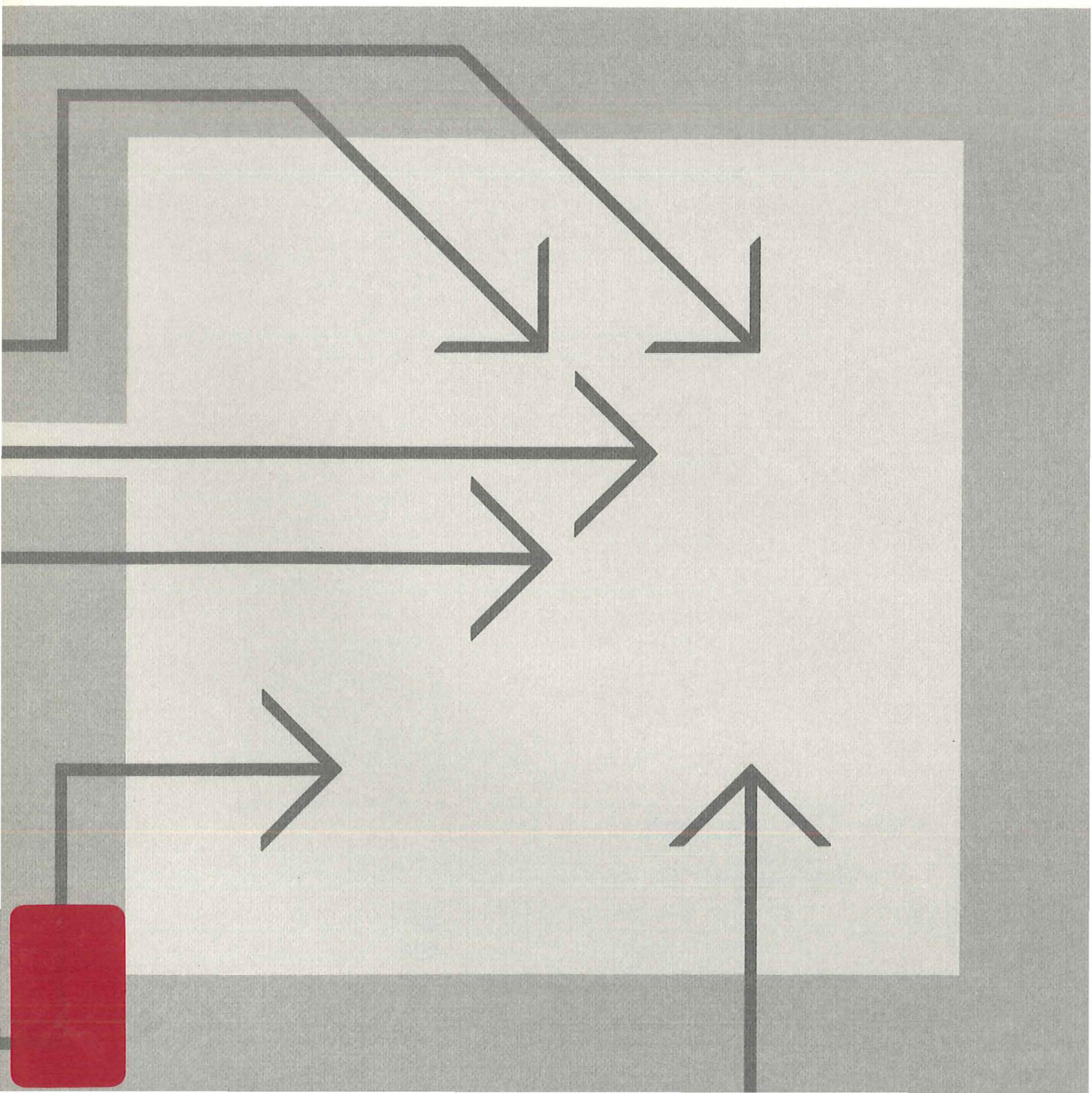


Lydisolation i betonbyggeri



Litteraturstudie om transmissionsveje og undersøgelse af understopningens indflydelse

SBI-RAPPORT 101 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1977



LYDISOLATION I BETONBYGGERI

*Litteraturstudie om transmissionsveje og
undersøgelse af understopningens indflydelse*

JØRGEN KRISTENSEN

01066P
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
u.4
29 AUG. 1996



SBI-publikationer

Statens Byggeforskningsinstituts publikationer udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Landbrugsbyggeri, Byplanlægning, Lydpjecer, Fugtpjecer, Ydeevnebeskrivelser, Særtryk og Nomogrammer. Salg sker gennem boghandelen eller direkte fra SBI. Instituttets årsberetning og publikationsliste med de seneste 10 års udgivelser er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement

Instituttets publikationer kan også fås ved at tegne et abonnement. Dét sikrer samtidig løbende orientering om alle nye udgivelser. Der kan vælges mellem fire abonnementer omfattende forskellige af de udgivne serier. Information om abonnementernes omfang og vilkår fås hos SBI.

ISBN 87-563-0266-5.

Pris: Kr. 68,45 incl. 18% moms.

Oplag 1.000.

Tryk: Dyva Bogtryk.

Statens Byggeforskningsinstitut:

Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 02-86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

SBI-rapport 101: Lydisolation i betonbyggeri. 1977.

Indhold

Forord	side 5
Indledning	side 6
Lydens udbredelse i bygninger	side 7
Dæmpning af lyd under udbredelse i konstruktioner, 9	
Lydtransmission mellem naborum, 10	
En adskillende bygningsdels lydisolation	side 11
Enkeltkonstruktioner, 11	
Dobbeltkonstruktioner, 12	
Definition af adskillende bygningsdeles reduktionstal, 14	
Vurdering af måleresultater, 14	
Måling af skillevægges lydisolation, 15	
Måling af flanketransmission, 17	
Samlingers indvirkning på lydisolationen	side 20
Samling ved loft, 20	
Samling ved gulv, 20	
Samling ved facader af beton og tegl, 20	
Samling ved indvendige vægge, 22	
Samling ved lette facader af snedkerkomponenter, 22	
Forøgelse af lydisolation ved anvendelse af lydisolerende beklædninger, 22	
Lydtransmission gennem utætheder, 23	
Utætheders indvirkning på måleresultater, 24	
Udførelse af målinger i råhuse	side 25
Valg af undersøgelsesobjekter, 25	
Erfaringer med utætheder i samlinger mellem bygningsdele, 25	
Samling mellem væg-dæk og væg-gulvoverside, 25	
Samling mellem væg-facade og snedkerkomponenter, 26	
Samling mellem væg-facadevæg, 26	
Samling mellem tværvæg og langsgående væg, 26	
Samling mellem dæk-facadevæg, 26	
Utætheder i skillevægge, 26	
Supplerende målinger på huller og fuger, 26	
Lydisolation i råhuse og færdige huse, 27	
Konklusion	side 31
Resumé	side 31
English summary	side 32
Litteratur	side 33

Forord

Ved oprettelsen af Byggeriets Akustiske Målestation i 1967 vedtog det for målestationens ledelse ansvarlige udvalg, at målestationen som en af sine første forskningsopgaver skulle undersøge forholdene i betonelementbyggeri med særlig henblik på utætheders betydning for den opnåede og den opnåelige luftlydisolation. Allerede ved projektets godkendelse var der tale om en langtidsopgave, fordi arbejdet på opgaven ikke måtte nedsætte målestationens mulig-

hed for at udføre rekvirerede undersøgelser. På grund af disse arbejdsbetingelser er enkelte undersøgelsesresultater publiceret som SBI-særtryk før afslutning af rapporten.

Med den form en undersøgelse under de givne betingelser måtte få, kunne sigtet naturligvis ikke være at klarlægge alle problemer, men at skaffe tilstrækkelig oplysning, til dels at kunne udarbejde anvisninger om, hvorledes bygningsreglementets krav kan op-

fyldes, dels at kunne præcisere, hvor i byggeprocessen en eventuel forøget indsats skal finde sted.

Rapporten konkluderer, at der kan opnås en forbedring af luftlydisolation ved en forøget kontrol af udførelsen af samlinger mellem betondæk og vægge. Den konkluderer også, at denne produktionskontrol bør udføres af projekterende og tilsynsførende teknikere.

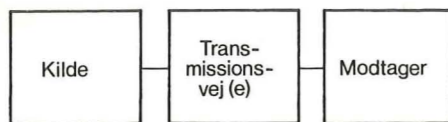
I enhver bygning vil lyd frembragt af en lydkilde i bygningen udbredes til omliggende rum. Der skelnes traditionelt mellem luftlyd, airborne sound, og bygningslyd, structureborne sound. Årsagen hertil er, at der anvendes forskellige metoder til begrænsning af lydudbredelsen i de to tilfælde.

I princippet kan lydudbredelsen anskues ved blokdiagrammet i figur 1 bestående af lydkilden, transmissionsvejen og modtageren. Lydkilden frembringer i de fleste tilfælde både luft- og bygningslyd. En lydkilde transmitterer derfor en del af sin energi til den omgivende luft og en del direkte til den bygningsdel, som lydkilden er opstillet på eller fastgjort til. En højttaler ophængt i en snor kan betragtes som en luftlydkilde, idet den via snoren transmitterede lydenergi er betydningsløs. Derimod kan et højttalerkabinet udsende både luft- og bygningslyd, idet en del af den frembragte lydenergi via kabinettets kontaktpunkter eller -flader kan overføres til bærende bygningsdele.

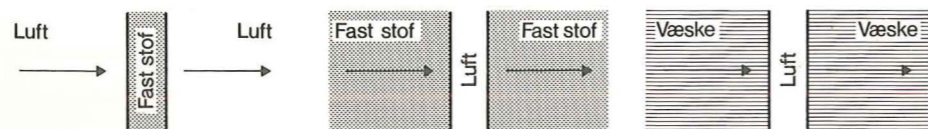
Alment betragtet kan transmissionsvejen føre gennem fast, flydende eller luftformigt materiale eller kombinationer af disse. Begrebet transmissionsvej mellem lydkilde og modtager vil ofte være flertydigt, idet lyden kan udbrede sig ad flere veje. I en bygning forekommer i de fleste tilfælde lydtransmission fra en lydkilde i et rum til en modtager i et andet rum såvel gennem luft som gennem bygningsdele. Lydudbredelsen i et udstrakt medium vil, når lydkilden ligger uden for og langt fra det betragtede område, stort set være uafhængig af, hvorledes lyden er frembragt.

I princippet er metoden til nedsættelse af den i et medium transmitterede lydenergi at opdele mediet i to dele og indskyde et lyddæmpende eller lyd-isolerende lag mellem delene (figur 2). I luft skal laget i princippet bestå af et tungt og stift materiale, i fast stof derimod af et let og elastisk materiale.

Når en luftlydkilde placeres i en bygning, vil den væsentligste lydenergi findes i det rum, hvori lydkilden er placeret. For at forhindre lydudbre-



Figur 1. Skematisk billede af lydtransmission. Kilden kan frembringe i overvejende grad luftlyd eller i overvejende grad bygningslyd, og den vil i almindelighed blive karakteriseret efter dette. I forbindelse med måling af lydtransmission kan modtageren være en luftlydmodtager (mikrofon) eller en bygningslydmodtager (pick-up). Transmissionsveje mellem kilde og modtager kan være mange og føre både gennem luft og bygningens faste dele. Begreberne luftlyd og bygningslyd er flertydige, idet de af nogle defineres ud fra lydkilden, således at luftlyd er frembragt af en luftlydkilde, medens de af andre defineres ud fra den øjeblikkelige transmissionsvej, således at lyd i luft er luftlyd, og lyd i en bygning faste dele er bygningslyd, uanset om lyden er frembragt af en luft- eller bygningslydkilde. Her i landet forbindes bygningslyd hyppigt med lyd frembragt ved mekanisk påvirkning af bygningsdele med fast stof, fx slag med en hammer. Dette svarer nogenlunde til de engelske og tyske begreber impact sound, henholdsvis klopfeschall, men ikke til begreberne structureborne sound henholdsvis körperschall.



Figur 2. Skematisk billede af lyddæmpning i luft, fast stof og væske. I luft består adskillelsen af stift materiale (tung væg), i fast stof af blødt materiale (luft) og i væske af blødt materiale (elastisk materiale med indesluttet luft). Forholdet mellem lydhastighed gange

delsen isoleres derfor i princippet en del af luftrummet omkring lydkilden fra bygningen. I tilfælde med bygningslyd afgives en væsentlig del af lydenergien til bygningsdele. Bygningslydudbredelsen nedsættes i princippet ved at isolere enten bygningslydkilden eller den påvirkede bygningsdel fra den øvrige bygning.

Lydtransmissionen i bygninger er ofte undersøgt, men for det meste mellem to rum og med særlig henblik på at undersøge den adskillende bygningsdels lydisolations. I praksis viser det sig, at der med samme type af bygningskomponenter kan opnås forskellig lydisolations. Dette skyldes i højere grad forskelle i randbetingelser end forskelle i udførelse af bygningskomponenten. Randbetingelser kan give anledning til to former for lydtransmission, nemlig lydtransmission gennem bygningens faste dele, som begrænser den adskillende væg samt lydtransmissionen gennem luftforbindelser mellem to rum. Direkte luftforbindelser mellem to rum kan forekomme via utilsigtede huller eller via planlagte ventilationsveje.

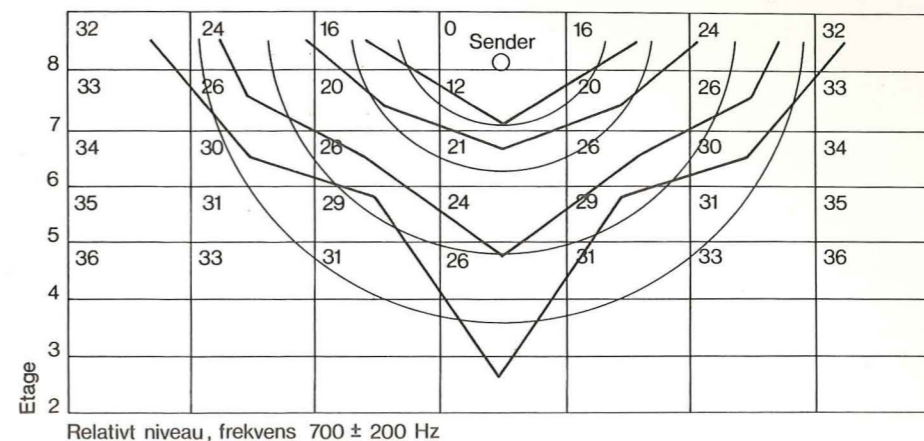
Lydisolations- og lydtransmissionsproblemer er behandlet i talrige artikler, rapporter og lærebøger. I den ældre litteratur, d.v.s. før ca. 1935, findes emnet kun behandlet ad teoretisk vej, og først i de efterfølgende års litteratur også ad eksperimentel vej. En almen gennemgang af den eksisterende litteratur om emnet må i bogstavelig forstand betragtes som en håbløs opgave. Der er derfor i forbindelse med den foreliggende opgave kun foretaget et begrænset studie af litteratur.

massefylde for henholdsvis transmissionsmediet og det adskillende medium bør være enten meget stort eller meget lille. For vand fører dette til, at et mellemag af stål vil være mindre lyddæmpende end et lag luft.

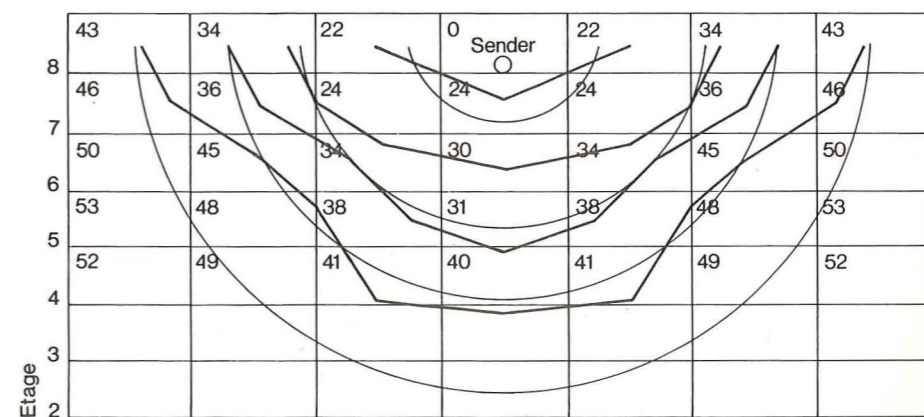
Lydens transmission over større afstande i bygninger sker hovedsagelig gennem bygnings bærende konstruktioner. I nogle bygninger forekommer dog også en væsentlig lydtransmission gennem ikke bærende bygningsdele. Undersøgelser af lyds udbredelse i bygninger er i de fleste tilfælde udført med lydkilder, som frembringer bygningslyd. Ved at anvende bygningslydkilder fremfor luftlydkilder kan energitætheden i bygningsdelene gøres væsentlig større. Det bliver herved muligt at måle det frembragte støjniveau i omliggende rum i relativ større afstand fra lydkilden, end hvis luftlydkilde anvendes.

I et udstrakt, homogent medium vil lyden udbrede sig som kuglebølger fra en punktkilde, hvis lydkildens dimension er meget mindre end bølgelængden. En bygning kan være et udstrakt, men ikke et homogent medium. Lydbølgerne kan derfor af gode grunde ikke være kuglebølger. I en bygning med strukturelt set ens opbygning i horisontal og vertikal retning, ligger det nær at antage, at lydenergien stort set fordeles ligeligt i to dimensioner, hvorved lydtrykkniveauet også aftager lige meget med afstanden i horisontal og vertikal retning. Når systemet kun betragtes todimensionelt, hænger det sammen med, at bygningsdybden anses for væsentlig mindre end højden og bredden.

En undersøgelse foretaget i en 8-etagers boligblok med ens boligtyper viser, at lydudbredelsen er afhængig af frekvens og retning (figur 3). Som lydkilde blev benyttet en vibrator tilført et signal bestående af hyletoner på henholdsvis 700 ± 200 Hz og 2800 ± 200 Hz. Ved lave frekvenser ligger de kurver, som fremkommer ved at forbinde punkter med samme dB-værdi, tæt omkring en cirkelbue. Ved 700 Hz er udbredelsesdæmpningen større i diagonalretningen end i horisontal- og vertikalretningen og ved 2800 Hz mindst i horisontal retning. Årsagen til denne fordeling af lydenergien skyldes, at dæmpningen i bygningskonstruktioner overvejende sker ved etagekrydsene. Da afstanden mellem væg-



Relativt niveau, frekvens 700 ± 200 Hz



Relativt niveau, frekvens 2800 ± 200 Hz

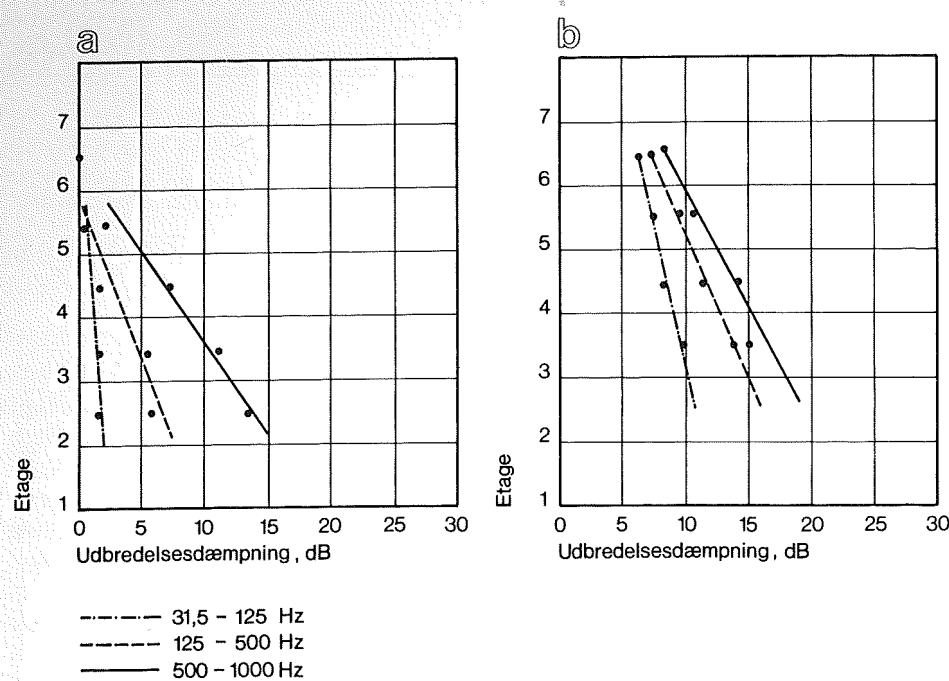
Figur 3. Skematisk længdesnit i en bygningsvæg og dæk henholdsvis af 150 mm og 160 mm beton. På 8. etage påvirkes bygningen med en bygningslydgenerator, der frembringer hyletoner på 700 Hz og 2800 Hz begge med frekvenssving på ± 200 Hz. I figurerne er angivet dæmpningen i dB i forhold til rummet med støjilden. (Efter R. Martin).

gene er større end etagehøjden, og da væg- og dæktykkelse stort set er ens, bliver dæmpningen i horisontalretningen mindre end i vertikalretning. Talrige undersøgelser af lydudbredelser gennem etagekryds bekræfter, at der i etagekryds finder en afledning af lydenergi sted. Det vil i praksis sige, at i byggesystemer, hvor enten væg eller dæk har ringe lydtransmissions egenskaber, sker lydudbredelsen overvejende og uden væsentlig afledning i en retning. I bygninger med bærende søjler og plader samt med pladebeklædte skeletvægge er horisontaludbredelse fremherskende. I bygninger

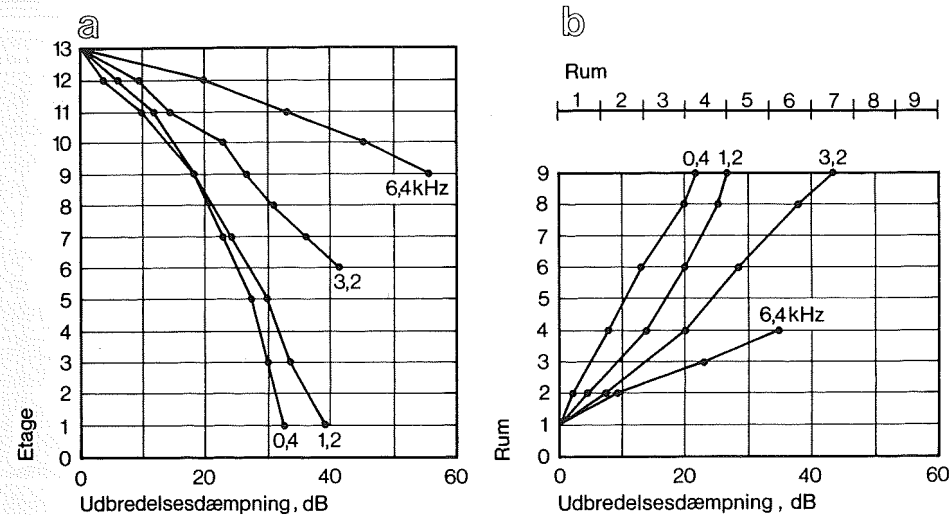
med træetageadskillelser er vertikal udbredelse dominerende.

Ved lydudbredelse i en ikke ortotrop plade må det forventes, at udbredelsesmulighederne er forskellige i de to orthogonalretninger. Forsøg viser, at dette fx er tilfældet med pladeribbedæk, hvor niveauet af bygningslyden er højere langs med ribberne end på tværs af ribberne (figur 6).

