

SBI-præbet.

SBI-SÆRTRYK
195

UDK 699.844:69.022.5

Byggeindustrien nr. 18, 1969

Jørgen Kristensen:
Skillevægges luftlydisolation

STATENS
BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

I kommission hos Teknisk Forlag
København 1969



Skillevægges luftlydisolation

Civilingeniør Jørgen Kristensen,
Byggeriets akustiske Målestation,
Statens Byggeforskningsinstitut

Skillevægges luftlydisolation

Under projektering af et byggeri skal den projekterende arkitekt eller ingeniør på et eller andet tidspunkt afgøre, hvilke rumadskillende konstruktioner, der skal anvendes i det pågældende byggeri. I de tilfælde, hvor der i BR-66 stilles krav om en vis lydisolering mellem to rum, begrænses de anvendelige væg- og dækkonstruktioner af den i BR angivne målsætning. I andre tilfælde må de projekterende selv opstille en målsætning for lydisolationen og på grundlag af denne udvælge konstruktioner, der kan give den nødvendige lydisolering.

Bestemmelserne i BR-66 vedrørende lydisolation i bygninger udtrykkes som krav om mindsteisolering, dels mod trinlyd, dels mod luftlyd. I bestemmelserne om isolering mod trinlyd anføres, at en standardiseret bankemaskine, når den anbringes på en etageadskillelse, ikke må frembringe trinlydniveauer i det underliggende rum, som overstiger de i reglementet angivne værdier.

Bestemmelserne vedrørende isolering mod luftlyd er formuleret dels som krav om en specificeret mindste luftlydisolation – rumisolation – i en række bygninger med forskellige anvendelsesformål, dels som krav om en specificeret mindste lydisolationsevne – reduktionstal – for de anvendte bygningsdele, vægge og dæk.

For mange projekterende er de lydtekniske bestemmelser en kilde til ærgrelse, fordi de projekterende ikke har det samme overblik over rækkevidden af disse bestemmelser som over rækkevidden af mere traditionelle bestemmelser. I praksis er det især ved valg af vægkonstruktioner, at der kan forekomme store, ubehagelige overra-

Det i bygningsreglementet formulerede krav til lydisolationen mellem boliger er et tosidigt krav, dels skal den anvendte bygningsdel have et vist reduktionstal, dels skal den sammen med de omgivende bygningsdele give en vis luftlydisolation – rumisolation. I artiklen omtales begreberne reduktionstal og rumisolation samt en række faktorer, der indvirker på dobbeltvægges lydisolation.

skelser. I det følgende omtales kun vægges lydisolering, men de anførte principper gælder i et vist omfang også for etageadskillelser.

Rumisolation contra reduktionstal

I en bygning sker lydtransmissionen fra et rum til et andet både gennem den adskillende konstruktion og gennem de omgivende konstruktioner. I figur 1 illustreres lydtransmissionsveje mellem to naborum. Transmissionsvejen 5 symboliserer lydtransmissionen gennem utætheder. Størrelsen af transmissionen ad de enkelte veje mellem to rum afhænger af den adskillende bygningsdel, af de omgivende bygningsdele, af tilslutningerne mellem den adskillende og de omgivende bygningsdele, af udførelsen i praksis samt af planløsningen.

Den samlede lydtransmission ad vejene 1–6 er et udtryk for rumisolationen mellem de to naborum og lydtransmissionen ad vejen 1 er et udtryk for den adskillende konstruktions reduktionstal. Hvis summen af transmissionen ad vejene 2–6 er nul, antager transmissionen sin mindste værdi, hvilket svarer til størrelsen af transmissionen ad vejen 1. Den mindste lydtransmission er ensbetydende med den største lydisolation, som således bestemmes af skillevægges reduktionstal.

Mellem den maksimalt opnåelige rumisolation $D_{0,5 \max}$ og reduktionstallet R består der følgende sammenhæng

$$D_{0,5 \max} = R + 10 \log \frac{0,32 V}{S} \quad (1)$$

hvor V er modtagerummets volumen og S skillefladens areal.

I flere lande – blandt andre Sverige – anvender man også begrebet reduktionstal om skillefladers lydisolation

under betingelser, hvor transmissionsvejene 2–6 indgår, blot betegnes dette – tilsyneladende – reduktionstal med R' . Mellem R' og $D_{0,5}$ består følgende sammenhæng

$$D_{0,5} = R' + 10 \log \frac{0,32 V}{S}$$

Rumisolationen udtrykker den reelle lydisolation mellem to rum, medens reduktionstallene er udtryk for bygningselementers lydisoleringsevne. En rumadskillende bygningsdels reduktionstal bestemmer den øvre grænse for den med den givne bygningsdel opnåelige lydisolering mellem rummene.

