikades en tät panel som sedan kläddes med spännpapp eller vävspänning. Som alternativ användes spräckpanel med rörning och puts varigenom man erhöll ett förbättrat brandskydd. Pust-tjockleken utanför spräckpanelen blev 1,5-2 cm. Underpanelen hade normalt en tjocklek av 1".

2.1.2 Stenhusens våningsbjälklag

Våningsbjälklagen i de gamla stenhusen konstruerades på samma sätt som i trähusen. Under seklets början minskade man på bjälkarnas och golvplankens dimensioner på samma sätt som i trähusen. Fram till omkring 1930 hade bjälkarnas dimensioner således minskat till 3" x 9" som standard och det vanliga centrumavståndet var 0,6 m. Mellan bjälkarna ordnades mestadels en



FIGUR 1. Ett tidstypiskt trähusbjälklag från period 1900-1930.

blindbotten som fick bära fyllningen. De fyllnads-material som förekom var tyngre än trähusens sågspåns-fyllning. Vanligt förekommande material var kalkgrus, sand, koksaska och tegelskrot. Under bjälklaget spikades en spräckpanel eller sk glespanel som försågs med 1 eller 2 lag vassrörsmatta plus puts. Putsade ytor var regel även för stenhusens innerväggar, medan det förekom i trähus där krav ställdes på gott brandskydd.

Under 20-talet blev det vanligare med större spännvidder vilket medförde att man började använda järnbalkar av I-profil i träbjälklagen. I-balkens underfläns användes som upplag för träbjälkarna. Järnbristen under 2:a världskriget påskyndade sedan övergången till armerad betong och att man slutade använda järnbalkar.

Under 30-talet var våningsbjälklagen fortfarande av trä men man började använda sig av begränsade partier av betong i badrum och andra våtutrymmen. Ökade ljudisoleringskrav medförde sedan att träbjälklagen blev allt mindre vanliga. Dock förekom det fram till 1945 att man byggde sk ljudbjälklag där man hade löst ljudisoleringsproblemet med ett separat undertak.

Som en avrundning kan det vara intressant att nämna lite om motsvarande byggtraditioner i vårt grannland Danmark. Utvecklingen av de danska stenhusens träbjälklag är väl dokumenterad i referens [5]. Utvecklingen är i stort densamma som i Sverige, bl a infördes i slutet av 30-talet de första ljudisoleringsanvisningarna i de danska byggreglerna och träbjälklagen började få ge vika för betongkonstruktioner.

Om man ser på ett typiskt danskt träbjälklag från perioden 1900-1930 så är det tre ting som är värt att notera. Golvbjälkarna är ofta av grovt timmer 7" x 7" eller 8"x 8". Man har dessutom normalt en blindbotten som ligger relativt högt upp. Blindbottnens översida ligger ca 3" under bjälkarnas översida. På blindbotten ligger en 2" tjock fyllning av lera men det kan även förekomma andra tunga material som exempelvis obrända tegelstenar täckta med kalksand eller sand på papp m m. Lerskiktet fyllde flera viktiga funktioner. Det ökade brandmotståndet och ljudisoleringen samt skyddade dessutom mot nedträngning av vatten vid skurning av golven. Sågspån som fyllnadsmaterial var förbjudet med hänsyn till brandskyddet. I övrigt är det typiska danska bjälklaget liksom det svenska klätt med 1 1/8 - 2" golvplankor och undertill med 1" glespanel med rörning och puts.

2.1.3 Dåtidens golvbeläggningar

Golven var till en början obehandlade och man använde inga fasta golvbeläggningar. Från sekelskiftet började man använda parkettgolv och under 40-talet blev det vanligt att förse åtminstone de större lägenheternas finrum med parkettgolv. Efter sekelskiftet började man också att i allt större utsträckning använda sig av linoleummattor. Fram till 1930-talets mitt ingick som regel inte linoleumgolvet i husets utrustning, utan det var hyresgästerna själva som lade in dessa golv. Efter 30-talets början blev dock linoleumgolvet en allt vanligare del av standardutrustningen. År 1955 svarade exempelvis linoleumgolven för 64 % av den totala golvarean i nyproduktionen för att senare successivt avta.

2.2 De gamla våningsbjälklagens ljudisolering

Det finns naturligtvis en mängd forskningsrapporter och vetenskapliga artiklar som både teoretiskt och praktiskt studerar olika byggnadsdelars ljudisolering. Bl a har provningsanstalten i ett tidigare byggforskningsprojekt haft möjligheten att studera och sammanställa en del av detta material. Sammanställningen innehåller praktiskt användbara formler för beräkning av enkla och sammansatta konstruktioners luftljudsisoleringsegenskaper [4]. Stegljudsisoleringmekanismerna har inte behandlats i detta arbete. Det mesta i den tillgängliga facklitteraturen handlar emellertid om det moderna byggeriets ljudisoleringsproblem och det finns relativt få arbeten i vilka man studerat de gamla träbjälklagen. De referenser som finns är således desto intressantare.

2.2.1 Ljudisoleringstal

Först måste något sägas om de ljudisoleringstal som användes för beskrivning av en skiljekonstruktions luft- och stegljudsisolering.

En normal ljudisoleringsmätning går idag till så att man mäter upp isoleringen med hjälp av 16 st successiva 1/3-oktavband som täcker in det mest intressanta frekvensområdet, dvs från 100 Hz till 3150 Hz. Resultatet blir 16 st isoleringsvärden som oftast presenteras i form av en kurva med 1/3-oktavernas mittfrekvenser som oberoende variabel. Denna information reduceras i sin tur till ett enda isoleringsindex genom att man tillämpar någon speciell utvärderingsmetod.

Vid luftljudsisoleringmätningen användes en högtalare och vid stegljudsmätningen användes en standardiserad sk hammarapparat som ljudkälla. Både mätmetoderna och utvärderingsmetoderna är idag väl standardiserade såväl nationellt som internationellt. Metoderna har emellertid ändrats med tiden och det förekom speciellt tidigare många nationella varianter. Utvecklingen går som ett resultat av den internationella standardiseringen mot en allt större överensstämmelse när det gäller de nationella metoderna.

Det sk I_a -värdet har gällt som svensk standard för entalsbeskrivning av luftljudsisoleringsspektra till och med år 1983, men har numera ersatts av det vägda reduktionstalet R'_w (se svensk standard SS-ISO 717/1). Båda mätetalen är emellertid fortfarande lika intressanta eftersom dagens byggnorm SBN-80 arbetar med I_a -värden. I_a och R'_w får dessutom exakt samma värden om det inte förekommer någon kraftig ljudisolering för något enstaka 1/3-oktavband. Metoderna är lika så när som på den sk 8 dB-regeln som tagits bort ur den nya standarden.

Det sk I_i -värdet har gällt som svensk standard för entalsbeskrivning av stegljudsspektra till och med år 1983. Enligt svensk standard SS-ISO 717/2 ersättes I_i numera av den vägda stegljudsnivån $L'_{n,w}$. Det normala förhållandet mellan dess båda tal är att $I_i - L'_{n,w} = 5$ dB, men det är inte ovanligt att differensen blir ännu större (se referens [7], avsnitt 2.4.1). Den fasta differensen på 5 dB förklaras av att man tagit bort regeln som sade att man skulle lägga till 5 dB till slutresultatet för att 1/3-oktavbandsmätningen skulle ge resultat jämförbara med oktavbandsmätningar. Oktavbandsmätningar har varit en vanlig nationell variant. Även här har 8 dB-regeln tagits bort ur den nya metoden.

De nya svenska ljudisoleringsstalen innebär att man har anpassat sig till gällande internationell standard ISO 717-1982.

Observera slutligen att I_i och $L'_{n,w}$ till skillnad mot I_a och R'_w ej är ljudisoleringsindex i ordets rätta bemärkelse utan bullernivåindex, dvs ju högre stegljudsindex man har ju sämre är stegljudsisoleringen.

2.2.2 CTH-rapport från 1949, radhusexperiment i Göteborg

I referens [6], redovisas resultaten av en serie luft- och stegljudsmätningar genomförda på några mer eller mindre traditionella träbjälklag. Mätningarna utfördes i 8 radhus som iordningstälts av Göteborgs stad. Bjälklagen mellan våningsplanet och källaren hade konstruerats på 8 olika sätt och dessutom förekom alternativen med resp utan takputs inom varje lägenhet. Putsen var utförd med två lager rörning. Totalt förekom på detta sätt 16 olika bjälklagsvarianter. Samtliga bjälklag var uppbyggda med 2" x 9" bjälkar, 1 1/4" spontade golvplank och 3/4" underpanel. I de rum där taken var putsade var takpanelen 1" tjock. Man varierade bjälklagsfyllningen och i två fall hade golvplankornas uppläggning på bjälkarna gjorts elastiskt. Eftersom undersökningen är så pass gammal och man på den tiden tillämpade andra mät- och utvärderingsprinciper än idag, tas bara resultaten för de vanligaste bjälklagstyperna upp i detta sammanhang.

En sammanställning presenteras i tabell 1. Rapportens luftljudsisoleringskurvor har använts för en uppskattning av I_a - och R'_w -värdena. Beträffande stegljudsresultaten var det mera grannliga att översätta dessa, eftersom inga frekvensspektra redovisas i den aktuella rapporten. Istället har man vid

mätningen använt sig av ett bredbandigt filter som approximativt motsvarar dagens A-filter. Genom att stegljudsresultaten presenteras som normaliserade och A-vägda stegljudsnivåer kan man tillämpa de erfarenheter som vunnits i referens [7] och [23] för att beräkna motsvarande stegljudsindex. Följande samband gäller i typfallet för träbjälklag

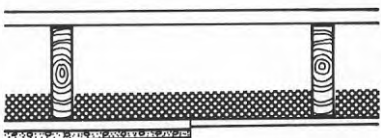
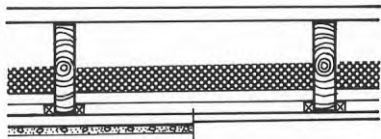
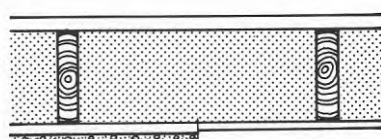
$$I_i = L'_{n,w} + 5 \approx L'_{n,A} - 1 \quad (1)$$

I hus med lätta träbjälklag erhålles ofta ännu större differenser mellan $L'_{n,A}$ och I_i medan differenserna i gengäld är mindre i hus med tunga bjälklag. Troligen finns det dessutom ett beroende av huruvida det finns en blindbotten eller ej. En sådan omräkning blir naturligtvis relativt osäker och man måste också beakta att dåtidens hammarapparat inte var av exakt samma konstruktion som dagens hammarapparater. Man skall således ta absolutvärdena i tabell 1 med viss reservation.

Om man jämför de olika bjälklagen inbördes kan man göra ett par värdefulla och intressanta observationer. För det första blev ljudisoleringen alltid väsentligt bättre med puts än utan puts. Enligt referens [6] ökar putsen ljudisoleringen vid enskilda frekvenser med 0-10 dB. De största förbättringarna erhålles vid högre frekvenser.

Vidare kan man se att isoleringen blir väsentligt bättre om bjälklagsfyllningen ligger direkt på underpanelen och ej på en blindbotten. Alternativet med puts och en tung fyllning som vilar direkt på takpanelen, är det klart bästa bjälklagsalternativet av dem som redovisas i tabell 1.

TABELL 1. Ljudisoleringsindex för några intressanta träbjälklag uppskattade med ledning av mätvärden presenterade i referens [6]. Värdena gäller för plankgolv utan särskild golvbeläggning.

KONSTRUKTION	Med puts	Utan puts
 <p>2" x 9" bjälkar c/c -600 mm, 1 1/4" golvplank och under- panel 3/4" alt 1" med rör- ning och puts. Fyllning av 5 cm sand.</p> <p>Angiven vikt: 140 resp 105 kg/m²</p>	$I_a = 49 \text{ dB}$ $I_i = 71 \text{ dB}$	$I_a = 44 \text{ dB}$ $I_i = 74 \text{ dB}$
 <p>Som ovan men med fyllning av 5 cm sand på en blind- botten av 1" plank.</p> <p>Angiven vikt: 155 resp 120 kg/m²</p>	$I_a = 43 \text{ dB}$ $I_i = 76 \text{ dB}$	$I_a = 33 \text{ dB}$ $I_i = 84 \text{ dB}$
 <p>Som ovan men med fyllning av kutterspån.</p> <p>Angiven vikt: 106 resp 71 kg/m²</p>	$I_a = 43 \text{ dB}$ $I_i = 73 \text{ dB}$	$I_a = 36 \text{ dB}$ $I_i = 82 \text{ dB}$

Anm. $R'_w = I_a$ och $L'_{n,w} = I_i - 5$ för samtliga fall.

I två av bjälklagskonstruktionerna hade man en fyllning av 30 mm resp 60 mm stenull istället för de andra materialen. Dessa alternativ gav ungefär samma resultat som fallet med fullständig kutterspånsfyllning. Bjälklaget med 60 mm stenull gav något bättre värden än motsvarande konstruktion med enbart 30 mm stenull.

2.2.3 Brandts handbok "Akustisk planering" från 1958

I Ove Brandts handbok [22] anges i tabellform luft- och stegljudsisoleringsvärden för ett antal intressanta träbjälklag. Luftljudsisoleringsvärdena är angivna som aritmetiska medelvärden för frekvensintervallen 100-550 Hz, 550-3200 Hz och 100-3200 Hz. Genom att studera sambandet mellan medelreduktionstalet (för hela frekvensintervallet 100-3200 Hz) och motsvarande luftljudsisoleringsindex för ett antal träbjälklag, har det varit möjligt att översätta handbokens medelreduktionstal till luftljudsisoleringsindexvärden. Korrelationen är god mellan de olika ljudisoleringstalen och i normalfallet gäller att

$$I_a = R'_w = R'_{\text{medel}} (100-3150 \text{ Hz}) \quad (2)$$

I handboken framgår det inte klart huruvida resultaten gäller laboratorie- eller fältmätningar. Det är dock naturligt att anta att det rör sig om resultat från faktiska byggnader. Detta innebär att man måste korrigera värdena med hänsyn till att man tidigare normaliserade resultaten mot 10 m^2 och inte mot den faktiska skiljearean vilket är den nuvarande regeln. Normala golv har en area mellan 15 och 25 m^2 vilket motsvarar en korrektion på 2-4 dB.

Beträffande stegljudsresultaten så anges dessa som stegljudsisoleringen T där

$$T = 120 - L'_{n,A} \quad (3)$$

och $L'_{n,A}$ är den i mottagarrummet uppmätta A -vägda och normaliserade stegljudsnivån. T -värdena kan således räknas om till stegljudsindex på samma sätt som i avsnitt 2.2.2.

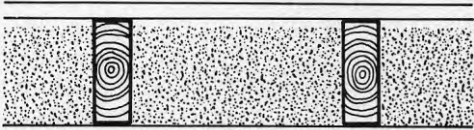
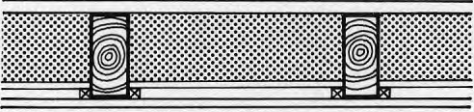
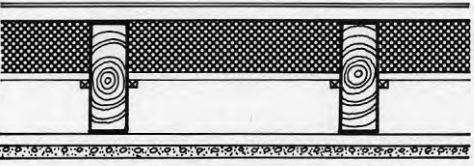
Omräknade ljudisoleringvärden för tre olika bjälklag som hämtats från Brandts handbok redovisas i tabell 2.

2.2.4 SBI-meddelelse 11, rivningsfastighet i Köpenhamn

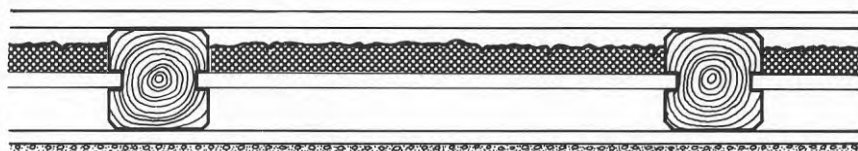
I referens [9] redovisas en serie ljudisoleringmätningar utförda i en dansk rivningsfastighet. Fastigheten som var byggd i tegel och med ett traditionellt danskt träbjälklag, revs efter experimentet. Före mätningarna iordningställdes vardagsrummen i tre likadana lägenheter som låg över varandra. Anslutningarna mellan väggarna och golven resp vid rördragningarna tätades med mineralullsdrev och fogmassa. Våningsbjälklagens uppbyggnad och de mätresultat som fastställdes för de tätade men i övrigt intakta bjälklagen redovisas i figur 2.

De bägge våningsbjälklagen användes sedan för studium av förbättringseffekterna av olika undertakskonstruktioner. Undertaksresultaten behandlas i kapitel 2.3.

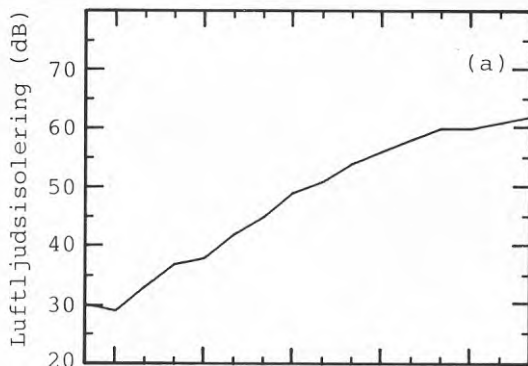
TABELL 2. Ljudisoleringsindex för några intressanta träbjälklag uppskattade med ledning av isoleringsvärden presenterade i referens [22].

KONSTRUKTION	Ljudisoleringsindex
 <p>10" golvbjälkar, 1 1/2" golvträ, 1" underpanel och fyllning av torvströ.</p> <p>Uppskattad vikt: 89 kg/m²</p>	<p>$I_a = 37$ dB</p> <p>$I_i = 81$ dB</p>
 <p>8" bjälkar, golv av 26 mm eklamell och 3/4" underpanel med vävspänning. Fyllningen består av koksaska och vilar på en blindbotten.</p> <p>Uppskattad vikt: 162 kg/m²</p>	<p>$I_a = 39$ dB</p> <p>$I_i = 83$ dB</p>
 <p>10" bjälkar, golvpanel med linoleumgolv samt underpanel med rörning och puts. 12 cm fyllning av lera som vilar på en blindbotten.</p> <p>Uppskattad vikt: 247 kg/m²</p>	<p>$I_a = 50$ dB</p> <p>$I_i = 68$ dB</p>

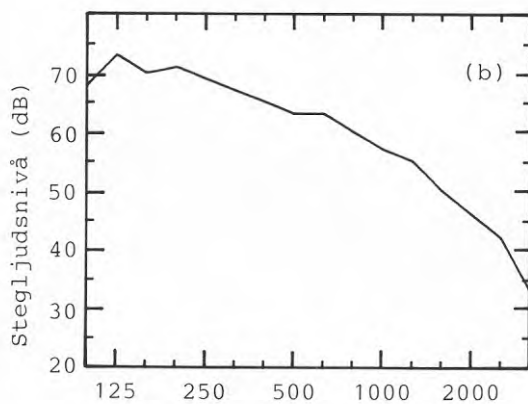
KONSTRUKTION



7" x 7" bjälkar c/c - 940 mm, 1 1/8" golvplank,
1" blindbotten med 2" lerfyllning, tak av 1"
glespanel, 1 lager rörning samt ca 10 mm puts.
Uppskattad vikt: 146 kg/m².



$$I_a = R'_w = 50 \text{ dB}$$



$$I_i = L'_{n,w} + 5 = 68 \text{ dB}$$

Frekvens (Hz)

FIGUR 2. Uppmätta ljudisoleringsvärden och konstruktionsdata för ett typiskt danskt träbjälklag enligt referens [9]. Resultaten gäller för plankgolv utan särskild golvbeläggning.

2.2.5 KTH-rapport, bostadshus från 1880-talet i Stockholm

I ett examensarbete från KTH, referens [21], redovisas mätningar genomförda på ett träbjälklag med tung fyllning av kalkgrus. Bjälklagets konstruktion och de uppmätta ljudisoleringsvärdena på råbjälklaget redovisas i figur 3.

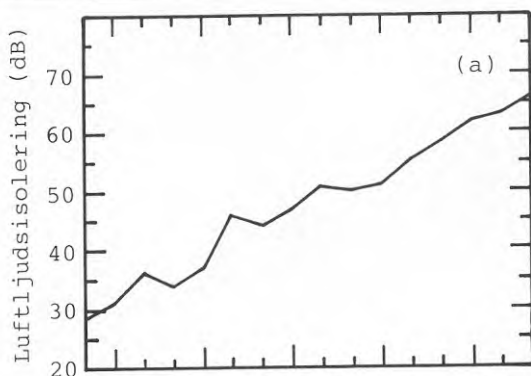
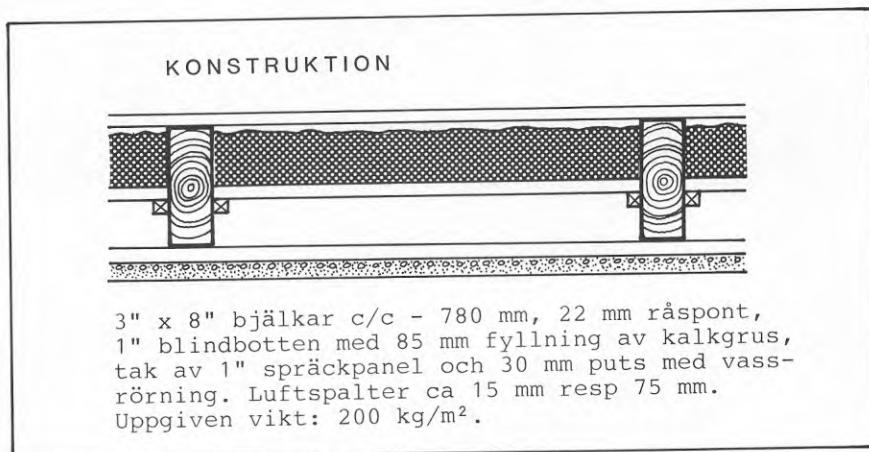
Mätningarna och experimenten genomfördes enbart på vindsbjälklaget och mellan två enstaka rum. Vidare anges att vindsbjälklaget ej härrör från tiden för husets tillkomst utan att det har tillkommit under en ombyggnad på 1940-talet. Skälet till att vindsbjälklaget studerades var att man skulle inreda vinden med lägenheter. Mättrummen hade enbart en vägg gemensam, nämligen den tunga hjärtväggen av putsat stortegel. Väggen vägde ca 630 kg/m^2 vilket innebär att man inte hade något problem med flanktransmission. Vidare anges i rapporten att det inte fanns någon anledning till överhörning via ventilationskanaler eller ljudläckage via springor eller sprickor.

2.2.6 SBI-anvisning 136

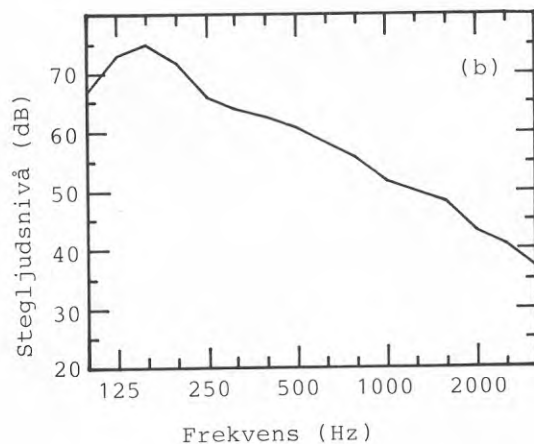
I referens [5] studeras inga specifika våningsbjälklag utan man anger bara som en generell anvisning att ett typiskt danskt träbjälklag med lerfyllning och takputs normalt uppfyller luftljudsklass 48 dB och stegljudsklass 73 dB. Detta innebär att bjälklagen före ombyggnad förväntas ha indexvärden enligt:

$$R'_{w} = I_{a} \geq 48 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = I_{i} - 5 \leq 73 \text{ dB}$$



$$I_a = R'_w = 50 \text{ dB}$$



$$I_i = 70 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 63 \text{ dB}$$

FIGUR 3. Uppmätta ljudisoleringsvärden och konstruktionsdata för ett gammalt träbjälklag med tung fyllning enligt referens [21]. Resultaten gäller för plankgolv utan särskild golvbeläggning.

De närmast bättre klasserna är 51 dB resp 68 dB. Att framförallt stegljudsvärdet är så pass mycket sämre än de isoleringsvärden som redovisas i avsnitt 2.2.4 beror bl a av att anvisningen är baserad på ett större antal mäterfarenheter som tillsammans visat att det varit motiverat att höja stegljudsvärdet mer än motsvarande sänkning av luftljudsisoleringsvärdet (enligt uppgift från författaren).

2.2.7 Mätprotokoll från Rockwool AB

Ett antal intressanta mätprotokoll har tillhandahållits från Rockwools ljudlaboratorium i Skövde. Protokollen gäller fältmätningar på träbjälklag och bjälklagskonstruktionerna är väl dokumenterade i de båda mätprotokollen som anges i referens [8]. Resultaten från dessa protokoll återges i figur 4 och 5.

2.2.8 Sammanfattning

De olika råbjälklagsresultaten i avsnitten ovan har sammanställts som funktion av bjälklagsvikten i figur 6. Denna figur visar på följande slutsatser:

- Normala träbjälklag har en ljudisolering som är helt otillfredsställande i förhållande till dagens ljudisoleringskrav. I SBN 80 är nybyggnadskraven

$$I_a \geq 53 \text{ dB resp}$$

$$I_i \leq 63 \text{ dB ,}$$

medan ombyggnadskraven är

$$I_a \geq 49 \text{ dB resp}$$

$$I_i \leq 68 \text{ dB ,}$$

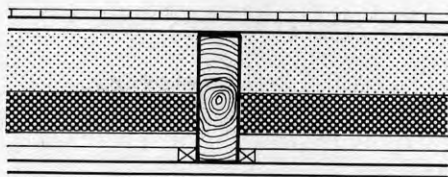
för minst hälften av lägenhetens sov- och vardagsrum.

- Bjälklagsvikten tycks som ensam variabel vara en mycket osäker parameter när det gäller att förutsäga olika träbjälklags ljudisolering.
- Om man begränsar sig till bjälklag som saknar blindbotten kan man se ett klarare samband mellan vikten och ljudisoleringen.
- Bjälklag med en blindbotten som ligger nära underpanelen ger sämre ljudisoleringvärden än motsvarande bjälklag vars fyllning ligger direkt på underpanelen.

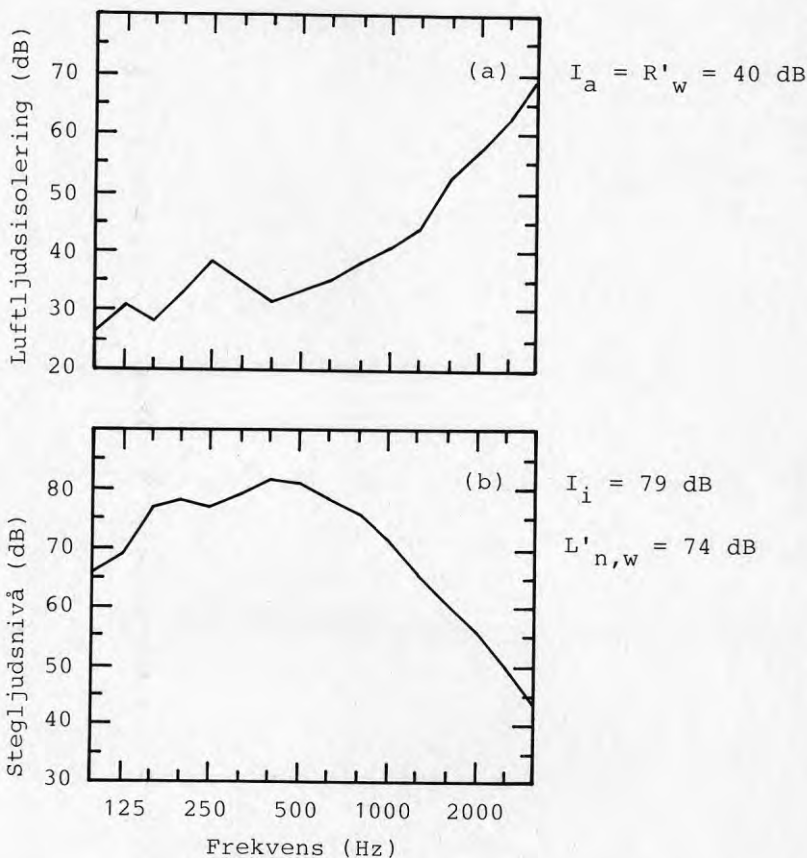
Dessa slutsatser kommer möjligen att behöva nyanseras i ljuset av projektets mätresultat vilka diskuteras längre fram i rapporten.

Parallellt med provningsanstaltens projekt har ett liknande forskningsprojekt genomförts i Danmark av SBI. Detta projekt avrapporteras i referens [37]. Eftersom det första utkastet till den danska rapporten var tillgängligt först i september 1986, har det emellertid inte varit möjligt att utnyttja och referera till detta arbete i provningsanstaltens rapport. Det danska arbetet som både behandlar ljudisoleringen hos de gamla bjälklagen såväl som effekten av olika ombyggnadsåtgärder, rekommenderas dock till det bästa eftersom rapporten innehåller mycket värdefullt material.

KONSTRUKTION

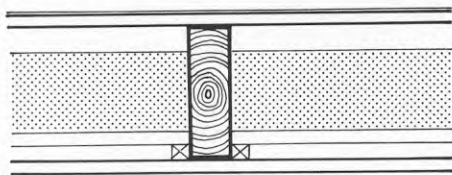


3" x 9" bjälkar, 1" golvplank med 12 mm parkett, 1" blindbotten med fyllning av 70 mm sand + 100 mm kutterspån, tak av 3/4" spontad panel. Luftspalt mellan blindbotten och takpanel ca 25 mm.
Uppskattad vikt: 180 kg/m².

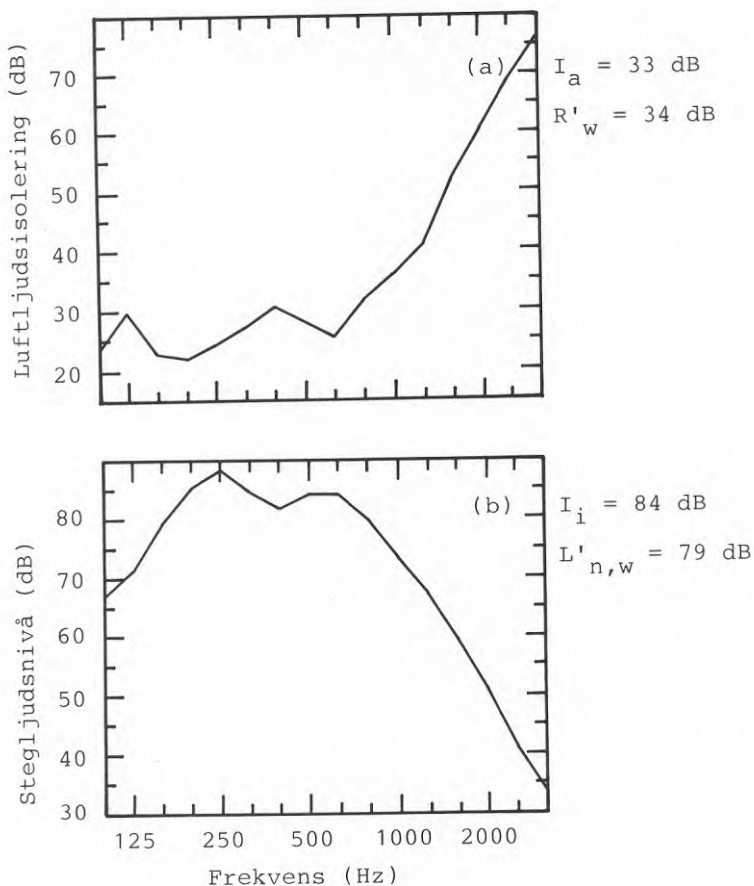


FIGUR 4. Uppmätta ljudisoleringvärden och konstruktionsdata för ett gammalt träbjälklag med relativt tung fyllning enligt referens [8a].

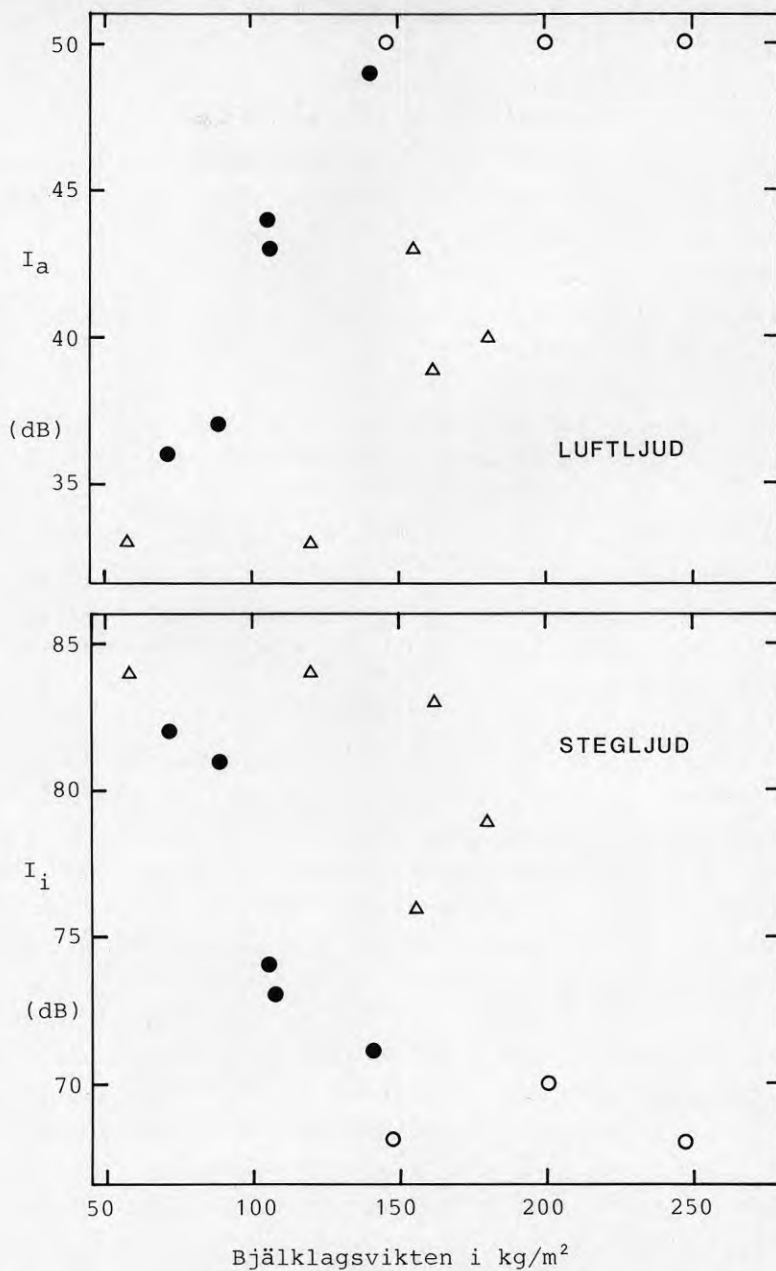
KONSTRUKTION



10" bjälkar, 1" golvträ med beklädnad av linoleum + papp, 1" blindbotten med fyllning av kutterspån till obestämd höjd, tak av 1" spontad panel. Luftspalt mellan blindbotten och takpanel ca 25 mm.
Uppskattad vikt: 58 kg/m²



FIGUR 5. Uppmätta ljudisoleringsvärden och konstruktionsdata för ett gammalt träbjälklag med lätt fyllning enligt referens [8b]. Resultaten gäller med en golvbeklädnad av linoleum + papp.