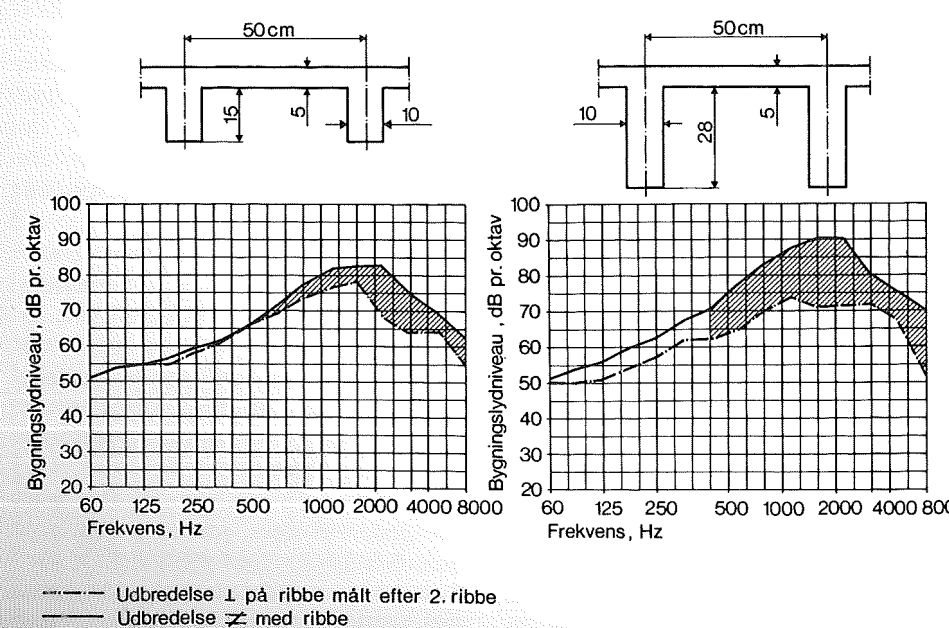
Ud fra undersøgelsesresultater kan det generelt siges, at under lydudbredelsen i bygninger sker der en større dæmpning af lyd ved høje frekvenser end ved lave frekvenser. Der kan derimod ikke siges noget generelt om, i



Figur 4. Lydtrykniveauets aftagen i etagerne under den punktpåvirkede bygningsdel. a) Påvirkning af et 150 mm betondæk i elevatortrum. b) Påvirkning af et dæk med 50 mm beton på 2x7 cm mineraluld DRP 7/104. Dampningen pr. etage er fra under 1 dB til omkring 4 dB i de tre frekvensområder, og stort set den samme i de to tilfælde, med den undtagelse at det svømmende gulv giver en overgangsdampning. Dette betyder, at det svømmende gulv nedsætter den til bygningen overførte lydenergi, men at det i øvrigt ikke ændrer udbredelsesforholdene. (Efter G. Gadefelt).



Figur 5. Lydtrykniveauets aftagen med afstanden fra lydkilden. Undersøgelsen er udført i et højhus med bærende 300 mm betonydervægge forsynet med udvendig beklædning. Dækkene er af 190 mm jernbeton og de indvendige vægge af 120 mm klinkerbetonsten. Etagehøjden er 3,65 m og rumbredder 3,10 m. a) Vertikal udbredelse. b) Horisontal udbredelse. (Efter W. Westphal).



Figur 6. Bygningslyden udtrykt ved accelerationsniveauet som funktion af frekvensen målt på to pladeribbedæk med vægt på henholdsvis 190 kg/m² og 250 kg/m². Som reference-acceleration er anvendt 2,8 · 10⁻⁴ m/s². Resultaterne viser, at lydenergien ikke spredes lige meget i dækket, men at spredningen fortrinsvis sker i pladen mellem to ribber. Dette kan opfattes således, at ribberne medfører en dampning ved udbredelse vinkelret på disse, men det må samtidig erindres, at vibrationsniveauet i pladen mellem ribberne er højere end i et pladedæk med henholdsvis pladeribbedækkets pladetykkelse og udstrækning. Den konstaterede dampning fremkommer i det væsentlige ved bøjningsbølgers passage i den første ribbe. Som lydkilde er anvendt en standardiseret bankemaskine og accelerationsniveauet er målt i 1 til 2 meters afstand. (Efter H. L. Müller).

hvilken retning den største dampning finder sted, da dette ofte hænger nøje sammen med de benyttede materialer og konstruktionsprincipper.

Den her givne fremstilling af lydets udbredelse i bygninger er temmelig forenklet, idet lydenergi er svingningsenergi, som ved udbredelse i fast stof er fordelt på flere svingningsformer, lydbølger, hvis udbredelsesbetingelser er forskellige. Hertil kommer, at lydbølgerne ved etagekrydsene skifter fra en bølgetype til andre, og at energifordelingen i bølgetyperne ikke er ens, idet energiindholdet i bøjningsbølger ved lave frekvenser kan være 10-30 dB højere end i longitudinalbølger. Ved høje frekvenser kan det omvendte være tilfældet dog kun med forskel på ca. 10 dB.

Udbredelsesforholdene er derfor uhyre komplicerede. I praksis finder den eksakte teori kun anvendelse ved lydtransmission mellem naborum. En tilfredsstillende løsning på lydisolationsproblemet mellem naborum vil i reglen også føre til lavere niveau i rum, som ligger i større afstand fra senderummet.

Litteratur [12, 17, 19, 35, 51, 53, 61].

Dampning af lyd under udbredelse i konstruktioner

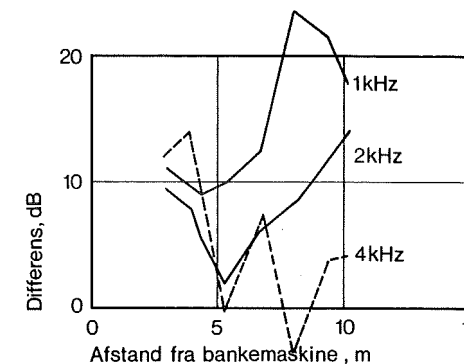
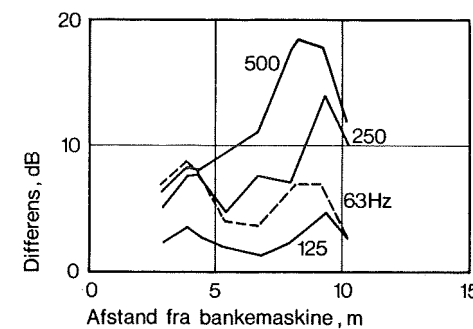
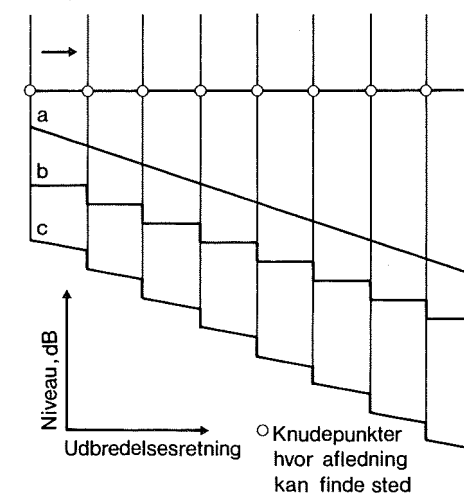
Under lydbølgers udbredelse i fast stof sker en vis dampning pr. længdeenhed, men set fra et lydisoleringssynspunkt er denne dampning desværre uden praktisk betydning. I princippet kan lyddampningen ske kontinuert gennem en såkaldt indre dampning eller gennem en konstant energifledning til omgivende materialer eller diskontinuert gennem springvis energifledning eller ved konstruktionsafbrydelse, jvf. figur 7.

Det har i tidens løb været forsøgt at fremstille beton med tilslag, som kan forøge betonens indre dampning. Forsøgene er lykkedes, men det må formodes, at der for at opnå en i praksis mærkbar dampning skal tilsættes så store mængder af dæmpende tilslag, at det går ud over betonens styrke. Der foreligger i øjeblikket ikke nogen praktiske resultater på dette område.

Energifledning til omliggende materialer finder anvendelse ved dampning af lydudbredelse i og lydudstråling fra tynde metalplader. Det kan ske ved påføring af et dæmpningslag, anti-dröhnungsmateriale eller dæmpningsmateriale, på en eksisterende tynd jern- eller metalplade. Fabriksfremstil-

Figur 7. Principielt forløb af bygningslydens niveau og funktion af afstanden fra påvirkningsstedet.

a) Kontinuert energifledning uden afledning i knudepunkter.
b) Diskontinuert energifledning ved springvis konstant afledning ved knudepunkter.
c) Kontinuert energifledning mellem knudepunkter og springvis afledning ved knudepunkter. (Efter B. Emstrup og F. Larris).



Figur 8. Differensen mellem accelerationsniveauet målt i en bygning uden og med sand udlagt på dækpladerne. Differenserne, der udtrykker den med sandet opnåede dæmpningsforøgelse, er angivet som funktion af afstanden fra lydkilden, en standardiseret bankemaskine. Frekvenserne er anvendt som parameter. Dæmpningsforøgelserne har maksimum ved frekvenser omkring 1000 Hz. Ved højere frekvenser opnås en dæmpningsforøgelse i den umiddelbare nærhed af lydkilden, men med voksende afstand fra lydkilden aftager damp-

ningsforøgelsen. Årsagen hertil må antages at være lydtransmission via omliggende konstruktioner, vægge og dæk, som ikke har nogen dæmpningsforøgelse, således at der sker en springvis energitilledning ved etagekrydsene. Målingerne er udført i en kollegiebygning med midterkorridor. Sandet er udlagt i rum på begge sider af korridoren i bygningens halve længde. Dækket er 120 mm massiv beton og sandlaget har en gennemsnitstykkelse på 22 mm. (Efter B. Emstrup og F. Larris).

lede plader kan have sandwichopbygning bestående af en eller flere plader med mellem- eller omliggende dæmpningslag. Denne form for dampning er vanskelig at udføre med betonplader, både fordi betonplader har stor egenstivhed, og fordi dæmpningslaget skal have en tykkelse og vægt, som ikke er forsvindende i forhold til betonpladens. Det er forsøgt at opnå dampning ad denne vej ved udlægning af sandlag på dækkonstruktionen i en bygning (figur 8). I laboratorier er det også prøvet at dæmpe hulplader af beton ved at udfylde hulrummene med sand. Forsøg har vist, at dampningen, der inden for frekvensområdet 150-3000 Hz er fra 1-3 dB/m, kan forøges til 4-6 dB/m ved middel og høje frekvenser. De bedste resultater opnås ved anvendelse af skarpkantet materiale og

af materiale iblandet mindre mængder elastisk tilslag.

Dampning ved springvis energifledning sker som allerede omtalt i de fleste bygninger. En udnyttelse af princippet med energifledning til tunge masser finder i nogle tilfælde sted i forbindelse med rørledninger fra meget støjende maskiner, kompressorer og pumper, hvor rørledningen fastgøres til en tung masse, som eventuelt tillige kan være elastisk forbundet til den bærende konstruktion. En udnyttelse af dette princip for dampning ud over den dampning, som sker i form af naturlig afledning til vægge og dæk, kan vel næppe tænkes i et normalt byggeri.

Afbrydelse af konstruktionen ved hjælp af en luftspalte kan give den mest effektive dampning af lydudbre-

delse i faste stoffer. Det er imidlertid en forudsætning for at opnå den maksimale dæmpning, at afbrydelsen omfatter hele konstruktionen, og at der ikke findes stive forbindelser, som danner lydbroer over luftspalten.

I praksis vil adskillelsen mellem konstruktioner kun være 10-20 mm og i reglen udfyldt med et blødt materiale fx mineraluld. Transmissionen mellem to konstruktionsdele adskilt af en fuger er frekvensafhængig og afhængig af det mellemliggende materiale samt af fugetykkelsen. Der er foretaget adskillige forsøg med dæmpning af lydtransmission efter dette princip. Eksperimenter viser, at bøjningsbølgers transmission via en 20 mm fuger med kork medfører en dæmpning på mindre end 5 dB under 400 Hz. Fra 400 Hz til ca. 1600 Hz vokser den ca. 20 dB. Større fugetykkelse betyder, at den stærkt stigende dæmpning begynder ved lavere frekvenser. Større belastning af det lydæmpende fugemateriale bevirker en aftagende dæmpning.

En praktisk anvendelse af princippet sker i rækkehus med lydteknisk korrekt udførte dobbeltvægge, som medfører en effektiv dæmpning af lydudbredelsen i horisontal retning. I etagebyggeri kan dæmpning af lydudbredelse ske på tilsvarende måde i byggesystemer efter kasseprincippet, som fx Conbox-systemet, hvor de enkelte kasser adskilles elastisk fra hinanden og fra den bærende konstruktion, men det er en forudsætning, at det elastiske materiale har en tilstrækkelig tykkelse og elasticitet.

Det er et hyppigt forekommende postulat, at dæmpningen af bygningslyds udbredelse er større i ældre end i nyere bygninger. Denne antagelse har imidlertid ikke kunnet bekræftes gennem nyere målinger, hvor der i det væsentlige opnås samme resultater i konstruktiv henseende ens bygninger udført af henholdsvis mursten og beton i forskellige formater.

Litteratur [3, 12, 17, 18, 19, 27, 28, 30, 34, 35, 38, 53, 61].

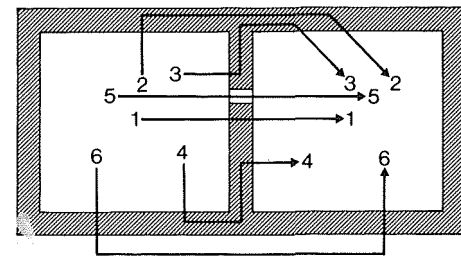
Lydtransmissionen mellem naborum

Lydtransmissionen fra et rum til et naborum er hyppigt undersøgt såvel i bygninger som i laboratorier. Også teoretisk har lydtransmissionen mellem to naborum været genstand for indgående behandling. Alligevel findes der endnu en række uafklarede problemer vedrørende lydtransmissionen.

En fuldstændig teoretisk behandling af problemet er overordentlig kompliceret, men betragtes lydtransmissionen ud fra en simplificeret energibetraktning, kan lydtransmissionen mellem kasseformede rum, med en fælles flade, forenklet opfattes som angivet i figur 9. Når der ses bort fra transmission gennem utætheder og via tredje rum, udgøres den totale transmission mellem de to rum af 36 bidrag, idet hver flade i senderummet giver bidrag gennem 6 flader i modtagerummet. Bidragene er imidlertid ikke alle lige væsentlige. Erfaringsmæssigt udgør transmission ad de i figuren viste transmissionsveje 1-4 de væsentligste bidrag. Vejen 1 er karakteriseret ved, at lydenergien ikke passerer nogen samling, hjørnesamling, T-samling eller krydssamling, hvor energifledning kan finde sted. Vejene 2-4 er karakteriseret ved at passere en samling. Tilsammen udgør vejene 1-4 ialt 13 af de 36 mulige transmissionsbidrag. Af de resterende 23 bidrag sker 18 via 2 samlinger og 5 via 3 samlinger. Transmissionen mellem to rum kan derfor udtrykkes ved summen af bidragene:

$$W_{1-2} = W_{1-2}^s + \frac{4}{1} \sum W_{1-2}^f + \frac{4}{1} \sum W_{1-2}^{st} + \frac{4}{1} \sum W_{1-2}^{ud} + \frac{4}{1} \sum W_{1-2}^{th} + \frac{4}{1} \sum W_{1-2}^{rest}, \quad (1)$$

hvor W_{1-2}^s er energitransmissionen gennem den adskillende bygningsdel, W_{1-2}^f transmission via flankerende bygningsdele i sender- og modtagerum, W_{1-2}^{st} transmission via flankerende bygningsdele i senderum til den adskillende bygningsdel, W_{1-2}^{ud} transmission via adskillende bygningsdele til flankerende bygningsdele i modtagerum, W_{1-2}^{th} transmission gennem flankerende bygningsdele i senderum til tredje rum og herfra gennem flankerende bygningsdele til modtagerum, W_{1-2}^{rest} transmission gennem tilsigtede eller utilsigtede utætheder i den adskillende bygningsdel eller ved dennes tilslutning til omgivende bygningsdele og W_{1-2}^{rest} transmission over 2 og 3 hjørne-, T-, eller krydssamlinger. Den største mulige lyd-isolation opnås, når samtlige bidrag til lydtransmissionen er nul eller absolut minimum. Hvis et bidrag er væsentlig større end de øvrige, bestemmes den opnåelige lyd-isolation stort set af dette, hvilket svarer til, at den maksimalt opnåelige lyd-isolation mellem to rum stort set bestemmes af den adskillende bygningsdels bidrag. I praksis er lyd-



Figur 9. Forskellige veje for lydets transmission fra et rum til et naborum.

1. Direkte gennem den adskillende flade.
2. Gennem en flankerende flade.
- 3 og 4. Gennem den adskillende flade og en flankerende flade.
5. Gennem dele af den adskillende flade, hvor lyd-isolationen er mindre end gennemsnitsværdien.
6. Via et fælles flankerende rum.

Den viste planskitse vil for den egentlige flanketransmission igennem bygningsdelene ved en tredimensional afbildning have vejene 2, 3 og 4 i fire varianter.

isolationen ikke bestemt af bidraget fra en transmissionsvej, men af bidragene fra flere transmissionsveje, hvoraf en enkelt ofte overfører en betydelig del af den transmitterede energi inden for et begrænset frekvensområde.

Afhængig af transmissionsvejene, de anvendte bygningsdele samt byggesystemet kan en forholdsvis stor del af lydenergien være fordelt i begrænsede frekvensbånd og fortrinsvis transporteres ad bestemte veje. Disse specielle forhold er årsag til, at personer med stor fagkundskab og erfaring ofte kan udtale sig med betydelig sikkerhed om transmission i særdeles komplicerede systemer uden at have måleresultater, som direkte understøtter en given udtalelse.

Den første forudsætning for at kunne bedømme en forventet lyd-isolation er et godt kendskab til den adskillende bygningsdels lyd-isolation, dernæst til de flankerende bygningsdeles lydtransmission samt til transmissionen via utætheder. Denne opdeling af transmissionsbidragene vil blive anvendt i det følgende.

Litteratur [2, 5, 28, 29, 30, 31, 36, 37, 39, 40, 41, 57].

En adskillende bygningsdels lyd-isolation

Enkeltkonstruktioner

I første række kan lyd-isolationen for en bygningsdel betragtes som funktion af masse og frekvens, således at lyd-isolationen vokser 6 dB ved fordobling af masse eller frekvens. Forudsætningerne ved udledning af denne relativt simple afhængighed er, at den adskillende bygningsdel har uendelig udstrækning, at lyden falder vinkelret ind mod bygningsdelen, og at materialet ikke har nogen indre friktionskræfter, der kan give anledning til energitab.

Når bygningsdelens tykkelse svarer til en halv bølgelængde, lydbølgelængden i bygningsdelen, vil bygningsdelens for- og bagside udføre samme bevægelse og derved virke som en pumpe, der transmitterer al lydenergi gennem væggen. Dette betyder, at lyd-isolation ved den pågældende frekvens går mod nul. Fænomenet kaldes ofte for tykkelsesresonans. Der optræder et stigende antal af resonansfrekvenser med voksende tykkelse af bygningsdelen, men resonanserne ligger almindeligvis så højt i frekvens, at de er uden betydning for bygningsdelens anvendelse til lyd-isolering.

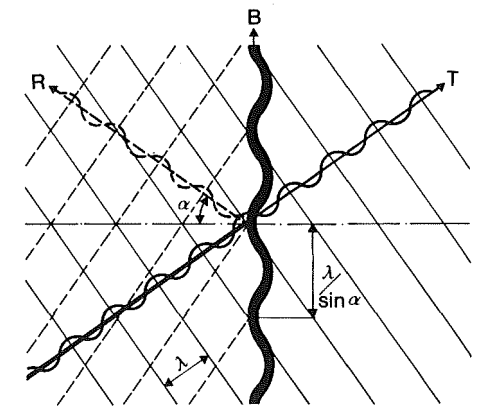
I praksis er de ovenfor nævnte forudsætninger uopfyldelige, og det burde derfor ikke forventes, at lyd-isolationens afhængighed af bygningsdelens masse kunne udtrykkes så simpelt. Erfaringen viser imidlertid, at beregninger i nogle tilfælde ikke blot kvalitatativt, men også kvantitativt fører til brugbare resultater. Byggematerialer har i praksis ikke blot en masse, men også en vis bøjningsstivhed, ligesom lydindfaldet ikke kun sker vinkelret på bygningsdelen. Når lydets indfaldsvinkel mod bygningsdelen er større end nul, fremtvinger lydbølgerne en bølgebevægelse på bygningsdelens overflade, der kan falde sammen med en mulig fri bøjningsbølgebevægelse (jvf. figuren), som kan forekomme i en bygningsdel, der ikke er udsat for påvirkning af nogen ydre kraft. Virkningen af dette fænomen kaldes koincidenseffekten. Begrebet koincidens udtrykkes således i forbindelse med lyd-isolation et sammenfald mellem en af

luftlyden påtrykt bølgebevægelse og en såkaldt fri bølgebevægelse i bygningsdelen. Koincidens afhænger af indfaldsvinkel, frekvens, materialetykkelse og -art (figur 10). I konstruktioner, der hyppigt anvendes i praksis, forekommer ofte koincidens inden for det frekvensbånd, som har interesse ved lyd-isolation i bygninger, nemlig ca. 90 Hz til ca. 3550 Hz. Lyd-isolationen bliver ikke nul ved koincidensfrekvensen, men den kan være væsentlig lavere end for tilsvarende vægge uden koincidens.

Erfaringer fra talrige målinger af lyd-isolationen udtrykt ved middeltallet af lyd-isolationen i frekvensområdet 100-3200 Hz er optegnet som funktion af vægten pr. arealenhed (figur 11). Denne empiriske kurve - vægdkurven - giver for en given vægt 5 dB's forøgelse af lyd-isolationen ved en fordobling af vægten i modsætning til de tidligere omtalte forøgelser på 6 dB. Konstruktioner med koincidens inden for frekvensområdet 200 til 2000 Hz har ofte lavere lyd-isolation end angivet ved vægdkurven.

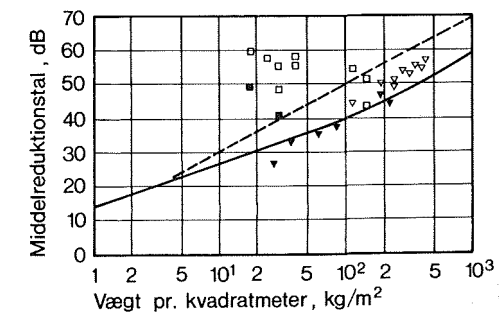
Virkninger af koincidenseffekten er almindeligvis begrænset til et frekvensområde på 1 til 2 oktav omkring en såkaldt grænsefrekvens, under hvilken koincidens ikke kan forekomme. For en given konstruktion er det i almindelighed ikke muligt på forhånd at give et udsagn om, hvilken effekt koincidensen vil have. Grænsefrekvensen for koincidens stiger med aftagende tykkelse. Ved større tykkelser udviskes koincidensvirkningen ofte helt.