Reduktionstal

Reduktionstal måles i et laboratorium under afprøvningsbetingelser, der udelukker transmissionsvejene 2–4. I praksis udelukkes også transmissionsvej 6. Den adskillende bygningsdels udførelse og dens tilslutninger til begrænsningsfladerne er bestemmede for, om transmissionsvej 5 kan betragtes som udelukket.

Fra samme laboratorium fås undertiden forskellige resultater ved gentagne målinger af ens væg- eller dækkonstruktioner. Dette kan skyldes forskelle i konstruktionen eller dens udførelse, men det kan også skyldes lydtransmission gennem utætheder ved konstruktionernes tilslutninger til prøvefeltets begrænsningsflader.

Reduktionstallene for en akustisk set fejlfri væg- eller dækkonstruktion afhænger dels af dens vægt pr. fladeenhed, dels af frekvensen. Reduktionstallene for en bygningsdel måles i overensstemmelse med international standard ved 16 forskellige frekvenser eller frekvensbånd i frekvensområdet 100–3150 Hz. Middeltallet af

de målte reduktionstal for en bygningsdel kaldes for dens middelreduktionstal, og det betegnes med R_m .

I årenes løb er der udført målinger af reduktionstal for vægge med vidt forskellig vægt og opbygning. På grundlag af de fundne resultater er der for de homogene enkeltvægges vedkommende fremstillet en empirisk kurve for middelreduktionstallet som funktion af vægten pr. m^2 . Kurven kaldes for vægkurven og ses i figur 2. Der er ikke fremstillet tilsvarende kurver for inhomogene vægge.

Reduktionstallet som funktion af frekvensen har for en homogen enkeltvæg i princippet et forløb som skitseret i figur 3. Frekvensforløbet kan som vist tilnærmes ved tre rette linier. En teoretisk beregning af reduktionstallet svarende til de tre linier fører selv under stærkt simplificerende forudsætninger til ret komplicerede udtryk, litt. (1).

Måles reduktionstallet for en let homogen enkeltvæg, vil der i reglen være en mere eller mindre tydelig tendens til formindskelse af isolationen i et mindre frekvensområde. Som vist i figur 3 vil denne isolationsformindskelse optræde i frekvensområdet umiddelbart under eller omkring en grænsefrekvens f_g , der tilnærmest bestemmes ved

$$f_g = \frac{c^2}{1,8 c_l d}$$

hvor c er lydhastigheden i luft, c_l lydhastigheden for longitudinalbølger i det pågældende materiale, d tykkelsen af væggen.

Årsagen til den ved f_g forøgede lydtransmission skyldes såkaldt koincidens – sammenfald – mellem den overfladebølge, som en plan lydbølge i luft frembringer på væggen overflade, og en bøjningsbølge i væggen. Fænomenet illustreres i figur 4. Under en bestemt indfaldsvinkel kan koincidensbetingelsen være opfyldt. Teoretisk skulle dette ved f_g betyde transmission gennem væggen næsten uden dæmpning, heldigvis er dette ikke tilfældet i praksis.

Bølgelængden i en bøjningsbølge afhænger af frekvensen, pladens tykkelse og materialet. Der vil derfor ikke kunne optræde koincidens, hvis bøjningsbølgens længde er mindre end bølgelængden i luft.