FIGUR* 6. Sammanställning av litteraturreferensernas ljudisoleringsindex tecknat som funktion av bjälklagsvikten.

(●), bjälklag utan blindbotten

(○), bjälklag med blindbotten, stor luftspalt mellan blindbotten och takpanelen

(△), bjälklag med blindbotten, liten luftspalt mellan blindbotten och takpanelen

2.3 Ljudisoleringsförbättringar

2.3.1 Allmänna dimensioneringsregler

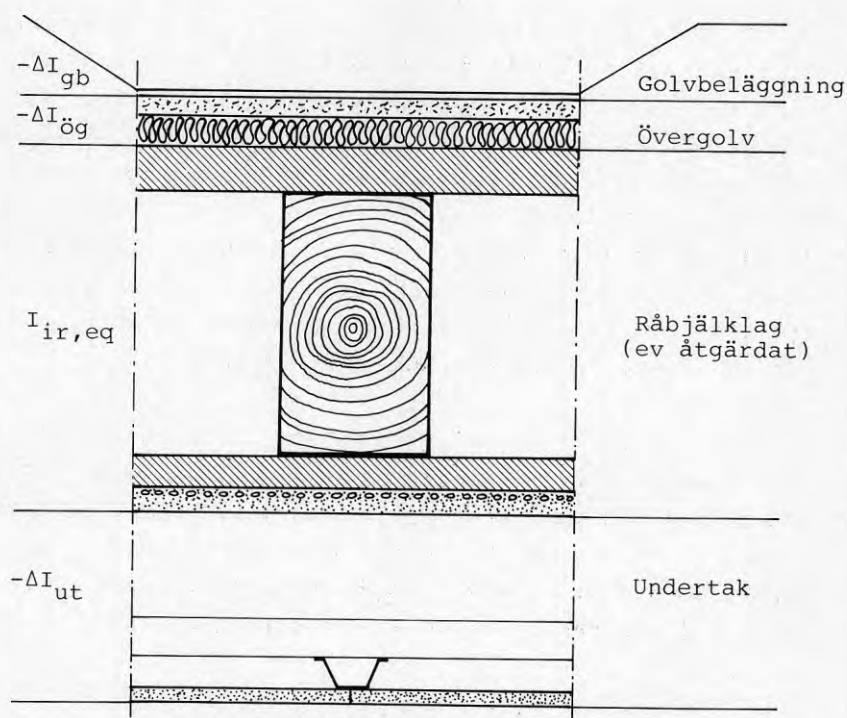
Luftljudsisolerings- och stegljudsnivåegenskaperna hos ett våningsbjälklag är naturligtvis inte oberoende variabler utan hänger intimt samman med varandra. Detta förhållande utnyttjas i referens [10] som i ett diagram presenterar ett samband mellan det tyska luftljudsisoleringsstalet R'_w (nära identiskt med R'_w enligt ISO 717/1) och stegljudsisoleringsstalet TSM "Trittschall-schutzmass" (se DIN 52 210 - del 4, 1975). Dessutom anges följande dimensioneringsregel:

Man behöver bara bekymra sig om att våningsbjälklaget får en tillräcklig stegljudsisolering. Är denna tillräcklig, erhåller bjälklaget också automatiskt en tillräcklig luftljudsisolering.

Huruvida detta är sant beror naturligtvis på relationerna mellan luftljudsisolerings- och stegljudsnivåkraven i de nationella byggreglerna. Av [10] framgår att de tyska stegljudskraven är något hårdare i relation till luftljudskraven än motsvarande krav i SBN-80. Dessa frågor kommer att studeras närmare i rapportens resultatavsnitt.

Vid diskussion av olika förbättringsåtgärder arbetar man lämpligen med en uppdelning av skiljekonstruktionen enligt illustrationen i figur 7. För ingenjörsmässiga beräkningar är det vidare lämpligt att arbeta med följande ansats för den färdiga konstruktionens stegljudsindex.

$$I_{ie} = I_{ir,eq} - \Delta I_{ög} - \Delta I_{gb} - \Delta I_{ut} \quad (4)$$



FIGUR 7. Illustration av lämpliga beteckningar för ett sammansatt våningsbjälklag. Indexbeteckningarna till vänster förklaras i texten.

där

- I_{ie} = stegljudsnivåindex efter ombyggnad,
 $I_{ir,eq}$ = råbjälklagets ekvivalenta stegljudsnivåindex före ombyggnad (kan även inkludera förbättring gjord på själva bjälklaget),
 $\Delta I_{ög}$ = övergolvet's förbättring av indexvärdet,
 ΔI_{gb} = golvbeläggningens förbättring av indexvärdet,
 ΔI_{ut} = undertaket's förbättring av indexvärdet.

Denna enkla beräkningsprincip beskrives i referenserna [10] och [11] och man kan naturligtvis tänka sig alla tänkbara kombinationer av åtgärder. Man måste dock beakta att förbättringseffekterna kan bero av varandra och av råbjälklagets egenskaper. Så exempelvis gäller att en golvbeläggning ger ett lägre ΔI_{gb} -värde om den läggs på ett flytande golv än om golvbeläggningen läggs direkt på råbjälklaget. En vanlig golvbeläggning erhåller vidare alltid väsentligt sämre förbättringsvärden på ett träbjälklag än på ett betongbjälklag.

När det gäller råbjälklagets stegljudsindex så måste detta också räknas om, eftersom råbjälklagets index säkerligen bestäms av stegljudsnivåerna för flertalet tersband medan det färdiga bjälklagets index enbart avgörs av värdena för de lägsta terserna. Enligt referens [11] bör denna omräkning genomföras enligt

$$\begin{aligned}
 I_{ir,eq} = & \frac{1}{6} (L_{n,100} + L_{n,125} + L_{n,160} + L_{n,200} + \\
 & + L_{n,250} + L_{n,315}) + 1 \text{ dB}
 \end{aligned} \tag{5}$$

där $L_{n,f}$ är de normaliserade stegljudsnivåerna för tersbanden $f = 100 \text{ Hz} \dots 315 \text{ Hz}$. Uttrycket i referens [11] har översatts genom tillämpning av följande samband

$$I_i \approx 68 - \text{TSM} \tag{6}$$

där TSM är det tyska isoleringstalet "Trittschallschutzmass" (jmf DIN 4109, del 1 förslag okt 1984). Som ett alternativ till ekvation (5) kan man tänka sig att man arbetar med ett referensträbälklag och en typisk förbättringsåtgärd och att man använder dessa för bestämning av $I_{ir,eq}$ analogt med den procedur som tillämpas för massivbjälklag enligt den tyska standarden DIN 52210, del 4 sid 5.

På samma sätt som i ekv (4) kan man naturligtvis också separera olika åtgärders luftljudsisoleringseffekter. Det enklaste är dock att räkna ut stegljudsegenskaperna enligt ekv (4) och att sedan uppskatta luftljudsisoleringen genom ett erfarenhetsmässigt bestämt samband mellan luft- och stegljudstalen. I detta sammanhang måste man emellertid beakta att en mjuk golvbeläggning som inte signifikant ökar golvet vikt, bara påverkar stegljudsvärdet och ej luftljuds värdet. Om man skall beräkna I_a från I_i så skall man alltså inte inkludera ΔI_{gb} .

Vid mätning av ett våningsbjälklags ljudisolering i en byggnad så kommer också en del ljud att överföras via väggarna, sk flanktransmission. Flanktransmissionen innebär att man inte kan förbättra skiljekonstruktionens ljudisolering hur mycket som helst enbart genom åtgärder på bjälklaget. Flanktransmissionsproblematiken diskuteras i samband med den aktuella beräkningsmetoden i referens [10].

I stenhus, dvs i hus med stenvägg, kommer flanktransmissionen att ställa till problem om väggarna är för lätta eftersom väggarna passerar obrutna förbi bjälklagssnitten och de lätta träbjälklagen inte ger någon större knutpunktsdämpning. Samtliga flankerande väggar bör ha en vikt som är minst 350 kg/m^2 för att man skall nå upp till rätt ljudisolering för lägenhetsskiljande konstruktioner. Om någon vägg är för lätt bör den förses med en beklädnad av gips på regelstomme med mineralullsfyllning.

I trähus är situationen normalt gynnsammare eftersom bjälklagen bryter transmissionen via väggarna och man har väggkonstruktioner som strålar ut ljud mindre effektivt än väggarna i stenus.

Även om väggarna är tillräckligt tunga och riktigt byggda så får man en viss försämring av stegljudsisoleringen när man kommer upp i riktigt höga förbättringsvärden. Detta gäller både i sten- och trähus även om situationen är gynnsammare i trähus. Enligt referens [10] bör man tillämpa de korrektionsvärden som anges i tabell 3 för att ta hänsyn till flanktransmissionen. Försiktigtvis skall det noteras att dessa korrektionsvärden är baserade på erfarenheter vunna i företrädesvis modern byggnation. Av tabellen ser man att man inte torde behöva införa några korrektioner i normala ombyggnadssammanhang.

TABELL 3. Korrektionsvärden för den flanktransmission som uppstår av trumljudet på sändarsidan och som överförs via väggarna till mottagarrummet. Som oberoende variabel användes beräknat stegljudnivåindex exklusive eventuell golvbeläggning av typen mjuk matta.

Beräknat stegljudsnivåindex I_i (dB)	Korrektionsvärden (dB)	
	Stenus	Trähus
48	1	1
46	2	1
44	3	1
42	4	2
40	5	3
38	6	4

Slutligen anges i referens [10] att man bör inkludera en säkerhetsmarginal på 3 dB om man använder schablonvärden vid dimensioneringsberäkningar enligt ekvation (4). Schablonvärden för olika förbättringsalternativ presenteras i nedanstående avsnitt.

2.3.2 Åtgärder på råbjälklaget

Ingrepp på det gamla bjälklaget som innebär att man river upp golvet eller river ned taket med panel och allt bedöms som orealistiska varför de inte tas upp till behandling i detta sammanhang. För den intresserade hänvisas till referenserna [5] s 54, [10] s 5, [16] s 175 och [17] s 120.

Däremot kan man naturligtvis tänka sig att man förändrar bjälklaget genom att man klär det med skivor. Om detta göres med böjveka skivor, ex 13 mm gips, som ej limmas till underlaget utan spikas, skruvas eller lös-lägges, så bör förbättringen kunna uppskattas enligt följande uttryck [4],

$$\Delta I_i = 20 \lg \left(\frac{m + m_f}{m_f} \right) \quad (7)$$

där m_f är bjälklagets vikt före ombyggnaden räknat per areaenhet (kg/m^2) och $m + m_f$ är dess vikt efter tillägget av skivorna (kg/m^2). Formeln är så pass enkel eftersom förbättringseffekten förväntas vara frekvensoberoende.

Samma formel bör kunna användas om man byter bjälklagsfyllningen till ett tyngre material och fyllningen ligger direkt på underpanelen. Om fyllningen ligger på en blindbotten har man dock en mer speciell situation.

Jämför med resultaten i avsnitt 2.2.2. Möjligen uppstår en resonans för det massa-fjäder-massa system som underpanelen bildar med luftspalten och blindbotten. Om denna resonans ligger olyckligt i frekvensområdet kan man tänka sig att fenomenet skapar en ljudisoleringsförsämring. För en underpanel som är väsentligt lättare än blindbotten plus fyllning, ges resonansfrekvensen av uttrycket

$$f_0 \approx 60 / (m d)^{1/2} \quad (8)$$

där m är underpanelens ytvikt i kg/m^2 och d är luftspalten uttryckt i meter. Om både underpanelen och blindbotten inkl fyllningen väger ungefärligen lika mycket ges resonansfrekvensen av uttrycket

$$f_0 \approx 90 / (m d)^{1/2} \quad (9)$$

där m står för panelernas ytvikter.

Huruvida detta fenomen kan förklara varför bjälklaget med blindbotten och utan undertaksputs i tabell 1 har så dåliga ljudisoleringsvärden i förhållande till de övriga kommer att studeras närmare i kapitel 6.

2.3.3 Golvbeläggningar

Med golvbeläggningar avses nedan tunna mer eller mindre mjuka beläggningar som t ex textilgolv, PVC- och linoleumgolv. Sådana golvbeläggningar provas idag regelmässigt avseende stegljudsförbättringen på betongbjälklag. Testerna utföres bl a i provningsanstaltens laboratorium och förbättringsvärdena kan generellt tillämpas på olika betongbjälklag.

Förbättringsindex beräknas enligt bl a Nordtest metod NT ACOU 034, referens [12]. Beräkningen innebär att man tillämpar de frekvensavhängigt uppmätta förbättringsvärdena på ett standardbjälklag vars stegljudsnivåvärden är bestämda enligt internationell standard (ISO 717/2) och i Nordtest-metoden.

Det förbättringstal som används i norden kallas stegljudsförbättringsindex och betecknas med $I_{\Delta i}$. Motsvarande beteckning för vägda stegljudsnivåer enligt ISO 717/2 är ΔL_w . Förbättringstalen kan användas för beräkning av vilka stegljudsnivåindex man kan förvänta sig med en given golvbeläggning på olika betongbjälklag.

Idag tillämpar dessutom provningsanstalten en klassindelning som t ex innebär att man klarar det strängaste stegljudskravet i SBN 80, dvs

$$I_i \leq 63 \text{ dB,}$$

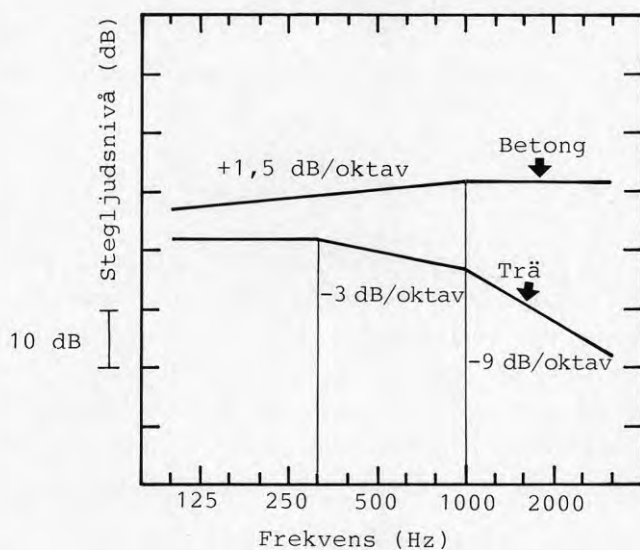
om man använder sig av en golvbeläggning som uppfyller villkoret

$$I_{\Delta i} \geq 21 \text{ dB}$$

Förutsättningen är dock naturligtvis att det gäller normala betongbjälklag. Klassningsproceduren beskrivs närmare i referens [13]. Provningarna har sådan omfattning att provningsanstalten med jämna mellanrum ger ut en produktöversikt över testade golvbeläggningar. Den senaste översikten publicerades i oktober 1984 [14]. Produktöversikten distribueras till en rad olika intressenter av provningsanstalten och Svenska Golvrådet.

Någon motsvarighet för träbjälklag finns ej än så länge. Enligt referens [11] finns dock förutsättningar eftersom man kunnat visa att man i stort får samma frekvensavhängiga förbättringsvärden, oavsett om man testat golvbeläggningen på ett träbjälklag eller ett betongbjälklag. Normalt får man visserligen sämre högfrekvensvärden på träbjälklag än på betongbjälklag, men dessa avvikelser är utan praktisk betydelse eftersom I_1 -värdet för ett träbjälklag med en mjuk golvbeläggningar alltid bestäms av de lägsta frekvensbanden. Avvikelserna kan dessutom förklaras teoretiskt.

Enligt dessa erfarenheter kan man alltså tänka sig att använda de frekvensberoende förbättringsvärden som uppmätts på betonggolv, även i tillämpningar med träbjälklag. När det gäller beräkningen av ett förbättringsindex måste man emellertid utgå från de stegljudsnivåer som gäller för ett typiskt träbjälklag och ej från standardbetonggolvs stegljudsnivåer. Ett råbjälklag av trä uppvisar nämligen en helt annorlunda frekvenskurva än ett råbjälklag av betong. En jämförelse mellan det spektrum som enligt referens [11] föreslås gälla som norm för råbjälklag av trä och det standardspektrum som gäller för betonggolv enligt ISO 717/2 och NT ACOU 034 redovisas i figur 8. Som man kan se föreslås en kurvform för standardbjälklaget som överensstämmer med den referenskurva som användes vid stegljudsnivåindexbestämningen. Innebörden av detta blir att en golvbeläggning med ett visst $I_{\Delta i}$ -värde för betonggolv, alltid erhåller ett mycket lägre förbättringsindex i träbjälklagstillämpningen. Om man dessutom använder ett övergolv så kommer intresset att ytterligare förskjutas mot de lägsta frekvensbanden, vilket innebär att golvbeläggningens förbättringsindex ytterligare reduceras.



FIGUR 8. Referensspektra för standardbjälklaget enligt ISO 717/2 och NT ACOU 034 samt för råbjälklag av trä enligt förslag i referens [11]. Kurvornas absolutvärden saknar betydelse för förbättringsvärdena.

I referens [10] och [11] redovisas ett ingenjörsmässigt samband för dessa variabler. Sambandet är emellertid uttryckt i det nu föråldrade tyska förbättringstalet VM "Verbesserungsmass", varför det inte återges här. Istället ges några typiska exempel i tabell 4. Beräkningarna är baserade på de frekvensvisa förbättringsvärden som uppmätts på ett betongbjälklag för fyra olika golvbeläggningar. Resultaten talar för sig själva.

Man kan naturligtvis omvänt resonera så att om man har bestämt sig för att använda en mjuk golvbeläggning med ex $\Delta I_{gb} = 6$ dB och vill lägga till ett övergolv, så blir effekten av övergolvet inte så hög som väntat utan ca 2 dB lägre.

2.3.4 Övergolv

Huruvida det är riktigt att använda beteckningen övergolv kan diskuteras. Denna beteckning användes dock genomgående i denna rapport eftersom det handlar om ett nytt golv som man lägger ovanpå det gamla. I andra sammanhang förekommer beteckningen undergolv. Under hänsyftar då till att golvet bildar underlaget för golvbeläggningen.

Olika övergolvskonstruktioner och de förbättringseffekter som är förknippade med dessa i kombination med träbjälklag har behandlats i referenserna [5, 10, 20, 21 och 24]. Förbättringsvärdena i referens [5 och 10] har översatts och sammanställts i tabell 5. Förbättringsvärdena enligt referens [21] har sammanställts i tabell 6. I tabell 6 anges både faktiskt observerade förbättringsvärden samt värden beräknade med utgångspunkt från det referensbjälklagsspektra som föreslagits av Gösele.

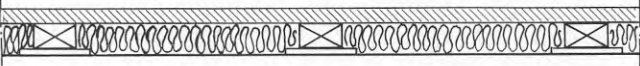
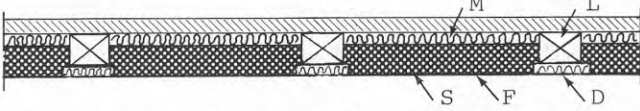
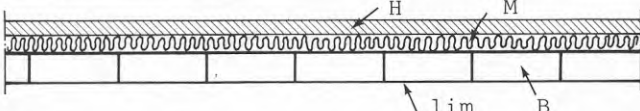
TABELL 4. Förbättringsvärden för några olika golvbeläggningar angivna som funktion av $I_{\Delta i}$ -värdet. Värdena har beräknats genom användande av det föreslagna referensspektrat för träbjälklag (se figur 8).

GOLVUPPBYGGNAD	ΔI_{gb} (dB) ¹⁾
Mjuk PVC-matta med $I_{\Delta i} = 23$ dB ($\Delta L_w = 19$ dB)	
- direkt på råbjälklag	6
- på flytande övergolv ²⁾	4
Mjuk PVC-matta med $I_{\Delta i} = 21$ dB ($\Delta L_w = 17$ dB)	
- direkt på råbjälklag	5
- på flytande övergolv ²⁾	3
Plastgolv med $I_{\Delta i} = 17$ dB ($\Delta L_w = 13$ dB)	
- direkt på råbjälklag	4
- på flytande övergolv ²⁾	2
Linoleumgolv med $I_{\Delta i} = 7$ dB ($\Delta L_w = 4$ dB)	
- direkt på råbjälklag	1
- på flytande övergolv ²⁾	1

Anmärkningar: 1) Samma värden erhålles om man istället arbetar med vägda stegljudsförbättringsvärden

2) Beräkningarna har genomförts med ett övergolv typ spånskivor på mineralullsplattor med $\Delta I_{\ddot{a}g} = 9$ dB och en förbättringskurva enligt referens [11].

TABELL 5. Sammanställning av förbättringsvärden för olika övergolvkonstruktioner avsedda för träbjälklag. Samtliga övergolv utom fallet med plattlast försättes ligga löst ovanpå råbjälklaget.

ÖVERGOLVKONSTRUKTION	$\Delta l_{\text{ög}}$ (dB)	Källa								
Träspånskivor eller 2 lager gipsskivor sammanfogade med 20 mm hårdskumplattor av polystyrol	4 - 6	[10]								
Flytande träspånskivor 22-25 mm på 28/25 mm mineralullsplattor 2, 3)	9	[10]								
Tunt parkettgolv på skumskikt, nivilerat golv	10	[5]								
 <p>Brädgolv på regler som ligger på brickor av porös träfiberplatta, mineralull mellan reglarna</p>	10	[5]								
 <p>Flytande träspånskivor på sandfyllning F: Plastfolie D: 15/10 mm mineralullsplatteremсор M: 15 mm mineralull S: 30 mm sand 4) L: Trälister</p>	22	[10]								
 <p>Flytande träspånskivor med plattlast</p> <p>H: 22-30 mm träspånskivor M: 28/25 mm mineralullsplattor B: Fastlimmad böjvek last av plattor med vikten:</p> <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>25 kg/m²</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>50 kg/m²</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>75 kg/m²</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>100 kg/m²</td> <td>31</td> </tr> </table>	25 kg/m ²	17	50 kg/m ²	22	75 kg/m ²	26	100 kg/m ²	31		[10]
25 kg/m ²	17									
50 kg/m ²	22									
75 kg/m ²	26									
100 kg/m ²	31									
Flytande betonggolv 50 mm (120 kg/m ²) på 30/25 mm mineralullsplattor	16	[10]								




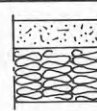
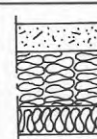
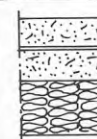

Fotnoter:

- 1) Samma värden erhålles om man istället arbetar med vägda stegljudsförbättringsvärden
- 2) Mineralullsplattornas densitet bör vara $\geq 90 \text{ kg/m}^3$ [10]
- 3) Sammantryckningen hos det fjädrande skiktet orsakad av vilolasten bör ej vara större än 10 % [5]
- 4) Sandskiktet bör vara ≤ 50 mm tjockt för undvikande av resonanser [10].

Eftersom förbättringarna till mer eller mindre del bestäms av att skiljekonstruktionens vikt ökar, måste det finnas ett visst beroende av råbjälklagets vikt. Detta beroende har ej detaljstuderats i referenserna och innebär att tabellvärdena måste betraktas som approximativa. Dessutom är naturligtvis förbättringseffekten beroende av det individuella råbjälklagets stegljudsisolering och dess frekvensberoende vilket ytterligare påverkar osäkerheten.

De övergolv som presenteras i tabell 6 är huvudsakligen lätta och konstruerade av en eller flera golvträskivor lagda på olika fjädrande skikt. Mätningarna genomfördes på ett bjälklag som var relativt tungt och bjälklaget hade redan från början ganska goda stegljudsvärden. Detta förhållande kan möjligen vara en förklaring till att de erhållna förbättringsvärdena synes vara något lägre än de som redovisas för motsvarande övergolvskonstruktioner i tabell 5. Av beräkningarna framgick dessutom att mätnoggrannheten för de lägsta frekvenbanden var helt avgörande för förbättringstalen. I flera av fallen avgjordes stegljudsvärdet, speciellt I_1 -värdet, av mätresultatet för ett enstaka tersband. Detta förklarar den stora spridningen för de olika förbättringstalen i tabell 6. Det är alltid svårast att åstadkomma god mätprecision vid låga frekvenser.

TABELL 6. Förbättringsvärden för olika övergolv enligt referens [21]

ÖVERGOLV	Uppmätt			Beräknat	
	$\Delta l_a^{1)}$	Δl_i	ΔL_w	$\Delta l_{ög}$	$\Delta L_{ög}^{2)}$
 <p>10 mm spånskiva + 2 lag korksmulepapp KoC 800</p>	-2	2	4	4	6
 <p>22 mm spånskiva + 2 lag korksmulepapp KoC 800</p>	4	3	2	3	3
 <p>6 mm hård träfiberskiva + Reduc Massa + 6 mm träfiberskiva + lumppapp L 400</p>	0	2	1	0	4
 <p>Rockwools golvelement³⁾ 661: 16 mm spånskiva + 30 mm lamellskiva av stenull (105 kg/m³)</p>	3	1	1	1	4
 <p>Rockwools golvelement + 15 mm mineralullsskiva (140 kg/m³)</p>	8	3	5	5	8
 <p>16 mm spånskiva + Reduc massa + Rockwools golv- element</p>	1	1	2	4	5
 <p>Samma golv som ovan men med sammanskruvade spån- skivor c/c 180 mm</p>	6	3	4	3	7

Fotnoter 1) Luftljud

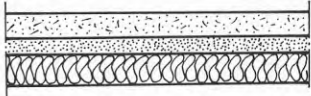
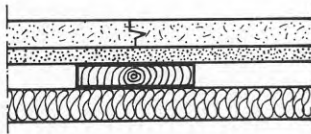
2) Vägda stegljudsförbättringsvärden

3) Produkten har utgått ur Rockwools sortiment

En intressant övergolvs konstruktion presenteras i referens [20]. Övergolvet är prefabricerat och uppbyggt som en sandwichkonstruktion bestående av en 6 mm hård träfiberskiva + ett 1,5 mm viskoelastiskt dämpskikt + en 3,2 mm hård träfiberskiva. På undersidan finns antingen ett 1,5 mm tjockt byggpapper eller en ca 6 mm tjock filtmatte. Pappen och filten tar upp ojämnheter i råbjälklagets yta och förhindrar att det uppstår golvknarr. Samma golvtyp förekommer i tabell 6 (golven med Reduc massa). Konstruktionen med byggpapp gav en stegljudsförbättring $\Delta L_{\text{ög}}$ av 4 dB när den lades på träbjälklag i både laboratorium och i ett antal faktiska byggnader. Med filtbaksidan blev motsvarande värde 6 dB. Av speciellt intresse framgår att dessa värden erhöles oberoende av om övergolvet lös-lades eller om det spikades till råbjälklaget. När övergolvet spikades användes 12-13 spik/m². Författaren påpekar vidare att man genom att optimera det viskoelastiska skiktets egenskaper kan förbättra ljudisoleringen ytterligare. En höjning av förbättringsvärdet med 3 dB anges vara realistisk.

Problemställningarna med flytande golv har analyserats grundligt i referens [24]. Förutom ljudisoleringen har man här även beaktat och studerat det flytande golvets statiska styvhet och deformationerna av punkt- och gånglaster. Ett antal övergolv med både goda ljudisolerande egenskaper och tillräcklig styvhet mot statisk last rekommenderas. Två av dessa övergolv presenteras i tabell 7. Dessa golv hade provats på ett normalt modernt träbjälklag med mineralullsfyllning. De aktuella övergolven förutsätter att man har ett plant underlag och det rekommenderas dessutom att man använder en fast upplagring invid väggarna. Enligt referens [24] innebär en sådan uppläggning blott en obetydlig försämring av ljudisoleringen. Principen för denna montering illustreras i figur 9.

TABELL 7. Förbättringsvärden för olika övergolv enligt referens [24]. De uppmätta värdena erhöles med ett modernt träbjälklag med mineralullsfyllning. Mätningarna genomfördes i ett stegljudslaboratorium.

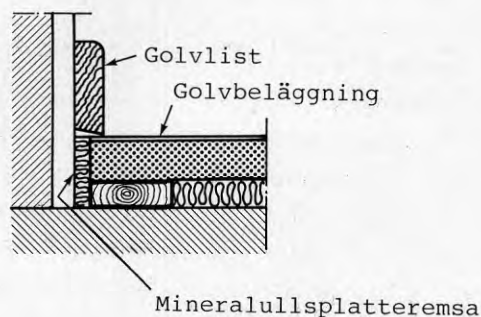
ÖVERGOLV	Uppmätt			Beräknat	
	ΔI_a ¹⁾	ΔI_i	ΔL_w	$\Delta I_{ög}$	$\Delta L_{ög}$ ²⁾
 <p>22 mm golvspånskiva 13 mm gips 25-30 mm styv mineralull ⁴⁾</p>	9	11	12	12	13
	-	9	11	10	12
 <p>22 mm golvspånskiva 13 mm gips 23x98 mm läkt c/c 300 mm 25-30 mm styv mineralull</p>	8	12	15	13	15
	-	8	11	9	12

Fotnoter 1) Luftljud

2) Vägdastegljudsförbättringsvärden

3) Belastning med jämnt placerade vikter motsvarande 50 kg/m^2 (500 Pa). Lasten påfördes enbart vid mätning på övergolven

4) Glasull 100 kg/m^3



FIGUR 9. Lämpligt utförande av vägganslutning för flytande golv.

Observera slutligen att man inte utan vidare kan tillämpa förbättringsvärden som fastställts för övergolv på betongbjälklag eftersom sådana förbättringsvärden normalt är högre än man kan uppnå på träbjälklag. Detta gäller särskilt övergolv av typen tung platta på mineralull.


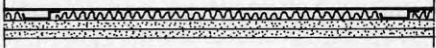
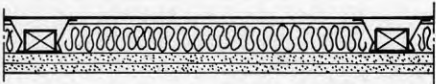
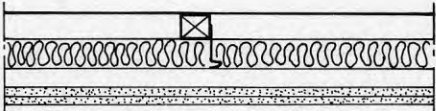
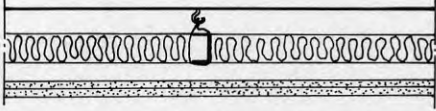
2.3.5 Undertak

Huvudföremålet med undersökningen i referens [9] var att studera hur man kan förbättra ett gammalt träbjälklag med olika undertakskonstruktioner. Experimenten genomfördes i en gammal rivningsfastighet med stenmursväggar och golvet saknade golvbeläggning under mätningarna. Förbättringsvärdena har sammanställts i tabell 8. Stegljudsnivåkurvan för det ursprungliga träbjälklaget var brantare än den referenskurva som föreslagits för träbjälklag i referens [11], jmf figur 2 b och 8. Detta för med sig att de förbättringsvärden som bestäms med hjälp av referensbjälklaget blir något annorlunda än de faktiskt uppmätta indexskillnaderna. I de flesta fall är skillnaderna mindre än 3 dB.

Av tabellen framgår vidare att ett undertak som sättes direkt mot det gamla taket kan vara av ondo, dvs ge en försämrad isolering, om man inte utformar konstruktionen så att man undviker det resonansfenomen som diskuteras i avsnitt 2.3.2.

Beträffande resultaten i tabell 8 skall det också noteras att det förekom ett inte oväsentligt flanktransmissionsbidrag via en 3/4-stens tegelvägg. Eftersom denna vägg inte tilläggsisolerades var det inte möjligt att nå speciellt mycket högre med enbart undertaksåtgärderna, än vad som redovisas för de bästa alternativen. Genom en kraftig tilläggsisolering på bjälklagets översida fastställdes att det maximalt gick att förbättra luftljudsisoleringen med 7 dB.

TABELL 8. Förbättringsvärden för olika undertak enligt referens [9]. De beräknade stegljudsförbättringsvärdena har fastställts genom att tillämpa referensens frekvensavhängiga förbättringsvärden på det föreslagna referensträbjalcket enligt figur 8.

UNDERTAK	Uppmätt			Beräknat	
	Δl_a ¹⁾	Δl_i	ΔL_w	Δl_{ut}	ΔL_{ut} ²⁾
 <p>25 x 50 mm träreglar c/c - 600 mm, 15 mm mineralullsplattor samt 13 mm gipsplank</p>	0	-5	-1	-2	-2
 <p>16 x 45 mm specialstålprofil c/c - 600 mm, 15 mm mineralullsplattor samt 2 x 13 mm gipsplank</p>	2	-1	1	2	3
 <p>50 mm mineralullsmatta samt 2 x 13 mm gips på träregelstomme. Träreglarna är upphängda med stålbyglar c/c - 600 resp 1000 mm. Luftspalt 56 mm</p>	5	1	6	6	7
 <p>50 mm mineralullsmatta samt 2 x 13 mm gips på stålregelstomme. Ståltreglarna är upphängda med fjädrande stålbeslag c/c - 600 resp 1000 mm. Luftspalt 120 mm</p>	6	6	9	9	9
 <p>50 mm mineralullsmatta samt 2 x 13 mm gips på stålregelstomme, primärbalkarna hänger i ståltrådsöglor c/c - 1000 resp 1200 mm. Luftspalt 120 mm</p>	6	10	10	9	9

Not. 1) Luftljud 2) Vägda stegljudsförbättringsvärden

Enligt referens [5] som är baserad på resultaten i tabell 8 samt ytterligare fälterfarenheter, anvisas att ett sparsamt pendlat undertak av 2 lag gips plus minst 50 mm mineralull och en luftspalt på minst 150 mm ger en stegljudsförbättring som är 10-15 dB. Detta är högre förbättringstal än enligt tabell 8. Samma konstruktion men utan pendlar och med träreglar diskuteras i referens [18]. De presenterade förbättringsvärdena motsvarar omräknat ett ΔI_{ut} -värde på 13 dB.

På samma sätt som i kombinationsfallet golvbeläggning + övergolv kan man inte direkt addera förbättringsvärdena för exempelvis ett undertak och en golvbeläggning. Kombinationen av två åtgärder som tillsammans är bättre vid höga än vid låga frekvenser medför att det enbart är de lägre frekvensbanden som bestämmer det slutliga indexvärdet. Detta leder i sin tur till att den sammanlagda förbättringen överskattas med ca 2 dB om förbättringsvärdena adderas, eftersom det typiska råträbjälklaget i förhållande till vilket förbättringsvärdena bestäms, har en stegljudsnivåkurva vars stegljudsindex bestäms av samtliga frekvensband och ej enbart vid de lägsta frekvensbanden.

Ytterligare förbättringsvärden för olika gipsundertak redovisas bl a i referens [25].

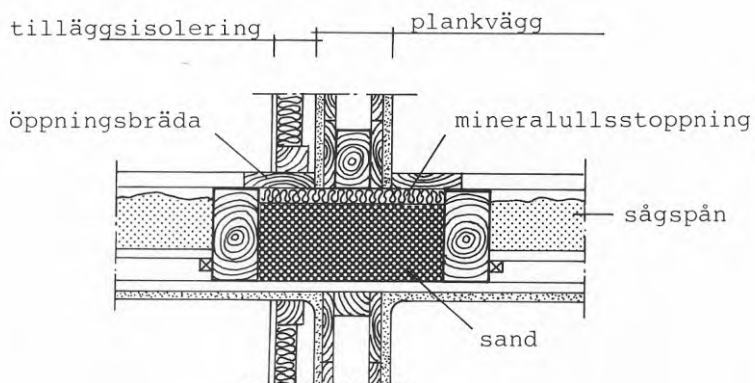
2.3.6 Förbindelsen trävägg - bjälklag

Träbjälklag kan naturligtvis även överföra ljud horisontellt förbi exempelvis en lägenhetsskiljande vägg. Detta är speciellt märkbart när det gäller träväggar.