Forholdet mellem konstruktionstykkelser og konstruktionens udstrækning er af væsentlig betydning for konstruktionens stivhed. Jo mindre forholdet t/l - tykkelse divideret med længde (bredde) - er, jo mindre stivhed har konstruktionen. Dimensionerne længde, bredde og tykkelse samt lyd-hastigheden i materialet er sammen med indspændingsforholdene bestemmende for konstruktionens resonansfrekvenser og for den energifledning, som kan finde sted ved konstruktionens begrænsninger. I figur 13 er vist konstruktionsprincipper med forskel-



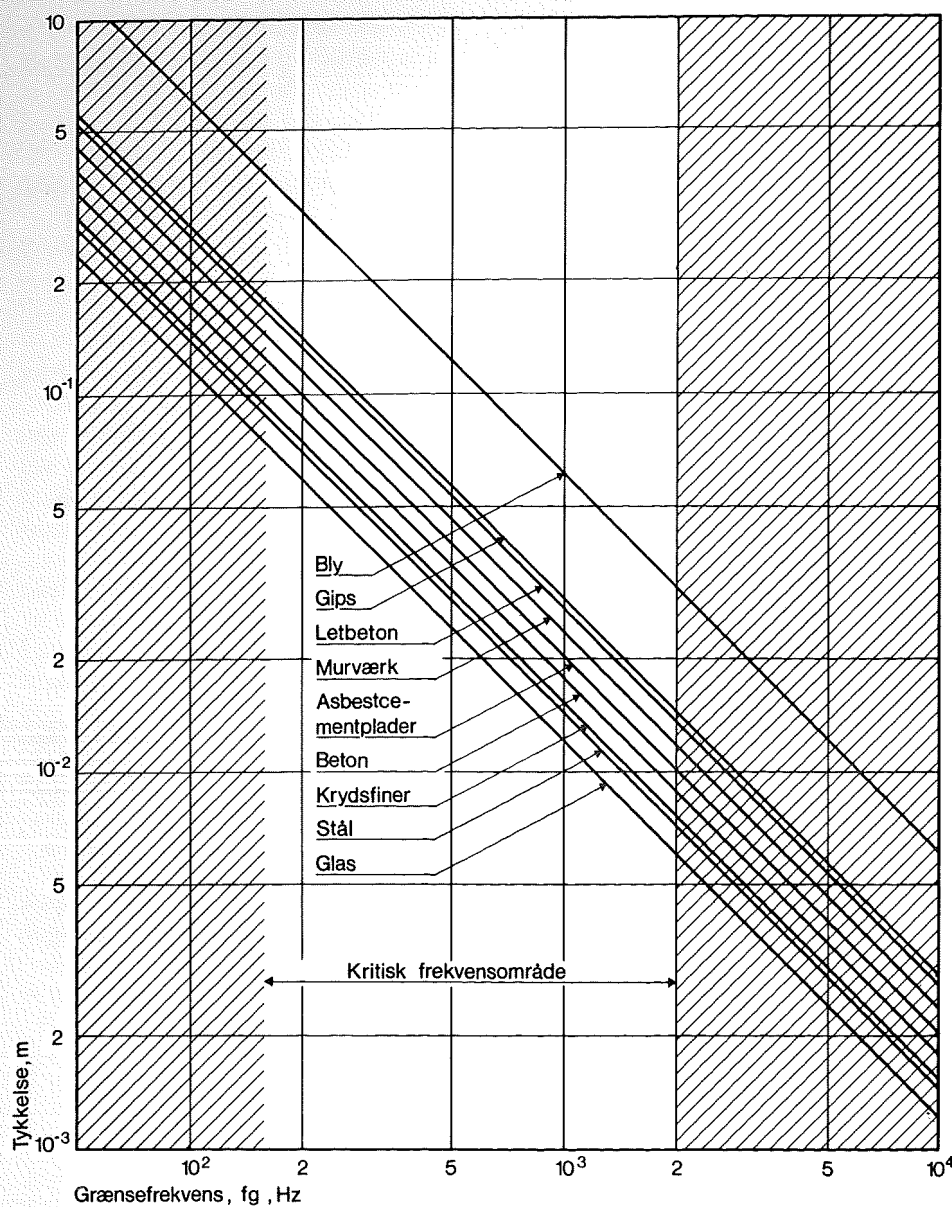
Figur 10. Bøjningsbølge frembragt i en bygningsdel af en indfaldende lydbølge. I indfaldende lydbølge, R reflekteret bølge, T transmitteret bølge, B bøjningsbølge i væggen, α ind- og udfaldsvinkel, λ lydbølgens længde i luft, $\lambda \sin \alpha$ bøjningsbølgens længde.

Når den projicerede luftlydbølge falder sammen med en såkaldt fri bøjningsbølge, siges det at koincidere. Ved en fri bølge forstås svingningsform, som kan forekomme i bygningsdelen uden en samtidig påtrykt bølgebevægelse.

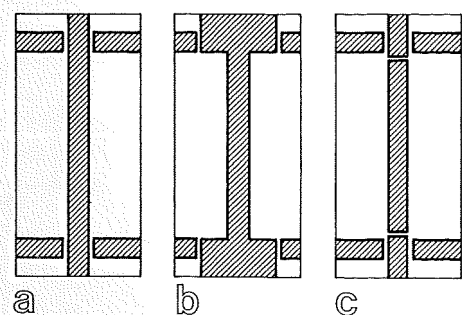


- ▽ Massive vægge med $f_g < 100 - 160$ Hz
- ▼ Massive vægge med $f_g > 160 - 200$ Hz
- Dobbeltvægge med lydabsorberende indlæg
- Dobbeltvægge uden lydabsorberende indlæg

Figur 11. Middelreduktionstallet som funktion af vægten pr. kvadratmeter. Den fuldt optrukne kurve er en empirisk bestemt »vægdkurve«. Den punkterede kurve er beregnet ud fra forenkede forudsætninger og uden hensyntagen til koincidenseffekt. Massive vægge med grænsefrekvens f_g , dvs. den laveste koincidensfrekvens, liggende i det kritiske frekvensområde, jvf. figur 12, har i reglen mindre middelreduktionstal end svarende til vægdkurven.



Figur 12. Grænsefrekvensen for frie bøjningsbølger i bygningsdele som funktion af bygningsdelens tykkelse med byggematerialet som parameter. Når f_g ligger uden for det kritiske frekvensområde, er der ingen væsentlig risiko for nedsættelse af lydisolationen på grund af koincidens.



Figur 13. Principskitser af forskellige indsætningsudførelser for skillevægge i laboratorier. I tilfælde a afledes lydenergi uden refleksion, hvilket kan betyde en lavere energitæthed i skillevæggen end i tilfældene b og c, hvor der reflekteres en betydelig del af energien ved henholdsvis indspændingen (b) og den dæmpende spalte (c). Den lavere energitæthed kan betyde mindre udstråling i modtagerum og dermed større forskel mellem energitæthederne i sende- og modtagerum, hvilket er ensbetydende med en større lydisolations.

lig energifledning. Ved konstruktionens begrænsninger, det vil sige ved de flankerende bygningsdele, sker den største energifledning i tilfælde a og de mindste i tilfælde b og c. I tilfældet a, hvor der ikke sker nogen ændring i tykkelse eller materiale ved begrænsningen, forekommer ingen refleksioner, og derfor finder den maksimale energifledning sted. Det forudsættes, at lydenergien optages i omgivelserne uden refleksionsbidrag. Den praktiske betydning af dette forhold er endnu ikke fuldt belyst. Det vil dog være nærliggende at antage, at tilfælde a under i øvrigt ens omstændigheder ville føre til den største lydisolations, fordi en mindre del af lydenergien fra senderummet når frem til modtagerummet end i tilfældene b og c.

Litteratur [31, 32, 43, 45, 56, 57].

Figur 14. Resonansfrekvensen for en dobbeltvæg med to enkeltvægge som funktion af vægten pr. kvadratmeter for den enkelte væg og med afstanden d mellem de to enkeltvægge som parameter.

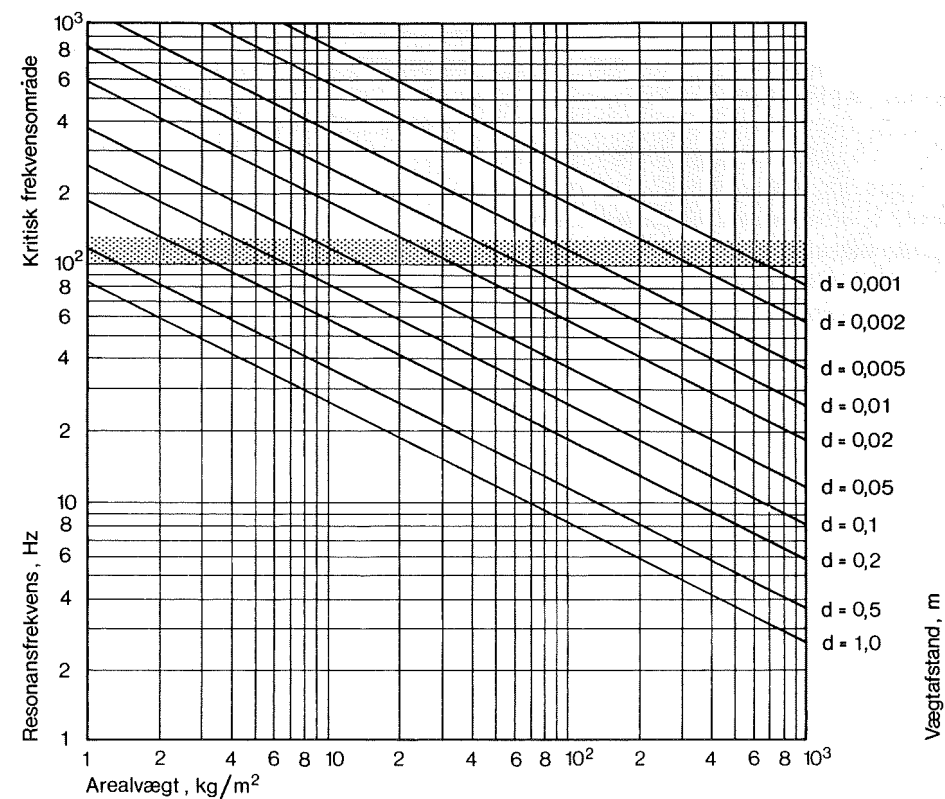
Resonansfrekvensen for en let væg opstillet foran en tung væg kan findes ved at indsætte den lette vægs vægt pr. kvadratmeter og anvende den dobbelte afstand mellem den lette og tunge væg som parameterafstand.

Eksempler:

To enkelte vægge hver med 60 kg/m^2 opstilles med en indbyrdes afstand på 10 mm . Med arealvægten 60 kg/m^2 og afstanden $d = 0,01 \text{ m}$ findes resonansfrekvensen til ca. 110 Hz .

Let forsatsvæg med vægten 10 kg/m^2 , og afstand på 25 mm . Med arealvægten 10 kg/m^2 og afstanden $d = 0,05 \text{ m}$ findes resonansfrekvensen til ca. 120 Hz .

Resonansfrekvensen for dobbeltvægge med to enkeltvægge, som har forskellig vægt pr. kvadratmeter, må udregnes af udtrykket (2).



Dobbeltkonstruktioner

Med dobbeltkonstruktioner menes i akustisk henseende to helt adskilte konstruktioner uden indbyrdes stive forbindelser, der kan virke som koblinger mellem de to konstruktioner. Dobbeltkonstruktioner er i princippet to enkeltkonstruktioner, men herudover udgør de et svingende system bestående af to masser – enkeltkonstruktionerne – koblet sammen med en fjeder – mellemrummet mellem de to konstruktioner. Den laveste resonansfrekvens for dette system bestemmes af konstruktionernes masser – vægt pr. arealenhed – og afstanden mellem konstruktionerne (figur 14). Er hulrummet udfyldt med et lydabsorbende materiale, bliver resonansfrekvenserne lidt lavere end beregnet. Resonansfrekvensen bestemmes ved:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}} \frac{g}{d} \text{ Hz} \quad (2)$$

hvor m_1 og m_2 er vægten pr. arealenhed af de to enkeltkonstruktioner, d af-

standen mellem de to konstruktioner, g luftens massefylde og c lydhastigheden i luft. Under resonansfrekvensen virker dobbeltkonstruktionen lydteknisk set som en enkeltkonstruktion med samme vægt og mindre stivhed end dobbeltkonstruktionen. Over resonansfrekvensen kan lydisolationsen for en dobbeltkonstruktion vokse langt mere som funktion af frekvensen end det er muligt for en enkeltkonstruktion. Resonansfrekvensen bør principielt ligge enten under eller over det frekvensbånd, som har særlig interesse i forbindelse med lydisolations i bygninger. De for enkeltkonstruktioner anførte betragtninger om koincidens gælder også for dobbeltkonstruktioner, blot kan virkningen af koincidenseffekten være mere tydelig end for enkeltkonstruktioner, idet lydisolationsen i koincidensområdet kun er lidt større for en dobbelt- end for en enkeltkonstruktion, medens lydisolationsen uden for koincidensområdet kan være meget større for en dobbeltkonstruktion. I uheldige tilfælde kan resonansfænomener yderligere sænke lydisolationsen

ved sammenfald mellem koincidensfrekvensen og resonansfrekvensen.

Med hensyn til pladeresonans i konstruktioner afviger dobbelte konstruktioner ikke fra enkelte. Samlingen mellem omgivende bygningsdele og en adskillende konstruktion er derimod vanskeligere at udføre med en dobbeltkonstruktion end med en enkeltkonstruktion. Vedrørende energifledning gælder principielt de samme betragtninger som for enkeltkonstruktioner, men også de omgivende konstruktioner skal være forsynet med adskillende fuger ud for dobbeltkonstruktionens hulrum. Anvendelse af massive, enkelte og bøjningsstive konstruktioner til dobbeltkonstruktioner for at opnå en større lydisolations er derfor i praksis begrænset.

Vægge kan også udføres af lette ikke særlig bøjningsstive materialer, fx gipsplader på stålskelet. Denne vægtype kan anvendes uden at have totalt adskilt konstruktion, blot de omgivende bygningsdele har tilstrækkelig lydisolations. Dobbeltkonstruktioner bestående af en tung bøjningsstiv og en let

forsatskonstruktion har maksimalt en lydisolations svarende til den tunge konstruktions plus:

$$\Delta L = 40 \log \frac{f}{f_0} \text{ dB} \quad (3)$$

hvor f_0 er resonansfrekvensen for forsatskonstruktionen, figur 14. En let forsatskonstruktion opsat foran skillevæggen i senderummet vil jvf. figur 9, betyde en nedsættelse af lydtransmissionen ad vejene 1 og 3. Den lette forsatsvæg formindsker ikke lydtransmissionen ad vej 2.

Ved udførelse i praksis opnås uhyre sjældent den ved (3) angivne forbedring af lydisolations. Det skyldes dels flanketransmissionen, dels at befæstelsen af den lette væg til den tunge medfører transmission gennem de etablerede forbindelser i punkter eller i linier, og at den lette vægs opbygning og udførelse ikke giver optimale betingelser i forhold til den tunge væg. For at opnå optimale betingelser skal den tunge vægs koindensfrekvens ligge under 90 Hz, koindensfrekvensen for den lette væg over 3550 Hz og resonansfrekvensen for fjedersystemet bestående af den lette væg og den tunge væg ligge under 90 Hz.

For at imødegå forøget lydtransmission omkring resonansfrekvensen udfyldes hulrummet mellem den lette og den tunge væg med mineraluld. Undersøgelser viser, at ved høje frekvenser, over ca. 800 Hz, bestemmes transmissionen overvejende af de flankerende bygningsdele og ved lave frekvenser overvejende af befæstelsesmetoden. Afstanden mellem to befæstelseslinier skal være større end to gange bøgningsbølgelængden ved koindensfrekvensen i forsatsmaterialet, hvilket i praksis vil sige ikke mindre end 0,60 m. En betingelse, der stort set opfyldes for 10 mm plade.

Litteratur [4, 31, 43, 45, 57, 59].

Definition af adskillende bygningsdeles reduktionstal

Lydisolations for såvel enkelte som dobbelte konstruktioner kan måles i laboratorium. Dette sker ved bestemmelse af konstruktionens reduktionstal ved måling mellem to rum, sende- og modtagerum, adskilt med den konstruktion, som ønskes afprøvet. I senderummet udsender en lydkilde et signal, hvis styrke måles i sende- og modtagerummet. Differensen mellem de målte luftlydniveauer er udtryk for

lydisolationen. Reduktionstallet defineres ved:

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \text{ dB} \quad (4)$$

hvor W_1 er den lydenergi, som rammer prøvekonstruktionen og W_2 den lydenergi, der fra prøvekonstruktionen transmitteres til modtagerummet. Denne definition er ikke direkte anvendelig, fordi lydenergien ikke kan måles direkte, men definitionen kan omskrives til:

$$R \approx L_s - L_m + 10 \log \frac{A}{S} \text{ dB} \quad (5)$$

hvor L er lydtrykkniveauerne i sende- og modtagerum. A antallet af absorptionsenheder i modtagerummet og S skillefladens areal. Lydtrykkniveauet, der angiver lydtrykket i relation til et referencetryk på $2 \cdot 10^{-5}$ Pascal, kan direkte måles. Størrelsen A kan bestemmes ved måling af efterklangstiden t :

$$t = \frac{0,16 V}{A} \text{ sek.}$$

hvor V er rummets volumen.

Laboratorier er bygget efter ret forskellige principper, dog er prøvearealet standardiseret til 10-12 m². Målerummens størrelse varierer fra ca. 40 m³ til ca. 250 m³. Indehavere af laboratorier med små rum hævder, at deres rum har stor lighed med praksis, medens indehavere af store rum anfører, at med større rum følger større målenøjagtighed. Begge grupper påberåber sig deres rums respektive fordel som et aktiv.

Der findes ingen standard for udførelser af de rumbegrænsende bygningsdele. I nogle laboratorier er prøvekonstruktioner indsat under betingelser, hvor kun transmissionen W_{1-2}^s jvf. (1) kan forekomme, idet $W_{1-2}^{udv} + W_{1-2}^{utæt}$ forudsættes forsvindende. I andre laboratorier indgår $W_{1-2}^s + W_{1-2}^{f-s}$ eller W_{1-2}^{s-f} i transmissionen, og endelig findes laboratorier med flanketransmissionsbetingelser. I de sidstnævnte angives reduktionstallet ved:

$$R' = L_s - L_m - 10 \log \frac{A}{S} \text{ dB} \quad (6)$$

hvor R' , der også kaldes for det tilsyneladende reduktionstal, angiver, at målingerne er udført under betingelser med flanketransmission.

Denne definition og betegnelse anvendes også i forbindelse med målinger i bygninger, dog indsættes det fælles skillefladeareal ikke med værdier under 10 m². Det i bygningsreglementet

fra 1972 benyttede begreb rumisolation $D_{0,5}$ sammenknyttet med det i bygningsreglementet fra 1977 benyttede tilsyneladende reduktionstal R' gennem følgende udtryk:

$$D_{0,5} - R' = 10 \log \frac{0,32 V}{S}, \quad S \geq 10 \text{ m}^2 \quad (7)$$

$$D_{0,5} - R' = 10 \log 0,032 V, \quad S \leq 10 \text{ m}^2 \quad (8)$$

hvor V er modtagerummets volumen og S det fælles skillefladeareal (figur 15).

Når der skelnes mellem laboratorier med og uden flanketransmission, drejer det sig overvejende om transmissionsvejen W_{1-2}^{f-f} , idet en del laboratorier mere eller mindre har transmissionsvejen $f-s$ eller $s-f$, uden at de angiver i de udarbejdede målerapporter, hvilke transmissionsveje, som har bidraget til transmissionen. Undersøgelse af flanketransmissionsvejene foretages i laboratorier i reglen ved at tildække overfladerne med lydisolierende forsatsbeklædning. Hvilke flader, der tildækkes, afhænger af den transmissionsvej, som ønskes undersøgt.

Et reduktionstal for flanketransmissionen er endnu ikke standardiseret, men der er tilsyneladende ingen uenighed om anvendelse af definitionen:

$$R_{1-2}^{f-f} = L_s - L_m - 10 \log \frac{A}{S_f} \text{ dB} \quad (9)$$

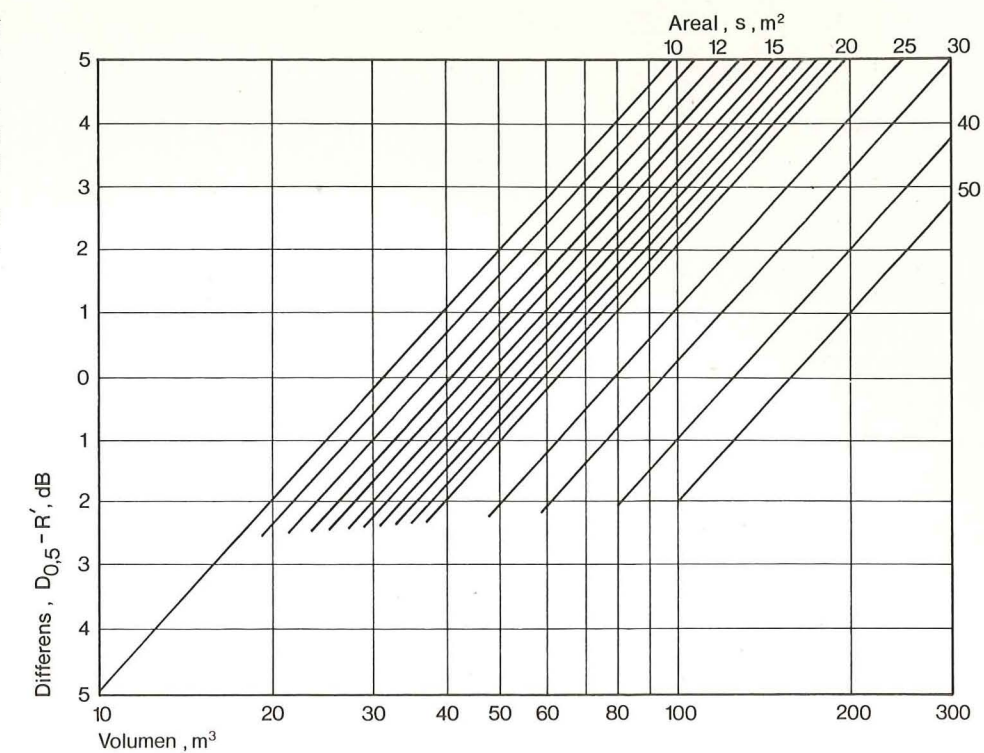
hvor L_s og L_m er lydtrykkniveauerne i sende- og modtagerum via vej $f-f$, S_f er arealet af den flankerende vægflade i modtagerummet.

Litteratur [31, 43].

Vurdering af måleresultater

Måling af luftlydisolation udføres i de fleste lande ved måling af niveaudifferenserne pr. 1/3 oktav, men også målinger af niveaudifferensen pr. oktav anvendes i nogle lande. Målingernes udførelse er standardiseret i ISO/R140. Denne standard anvendes i flere lande, hvor der som led i krav om en mindste luftlydisolation mellem boliger udføres målinger af luftlydisolation i laboratorier og bygninger. Måleresultaterne angives ved reduktionstallet som funktion af frekvensen. Det har i mange år været almindeligt foruden som funktion af frekvensen også at karakterisere et måleresultat ved det simple middeltal af resultaterne pr. 1/3 oktav. Inden for frekvensområdet 90-3550 Hz findes der seksten 1/3 oktaver med

Figur 15. Differensen mellem rumisolation og reduktionstal som funktion af voluminet i modtagerummet. Det fælles skillefladeareal er anvendt som parameter. Når dette skillefladeareal bliver nul eller er mindre end 10 m², så anvendes 10 m² som fiktivt fællesareal. For små rum, fx toilet- og baderum, betyder anvendelse af R' en lempelse i forhold til kravene i BR-72. For større rum betyder det en skærpelse i forhold til BR-72.



standardiserede centerfrekvenser. Middeltallet angives ofte ved R_m .

Det har imidlertid vist sig hensigtsmæssigt med en mere kvalificeret bedømmelse af lydisolations ved at foretage en frekvensmæssig vægtning af resultatet pr. 1/3 oktav. Dette kan ske ved vurdering af måleresultater efter ISO/R717, hvilket i praksis vil sige, at måleresultater angives ved et vægtet middeltal, som betegnes I_a , hvor I står for indeks og a for airborne (figur 16). Denne standard benyttes i mange lande til vurdering af måleresultater udført efter retningslinjerne i ISO/R140.

I Danmark har der i mange år været anvendt et andet vurderingssystem, end det i ISO/R717 angivne. I det nye bygningsreglement BR-77 brydes med dette princip, idet vurderingskriterierne fra ISO/R717 er indført som led i fælles nordiske harmoniseringsbestræbelser. Principielt kan indholdet i ISO/R717 anvendes til vurdering af resultater fra såvel laboratorie- som feltmålinger, men rekommandationen sigter først og fremmest på anvendelse i forbindelse med feltmålinger. Anvendes vurderingen på resultater af laboratoriemålinger bør det derfor indiceres. Mellem middeldrektionstallet R'_m og det vægtede middeltal I_a kan der overslagsmæssigt regnes med følgende sammenhæng $I_a \sim R'_m + 2$ dB. Konstruktioner med væsentlig nedsat lydisolations i koindensområdet og lette dobbeltkonstruktioner med ek-

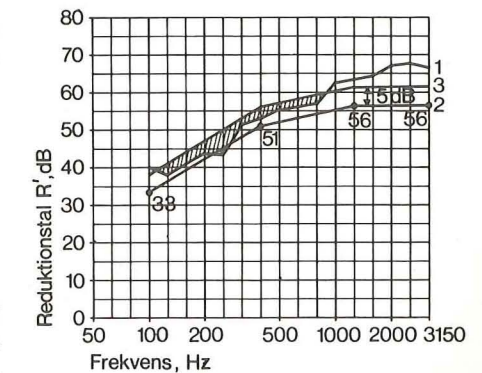
strem stor lydisolations kan dog have betydelige afvigelser fra den angivne sammenhæng mellem R'_m og I_a . Litteratur [43].