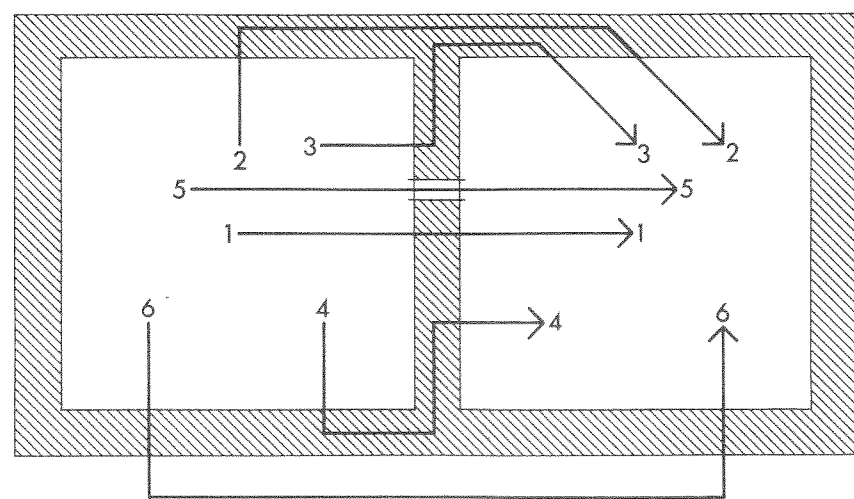


Fig. 1. Forskellige veje for lydtransmission fra et rum til et naborum.
1: Direkte gennem den adskillelsesflade.
2: Gennem en flankerende flade.
3 og 4: Gennem den adskillelsesflade og en flankerende flade.
5: Gennem dele af den adskillelsesflade, hvor lydisoleringsevnen er mindre end gennemsnitsværdien.
6: Via et fælles flankerende rum.

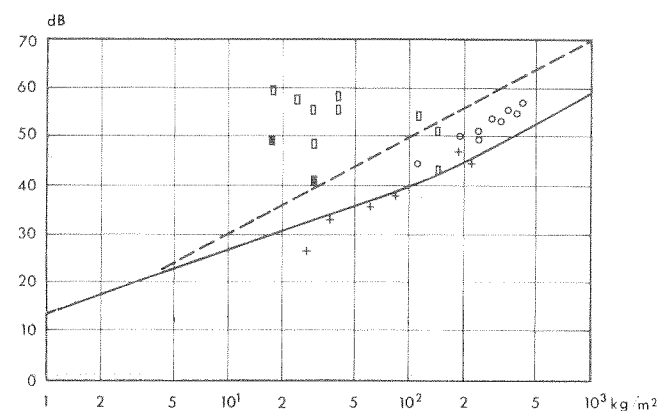


Fig. 2. Middelreduktionstallet som funktion af vægten pr. kvadratmeter. Den fuldt optrukne kurve er en empirisk bestemt »vægkurve«. Den punkterede kurve er beregnet uden hensyntagen til koincidenseffekt, d.v.s. svarende til linie I i fig. 3.
0: Massive vægge med $f_g < 100-160$ Hz.
+: Massive vægge med $f_g > 160-200$ Hz.
□: Dobbeltvægge med lydabsorberende indlæg.
■: Dobbeltvægge uden lydabsorberende indlæg.

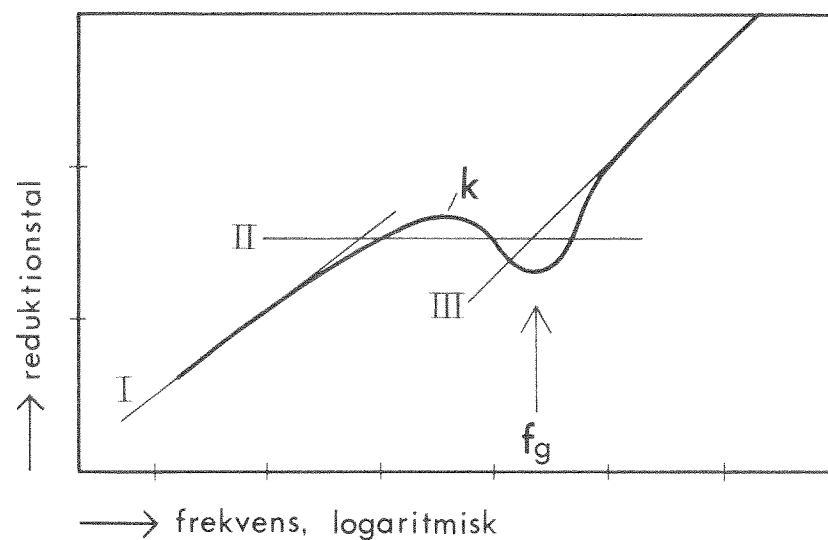


Fig. 3. Principielt forløb af reduktionstallet som funktion af frekvensen for en bøjningsstiv plade. Forløbet kan tilnærmes med linierne I-III. Hældningen af linie I og III svarer til henholdsvis 6 dB og 7,5 dB ved en fordobling af frekvensen. Frekvensen f_g betegner grænsefrekvensen eller koincidensfrekvensen.