De gamla träväggarna har i relation till dagens standard en otillräcklig ljudisolering, varför de alltid bör tilläggsisoleras. Normalt byggs en separat regelstomme på vilken man sätter 2 lager gips. I utrymmet mellan tilläggsisoleringen och den gamla väggen placeras en mineralullsmatta. Detta torde vara tillräckligt när det gäller själva väggen under förutsättning att luftmellanrummet är tillräckligt stort och man inte förbinder den nya regelstommen med den gamla väggen.

Ett frågetecken kvarstår dock: Hur stor är flanktransmissionen via träbjälklaget under väggen. Några litteraturreferenser som redovisar mätdata för denna situation har inte kunnat hittas. Emellertid ger Bjerking i två BFR-rapporter, referens [1] och [19], detaljerade anvisningar om hur träbjälklag bör förstärkas under lägenhetsskiljande träväggar. Anvisningarna som illustreras i figur 10 innebär att man skall bryta upp golvet invid väggen, ta bort den gamla fyllningen och ersätta denna med tung fyllning ex sand samt täta mellan fyllningen och underkanten av väggen med mineralull. Om man redan har en tung fyllning så behöver denna naturligtvis ej avlägsnas. Efter förstärkningen återställs golvet varefter skiljeväggen tilläggsisoleras enligt ovan. Behovet av sådana förstärkningsåtgärder är säkerligen motiverat men tyvärr saknas det verifierande mätdata i rapporterna.

Samma frågeställning gäller naturligtvis även när man bygger en helt ny lätt lägenhetsskiljande vägg på ett träbjälklag eller när man har en gammal trävägg som går rakt igenom bjälklaget.



FIGUR 10. Illustration av lämpliga förstärkningsåtgärder under lägenhetsskiljande träväggar enligt Bjerking [1]. Samma åtgärder rekommenderas även när bjälkarna går vinkelrätt mot väggen.

3.1 Inledning

För att få en klarare uppfattning om vilka åtgärder som normalt görs idag vid ombyggnadsarbeten för att tillgodose kraven på buller och brandskydd genomfördes ett antal telefonintervjuer. Arbetsledare på byggnadsfirmor i olika delar av Sverige blev tillfrågade om de ville ge detaljerade uppgifter om var sitt ombyggnadsobjekt. Av intresse var bjälklagskonstruktionen före resp efter ombyggnad och på vilket sätt nya lägenhets-skiljande väggar utfördes.

Från ett urval på ungefär 75 kontakter har 16 fullständiga objekt kartlagts. Att antalet svar är så litet beror dels på att många ombyggnationer inte berörde hus med träbjälklag, dels på svårigheter att få fram precisa upplysningar.

3.2 Träbjälklag

3.2.1 De gamla bjälklagen

Utformningen av träbjälklag varierar beroende på från vilken tid och var bjälklaget konstruerades. Den historiska utvecklingen finns beskriven i kapitel 2.

Det är intressant att göra en jämförelse mellan bjälklagskonstruktionerna som beskrivits i litteraturen med de som framkommit i undersökningen. Man ser att ifråga om dimensioner, centrumavstånd och material på bjälkar, golvbrädor, underpanel och takbeklädnad stämmer de båda väl överens. Däremot visade det sig att endast 25 procent av bjälklagen var försedda med blindbotten. Dessa återfanns i hus från tiden runt sekelskiftet.

Tre fjärdedelar av de omnämnda husen var byggda i sten. Fyllningen i bjälklagen var en blandning av spån och torv eller spån och koksaska utom i ett fall där den utgjordes av lera, aska och tegel. Upplysningar om avstånd mellan takpanel och blindbotten är osäkra men en spalt i storleksordningen 1"-2" är trolig.

I övrigt har fyllningen vilat direkt mot underpanelen. För att förhindra läckage har ett lager papp, tidningar eller gamla tapeter lagts på panelen.

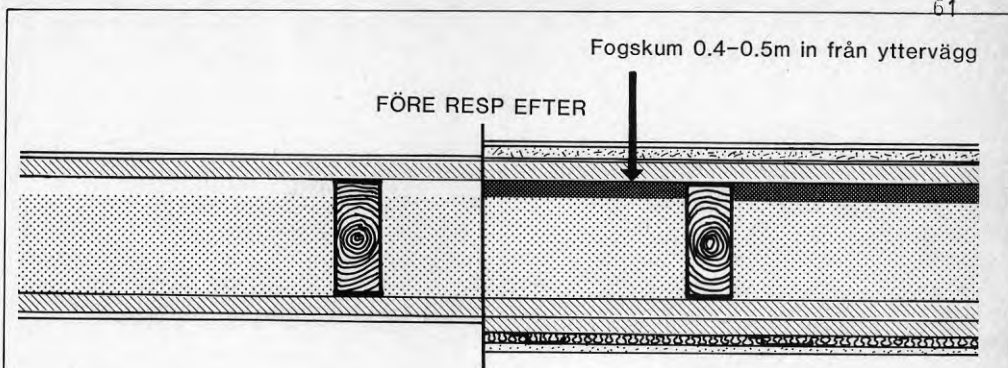
Som ett specialfall kan nämnas ett bjälklag där man hade problem med dragiga och otäta golv. För att komma till rätta med det sprutades fogs-kum in i anslutningen mellan de timrade ytterväggarna och golvet. Detta täppte till otätheterna. Skummet trängde in ca 0,4-0,5 m i luftspalten mellan golvsponten och fyllningen.

3.2.2 Golv

Den absolut vanligaste ombyggnadsåtgärden, vad gäller våningsbjälklag, är att lägga in nya golv. Detta har gjorts i 80 % av de undersökta objekten.

På golvbrädorna läggs korksmule- eller lumppapp och 8-22 mm spånskiva eller 6 mm masonite. Monteringen av skivorna har skett på olika sätt. På en byggplats helspikade man skivorna och på två andra skruvades de fast. I övrigt lades skivorna flytande mot underliggande papp. Exempel på ett bjälklag med nya golv visas i figur 12.

Vid två ombyggnadsobjekt användes en 22 mm tjock spånskiva när golven behövde riktas.

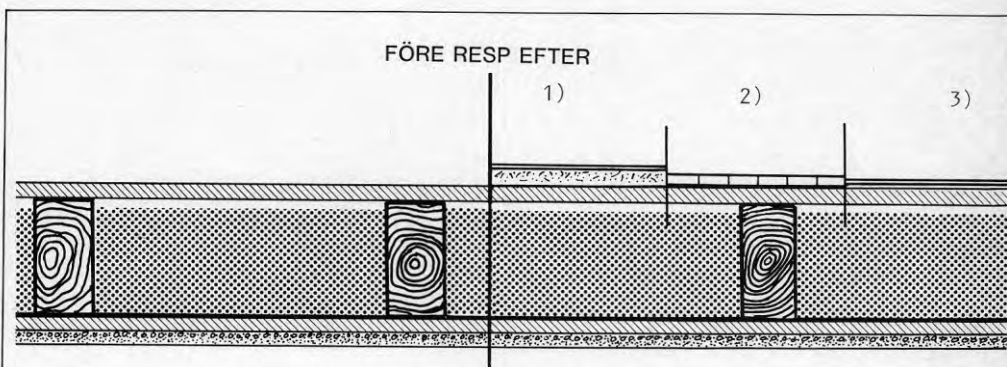


FIGUR 11. Bjälklag med tätning av fogskum. Trähus i Jönköping från 1910-talet.

Råbjälklag: 34 mm spontade golvbrädor, bjälkar 3" x 8" c/c-600 mm, spånfillning, 1 1/4" underpanel.

Nytt golv: papp, 16 mm spånskiva, linoleummatta.

Undertak: 1" panel, Gyproc isolerregel c/c-400 mm, 15 mm mineralull, 13 mm gips.



FIGUR 12. Exempel på våningsbjälklag där man enbart valt att lägga nya golv.

Råbjälklag: 28 mm spontade golvbrädor, bjälkar 4" x 8" c/c-600 mm, fyllning av spån och torv, papp, 1" spräckpanel, vassmatta och puts.

Nya golv: 1) 22 mm spånskiva, 2 mm plastmatta
2) Lumpapp, 14-15 mm parkettgolv
3) 6 mm masonite, 2 mm plastmatta

Vanligen behölls de gamla parkettgolven och i vissa fall lade man även in nya. Golvbeläggningar av linoleum eller plast med en tjocklek på ungefär 2,0-2,5 mm har använts på de flesta arbetsplatserna. I två fall uppgav arbetsledarna att man använt sig av stegljudsdämpande mattor.

Tätning med fogmassa mellan golv och vägg förekom normalt sett inte. Tre av byggledarna svarade att de "tätade vid behov".

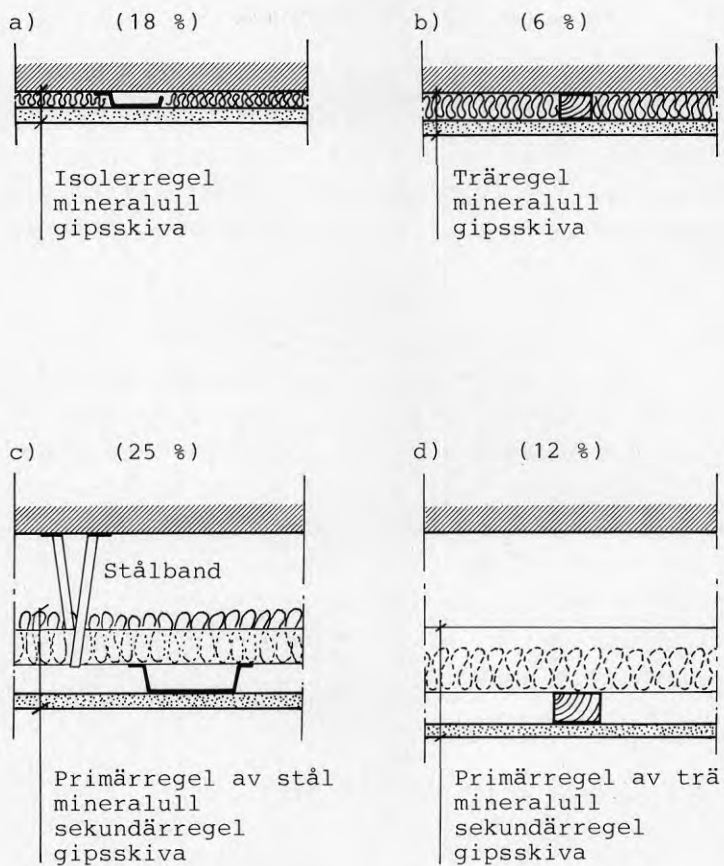
De byggnader i vilka de ursprungliga golven behölls ansågs vara av kulturhistoriskt värde. Man försökte därför behålla den gamla inredningen så långt det var möjligt.

3.2.3 Tak

De gamla taken är vanligen klädda med papp- eller vävspänning eller med en vassmatta och puts. Bland de kartlagda bjälklagen hade 56 % putsade tak. I ungefär 30 % av ombyggnadsobjekten bibehölls de putsade taken.

I regel innebär en ombyggnad att nya och fler VVS- och ventilationsinstallationer görs. För att förenkla och dölja ledningsdragningarna har man i 15 fall byggt undertak i badrum och hall. Även i övriga rum är det vanligt med undertak bl a för att nå givna brand- och ljudisoleringskrav eller enbart ur estetisk synvinkel.

Vid en genomgång av svaren kan fyra principiella sätt att montera taken urskiljas. I figur 13 visas skisser på dessa. Siffrorna inom parentes anger hur stor procent av byggarna som använt sig av respektive metod.



FIGUR 13. Vanligt förekommande undertakstyper.

Dimensionerna på reglarna varierar med spännvidd och centrumavstånd. Vid infästning direkt mot bjälklaget har Gyproc isolerreglar använts på tre av fyra arbetsplatser.

Då undertaket pendlas ansluts inte takplanken mot väggen. Den springa som uppkommer täcks med en kantlist. Pendlarna är av bandstål och hade ett centrumavstånd på ca 1200 mm. Primär- och sekundärreglar av stål monterades med centrumavstånden 1200 mm resp 400 mm.

I luftspalten mellan bjälklag och tak lades, utom i ett fall, in ett skikt av mineralull. Tjockleken på detta varierade från 15 mm upp till 100 mm beroende på utrymme och isoleringsbehov. Det framgick inte klart om hela takytan eller enbart delar av den täcktes med mineralullsskiktet.

Någon relation mellan valet av undertakstyp och bjälklagskonstruktion kunde inte upptäckas. Endast på två av byggnadsobjekten hade akustikkonsulter anlåtats.

3.3 Nya lägenhetsskiljande väggar

Förbättringsåtgärder gjorda på befintliga lägenhetsskiljande väggar behandlades inte i intervjuundersökningen.

Vid omdisponering av lägenheter kan man ibland bli tvungen att bygga nya lägenhetsskiljande väggar. Det framkom att man i görligaste mån använde de bärande väggarna för att på ett enkelt sätt konstruera nya lägenhetsskiljande väggar. Arbetet inskränker sig då ofta till att man bygger igen öppningar med regelväggar vilka förses med mineralull eller genom att man

murar igen dem. I två fall byggdes en ny regelstomme med isolering och gipsskivor upp mot hela väggen och på en arbetsplats hade gipsskivor limmats fast med sättlim.

I övrigt har Gyproc väggkonstruktioner genomgående använts. Tillvägagångssättet då det gällde att ansluta väggen mot golvet skilde sig dock. På en del ställen placerades väggen direkt på golvet medan andra isolerade mellan vägg och golv med filt eller papp. I ett par hus bröt man upp golvsponen och ställde väggen direkt på bjälkarna. Endast i ett fall ersattes den gamla fyllningen med sand enligt figur 10 i kapitel 2.

3.4 Sammanfattning

Telefonintervjuerna med byggledare har visat att man idag använder sig av två åtgärder vid ombyggnad som påverkar ljudisoleringen hos bjälklagen

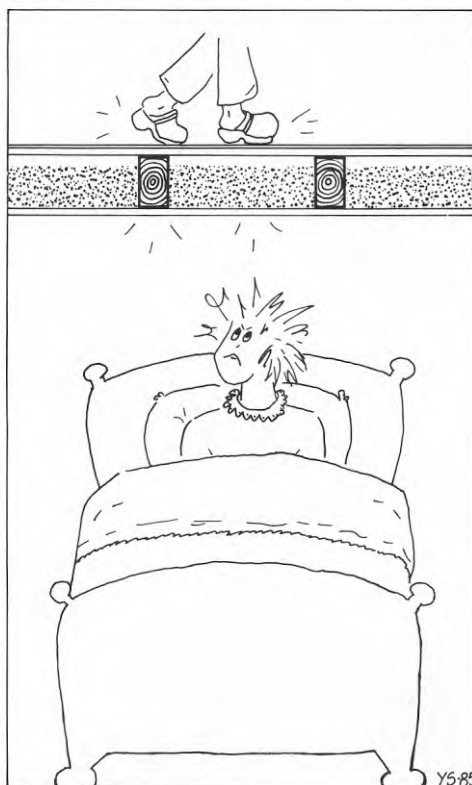
- * nya golv
- * montering av undertak

Åtgärder på det ursprungliga bjälklaget är däremot sällsynta. Man kan samtidigt konstatera att inte i något fall har ljudisoleringsmätningar utförts efter ombyggnad för att kontrollera att kraven i byggnormen uppfylles.

4. LJUDKLIMATET I GAMLA HUS MED TRÄBJÄLKLAG

4.1 Hyresgästernas/lägenhetsinnehavarnas omdömen

Provningsanstalten har med två nyligen genomförda forskningsprojekt undersökt relationen mellan uppmätta ljudisoleringsvärden och lägenhetsinnehavarnas omdömen om ljudisoleringen. Dessa forskningsprojekt som finansierats av Byggforskningsrådet presenteras i referenserna [7], [23] och [26] (Referens [26] innehåller ett särtryck av [23] samt primärdata för ett antal bostadsområden).



Det senast genomförda projektet som redovisas i referens [26] gällde ljudisoleringen hos våningsbjälklag och hade titeln "Metod för utvärdering av stegljudsmätningar som svarar mot subjektivt upplevd isolering". Sjutton olika bostadsområden och stegljudsisoleringsresultat för 22 olika bjälklagskonstruktioner ingår i denna undersökning. Sammanlagt genomfördes 160 stegljudsmätningar och totalt intervjuades 400 personer. Olika betongbjälklag med hårda såväl som mjuka golvbeläggningar samt olika träbjälklag ingår.

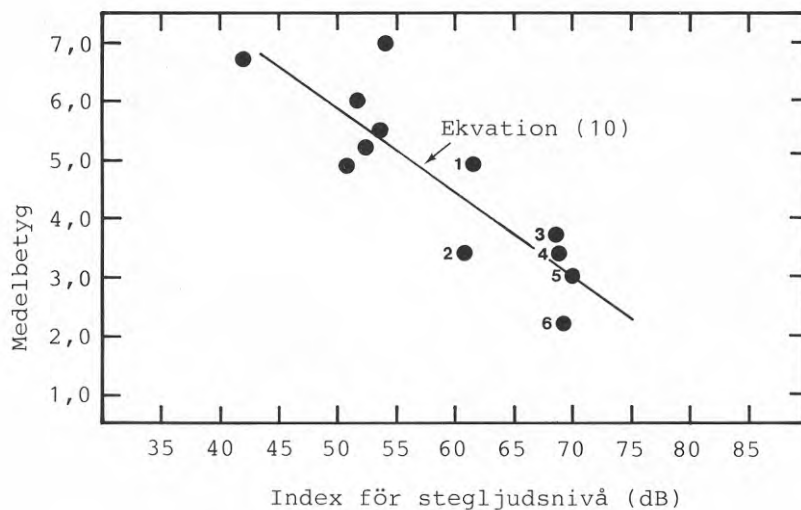
Genom att utnyttja dessa resultat kan man bilda sig en uppfattning om hur man upplever ljudisoleringen i hus med gamla träbjälklag. I figur 14 återges de resultat som erhöles för träbjälklagsfallen. Som man kan se av figuren så erhöles en god korrelation mellan de subjektiva betygen och de uppmätta stegljudsindexen. Ju lägre index, ju bättre stegljudsisolering och ju bättre betyg erhålles av lägenhetsinnehavarna.

För att förstå figuren på rätt sätt skall man veta att varje prick motsvarar en bjälklagskonstruktion, flera stegljudsmätningar representerade av ett medelindex samt intervjuer med flera lägenhetsinnehavare i det aktuella bostadsområdet. Normalt intervjuades 20-talet personer och sedan beräknades ett medelbetyg för varje bjälklag. Varje prick motsvarar alltså ett medelindex och ett medelbetyg.

Det vanliga stegljudsnivåindexvärdet är alltså en god prediktor när det gäller att förutsäga den upplevda stegljudsisoleringen åtminstone så länge man begränsar sig till träbjälklag.

Den utnyttjade betygsskalan sträcker sig från 1 till 7, där 1 motsvarar att stegljudsisoleringen är helt otillfredsställande dvs mycket dålig och 7 är toppbetyget som motsvarar att stegljudsisoleringen är helt tillfredsställande dvs mycket bra.

Var går då gränsen för vad som är acceptabelt när det gäller medelbetyget? I referens [7] har sambandet mellan medelbetyget och andelen personer som ansåg att förhållandena var otillfredsställande studerats. Till denna kategori har räknats de personer som gav betyg 1 eller 2. Studerar man figur 8 i referens [7] så finner man att om medelbetyget är 4,2 till 4,4 så är 15 % till 20 % av lägenhetsinnehavarna missnöjda med ljudisoleringen. Samtidigt finner man att om medelbetyget



FIGUR 14. Sambandet mellan stegljudsnivåindexvärdet (I_i) och lägenhetsinnehavarnas omdömen uttryckt som ett medelbetyg för ett antal träbjälklagsfall enligt referens [26]. De numrerade fallen gäller lägenhetsskiljande våningsbjälklag och vertikal transmission medan övriga fall gäller horisontell stegljudstransmission via lägenhetsskiljande vägg. Nedan ges en kort beskrivning av de numrerade objekten.

- 1) Äldre trevåningshus renoverat 1982, träbjälklag försett med pendlat undertak av 13 mm gips
- 2) Hus från 1920-talet renoverat 1979, träbjälklag av 2"x6" bjälkar och pendlat undertak av 2x13 mm gips
- 3, 4) Landshövdingehus, mellanbjälklag av 3"x8" bjälkar och med sågspånsfyllning
- 5) Landshövdingehus renoverat 79/80, enbart nya golv
- 6) Nyproduktion 82/83, modernt träbjälklag med lättbalkar och mineralullsfillning

är 4,4 eller högre, så har minst 51 % av de tillfrågade givit betyg 5, 6 eller 7, dvs mycket goda betyg. Ett medelbetyg på 4,4 har därför valts som ett lämpligt gränsvärde. Går man lägre när det gäller medelbetyget så stiger snabbt andelen missnöjda personer samtidigt som det inte är realistiskt att gå lägre med andelen missnöjda personer än 15 % eftersom man alltid finner ett litet antal personer som är missnöjda även om förhållandena är goda.

Om vi nu återgår till resultaten i figur 14 och genomför en linjär regressionsanalys med medelbetyget S som beroende variabel och medelstegljudsindexvärdet $\langle I_i \rangle$ som oberoende variabel så erhålles sambandet

$$\hat{S} = 13,1 - 0,143 \langle I_i \rangle \quad [n=12, r=87 \%] \quad (10)$$

\hat{S} betecknar det förväntade medelbetyget för ett träbjälklag med stegljudsnivåindexvärdet $\langle I_i \rangle$. n betecknar antalet utnyttjade talpar och r är korrelationskoefficienten som här uttrycks i procent.

För objekt nr 3, 4 och 5 i figur 14 som gäller gamla hus och typiska träbjälklag där man inte vidtagit några väsentliga förbättringsåtgärder, så ligger indexvärdena i intervallet 68 till 70 dB. Enligt ekvation (10) innebär detta att man kan förvänta sig att medelbetyget ligger mellan 3,1 och 3,4 vilket är oacceptabelt. Många gamla träbjälklag har dessutom ännu sämre stegljudsegenskaper och det är inte ovanligt att indexvärdet är så pass högt som 80 dB. Se t ex tabell 2 och figur 4 och 5.

För att ytterligare poängtera att de gamla bjälklagen har en i förhållande till dagens behov oacceptabel stegljudsisolering kan det vara lämpligt att återge lägenhetsinnehavarnas omdömen för objekt nr 5 i figur 14. Detta objekt består av en gård bebyggd med s k landshövdingehus. Hustypen beskrives noggrannt i referens [3]. Husen renoverades omsorgsfullt 1979-80, dock utan någon annan åtgärd på våningsbjälklagen än att man lade in nya golvbeläggningar på ett underlag av lumppapp och masonit.

I dessa hus som ägs av ett allmännyttigt bostadsföretag, intervjuades 28 personer. Medelbetyget blev 3,0. 36 % av lägenhetsinnehavarna gav lägre betyg än 3 och endast 11 % gav bättre betyg än 4. De flesta som var missnöjda talade om gående personer eller springande barn. Två personer nämnde till och med att de irriterades av ljud som orsakades av att grannens katt lekte på golvet. En av dessa personer påstod dessutom att hon brukade vakna av att grannkatten hoppade ned från en säng eller dylikt. Några av de personer som klagade på stegljud från barn sade att det började redan när barnen just hade lärt sig gå.

Beträffande andra bullerproblem i dessa hus så klagade 10 personer, dvs 36 %, på att bjälklagen hade en för dålig luftljudsisolering. Inga ytterligare klagomål framfördes. Under dessa intervjuer så kontrollerades det noggrannt att man inte blandade ihop begreppen luftljuds- och stegljudsisolering.

Resultaten ovan talar sitt tydliga språk. De gamla träbjälklagen behöver förbättras med avseende på ljudisoleringen för att man skall leva upp till en acceptabel standard. Om man tillämpar gränsvärdet att S skall vara $\geq 4,4$ så innebär det att man bör sikta på ett I_i -värde som är ≤ 60 dB. Detta är 3 dB strängare än det nuvarande nybyggnadskravet.

4.2 Svensk Byggnorm SBN 1980

När dessa hus byggdes så fanns det över huvud taget ingen byggnorm eller några ljudisoleringskrav. Vad säger då dagens byggnorm om vad som är en rimlig ljudisoleringsstandard? Enligt SBN 80 så är nybyggnadskravet för våningsbjälklag:

$$I_a \geq 53 \text{ dB resp } I_i \leq 63 \text{ dB.}$$

Enligt ombyggnadskapitlet (SBN 34 omb:2) så föreskrives gränsvärdena

$$I_a \geq 49 \text{ dB resp } I_i \leq 68 \text{ dB,}$$

för minst hälften av lägenhetens sov- och vardagsrum medan övriga bostadsrum bör ha en ljudisolering som uppfyller

$$I_a \geq 46 \text{ dB resp } I_i \leq 73 \text{ dB.}$$

Om det föreligger något särskilt skäl till undantag kan man acceptera ännu lägre värden dock skall alltid luftljudsisoleringen uppgå till minst $I_a = 43$ dB och stegljudsnivån till högst 78 dB.

När man jämför dessa olika krav kan man notera att man släpper mer på stegljudskravet i ombyggnadsnormen än man släpper på luftljudsisoleringskravet. Differensen mellan nybyggnads- och minimiomybyggnadskravet är 10 dB för luftljudsisoleringen och 15 dB för stegljudsisoleringen. Huruvida detta är lämpligt ur ljudklimatsynpunkt kan verkligen ifrågasättas.

Hur de gamla träbjälklagen ligger till i förhållande till de olika kraven diskuteras närmare i nästa avsnitt. Klart är emellertid att man har möjligheten att lägga sig på helt olika ambitionsnivåer vid en ombyggnad och att ombyggnadskraven är så lågt hållna att man riskerar stora ljudisoleringsproblem även om normkraven uppfylles.

5.1 Genomförda undersökningar

I detta forskningsprojekt ingår sex stycken ombyggnadsobjekt vilket innebär att provningsanstalten har följt ombyggnaden av sex bostadshus under perioden 1983-1985. Samtliga dessa hus finns i Borås. Detaljerna kring varje objekt beskrives ingående i referens [27] som speciellt behandlar bjälklagens brand- och ljudisolerande egenskaper. Husen som presenteras med hjälp av fotografier i bild 1 betecknas enligt följande uppräknig:

1. Lejonet Nr 1, reveterat plankhus byggt 1929
2. Stenkilen Nr 2, putsat tegelhus byggt 1935
3. Vale Nr 3, tegelhus i jugendstil byggt 1914
4. Staren Nr 4, reveterat tegelhus byggt 1937
5. Medea Nr 5, stenstadshus i tegel byggt 1894
6. Hämplingen Nr 6, plankhus byggt 1906, reveterat 1932.

Tre av husen har undersökts särskilt noggrant genom att provningsanstalten besökt byggarbetsplatsen 4-6 gånger under själva ombyggnadsperioden. Dessa hus är Lejonet, Staren och Medea, dvs objekt nr 1, 4 och 5. Detta innebär att de olika konstruktionsdetaljerna, t ex bjälklagens uppbyggnad, är relativt noggrant dokumenterade för dessa hus. För de andra objekten har de intressanta konstruktionsdetaljerna erhållits genom intervjuer med arbetsplatschefer och snickare. Detta innebär en viss osäkerhet speciellt när det gäller måttangivelser eftersom det normalt inte upprättas några detaljritningar vid denna typ av byggnadsarbeten.



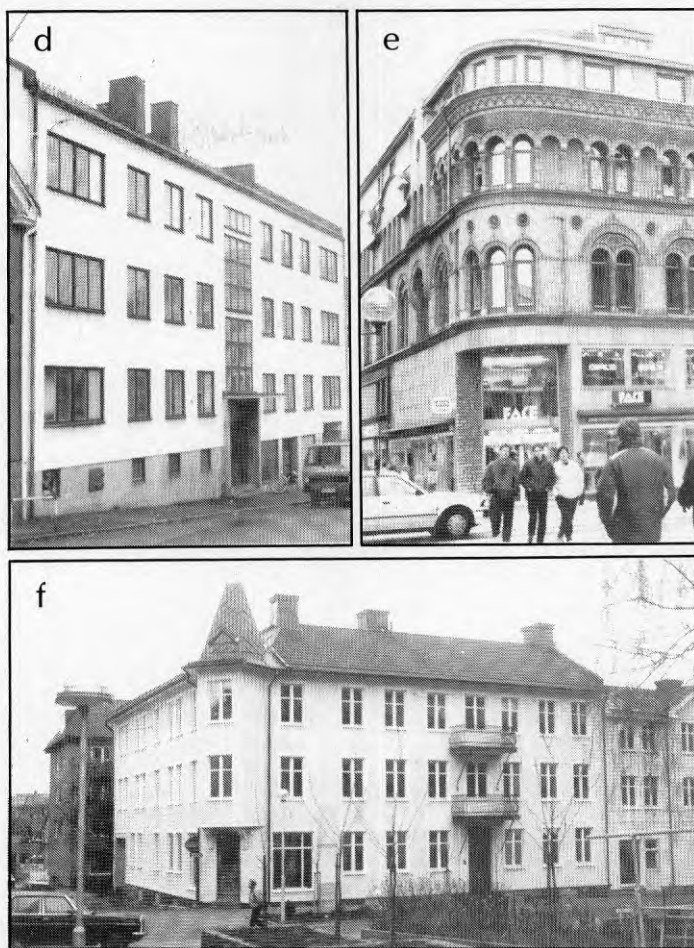


BILD 1. De sex ombyggnadsobjekten

a Lejonet Nr 1
 b Stenkilen Nr 2
 c Vale Nr 3

d Staren Nr 4
 e Medea Nr 5
 f Hämplingen Nr 6

Gemensamt för samtliga objekt gäller att provningsanstalten genomfört ljudisoleringsmätningar på våningsbjälklagen både före och efter ombyggnaden. Dessa mätningar har genomförts enligt de gällande svenska standardmetoderna, dvs enligt referens [28] och [29]. Vid samtliga luftljudsisoleringsmätningar har dock ett avsteg gjorts från de svenska tillämpningsreglerna. Detta avsteg innebär att högtalaren alltid placerats i det övre rummet och på själva våningsbjälklaget. Enligt SS 02 52 52 anges att högtalaren ej får placeras i något av de fyra hörn som är närmast skiljekonstruktionen vilket vid mätning av ljudöverföring i vertikalled medför att mätningen i praktiken utförs med sändarrummet underst. Detta är ett tillägg till den svenska standarden som ej återfinns i huvuddokumentet, referens [29], dvs den internationella standarden ISO 140/IV-1978.

Avsteget motiveras av att det är praktiskt att använda samma mottagartrum vid luftljudsmätningen som vid stegljudsmätningen. På detta sätt slipper man flytta mikrofonstativet så mycket och man sparar dessutom en efterklangsmätning eftersom man inte behöver mäta det övre rummets efterklangstid. Samtidigt måste ljudisoleringen uppifrån och ned vara minst lika intressant som i den andra riktningen, eftersom det är vanligt att man placerar sina hifi-högtalare på golvet. Från en teoretisk synvinkel kan man förvänta sig en något lägre ljudisolering när högtalaren placeras intill skiljekonstruktionen, vilket innebär att det bör vara detta fall som är dimensionerande.

Förutom ljudisoleringstesterna så har ett antal stickprovsmätningar genomförts beträffande bulleralstringen från de nya VVS-installationerna. Vid en ombyggnad förses normalt husen med helt nya vatten- och avloppsarmaturer samt med nya VVS- och ventilationsledningar som förlägges till schakt som byggs upp intill någon vägg. Målsättningen med mätningarna var att kontrollera om dessa standardåtgärder ger upphov till acceptabla bullernivåer vid i- och avtappning av vatten i grannens lägenhet. Bjälklagsgenombrotten har också beaktats i referens [27], speciellt med avseende på brandisoleringsproblematiken.

Den utnyttjade mätutrustningen för ljudisolerings- och bullermätningarna presenteras i bild 2.

Målsättningen med fältundersökningarna var enbart att passivt följa och studera vad som blev resultatet av ombyggnadsverksamheten. Provningsanstalten har därför inte rekommenderat speciella ombyggnadsåtgärder. Objekten är dock unika såtillvida att byggarna fick tillgång till de mätresultat som erhöles före ombyggnaden. Detta kan säkert ha påverkat valet av åtgärder. När det gäller Lejonet och Staren så experimenterade byggaren med olika undertakskonstruktioner för att ta reda på det bästa alternativet. För objekt nr 6, Hämplingen, så utnyttjade byggaren en akustikkonsult som då fick tillgång till provningsanstaltens mätresultat före ombyggnaden.

5.2 Resultat enligt objektbladen

De viktigaste mätresultaten presenteras objekt för objekt i referens [27]. I följande kapitel analyseras detta material för att man skall få en översiktlig bild av de olika problemställningarna.



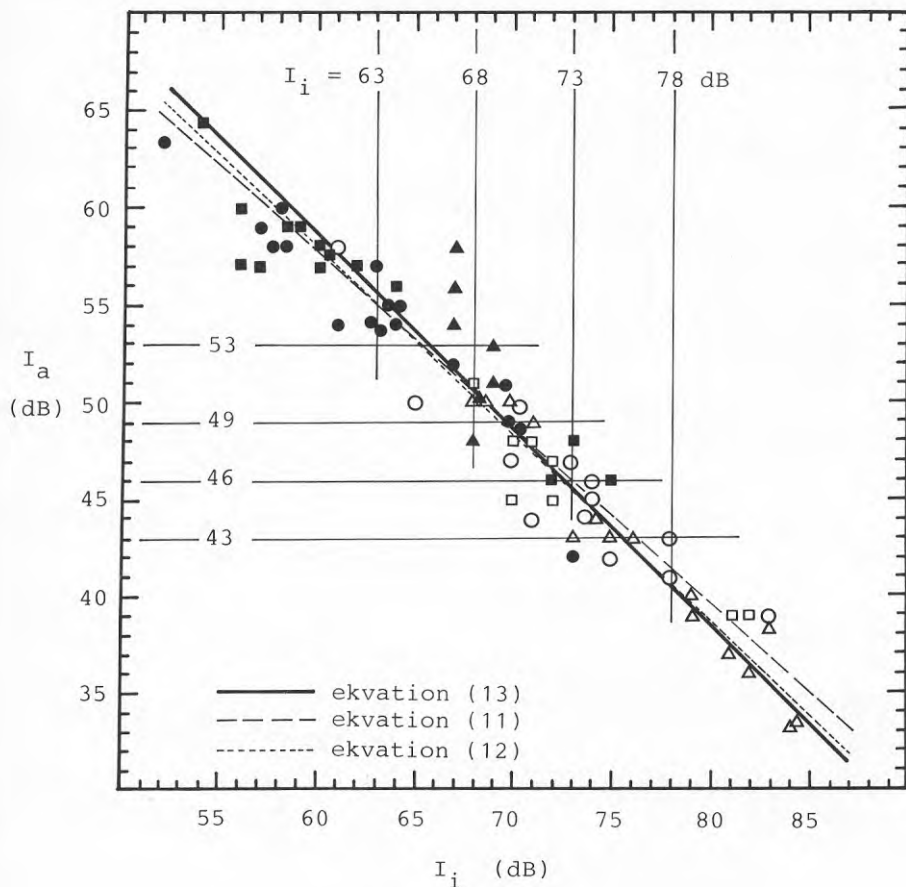
BILD 2. Fältmätutrustningen (a). I normala fall står mätvagnen kvar inne i mätbussen under mätningarna (b).