Måling af skillevægges lydisolations

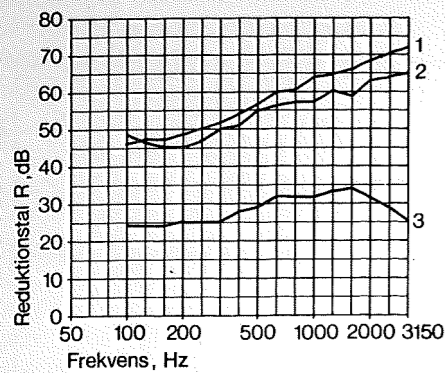
Der er i tidens løb foretaget målinger af mange forskellige vægges og dæks luftlydisolation. Målinger i laboratorium giver i almindelighed den for bygningsdelen maksimale luftlydisolation, medens målinger i bygninger i reglen fører til lavere værdier end i laboratorier.

Der gælder dog undtagelser fra dette. Tynde vægge med relativ ringe lydisolations, dvs. skillevægge, hvis omgivende bygningsdele alle har en lydisolations, som er ca. 20 dB større end skillevæggenes, giver under forudsætning af lydteknisk fejlfri opstilling samme luftlydisolation i bygning og i laboratorium. Massive vægge med tykkelse på 150-250 mm har ofte en større lydisolations ved lave frekvenser i bygninger end i laboratorier, hvilket må henføres til indbygningsforholdene. De i laboratorier konstaterede koindensforhold genfindes ofte i bygninger.

Blandt andre størrelser, der kan have indvirkning på luftlydisolationen, kan nævnes vægmaterialets porøsitet og luftlydisolationens vinkelafhængighed. Sidstnævnte forhold har navnlig be-

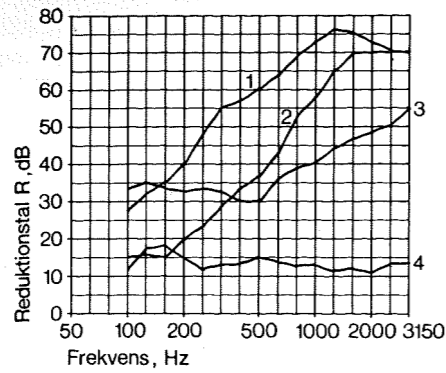


Figur 16. Beregning af I_a . Princippet i vurderingsmetoden består i, at måleresultatet, kurve 1, vurderes i relation til et kurveforløb, kurve 2, som forskydes i ordinatens retning i spring på 1 dB, indtil et eller begge de følgende krav er opfyldt. 1: Ingen afvigelser fra vurderingskurven mod lavere værdier må overstige 8 dB og summen af afvigelser skal være mindre end 32 dB. 2: Summen af afvigelser fra vurderingskurven mod lavere værdier skal antage den største værdi, som er mindst 16 dB og højst 32 dB. Den herved fremkomne beliggenhed af kurveforløbet, kurve 3, angiver vurderingen af måleresultatet, og dens I_a -værdi aflæses som ordinatværdien ved 500 Hz. Eksempel på beregning af I_a . Forskydes kurve 2 ialt (+5) dB bliver summen af afvigelserne 27 dB, hvis forskydningen er (+6) dB, bliver afvigelserne større end 32 dB. Indeks for luftlydisolationen bliver derfor: $I_a = 52 + 5 = 57$ dB, idet kurve 2 svarer til $I_a = 52$ dB.



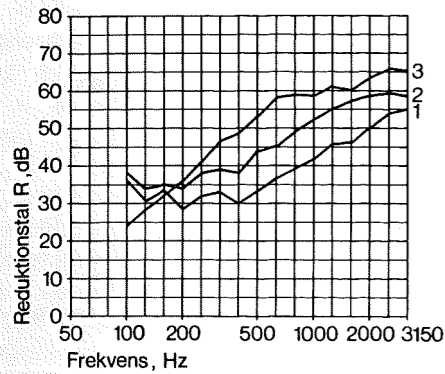
Figur 17. Reduktionstallet som funktion af frekvensen.

Kurve 1: 180 mm betonvæg,
 $R_m = 57$ dB, $I_{a(1ab)} = 60$ dB.
 Kurve 2: 1/2-stens teglvæg med puds,
 $R_m = 54$ dB, $I_{a(1ab)} = 57$ dB.
 Kurve 3: 4 mm glas,
 $R_m = 27$ dB, $I_{a(1ab)} = 30$ dB.



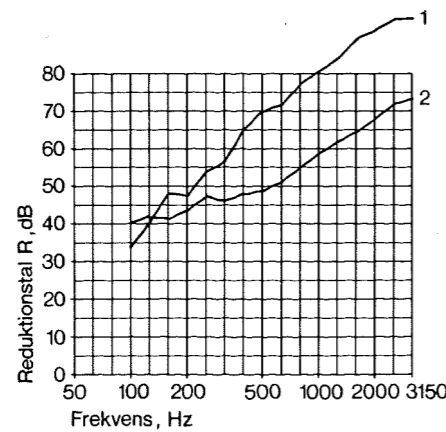
Figur 19. Reduktionstallet som funktion af frekvensen for to vægge.

a) Dobbelt træskelet af 56 mm x 56 mm stolper pr. 0,60 m c-c med 9 mm gipspladebeklædning på ydersider. Hulrummet, tykkelse 175 mm, var udfyldt tæt med Rockwool med en rumvægt på ca. 75 kg/m³.
 b) Enkeltvæg af 65 mm klinkerbeton.
 Kurve 1: Pladebeklædt dobbelt træskeletvæg med mineraluldsindlæg,
 $R_m = 58$ dB, $I_{a(1ab)} = 54$ dB.
 Kurve 2: Dobbelt træskeletvæg med mineraluldfyldning, uden pladebeklædning,
 $R_m = 43$ dB, $I_{a(1ab)} = 35$ dB.
 Kurve 3: Pudset klinkerbetonvæg,
 $R_m = 39$ dB, $I_{a(1ab)} = 38$ dB.
 Kurve 4: Upudset klinkerbetonvæg,
 $R_m = 13$ dB, $I_{a(1ab)} = 13$ dB.



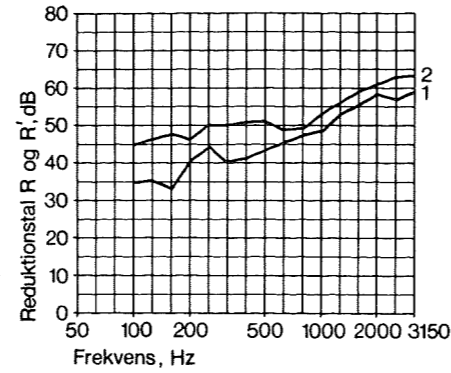
Figur 18. Reduktionstallet som funktion af frekvensen for en 150 mm porebetonvæg af blokke med en rumvægt på ca. 600 kg/m³. Den lydisolerende beklædning bestod af 9 mm gipsplader opsat på 25 mm lægter pr. 60 cm og med indlæg af 25 mm mineraluld med en rumvægt på ca. 30 kg/m³.

Kurve 1: Væg uden beklædning,
 $R_m = 39$ dB, $I_{a(1ab)} = 40$ dB.
 Kurve 2: Væg med lydisolerende beklædning på en side,
 $R_m = 46$ dB, $I_{a(1ab)} = 48$ dB.
 Kurve 3: Væg med lydisolerende beklædning på begge sider,
 $R_m = 50$ dB, $I_{a(1ab)} = 51$ dB.
 Den forbedring af luftlydisolationen, som opnås ved lave frekvenser 100-160 Hz, er for ensidig beklædning mindre end forbedringen for 200 Hz til 2000 Hz. Ved dobbeltsidig beklædning er forbedringen endog negativ i frekvensområdet 100-160 Hz. Det skyldes, at den anvendte beklædnings resonansfrekvens ligger omkring 160 Hz. Jvf. figur 14, vil en større afstand mellem beklædning og væg have sænket resonansfrekvensen og dermed hævet luftlydisolationen ved lave frekvenser.



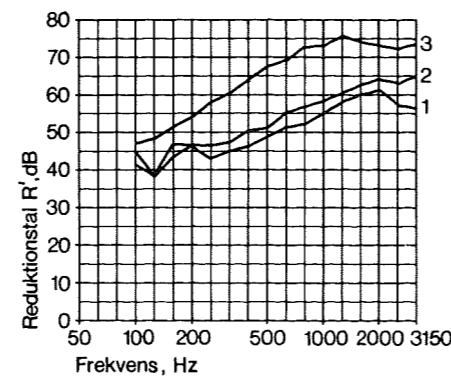
Figur 20. Reduktionstallet som funktion af frekvensen for dobbelt murstensvæg uden bindere udført af 2 x 120 mm mursten og med 50 mm mellemrum udfyldt med mineraluld. Væggen er udført henholdsvis med og uden adskillende fuger i de omgivende bygningsdele, også i gulvet, ud for hulrummet i dobbeltvæggen.

Kurve 1: Med adskillende fuger,
 $R_m = 68$ dB, $I_{a(1ab)} = 62$ dB.
 Kurve 2: Uden adskillende fuger i de omgivende bygningsdele,
 $R_m = 54$ dB, $I_{a(1ab)} = 55$ dB.
 (Efter Ingemansson).



Figur 21. Reduktionstallet R og R' som funktion af frekvensen for dobbelte porebetonvægge $\gamma \approx 800$ kg/m³.

Kurve 1: To enkeltvægge af 75 mm porebeton opstillet som dobbeltvæg i en bygning med bærende søjler og plader,
 $R'_m = 46$ dB, $I_a = 49$ dB.
 Kurve 2: To enkeltvægge af 75 mm porebetonvægge opstillet som dobbeltvæg i laboratorium,
 $R_m = 53$ dB, $I_{a(1ab)} = 54$ dB.
 Dobbeltvæggenes totale tykkelse 200 mm.



Figur 22. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for dobbelte murstensvægge.

Kurve 1: To 1/2-stensvægge indbyrdes forbundet med ankre,
 $R'_m = 50$ dB, $I_a = 54$ dB.
 Kurve 2: To 1/2-stensvægge uden indbyrdes forbindelse,
 $R'_m = 53$ dB, $I_a = 56$ dB.
 Kurve 3: To 1/1-stensvægge uden indbyrdes forbindelse,
 $R'_m = 64$ dB, $I_a = 68$ dB.

Sammenlignes resultaterne med de i figur 20 angivne, ses det, at dobbelte 1/2-stensvægge er vanskelige at udføre i praksis. (Efter Eisenberg).

tydning ved facadevægge, hvor lydindfald ofte, hovedsagelig sker i et begrænset vinkelområde. I figurerne 17-20 er vist laboratiormålte reduktionstal for nogle vægtyper. Koindensfænomenet afspejler sig i resultaterne i ganske god overensstemmelse med teorien. Dobbeltvægge af træ- eller stål-skelet med pladebeklædning kan ved måling i bygninger give næsten samme resultat som ved måling i laboratorier, når de omgivende bygningsdeles reduktionstal er tilstrækkelig store.

Dobbeltvægge af tegl, beton og letbeton kræver en adskillende fuger i de omgivende bygningsdele ud for dobbeltvæggenes hulrum for at give den størst mulige lydisolation. Dette forhold vil meget sjældent være opfyldt, hverken ved indbygning i laboratorier eller ved anvendelse i praksis. Forskellen i isolationsindeks I_a -værdi for dobbeltvægge monteret i henholdsvis en fælles ramme og i en konstruktion med adskillende fuger ud for dobbeltvæggenes hulrum kan andrage mere end 20 dB. Forsynes væggene med bindere alt andet uforandret, kan forskellen ikke overstige 10-12 dB. I laboratorier afprøves dobbeltvægge af letbeton derfor ofte med elastisk materiale mellem den ene vægskive og den omgivende prøveramme. Da denne opsætningsmetode i reglen er fuldstændig uegnet til brug under praktiske forhold, er lydisolationen i bygninger i de fleste tilfælde mindre end ved opsætningen i laboratorier (figur 21). Vægge af beton, letbeton, tegl og andre materialer i tykkelser med stor egenstivhed bør derfor ikke kritikløst anvendes i dobbeltkonstruktioner ud fra ønsket om at opnå en forbedret lydisolation. Dobbeltvægge med adskillende fuger i omgivende bygningsdele giver i praksis meget varierende resultater, idet resultatet i høj grad afhænger af, hvor konsekvent adskillelsen mellem dobbeltvæggenes to vægdele er udført (figur 22).

Litteratur [7, 10, 11, 15, 23, 29, 30, 31, 36, 43, 47, 54, 57, 59].

Måling af flanketransmission

Koindenssegenskaber afhænger af materiale og tykkelse, og de påvirker ikke blot lydtransmission vinkelret på væggen, men også lydtransmission i væggen. Det medfører i praksis, at lydtransmissionsforholdene i de omgivende bygningsdele kan være ret forskellige. Flanketransmission i givne

konstruktioner kan undersøges i specielle laboratorier, medens flanketransmissionsmålinger i bygninger i reglen giver oplysning om den samlede flanketransmission (figur 23).

I en af de ældste undersøgelser heraf er flanketransmissionen undersøgt i en række bygninger. For en resulterende lydisolation R'_m over 50 dB, var indvirkningen fra flanketransmissionen større end den direkte transmission, for R'_m omkring 50 dB var virkningen af den direkte og den indirekte transmission af samme størrelsesorden, for R'_m mindre end 49 dB var flanketransmissionens indvirkning af mindre betydning entydig. Dette er dog ikke så mærkeligt, idet byggesystemet kan have en væsentlig indvirkning på flanketransmissionen, ligesom de tilsluttede bygningsdele og den måde, hvorpå de tilsluttes den adskillende bygningsdel, har stor indvirkning på flanketransmissionen.

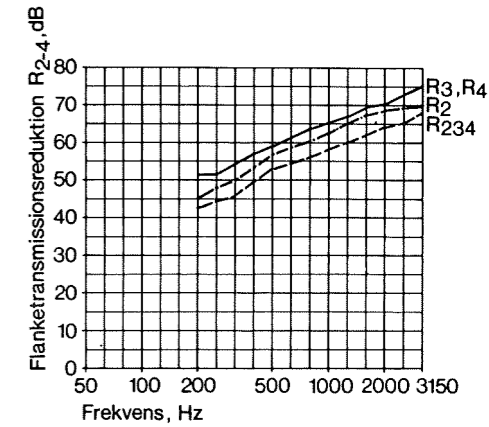
Ved undersøgelse af flanketransmissionen er det væsentligt at kende transmissionen ad vejene 2, 3 og 4 (figur 9), som udgør den samlede virkning af flanketransmissionen. Transmissionen ad vejen 2 anses i mange tilfælde for at være bestemmende for, om yderligere forbedringer af den adskillende bygningsdels lydisolation fører til en forøget luftlydisolation mellem rummene. Dette er imidlertid en sandhed med modifikationer, idet en forøgelse af skillevejens vægt og tykkelse også kan nedsætte flanketransmissionen. Undersøgelser af flanketransmissionen i bygninger udført af henholdsvis tegl og beton viser, at der ikke er større forskel mellem disse, og at der med rimelighed kan frembringes ens middelværdier for bygninger med bærende vægge af henholdsvis mursten og beton. For bygninger med lydisolation af størrelsen $I_a = 52$ dB, som stort set svarer til danske krav, kan konkluderes, at lydtransmission ad vej 1 udgør ca. 50 pct af den samlede transmission, at lydtransmissionen ad vej 3 og 4 udgør ca. 25 pct af den samlede lydtransmission. Dette fører til den simple regel, at reduktionstallet for transmissionsvej 2 bør være mindst 6 dB større end reduktionstallet for vej 1. Forøges bygningens lydisolation udover $I_a = 52$ dB vokser flanketransmissionens andel af den samlede transmission med voksende isolationsværdi (figur 24).

Reduktionstallet for transmission gennem en flankerende massiv byg-

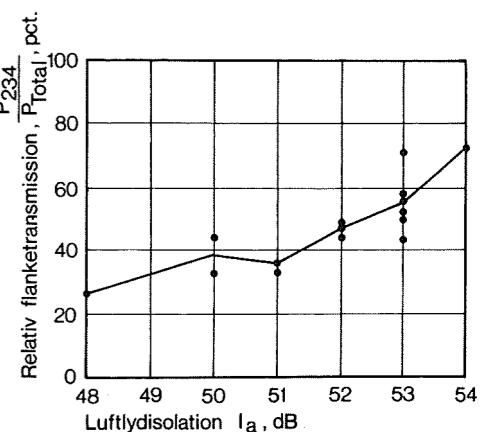
ningsdel kan tilnærmelsesvis udtrykkes ved:

$$R_{1-2}^{f-f} = R + D_v \quad (10)$$

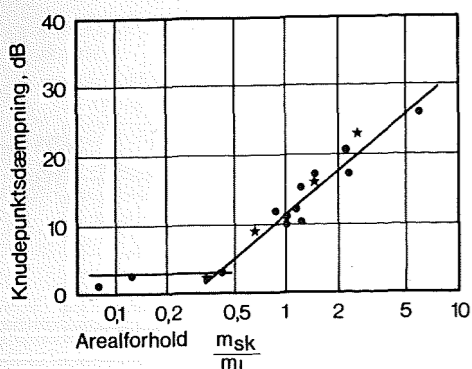
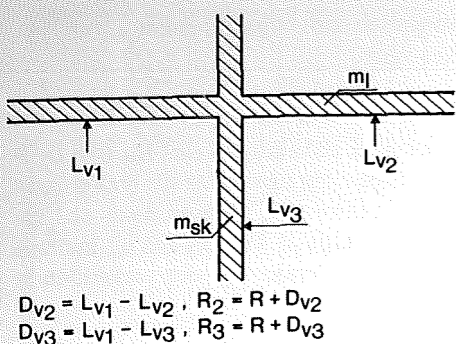
hvor R er reduktionstallet for den bygningsdel, som anvendes til flankerende konstruktion, D_v dæmpningen ved lydens passage af knudepunktet mellem den flankerende og den adskillende bygningsdel.



Figur 23. Flanketransmissionsreduktion som funktion af frekvensen. Resultaterne er middelværdier af flanketransmissionsmålinger i 15 bygninger udført henholdsvis af mursten og beton. Den samlede flanketransmission R_{234} , der i praksis sætter grænsen for den opnåelige luftlydisolation, svarer ret nøje til de bedste danske resultater. (Efter Fasold und Merkel).



Figur 24. Den procentuelle fordeling af flanketransmissionen ad vejene 2, 3 og 4 (i figur 9) i forhold til den totale luftlydisolation som funktion af I_a -værdien. Resultaterne bekræfter, at for byggeri med bærende vægge gælder den tidligere omtalte tommelfingerregel, at flanketransmissionen og den direkte transmission er af samme størrelse ved luftlydisolationen $R'_m \approx 50$ dB, hvilket stort set svarer til $I_a = 52$ dB. (Efter Fasold und Merkel).



Figur 25. Flanketransmissionsreduktionstallet kan tilnærmelsesvis angives ved reduktionstallet plus knudepunktsdæmpningen, D_{v2} . I diagrammet, der er teoretisk bestemt af Heckl og eksperimentelt af Gösele, vises knudepunktsdæmpningen som funktion af forholdet mellem skillevægges vægt pr. arealenhed og den langsgående vægs vægt pr. arealenhed. D_{v2} bestemmes som ti gange logaritmen til forholdet mellem kvadraterne på hastighedsamplituderne i punkterne 1 og 2, dvs. som differensen mellem hastighedsniveauerne L_{v1} og L_{v2} .

Værdien af D_v afhænger af forholdet mellem vægten af henholdsvis den flankerende og den adskillende konstruktion og af tilslutningens udførelse. Findes der en fuge vinkelret på udbredelsesretningen, hvorved den flankerende bygningsdel afbrydes ud for eller parallelt med den adskillende bygningsdel, kan D_v blive større end angivet i figur 25, medens dette ikke nødvendigvis er tilfældet med en fuge parallelt med udbredelsesretningen, hvorved den flankerende bygningsdel afbrydes fra den adskillende bygningsdel. Det betyder, at stive bygningsdele, som er ført løst forbi en adskillende bygningsdel med stor tykkelse, giver stor flanketransmission.

Indlæg af elastisk materiale i horisontale fuger i bygningsdele fører i reglen ikke til den ønskede nedsættelse af lydtransmissionen i vertikal retning, hvis de ovenliggende bygningsdele belaster materialet i fugerne. I horisontal retning fører vertikale adskillelser derimod til en betydelig lyd-dæmpning. Dette princip finder især anvendelse i rækkehuse, hvor lydtransmissionen langs husene nedsættes væsentligt. En konsekvent gennemført adskillelse mellem en dobbeltbetonvægs to halvdele kan give forøgelse af lydisolations på mere end 10 dB i forhold til lydisolations med en massiv væg med samme vægt som dobbeltvæggen.

Såvel i laboratorier som i bygninger er udført talrige målinger til belysning af transmissionen gennem flankerende bygningsdele. Knudepunktsdæmpninger er målt for en lang række konstruktionssamlinger, således at en tilnærmel beregning af flanketransmission er mulig. Der er imidlertid i praksis den ulempe ved metoden, at der for hver enkelt adskillende flade ofte er fire forskellige konstruktionssamlinger, nemlig en for hver kant. I mange tilfælde er denne komplikation ikke nogen reel hindring, idet transmissionen via en af de flankerende bygningsdele ofte er væsentlig større end via de øvrige bygningsdele. Det kan derfor være særdeles berettiget at undersøge lydtransmissionen via en flankerende bygningsdel, som det ofte gøres i laboratorier. For at give et indtryk af den mangfoldighed af samlinger, der kan forekomme ved en vægskillelse mellem to boliger er i figur 27 vist lodret og vandret snit i en væg. For hver samling er vist nogle udførelsesdetaljer og i det følgende er en del af samlingerne, for så vidt erfaringer er bekendt, belyst ved hjælp af diverse måleresultater fra litteraturen og fra BAM's virksomhed. Det er i det følgende forudsat, at alle samlinger er tætte, når intet andet er nævnt.

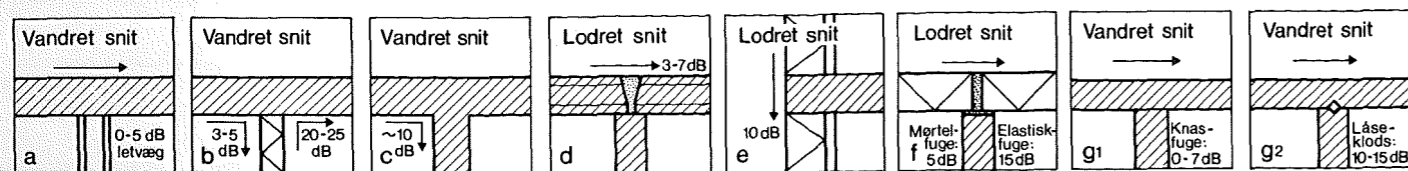
Litteratur [1, 2, 7, 8, 13, 14, 16, 22, 25, 26, 27, 39, 40, 52].



Figur 27. Skitse af samlinger mellem vægge og dæk, samt en række detaljer af samlingsudførelser, hvoraf de fleste er relativt hyppigt forekommende i dagens byggeri. Skitse 1 illustrerer samlinger mellem vægoverside og

dækunderside. Skitse 2 samlinger mellem vægunderside og dækoverside. Skitserne 3 til 5 viser horisontale snit, hvor skitsen 3 viser vægtilslutning til ydervæg udført som sandwich eller massivvæg. Skitse 4 viser kryds mellem

langs- og tværgående vægge. Skitse 5 viser samlinger mellem lette skillevægge og lette facadevægge.