Ligger f_g over ca. 4000 Hz, vil reduktionstallene i intervallet 100–3150 Hz følge linien i figur 3. Det teoretiske middelreduktionstal vil følge den i figur 2 viste punkterede linie. I praksis vil middelreduktionstallene for vægge ligge under denne kurve, men for meget tynde plader med f_g større end ca. 6000 Hz eller for plader, hvis bøjningsstivhed er forsvindende, vil der være mulighed for, at middelreduktionstallet ligger meget nær den teoretiske værdi. Ligger f_g i intervallet 160–2000 Hz, kan middelreduktionstallet blive væsentlig lavere end svarende til vægkurven. I praksis bør f_g for bøjningsstive vægge være mindre end 100 Hz, hvilket fører til vægtykkelser på mindst 16 cm for betonvægge og mindst 25 cm for teglvægge. Figur 5 viser grænsefrekvensen som funktion af pladetykkelsen for nogle bygningsmaterialer.

Anvendes to af hinanden helt adskilte vægge – dobbeltvægge – kan i nogle tilfælde opnås en betydelig forøgelse af reduktionstallet i forhold til den massive væg med den samme vægt pr. m^2 . Størrelsen af denne forøgelse i forhold til reduktionstallet for massive vægge afhænger dels af afstanden mellem de to enkeltvægge, dels af den indbyrdes mekaniske uafhængighed mellem de to enkeltvægge. I mange tilfælde vil lydabsorberende materiale i rummet mellem de to enkeltvægge yderligere kunne forøge reduktionstallet.

Dobbeltvægge kan opfattes som to masser indbyrdes forbundet med en fjeder, hvis fjederkonstant afhænger af tykkelsen af afstanden mellem væggene og en eventuel udfyldning af mellemrummet. Ethvert svingende system har én eller flere resonansfrekvenser. For dobbeltvægge bør resonansfrekvensen være lavere end 100 Hz, hvilket for enkelte vægge med ens vægt m og indbyrdes afstand a fører til følgende betingelser:

$$m \cdot a \geq 1,0$$

For enkeltvægge med uens vægt, hvor den ene vægs masse er forsvindende i forhold til den andens vægs masse, fås følgende betingelser:

$$m \cdot a \geq 0,5$$

m er enkeltvæggenes vægt i kg/m^2 og a deres indbyrdes afstand i m.

Dobbeltvægges lydisolering er også afhængig af enkeltvæggenes grænse-

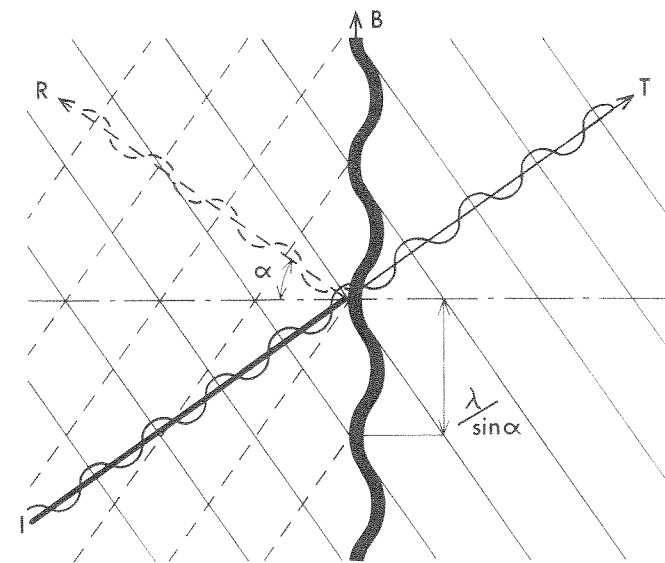


Fig. 4. Bøjningsbølge frembragt i en væg af en indfaldende lydbølge. I indfaldende lydbølge, R reflekteret bølge, T transmitteret bølge, B bøjningsbølge i væggen, α ind- og udfaldsvinkel, λ lydbølgens længde i luft, $\lambda/\sin \alpha$ bøjningsbølgens længde.