Mätvagnen:	Digital frekvens-	Brüel & Kjaer	2131
	analysator		
	Dator	Hewlett Packard	9826
	Brusgenerator	SP-konstruktion	
	Spektrumformare	Urei	539
	Effektförstärkare	SP-konstruktion	
	Hörtelefon	Sennheiser	HD 414
Övrigt:	Högtalare	SP-konstruktion	
	Hammarapparat	Brüel & Kjaer	3204
	Mikrofon	Brüel & Kjaer	4144
	Mikrofonförstärkare	Brüel & Kjaer	2619
	Roterande mikrofon-		
	bom	Brüel & Kjaer	3923
	Mikrofonför-		
	sörjningsenhet	Brüel & Kjaer	2801
	Akustisk kalibrator	Brüel & Kjaer	4230

Samtliga ljudisoleringsindex från mätningarna på de sex ombyggnadsobjekten har sammanställts tillsammans med de resultat som erhöles vid litteraturgenomgången. I denna sammanställning som presenteras i figur 15, har I_a -värdet tecknats som funktion av I_i -värdet. Varje mätvärdessymbol i figuren motsvarar ett vertikalt mätfall mellan två sov- eller vardagsrum.

Med hjälp av denna figur kan man dra flera värdefulla slutsatser. Det första man ser är att det är ett nära samspel mellan I_a -värdet och I_i -värdet, dvs mellan luftljuds- och stegljudsisoleringen. Korrelationssambandet mellan dessa bägge storheter diskuteras mera ingående längre ned i detta avsnitt.

Genom att studera de ofyllda symbolerna, som gäller ljudisoleringen före ombyggnad, så ser man att spridningen är stor. Stegljudsindexet varierar t ex från 61 dB till 84 dB. Av detta kan man dra slutsatsen att det är viktigt att bilda sig en uppfattning om bjälklagets konstruktion och ljudisolering före ombyggnaden. I vissa fall räcker det med mindre förbättringar medan andra fall kräver radikala åtgärder för att man skall åstadkomma en acceptabel ljudisolering. Det bästa är naturligtvis att genomföra ljudisoleringstester före ombyggnaden men denna rapport skall också söka besvara frågan huruvida det går att uppskatta ljudisoleringen om man har en nöjaktig beskrivning av bjälklagets uppbyggnad.



FIGUR 15. Sambandet mellan I_a och I_i för ett antal träbjälklagsfall. Resultaten härstammar från de sex fältobjekten samt från de referenser som diskuteras i kapitel 2. De olika byggnormskraven samt några olika regressionslinjer har inkluderats i diagrammet.

- , mätresultat före ombyggnad, brädgolv eller parkettgolv
- , mätresultat före ombyggnad, plastmatta eller linoleumgolv
- △, litteraturreferenser gamla bjälklag (kapitel 2)
- , mätresultat efter ombyggnad, brädgolv eller parkettgolv
- , mätresultat efter ombyggnad, plastmatta eller linoleumgolv
- ▲, med olika övergolvsalternativ enligt referens [21]

Om man sedan jämför resultaten före respektive efter ombyggnaden så ser man att det går att höja ljudisoleringen avsevärt med realistiska åtgärder. Klart är vidare att det finns stora förutsättningar att leva upp till nybyggnadskraven vilket också varit målsättningen för flera av de undersökta objekten.

Studerar man vidare relationerna mellan mätvärdena och byggnormskraven så ser man att det är stegljudskravet som är dimensionerande. Detta gäller för nybyggnadskraven och de gränsvärden som anges i ombyggnadsnormen för minst hälften av lägenhetens sov- och vardagsrum. Man ser nämligen i figuren att om man klarar stegljudsgränserna $I_i \leq 68$ dB respektive $I_i \leq 63$ dB så klarar man alltid motsvarande luftljudsvärden dvs $I_a \geq 49$ dB respektive $I_a \geq 53$ dB. Det omvända förhållandet gäller dock inte. Om man klarar luftljudskravet så klarar man inte automatiskt stegljudskravet. Detta stämmer bra med den regel som angavs i avsnitt 2.3.1 om att man bara behöver bekymra sig om att våningsbjälklaget får en tillräcklig stegljudsisolering.

På detta sätt förhåller det sig dock inte när det gäller de lägre ombyggnadskraven eftersom man sänkt stegljudskraven för dessa situationer mer än man sänkt luftljudskraven. För den lägsta kravnivån ($I_a \geq 43$ dB, $I_i \leq 78$ dB) är istället luftljudskravet avgörande.

Annorlunda uttryckt kan man säga att så länge skärningspunkten för luft- och stegljudskraven ligger under regressionslinjen i figur 15 så är stegljudskravet avgörande medan det omvända gäller när skärningspunkten ligger ovanför regressionslinjen.

Presentationen i figur 15 har också delats upp på olika typer av golvbeläggningar. Studerar man resultaten före ombyggnad så finner man ingen skillnad i beteendet mellan golv som var försedda med plast- eller linoleummattor och garanterat hårda golv som brädgolv eller parkettgolv. Detta kan till viss del säkert bero på att de gamla plast- och linoleumgolven var hårda och hade en obetydlig stegljudsdämpning. Detsamma gäller efter ombyggnad. I detta sammanhang bör dock påpekas att vissa av parkettgolven är nylagda vilket innebär att det ligger ett elastiskt pappskikt exempelvis kornbelagd korksmulepapp KoC 800 under parketten.

Den slutsats man kan dra av detta är att det samband som erhållits mellan I_a - och I_i -värdena gäller oavsett om man har en för dessa objekt typisk golvbeläggning eller ej. Detta gäller för träbjälklag medan man säkert vet att det inte gäller för betongbjälklag. Ett betongbjälklag har ett stegljudsnivåindex som i hög grad påverkas av om man t ex använder en hård eller en mjuk plastmatta. Plastmattans egenskaper har samtidigt ingen större betydelse för luftljudsisoleringen.

De 74 talparen i figuren har slutligen utnyttjats för en linjär regressionsanalys. Genom att använda I_a -värdet som beroende variabel har följande samband erhållits

$$\hat{I}_a = 111,3 - 0,90 I_i \quad [n=74, r=96 \%] \quad (11)$$

Vänder man på det och låter I_i vara den beroende variabeln, erhålles istället sambandet

$$\hat{I}_i = 120,0 - 1,03 I_a \quad [n=74, r=96 \%] \quad (12)$$

Detta är inte riktigt samma samband som i ekvation (11) vilket åskådliggöres i figur 15. Skillnaden som dock är marginell, beror av att man i ena fallet sökt den linje som minimerar summan av de kvadrerade skillnader mellan de observerade värdena och de skattade värdena för I_a medan det i det andra fallet gäller skillnaderna för I_i -värdena.

Båda dessa samband ligger mycket nära det enkla sambandet

$$I_a + I_i = 118,4 \text{ dB} \quad (13)$$

Oavsett hur träbjälklaget ser ut så är alltså summan av luftljudsisolerings- och stegljudsnivåindexvärdena nästan konstant 118 dB. Detta förenklar naturligtvis många frågeställningar. Vill man göra både en luft- och en stegljudsmätning så har man en utmärkt möjlighet att kontrollera att mätningarna är korrekt genomförda och huruvida man har något unikt luftljuds- eller stegljudsproblem. Man kan t ex tänka sig att ett lågt värde på summan hänger ihop med att man har erhållit ett för lågt I_a -värde än vad bjälklaget i sig erbjuder. Detta kan inträffa om ljudet tar sig till mottagarrummet via andra vägar än genom bjälklaget exempelvis via läckor eller någon ventilationskanal. Vidare kan man erhålla ett för högt värde på summan genom att man får ett för högt stegljudsindex. Detta kan inträffa om de bjälklagsvibrationer som alstras av hammarapparaten i sin tur skapar ett sekundärt ljud exempelvis i form av en skallrande takarmatur.

Genom att beräkna summan av indexen så kan man alltså kontrollera huruvida mätresultaten är korrekta och huruvida skiljekonstruktionen beter sig som man kan förvänta sig av ett träbjälklag.

För att illustrera hur summan av I_a - och I_i -värdena varierar så har stapeldiagrammet i figur 16 sammanställts. Figuren visar att de flesta mätfallen är väl samlade kring medelvärdet som är 118,4 dB. Standardavvikelsen har uppskattats till 2,2 dB. För 76 % av fallen ligger summaindexvärdet inom intervallet 118 ± 2 dB. Om man utökar variationsområdet till ± 3 dB så finner man 91 % av mätfallen inom detta intervall. Får man ett summaindexvärde som ligger utanför detta intervall kan man misstänka mätfel eller att det föreligger något unikt luftljuds- eller stegljudsproblem.

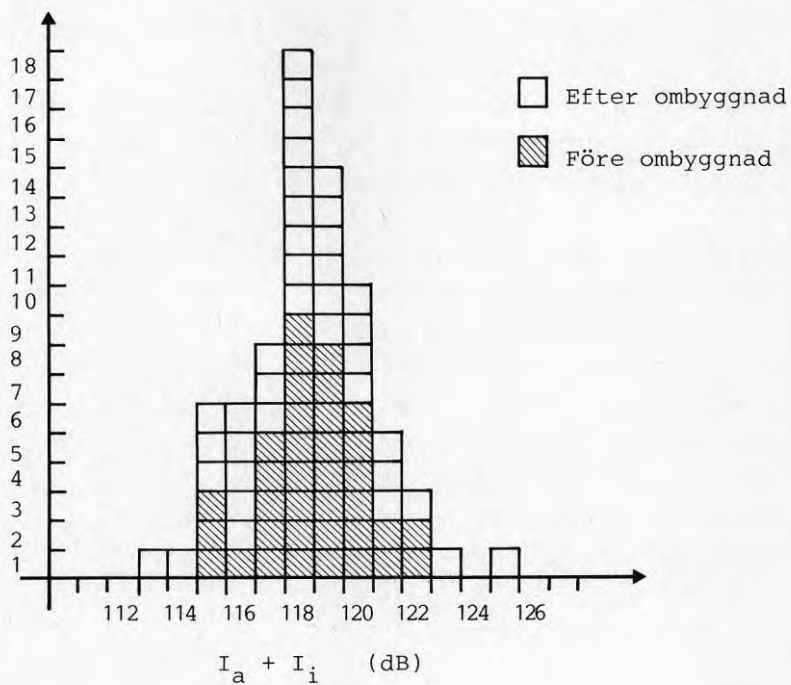
Avslutningsvis anges motsvarande samband beräknade för de nya indexvärdena R'_w och $L'_{n,w}$.

$$\hat{R}'_w = 105,0 - 0,87 L'_{n,w} \quad [n=65, r=96\%] \quad (14)$$

$$\hat{L}'_{n,w} = 116,7 - 1,07 R'_w \quad [n=65, r=96\%] \quad (15)$$

Skillnaden mellan dessa uttryck är marginell och summaindexvärdet ($R'_w + L'_{n,w}$) håller sig inom 113 ± 2 dB i 76 % av mätfallen medan motsvarande uppgift är 97 % för intervallet 113 ± 3 dB. Medelvärdet och standardavvikelsen för $R'_w + L'_{n,w}$ var 113,2 dB respektive 2,1 dB.

Antal mätfall

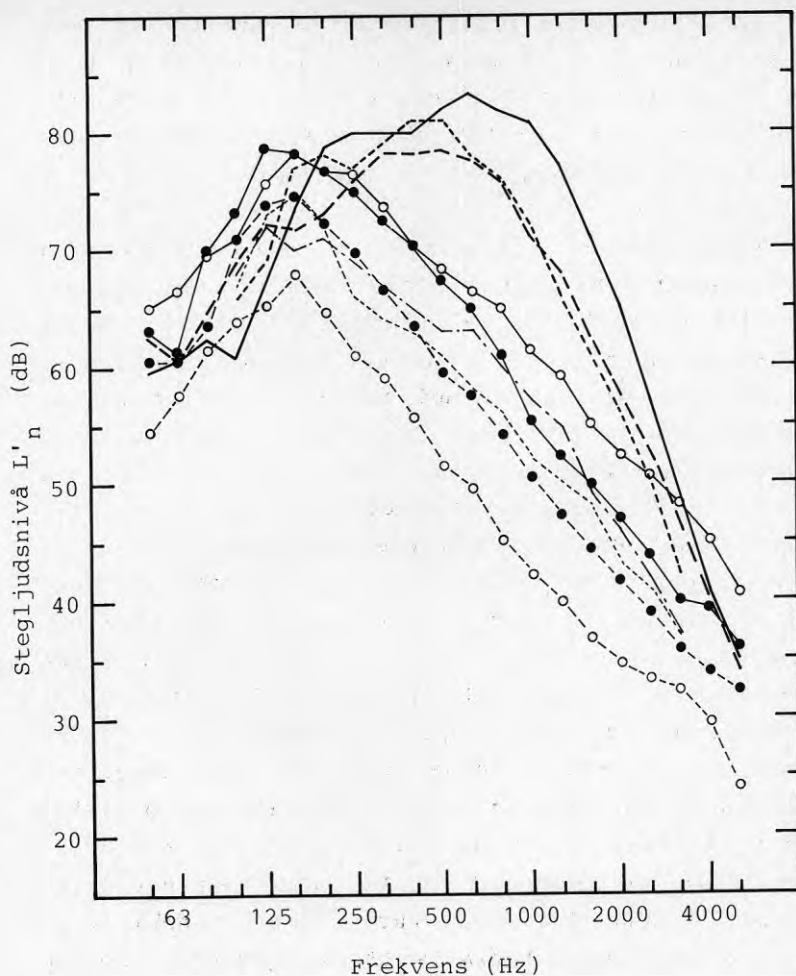


FIGUR 16. Studium av variationsområdet för summa-indexvärdet $I_a + I_i$. Sammanställningen omfattar samtliga de 74 mätfallen som studerats i figur 15.

Hur ser stegljudsnivåfrekvensspektret ut för ett typiskt träbjälklag utan någon mjuk golvbeläggning? Denna fråga är mycket intressant om man vill ta fram en beräkningsmetod i analogi med de idéer som framförs i kapitel 2.3. Är t ex den referenskurva som föreslås av Gösele i referens [11] och som återges i figur 8 representativ för de gamla svenska träbjälklagen?

För att besvara dessa frågor så har de resultat som är tillgängliga, som uppmätts före ombyggnad och som gäller träbjälklag med plankgolv eller parkettgolv sammanställts i figur 17. De gamla parkettgolven är massiva och ligger inte på något stegljudsdämpande material. Beträffande urvalet av resultaten från fältobjekten så har enbart en stegljudskurva per objekt medtagits i figuren. I de fall då det genomförts flera mätningar per objekt och dessa var användbara i detta sammanhang, så har resultaten medelvärdesbildats till en typisk stegljudskurva för varje objekt.

Det första man lägger märke till i figur 17 är att stegljudsegenskaperna varierar inom vida gränser och att stegljudsspektrerna har vitt skilda utseenden. Detta förhållande innebär att man inte kan införa en enstaka och gemensam referenskurva för alla varianter av träbjälklag. Istället återstår att kontrollera huruvida det går att dela in bjälklagen i olika kategorier. Studerar man figuren närmare så tycks detta faktiskt vara möjligt.



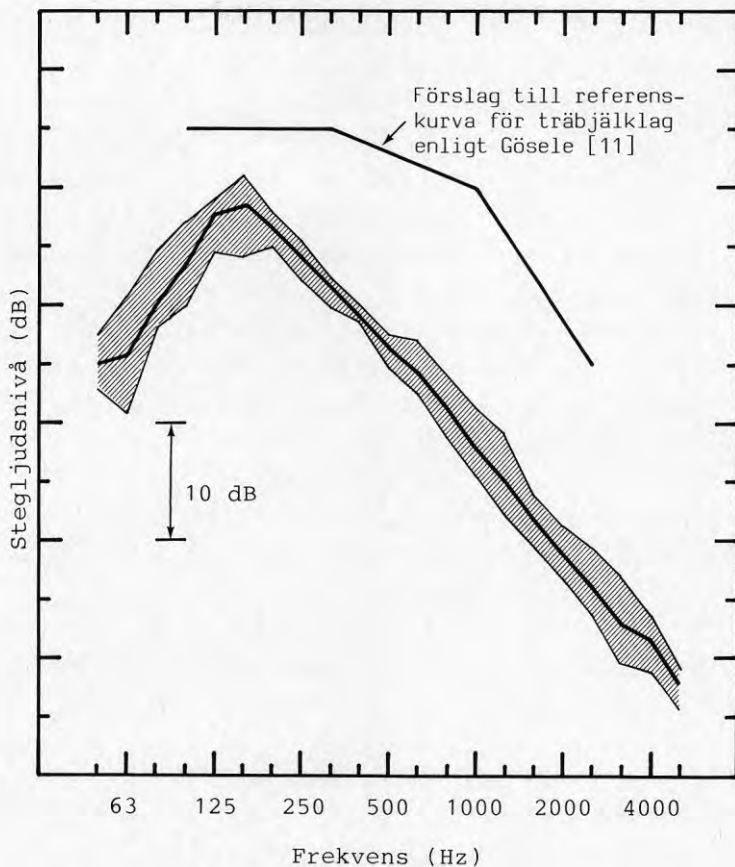
FIGUR 17. Sammanställning av stegljudsnivåspektrerna för ett antal träbjälklagsfall uppmätt före ombyggnad och med bräd- eller parkettgolv. Resultaten härstammar från fältobjekten och från kapitel 2.

Beteckningar	Objekt	Putsat tak	Blindbotten
(——)	Hämplingen	Nej	Ja
(- - - -)	Figur 4, referens [8a]	Nej	Ja
(- · - ·)	Lejonet	Nej	Nej
(○-○-○)	Stenkilen	Ja	Nej
(●-●-●)	Figur 19	Ja	Ja
(- · - ·)	Figur 2, referens [9]	Ja	Ja
(- - - -)	Figur 3, referens [21]	Ja	Ja
(●-●-●)	Staren	Ja	Ja
(○-○-○)	Medea	Ja	Nej

Om man inskränker sig till de bjälklag som har putsade tak, så finner man att dessa har likformiga stegljudskurvor även om kurvorna ligger olika högt i nivåriktningen. Dessa bjälklag har alla spektrer med en markerad topp vid 125 och 160 Hz.

Genom att förskjuta spektrerna i nivåled så att alla stegljudsspektrerna erhöill samma medelnivå för intervallet 100 till 1000 Hz, så erhöills den medelkurva och det variationsområde som redovisas i figur 18. Figuren bekräftar att bjälklagen med putsade tak har mycket likartade stegljudskurvor. Det typiska variationsområdet för de mest kritiska tersbanden 100 till 315 Hz är -3 till +2 dB. Detta motsvarar en standardavvikelse på 1,8 dB. För hela frekvensområdet var standardavvikelsen i snitt 2,1 dB. Det typiska kurvförloppet för denna kategori bjälklag har som redan omtalats en markerad topp vid 125 och 160 Hz. Nivån sjunker sedan i stort sett linjärt med ökande frekvens. Lutningen är -2,7 dB per 1/3 oktav eller -8,2 dB per oktav. Jämför man denna kurva med den referenskurva som föreslagits av Gösele för moderna bjälklag och som tillämpats i kapitel 2, så ser man att överensstämmelsen är ganska dålig. Den höga toppen vid 125 och 160 Hz saknas i Göseles kurva. Detta innebär troligen att man måste förkasta Göseles förslag för de här aktuella tillämpningarna.

När det gäller bjälklag utan putsade tak så är materialet lite väl knapphändigt. I figur 17 förekommer enbart tre sådana bjälklag och spridningen är dessutom ganska stor. Av denna anledning och för att närmare analysera vilka konstruktionsegenskaper det är som bestämmer ljudisoleringen, så har en serie laboratoriemätningar genomförts. Denna del av projektet redovisas i kapitel 6.



FIGUR 18. Typiskt stegljudsnivåspektrum för träbjälklag med putsat tak (10-30 mm puts på reverteringsmatta av vass och 1" glespanel). Variationsområdet för de 6 ingående och normaliserade nivåkurvorna motsvaras av det rasterade området. I figuren redovisas även den referenskurva som föreslagits och som diskuteras i kapitel 2.3.

Förbättringsvärdena av de olika ombyggnadsåtgärderna har sammanställts för samtliga mätfall i tabell 9. Genom att studera tabellen som även innehåller en beskrivning av vilka åtgärder som genomförts kan man dra följande slutsatser:

- Ett nedhängt undertak av 13 mm gips på stålreglar, pendlat med stålband till det gamla taket och utan mineralull i luftmellanrummet ger normalt en stor förbättring av ljudisoleringen. Förbättringen är normalt större än 10 dB om luftspalten är minst 100 mm. Störst effekt erhålles i trähus som från början har en mycket dålig ljudisolering.
- Ett mineralullsskikt mellan undertaket och det gamla taket tycks inte innebära någon garanterad vinst.
- Om man inte tillför ett nedhängt undertak eller någon annan verksam förbättring, så riskerar man oförändrade eller till och med försämrade ljudisoleringsvärden.
- Eftersom man hela tiden företagit olika kombinationer av åtgärder speciellt när det gäller golven i olika rum, är det svårt att uppskatta några generella förbättringsvärden för de vanligaste golvåtgärderna. Klart är emellertid att ljudisoleringen förbättras betydligt mindre av golvåtgärderna än av de aktuella undertaken.

TABELL 9. Uppmätta förbättringsvärden för ombyggnadsobjekten

OBJEKT	GOLV	UNDERTAK	FÖRBÄTTRINGSVÄRDEN (dB)			
			Luftljud ΔI_a	$\Delta R'_w$	Stegljud ΔI_i	$\Delta L'_{n,w}$
LEJONET Nr 1	-1	PM+16SS+KoC 800	13G + SR + SB	17	21	21
	-2	Bibehållien ekparkett	2x13 G + SR + SB	16	17	17
	-3	14EP+KoC 800	13G + SR + SB + 50 MU (50%) ²⁾	16	21	21
	-4	PM+16SS+KoC 800	13G + SR (fribärande)	17	17	22
STENKILEN Nr 2	-1	Bibehållien ekparkett	-	-5	0	1
	-2	LL+10SS+KoC 800-GG ³⁾	-	-1	0	1
	-3	LL+10SS+KoC 800	-	0	1	4
VALE Nr 3	-1	EP+KoC 800+16SS+L400-GG	13G+SR+SB	10	13	6
	-2	EP+KoC 800+16SS+L400-GG	13G+SR+SB	9	9	7
STAREN Nr 4	-1	LL+22SS+L-GG	13G+SR+SB+45MU	14	12	13
	-2	Bibehållien ekparkett	13G+SR+SB	14	10	13
	-3	22EP+L	13G+SR+SB	10	10	12
	-4	PM+22SS+L	13G+SR+SB	11	15	10
MEDEA Nr 5	-1	14EP+MP+10SS	-	4	4	3
	-2	LL+3,2M	13G+SR+SB ⁴⁾	7	10	8
	-3	Bibehållien ekparkett	13G+SR+SB	5	5	9
	-4	LL+träspackel	13G+SR+SB	14	12	11
HÄMPLINGEN Nr 6	-1	LL+10SS	13G+SR+SB+50MU (50%) ²⁾	18	18	21
	-2	LL+10SS-GG	13G+SR+SB+50MU (50%)	18	18	21
	-3	Slipet brädgolv (-GG)	13G+SR+SB+50MU (50%)	15	15	18

BETECKNINGAR: EP - Ekparkett
 G - Gipsplank
 GG - Gamla golvbeläggningen
 KoC 800 - Kornbelagd cellulosa-papp
 L - Lumpapp
 LL - Lino/leumgolv
 M - Masonit

MU - Mineralull
 PM - Plastmatta
 SB - Stålbandspendlar
 SR - Stålrregelverk
 SS - Golvspånskiva
 WP - Wellpapp

NOTER: 1) Uppskattning
 2) Endast 50% av takarean försedd med mineralull
 3) Den gamla golvbeläggningen fanns vid första mättilfället men togs bort vid ombyggnaden
 4) Öppet in till rum som saknade undertak

Anm. Siffervärde före bokstavssymbol gäller materialets tjocklek uttryckt i mm.

5.2.4 Buller från VVS-installationerna

Genomgående för samtliga ombyggnadsobjekt var att man ersatte de gamla VVS-ledningarna och armaturerna med nya installationer. Det normala var att man byggde nya schakt av 2x13 mm gips på stålreglar och att bjälklagshåltagningarna för ledningsschakten gjöts igen med egentillverkad lättklinkerbetong när de nya ledningarna hade monterats. I samtliga fall användes avloppsrör av gjutjärn. Normalt användes ingen mineralull inuti schakten för att minska bulleralstringen. I fall med köksventilationsrör förekommer det dock mineralull eftersom man i vissa fall använder rörskålar eller nätmatta runt rören längs en sträcka närmast bjälklagsgenomföringen med hänsyn till risken för brandspridning.

Stickprovsmätningar av bulleralstringen från VVS-installationerna har genomförts i objekt nr 1, 2, 3, 4 och 6. Samtliga mätningar företogs i sov- eller vardagsrum vid i- eller avtappning av grannens WC, badkar eller dusch. Ingen mätning gav högre nivåer än som föreskrivs för nybyggnader och bostäder enligt SBN 80:

Vatten och avloppsinstallationer skall anordnas så, att vid itappning och avtappning av vatten utom lägenheten ljudnivån inte överstiger 35 dBA i sovrum och vardagsrum och 40 dBA i kök.

Normalt erhöjls de högsta nivåerna vid spolning av grannens WC-stol. En typisk A-vägd och normaliserad ljudtrycksnivå för denna situation var

$$L_{Amax} = 27 - 32 \text{ dBA}$$

Mätningarna genomfördes enligt svensk standard SS 02 52 63, referens [30], som är en översättning av en Nordtest-metod (referens [31]).

5.3 Ett extra ombyggnadsobjekt

Under projektets gång fick provningsanstalten möjligheten att delta vid ett experiment som gick ut på att undersöka huruvida det gick att förbättra ljudisoleringen hos ett gammalt träbjälklag genom insprutning av lösull mellan den befintliga blindbotten och takpanelen. Initiativet kom från lösullstillverkaren medan provningsanstaltens besök föranleddes av en vaksam byggnadsinspektör som inte var helt övertygad om huruvida isoleringsförbättringen skulle bli tillräcklig.

Experimentet genomfördes i ett stenhus byggt omkring 1935. Först uppmättes ljudisoleringen hos bjälklaget före någon åtgärd. Sedan vidtog arbetet med att spruta in lösullen. Tillvägagångssättet beskrivs i bild 3. Åtgärden genomfördes enbart i ett rum och totalt användes 150 kg lösull vilket motsvarar en ytvikt på $14,4 \text{ kg/m}^2$. Insprutningshålen tätades med korkar som i sin tur täcktes med tejp varvid ljudisoleringmätningarna upprepades. Efter dessa mätningar uppmättes ljudisoleringen mellan två intilliggande rum för att på så sätt få ytterligare mätdata på det ursprungliga bjälklaget. Samtliga mätningar gjordes under ombyggnadsskedet och under en och samma dag.



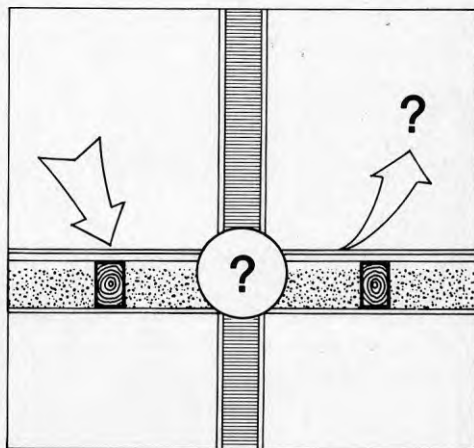
BILD 3. Insprutning av lösull mellan blindbotten och takpanelen.

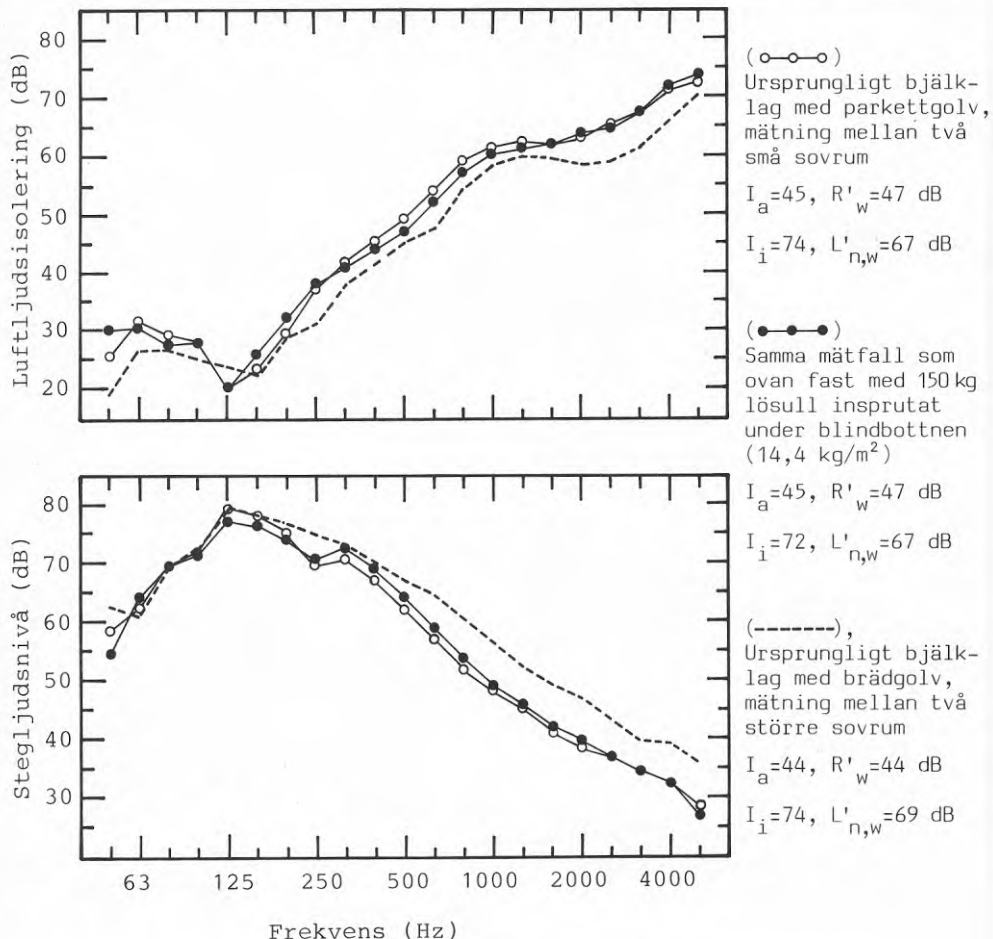
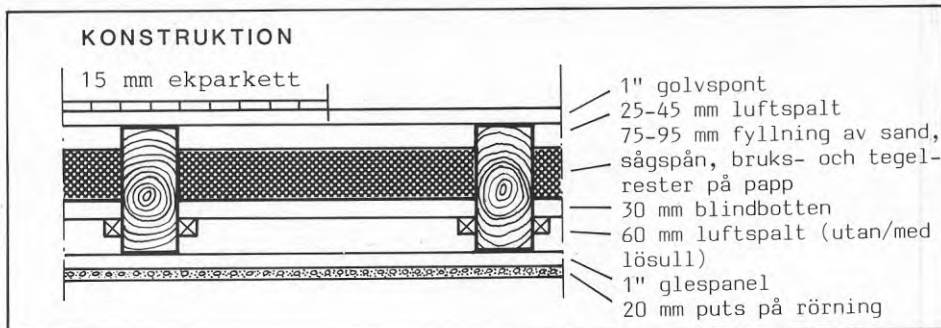
Bjälklagets uppbyggnad och samtliga mätresultat redovisas i figur 19. Resultaten avslöjar att förbättringseffekterna är mycket måttliga. Visserligen förbättras stegljudsisoleringen med ca 2 dB i det mest kritiska frekvensområdet vid 125 Hz vilket avspeglar sig i att I_i -värdet sjunker med 2 dB. Luftljudsindexvärdet förbättras dock ej och man kan dessutom se att både luft- och stegljudsisoleringen blivit något sämre i frekvensområdet från 315 Hz till 1250 Hz. Detta hänger möjligen samman med att man var tvungen att göra ganska många hål i det putsade taket. Experimentet visar samtidigt att både luft- och stegljudsvibrationerna överförs till det putsade taket via träbjälkarna och att övriga transmissionsvägar kan försummas.

I figuren kan man vidare se att parkettgolvet ger bjälklaget bättre ljudisoleringsegenskaper över 200 Hz. Detta påverkar dock ej nämnvärt ljudisoleringsindexen.

5.4 Lägenhetsskiljande väggar

Ett litet antal väggmätningar har genomförts i projektet för att penetrera och belysa problemen med horisontell ljudöverföring via träbjälklaget. Frågeställningen har redan inledningsvis diskuterats i avsnitt 2.3.6.





FIGUR 19. Ljudisoleringsvärden uppmätta i ett ombyggnadsobjekt före respektive efter att man sprutat i lösull i luftspalten under blindbotten. Bjälklaget är uppbyggt enligt ovan och med 4"x9" bjälkar c/c 600 mm. Ett prov på den befintliga bjälklagsfyllningen hade densiteten 1240 kg/m^3 . Bjälklagets vikt uppskattas till 187 kg/m^2 utan ekparkett och till 197 kg/m^2 med ekparkettgolvet. Dessa siffror gäller utan lösullsfyllningen.

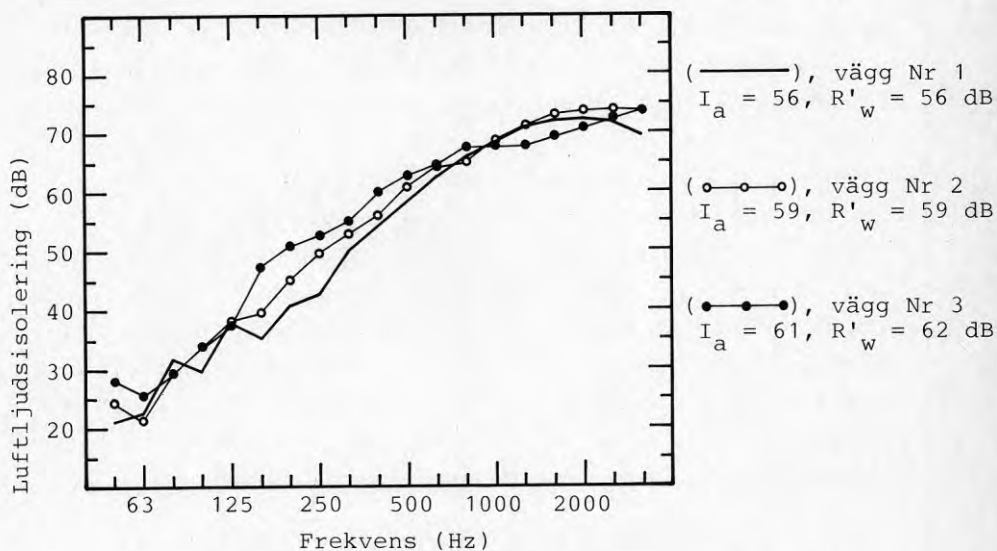
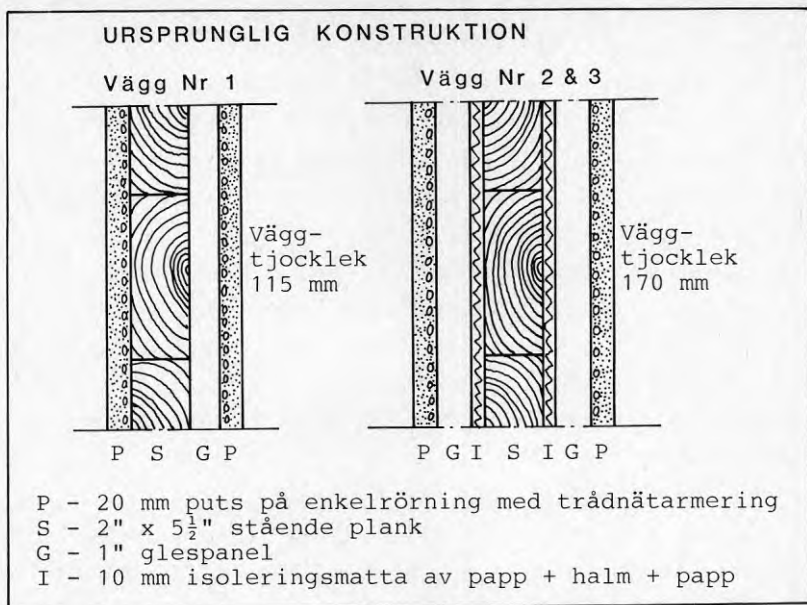
5.4.1 Tilläggsisolerade plankväggar

Tre plankväggar har studerats i ombyggnadsobjektet Staren nr 4. Väggarna betecknas som vägg nr 1, nr 2 och nr 3. De tre väggarna var putsade på båda sidorna och vägg nr 2 och nr 3 var lägenhetsskiljande redan före ombyggnaden. Väggarnas uppbyggnad framgår av figur 20 som även visar mätresultaten efter ombyggnaden.