Figur 26. Eksempler på knudepunktsdæmpning samlet i litteraturen. Skitsen a viser, at en let væg ikke dæmper flanketransmission meget. Derfor er det i et byggesystem med bærende tværvægge i praksis vanskeligt at indlægge boligskel af lette vægge mellem de bærende tværvægge, idet såvel langsgående vægge som dæk skal have en væsentlig større luftlydisolation end den lette væg for at opnå

en isolation mellem rummene svarende til den lette vægs lydisolations. Skitserne a, d og f viser situationer med ringe knudepunktsdæmpning. Dette indikerer hvorfor bygningsdele af letbeton ofte giver anledning til uventet lav isolation, idet en langsgående bygningsdel af letbeton med normale dimensioner ikke kan give en lydisolations svarende til bygningsreglementets krav mellem boliger. Det er der-

for nødvendigt, at konstruktionssamlinger giver størst mulig knudepunktsdæmpning. Den lavere knudepunktsdæmpning i skitserne d, f og g₁ er forklaring på, hvorfor lydisolations ofte er lavere i øverste etage og mellem rum, hvor skillevæggen tilsluttes midt på et facadeelement med en knasfuge. Skitse g₂ antyder, hvorledes en låseklods kan forøge knudepunktsdæmpningen.

Samlingers indvirkning på lydisoleringen

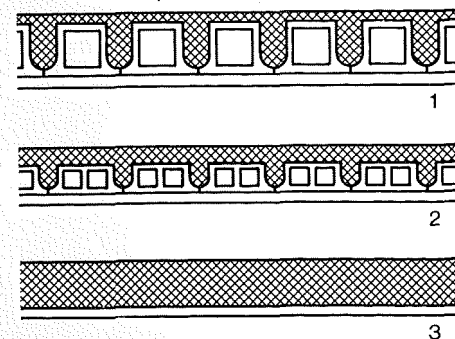
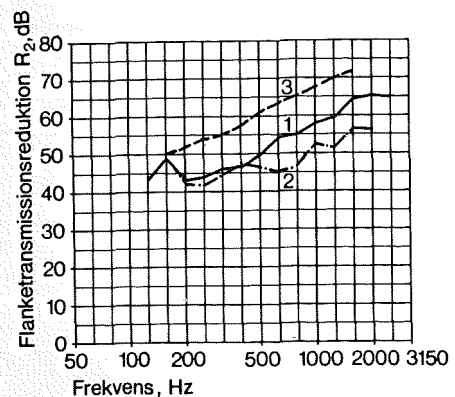
Samling ved loft

Et dæk uden lydisolierende beklædning er ofte den bygningsdel, der sætter grænsen for den opnåelige lydisolering.

Ifølge figur 25 og figur 26, skitse a, vil en dækplade have sin største flanketransmission, når en let væg sluttes til dækket. Løsningen i figur 27, skitse 1 d, vil således, under i øvrigt lige forhold, have den største flanketransmission. Det gælder stort set også skitsen for 1 e.

Anvendelse af lette vægge under de nævnte forhold bør kun ske, hvor flanketransmissionen kan undertrykkes. Hulstendæk og til dels også hulpladedæk af beton kan udvise specielle uheldige egenskaber med hensyn til flanketransmission (figur 28).

Litteratur [21, 48].



Figur 28. Flanketransmissionsreduktion R_2 som funktion af frekvensen for to forskellige hulstendæk og et massivt betondæk. Anvendelse af dækket 2 medfører, at en let væg ført til underside af dæk næppe kan give større luftlydisolation end 47-48 dB.

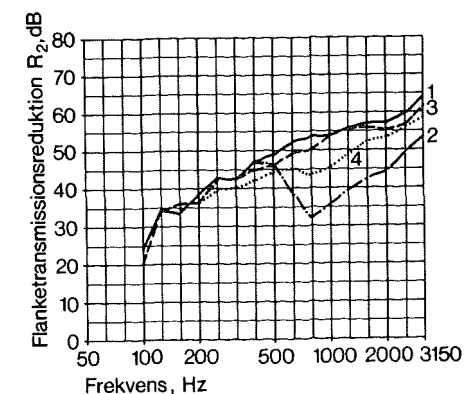
Målingerne er udført således, at lydtransmission ad vej 2, jvf. figur 9, i dette tilfælde de undersøgte dæk, er bestemmende for resultatet. Dette foretages i praksis ved tildækning af de øvrige flader med lydisolierende beklædninger. (Efter Gösele).

Samling ved gulv

Når samlinger til gulv og loft ikke betragtes under et, skyldes det, at gulve ofte virker som en lydisolierende beklædning, der formindsker lydtransmissionen gennem dækket.

Tynde belægninger som tæpper, linoleum eller lignende påvirker ikke dækkets luftlydisolation. De under samlinger til loft anførte betragtninger om flanketransmission gælder derfor også for dæk med tynde gulvbelægninger. Svømmende gulve af træ, beton eller asfalt i udførelser svarende til figur 27, skitserne 2 a og 2 b, forøger den maksimalt opnåelige luftlydisolation med 5-10 dB.

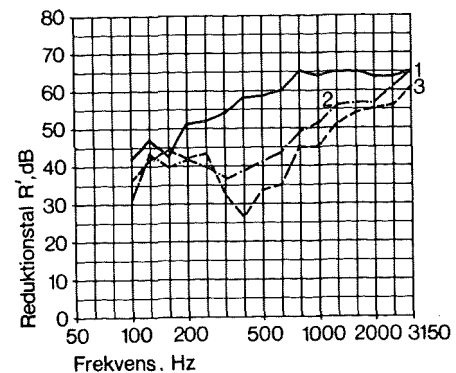
Gulve udlagt svarende til skitsen 2 c nedsætter derimod den maksimalt opnåelige luftlydisolation betydeligt. Dette gælder også for afretningsslag udlagt løst, fx på folie (figur 29 og 30). Litteratur [9, 47, 48].



Figur 29. Flanketransmissionsreduktion R_2 svarende til maksimal luftlydisolation som funktion af frekvensen for et 35 mm svømmende betongulv, kurve 1, udlagt på 13/10 mm stenuld, sillan tildækket med bitumenpap 250 g/m², og for et 30 mm svømmende støbeasfaltgulv, kurve 3, udlagt på 17/10 kokosfilt tildækket med papir 170 g/m².

Kurve 1: Betongulv med adskillende fuger under skillevæg, $R'_m = 47$ dB, $I_a = 52$ dB.
Kurve 2: Betongulv uden adskillende fuger. $R'_m = 40$ dB, $I_a = 39$ dB.

Kurve 3: Asfaltgulv med adskillende fuger under skillevæg, $R'_m = 46$ dB, $I_a = 48$ dB.
Kurve 4: Asfaltgulv uden adskillende fuger under skillevæg, $R'_m = 43$ dB, $I_a = 47$ dB.
Målingerne er udført således, at lydtransmissionen ad vej 2, jvf. figur 9, i dette tilfælde det svømmende gulv, er bestemmende for resultatet. (Efter Eisenberg).

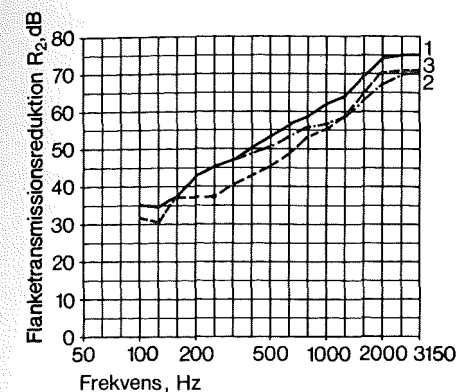


Figur 30. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for gipspladebeklædte, dobbelte stålskeletvægge opstillet på dækket, henholdsvis på et 20 mm anhydritlag på folie og på et 55 mm anhydritlag svømmende på 20 mm mineraluld. Væggene er med to uafhængige stålskeletter, med 100 mm mineraluld i hulrummet og beklædninger af 2x13 mm gips.
Kurve 1: Væg til dækoverside igennem afretningsslag, $R'_m = 57$ dB, $I_a = 62$ dB.
Kurve 2: Væg til overside af 20 mm afretningsslag, $R'_m = 47$ dB, $I_a = 49$ dB.
Kurve 3: Væg til overside af svømmende gulv, $R'_m = 44$ dB, $I_a = 35$ dB.

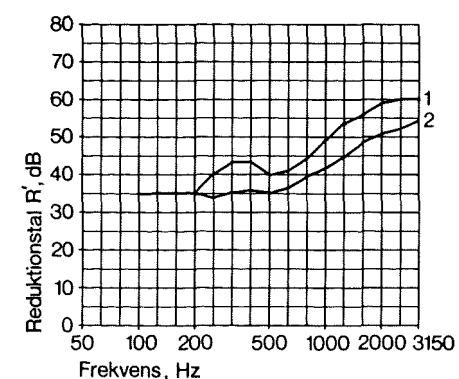
Samling ved facader af beton og tegl

Massive facadevægge af beton og tegl forekommer sjældent; derimod anvendes i mange tilfælde vægge af porebeton. Lydtransmissionen gennem disse facadevægge er ofte så stor, at det er vanskeligt at opnå den ønskede luftlydisolation uden anvendelse af lydisolierende forsatsbeklædninger. Et skønsmæssigt overslag over den forventede maksimale luftlydisolation kan fås ved brug af figurerne 11, 25 og 26. Se figur 31 og 32.

Tilslutning til sandwichvægges bagstøbninger virker stort set som tilslutning til massiv væg med bagstøbningens tykkelse (figur 33). Umiddelbart kunne det forventes, at overskæring af bagstøbningen ville være en brugbar metode til at nedsætte flanketransmission. Erfaringer fra praksis viser imidlertid, at også forstøbningen skal overskæres, idet lyden transmitteres fra bagstøbning via isoleringslag til forstøbning og gennem denne forbi den

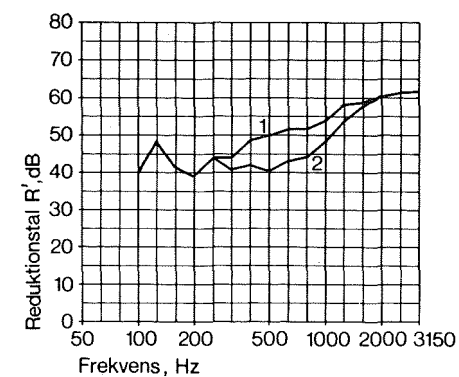


Figur 31. Flanketransmissionsreduktionen R_2 for 230 mm porebetonvægge målt i laboratorium.
Kurve 1: Væggen overskåret for skillevæggen, $R'_m = 54$ dB, $I_a = 56$ dB.
Kurve 2: Væggen gennemgående og faststøbt til en 150 mm skillevæg af beton, $R'_m = 52$ dB, $I_a = 55$ dB.
Kurve 3: Væggen gennemgående, men ikke faststøbt til skillevæg, $R'_m = 49$ dB, $I_a = 50$ dB.
Målingerne er udført således, at lydtransmissionen måles ad vej 2, jvf. figur 9, i dette tilfælde den 230 mm porebetonvæg. De øvrige flader var tildækket med lydisolierende forsatsbeklædning. (Efter Donovan).

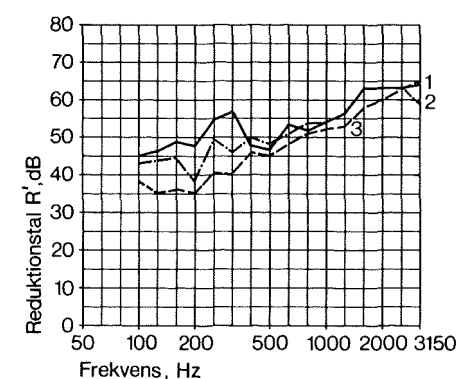


Figur 32. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for en dobbelt letbetonvæg tilsluttet en enkelt 300 mm letbetonvæg.
Kurve 1: Den flankerende væg overskåret ud for hulrum, $R'_m = 46$ dB, $I_a = 49$ dB.
Kurve 2: Den flankerende væg gennemgående, $R'_m = 41$ dB, $I_a = 43$ dB.

overskærne bagstøbning og herefter fra forstøbning via isoleringslag til bagstøbning, hvorfra lyden udstråles i modtagerrommet. Tilsvarende gør sig gældende ved anvendelse af hule muretsvægge, hvor bindere kobler den udvendige og den indvendige mur sammen. Koblingen mellem en ydervægs

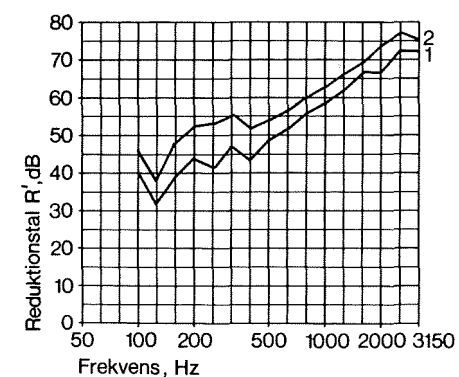


Figur 33. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for en 150 mm betonvæg tilsluttet en ca. 250 mm tyk sandwichvæg med for- og bagstøbning af 80 mm porebeton og med celleplast som varmeisolation. Skillevæggen er tilsluttet en hul mur muret med bindere. Bagmuren er forsynet med en lodret fuger ud for dobbeltvæggens hulrum.
Kurve 1: Forstøbningen overskåret ud for skillevæggen, $R'_m = 51$ dB, $I_a = 55$ dB.
Kurve 2: Forstøbningen ført ubrudt forbi skillevæg, $R'_m = 48$ dB, $I_a = 49$ dB. (Efter Brandt).



Figur 34. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for en hulmur tilsluttet et 120 mm betondæk med svømmende gulv, før og efter at hulrum er udfyldt med et skummateriale baseret på urethan.
Kurve 1: Hulmuren ikke udfyldt, $R'_m = 54$ dB, $I_a = 55$ dB.
Kurve 2: Hulmuren udfyldt, umiddelbart efter fyldning, $R'_m = 48$ dB, $I_a = 50$ dB.
Kurve 3: Hulmuren udfyldt, lang tid efter fyldning, $R'_m = 52$ dB, $I_a = 54$ dB. (Efter Utley and Seewell).

for- og bagside forudsætter en vis stivhed af det mellemliggende isoleringslag eller afstandsholdere (bindere) (figur 34 og 35). En tilstrækkelig stivhed til at danne en sådan lydbro har isoleringsmaterialer som polystyrenskum allerede ved en rumvægt på omkring 20 kg/m³, medens mineraluld alminde-



Figur 35. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for en dobbeltvæg af 2 x 75 mm letbeton, 2 x 1/2-sten med 100 mm mellemrum udfyldt med mineraluld. Væggen er tilsluttet en hul mur muret med bindere. Bagmuren er forsynet med en lodret fuger ud for dobbeltvæggens hulrum.
Formuren er blevet forsynet med en 10 mm lodret fuger ud for dobbeltvæggens mellemrum.
Kurve 1: Før opskæring af formur, $R'_m = 53$ dB, $I_a = 52$ dB.
Kurve 2: Efter opskæring af formur, $R'_m = 59$ dB, $I_a = 60$ dB.

ligvis ikke har denne virkning for rumvægte under 120 kg/m³. Den enkelte mineraluldtypes transmissionsegenskaber vil i øvrigt afhænge af det benyttede bindemiddels hårdhed og stivhed.

Litteratur [1, 5, 26, 60].

Samling ved indvendige vægge

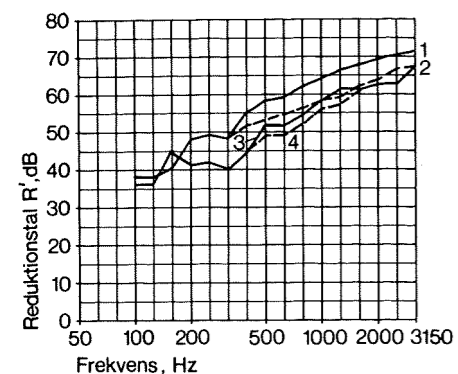
Flanketransmissionen gennem indvendige, massive vægge kan med tilnærmelse skønnes ved anvendelse af figurerne 11 og 25. Vægge af letbeton og tynde betonvægge kan i nogle tilfælde sætte en forholdsvis lav grænse for den opnåelige luftlydisolation (figur 36).

Flanketransmissionen gennem to pladebeklædte skeletvægge tilsluttet på hver side af en massiv væg er som oftest ubetydelig. Ved dobbeltvægge bestående af konsekvent adskilte væghalvdele er koblingen mellem de to flankerende vægge som slutes til dobbeltvæggen så ringe, at den forekommende lydtransmission i almindelighed er uden betydning for den opnåelige lyd-isolation.

Litteratur [15, 44].

Samling ved lette facader af snedkerkomponenter

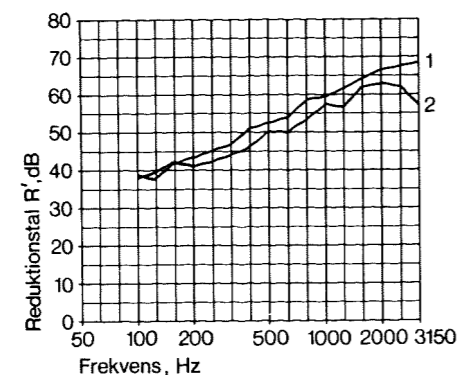
Flanketransmissionen gennem lette facader er meget afhængige af detail-



Figur 36. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for henholdsvis en 150 mm betonvæg og et 185 mm hulpladedæk med trægulv på strøer. En flankerende 75 mm porebetonvæg er henholdsvis tildækket og util-dækket.

Kurve 1: Etageadskillelse, letbetonvæg tildækket, $R'_m = 56 \text{ dB}$, $I_a = 59 \text{ dB}$.
Kurve 2: Etageadskillelse, letbetonvæg util-dækket, $R'_m = 53 \text{ dB}$, $I_a = 57 \text{ dB}$.
Kurve 3: 150 mm betonvæg, letbeton tildækket, trægulv ikke lagt, $R'_m = 51 \text{ dB}$, $I_a = 52 \text{ dB}$.
Kurve 4: 150 mm betonvæg, letbetonvæg util-dækket, trægulv ikke lagt, $R'_m = 50 \text{ dB}$, $I_a = 52 \text{ dB}$.
Tildækning af letbetonvæggen er først af værdi, når transmissionen i overvejende grad sker gennem denne væg. Dette forklarer også, hvorfor beboere i bygninger med relativt god lyd-isolation ofte udpeger de tynde vægge af letbeton eller beton som særlig lyd-transmitterende.

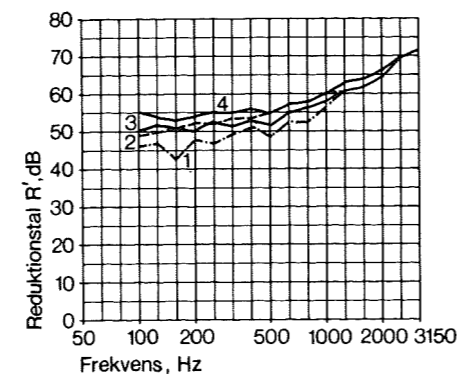
løsningen. Føres væggen ud gennem facaden, er flanketransmissionen i praksis uden betydning. Dette gælder løsninger svarende til figur 27, skitse 5 b, hvor skillevæggen har en varmeisolerende adskillelse. Imidlertid skal problemet vedrørende lydtransmission gennem fugerne løses forsvarligt. Føres skillevæggen kun ind i facaden, som det er vist i skitsen 5 c, er problemet foruden at udføre tætte fuger også at udføre forbindelsen mellem de to facadekomponenter, således at der ikke dannes bøjningsstiv forbindelse. Det vil i praksis sige, at forbindelsen i det viste snit skal være let bøjelig ud for væggen. Udføres facadevæggen svarende til skitsen 5 d vil flanketransmissionen være bestemt af forbindelsen mellem de to facadekomponenter. Løsningen må med hensyn til tæthed betegnes som meget vanskelig at udføre korrekt. Med hensyn til sløjferne mellem facadekomponenterne gælder, som det er anført under 5 c, at forbindelserne skal være uden væsentlig bøjningsstivhed. De i skitserne 5 e og 5 f viste løsninger kan give en del flanketransmission, ligesom de kan give væsentlige tætningsproblemer (figur 37). Hvor løsningen 5 f anvendes i praksis udføres facadekomponenten ofte med gennemgående over- og understykke. Litteratur [5, 49].



Figur 37. Flanketransmissionsreduktion R_2 som funktion af frekvensen for facader svarende til skitserne 5 c og 5 e i figur 27 tilsluttet en betonvæg med lyd-isolerende forsatsbeklædning.
Kurve 1: Skillevæg ført ind i facaden, skitse 5 c, (figur 27), $R'_m = 52 \text{ dB}$, $I_a = 55 \text{ dB}$.
Kurve 2: Facaden ført forbi skillevæggen, skitse 5 e, $R'_m = 49 \text{ dB}$, $I_a = 52 \text{ dB}$.
Det fremgår af resultaterne, at endog skitse 5 c vil kunne give problemer, jvf. figur 23 og 24, idet facadens flanketransmissionsreduktion bør være 6 dB højere end den ønskede luftlydisolation på ca. $I_a = 52 \text{ dB}$. (Efter Donovan).

Forøgelse af lyd-isolation ved anvendelse af lyd-isolerende beklædninger

I talrige huse kan en forøgelse af lyd-isolationen være både ønskelig og nødvendig. Ved at beklæde en eller flere af et rums begrænsningsflader med tynde plader opsat i 20-100 mm's afstand fra væg og loft og med hulrummet mellem væg og plade eller loft og plade udfyldt med mineraluld, kan lyd-isolationen forøges væsentligt (figur 38). Underlaget for pladerne kan være lister opsat på væggen, eller det kan være fritstående med afstand til væggen. Den mulige forbedring af lyd-isolationen vokser med afstanden fra væggen, jvf. udtrykkene (2) og (3). Listerne kan være af træ eller tynde stålprofiler. For at opnå det ønskede resultat skal gulvet desuden være svømmende. Løsninger af denne art bør anvendes hvor der stilles særlige krav til lyd-isolationen fx i sang- og musiklokaler, hobbyrum, vaskerum, varmecentraler, restauranter o.lign. Endnu større lyd-isolation er nødvendig i forbindelse med restauranter med musik og dans (figur 39).



Figur 38. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for en 250 mm betonvæg med flankerende facade af 150 mm betonbagstøbning i facadeelement og flankerende letbetonvæg.
Kurve 1: Letbetonvæg og facadevæg ikke tildækket, $R'_m = 54 \text{ dB}$, $I_a = 56 \text{ dB}$.
Kurve 2: Tildækning af facadevæg, $R'_m = 57 \text{ dB}$, $I_a = 58 \text{ dB}$.
Kurve 3: Tildækning af letbetonvæg, $R'_m = 58 \text{ dB}$, $I_a = 60 \text{ dB}$.
Kurve 4: Tildækning af facade- og letbetonvæg, $R'_m = 59 \text{ dB}$, $I_a = 61 \text{ dB}$.
I huse med 250 mm betonvægge er det i overvejende grad flanketransmissionen, som er bestemmende for luftlydisolationen. Luftlydisolationen uden tildækning af flankerende vægge er kun lidt større end minimumskravene mellem vækkehuse, der angivet som I_a -værdi svarer til $I_a = 55 \text{ dB}$.

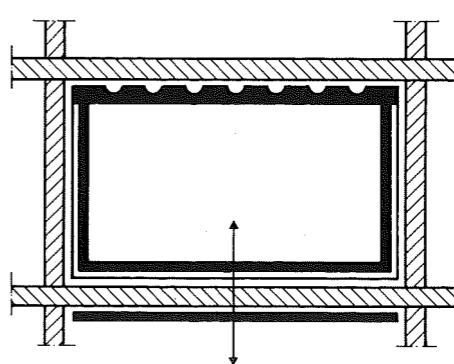
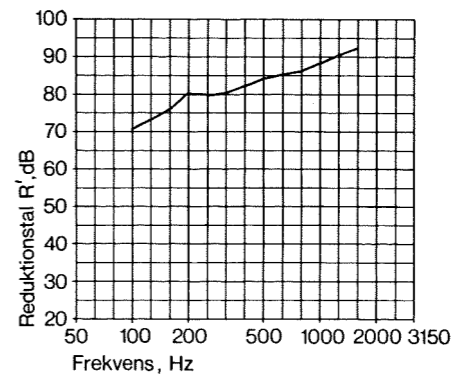
I forbindelse med udførelse af lyd-isolerende beklædninger, må der advares imod at benytte beklædnings-typer, hvis virkning i den påtænkte opsætning ikke er dokumenteret gennem resultater fra praksis, idet en forkert opsætning kan føre til nedsættelse af luftlydisolationen i stedet for en forøgelse. Dette kan fx ske ved at anvende faststøbte træbetonplader med puds og ved at anvende skumplader, som limes både til væg og til forplade.