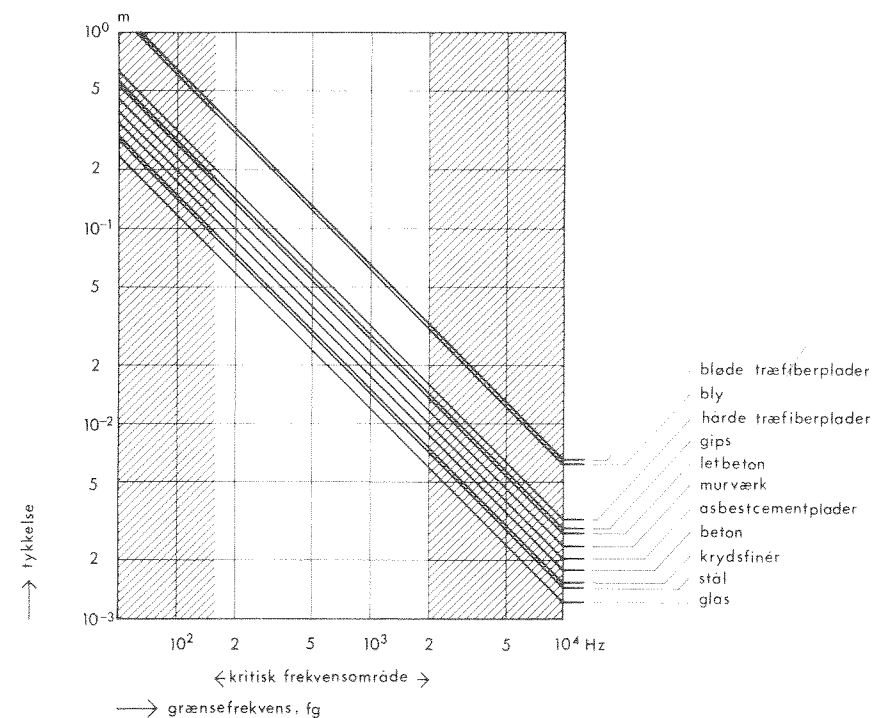


Fig. 5. Grænsefrekvens for frie bøjningsbølger i bygningsdele afhængig af bygningsdelens tykkelse med byggematerialet som parameter.

frekvens f_g . Den største forskel mellem dobbeltvægges reduktionstal og de til vægten svarende reduktionstal for homogene enkeltvægge findes for vægge med ringe vægt. Det skyldes enten, at f_g er større end ca. 3000 Hz, eller at enkeltvæggenes bøjningsstivhed eller egenstivhed er forsvindende.

Ligger f_g for begge enkeltvæggene i intervallet 100–3000 Hz, kan der i praksis forekomme et frekvensbånd, hvori lydtransmissionen er næsten af samme størrelsesorden som transmissionen gennem den ene enkeltvæg.

Lave værdier af f_g er ensbetydende med bøjningsstive vægge. Voksende egenstivhed giver i praksis bedre mekanisk kobling mellem enkeltvæggene, hvilket betyder aftagende forskel mellem reduktionstallene for dobbeltvægge og reduktionstallene for homogene enkeltvægge med samme vægt. Dette gælder ikke, hvis der i de omgivende bygningsdele findes en fuge ud for mellemrummet mellem de to enkeltvægge. I figur 2 er indtegnet reduktionstallene for en række dobbeltvægge.

En sammenligning mellem simple teoretiske udtryk for enkelte og dobbelte vægges lydisolering – se f. eks. litt. (2) – viser, at alt andet lige betyder en fordobling af afstanden mellem de enkelte vægge i en dobbeltvæg en forøgelse af dennes reduktionstal med 6 dB. Resultater fra målinger af reduktionstal som funktion af afstanden mellem enkeltvæggene viser, at reduktionstallet under gunstige forhold kan forøges 5–6 dB, når de to vægge er mekanisk uafhængige.

En dobbeltvægs reduktionstal kan forøges ved at udfylde hulrummet mellem de to vægge med et lydabsorberende materiale, f. eks. mineraluld, når den mekaniske forbindelse mellem de to enkelte vægge ikke har nogen indvirkning på dobbeltvæggenes lydisolering.

Reduktionstal for fejlfrit udførte dobbeltvægge af beton eller lignende vil praktisk talt ikke ændres, selvom mellemrummet mellem enkeltvæggene udfyldes med mineraluld. Reduktionstal for dobbeltvægge udført af materialer med ringe bøjningsstivhed kan forøges betydeligt ved anvendelse af lydabsorberende indlæg. Har de i et givet tilfælde anvendt enkeltvægge

en meget ringe lydisoleringsevne, vil reduktionstallet også afhænge af, om det indlagte lydabsorberende materiale har en større eller mindre lydæmpning pr. tykkelsesenhed.