Vid ombyggnaden försågs väggarna med en enkelsidig tilläggsisolering i form av 2x13 mm gips som skruvades mot ett regelverk av 45x45 mm träreglar. I mellanrummet placerades en 45 mm tjock mineralullsmatta med låg densitet. Under de träreglar som monterades mot golvet, taket eller någon anslutande vägg placerades en tunn mineralullsremsa som en fogtätning. Hela regelverket monterades fristående, dvs med en liten luftspalt på ca 5 mm till den ursprungliga väggen.

Beträffande vägg nr 2 och nr 3 var det emellertid nödvändigt att rikta upp regelverket för att väggen skulle bli plan. Uppriktningen utfördes genom att man spikade de stående reglarna mot den gamla väggen efter att man placerat passbitar mellan reglarna och väggen. Samtliga fristående reglar riktades på detta sätt och förbanden placerades på halva höjden av regeln. Ett fotografi på en sådan detalj återges i bild 4.

Denna åtgärd kan naturligtvis inte vara positiv ur ljudisolerings synpunkt och man skulle kunna kalla förbanden för ljudbryggor. Uppriktning bör kunna undvikas om man istället för träreglarna använder sig av plåtreglar.



FIGUR 20. Uppmätta luftljudsisoleringsresultat för tre lägenhetsskiljande plankväggar i ombyggnadsobjektet Staren Nr 4. Mätningarna avser ljudisoleringen efter ombyggnaden, dvs efter tilläggsisolering av de ursprungliga väggarna vars konstruktion beskrives ovan. Tilläggsisoleringen beskrives i texten.

I de tre väggarna tog man dessutom upp hål för nya värmeledningsrör. Hålen placerades högt upp så att ledningarna kunde byggas in ovanför undertaken. En typisk håltagning illustreras i bild 5. Hålen tätades avslutningsvis med puts på den sida av väggen där det inte fanns någon tilläggsisolering. Putslagningen gjordes dock bara upp till undertaksregeln, se bild 6. Denna tätning kompletterades sedan genom att man drevade med mineralullsremsor från den andra sidan.

Hålens storlek var från början ca 130x250 mm. I vägg nr 1 och nr 2 fanns ett hål vardera medan det fanns två hål i vägg nr 3.

Beträffande anslutningen mellan vägg och bjälklag så är konstruktionsutförandet här tyvärr okänt. Bjälklaget öppnades inte så att dessa detaljer kunde studeras. Klart är dock att det förekommer stålbalkar i bjälklaget på vilka träbjälkarna är upplagrade. Stålbalkarna är bredflänsiga I-balkar och ligger parallellt med de aktuella skiljeväggarna medan således träbjälkarna ligger vinkelrätt mot dessa. Det är mycket möjligt att stålbalkarna ligger mitt under de lägenhetsskiljande väggarna. Det är vidare helt klart att golvskivan som bildas av golvplankorna ej går obruten förbi väggen och att väggen står direkt på träbjälkarna eller en I-balk. Dessutom skall man beakta att flanktransmissionsmöjligheten via bjälklaget motverkas av de nya golven som i de flesta rummen består av 22 mm golvspånskiva på lumpapp.

Mätresultaten som återges i figur 20 visar att ljudisoleringen är förträfflig för samtliga de tre väggarna efter ombyggnaden. Byggnormens nybyggnadskrav som föreskriver att I_a -värdet bör vara minst 52 dB uppfylles med god marginal.

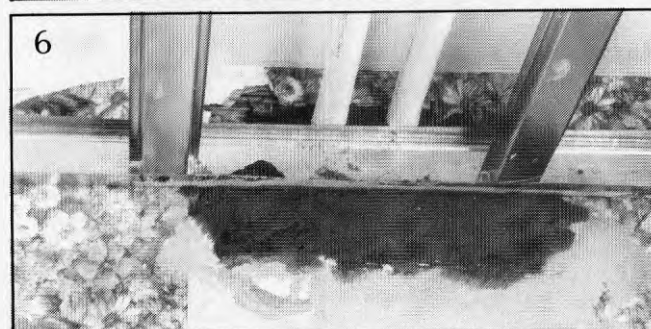
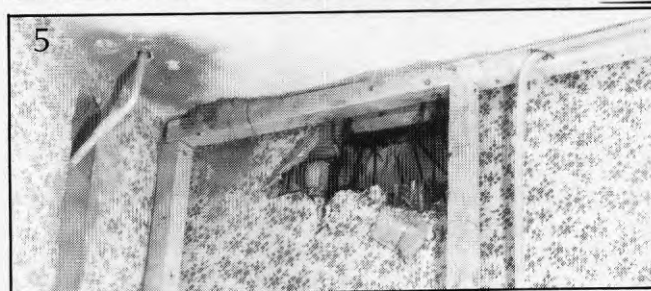
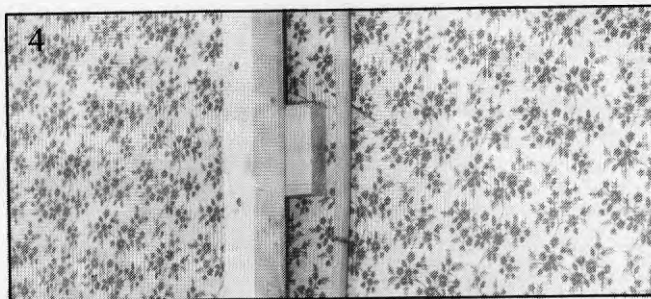


BILD 4. Uppriktning av fristående väggregel.

BILD 5. Håltagning i lägenhetsskiljande vägg.

BILD 6. Detalj av håltagning efter putsning.

Förutom luftljudsisoleringen så studerades även stegljudsisoleringen mellan rummen på ömse sidor om väggarna. Även dessa mätningar gav utmärkta resultat. De respektive I_i -värdena blev i tur och ordning 54, 51 och 45 dB.

Uppenbarligen kan man tillåta sig de aktuella åtgärderna i form av uppriktningförbanden och håltagningarna utan att man riskerar en för dålig ljudisolering. Man kan dock naturligtvis inte allmänt rekommendera att man inför sådana spikförband som visas i bild 4. Man bör istället undvika problemet genom att använda stålreglar när man behöver en fristående tilläggsisolering och samtidigt vill inkräkta så lite som möjligt på lägenhetsarean. Vidare kan man konstatera att det för en väggsituation som denna, är tillräckligt med tilläggsisoleringen av väggen och att man inte behöver göra några åtgärder på bjälklaget under väggen i stil med vad som anges i figur 10.

5.4.2 Helt ny lägenhetsskiljande vägg

I ombyggnadsobjektet Medea nr 5 förekommer ett mindre antal helt nya lägenhetsskiljande väggar som har byggts upp direkt ovanpå det gamla parkettgolvet. En av dessa har kontrollerats med ljudisoleringsmätningar.

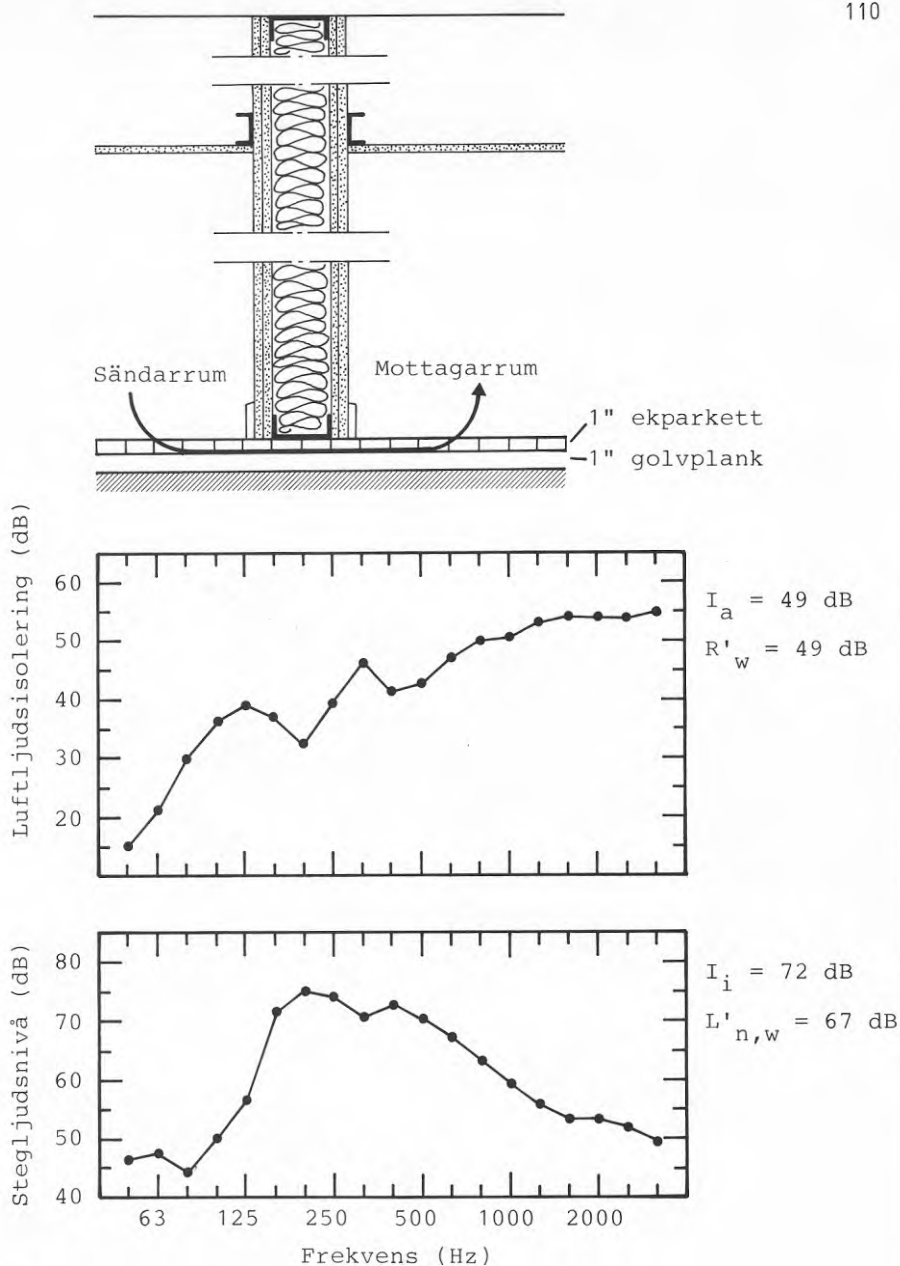
Väggarna konstruerades av gipsskivor monterade två och två på skild stålregelstomme och med mineralullsfyllning. Enligt Gyproc's handbok referens [32], betecknas väggkonstruktionen D 95/45 202 M95. Detta är normal standard för lägenhetsskiljande väggar och luftljudsisoleringen bör vara minst 52 dB i normala fälttillämpningar. Vid laboratorieprovningar kan man förvänta sig så pass höga värden som 58-60 dB. Dessa uppgifter har hämtats från referens [32], kapitel 2:32.

Mätresultaten som återges i figur 21 visar dock på en annan verklighet. Eftersom väggen placerats direkt på det genomgående parkettgolvet så överförs mycket ljud mellan rummen via golvs-kivan. Framförallt stegljuds-isoleringen är dålig.

Om man jämför mätresultaten med byggnormskraven så ser man först och främst att nybyggnadskraven inte uppfylls. Däremot uppfylls det strängaste luftljudskravet som gäller vid ombyggnad av bostadshus. Byggnormen föreskriver här att I_a -värdet bör vara minst 49 dB för minst hälften av lägenhetens sov- och vardagsrum. Motsvarande stegljudskrav som dock inte innehålles är: $I_1 \leq 68$ dB. Däremot uppfyller stegljudsisoleringen nästa kravnivå som anger att stegljudsindexvärdet skall vara högst 73 dB för de resterande bostadsrummen.

Även om den aktuella väggkonstruktionen inte är helt lyckad så finns det således utrymme för den, bara man ser till att väggtypen inte användes för flitigt. Högst hälften av lägenhetens bostadsrum bör ha en lägenhetsskiljande vägg av denna typ för att man skall tillfredställa föreskrifterna i byggnormen. I det aktuella ombyggnadsobjektet var detta inget problem eftersom väggkonstruktionen bara förekom på ett fåtal ställen och övriga lägenhetsskiljande väggar mestadels bestod av tunga stenmurar.

Säkerligen erhåller man en väsentligt bättre ljudisolering och tar bättre vara på gipsväggens egenskaper om man först sågar upp parkettgolvet och golvplankorna och placerar skiljeväggen direkt på golvbjälkarna. För att detta skall kunna genomföras utan alltför stora problem måste golvbjälkarna gå vinkelrätt mot väggen. Detta var fallet ovan. I annat fall återstår att placera väggen mitt över en golvbjälke eller att på ett lämpligt sätt bygga upp ett bärande underlag för väggen. Samtidigt bör man naturligtvis se till att det är tätt under väggen i enlighet med det tätningssalternativ som utpekas i figur 10.



FIGUR 21. Mätresultat för en ny lägenhetsskiljande vägg placerad direkt på ett gammalt parkettgolv.

6. LABORORIETESTER PÅ GAMLA BJÄLKLAGSKONSTRUKTIONER

6.1 Målsättning och utförande

Projektet avslutades med ett antal laborietester som utfördes i provningsanstaltens stegljudslaboratorium. Ett antal bjälklag byggdes upp efter de konstruktionsprinciper som förekommer i gamla hus och dessa provades sedan med avseende på ljudisoleringsfunktionen.

Stegljudslaboratoriet består av två isolerade ljudhårda rum varav det ena ligger ovanpå det andra. Mellan rummen finns en 3 m x 4 m stor öppning vari man kan montera olika bjälklagskonstruktioner för ljudisoleringsmätningar. Laboratoriet beskrivs närmare i referens [33].

Målsättningen med detta arbete var

- att skapa en inblick i vilka konstruktionsparametrar det är som bestämmer ljudisoleringen hos de gamla bjälklagen
- att kontrollera möjligheten att förutsäga ljudisoleringen hos de gamla konstruktionerna med hänsyn till bjälklagens uppbyggnad
- att komplettera de begränsade fälterfarenheterna med flera mätresultat för bestämning av lämpliga referensstegljudsnivåspektra (jämför avsnitt 5.2.2)
- att bygga upp en laborieresurs för test av olika förbättringsalternativ avsedda för gamla träbjälklag.

Samtliga mätningar vars resultat redovisas nedan har genomförts enligt svensk standard, referens [29]. Utvärderingen av isoleringsindex har skett med avseende på de ljudisoleringstal som beskrivs i avsnitt 2.2.1. Samma instrumentering användes som vid fältmätningarna. Till skillnad från luftljudsmätningarna i fält så var högtalaren i sändarrummet ej placerad i ett av bjälklagshörnen utan i ett av takhörnen i det övre laboratorierummet. Vid stegljudsmätningarna användes 15 fasta hammarapparaturpositioner. Dessa positioner var desamma under hela mätserien.

6.2 Trähusträbjälklag/bjälklag utan takputs

6.2.1 Grundstommen

Samtliga bjälklagsalternativ som laboratorietestats har byggts upp med en och samma grundstomme, dvs av 67 mm x 220 mm träbjälkar och med ett centrumavstånd på 600 mm. I tum motsvarar detta ungefärligen 3" x 9", vilket är en vanlig dimension i de hus som byggdes i början på 1900-talet (jfr avsnitt 2.1.1 och 2.1.2).

Valet av bjälkar är säkerligen viktigt för ljudisoleringen eftersom det mesta ljudet överförs via bjälkarna. Det har emellertid inte varit möjligt att göra prov med olika bjälkdimensioner eftersom detta skulle ha krävt resurser som inte fanns tillgängliga inom projektet. Detsamma gäller också till viss del beträffande valet av tak- och golvpanel. Som golv- och takpanel användes huvudsakligen 22 mm spontade brädor som skruvades mot bjälkarna. En 1" tjock spontpanel är ett mycket vanligt förekommande alternativ. Endast en variant med en annorlunda takpanel testades i serien med olika trähusträbjälklag. I detta fall byttes takplankorna mot en 12 mm tjock spånskiva. Detta experiment gjordes som ett led i kontrollen av vilka faktorer det är som bestämmer ljudisoleringen.

I avsnitt 6.3 nedan redovisas resultaten för ett bjälklag där takpanelen istället består av 1" glespanel med rörning och puts.

För att skapa en utgångspunkt och för att lättare förstå hur bjälklagen fungerar gjordes först några mätningar utan någon fyllning alternativt med mineralull mellan bjälkarna. Dessa bjälklagsvarianter och de erhållna resultaten redovisas i tabell 10 och figur 22. Följande beteckningar användes fortsättningsvis för de olika bjälklagskonstruktionerna:

T - trähusträbjälklag med takpanel av spontade brädor

S - stenusträbjälklag med takpanel av glespanel med rörning och puts

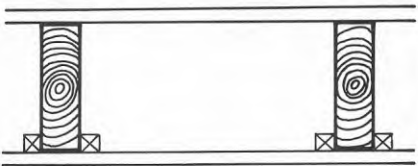
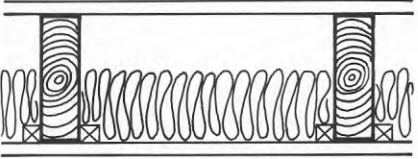
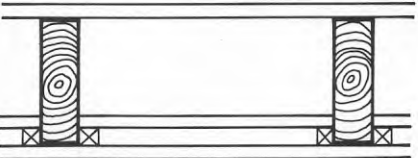
U - utan blindbotten

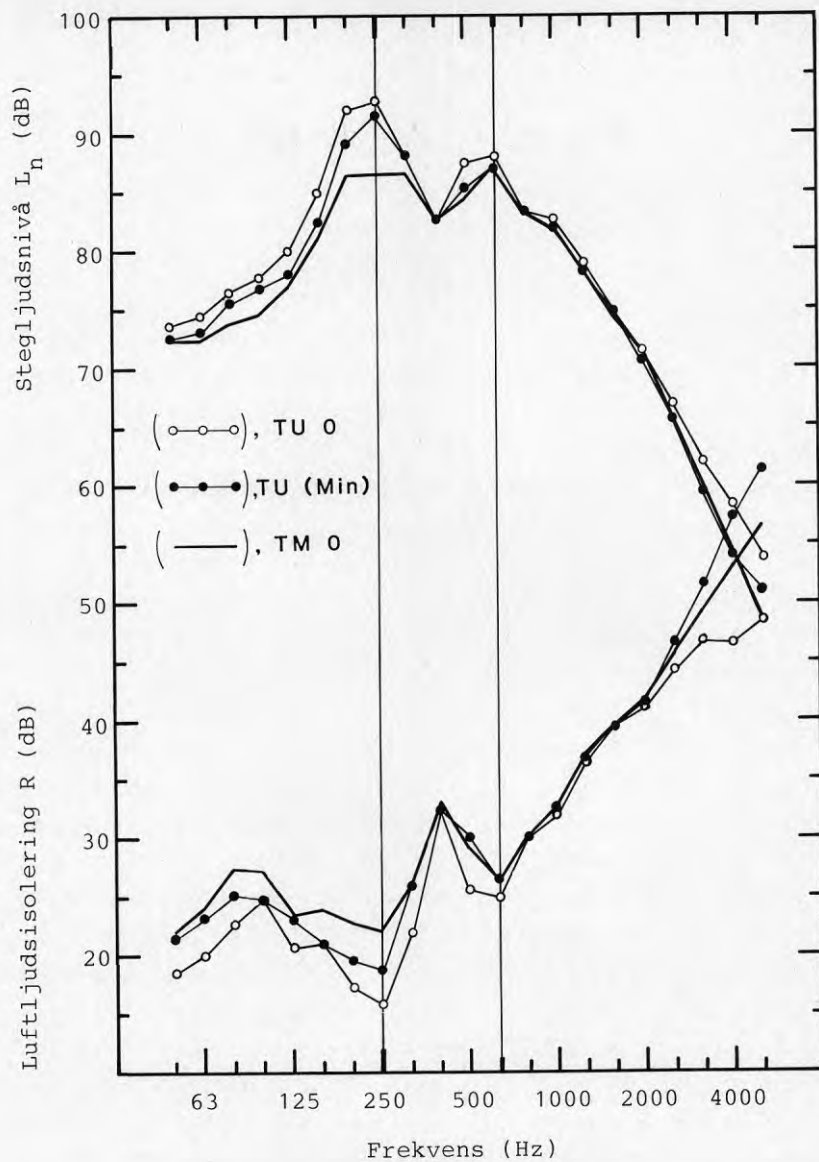
M - med blindbotten

Beteckningen TM står således för ett trähusträbjälklag med blindbotten.

Resultaten i figur 22 avslöjar flera intressanta förhållanden. Liksom tidigare så ser man att luftljuds- och stegljudsegenskaperna följs åt. Kurvorna för de tre varianterna följer också varandra och för flera frekvensband är skillnaderna mycket små. Detta gäller speciellt från 630 till 2500 Hz. Studerar man sedan kurvförloppen så ser man att ljudisoleringen försämras drastiskt vid 250 och 630 Hz. Kurvorna har markerade dalar eller pucklar vid dessa frekvensband och det är också dessa frekvensband och de bakomliggande fenomenen som bestämmer ljudisoleringsindexen. Mineralullen och blindbotten förbättrar ljudisoleringen under 315 Hz.

TABELL 10. Tombjälklagens uppbyggnad och ljudisoleringsindex

BJÄKLAGSKONSTRUKTION	VIKT kg/m ²	ISOLERINGSINDEX			
		I _a	R _w	I _i	L _{n,w}
<p>TU 0</p>  <p>67 x 220 mm bjälkar c/c-600 mm, 22 mm spontade plank som golv och tak.</p>	33	30	30	89	84
<p>TU (Min)</p>  <p>Som ovan men med 120 mm mineralull (densitet 20 kg/m³)</p>	35	33	33	88	83
<p>TM 0</p>  <p>Samma som TU 0 men med lös blindbotten av 22 mm spontade plank.</p>	41	33	33	87	82



FIGUR 22. Uppmätta ljudisoleringsvärden för bjälklagskonstruktionerna i tabell 10.

Hur stämmer detta med vad man kan förvänta sig med stöd av tidigare erfarenheter och kända teorier? Eftersom teoribildningen har kommit längst när det gäller luftljudsisoleringen så inskränker vi oss här till att diskutera luftljudsresultaten. De teorier och erfarenheter som finns tillgängliga i litteraturen har tidigare sammanställts av provningsanstalten i referens [4].

Med hjälp av materialdata för furu och gran enligt tabell 1 och med hjälp av ekvation (10) i denna BFR-rapport förefaller ljudisoleringsförsämringen vid 630 Hz kunna förklaras med att det uppstår sk koincidens i detta frekvensområde. Koincidens inträffar när böjvåglängden i skiljekonstruktionen blir densamma som ljudets våglängd i luften. När våglängderna överensstämmer blir samarbetet mellan skiljekonstruktionen och luften effektivt och följderna blir en försämrade ljudisolering.

I detta fall har takpanelen som består av 22 mm tjocka spontade granplankor en E-modul parallellt med fiberriktningen som är ca $11 \cdot 10^9$ N/m², vilket ger koincidensfrekvensen $f_c = 600$ Hz. Vinkelrätt mot fiberriktningen har gran en mycket lägre E-modul samtidigt som de längsgående spontskarvarna sänker takpanelens E-modul ytterligare. De fria böjvågor som utbreder sig vinkelrätt mot plankriktningen har således inom hela det studerade frekvensområdet en våglängd som är väsentligt mindre än motsvarande våglängd i luft. Detta gäller så länge vi bara beaktar själva takpanelen och inte inkluderar de bärande bjälkarna i styvhetsberäkningarna. Det observerade koincidensfenomenet torde således kunna hänföras till böjvågor som utbreder sig i plankornas längdriktning. Koincidensdalens djup beror av konstruktionens förlustfaktor. Ju lägre förlustfaktor ju mer markerad blir ljudisoleringsförsämringen vid koincidensfrekvensen.

I frekvensområdet under koincidensfrekvensen kan man under vissa förutsättningar tillämpa den sk masslagen. Masslagen innebär att den största delen av energin transmitterar via de påtvingade vibrationerna. Varken någon styvhetsterm eller någon dämpningsfaktor förekommer i masslagsuttrycket (se ekvation (33) och (34) i referens [4]).

$$R_m = 20 \lg \left[\frac{\pi m f}{\rho c} (1 - f^2/f_c^2) \right] - 10 \lg [\ln (2\pi f \sqrt{A}/c)],$$

$$A > 5 \text{ m}^2 \quad (16)$$

där R_m är reduktionstalet enligt masslagen (dB), m är konstruktionens vikt per areaenhet (kg/m^2), f är frekvensen (Hz), f_c är koincidensfrekvensen (Hz), ρ är luftens densitet = $1,29 \text{ kg}/\text{m}^3$, c är ljudhastigheten i luft = $343 \text{ m}/\text{s}$ och A är konstruktionens area (m^2).

Ekvation (16) förutsätter att det gäller en enkelkonstruktion, att relationen mellan konstruktionens längd och bredd är mindre än 4, att dess area är större än 5 m^2 samt att ytvikten m är större än $10 \text{ kg}/\text{m}^2$. I detta fall gäller det emellertid inte en renodlad enkelkonstruktion utan här gäller det snarare en dubbelkonstruktion där golv- och takpanelen bildar de bågiga skalorna och golvbjälkarna utgör en linjeförbindelse mellan dessa. Luftljudsisoleringen för sådana konstruktioner diskuteras i avsnitt 2.6 i referens [4]. Följande samband kan tillämpas

$$R = R_m + \Delta R_m \quad \begin{array}{l} f \leq 0,5 f_c \\ f > f_B \end{array} \quad (17)$$

R_m bestäms av masslagen (ekvation (16)) med m som konstruktionens totala ytvikt. ΔR_m är ett mått på den förbättring man erhåller på en dubbelväggs-karakteren. För linjeförbindelser och lika skal gäller enligt referens [4] att

$$\Delta R_m = 10 \lg f_c + 10 \lg b - 23,4 \quad (18)$$

där b är centrumavståndet mellan linjeförbindelserna. Här är b således avståndet mellan golvbjälkarna. Uttrycket förutsätter att vibrationerna enbart överförs via linjeförbindelserna, dvs att mellanrummet mellan skalerna är försett med en effektiv ljudabsorbent och dessutom förutsättes att de mekaniska förbindningarna är masslösa och helt styva. Ekvation (17) gäller dessutom för frekvenser över den sk brytfrekvensen f_B som beror av ΔR_m och dubbelkonstruktionens grundresonansfrekvens f_o . Grundresonansen ges av uttrycket

$$f_o \approx 90/(m'd)^{1/2} \quad (19)$$

där d är luftavståndet mellan skivorna (m), $m' = 2 m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ och m_1 respektive m_2 är de bägge skalens ytvikter (kg/m^2). Under grundresonansfrekvensen fungerar dubbelkonstruktionen som en enkelkonstruktion, vilket innebär att man kan tillämpa masslagen. Om kaviteten är fylld med mineralull eller liknande dämpas grundresonansfenomenet och masslagen kan tillämpas ända upp till

$$f'_o = 116/(m'd)^{1/2} \quad (20)$$

Över denna frekvens börjar dubbelkonstruktionen att göra verkan och ljudisoleringen stiger snabbt med ca 18 dB/oktav från f'_o till f_B som bestäms av skärningspunkten med ekvation (17). För en mer ingående diskussion av detta övergångsområde hänvisas till referens [4].

Detta är teorier som normalt stämmer mycket väl med erhållna mätvärden under förutsättning att man känner de olika materialegenskaperna. Den bjälklagsvariant som bäst stämmer med teoriförutsättningarna är TU (Min) dvs varianten utan blindbotten men med mineralullsfillning. För denna konstruktion gäller att

$$\begin{aligned} m_1 &= 10 \text{ kg/m}^2, & m_2 &= 10 \text{ kg/m}^2, & d &= 0,22 \text{ m} \\ f_0 &= 61 \text{ Hz}, & f'_0 &= 78 \text{ Hz}, & f_B &= 90 \text{ Hz} \\ f_c &= 600 \text{ Hz}, & b &= 0,6 \text{ m}, & \Delta R_m &= 2,4 \text{ dB} \\ m &= 33 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

vilket med hjälp av ekvation (16) och (17) ger den teoretiskt förväntade reduktionstalskurvan som presenteras i figur 23. I denna figur visas också de uppmätta ljudisoleringsvärdena för TU (Min).

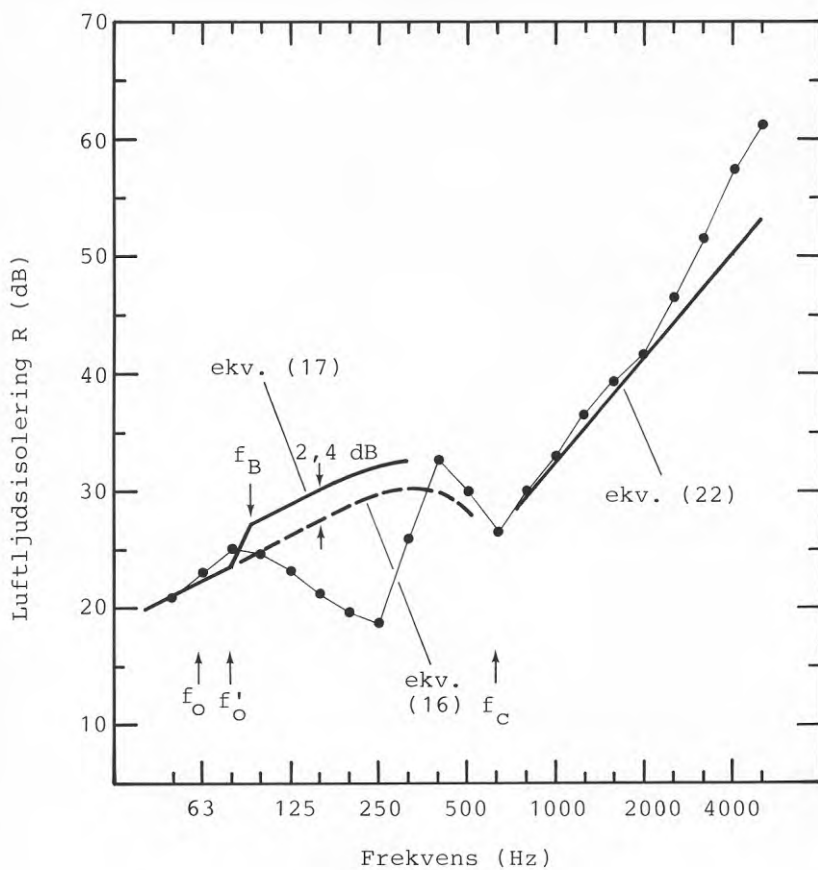
Ovanför koincidensområdet är teoribildningen inte lika utvecklad men om vi tillämpar det samband som gäller för enkelkonstruktioner ovan koincidens

$$\begin{aligned} R_c &= 20 \lg (\pi m f / \rho c) + 10 \lg (2\eta f / \pi f_c), \\ f &\geq f_c \end{aligned} \quad (21)$$

och tillämpar samma principmodell som i ekvation (17), dvs ansätter att dubbelkonstruktionens reduktionstal ges av

$$R = R_c + \Delta R \quad (22)$$

där ΔR är en konstant som anger dubbelkonstruktionens förbättringseffekt, så erhålles ett samband som förefaller stämma väl med de erhållna mätvärdena. η i ekvation (21) betecknar konstruktionens förlustfaktor.



FIGUR 23. En jämförelse mellan uppmätta värden (—●—●—) för bjälklagskonstruktion TU (Min) och motsvarande ljudisoleringsvärden beräknade med hjälp av de tillgängliga teoretiska sambanden (—).

ΔR kan inte utan vidare sättas lika med ΔR_m enligt ekvation (18) eftersom uttrycket för ΔR_m har härletts under förutsättning att $f \ll f_c$.

Om man nu ansätter att $\eta = 0,01$ vilket är ett normalvärde för byggnadskonstruktioner och väljer $\Delta R = 5$ dB så ger ekvation (21) och (22) en reduktionstalskurva som stämmer mycket väl med mätvärdena i figur 23. Alternativt kan man ansätta ett högre η -värde och ett lägre värde på ΔR .

Som det nu framgår av figur 23 så stämmer teorierna med praktiken för de lägsta frekvensbanden, i koincidenceområdet och över f_c men vi saknar fortfarande en rimlig förklaring till varför ljudisoleringen försämras så markant vid 250 Hz. Detta resonansfenomen ger sämre värden än väntat från 125 Hz till 315 Hz. Låt oss se lite på flera mätresultat innan vi diskuterar denna frågeställning ytterligare.

6.2.2 Fyllningens inverkan i konstruktioner utan blindbotten

Ett antal prov har genomförts med olika fyllning vilande direkt på takpanelen. I trossbotten lades först på traditionellt sätt en asfaltimpregnerad cellulosapapp (Icopal AB, Pansarkraft 0,65 mm). Som fyllnadsmaterial användes sand alternativt sågspån. Sågspånet hade en densitet på ca 270 kg/m^3 i packat tillstånd. Sanden som användes var dammfri sand levererad från VGB-Golvsand AB i Stockholm. Sandens densitet var ca 1375 kg/m^3 . Skjuvstyvare fyllnadsmaterial typ torkad lera eller hårt packad sand kunde inte testas av resurstekniska skäl.

De provade varianterna och de erhållna isoleringsindexen redovisas i tabell 11 medan de tersbandsvisa ljudisoleringsresultaten redovisas i figur 24. I figuren har även tombjälklagsspektret för TU 0 inkluderats.

Figuren visar som tidigare att luftljuds- och stegljudsresultaten i stora drag följs åt. Man ser dessutom att den typiska kurvformen med de bågiga problemområdena vid 250 och 630 Hz finns kvar för de flesta alternativen. Resonanstopparna eller dalarna har dock dämpats och blivit mindre skarpa än för det tomma bjälklaget. Vidare kan man se att det föreligger ett systematiskt beroende av vikten för de flesta tersbanden. Ju tyngre konstruktionen är ju bättre blir ljudisoleringen.

Granskar man resultaten i detalj, så ser man av kurvorna för $R+L_n$ att luft- och stegljudsresultaten följs åt mycket väl över 630 Hz men att olikheterna ökar under 630 Hz och att de är speciellt stora vid 250 och 315 Hz. Stegljuds- och luftljudsresultaten i detta område beror inte bara av vikten på det sätt som man förväntar sig av masslagen. Med ett tunt sandskikt i botten och resten sågspån så försvinner 250 Hz resonansen helt medan en fyllning av 11 cm sand ger en relativt markerad resonans och sämre ljudisolering i detta område än om fyllningen bara består av 4 cm sand.