Litteratur [6, 20, 24].

Lydtransmission gennem utætheder

I mange tilfælde betragtes lydtransmissionen gennem utætheder også som flanketransmission. I praksis er det vanskeligt at skelne mellem transmission via flankerende bygningsdele og transmission gennem utætheder. Problemet kan yderligere kompliceres ved også at inddrage installationer som transmissionsveje for uønsket lydtransmission (figur 40). En klar skelnen mellem de nævnte transmissionsveje er ikke mulig, fordi der i de fleste tilfælde kræves en undersøgelse af betydeligt omfang for at kunne afgrænse og måle transmissionen ad de enkelte veje. Som eksempler på transmission gennem installationer kan nævnes: Lydtransmission mellem boliger via radiatoranlægget og via ventilationsanlægget. I de nævnte tilfælde sker lydtransmissionen gennem radiatoranlægget som en transmission via en bygningsdel, idet lyden fra et rum transmitteres til radiatoren, hvorfra den udbredes gennem frem- og returledninger til en radiator i en underliggende bolig, hvor lydudstrålingen sker fra radiatoren, hvilket i princippet svarer til transmissionen gennem en flankerende væg.

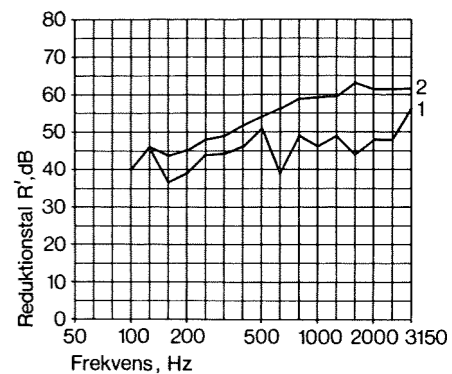
Lydtransmissionen gennem ventilationsanlægget sker derimod via en luftvej mellem de to boliger. I forbindelse med ventilationsanlæg er en luftvej en forudsætning for anlæggets funktion (figur 41). Dette gælder imidlertid ikke i forbindelse med de fleste andre installationer som radiatoranlæg, antenneanlæg og el-installationer, hvor utætheder skal undgås (figur 42). Der forekommer også andre steder i byggeri direkte luft-veje mellem boliger især gennem utætheder ved samlinger mellem skillevæg og omgivende bygningsdele. Skitsen 1 a i figur 27 viser et etagekryds, hvorfra der kendes eksempler på huller i forbindelse med både krydsets overside og underside. Skitsen 1 c viser en udpræget inspektionsvenlig samling, hvori der



Figur 39. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen mellem to over hinanden liggende rum, hvor begge rum har svømmende gulve, og det ene rum desuden beklædte vægge med lyd-isolerende forsatsvægge og loftet forsynet med nedhængt loft. Som beklædning er anvendt 50 mm træbetonplader opsat på et fritstående stolpesystem. Træbetonen er pudset. Gulvet er svømmende og af høj lydteknisk kvalitet. Vægge og dæk er massive med kvadratmeter-vægt på 400-500 kg/m². Det bemærkes, at hvis træbetonpladerne var fastgjort i mørtel, ville resultatet have været en nedsættelse af luftlydisolation i stedet for en forbedring. $R' \approx 83 \text{ dB}$, $I_a \approx 85 \text{ dB}$. Er huset fx udført med 240 mm murstensvægge og dæk af 150 mm beton, kan beklædninger med 13 mm gipsplader i afstande fra væg og loft på 80-160 mm samt et svømmende betongulv på 15-20 mm mineraluld give en rimelig forbedring af luftlydisolationen. Ved etapevis tildækning er opnået følgende resultater.

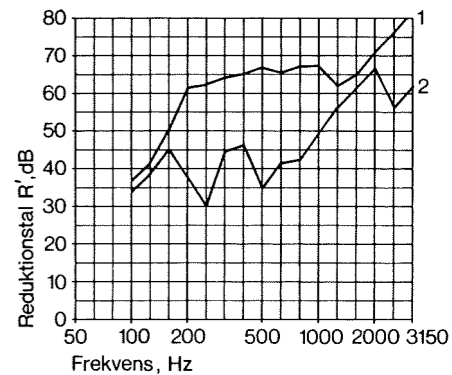
Ubeklædte vægge, gulv og loft	$I_a = 49 \text{ dB}$
Nedhængt loft i nedre rum	$I_a = 54 \text{ dB}$
Nedhængt loft plus to tildækkede vægge	$I_a = 55 \text{ dB}$
Nedhængt loft plus fire tildækkede vægge	$I_a = 57 \text{ dB}$
Nedhængt loft plus fire tildækkede vægge og svømmende gulv i nedre rum	$I_a = 63 \text{ dB}$
Nedhængt loft plus fire tildækkede vægge og to svømmende gulve	$I_a = 64 \text{ dB}$

Det fremgår af de citerede resultater, at en meget stor luftlydisolation kræver ekstraordinære foranstaltninger, og at valget af materiale og opsætning er ret væsentlig for at opnå den ekstreme lyd-isolation. (Efter K. Gösele, P. Dämmig und G. Venzke).

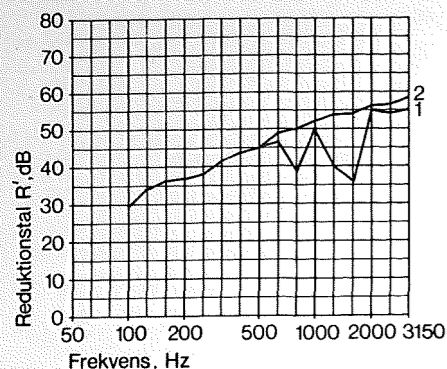


Figur 40. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for en etageadskillelse mellem to opholdsrum, hvor luftlydisolationen bestemmes af lydtransmission gennem radiatoranlægget.

Kurve 1: Luftlydisolationen mellem boliger er: $R'_m = 46 \text{ dB}$, $I_a = 47 \text{ dB}$.
Kurve 2: Radiatorene i de to opholdsrum er tildækkede, $R'_m = 54 \text{ dB}$, $I_a = 54 \text{ dB}$.
Resultaterne udtrykker en desværre ofte konstateret fejl i dansk byggeri, og det viser, at valg af rørføring og radiatorer ikke er uvæsentlige faktorer i forbindelse med lyd-isolationen.



Figur 41. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for en etageadskillelse mellem to baderum, som er ventileret via en fælles kanal med mekanisk ventilation.
Kurve 1: Luftlydisolationen mellem rummene, $R'_m = 46 \text{ dB}$, $I_a = 43 \text{ dB}$.
Kurve 2: Transmission gennem kanalen forhindret ved tildækning af ventilationsåbninger, $R'_m = 63 \text{ dB}$, $I_a = 63 \text{ dB}$.
Resultaterne viser en meget hyppigt forekommende mangel i moderne byggeri. Det opnåede resultat ved tildækning af kanalåbninger er dog væsentligt bedre end normalt. Med traditionelle baderumsudførelser uden svømmende gulve kan opnås I_a -værdier omkring 51 til 55 dB afhængig af de benyttede installationsudførelser og omgivende vægge.

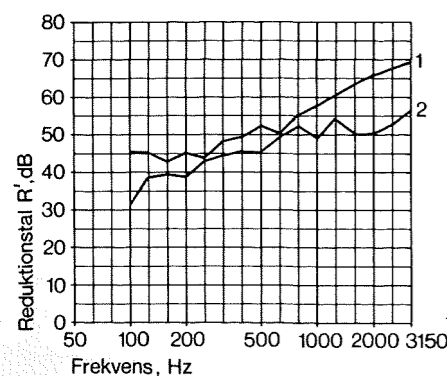


Figur 42. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for en 150 mm betonvæg mellem to opholdsrum som har fælles forbindelse via en antenneinstallation.

Kurve 1: Væggen med antenneudledning, $R'_m = 43 \text{ dB}$, $I_a = 44 \text{ dB}$.

Kurve 2: Antenne gennemføringen tætnet med fugemasse, $R'_m = 46 \text{ dB}$, $I_a = 49 \text{ dB}$.

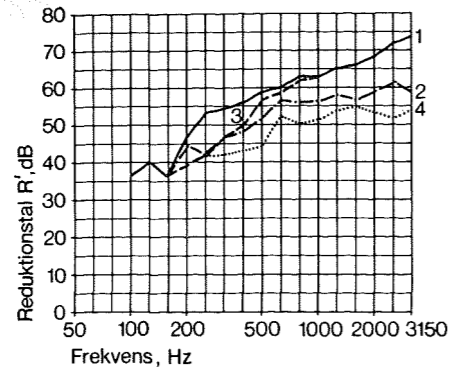
De angivne resultater er desværre alt for hyppigt forekommende i moderne byggeri til trods for litteraturens talrige advarsler mod specielt denne lydtekniske forsyndelse.



Figur 43. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for etageadskillelse ved facadevæggen mellem opholdsrum, hvor der i det ene tilfælde findes en utæthed ved facadevæggen i varmesoleringslaget mellem dæk og altangang.

Kurve 1: Med tæt facadetilslutning, $R'_m = 54 \text{ dB}$, $I_a = 55 \text{ dB}$.

Kurve 2: Utæt facadetilslutning, $R'_m = 46 \text{ dB}$, $I_a = 49 \text{ dB}$.



Figur 44. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for ribbedæk i to rum beliggende således, at dækkene har henholdsvis en og to kanter tilsluttet en sandwichvæg med 150 mm bagstøbning. Alle øvrige rumbegrænsningers indvirkning på flank- og utæthedstransmission er betydningsløse.

Kurve 1: En kant med forbindelse til facade efter tætning af understopningen, $R'_m = 57 \text{ dB}$, $I_a = 57 \text{ dB}$.

Kurve 2: En kant med forbindelse til facade for tætning af understopning, $R'_m = 51 \text{ dB}$, $I_a = 55 \text{ dB}$.

Kurve 3: To kanter med forbindelse til facader efter tætning af understopning, $R'_m = 55 \text{ dB}$, $I_a = 55 \text{ dB}$.

Kurve 4: To kanter med forbindelse til facader for tætning af understopning, $R'_m = 47 \text{ dB}$, $I_a = 50 \text{ dB}$.

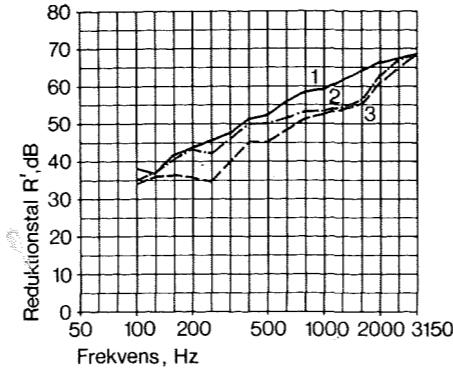
Resultaterne viser, at lydteknisk utilstrækkelige understopninger har en dominerende indvirkning på lydisoleringen, at der endog i en bagstøbning med 150 mm tykkelse er en væsentlig flanketransmission, og at byggesystemer med begrænset flanketransmission med almindeligt forekommende dæktykkelse kan give en betydelig luftlydisolation.

ved vederlagets underside hyppigt forekommer utætheder, som i modsætning til utætheder i det normale etagekryds ikke senere skjules eller tildækkes. Ved loftet tildækkes utætheder i reglen med spartelmasse og ved dækoverside tildækkes utætheder med gulvet. Virkningen af utætheder kan konstateres i nogle tilfælde, men i langt de fleste tilfælde skjules virkningen af utæthederne i dårlige måleresultater, således at utætheder i praksis må betragtes som en af de ukontrollerbare faktorer, der for en given konstruktion forøger spredningen i måleresultaterne (figur 43 og 44).

Litteratur [42, 46, 50].

Utætheders indvirkning på måleresultater

Måling af utætheders indvirkning på luftlydisolationen kan principielt ske i et laboratorium, men en sådan undersøgelse siger kun noget om virkningen



Figur 45. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for en betonvæg tilsluttet en let facade svarende til skitse 5 c i figur 27. To karme er samlet ud for væggen med en løs fjeder. Indvendig er fugerne mellem væg og karme tildækket med tætningslister.

Kurve 1: God stopning, $R'_m = 53 \text{ dB}$, $I_a = 56 \text{ dB}$.

Kurve 2: Mangelfuld stopning, $R'_m = 51 \text{ dB}$, $I_a = 53 \text{ dB}$.

Kurve 3: Stopningsmateriale udeladt, $R'_m = 48 \text{ dB}$, $I_a = 50 \text{ dB}$.

De her viste resultater er laboratoriemålinger. De svarer dog ganske godt til den variation, der i praksis opnås i måleresultater for udførelser svarende til skitserne 5 b og 5 c i figur 27. De anførte resultater er opnået med en 12 m² skillevæg, med mindre arealer kan resultatet derfor blive endnu dårligere og omvendt ved meget større skillevægsarealer. (Efter Donovan).

af nogle kendte utætheder (figur 45). For at få erfaring med hensyn til, hvorledes forholdene i praksis er, er det nødvendigt at foretage undersøgelser i forskellige faser af byggeprocessen.

For at kunne sammenligne resultaterne med andre måleresultater må målinger også foretages i den indflytningsfærdige bolig. Denne fremgangsmåde indeholder imidlertid et væsentligt moralsk problem, nemlig at undlade tætning af konstaterede utætheder i nogle boliger og at udbedre dem i andre, hvilket i realiteten er nødvendigt for at konstatere virkningerne af utæthederne i det færdige byggeri. Da denne fremgangsmåde ikke kan accepteres og en optagning af gulvene ville blive meget bekostelig, har det været nødvendigt at akkviescere ved sammenligning mellem resultater fra målinger udført i færdiggjorte boliger og eftertætnede råhuse og resultater fra målinger i færdiggjorte boliger i ikke kontrolrede råhuse.

Litteratur [5, 48].

Udførelse af målinger i råhuse

I modsætning til indflytningsfærdige boliger, som i princippet kan måles fra det øjeblik de er færdige til maleren til indflytningstidspunktet, en periode der i reglen strækker sig over tre uger til en måned, er intervallet for målinger i råhuse meget kort, ofte kun to til tre dage. Målingerne skal principielt udføres umiddelbart før gulvlægning, fordi efter denne arbejdsoperation er de fleste utætheder skjult. I praksis har det ikke altid været muligt at følge denne procedure, idet kommunikationen med byggepladserne ikke har været så god som ønskelig. Dette må i høj grad tilskrives, at BAM's primære funktion, udførelsen af rekvirerede opgaver i nogle tilfælde har været uforenelig med BAM's sekundære opgaver: udførelsen af forskning; dette faktum har forhindret rettidige udførelser af råhusmålinger. Det må samtidig tilføjes, at udførelse af råhusmålinger er væsentlig mere arbejdskraftkrævende end målinger i færdige bygninger. Det skyldes, at det ved målinger i råhuse er nødvendigt at medbringe tildækningsmateriale og opsætte dette foran dørhuller og eventuelle andre uvedkommende huller.

Valg af undersøgelsesobjekter

Ved planlægning af en undersøgelse af utætheders indvirkning på luftlydisolationen i indflytningsfærdige boliger har det været en forudsætning, at måleresultater fra BAM's normale virksomhed skulle indgå i undersøgelsen. Derfor er en del af resultaterne baseret på meget sporadiske målinger, medens andre er baseret på talrige målinger i forskellige bygninger i større bebyggelser. Udførelse af målinger i råhuse, som i princippet er en undersøgelse af graden af byggesjusk, ikke blot på det udførelsesmæssige, men også på det ledelsesmæssige niveau, er ikke altid blevet lige vel modtaget af de projekterende og bygherren. Det kan skyldes, at eventuelle afslørede mangler, der hidrører fra manglende eller for dårlige udførte tætninger og under-

stopninger ikke alene kan tillægges den udførende arbejder, men også den tilsynsførende tekniker. Hertil kommer de tilfælde, hvor utætheder må tilskrives, at de projekterede samlingsdetaljer ikke med rimelighed kan udføres tilstrækkeligt tætte ved normal arbejdsudførelse. For ikke at bringe nogen bebyggelse eller projekterende i et grelt lys, er alle etageplaner udeladt for så vidt de ikke er absolut nødvendige for forståelsen af de præsenterede resultater. Ligesom beskrivelsen af let identificerbare samlingsdetaljer er indskrænket mest mulig. Mængden af byggerier, hvor de her omtalte målinger er udførte, andrager 22, hvoraf kun et er udført overvejende med tegl. Seks af byggerierne er rækkehuse med vægge af 180 og 250 mm beton. I de fleretas bygninger er bortset fra et tilfælde anvendt 150 mm betonvægge.

Litteratur [48].

Erfaringer med utætheder i samlinger mellem bygningsdele

I bygninger udført med præfabrikerede væg- og dækelementer eller dækelementer og bjælker af beton er der konstateret utætheder i samlinger svarende til skitserne 1 a, 1 b og 1 c i figur 27. Disse utætheder kan skyldes mangelfuld udstøbning og/eller uhensigtsmæssig projektering af samlingen. I tilfældene a og b viser det sig, at spartlingen i reglen forøger tætheden, medens dette ikke er tilfældet for løsning c.

I udførelse svarende til den viste skitse, kan utætheder give anledning til konflikter, hvilket var tilfældet i et byggeri, hvor vægtenantreprenøren blev beskyldt for ikke at udføre tætte vægge, der i parentes bemærket bestod af gipspladebeklædte stålskeletvægge. En undersøgelse afslørede, at den ringe lyd-isolation ikke skyldtes utætte gipspladevægge, men mangelfuld udstøbning mellem betonelementer.

Den ved spartling eventuelle opnåede tæthed i samlinger svarende til 1 a og 1 b er imidlertid næppe varig, idet spartlingen ved loftet falder ud med tiden.

Fælles for løsningerne er imidlertid, at tætning altid kan finde sted, og at den kan ske på forholdsvis simpel måde ved brug af fugemasse.

I etagekryds af in situ støbt betondæk og af murede vægge samt i etagekryds af in situ støbt dæk og vægge af beton, er ikke konstateret utætheder.

Ved murede vægge og ved in situ støbt betondække i forbindelse med træbjælkelag er derimod konstateret utætheder i væggene ud for bjælkelaget. I de murede vægge optræder utætheder i forbindelse med mangelfuld udmuring af studs-fugerne. Muren ud for træetageadskillelsen pudses normalt ikke som den øvrige væg, hvorved de utætte studs-fuger ikke tætnes, dette gælder også for 290 mm hule murstensvægge.

I betondækkene optræder utætheder ofte i forbindelse med ikke tætnede clampshuller. Ved ikke bærende vægges tilslutning til dækunderside er konstateret utætheder ved de fleste vægtyper. Det gælder også murstensvægge anvendt som udfyldningsvæg svarende til figur 27, skitse 1 c. Ved tunge dobbeltvægge, hvor de to væghalvdele er helt adskilte er der ikke konstateret utæthed ved tilslutningerne. Ved alle almindelige anvendte vægtyper's tilslutning til lette tagkonstruktioner er der konstateret utætheder.

Samling mellem væg-dæk og væg-gulvoverside

I så godt som alle almindeligt anvendte vægtyper, der føres til dæk, er konstateret utætheder i forbindelse med forskellige gennemføringer. Utætheder langs vægsamlingen er konstateret ved samlingen mellem betonelementvægge og dæk, ved murstensvægge, hvor puds mangler under gulv, ved letbetonvægg og pladebeklædte skeltvægge. Disse utætheder lader sig selvsagt kun vanskeligt udbedre, når bygningen står færdig. Ved vægges tilslutning til overside af etageadskillelse, gulvoverside, er konstateret utætheder. Det er vanskeligt at konstatere utætheder i forbindelse med en velisolerende vægs til-

slutning til overside af et svømmende gulv, fordi lydtransmissionen gennem den svømmende plade i almindelighed er stor i forhold til utæthedstransmissionen.

Samling mellem væg-facade og snedkerkomponenter

I lette facader med murvinger svarende til figur 27, skitse 5 a er ikke konstateret utætheder, hvilket selvfølgelig må tilskrives, at væggene ikke er forsynet med et varmeisolerende lag ud for facadevæggen.

I vægge med et varmeisolerende lag ud for facaden svarende til løsningen skitse 5 b og en afsluttet væg som skitse 5 c konstateres hyppigt utætheder. Hvis det varmeisolerende lag ligger tæt mod facadens yderside er betingelserne til stede for at opnå en tæt samling. Det er derimod ikke helt så let, hvis varmeisoleringslaget ligger tæt ved facadens inderside, men det er dog stadig muligt.

Ved samlinger svarende til skitserne 5 d, 5 e og 5 f er i næsten alle i praksis forekommende tilfælde konstateret utætheder. Tæthed kan etableres, men ikke med enhver ønsket isolation. Disse løsninger anvendelse til adskillelse i boliger må anses for umulig.

Samling mellem væg-facadevæg

Ved samlinger mellem væg og facadevæg, hvor skillevæggen tilsluttes facadevæggens inderside ved en knasfuge, mørtelfuge eller støbt låseklods forekommer meget ofte utætheder. Det er i almindelighed muligt at eftertætte disse samlinger svarende til figur 27, skitse 3 b. Ved betonvægges tilslutning til facader svarende til principskitserne 3 c, 3 d og 3 e er ikke konstateret utætheder. Det gælder også murstensvægge, som via forbandt er tilsluttet hule facademure, men ikke murstensvægge tilsluttet betonsøjle i facaden. I forbindelse med lette vægges tilslutning til lette facader forekommer i nogle tilfælde utætheder, som det er vanskeligt at få tilstrækkelig tætte.

Samling mellem tværvæg og langsgående væg

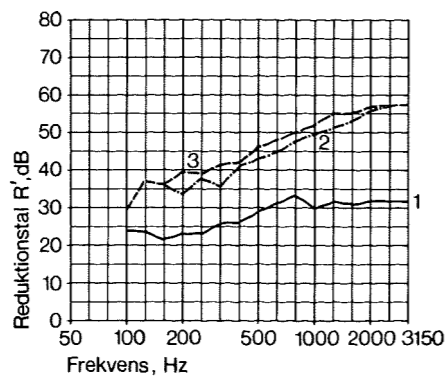
Ved samlinger mellem murede vægge og mellem in situ støbte betonvægge forekommer hyppigt mindre utætheder.

der. Ved samlinger mellem betonelementer forekommer ofte mindre utætheder, men det er relativt nemt at tætte disse. Ved samlinger mellem lette vægge, pladebeklædte skeletvægge forekommer meget ofte utætheder.

Samling mellem dæk-facadevæg

Ved samlinger mellem betondæk og bærende murstensfacader er der ikke konstateret utætheder, det gælder også ved facader i in situ støbt betonbygning, samt i montagebyggeri med bærende facader.

I montagebyggeri med bærende tværvægge er konstateret utætheder ved tunge og lette facader. En tilfredsstillende tætning er ikke altid mulig at udføre i det færdige byggeri. Ved den lette facade ligner de forekommende utæthedsproblemer de under samlinger mellem væg-facade af snedkerkomponenter omtalte svarende til principskitserne 5 b og 5 c i figur 27. I almindelighed har fuger mellem en snedkerkomponents underside og dæk større tykkelse end fuger ved dens sider og overside. Dette gør fugetætning ved komponentundersiden mere vanskelig at udføre tilfredsstillende.