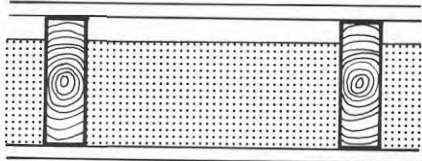
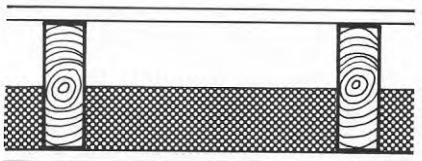
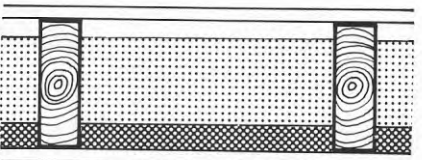
Vid första anblicken förefaller beteendet i 250 Hz-området vara lite slumpmässigt men ommätningar inklusive omfyllning av bjälklaget har visat att det inte rör sig om mätfel eller att någon ovidkommande parameter har varierats. Sådan omtest har t ex genomförts för alternativ TU 5 varvid mycket god överensstämmelse erhöles trots att det hade förflutit en hel månad mellan de bågiga mättillfällena.

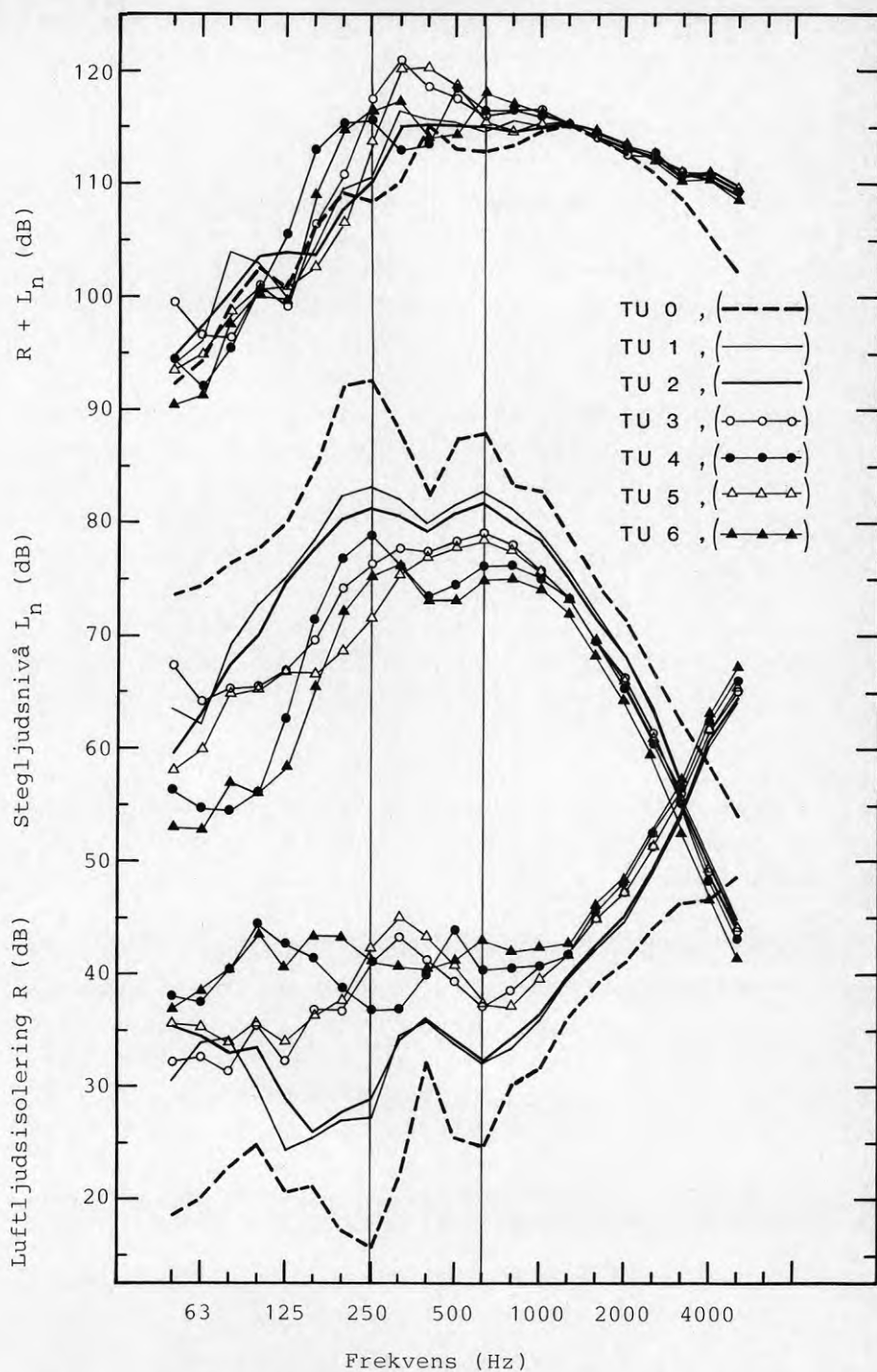
Om man rangordnar bjälklagen med hänsyn till ljudisoleringsresultaten från 200 till 315 Hz och börjar med det som ger sämst isoleringsvärden blir ordningen följande:

Bjälklag	Kurvsymbol	Fyllning	Vikt (kg/m ²)
TU 0	(— — —)	tomt bjälklag	33
TU 1	(———)	11 cm sågspån	66
TU 2	(————)	18 cm sågspån	83
TU 4	(●●●)	11 cm sand	170
TU 3	(○—○—○)	4 cm sand	87
TU 6	(▲▲▲)	11 cm sand + 8 cm sågspån	194
TU 5	(△—△—△)	4 cm sand + 15 cm sågspån	114

Rangordningen gäller oavsett om man studerar stegljudsnivåerna eller luftljudsisoleringen även om kurvförloppen är olika. 250 Hz-fenomenet dämpas med ökande vikt på fyllningen men beroendet är inte entydligt utan vissa fyllningar framhäver resonansen medan andra döljer den. Sågspånsfyllningen tycks emellertid i alla sammanhang innebära något positivt. Ju mera sågspån ju bättre resultat. Man kan också se att resonansfrekvensen flyttar sig något. Att se någon systematik i detta beroende är dock inte lätt. Uppenbarligen skulle det vara intressant att genomföra en mätserie där man systematiskt i små steg ökar sandfyllningen från tomt till fullt bjälklag. Detta har dock av resurstekniska skäl inte kunnat genomföras i projektet. Däremot har det gjorts några ytterligare experiment för att studera 250 Hz-problemet ytterligare.

TABELL 11. Konstruktionsalternativ med fyllningen direkt på takpanelen.

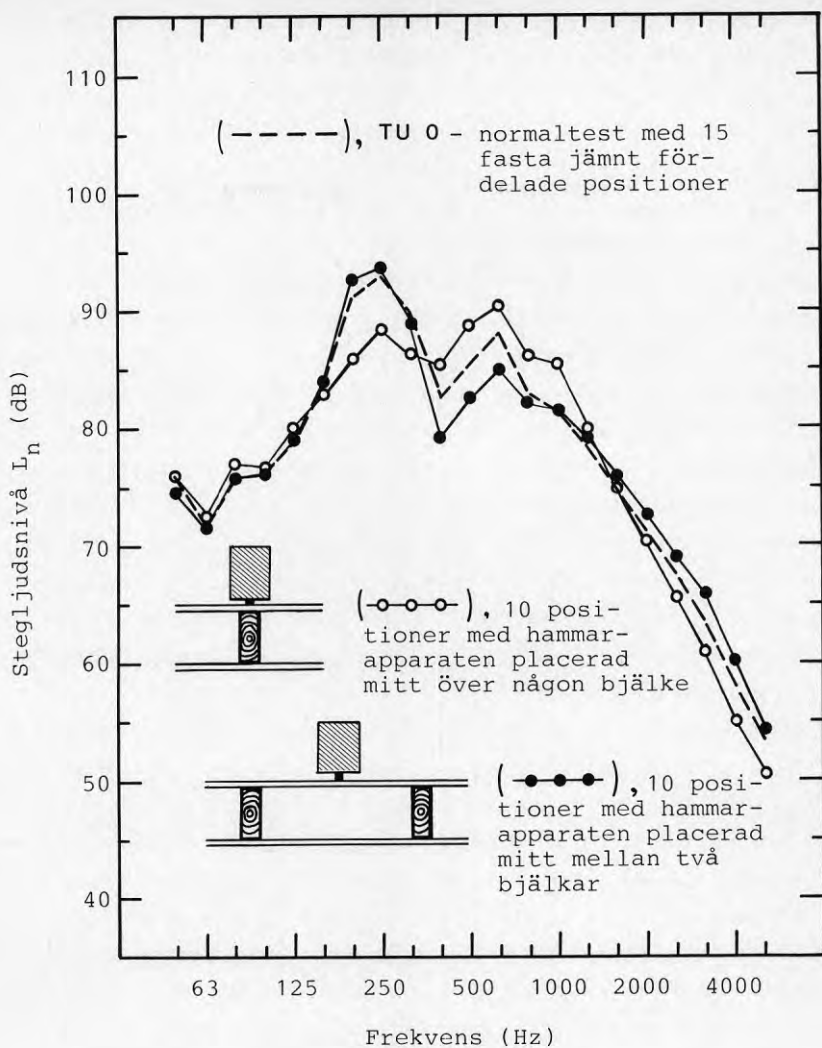
BJÄKLAGSKONSTRUKTION		VIKT kg/m ²	ISOLERINGSINDEX			
			I _a	R _w	I _i	L _{n,w}
						
TU 1	Fyllning: 11 cm sågspån	66	38	38	84	79
TU 2	Fyllning: 18 cm sågspån	83	38	38	83	78
						
TU 3	Fyllning: 4 cm sand	87	43	43	80	75
TU 4	Fyllning: 11 cm sand	170	44	44	79	74
						
TU 5	Fyllning: 4 cm sand + 15 cm sågspån	114	43	43	80	75
TU 6	Fyllning: 11 cm sand + 8 cm sågspån	194	45	45	78	73



FIGUR 24. Mätresultat för konstruktionsalternativen enligt tabell 11 med olika fyllning vilande direkt på takpanelen.

Man kan tänka sig följande hypotes. 250 Hz-problemet beror av att strukturen golvskiva-bjälke-takpanel har en resonans vid denna frekvens. Med en mindre last av sand på takpanelen ändras visserligen förhållandet mellan strukturens massa och dess styvhet men vad som framförallt inträffar är att sandkornen effektivt dämpar takpanelens vibrationer genom att sandskiktet följer med i vibrationerna vilket i sin tur medför att sandkornen gnuggas mot varandra och att energi överföres från rörelseenergi till värme p g a friktionen mellan kornen. Den sand som användes var tvättad (för undvikande av dammproblem vid hanteringen) och kornen var jämnstora. När man sedan ökar sandskiktet minskar rörligheten hos sandpartiklarna i botten p g a vikten och belastningen av de ovanliggande sandkornen. Sanden packas hårdare och förlusterna minskar. I detta sammanhang är det också intressant att rekapitulera den rekommendation som ges i referens [10] angående övergolv med sandfyllning nämligen att sandskikt bör vara ≤ 50 mm tjockt för undvikande av resonanser (jfr tabell 5).

Två experiment har genomförts vars resultat styrker det riktiga i detta resonemang. Först studerades tom-bjälklaget TU 0 med olika hammarapparatpositioner. Dels genomfördes en normaltest med de 15 fasta jämnt fördelade hammarpositionerna, dels gjordes en mätning med enbart positioner på bjälkarna och avslutningsvis placerades hammarapparaten enbart i positioner mitt mellan två bjälkar. I de båda sista mätningarna användes 10 positioner vardera och hammarapparaten placerades hela tiden med längdaxeln parallellt med bjälkarna. Resultaten redovisas i figur 25.

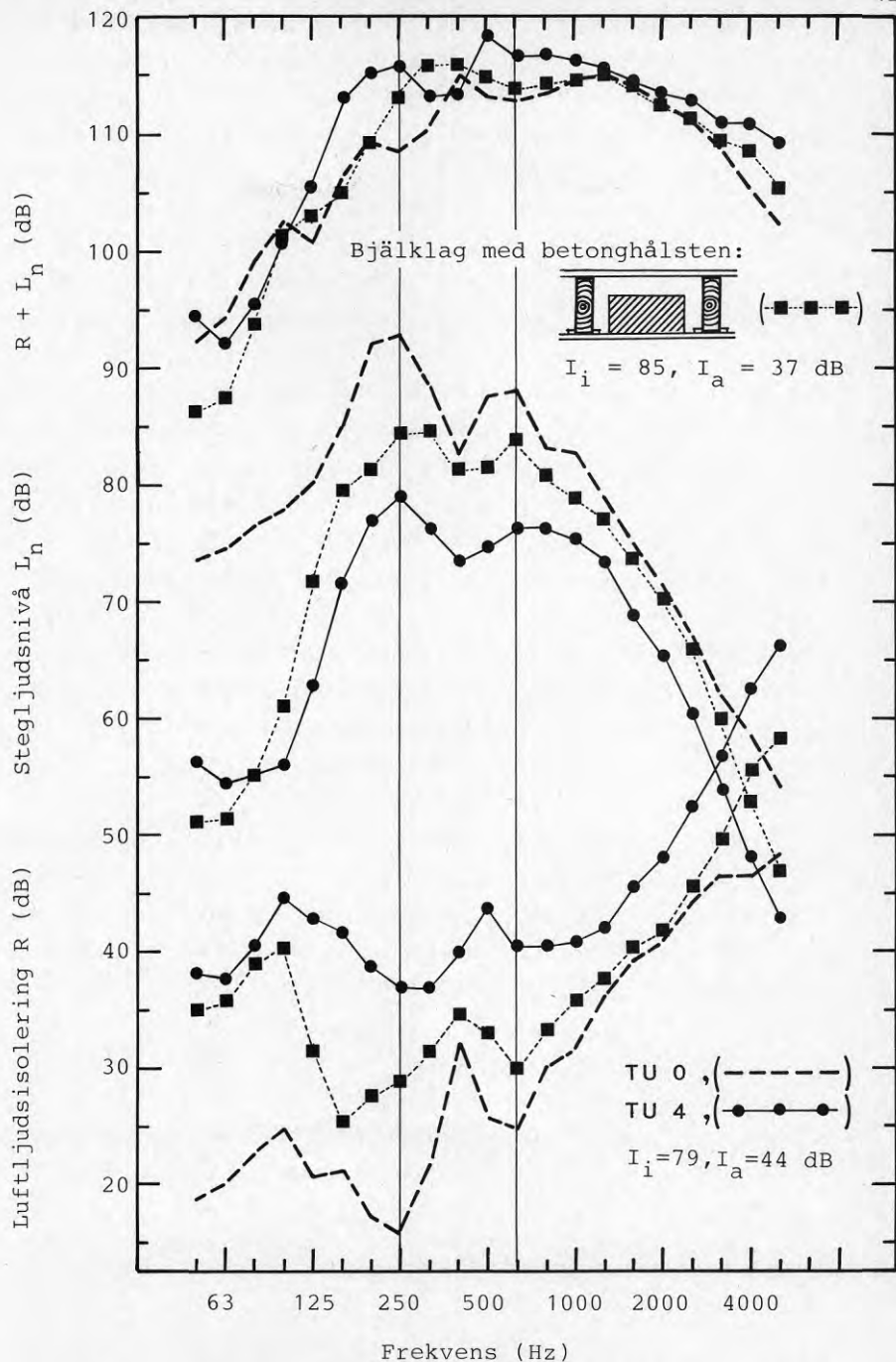


FIGUR 25. Uppmätta stegljudsnivåer för tombjälklag TU 0 med olika hammarapparatspositioner.

Figuren visar att koincidensfenomenet i takpanelen drivs effektivare när hamrarna slår mitt över en bjälke i förhållande till när hammarapparaten placeras mitt mellan två bjälkar. Skillnaden vid 630 Hz är 5 dB. Detta förefaller helt logiskt eftersom vi tidigare konstaterat att ljudet överförs via bjälkarna. Med 250 Hz-fenomenet är det emellertid tvärt om. Resonansstoppen blir 5 dB högre när hammarapparaten placeras mellan bjälkarna i förhållande till när exciteringen sker direkt över en bjälke. Eftersom vi samtidigt konstaterat med hjälp av resultaten i figur 22 att resonansproblemet inte påverkas speciellt mycket av en mineralullsfyllning, så kan det inte röra sig om en transmission från golvpanel till takpanel via luftmellanrummet eller den där befintliga fyllningen. Det måste röra sig om en strukturresonans för systemet golvplatta-bjälke-takpanel och överföringen via bjälken måste ske i form av böjvågor och ej som longitudinella vågor i bjälken.

I det andra experimentet studerades ett alternativ till TU 4, dvs bjälklaget med en fyllning av 11 cm sand. Istället för sand placerades 141 st betonghålsten direkt på trossbottenpappen. Ingen annan fyllning tillfördes. Stenarna hade dimensionerna 0,14 m x 0,15 m x 0,39 m och vägde tillsammans ungefärligen lika mycket som sanden i TU 4. Stenarna placerades parallellt med brädorna och totalt upptog de 70 % av trossbottenarean mellan bjälkarna.

De erhållna resultaten kan jämföras i figur 26. I denna figur har även resultaten för TU 0 inkluderats. Figuren visar att resultaten blir väsentligt sämre med betongstensfyllningen än med sand och detta gäller alla



FIGUR 26. Mätresultat erhållna med en fyllning av 141 st betonghålsten. Detta bjälklag vägde ungefärligen lika mycket som TU 4, dvs alternativet med en fyllning av 11 cm sand. Även tombjälklagsresultaten för TU 0 visas för att underlätta jämförelser.

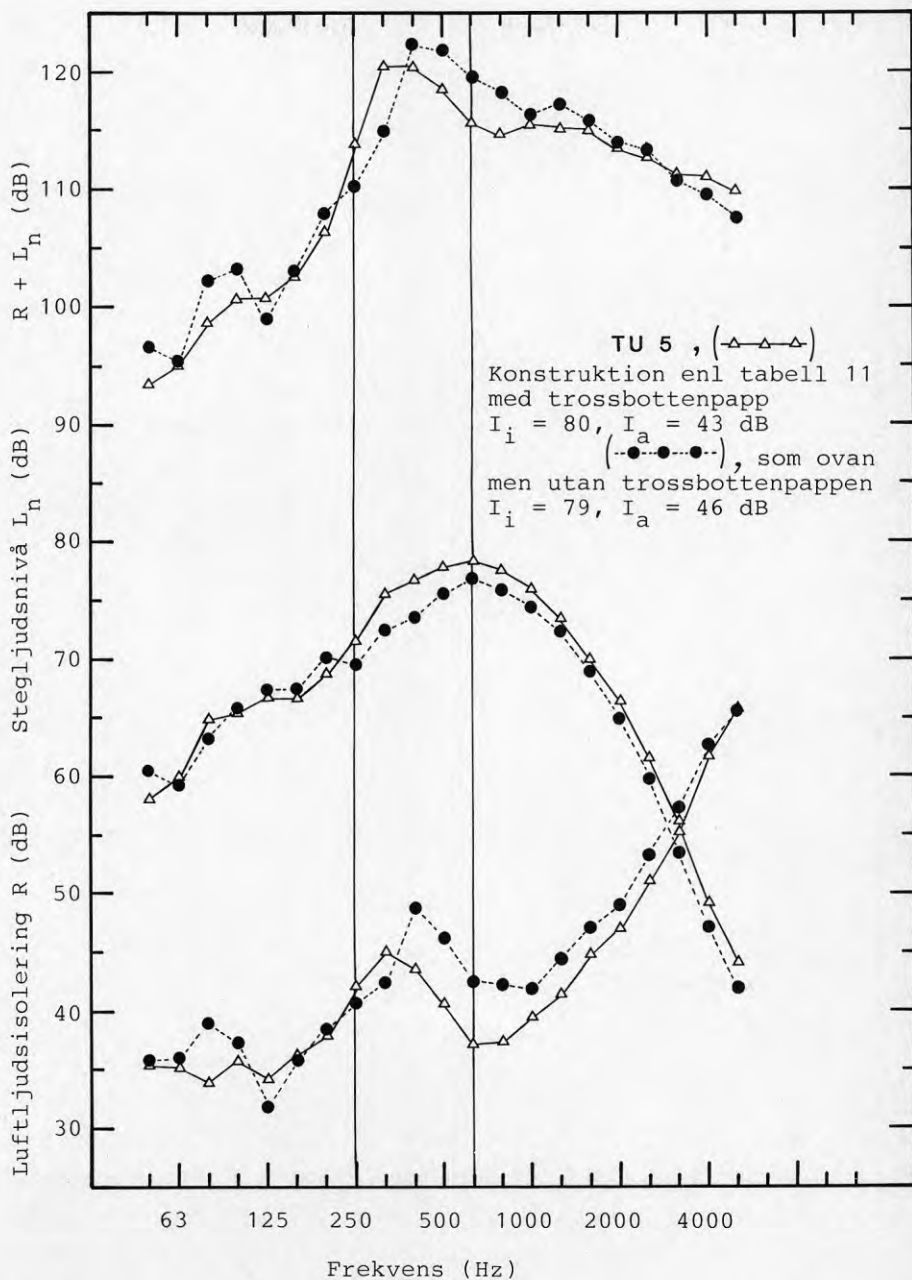
frekvenser utom de lägsta frekvensbanden. Det är alltså bättre om lasten är jämnt fördelad över hela trossbottenytan och det står också klart att en fyllning av sand eller liknande ökar förlustfaktorn och att detta har en tydlig inverkan på ljudisoleringen inom stora delar av frekvensområdet.

Ett ytterligare experiment som genomfördes gav resultat som visar att förlustfaktorn är en viktig variabel och att denna lätt ändras. I samband med de ommätningar som genomfördes på bjälklagsalternativ TU 5 testades även en variant där trossbottenpappen togs bort. Sanden lades då direkt på takpanelen. Denna test gjordes som ett led i ansträngningarna att kontrollera att resultaten för TU 5 enligt figur 24 verkligen var riktiga. Resultaten med respektive utan trossbottenpapp som återges i figur 27 visar att ljudisoleringen förbättras avsevärt i koincidensområdet när pappen tas bort. Detta kan bara förklaras med en bättre kontakt mellan takpanelen och sanden och med att förlustfaktorn ökat.

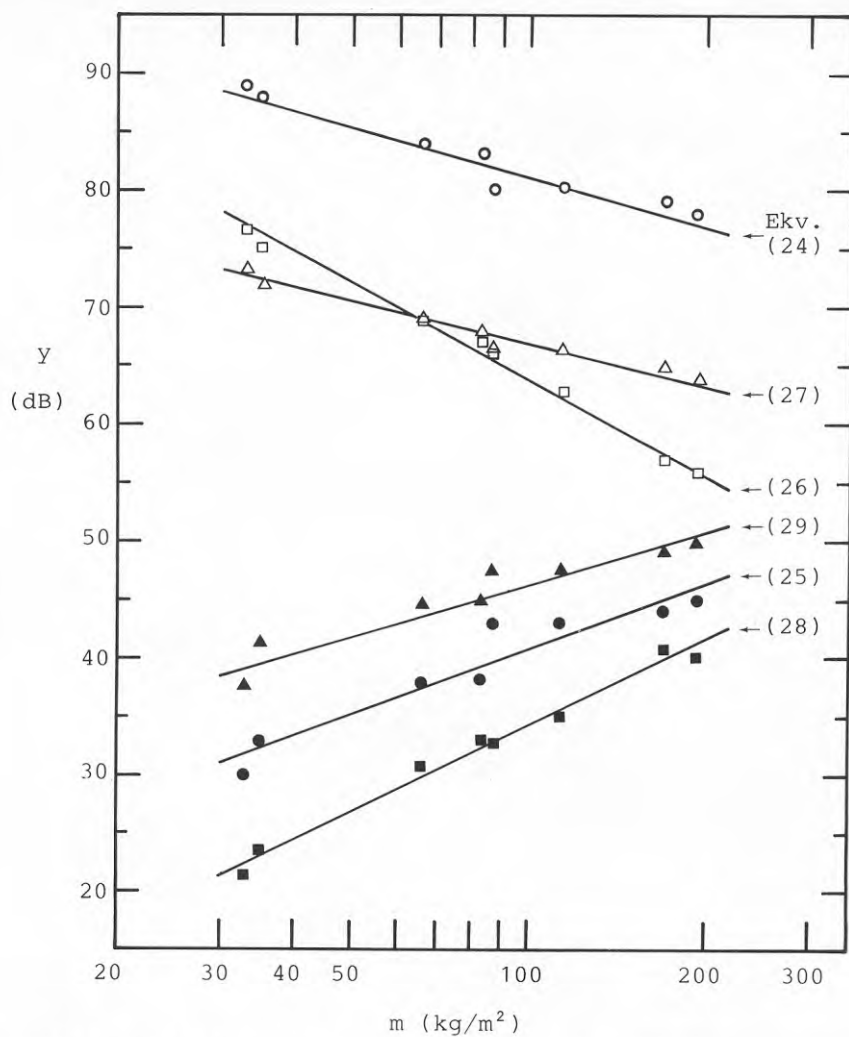
Om vi nu återgår till att studera de frekvensband i figur 24, där vi har en systematik i beroendet av konstruktionens vikt så kan resultaten kondenseras enligt den redovisning som ges i figur 28. De variabler som valts för denna analys är

$$\begin{aligned} \bar{L}_n(50-125) &= (L_n(50 \text{ Hz}) + L_n(63 \text{ Hz}) + \dots + L_n(125 \text{ Hz})) / 5 \\ \bar{R}(50-125) &= (R(50 \text{ Hz}) + R(63 \text{ Hz}) + \dots + R(125 \text{ Hz})) / 5 \\ \bar{L}_n(500-5000) &= (L_n(500 \text{ Hz}) + L_n(630 \text{ Hz}) + \dots + L_n(5000 \text{ Hz})) / 11 \\ \bar{R}(500-5000) &= (R(500 \text{ Hz}) + R(630 \text{ Hz}) + \dots + R(5000 \text{ Hz})) / 11 \end{aligned}$$

dvs frekvensmedelvärden från 50 till 125 Hz och från 500 till 5000 Hz för L_n och R . Figuren har även kompletterats med ett studium av hur I_a - och I_i -värdena beror av vikten.



FIGUR 27. Mätresultat för bjälklag TU 5 med respektive utan trossbottenpapp mellan sandfyllningen och takpanelen.



FIGUR 28. Förhållandet mellan konstruktionsvikten per areaenhet och ljudisoleringsindexen samt ett antal frekvensmedelvärden för konstruktionsalternativen utan blindbotten i tabell 10 och 11.

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| (○), $y = I_i$ | (●), $y = I_a$ |
| (□), $y = \bar{L}_n(50-125)$ | (■), $y = \bar{R}(50-125)$ |
| (△), $y = \bar{L}_n(500-5000)$ | (▲), $y = \bar{R}(500-5000)$ |

R_w och $L_{n,w}$ behöver inte studeras särskilt i detta fall eftersom dessa indexvärden helt överensstämmer med I_a - och I_i -värdena så när som på en konstant skillnad mellan I_i - och $L_{n,w}$ -resultaten på 5 dB. Den sk 8 dB-regeln har således inte fällt utslaget för något av de aktuella bjälklagsalternativen.

En linjär regressionsanalys med de olika isoleringstalen som beroende variabel har givit följande resultat

$$I_i = 109,7 - 14,1 \lg(m) \quad [n=8, r=96,8 \text{ \%}] \quad (24)$$

$$I_a = 4,0 + 18,4 \lg(m) \quad [n=8, r=95,0 \text{ \%}] \quad (25)$$

$$\bar{L}_n(50-125) = 116,8 - 26,5 \lg(m) \quad [n=8, r=99,6 \text{ \%}] \quad (26)$$

$$\bar{L}_n(500-5000) = 89,7 - 11,4 \lg(m) \quad [n=8, r=97,5 \text{ \%}] \quad (27)$$

$$\bar{R}(50-125) = 24,3 \lg(m) - 14,50 \quad [n=8, r=99,2 \text{ \%}] \quad (28)$$

$$\bar{R}(500-5000) = 18,9 + 13,8 \lg(m) \quad [n=8, r=95,1 \text{ \%}] \quad (29)$$

Alla de studerade isoleringstalen uppvisar således ett klart och entydigt beroende av bjälklagsvikten. Sambandet är särskilt starkt för de lägsta frekvensbanden dvs från 50 till 125 Hz. Korrelationen är nästan 100 %-ig för $\bar{R}(50-125)$ och $\bar{L}_n(50-125)$. Korrelationskoefficienterna är lägst för I_a och I_i -sambanden vilket beror på att dessa index avgörs av problemfrekvensbanden.

När det gäller lutningen på regressionslinjerna så ser man att beroendet är starkare än vad masslagen förutsäger, dvs masstermen är $>20 \lg m$, för $\bar{R}(50-125)$ och $\bar{L}_n(50-125)$ medan beroendet är $<20 \lg m$ i frekvensområdet från 500 till 5000 Hz. Beroendet är också svagare, om än inte lika mycket, för I_a - och I_i -värdena.

Ofta återfinner man någon form av krysskolvning i de gamla bjälklagen. Att bjälkarna är krysskolvade innebär att man sammanbundet golvbjälkarna i sidled med krysstag. Detta gjordes för att styva upp bjälklaget i den vekare riktningen och för att på så sätt fördela punktlaster och minska svikten. Krysskolvning förekom i ombyggnadsobjekt nr 5 och ett fotografi på detta återges i bild 7.

Enligt referens [34] som behandlar svikt och svängningar i bjälklag från människor i rörelse och som bl a diskuterar krysskolvningen så är troligen effekten av krysskolvningen ganska liten p g a att virket i kolvarna krymper eller deformeras efter en tid med en dålig kontakt som resultatet. Bättre metoder för uppstyvning i den vekare riktningen utpekas i referens [34].

Likväl bedömdes det vara av intresse att kontrollera om perfekt anbringad krysskolvning kunde påverka ljudisoleringen. Krysskolvar monterades därför på bjälklaget enligt fotografiet i bild 8. Krysskolvarna kilades först fast med hjälp av en mindre slägga och sedan skruvades de fast mot bjälkarna med vinkeljärn. Denna åtgärd genomfördes på bjälklag TU 0 och TU 5. Nedan angivna skillnader mellan varianterna med respektive utan krysskolvar erhöles.

TU 0:	$\Delta I_i = 0$ dB	$\overline{\Delta L}_n$ (50-5000 Hz)	= 0,4 dB
	$\Delta I_a = 1$ dB	$\overline{\Delta R}$ (50-5000 Hz)	= 0,6 dB
TU 5:	$\Delta I_i = 0$ dB	$\overline{\Delta L}_n$ (50-5000 Hz)	= 0,6 dB
	$\Delta I_a = 0$ dB	$\overline{\Delta R}$ (50-5000 Hz)	= 0,1 dB

Ljudisoleringen blir alltså något bättre med krysskolvningen men skillnaden är så liten att den helt säkert kan försummas i normalfallet.



BILD 7. Fotografi av öppnat bjälklag med krysskolvning och lös blindbotten av utskottsvirke. Fyllningen har avlägsnats. (Ombyggnadsobjekt nr 5, Médea).

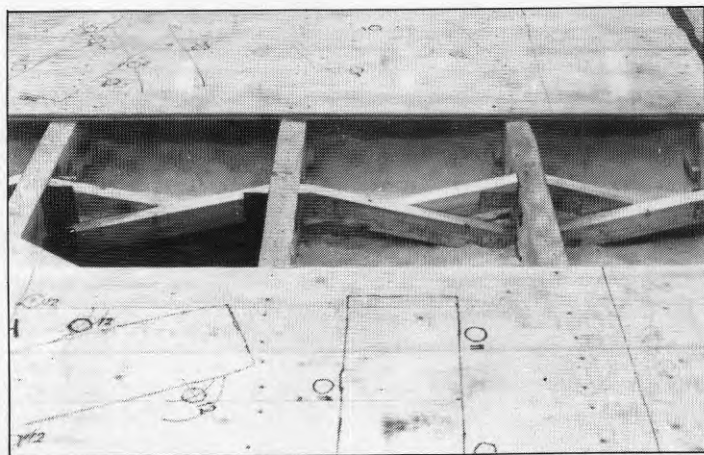


BILD 8. Laboratoriebjälklaget med monterade krysskolvar.

6.2.4 Konstruktioner med blindbotten

Nästa steg var att prova några alternativ med blindbotten. Samma grundstomme utnyttjades som tidigare och som blindbottenmaterial användes 22 mm spontade plank. Förr använde man alltid utskottsvirke till blindbotten. Denna avvikelse bedömes dock vara helt oväsentlig för ljudisoleringsfunktionen. I samtliga alternativ lades blindbotten löst på bärlisterna vilket är det normala. De provade varianterna beskrives närmare i tabell 12. I denna tabell redovisas även de erhållna isoleringsindexen medan de uppmätta isoleringsspektrerna återges i figur 29.

Figuren visar att stegljuds- och luftljudskurvorna har samma form som tidigare. Ljudisoleringen är således markant sämre vid 250 och 630 Hz. Skillnaderna mellan de olika fyllningarna och blindbottenalternativen är samtidigt mycket små över 250 Hz vilket betyder att takpanelen lever sitt eget liv oberoende av blindbotten. Detta gäller även om man som i figuren inkluderar tombjälklagsalternativet TM 0. Koincidensförsämringen vid 630 Hz är också mycket markerad, vilket kan förklaras av att den fria takpanelen har en mindre förlustfaktor än när fyllningen ligger direkt på densamma.

Eftersom det är så liten skillnad mellan isoleringsspektrerna över 250 Hz är det också små skillnader mellan isoleringsindexen. Enligt tabell 12 varierar värdena på stegljuds- och luftljudsindexen bara med 1 resp 2 dB.

Vid låga frekvenser är det större skillnader och om man som tidigare genomför en linjär regressionsanalys med $\bar{L}_n(50-125)$ och $\bar{R}(50-125)$ som beroende variabler och med $\lg(m)$ som oberoende variabel erhålles följande samband

$$\bar{L}_n(50-125) = 109,2 - 21,8 \lg(m) \quad [n=5, r=96\%] \quad (30)$$

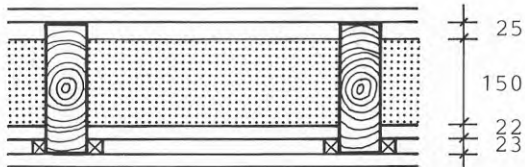
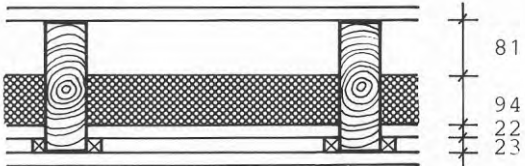
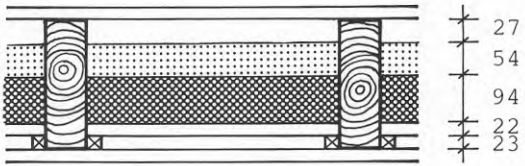
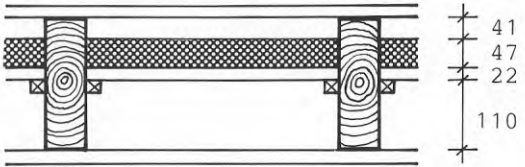
$$\bar{R}(50-125) = 20,6 \lg(m) - 7,3 \quad [n=5, r=90\%] \quad (31)$$

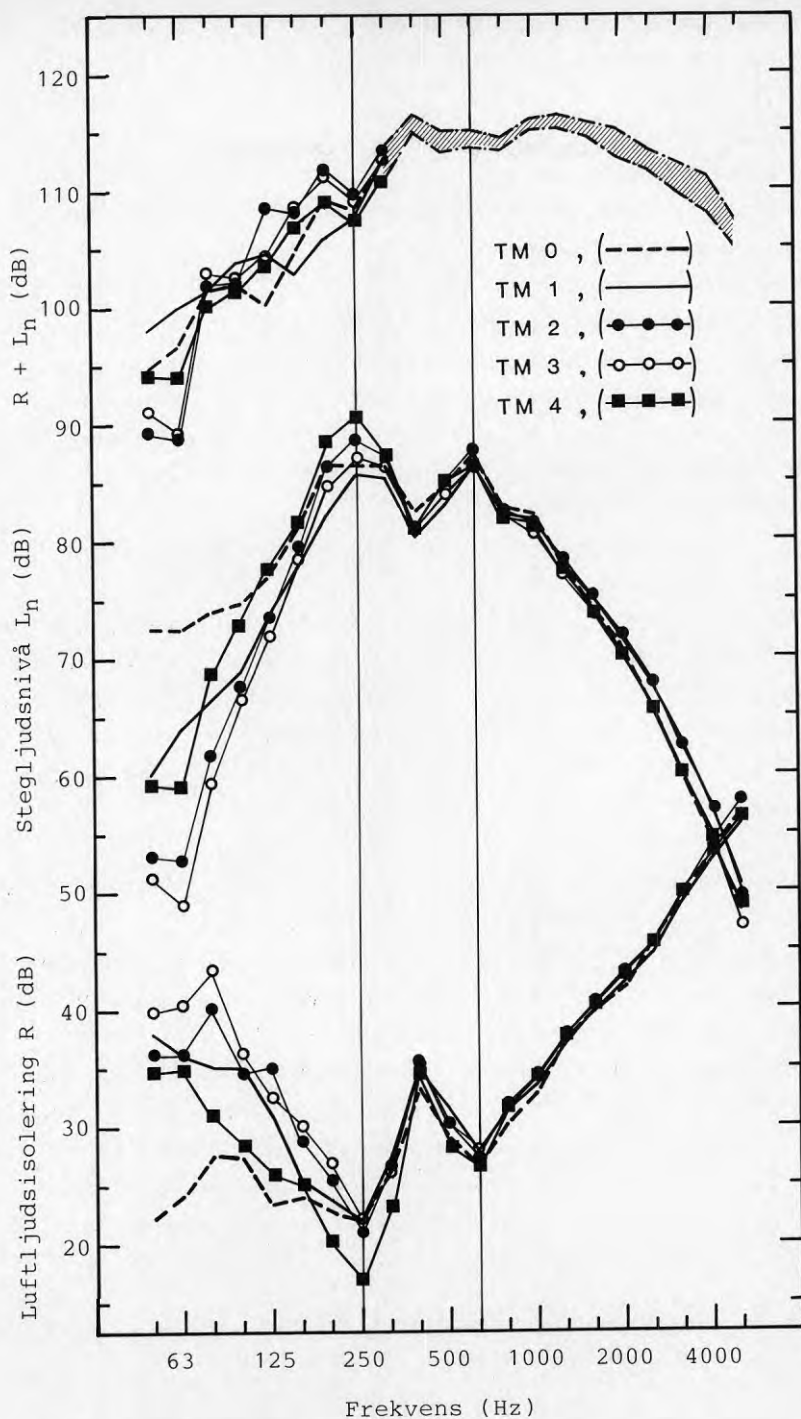
Som vi kan se så ligger beroendet av m mycket nära det teoretiskt förväntade $20 \lg(m)$, dvs masslagen. Detta gäller både luft- och stegljudsisoleringen.

Om resultaten för TM 4 uteslutes stiger korrelationskoefficienterna till 99 respektive 95 %. Denna variant med blindbotten placerad mitt på bjälkarna har således en ljudisolering som avviker något från de övriga. Värdena är lägre än man kan förvänta sig av konstruktionsvikten och man kan också se att detta gäller för 250 Hz resonansen. I själva verket ger detta alternativ sämst isoleringsvärden vid 250 Hz av alla de provade varianterna inklusive bjälklagen med fyllningen direkt på takpanelen. Det enda bjälklaget som är sämre än TM 4 vid 250 Hz är TU 0.

En extra test genomfördes därför med TM 4 efter att hålrummet under blindbotten fyllts med mineralull (variant B enligt tabell 12). Isoleringsindexen förbättrades med 1 dB av denna åtgärd. I snitt var förbättringen 0,9 dB för luftljudsisoleringen och 0,5 dB för stegljudsnivåerna. Vid 250 och 630 Hz var förbättringseffekten 1-2 dB. Liksom tidigare kan vi alltså konstatera att den huvudsakliga ljudtransmissionen sker via bjälkarna.

TABELL 12. Olika konstruktionsalternativ med blindbotten.

BJÄKLAGSKONSTRUKTION		ISOLERINGSINDEX			
		I_a	R_w	I_i	$L_{n,w}$
TM 1	 <p>Vikt: 77 kg/m² Fyllning: Sågsån</p>	34	34	86	81
TM 2	 <p>Vikt: 151 kg/m² Fyllning: Sand</p>	34	34	87	82
TM 3	 <p>Vikt: 164 kg/m² Fyllning: Sågsån + sand</p>	34	34	86	81
TM 4	 <p>Vikt: 104 kg/m² Fyllning: Sand</p> <p>VARIANT A - enligt ritningen ovan VARIANT B - med mineralullsfyllning under blindbotten</p>	32 33	32 33	87 86	82 81



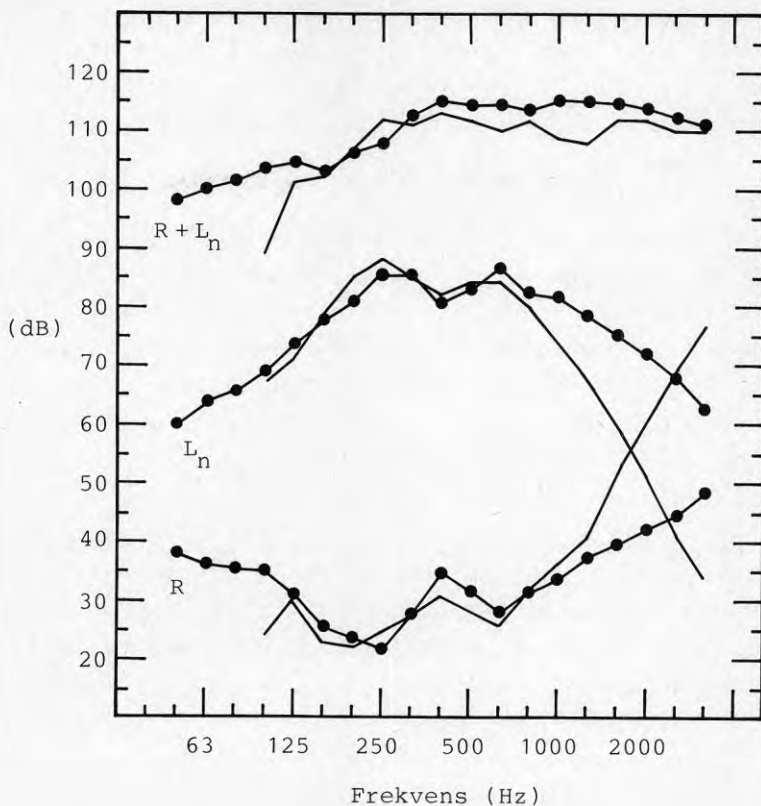
FIGUR 29. Mätresultat för konstruktionsalternativen enligt tabell 12 med olika fyllning på en blindbotten. Eftersom de inbördes skillnaderna är så små över 315 Hz så har enbart variationsområdet angivits för $R + L_n$ från och med detta frekvensband.

I avsnitt 2.3.2 diskuteras möjligheten att det uppstår en grundresonans mellan takpanelen och blindbotten. Enligt ekvation (8) och (9) bör en sådan resonans hamna inom frekvensintervallet 128-192 Hz för TM 0-TM 3 beroende på blindbottens eftergivlighet. Någon isolerad resonans kan emellertid inte identifieras i detta frekvensområde i figur 29 och en jämförelse med figur 24 avslöjar inte heller något som inte redan syns utan blindbotten. Avståndet mellan bjälkarna är säkerligen för kort för att det skall kunna utbildas någon grundresonans i det lågfrekventa området. Man kan således bortse från detta fenomen när det gäller ljudisoleringen hos gamla träbjälklag.

6.2.5 Jämförelser med resultat uppmätta i bostadshus

Eftersom vi har gjort en hel rad laboratorieexperiment och resultaten är lite speciella samtidigt som vi vet att bjälklagens randbetingelser inte är desamma i laboratoriet som i faktiska byggnader, kan det nu vara intressant att kontrollera hur pass väl laboratorieresultaten stämmer med fälterfarenheterna.

Det tillgängliga erfarenhetsmaterialet möjliggör tre jämförelser när det gäller trähusbjälklag. I figur 5 redovisas resultaten från en fältmätning enligt referens [8b]. Detta bjälklag som var uppbyggt av 10" bjälkar, som hade en blindbotten och vars golv var klätt med en linoleummatta, motsvaras närmast av laboratoriebjälklaget TM 1. Resultaten från dessa bägge mätningar kan jämföras i figur 30. Observera att vi nu återgått till att använda den normala skalan för y-axeln medan de tidigare figurerna i detta kapitel har tecknats med en 2 ggr förstörande skala.



FIGUR 30. Jämförelse mellan ljudisoleringvärden uppmätta i fält respektive i laboratorium.

(—), Fältsmätning - resultat enligt referens [8b] och figur 5. Bjälklaget var försett med ett linoleumgolv.

$$I_a = 33, R'_w = 34, I_i = 84, L'_{n,w} = 79 \text{ dB}$$

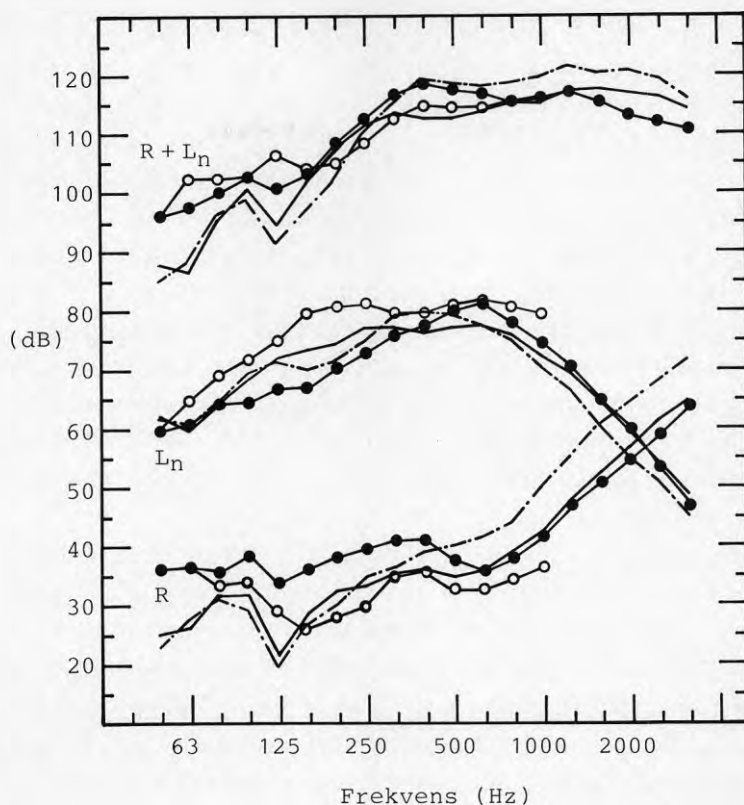
(●●●), Laborietest - bjälklag TM 1. Bjälklaget saknade särskild golvbeläggning.

$$I_a = 34, R_w = 34, I_i = 86, L_{n,w} = 81 \text{ dB}$$

Figuren visar att det föreligger en mycket god överensstämmelse upp till och med 1000 Hz. För högre frekvenser uppmättes väsentligt bättre ljudisoleringsvärden i fält än i laboratoriet. Detta förhållande kan helt säkert förklaras av golvbeläggningen på fältbjälklaget.

Förutom detta fall kan vi också göra jämförelser med två av ombyggnadsobjekten, nämligen Lejonet Nr 1 och Hämplingen Nr 6. Bägge dessa objekt hade bjälklag utan takputs. Lejonet var ett av de objekt som följdes noggrant medan Hämplingen enbart dokumenterades med mätningar samt intervjuer med arbetsplatschefen. Beskrivningen av bjälklagskonstruktionen är alltså något osäker när det gäller Hämplingen.

Beträffande Lejonet så råder tyvärr också viss osäkerhet vad det gäller fyllningen vilket är viktigt eftersom detta bjälklag inte hade någon blindbotten. Enligt objektbladet för Lejonet [27] så består fyllningen av 3-5 cm sand och bruksrester samt ca 15 cm ren sågspån. Detta kunde konstateras genom besiktning av de håltagningar som gjordes för installationerna till de blivande badrummen. Byggaren har dock senare anmärkt på objektbladet och hävdar att fyllningen enbart består av sågspån. Hur fyllningen ser ut i sovrummen och i vardagsrummen där mätningarna genomfördes kan därför ifrågasättas eftersom inga håltagningar gjordes och besiktigades i dessa rum. Mot denna bakgrund jämföres fältresultaten med laboratorieresultaten för både TU 2 och TU 5. De mätresultat som redovisas för TU 5 har uppmätts med en 14 mm träfiberskiva skruvad mot takpanelen eftersom en sådan förekom på Lejonet. Träfiberskivan höjde ljudisoleringen från och med 1000 Hz. För 2000, 2500 och 3150 Hz var förbättringen ca 10 dB. Detta förklarar varför TU 2-resultaten i figur 31 enbart angivits t o m 1000 Hz.



FIGUR 31. Jämförelse mellan ljudisoleringsvärden uppmätta i fält respektive i laboratorium. Bjälklaget saknar blindbotten och fyllningen ligger på takpanelen.

(—), (---), Fältmätningar - objekt Lejonet Nr 1. Bjälklaget var uppbyggt av 3"x9" golvbjälkar, 1 1/8" golvplank och 1" spontad takpanel. Taket var klätt med en 14 mm porös träfiberskiva. Osäkert beträffande fyllningen.

$$I_a = 41, 43, R'_w = 41, 43, I_i = 78, 78, L'_{n,w} = 73, 73 \text{ dB}$$

(●●●●), Laborietetest - bjälklag TU 5 med takbeklädnad. Taket hade klätts med en 14 mm porös träfiberskiva. Fyllning av 40 mm sand + 150 mm sågspån.

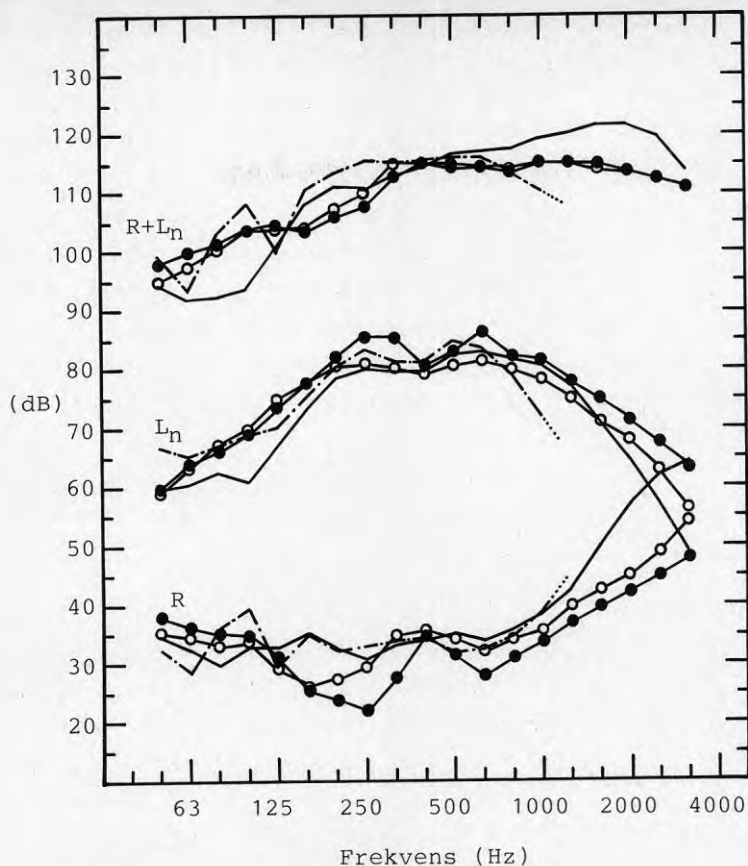
$$I_a = 43, R_w = 44, I_i = 79, L_{n,w} = 74 \text{ dB}$$

(○●○●), Laborietetest - bjälklag TU 2. Taket var ej klätt med något. Fyllning av 180 mm sågspån.

$$I_a = 38, R_w = 38, I_i = 83, L_{n,w} = 78 \text{ dB.}$$

Stegljudsresultaten i figur 31 visar att fältvärdena ligger mellan laboratorieresultaten för TU 2 och TU 5 under 500 Hz. Man kan också se att stegljudsnivåspektrerna är likformiga. Fyllningen i ombyggnadsbjälklaget bör således vara något tyngre än enbart sågspån vilket talar för att uppgiften om sand skulle vara riktig. Samtidigt framträder resonansproblemet tydligare hos stegljudskurvorna för Lejonet än för TU 5, vilket bör betyda att sandens dämpförmåga inte var lika effektiv på Lejonet. Möjligen beror detta på hur fyllningen är packad. Sanden var dessutom väsentligt mer finkornig än den sand som användes i laboratoriet. Om man dessutom studerar luftljudsresultaten och den streckprickade stegljudskurvan så förefaller det som om resonansfenomenet har sin tyngdpunkt förskjuten till 125 Hz.

Jämförelsen med mätresultaten från Hämplingen redovisas i figur 32. I objektbladet för Hämplingen anges att bjälklaget var försett med en blindbotten. Meningarna gick dock isär på denna punkt när konstruktionen diskuterades på arbetsplatsen efter ombyggnaden och med hjälp av de laboratorieresultat som inkluderats i figuren kan man se att det faktiskt stämmer bäst om man jämför med resultaten för TU 2 som ju saknar blindbotten. Vid höga frekvenser är överensstämmelsen dålig vilket torde kunna förklaras av att det gamla innertaket på Hämplingen var klätt med vävspänning. De streckprickade kurvorna gäller ett golv med en linoleummatta varför dessa kurvor har avslutats över 1000 Hz. Över 1000 Hz ger linoleumgolvet en märkbar isoleringsförbättring. Även under 1000 Hz kan man tänka sig att linoleumgolvet förbättrar ljudisoleringen något.



FIGUR 32. Jämförelse mellan ljudisoleringvärden uppmätta i fält respektive i laboratorium. En jämförelse mellan ombyggnadsobjektet Hämplingen Nr 6 och laboratoriebjälklagen TM 1 och TU 2.

(—), Fältmätning Hämplingen Nr 6, brädgolv. Bjälklaget var uppbyggt av $2\frac{1}{2}$ " x 10" golvbjälkar, 30 mm spontat golvträ, 30 mm takspont och var fyllt med kalkblandat sågspån. Innertaket var klätt med vävspänning. Osäkert beträffande huruvida det fanns blindbotten eller ej.

$$I_a = 39, R'_w = 39, I_i = 83, L'_{n,w} = 78 \text{ dB}$$

(- - -), Som ovan men med en linoleummatta på golvet.

$$I_a = 39, R'_w = 39, I_i = 82, L'_{n,w} = 77 \text{ dB}$$

(●●●●), Laboratorietest - bjälklag TM 1.

$$I_a = 34, R_w = 34, I_i = 86, L_{n,w} = 81 \text{ dB}$$

(○●●○), Laboratorietest - bjälklag TU 2.

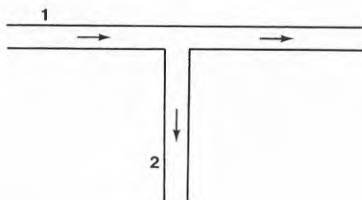
$$I_a = 38, R_w = 38, I_i = 83, L_{n,w} = 78 \text{ dB}$$

Sammanfattningsvis förefaller det inte vara några problem när det gäller att simulera verkliga träbjälklag i laboratoriet. Svårigheten är bara att bygga upp bjälklaget så att det verkligen är konstruerat på samma sätt som i praktiken. Härvidlag är det viktigt att beakta alla detaljer som t ex trossbottenpapp, golv- och takbeklädning. Stegljuds-nivåspektrerna har samma principiella utseende i fält som i laboratoriet inom det viktigaste frekvensområdet dvs från 50 till 1000 Hz, vilket innebär att man kan utnyttja laboratorieresultaten för en bestämning av lämpliga referensspektrum.

6.2.6 Vidare diskussion av resonans- och koincidensfenomenen

RESONANSFENOMENET:

Enligt figur 25 så karakteriseras det lågfrekventa resonansfenomenet av att det drivs dåligt när hammarapparaten står mitt över och parallellt med bjälken. Överföringen från golvskivan till takpanelen bör alltså ske via bjälken och genom att denna böjs. I referens [35] diskuteras överföringen av böjvågor i plattor förbi knutpunkter med anslutande plattor. För en T-knut enligt vidstående skiss gäller att överföringen av böjvågor från platta 1 till 2 blir kraftigast när förhållandet



$$\sigma = \left[\frac{B_2 \quad c_{B1}}{B_1 \quad c_{B2}} \right]^{2/5} \quad (32)$$

är nära 1 eller för att vara exakt när $\sigma = 1,32$. B betecknar böjstyvheten och c_B är böjvågshastigheten enligt

$$c_B = ((2\pi f)^2 B/m)^{1/4} \quad (33)$$

Uttrycket gäller när böjvågorna träffar knutpunkten i normalens riktning (90°).

Om vi tillämpar detta synsätt och förutsätter att böjvågorna utbreder sig i golvplanksriktningen, så erhålles ett σ -värde som faktiskt ligger mycket nära det kritiska värdet nämligen $\sigma = 1,02$. Resonemanget om att bjälken böjs förefaller således kunna stämma. Teorin förutsätter dock att plattorna är perfekt förbundna med varandra dvs att knutpunkten kan överföra böjmomentet. I detta fall användes skruvförband mellan spontpanelerna och bjälkarna. Vinkelförändringarna är så pass små för de aktuella vibrationerna att det förefaller vara riktigt att anta att skruvförbandet fungerar utan att 90 -gradersvinkeln mellan golvbrädorna och bjälken deformeras. Nedan angivna materialparametrar användes för beräkning av σ -värdet.

E-moduler för gran:

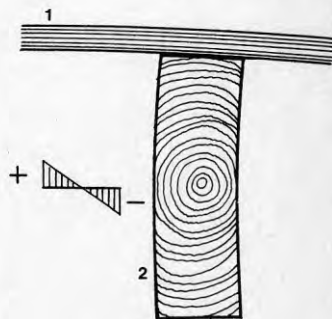
$E_{//}$ parallellt med fibrerna
 $11,0 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$

E_{\perp} radiellt mot fibrerna
 $6,5 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

E_{\uparrow} tangentiellt mot fibrerna
 $4,0 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

$$B_1 = \frac{E_{//} \cdot 0,022^3}{12} = 9760 \text{ Nm} \quad c_{B1} = 14,01 \sqrt{f}$$

$$B_2 = \frac{E_{\uparrow} \cdot 0,067^3}{12} = 12532 \text{ Nm} \quad c_{B2} = 11,33 \sqrt{f}$$



Detta fenomen kan dock inte ensamt förklara varför det uppstår resonans vid 250 Hz eftersom σ enligt den aktuella teoribildningen är frekvensoberoende.

Våglängden för böjvågorna i plankornas längdriktning ges av uttrycket: $\lambda_B = 14,01 / \sqrt{f}$, vilket innebär att $\lambda_B = 0,89$ m vid 250 Hz. Detta motsvarar att $\lambda_B \approx 1,5 l$, där l är avståndet mellan bjälkarna dvs 0,6 m.

Ovanstående iakttagelser gör det emellertid inte lättare att förklara det observerade fenomenet utan här fordras uppenbarligen en teoretisk analys som är anpassad till den speciella situationen. Det skulle vara mycket intressant att studera strukturen vidare med fler praktiska försök och en teoretisk analys. Tex skulle man säkert kunna hämta intressant information om hur strukturen svänger med sk modalanalys. Ett sådant arbete har dock inte kunnat inrymmas i projektet men idén förs fram här eftersom problemet uppenbarligen måste vara intressant även när det gäller nya byggnader med träbjälklag.

En fråga som avslutningsvis bör besvaras när det gäller resonansproblematiken är huruvida det istället möjligen kan röra sig om ett koincidensfenomen där böjvågor utbreder sig i och längs med bjälkarna. Vid 250 Hz är våglängden i luft ca 1,37 m, vilket är mer än dubbla avståndet mellan två bjälkar. Bjälklaget har ett tröghetsmoment i den styva riktningen som räknat på hela bjälklagsbredden är lika med

$$7 \cdot \frac{0,067 \cdot 0,22^3}{12} = 0,000416 \text{ (m}^4\text{)}$$

Vi har då räknat med 7 bjälkar. Böjstyvheten per enhetsbredd blir då

$$B = 11 \cdot 10^9 \cdot 0,000416/4,3 = 10,65 \cdot 10^5 \text{ Nm}$$

Golv- och takpanelerna bör inte ge något tillskott till styvheten i denna riktning eftersom längsskarvarna mellan plankorna inte kan ta upp några dragspänningar. Sätter vi sedan m till 33 kg/m^2 som gäller för det tomma bjälklaget TU 0 så erhålles $f_{c, \text{bjälke}} = 102 \text{ Hz}$. Vid denna frekvens kan man inte iakttaga någon ljudisoleringsförsämring i figur 22 varför frågeställningen kan överges. Skulle det ha varit ett koincidensfenomen av denna art så skulle man naturligtvis inte heller fått det beroende av hammarapparatpositionerna som observerats enligt resultaten i figur 25.

KOINCIDENSFENOMENET:

Koincidensfenomenet vid 630 Hz har redan diskuterats men det finns ytterligare förhållanden som är värda att kommenteras.

Om man räknar med de E-moduler som angivits ovan erhålles att $f_c = 600 \text{ Hz}$ och att böjvåglängden är 0,57 m. Detta stämmer nästan exakt med avståndet mellan bjälkarna. För bjälkarna gäller dessutom att bjälkarnas höjd ungefärligen motsvarar halva böjvåglängden i bjälken ($\lambda_B/2 = 0,23 \text{ m}$). Vi har således en koincidens, ett sammanträffande i flera avseenden. Detta kan förklara varför koincidensen är så pass markerad trots att den ogynnsamma vågutbredningen bara förekommer i en riktning dvs parallellt med plankorna. Dessa förhållanden kan också möjligen förklara varför koincidensfrekvensen synes vara ovillig att skifta frekvens trots att takpanelen i flera av bjälklagsalternativen var belastade med en avsevärd massa.

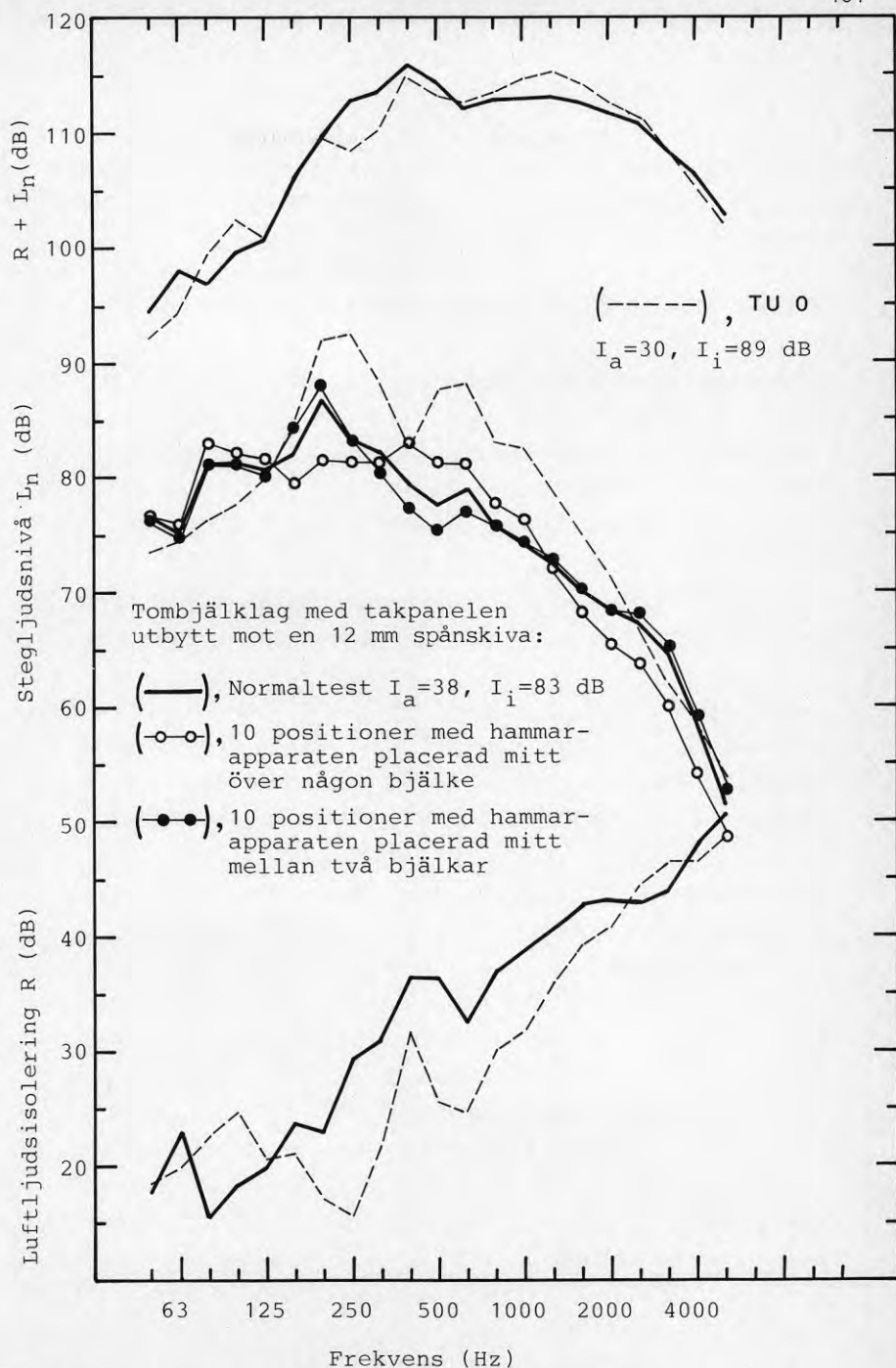
Koincidensfrekvensen som innebär att $c_B = c_{\text{luft}}$ (340 m/s) ges av uttrycket

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} (m/B)^{1/2} \quad (34)$$

I fallet när takpanelen är belastad med sand bör B ges av takpanelens styvhet medan m bör motsvara summan av panelens och sandens vikt per areaenhet. För t ex bjälklag TU 3 skulle detta innebära att f_c blir 1630 Hz. Likväl visar figur 24 att försämringen ligger kvar vid 630 Hz även med sandfyllningen.

Det är dock ingen tvekan om att koincidensfrekvensen för själva takpanelen är en mycket viktig parameter vilket illustreras av det experiment som redovisas i figur 33. I detta fall byttes takpanelens plankor mot en 12 mm tjock spånskiva med densiteten 700 kg/m^3 . En sådan skiva bör ha sin koincidensfrekvens vid 2600 Hz om man räknar med E-modulen $3 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$. Som vi också kan se av tombjälklagsresultaten i figur 33 så försvinner den höga toppen vid 630 Hz och istället kan man förmärka en viss försämring vid 2500 Hz även om denna inte alls är lika stark som tidigare. Kurvorna får ett väsentligt rakare förlopp än tidigare och t ex stegljudsspektret påminner om det som observerats med putsade tak enligt figur 18.

I samband med den vanliga mätningen på detta bjälklag så testades även betydelsen av olika hammarapparatpositioner på samma sätt som i figur 25. De erhållna resultaten stämmer mycket väl med vad som hände i det tidigare experimentet. Stegljudstoppen som nu minskat och flyttat till 200 Hz p g a att konstruktionen inte längre är symmetrisk, exciteras bara när hammarapparatens placeras mellan bjälkarna. Likaså alstras ca 5 dB



FIGUR 33. Uppmätta ljudisoleringsvärden för ett tombjälklag med vikten 31 kg/m^2 där grundstommens takpanel utbytt mot en 12 mm spånskiva. Resultaten kan jämföras med resultaten för TU 0 (33 kg/m^2). Figuren innehåller även stegljudsspektrer erhållna med alternativa hammarapparatpositioner.

högre stegljudsnivåer vid 630 Hz när hammarapparaten placeras mitt på någon bjälke än i förhållande till när den placeras mitt mellan två bjälkar.

Figur 33 visar också genom jämförelsen med resultaten för TU 0 nackdelarna med att använda sig av en symmetrisk konstruktion.

6.2.7 Typiska stegljudsnivåspektrum

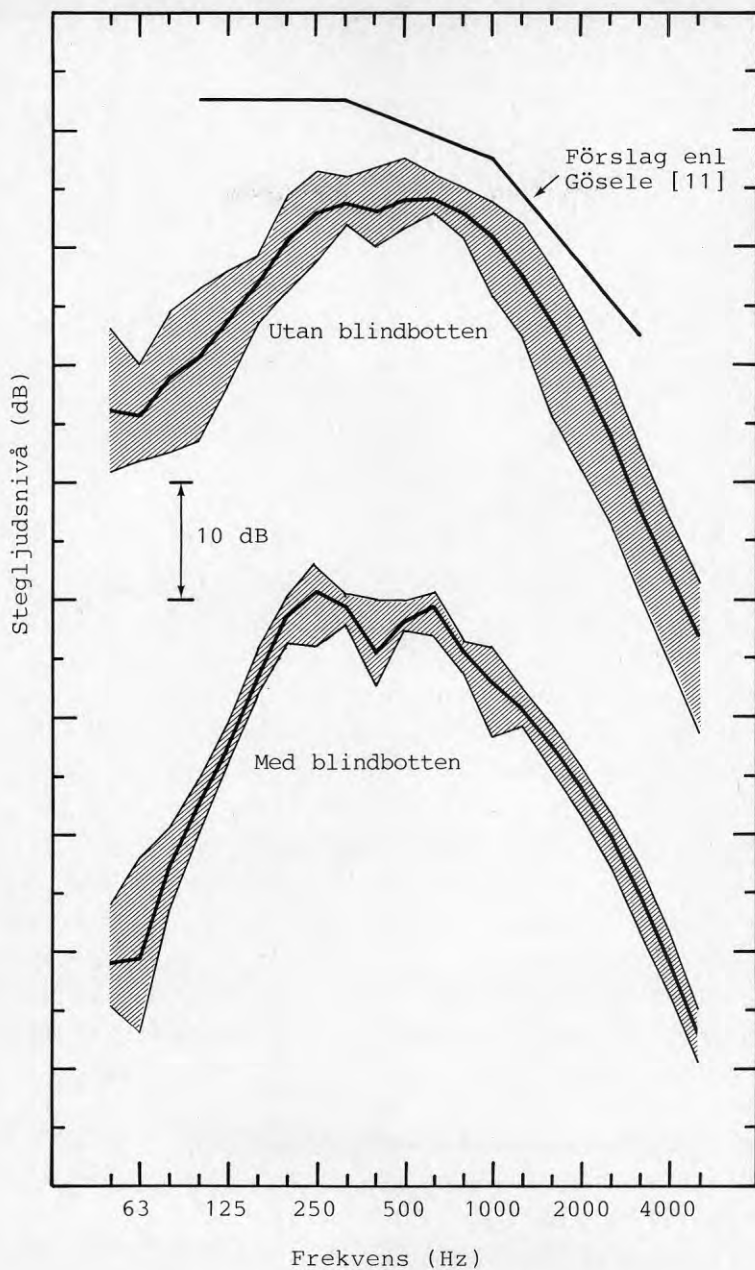
På samma sätt som tidigare (avsnitt 5.2.2) så har typiska stegljudsspektrum beräknats för de studerade trähusträbjälklagen med respektive utan blindbotten. Mätresultaten för följande bjälklag har använts för denna beräkning.