Figur 46. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for en $1/2$ -stensvæg.
Kurve 1: Væggen opudset, $R'_m = 28$ dB, $I_a = 31$ dB.
Kurve 2: Væggen pudset, men trægulv på stroer endnu ikke udlagt, $R'_m = 45$ dB, $I_a = 47$ dB.
Kurve 3: Boligen indflytningsfærdig, $R'_m = 46$ dB, $I_a = 50$ dB.
Resultaterne antyder en forklaring på, hvorfor murstensvægge i praksis meget ofte giver for ringe resultater, idet resultatet for den opudsede væg viser, at væggen er meget langt fra at være tæt. Forskellen mellem den pudrede og den opudsede vægs lydisolationsburde være mindre end 1 dB, og resultatet for den pudrede væg burde være 3 til 5 dB større.

Utætheder i skillevægge

Utætheder i skillevægge kan tænkes at forekomme ved samlinger mellem de dele, som indgår i væg eller dæk. Der er ikke konstateret utætheder i in situ vægge eller dæk. I vægge af betonelementer forekommer ofte mindre utætheder i samlingerne mellem elementerne. I enkelte tilfælde forekommer større utætheder, når fuger kun er udstøbt delvis eller slet ikke. Det er imidlertid relativt nemt at udføre en lydteknisk tilfredsstillende tætning ved hjælp af fugemasse. I samlinger mellem dækelementer forekommer kun enkelte utætheder. I upudsede murstensvægge forekommer i almindelighed mange utætheder (figur 46). Ved den afsluttede pudning af væggene opnås ofte en tilstrækkelig tæthed, således at utætheder ikke mere kan lokaliseres. Det er imidlertid indlysende, at utæthederne nedsætter bygningsdelens lydisolationsburde.

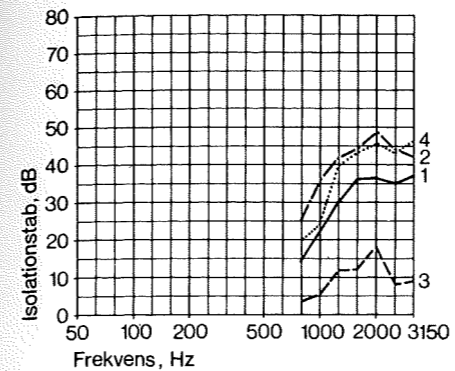
Supplerende målinger på huller og fuger

I talrige tilfælde vil det være nødvendigt at tætte fuger og huller for at undgå lydtransmission. For at belyse problemerne omkring lydtransmission gennem huller og fuger har det været nødvendigt at foretage en supplerende undersøgelse.

Undersøgelsen sigter primært mod at skaffe informationer til brug under praktiske forhold (figur 47, 48 og 49).

Som sende- og modtagerum er anvendt to kasser, der lukkes med en 100 mm betonplade, som er fælles adskillelse mellem de to små målerum. Kasserne anbringes således, at der måles forskelle mellem lydtransmission gennem en tæt plade og gennem en plade med et hul eller en fuge. På grund af målerummens små volumener er resultaterne ved frekvenser under 600-800 Hz ikke repræsentative, idet lydølglængden er større end rummets dimensioner, hvorved kasserne lydteknisk må betragtes som trykkamre. Resultaterne viser, at transmissionen afhænger af hulstørrelsen, at selv små huller vil føre til mærkbar lydtransmission, at fuger med forhold over 1:15 mellem tykkelse og dybde giver mulighed for tilfredsstillende tætning, og at fugelukning eller forsegling er mere væsentlig end den perfekte stopning.

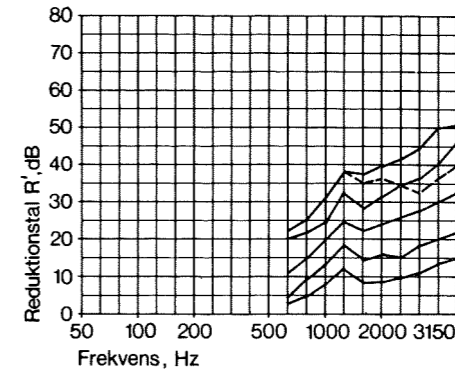
Den omtalte målemetode er også anvendt til at undersøge fuger mellem vægelementerne (figur 49). Det har i



Figur 47. Isolationssænkningen i en 100 mm betonvæg som følge af utætheder i væggen. Resultatet er angivet som funktion af frekvensen. Målingerne er udført ved, at to kasser, en sende- og en modtagekasse, har været anbragt på hver side af henholdsvis væggen uden hul og væggen med hul.
Kurve 1: Cirkulært hul med 20 mm diameter.
Kurve 2: Cirkulært hul med 40 mm diameter.
Kurve 3: Ringformet hul, tilproppet $1/2''$ rør indsat i $1''$ rør.
Kurve 4: Ringformet hul, tilproppet $5/4''$ rør indsat i $2''$ rør.
Kassernes volumen er $0,11$ m³, og den fælles skilleflade er $0,28$ m². Virkningen af huller af de nævnte størrelser i en adskillende bygningsdel vil for rumisolationens vedkommende være afhængig af forholdet mellem rumvolumen og kassevolumen og for reduktionstallet vedkommende af forholdet mellem vægareal, som dog mindst skal sættes lig med 10 m², og kassernes fællesareal. For reduktionstallet betyder dette, at kun isolationstab over ca. 15 dB influerer på de målte reduktionstal. For rumisolationen vil isolationstab over ca. 15 dB indvirke på måleresultater i baderum og isolationstab over ca. 25 dB indvirke på måleresultater i rum med volumen op til ca. 75 m³.

Hulareal, mm ²	0	1	2	5	10	2	5	10 ²	2	5	10 ³	2	5	10 ⁴
60	59,6	59,2	58,2	57,0	55,2	52,2	49,6	46,8	42,9	40,0	37,0	33,0	30,0	30,0
55	54,9	54,7	54,4	53,8	52,9	50,9	48,8	46,4	42,7	39,9	36,9	33,0	30,0	30,0
50	50,0	49,9	49,8	49,6	49,2	48,2	47,0	45,2	42,2	39,6	36,8	32,9	30,0	30,0
45	45,0	45,0	44,9	44,9	44,7	44,4	43,8	42,9	40,9	38,8	36,4	32,7	29,9	29,9
40	40,0	40,0	40,0	40,0	39,9	39,8	39,6	39,2	38,2	37,0	35,2	32,2	29,6	29,6
35	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	34,9	34,9	34,7	34,4	33,8	32,9	30,9	28,8	28,8
30	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	29,9	29,8	29,6	29,2	28,2	27,0	27,0
25	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,9	24,9	24,7	24,4	23,8	23,8
20	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	19,9	19,8	19,6	19,6

Figur 48. Tabellen viser betydningen af huller i en 10 m² adskillende væg, idet det er forudsat, at reduktionstallet for væggen uden huller er som angivet i venstre kolonne, og at der ikke sker transmissionstab gennem hullerne. En forringelse af reduktionstallet på 3 dB kræver



Figur 49. Lyddæmpningen i en 10 mm fuge med en dybde på 100 mm, når fugen henholdsvis fyldes med:
1. Glasuld - ca. 15 kg/m³ - eller Rockwool Handy batts.
2. Glasuld - ca. 30 kg/m³ - (glasuld 15 kg/m³ komprimeret).
3. Rockwool A batts.
4. Rockwool A batts komprimeret ca. 2 gange.
5. Rockwool pladebatts 2 eller glasuld - ca. 60 kg/m³ - (glasuld 15 kg/m³ komprimeret).
6. Fugen stoppet, men forsynet med tape på begge sider. Resultaterne viser hvor stor dæmpning, der opnås i en 10 mm tyk fuge i en 100 mm betonvæg ved forskellige grader af stopning. Med stor stopningstæthed kan opnås en dæmpning, som meget nær svarer til, at fugen har samme isolation som væggen. Et meget vigtigt resultat for praksis er, at der ved brug af to lag tape eller fugemasse kan opnås næsten samme resultat som med den bedste stopningsudførelse, bortset fra de højeste frekvenser, hvor mineraluldsindlæg er nødvendig.

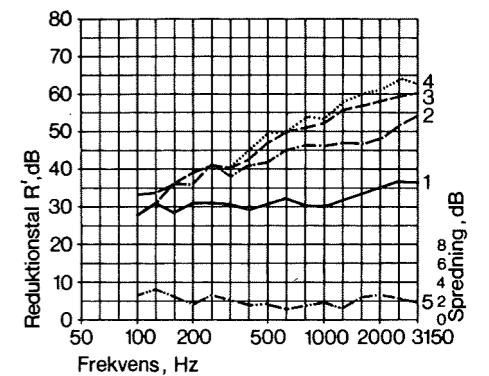
i vægge med reduktionstal på 60, 50, 40 og 30 dB hularealer på henholdsvis 10, 100, 1000, 10000 mm². Heraf ses, at med en virkelig god væg kræves meget omhyggelig arbejdsudførelse.

denne forbindelse kunnet konstateres, at lydtransmissionen gennem et areal af væggen med en elementsamling ofte er større end ved måling på element uden fuger. Det er forsøgt at konstatere forskel mellem fuger støbt om vinteren og sommeren, men spredningen i resultaterne for henholdsvis vinterstøbte og sommerstøbte fuger var langt større end forskellen mellem middelværdierne for sommer- og vinterstøbte fuger. Forsøg med fuger med større udstøbningstværsnit viser en tendens til mere ensartet tæthed.

Lydisolation i råhuse og færdige huse

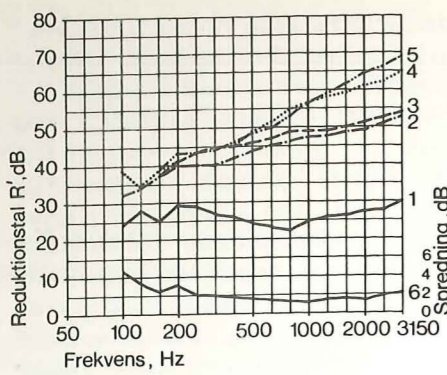
Som det fremgår af den tidligere omtale af utætheder ved samlinger, er det i det væsentlige utætheder ved samlinger mellem væg-dækoverside og dæk-facade, der er vanskelige at tætte på senere tidspunkter og som derfor kan tænkes at være årsag til en lavere lydisolationsburde mellem naboboliger end forventet med de anvendte konstruktioner.

For at undersøge, om der er hold i antagelsen om, at samlinger mellem væg-

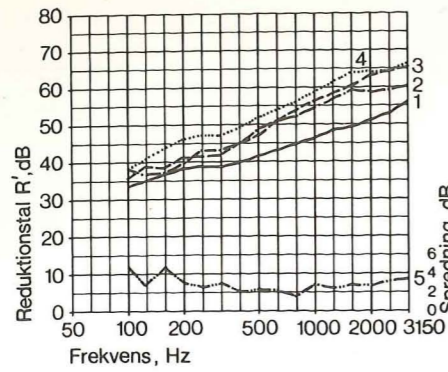


Figur 50. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 150 mm betonvægge målt i råhus og indflytningsfærdig bolig.
Kurve 1: Råhuset før understopning ved gennemføringer, $R'_m = 32$ dB, $I_a = 35$ dB.
Kurve 2: Råhuset efter understopning og spartling, $R'_m = 42$ dB, $I_a = 46$ dB.
Kurve 3: Råhuset efter udlægning af svømmende betongulve, $R'_m = 47$ dB, $I_a = 50$ dB.
Kurve 4: Indflytningsfærdig bolig, betongulvet tappebelagt, $R'_m = 49$ dB, $I_a = 51$ dB.
Kurve 5: Spredningsparameter.

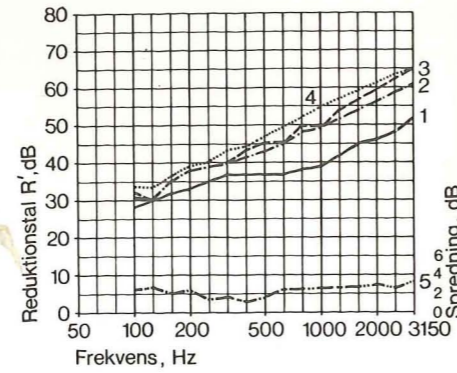
Resultaterne i indflytningstilstanden er lidt for lave, men det anvendte gulv giver formentlig en tilstrækkelig tætning mellem væg og dæk.



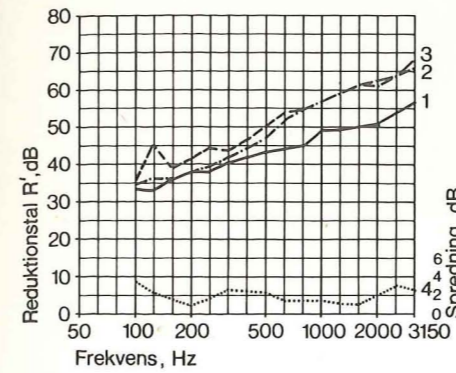
Figur 51: Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 150 mm betonvægge målt i råhus og indflytningsfærdig bolig.
 Kurve 1: Råhus før understopning ved gennemføringer,
 $R'_m = 26$ dB, $I_a = 26$ dB.
 Kurve 2: Råhus efter understopning,
 $R'_m = 43$ dB, $I_a = 47$ dB.
 Kurve 3: Råhus efter spartling, før udlægning af gulv,
 $R'_m = 45$ dB, $I_a = 49$ dB.
 Kurve 4: Indflytningsfærdig bolig,
 $R'_m = 50$ dB, $I_a = 53$ dB.
 Kurve 5: Enkelte forsøg i råhus med tætning af alle huller og rørgennemføringer, før udlægning af gulv,
 $R'_m = 51$ dB, $I_a = 53$ dB.
 Kurve 6: Spredningsparameter.
 Resultaterne i indflytningstilstanden er af den ifølge bygningsreglementet forventede størrelse, men, som det fremgår af kurve 5, kan en fuldstændig tætning af råhuset føre til bedre resultater i det færdige byggeri end de opnåede. Herved ville formentlig kunne opnås et slutresultat fra 2 til 4 dB større isolationsværdier, jvf. figur 52.



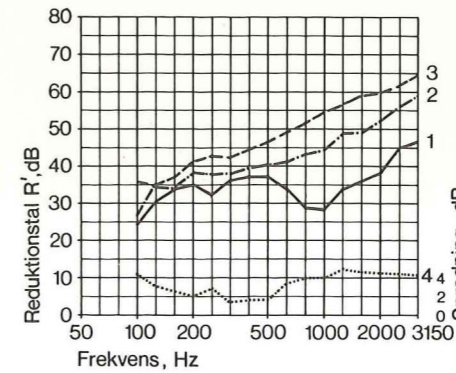
Figur 52: Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 150 mm betonvæg i råhus og indflytningsfærdig bolig.
 Kurve 1: Råhus efter understopning,
 $R'_m = 43$ dB, $I_a = 46$ dB.
 Kurve 2: Råhus efter tætning,
 $R'_m = 49$ dB, $I_a = 52$ dB.
 Kurve 3: Indflytningsfærdig bolig, råhus ikke kontrolleret,
 $R'_m = 50$ dB, $I_a = 52$ dB.
 Kurve 4: Indflytningsfærdig bolig, råhus kontrolleret,
 $R'_m = 53$ dB, $I_a = 57$ dB.
 Kurve 5: Spredningsparameter.
 Det bemærkes, at kontrollen af lydisolationen på råhusstadiet har medført en forbedring på 3 til 5 dB, hvilket er en meget væsentlig forbedring.
 Resultaterne i de indflytningsfærdige boliger, som ikke er målt i råhusstilstanden, svarer stort set til lydisolationen i den lydtæknisk set bedste halvdel af fleretages betonelementbyggeri. Den forholdsvis store spredningsparameter skyldes primært tilstandene svarende til kurve 1 og 3.



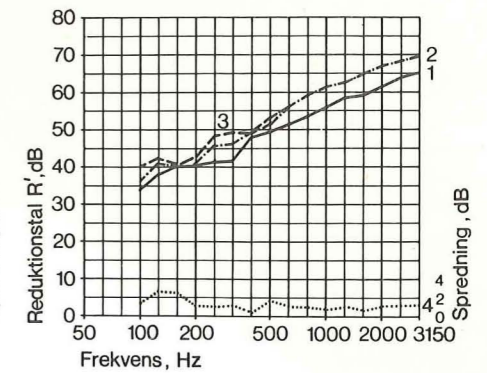
Figur 53: Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 150 mm betonvægge målt i råhus og indflytningsfærdig bolig.
 Kurve 1: Råhus, meddelt færdigt,
 $R'_m = 39$ dB, $I_a = 41$ dB.
 Kurve 2: Råhus, genmåling efter fornyet tætning,
 $R'_m = 45$ dB, $I_a = 48$ dB.
 Kurve 3: Råhus, 5 vægge yderligere tætnet,
 $R'_m = 46$ dB, $I_a = 48$ dB.
 Kurve 4: Indflytningsfærdig bolig,
 $R'_m = 49$ dB, $I_a = 51$ dB.
 Kurve 5: Spredningsparameter baseret på standardafvigelse fra måleserierne svarende til kurverne 2 til 4. Spredningen for måleserie 1 er næsten fire gange større end den viste spredning.
 Resultaterne i såvel indflytningstilstanden som i råhusstilstanden er for lave og den opnåede forbedring ved gulvlægningen, trægulv på stroer, er i underkanten af det forventede. Det må antages, at der findes andre transmissionsmuligheder end de på stedet konstaterede og tætnede revner i betonelementerne.



Figur 54: Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 150 mm betonvægge i råhus og i indflytningsfærdig bolig.
 Kurve 1: Råhus,
 $R'_m = 44$ dB, $I_a = 47$ dB.
 Kurve 2: Råhus, tætnet,
 $R'_m = 49$ dB, $I_a = 51$ dB.
 Kurve 3: Indflytningsfærdig bolig,
 $R'_m = 51$ dB, $I_a = 54$ dB.
 Kurve 4: Spredningsparameter.
 Resultaterne er tilfredsstillende i relation til bygningsreglementet, men som det fremgår af figur 52 og 56 kunne de være noget bedre.



Figur 55: Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 150 mm betonvægge i råhus og i indflytningsfærdig bolig.
 Kurve 1: Råhus 2, uventet udførelse af målinger,
 $R'_m = 35$ dB, $I_a = 33$ dB.
 Kurve 2: Råhus 1, udførelse af målinger forventet,
 $R'_m = 42$ dB, $I_a = 45$ dB.
 Kurve 3: Indflytningsfærdig bolig,
 $R'_m = 48$ dB, $I_a = 51$ dB.
 Kurve 4: Spredningsparameter.
 Det er bemærkelsesværdigt, at målingerne i det ene råhus er så meget dårligere end i det andet. Enkelte resultater fra bygning 2 understreger, at de ringe resultater fra råhuset genfindes i den indflytningsfærdige bolig er overvejende fra bygning 1. Den opnåede lydisolering er for lav i de undersøgte bygninger. Der er i denne bygning i nogle tilfælde konstateret en væsentlig lydtransmission gennem varmeisoleringslaget mellem skillevej og udragende betonvinge.



Figur 56: Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 150 mm betonvægge målt i råhus og i indflytningsfærdig bolig. Etagekrydset er af en speciel type, hvor dækkets bæreknastrer er udformet som stålkonsoller. Udstøbningen af etagekrydset sker således, at der samtidig støbes under skilleveggen, hvorved understøtningen undgås.
 Kurve 1: Råhus,
 $R'_m = 50$ dB, $I_a = 53$ dB.
 Kurve 2: Råhus, spartlet,
 $R'_m = 54$ dB, $I_a = 56$ dB.
 Kurve 3: Indflytningsfærdig bolig,
 $R'_m = 54$ dB, $I_a = 57$ dB.
 Kurve 4: Spredningsparameter.
 Forskellen mellem resultaterne i råhus før og efter spartling må utvivlsomt skyldes, ikke konstaterede, utætheder bag badekabiner. I det spartlede hus er lukket omkring kabinerne. Resultaterne viser, at råhusets synlige vægge og samlinger er tætte, at de opnåede resultater hører til blandt de bedste for 150 mm betonvægge, og at det benyttede gulv ikke bidrager væsentlig til nedsættelse af flanketransmissionen. Gulvet er et trægulv udlagt på korkmuld. Spredningsparameteren er den mindste i samtlige undersøgte bygninger.

dækoverside ofte er utætte, har det været nødvendigt at måle luftlydisolation i råhuse på forskellige stadier af udførelsen. Målinger er ofte udført umiddelbart før gulvlægning, hvilket i reglen førte til en standsning af arbejdet og en eftertætning af understopninger. Derefter er lydisoleringen målt igen og endelig er den afsluttende måling foretaget i de indflytningsfærdige boliger (figur 50-62). I hver enkelt figur angives resultaterne fra et byggeri. Resultaterne præsenteres ved det tilsyneladende reduktionstal R' og isolationsindekset I_a . Definitionen for det tilsyneladende reduktionstal svarer til

$$I_a \approx R' + 2 \text{ dB}$$

I BR-77 stilles krav om at luftlydisolationen mellem boliger i sammenbyggede enfamiliehuse skal være mindst $I_a = 55$ dB og mellem etageboliger mindst $I_a = 52$ dB for vægge og $I_a = 53$ dB for etageadskillelser.

For at give læseren et indtryk af

spredningsintervallet i forhold til de angivne middelværdier for isolationen som funktion af frekvensen er for hvert måleobjekt angivet en størrelse betegnet spredningsparameteren. Som spredningsparameter er valgt at anvende den samtidig med middeltalsberegningen for hver enkelt frekvens udregnede standardafvigelse i de enkelte måleserier – råhus før understopning, efter understopning og indflytningsfærdig bolig. Når den indbyrdes forskel mellem spredningsparameterne i de enkelte måleserier ikke er særlig stor, er for hver enkelt målefrekvens udregnet en gennemsnitsværdi af spred-

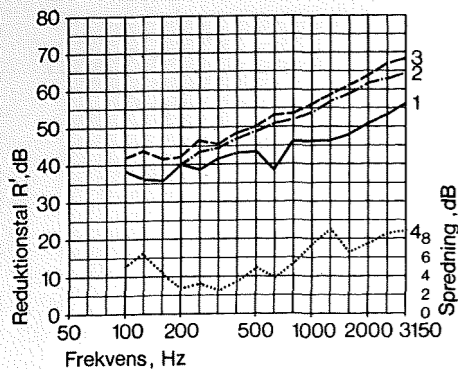
ningsparameteren. Den herved udtrykte spredning i måleresultaterne er angivet som funktion af frekvensen. Spredningsparameteren er ikke udregnet for måleserier, hvis antal er mindre end 5 målinger.

De enkelte måleserier er i reglen mellem 5 og 8 målinger. Måleserierne i måleblad 52 indeholder dog fra 12-20 målinger. Resultaterne fra råhusmålingerne bekræfter antagelsen om, at de nævnte samlinger mellem vægge og dæk hyppigt er utætte. Resultaterne fra ens bygninger, hvori der ikke er udført råhusmålinger, udviser en større spredning end resultaterne fra bygning-

er, hvori der er udført råhusmålinger og eftertætninger af samlinger. Gennemsnitsværdien af reduktionstal i de indflytningsfærdige boliger ligger lidt højere for de råhuskontrollerede bygninger end for de ikke kontrollerede bygninger. Spredningsintervallet for måleresultater fra råhuse før eftertætning svarer stort set til spredningsintervallet for måleresultater fra det indflytningsfærdige byggeri, som ikke er kontrolleret på råhusstadiet. Spredningsintervallet for måleresultater fra råhuse, efter at samlinger er tætnede, svarer stort set til spredningsintervallet for måleresultater i råhusstadiet. Dette

understøtter antagelsen om, at utilstrækkeligt tætnede samlinger mellem betonvægge og -dæk ofte er årsag til en forringet lydisolering.

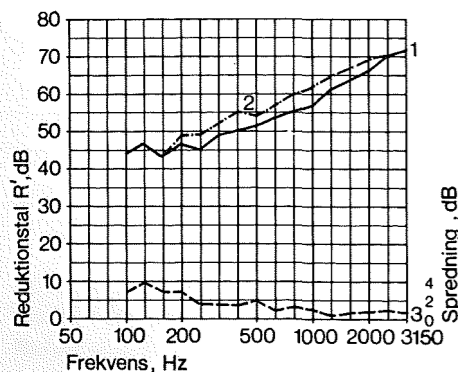
I det undersøgte byggeri, der efter forfatterens opfattelse hører til den kvalitetsmæssige bedre del af byggeriet, er den hævnning af lydisolationen som en forbedret kontrol i råhusene vil kunne føre til, af størrelsesordenen 2-3 dB. At dette er en væsentlig gevinst kan ses af, at en forøgelse af det laboriemålte reduktionstal for en massiv væg på 3 dB vil kræve en forøgelse af væggen vægt på ca. 50 pct.