Utan blindbotten: TU 1-6, Lejonet och Hämplingen

Med blindbotten: TM 1-4, Figur 4 och Figur 5

Underlaget består således både av fält- och laboratoriemätningar. För de fältsfall där det förekom någon golvbeläggning typ linoleum så användes bara mätresultaten t o m 1000 Hz.

Beräkningarna har gjorts på samma sätt som tidigare, dvs genom att förskjuta spektrerna i nivåled så att alla stegljudsspektrerna erhöll samma medelnivå för intervallet 100 till 1000 Hz. Resultaten presenteras i figur 34. Liksom i figur 18, som visar ett typiskt spektrum för stenhusträbjälklag, så stämmer dessa spektrum dåligt med den referenskuva som föreslagits av Gösele. Det förefaller alltså vara väl motiverat att använda de spektrum som har beräknats och att förkasta den föreslagna referenskurvan enligt Gösele. För att inte kasta någon skugga över Göseles förslag bör det påpekas att detta förslag huvudsakligen gällde moderna träbjälklag och inte den gamla typen av våningsbjälklag som avses här .



FIGUR 34. Typiskt stegljudsspektrum för trähusträbälklag med tak av 1" plank. Det rasterade området motsvarar variationsområdet för de individuella bjälklagen.

6.3 Ett stenhusträbjälklag

6.3.1 Konstruktion -----

Samma grundstomme användes som tidigare, dvs 67 mm x 220 mm träbjälkar med ett centrumavstånd på 600 mm. Som golvpanel användes 22 mm spontade brädor liksom i trähusbjälklagen medan takpanelen byttes ut mot glespanel plus enkelrörning och puts. Glespanelen konstruerades av 22 mm x 67 mm ospontade plankor och skruvades till bjälkarna med ett inbördes mellanrum på ca 18 mm. Rörningen utfördes av torkade och skalade vassrör som fästes mot glespanelen med hjälp av två lager galvaniserat hönsnät.

Putsningen utfördes av en erfaren murare. Som material användes Cements konventionella kalkbruk i kvalitetsgrupp E. Detta bruk är blandat i viktandelarna släckt murkalk E/sand = 100/1050. Putsningen utfördes i två omgångar med 1 veckas intervall. Först utfördes en grundning och sedan en avjämning. Vid grundningen tillsattes 12 kg standardcement för att höja vidhäftningen hos grundskiktet. Det totala putsskiktet fick en tjocklek på ca 22 mm inkl rörningen. Efter putsningen fick bjälklaget vila i drygt en månads tid (52 dagar) före några mätningar genomfördes. Denna period inföll lägligt i samband med semestrarna, vilket säkerställde en god härdning hos putsskiktet. Bjälklaget kunde lyftas på plats i stegljudslaboratoriet straxt före mätningarna utan att några synbara sprickor uppstod i putsskiktet.

Två fotografier som togs under arbetet med bjälklaget återges i bild 9.

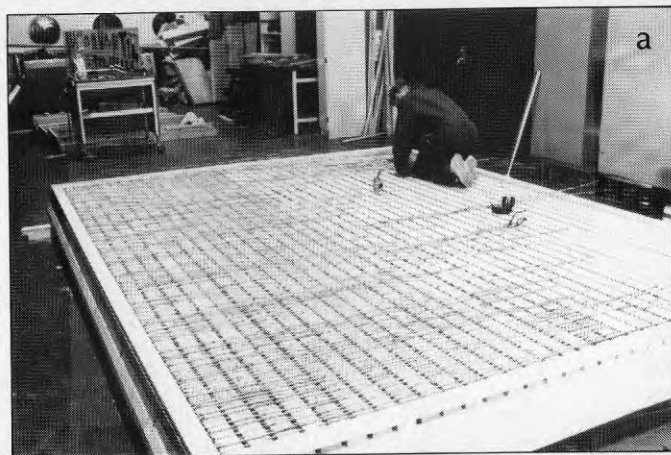


BILD 9. Uppbyggnad av stenhusbjälklag med puts på rörning i provningsanstaltens laboratoriehall.

a. Montering av vassrör och ståltrådsnät på glespanelen

b. Putsning med konventionellt kalkbruk

Bjälklaget konstruerades i övrigt enligt bjälklag TM 1 i tabell 12, dvs med en lågt liggande blindbotten plus ca 150 mm sågspånsfyllning. Det nya bjälklagsalternativet betecknas i fortsättningen som konstruktion SM 1.

6.3.2 Mätresultat

Steg- och luftljudsisoleringresultaten för stenhusbjälklaget presenteras i figur 35. För att underlätta jämförelser med TM 1 så har även resultaten för detta syskonalternativ inkluderats i figuren.

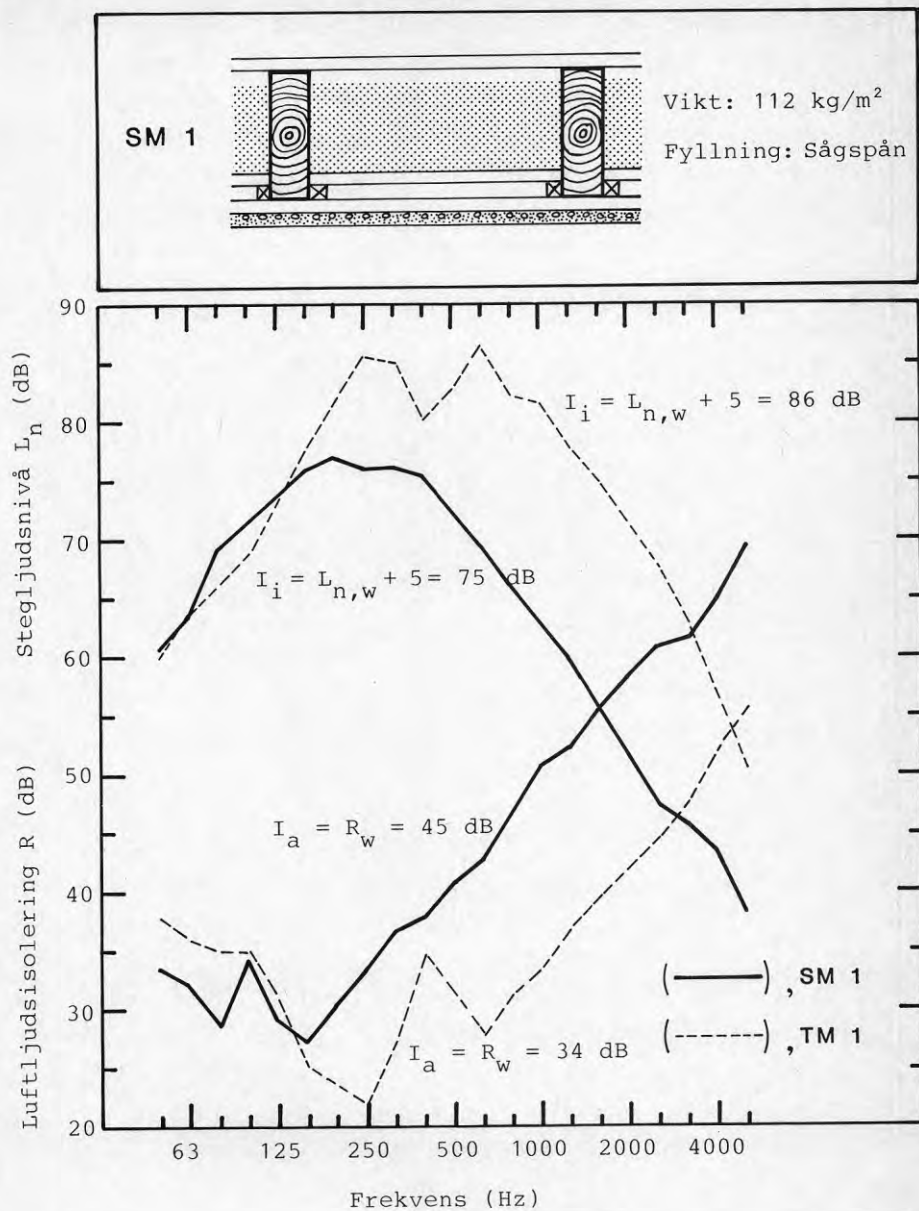
Resultaten visar att det putsade taket medför en stor ljudisoleringförbättring för tersbanden över 160 Hz, vilket också avspeglar sig i isoleringsindexen. Samtliga luft- och stegljudsindex för SM 1 är 11 dB bättre än motsvarande värden för TM 1. Denna förbättring kan direkt förklaras av viktökningen hos takpanelen. Om man tillämpar masslagen på takpanelen och beräknar uttrycket

$$20 \lg m_S/m_T$$

där m_S är SM 1-takets ytvikt och m_T är motsvarande ytvikt för TM 1, erhålles resultatet

$$20 \lg (40,2/9,6) = 12 \text{ dB.}$$

Erfarenheten att de putsade taken ger stenhusbjälklagen en väsentligt bättre ljudisolering än trähusbjälklagen, stämmer väl med de tidigare fälterfarenheterna, se t ex figur 17.



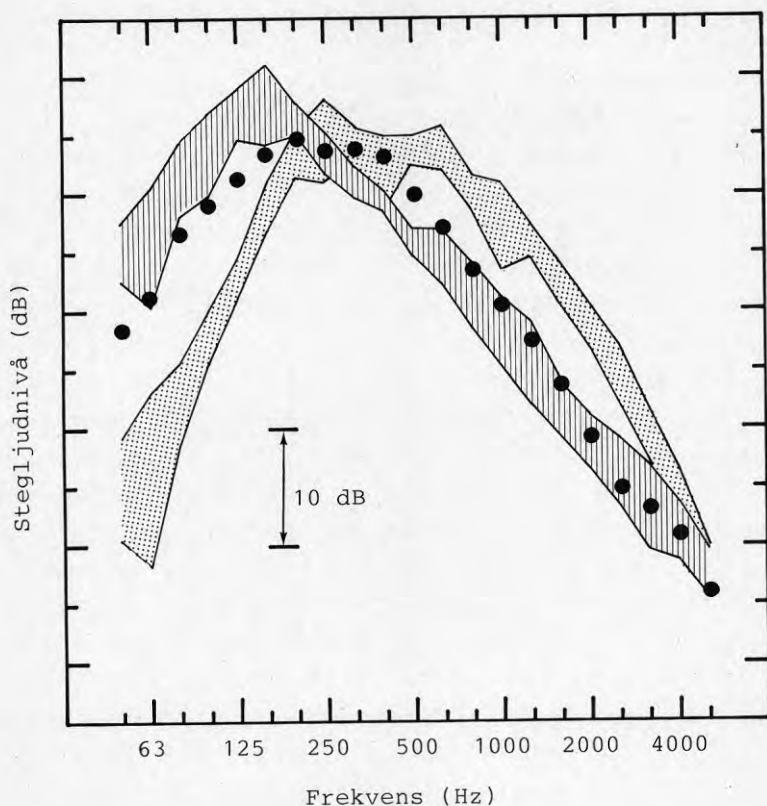
FIGUR 35. Mätresultaten för stenhusbjälklaget SM 1 presenterade tillsammans med resultaten för det motsvarande trähusbjälklaget TM 1.

Om vi återvänder till figur 35 så bör även resultaten i lågfrekvensområdet kommenteras. Skillnaden mellan SM 1 och TM 1 är här liten och det är snarare det omvända förhållandet, dvs SM 1 uppvisar något sämre ljudisoleringsvärden än TM 1 i detta frekvensområde. Förklaringen är naturligtvis att de dominerande resonansartade fenomenen ligger lägre i frekvens för SM 1 än för TM 1.

En ytterligare intressant iakttagelse kan göras i figuren. För trähusbjälklagen gällde på ett påtagligt sätt att luftljudskurvan var en spegelbild av stegljudskurvan. Detta är inte längre lika påtagligt för SM 1 vars luftljudsisoleringskurva har de lägsta värdena vid 80 och 160 Hz medan de högsta stegljudsnivåerna återfinns från 160 Hz till 400 Hz. Motsvarande förvrängning kan även observeras i figur 33 som också gällde en osymmetrisk konstruktion. Med osymmetrisk menas i detta fall att golv- och takpanelerna är väsentligen olika.

6.3.3 Stegljudsspektrets form

Om man nu går vidare och jämför stegljudsresultaten för SM 1 med de tidigare presenterade erfarenheterna för stenhusbjälklagen enligt figur 18, så ser man att SM 1-spektret har en annorlunda form än man kunde förvänta sig. Jämförelsen återges i figur 36. Av figuren framgår att SM 1-spektret har en bredare topp än vad som karakteriserade de tidigare fältresultaten. Avvikelsen är speciellt markant för tersbanden 315, 400 och 500 Hz.



FIGUR 36. De uppmätta stegljudsnivåerna för SM 1 (●) tecknade i relation till variationsområdena för stegljudspektrerna dels för bjälklagen med putsade tak enligt figur 18 (▨) och dels för trähusbjälklagen med blindbotten enligt figur 34 (▩). Kurvorna är tillpassade i höjdlid, så att samtliga har samma stegljudsnivåmedelvärde för frekvensintervallet 100 till 1000 Hz.

I figuren har även det typiska variationsområdet för trähusspektrerna enligt figur 34 ritats in. Av detta framgår att SM 1-spektret är ett sorts mellanting mellan de tidigare stenhusspektrerna (6 fältmätningar) och trähusspektrerna (2 fältmätningar och 4 laboratoriebjälklag samtliga med blindbotten). Flyttar man t ex upp SM 1-spektret två terser, så får man en god överensstämmelse med det typiska trähusspektret.

När stegljudsnivåmätningen genomfördes för SM 1 så gjordes följande intressanta iakttagelser, vilket kan vara värt att notera i detta sammanhang. När hammarapparaten placerades mitt mellan två bjälkar så erhöles ett stegljudsspektrum med enbart en markerad resonanstopp vid 160 Hz, dvs ett typiskt stenhusspektrum. Gällde det emellertid en position mitt över en bjälke eller nära en bjälke så erhöles ett typiskt trähusspektrum, dvs med två markerade resonanstoppar. Den första toppen låg vid 125 och 160 Hz medan den andra toppen låg vid 315 och 400 Hz. Detta förefaller vara precis samma fenomen som kunde iakttas i figur 25 och 33. Det är alltså de positioner som ligger direkt över någon bjälke som främst framkallar den avvikelse som erhöles i förhållande till det tidigare erfarenhetsmaterialet med putsade tak. Frågan är vad som framkallar fenomenet och vilka konstruktionsparametrar det är som är viktiga i sammanhanget.

I trähusbjälklagen berodde denna ljudisoleringsförsämring främst på att det förelåg koincidens. Låt oss därför kontrollera koincidensfrekvenserna för det putsade taket. Eftersom taket har olika böjstyvhet parallellt respektive vinkelrätt med glespanelen kan man liksom tidigare räkna ut två koincidensfrekvenser för enbart själva takskivan.

I den vertikala riktningen, för böjvågor som breder ut sig vinkelrätt mot glespanelen, ger inte glespanelen något tillskott till böjstyvheten utan enbart till massan. Med gängse uttryck erhåller man följande intervall för koincidensfrekvensen

$$f_{cl} = 2010 - 3190 \text{ Hz}$$

Anledningen till varför resultatet ges som ett intervall är att osäkerhet råder beträffande putsskiktets E-modul. Enligt handboken BYGG (Band II, 1961, tabell II:3) anges intervallet

$$E = 2 - 5 \cdot 10^{-9} \text{ Pa}$$

för kalkbruk.

Studerar man figur 35 så kan man spåra en svag tendens till en försämring hos ljudisoleringskurvorna vid 3000 Hz. Eftersom detta ligger så pass högt upp i frekvens kan inte dessa böjvågor vara förklaringen till det diskuterade fenomenet. Det är dessutom långsökt att tänka sig att konstruktionen exciteras till böjvågor i denna riktning, när man betänker att vibrationerna överförs från golv till tak via bjälkarna.

Anledningen till att putsskikt kan få mycket olika E-modul beroende på förutsättningarna har studerats ingående i referens [36]. De variabler som studerats i detta arbete är

bindemedelstyp
putsunderlag
härdningsklimat
härdningstid

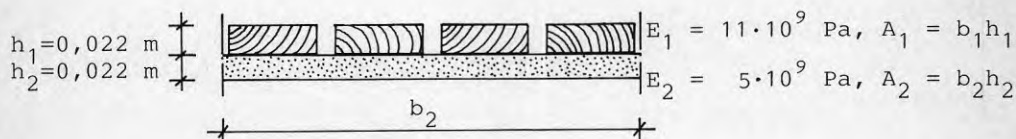
I arbetet ingår prov med samma kalkbruk som använts till laboratoriebjälklaget. Mätningar har genomförts på homogena puts-skikt, dvs utan t ex armering i form av ståltrådsnät och dyligt, och man har mätt upp bl a den dynamiska E-modulen som funktion av puts-skiktets ålder.

Ser man till de olika detaljerna så visar rapporten att underlagets inverkan på E-modulen är mycket stor. Ett sugande underlag ger nästan en fördubblad E-modul jämfört med ett icke sugande vattentätt underlag. I vårt fall kan underlaget för avjämnings-skiktet betraktas som sugande medan det är mera osäkert beträffande grundskiktet. Härdningsklimatet visade sig inte ha någon stor inverkan på E-modulens slutvärde efter ett års härdning. Härdningen gick dock väsentligt snabbare under de första månaderna vid 95 % r.f än vid 65 % r.f. I vårt fall bör resultaten erhållna vid 65 % r.f och 20 °C vara mest representativa eftersom bjälklaget var placerat inomhus.

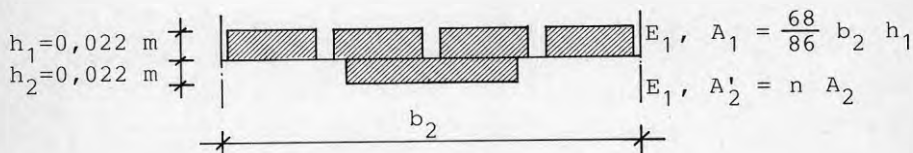
Med ledning av resultaten i referens [36] har puts-skiktets dynamiska E-modul uppskattas till $5 \cdot 10^9$ Pa exkl rörningen. Denna uppgift gäller som en uppskattning efter 2 månaders härdning (karbonatisering) och hänsyn har även tagits till den E-modulhöjning man får av tillskottet av cement till grundskiktet. Den fortsatta härdningen avtar sedan snabbt som funktion av tiden.

Den högsta E-modulen som uppmättes för denna putstyp var $6 \cdot 10^9$ Pa. Detta resultat erhöles för puts applicerad på sugande lättbetong och som lagrats i ett härdningsklimat som var 95 % r.f och 20 °C under 1 år.

För att beräkna böjstyvheten hos taket för de böjvågor som utbreder sig parallellt med glespanelsplanken, måste man beräkna böjstyvheten hos det sammansatta skiktet glespanel + puts:



Böjstyvheten hos detta skikt beräknas lämpligen genom att det ersättes med följande modell, som givits en enhetlig E-modul (se BYGG 151:612) med hjälp av relationen $n = E_2/E_1$.



Tröghetsmomentet I ges då av uttrycket

$$I = \frac{A_1 \cdot h_1^2}{12} + \frac{A_2' \cdot h_2^2}{12} + \frac{A_1 A_2'}{A_1 + A_2'} [(h_1 + h_2)/2]^2 \quad (35)$$

Böjstyvheten per enhetsbredd, vilket innebär att $b_2 = 1 \text{ m}$, erhålles sedan genom att tröghetsmomentet multipliceras med E_1 .

Tillämpas dess uttryck erhålles att

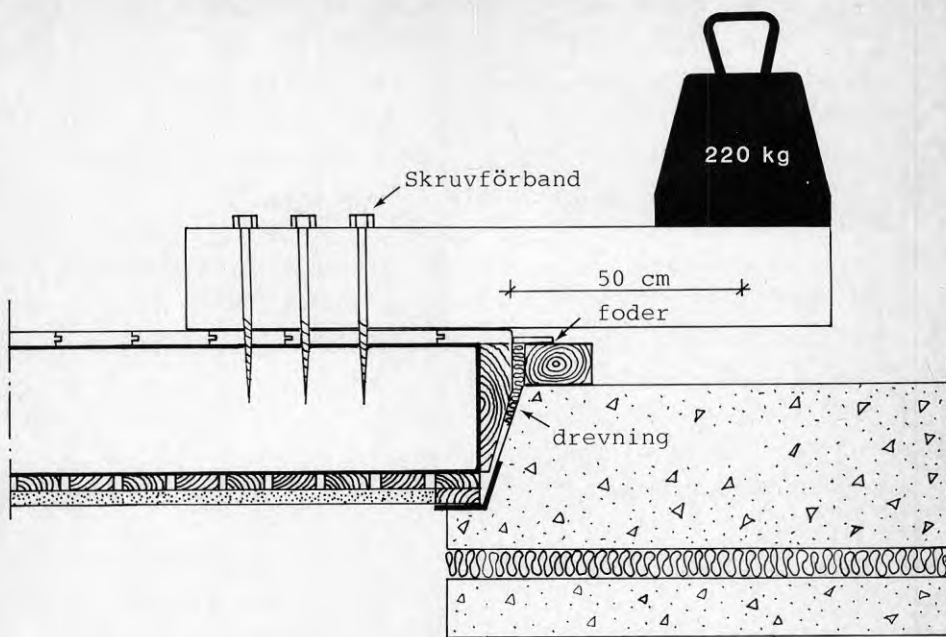
$$f_{c//} = 544 \text{ Hz}$$

Detta är lite högre än förväntat vilket möjligen kan förklaras av att armeringen av putsskiktet försumrats. Fenomenet bör alltså ha sin förklaring på samma sätt som i träbjälklagsfallen, nämligen genom att det föreligger koincidens i detta frekvensområde.

Frågan blir då snarare den omvända: Varför syns inte detta tydligare när det gäller fältmätningarna? En förklaring kan vara att underlaget till figur 18 är otillräckligt och baserat på för få mätningar. Man kan också tänka sig att vidhäftningen mellan putsskiktet och glespanelen går förlorad med tiden i de gamla husen. Putsskiktet hänger då i armeringen och kan svänga relativt fritt, vilket innebär att koincidens istället bör föreligga runt 1600-2000 Hz för ett 20 mm putsskikt. Detta resonemang förefaller att kunna stämma om man jämför med luftljudsresultaten i figur 19 som uppvisar en klar försämring i detta område.

Alternativt föreligger någon brist i laboratorieförsöket. Jämför man laboratoriekonstruktionen med bjälklagen i de faktiska byggnaderna så finns det några avvikelser som möjligen är viktiga för funktionen. För det första är laboratoriebjälklaget fritt upplagt längs provöppningens perimeter. Bjälklaget ligger på en bärande järnlist längs hela sin omkrets. Mellanrummet har sedan drevats med mineralull och tätats med tejp och träfoderlister.

I faktiska byggnader är naturligtvis bjälklaget inspant på ett eller annat sätt vid vägganslutningarna. Några smärre försök har genomförts i laboratoriet för att kontrollera om detta har någon betydelse, dock utan att någon inverkan har kunnat påvisas. Bl a gjordes stegljudsmätningar med hammarapparaten placerad mitt på en bjälke och nära kanten på bjälklaget. Efter en vanlig test i denna position påfördes bjälken en belastning och ett moment enligt vidstående skiss.



Den påförda belastningen gav ingen ändring av det karakteristiska dubbeltoppsspektret. På detta sätt har naturligtvis inte bjälkens förlustfaktor kunnat ändras i nämnvärd utsträckning. Försök med inkilning av bjälklaget mot provöppningen längs hela dess omkrets gav emellertid inte heller någon inverkan. Ytterligare experiment med denna inriktning kommer eventuellt att genomföras inom ett kommande Nordtest-projekt, vars målsättning bl a är att fastställa regler för hur man skall mäta på förbättringsåtgärder avsedda för gamla träbjälklag.

En annan faktor som är viktig är golvet's uppbyggnad. Denna fråga diskuteras vidare i nästa avsnitt.

I ett av fältobjekten som följdes noggrannt förekommer ett bjälklag som är mycket likt SM 1. Det aktuella objektet är Staren Nr 4. Konstruktionsdetaljerna för Staren och SM 1 kan jämföras i tabell 13.

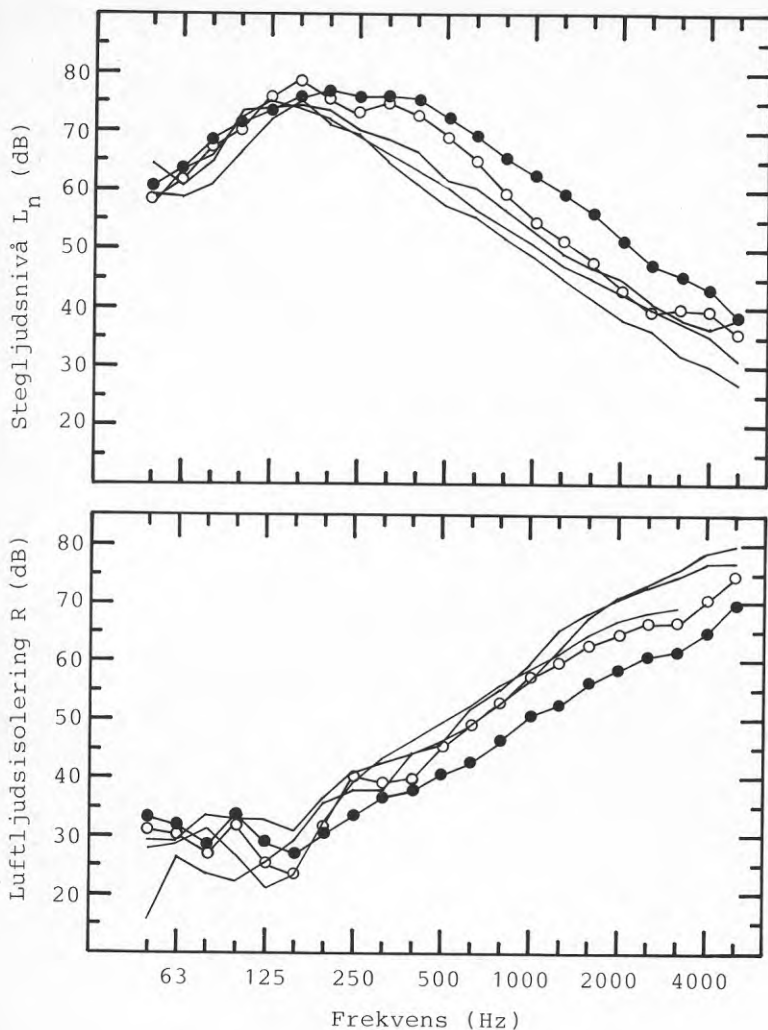
Fyra mätplatser studerades i Staren före ombyggnaden. I ett av mätrummen bestod golvbeläggningen av en plastmatta som var limmad mot en 3 mm tjock hård träfiberskiva. Detta mätfall studeras inte här eftersom plastgolvs egenskaper inte är kända och väldefinierade. I de övriga tre mätfallen låg det ett golv av 20 mm massiv ekparkett direkt på golvplankorna.

TABELL 13. Konstruktionsdetaljerna för SM 1 och det lägenhetsskiljande bjälklaget i fältobjektet Staren Nr 4.

Detalj	Staren	SM 1
Golvbeläggning	20 mm massiv ekparkett	-
Golvspont	22 mm x 100 mm	22 mm x 130 mm
Bjälkar	75 mm x 220 mm c/c 500 mm	67 mm x 220 mm c/c 600 mm
Blindbotten	19 mm + papp 32 mm luftspalt	22 mm + papp 23 mm luftspalt
Fyllning	140 mm sågspån	150 mm sågspån
Glespanel	25 mm	22 mm
Puts	27 mm med rörning	22 mm med rörning

En jämförelse mellan mätresultaten för Staren och SM 1 redovisas i figur 37. Överensstämmelsen är mycket god i lågfrekvensområdet men blir sedan ganska dålig från 250 Hz och uppåt. Ett försök gjordes därför att efterlikna det massiva parkettgolvet. En 19 mm golvspånskiva skruvades direkt mot brädgolvet utan något mellanlägg. Ett spånskivegolv är naturligtvis inte helt likvärdigt med ett gammalt massivt ekgolv, men resultaten som uppmätts med golvspånskivan och som inkluderats i figur 37 visar att överensstämmelsen lab/fält nu blivit väsentligt bättre. Överensstämmelsen är speciellt god för luftljudsisoleringensresultaten. Att ett massivt parkettgolv ger en ljudisoleringsförbättring över 250 Hz framgick för övrigt även av resultaten för det extra ombyggnadsobjektet i figur 19.

Detta visar hur viktigt det är att ta hänsyn till alla detaljer hos det gamla bjälklaget om man vill göra en laboratoriekopia eller försöka uppskatta ljudisoleringen.



FIGUR 37. Jämförelse mellan ljudisoleringens värden uppmätta i fält respektive i laboratorium för bjälklag med putsat tak, blindbotten och sågspånsfyllning.

- (—), Fältmätningar - objekt Staren nr 4 med parkettgolv
 $I_a = 44, 47, 50$, $R'_w = 48, 47, 50$, $I_i = 70, 70, 71$, $L'_{n,w} = 63, 65, 65$ dB
- (●●●), Laboratorietest - bjälklag SM 1 enligt figur 35
 $I_a = R_w = 45$, $I_i = 75$, $L_{n,w} = 70$ dB
- (○○○), Laboratorietest - bjälklag SM 1 men med en 19 mm golvspånskiva skruvad mot golvbrädorna
 $I_a = 45$, $R_w = 46$, $I_i = 74$, $L_{n,w} = 69$ dB

- [1] Sven-Erik Bjerking 1974, BFR-rapport R 32:1974. Ombyggnad. Hur bostadshusen byggdes 1880-1940.
- [2] Sven-Erik Bjerking 1978, BFR-rapport R 106:1978. Ombyggnad. Hur bostadshusen byggdes 1940-1970.
- [3] C. Björk, P. Kallstenius och L. Reppen 1983, Statens råd för byggnadsforskning & Stockholms stadsbyggnadskontor, Rapport T 1:1984. Så byggdes husen 1880-1980. Arkitektur, konstruktion och material i vår flerbostadshus under 100 år.
- [4] Kaj Bodlund 1980, BFR-rapport R 60:1980. Luftljudsisolering. En sammanställning av tillämplig teori.
- [5] Jørgen Kristensen 1983, Statens Byggeforskningsinstitut. Anvisning 136. Bygningers lydisolering. Äldre byggnader.
- [6] Per V. Brüel 1948. Chalmers Tekniska Högskolas handlingar Nr 86. Lydisolationsmätningar i byggnader.
- [7] Kaj Bodlund 1984, BFR-rapport R 96:1984. Ljudklimatet i moderna svenska bostäder.
- [8] Rockwool AB a) rapport nr A17, 1966
b) rapport nr A162, 1970
- [9] Jørgen Kristensen och Leonard J. Petersen 1982, Statens Byggeforskningsinstitut, Meddelelse 11. Förbedring af en traditionel traetageskillelises lydisolation med gipspladebeklaedt underloft.
- [10] K. Gösele 1981. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München, Informationsheft: Schallschutz mit Holzbalkendecken.
- [11] K. Gösele 1979. Holz als Roh- und Werkstoff 37, s 213-220. Verfahren zur Vorausbestimmung des Trittschallschutzes von Holzbalkendecken.
- [12] Nordtest-metod NT ACOU 034-1980. Floor coverings: Rating of impact sound improvement.
- [13] Kaj Bodlund 1980. Statens provningsanstalt SP-RAPP 1980:23. Tillämpning av golvbeläggningars stegljudsdämpningsdata på betongbjälklag.
- [14] Statens provningsanstalt SP-INFO 1984:17, 1984-10-01. Stegljudstestade golvbeläggningar för betongbjälklag 83/84.

- [15] Leo L. Beranek 1971. Noise and Vibration Control, p 322. Mc Graw-Hill Book Company.
- [16] T. Smith et al. 1971 Building Acoustics. Oriel Press Limited, England.
- [17] Jan Hagstedt och Peter Nyström 1977, BFR-rapport R 91:1977. Skiljande träkonstruktioner. Ljud-, brand- och värmeisolerande egenskaper.
- [18] Building Research Establishment Digest 293, 1985. Improving the sound insulation of separating walls and floors. BRE, Watford, England.
- [19] Sven-Erik Bjerking 1979. BFR-rapport R 50:1979. Ombyggnad. Brandskyddsåtgärder i äldre bostadshus.
- [20] Bo Nyström 1984. Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Kurzreferate der 10. Tagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik DAGA' 84, s 359-362. Wie es möglich ist mit einer dünnen holzfaserplatte die schalldämmung in gebäuden erheblich zu verbessern.
- [21] Leif Näsholm 1979, KTH examensarbete i byggnadsteknik. Ljudisolering av golv med träbjälklag. Fullskaleprov med flytande golv.
- [22] Ove Brandt 1958, Statens Nämnd för byggnadsforskning. Handbok nr 1. Akustisk planering.
- [23] Kaj Bodlund 1985. Journal of Sound and Vibration 102(3), 381-402. Alternative reference curves for evaluation of the impact sound insulation between dwellings.
- [24] J. A. Austnes & S. Hveem 1983, Norges byggforskningsinstitut. Rapport 90. Lydisolerende lette flytende golv.
- [25] AB Gyproc, 1985. Gyproc handbok, kapitel 5 - Renovering och Ombyggnad.
- [26] Kaj Bodlund 1985. Statens provningsanstalt rapport SP-RAPP 1985:1. Rating of impact sound insulation between dwellings.
- [27] Kaj Bodlund och Lennart Månsson 1986. SP-INFO 1986:19. Brand- och ljudisoleringsdata för sex ombyggnadsobjekt med träbjälklag.

- [28] Svensk standard SS 02 52 52 (1983). Byggakustik - Mätning av ljudisolering i byggnader - Tillämpningar.
- [29] Svensk standard SS 02 52 54 (1980). Byggakustik - Mätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement - Internationell standards giltighet som svensk standard.
- [30] Svensk standard SS 02 52 63 (1986). Byggakustik - Mätning av ljudnivå i rum - Fältprovning.
- [31] Nordtest method NT ACOU 042 (1983). Rooms: Noise level.
- [32] AB Gyproc, 1982. Gyproc handbok.
- [33] Statens provningsanstalt SP-MET 1978:1 (Utgåva 2) Stegljudslaboratoriet.
- [34] Sven Ohlsson, BFR-rapport T20:1984. Svikt, svängningar & styvhet hos bjälklag. Dimensioneringsmetoder.
- [35] Beranek, Noise and Vibration Control 1971. Mc Graw-Hill, Inc.
- [36] K Sandin, Avd för Byggnadsmateriallära, LTH Rapport TVBM-3023, 1985. Putskvalitet. Inverkan av olika faktorer.
- [37] J Kristensen och L.J Petersen 1986. Statens Byggeforskningsinstitut. Lydisolation mellem boliger. En undersøgelse i ældre bygninger med træetageadskillelse.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830282-7
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
provningsanstalt, Borås.**

R54: 1987

ISBN 91-540-4719-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707054

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och materia**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 57 kr exkl moms