Figur 57. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 150 mm betonvægge målt i råhus og indflytningsfærdig bolig. Etagekrydset er af en speciel type, hvor den ovenliggende væg ikke belaster den underliggende. Dækpladerne er forsynet med en udsparring, som vanskeliggør inspektion af krydsets underside ud for udstøbningskerne. Der understoppes ikke med mørtel, men med mineraluld og forsegles med fugemasse.

Kurve 1: Råhus,
 $R'_m = 44 \text{ dB}$, $I_a = 46 \text{ dB}$.
 Kurve 2: Indflytningsfærdig bolig,
 $R'_m = 50 \text{ dB}$, $I_a = 52 \text{ dB}$.
 Kurve 3: En tætnet væg,
 $R'_m = 52 \text{ dB}$, $I_a = 55 \text{ dB}$.
 Kurve 4: Spredningsparameter.

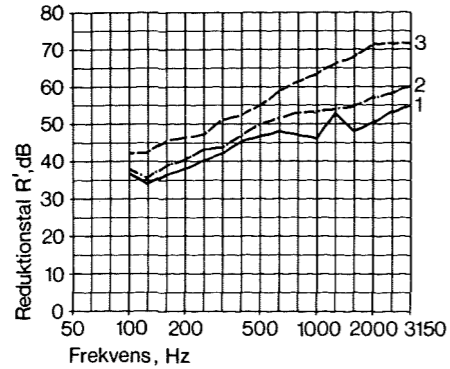
Resultaterne er stort set tilfredsstillende i relation til bygningsreglementets krav, men næppe i forhold til beboernes ønsker. Den målte spredningsparameter er størst i samtlige undersøgte bygninger, hvilket i praksis betyder, at mange vægge har tydelige utætheder. En tætning af væggene er imidlertid forholdsvis let, det angivne resultat for en tætnet væg hører til blandt de bedste for 150 mm betonvægge.



Figur 58. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 250 mm betonvægge målt i råhus og indflytningsfærdig bolig.

Kurve 1: Råhus,
 $R'_m = 55 \text{ dB}$, $I_a = 56 \text{ dB}$.
 Kurve 2: Indflytningsfærdig bolig,
 $R'_m = 57 \text{ dB}$, $I_a = 60 \text{ dB}$.
 Kurve 3: Spredningsparameter.

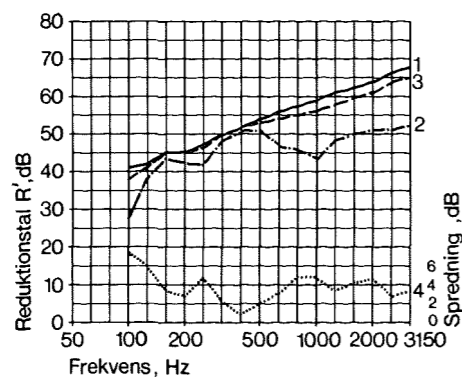
Resultaterne er tilfredsstillende og spredningsparametrene hører til blandt de mindste i de undersøgte bygninger. I modsætning til de fleste andre bygninger har der ikke subjektivt kunnet konstateres utætheder.



Figur 59. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 250 mm betonvægge målt i råhus og indflytningsfærdig bolig.

Kurve 1: Råhus,
 $R'_m = 45 \text{ dB}$, $I_a = 49 \text{ dB}$.
 Kurve 2: Råhus, spartlet, gulv ikke lagt,
 $R'_m = 48 \text{ dB}$, $I_a = 52 \text{ dB}$.
 Kurve 3: Indflytningsfærdig bolig,
 $R'_m = 57 \text{ dB}$, $I_a = 59 \text{ dB}$.

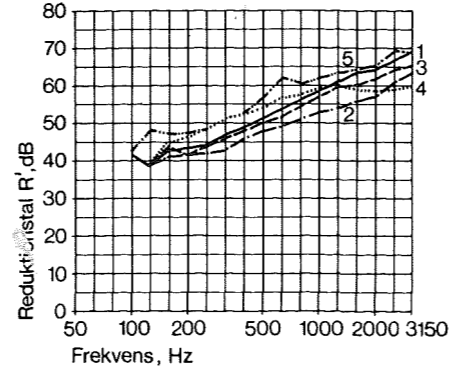
Der er udført mindre end 5 målinger i råhuset, derfor er spredningsparameteren ikke udregnet. Resultaterne i den indflytningsfærdige bolig afviger kun lidt fra det i figur 58 angivne, og det er væsentlig bedre end de fleste resultater fra byggerier med tilsvarende konstruktionstykkelse. Derimod er resultatet i råhuset væsentlig ringere end det burde være.



Figur 60. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 250 mm betonvægge målt i indflytningsfærdig bolig. Resultaterne er fra det i figur 58 omtalte byggeri, men råhusene er ikke kontrolleret.

Kurve 1: 8 vægge uden »hørlige« utætheder,
 $R'_m = 54 \text{ dB}$, $I_a = 58 \text{ dB}$.
 Kurve 2: 2 vægge med »hørlige« utætheder,
 $R'_m = 46 \text{ dB}$, $I_a = 49 \text{ dB}$.
 Kurve 3: 10 vægge,
 $R'_m = 53 \text{ dB}$, $I_a = 56 \text{ dB}$.
 Kurve 4: Spredningsparameter for de i kurve 3 indgæede 10 vægge.

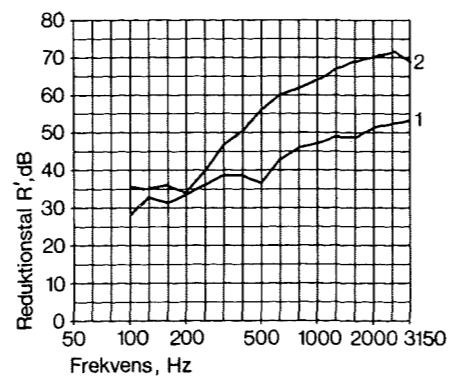
Resultaterne viser, at de to lydteknisk utilfredsstillende vægge ikke betyder en væsentlig forringelse af det samlede resultat, som svarer ret godt til normalt opnåede resultater med tilsvarende konstruktion. Derimod giver spredningsparameteren et tydeligt indtryk af, at resultaterne som helhed ikke er så gode, som det kunne ønskes.



Figur 61. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 180 mm betonvægge målt i indflytningsfærdig bolig i ens huse i fire forskellige bebyggelser.

Kurve 1: $R'_m = 53 \text{ dB}$, $I_a = 55 \text{ dB}$.
 Kurve 2: $R'_m = 49 \text{ dB}$, $I_a = 52 \text{ dB}$.
 Kurve 3: $R'_m = 52 \text{ dB}$, $I_a = 55 \text{ dB}$.
 Kurve 4: $R'_m = 53 \text{ dB}$, $I_a = 57 \text{ dB}$.
 Kurve 5: Væg tætnet ved en senere reparation,
 $R'_m = 57 \text{ dB}$, $I_a = 60 \text{ dB}$.

Rækkefølge 1 til 4 er kronologisk. Der er således ikke sket en konstant stigning i den lydtekniske kvalitet. I hvert byggeri er i forhold til det forudgående sket nogle konstruktive ændringer, som kan påvirke flanketransmissionen. Resultatet i kurve 5 viser imidlertid, at en bedre arbejdsudførelse først og fremmest er nødvendig for at hæve den lydtekniske kvalitet.



Figur 62. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for 215 mm hulpladedæk med og uden gulv.

Kurve 1: Dækket målt i råhus,
 $R'_m = 42 \text{ dB}$, $I_a = 45 \text{ dB}$.
 Kurve 2: Etageadskillelse i indflytningsfærdig bolig,
 $R'_m = 54 \text{ dB}$, $I_a = 52 \text{ dB}$.

Resultaterne er for lave såvel i råhus som i færdig bolig. Årsagen til det meget ringe resultat i råhuset skyldes problemer med at opnå tilstrækkelig tæthed i forbindelse med rørgennemføringer ved kabiner, ligesom det var vanskeligt at afgøre, om der desuden fandtes utætheder under og bag kabinerne. Når den målte luftlydisolation i den indflytningsfærdige bolig er så forholdsvis ringe ved lave frekvenser skyldes dette først og fremmest, at det benyttede gulv, parket på pap og korkafretning, hvis resonansfrekvens ligger væsentlig højere end for et trægulv på strøer, ikke kan forventes at give nogen forbedring af luftlydisolationen ved lave frekvenser, men tværtimod kan forringe dækkets luftlydisolation.

Konklusion

Undersøgelsens resultater bekræfter antagelsen om, at utætheder i forbindelse med samlinger mellem bygningskomponenter i mange tilfælde forringer lydisolationen. Generelt kan forringelsen antages at være af størrelsesordenen 2 til 3 dB. Til sammenligning kan anføres, at en massiv væg skal have en vægtforøgelse på ca. 50 pct for at kunne give en luftlydisolation, der er ca. 3 dB større.

Resultaterne viser tillige, at i de tilfælde, hvor der fra byggeledelsens side er sat effektivt ind mod problemet, utætte understopninger, kan det løses.

Resultater fra en enkelt bygning tyder på, at understøbning i stedet for understopning måske er en bedre løsning. Erfaringer fra udlandet synes også at bekræfte denne antagelse.

Rapportens diverse eksempler til belysning af transmissionsveje er, til trods for at problemerne tidligere er omtalt i litteraturen, stadig hyppigt forekommende i praksis. Det må således også konstateres, at den hidtil foretagne vidensspredning ikke har været tilstrækkelig effektiv.

Følgen af denne status må være, at der i langt højere grad end det hidtil

har været tilfældet bør udføres kontrolmålinger i byggeri på et tidspunkt, hvor konstaterede mangler kan udbedres. Omfanget af disse målinger må forventes at være stort. Det bør primært være de projekterende og udførende selv, der foretager de nødvendige målinger som led i en produktionskontrol.

Det må dog samtidig understreges, at resultatet af undersøgelsen også peger frem mod en undersøgelse af, om det er muligt at udføre produktionskontrol med et simpelt måleapparat, og om målemetoden kan forenkles.

Resumé

Den foreliggende rapport er afslutningen af en undersøgelse vedrørende lydisolation i betonelementbyggeri med særlig henblik på at undersøge, om lydtransmissionen gennem eventuelle utætheder i de samlinger mellem vægge og dæk af betonelementer, som skjules af det benyttede gulv, har nogen indvirkning på den opnåede lydisolation.

Rapporten består i princippet af to afsnit. I det første afsnit omtales lydets udbredelse i bygninger, dels i bygninger som helhed, dels mellem to rum.

Transmissionen belyses gennem eksempler på lydtransmission ad forskellige veje, ligesom den betydning bygningskonstruktionens art og deres indbyrdes samlinger kan have på de i praksis opnåelige resultater nærmere omtales.

Indvirkningen af forskellige installationer på lydisolationen belyses med en del eksempler fra praksis.

Forbedring af lydisolation ved anvendelse af lydisolierende beklædninger er i mange tilfælde den eneste mulighed for at forøge lydisolationen i en eksisterende bygning, og da metoden også anvendes som værktøj ved måling af flanketransmissionen gennem bygningsdele, omtales anvendelse af disse isolerende beklædninger.

I rapportens andet afsnit omtales erfaringer med hensyn til utætheder i samlinger mellem bygningsdele. Der omtales samlinger, som især kan virke lydtransmitterende, og hvorledes utætheder forekommer.

Udvalget af undersøgelsesobjektet er sket i den under opførelse værende

bygningsmasse dog med ønske om så vidt muligt at få forskellige entreprenører repræsenteret.

Lydisolationsmålingerne er foretaget i råhuse, i indflytningsfærdige boliger med enkelte supplerende målinger af lydtransmission via huller og fuger. Resultaterne fra målingerne viser, at der i de fleste byggerier kan opnås forbedringer af isolationsindeks på fra 1 til 3 dB og i enkelte tilfælde op til 5 dB. En effektiv tætning af samlinger kan derfor på en vis måde siges at modsvare en forøgelse af de adskilende vægges vægt med ca. 50 pct ifølge traditionelle love for lydisolationen som funktion af masse og frekvens.

The report presents the conclusion of an examination of sound insulation in buildings constructed of concrete components with the special aim of determining whether transmission of sound through possible leaks in the joints between concrete wall and floor components which are concealed by the flooring have any influence on the obtained sound insulation.

The report consists of two sections. The first section deals with transmission of sound through buildings, through the building as a whole and between individual rooms.

Sound transmission is illustrated by examples of transmission along different paths, and mention is also made of the importance of the type of building structure and of the joints between the individual components to the

results that may be obtained in practice.

The influence of different installations on sound insulation is described through a number of examples from actual practice.

The use of insulating coverings will in many cases be the only possible means of increasing the sound insulation in an existing building, and as the method is also used as a tool in the measurement of flanking transmission through building parts such insulating coverings are also mentioned.

The second section of the report deals with experience gained with regard to leaks in joints between building parts. Joints which in particular tend to transmit sound and the manner in which leaks occur are discussed.

Objects for the examination have been selected from buildings under

construction, in such a way, however, that the buildings, as far as possible, represent different contractors.

Measurements of sound insulation have been made in the buildings before floors are put in and in dwellings ready for occupation with a few supplementary measurements of sound transmission through holes or through slits in joints. The results show that in most buildings it is possible to obtain improvements in the insulation index of from 1 to 3 dB, in some cases as much as 5 dB. Effective sealing of joints may therefore to some extent be said to equalize an increase in weight of separating walls of about 50 per cent according to traditional laws on sound insulation as a function of mass and frequency.

1. O. Brandt. En undersökning av flanketransmission i lättelement. Lättbetong, hefte 3, 1961.
2. O. Brandt og G. Westerberg. Studies on Flanking Transmission in an Experimental Building, 4. ICA 1962.
3. L. Cremer. Calculation of Sound Propagation in Structures. *Acustica* 1953, pag. 317.
4. L. Cremer und A. V. Meier. Untersuchungen zum Schallschutz leichter Aussenwände. *Berichte aus der Bauforschung*, Heft 56. Berlin 1968.
5. A. Donovan. Flanketransmission i lette facader. Licentiaafhandling, Laboratoriet for Akustik, Danmarks Tekniske Højskole. 1972.
6. P. Dämmig und G. Venzke. Improvement of Sound Insulation between two Adjacent Rooms by Progressive Reduction of Direct and Flanking Transmission. IEE Conference Publication Number 26. Institution of Electrical Engineers, London, 1967.
7. A. Eisenberg. Versuche zur Körperschalldämmung in Gebäuden. *Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen*, Nr. 651 Köln 1958.
8. A. Eisenberg. Untersuchungen über die Schalldämmung leichter Wand- und Deckenkonstruktionen in Prüfständen mit bauüblichen Nebenwegen. *Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen*, Nr. 1882. Köln 1967.
9. A. Eisenberg. Untersuchungen über die Schalldämmungen zwischen benachbarten Räumen mit durchlaufendem schwimmendem Estrich Wärme, Kälte, Schall 1966, Heft 2, pag. 19.
10. A. Eisenberg. Schalldämmung von Doppelwänden aus Leichtbeton. *Berichte aus der Bauforschung*, Heft 14, Berlin 1960.
11. A. Eisenberg. Der Einfluss leichter Zwischenwände auf die Schalldämmung in Wohnbauten. *Berichte aus der Bauforschung*, Heft 14, Berlin 1960.
12. B. Emstrup og F. Larris. Lydforplantning i Huse. Teknologisk Institut, Lydteknisk konsultation, meddelelse nr. 9. 1965.
13. W. Erler. Die Bestimmung der Nebenwege bei Luftschall nach der Methode der Körperschallmessung und Körperschallerregung. *Hochfrequenztechnik und Elektroakustik*, Bd 67, 1959, pag. 105.
14. W. Fasold und G. Merkel. Entwicklung und Aufbau einer Messapparatur zur Durchführung von Flankenwegmessungen nach Erler. *Hochfrequenztechnik und Elektroakustik*, Bd 71, 1962, pag. 77.
15. W. Fasold und E. Sonntag. Schalldämmung leichter Trennwände. *Bau-technik und Organisation* 9, Berlin 1968.
16. W. Fasold und G. Merkel. Einfluss der Flankenwegübertragung auf die Luftschalldämmung von Wohnungstrennwänden und -decken. *Technik und Organisation* nr. 24, Berlin 1969.
17. G. Gadefelt et al. Punktexiterat ljud i byggnader. SIB-rapport R 52, 1974. Stockholm.
18. K. Gösele. Zur Körperschallausbreitung in Wohnbauten. *Bericht aus der Bauerforschung*, Heft 13. Berlin 1960.
19. K. Gösele. Über das schalltechnische Verhalten von Skelettbauten. *Berichte aus der Bauforschung*, Heft 13. Berlin 1960.
20. K. Gösele. Verschlechterung der Schalldämmung von Decken und Wänden durch anbetonierte Wärmedämmplatten. *Gesundheits-Ingenieur* 1961, pag. 333.
21. K. Gösele. Erhöhung der Schall-Längsleitung durch Bestimmte Hohlkörperdecken. *Berichte aus der Bauforschung*, Heft 35, Berlin 1969.
22. K. Gösele. Die Luftschall-Längsdämmung zwischen Räumen, abhängig vom Flächengewicht der Trennwand, DAGA 1973, VDI Verlag.
23. K. Gösele und U. Decker. Die Regulierung der Schall-Längsdämmung von Schalldämm-Prüfständen. Institut für Bauphysik. A2: NA 15 Nr. 98. Stuttgart 1972.
24. K. Gösele, R. Jehle und R. Reier. Verbesserung des Schallschutzes von Massivwänden durch Vorsatzschalen. *Berichte aus der Bauforschung*, Heft 14, Berlin 1960.
25. K. Gösele und J. Karadi. Schall-Längsleitung bei leichten, vorgehängten Fassadenplatten aus Kunststoffbeton FBW-IV-B5-800168-102. Stuttgart 1973.
26. K. Gösele und J. Karadi. Die Schall-Längsleitung von Fassadenplatten aus Gasbeton als Aussenlängswände beim Querwandtyp, FBW-Blätter, Folge 3, 1970.
27. H. Hinsch. Verkettete Mechanische Impedanzen zur Messung der Körperschalldämmung an Ecken- und Kreuzförmigen Stoss-Stellen (Modellversuche). *Acustica* 1960, pag. 288.
28. F. Ingerslev og V. E. B. Ranfelt. Trinlyd i beboelsesejendomme. SBI-rapport 8. 1952.
29. F. Ingerslev og J. Petersen. Luftlyd i beboelsesejendomme. SBI-rapport 12. 1954.
30. F. Ingerslev og J. Kristensen og J. Petersen. Akustiske problemer i skolebygninger. SBI-rapport 23. 1957.
31. F. Ingerslev og J. Kristensen. Lydisolation i boligbyggeri. SBI-rapport 39. 1960.
32. F. Ingerslev og J. Kristensen. Massive vægges lydisolation. *Ingeniøren* 1959, pag. 139.
33. V. Jordan. Lydisolerende egenskaber ved Conbox bygninger. *Byggeindustrien* nr. 9, 1965.
34. H. Kaiser und W. Kuhl. Absorption of Structure-Borne Sound in Building Materials without and with Sand-Filled Cavities. *Acustica* 1952, pag. 179.

35. F. Keller. Messungen zur Energieverteilung von Dehn- und BiegeWellen auf Platten bei Statischer Anregung. *Acustica* 1960, pag. 350.
36. T. Kihlman. Report on the Influence of Boundary Conditions on the Reduction Index. Arbejdsrapport til ISO/TC43/SC2/WG2 1970.
37. T. Kihlman. Sound Transmission in Building Structures of Concrete. *Journal of Sound and Vibration* 1970, (11) pag. 435.
38. Th. Kristen und H. W. Müller. Körperschalluntersuchungen an Wohn-Hochhäusern verschiedenen Bauarten. *Berichte aus der Bauforschung*, Heft 13. Berlin 1960.
39. Th. Kristen und H. W. Müller. Über den Einfluss der Nebenwegübertragung auf die Schalldämmung von Trennwandkonstruktionen. *Die Schalltechnik* 1956 (18), pag. 11.
40. Th. Kristen und R. Palazy. Einfluss der Nebenwegübertragung auf den Luftschallschutz der Wohnungstrennwände. *Die Schalltechnik* 1961 (42), pag. 1.
41. J. Kristensen. Undersøgelse af lyd-isolation mellem boliger i rækkehus og lignende bebyggelser. SBI-rapport 64. 1970.
42. J. Kristensen. Lydforhold vedrørende boligventilation. Lydtransmission. SBI-notat 12.
43. J. Kristensen. Lydisolation, teori, måling, vurdering og bestemmelser. SBI-notat 24. 1973.
44. J. Kristensen. Lette indvendige skillevægge. SBI-særtryk nr. 194. 1969.
45. J. Kristensen. Skillevægges luftlydisolation. SBI-særtryk nr. 195. 1969.
46. J. Kristensen. Lydtransmission via ventilationskanaler i boliger. SBI-særtryk 203. 1970.
47. J. Kristensen. Indervægges lyd-isolation. SBI-særtryk nr. 211. 1970.
48. J. Kristensen. Horisontal lydtransmission i et etagekryds. SBI-særtryk 248. 1974.
49. J. Kristensen. Facade- og loftkonstruktionens indflydelse på lyd-isolationen mellem klasserum. *Byggeindustrien* 1967, pag. 355.
50. J. Kristensen. Lydtransmission i et centralvarmesystem. *Byggeindustrien* 1967, pag. 560.
51. R. Martin. Über Körperschallmessungen an einem achstäckigen Wohnhaus. *Die Schalltechnik* nr. 13, 1955.
52. E. Meyer, H. Oberst, P. H. Parkin and H. J. Purkis. A Tentative Method for the Measurements of Indirect Sound Transmission in Buildings. *Acustica* 1951, pag. 18.
53. H. L. Müller. BiegeWellen-Dämmung an Symmetrischen und exzentrischen Sperrmassen. *Frequenz* 1957, pag. 325 und pag. 342.
54. P. H. Parkin and H. J. Purkis. Indirect Sound Transmission with Joist and Solid Floors, *Acustica* 1952, pag. 237.
55. J. Petersen. Lydisolation i betone-huse med henblik på bygningsreglementets krav Beton-Teknik nr. 3, 1961.
56. J. H. Rindel. Die Schalldämmung von Wänden mit endlichen Ausdehnungen. *DAGA* 1975, VDI Verlag.
57. J. Sadowski. Influence de la Structure du Bâtiment sur les Qualités Acoustiques des Parois Separatrices entre Logements. *Building Science*, Vol. 4, 1969, pag. 159.
58. P. Schneider. Bauakustische Untersuchungen in Wohngebäuden aus grossformatigen Bauteilen. *Berichte aus der Bauforschung*, Heft 60, Berlin 1969.
59. P. Schneider. Modeluntersuchungen zur Schallübertragung an Doppelwänden bei Reihenhäusern. *Berichte aus der Bauforschung*, Heft 35. Berlin 1964.
60. E. C. Sewell and W. A. Utley. The effect of resilient fillings on direct and flanking sound transmission with cavity masonry walls. *Journal of Sound and Vibration* Vol. 34, No. 1, May 1974, pag. 131.
61. W. Westphal. Ausbreitung von Körperschall in Gebäuden. *Acustica* 1957, pag. 325.
62. L. Nordlund. Flanktransmission vid betonelements-system. Fältmätningar i radhus. Rapport R14:1977. Statens råd för byggforskning. Stockholm 1977.

Rapporten omhandler en undersøgelse af lydisolationen i betonelementbyggeri med henblik på at belyse virkningen af utætheder, især ved samlinger i etagekryds, hvor eventuelle eftertætninger ikke kan udføres, når gulve er udlagt. Undersøgelsen er et led i arbejdet med at fremskaffe et bedre grundlag for at kunne planlægge og udføre boliger, som opfylder tidens krav til lyd-isolation.