Rumisolation

Medens litteraturen giver et godt overblik over forskellige vægkonstruktioners lydisoleringsevne, findes der en mere beskednen viden om vægges lydisolering i praksis. Den praktiske viden begrænser sig hovedsagelig til massive vægge med vægt fra 250 til 450 kg/m². Dette vil bedømt i relation til bygningsreglementet betyde vægge, som muligvis kan anvendes til skel mellem etageboliger.

Der foreligger så godt som ingen måleresultater, der belyser lette vægges rumisolation mellem rum inden for en bolig. Målinger af dobbeltvægges lydisolering er hidtil i overvejende grad sket under laboratorieforhold.

Sammenligning mellem målte rumisolationer og det tidligere omtalte udtryk for den maksimale rumisolation mellem to naborum viser, at det kun sjældent lader sig gøre at opnå denne lydisolering. Det er derimod almindeligt, at den målte rumisolation ligger betydeligt under den teoretiske, maksimale rumisolation, se litt. (3).

Resultaterne fra en række målinger af rumisolation mellem rum adskilt med massive enkeltvægge er vist i figur 6, hvor middelrumisolation og tilhørende middelreduktionstal er af-

sat. Rumisolationerne er afbildet ved henholdsvis den største og den mindste middelrumisolation samt ved gennemsnitsværdien af middelrumisolationen fra samtlige målinger på ens vægkonstruktioner.

Spredningerne på måleresultaterne for de enkelte vægge er meget store, og der er især for 15 cm betongvægge en skæv fordeling af måleresultaterne i forhold til deres gennemsnitsværdi.

Målte rumisolationer og målte reduktionstal kan ikke umiddelbart sammenlignes. For modtagerum, hvis bredde målt vinkelret på den adskillende væg ligger mellem 2,5 m og 4 m, andrager forskellen mellem den maksimalt opnåelige rumisolation og reduktionstallet højst 1 dB. Da de givne måleresultater svarer til målinger, der opfylder denne betingelse, er den viste sammenligning dog rimelig.

Variationer mellem de målte rumisolationer samt mellem rumisolation og reduktionstal skyldes forskelle i transmissionsvejene 2–6, figur 1. Måleresultaternes skæve fordeling i forhold til gennemsnitsværdien og deres store spredning skyldes i reglen for stor lydtransmission ad vejene 5 og/eller 6. En stor forskel mellem gennemsnitsrumisolationen og reduktionstallet skyldes sandsynligvis lydtransmissionen ad vejene 2–4. Størrelsen af de sidstnævnte transmissionsbidrag afhænger dels af de valgte vægtykkelser og materialer, dels af princippet for de bærende konstruktioner.

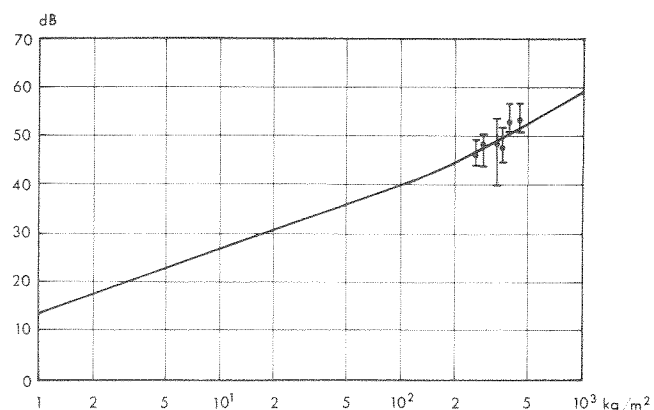


Fig. 6. Middelreduktionstallet som funktion af vægten pr. kvadratmeter. Den fuldt optrukne kurve er den empirisk bestemte »vægkurve«. På figuren er indtegnet spredningen på middelrumisolationen ved en række målinger af seks forskellige vægkonstruktioner: 12 cm beton, 15 cm kalksandsten, 15 cm beton, 23 cm tegl, 18 cm beton og 20 cm beton. Gennemsnitsværdien af middelrumisolationen er for hver vægkonstruktion markeret ved en udfyldt cirkel. Middelreduktionstallene er for de angivne vægge markeret med en cirkel.

Eksempler

Massive vægge burde ikke kunne udføres forkert. Det forekommer imidlertid hyppigt, at vægge har et mindre reduktionstal end påregnet. Det gælder både for vægge udført af mindre enheder – blokke eller sten – og for vægge udført af større enheder – præfabrikerede elementer.

Murede vægge kan mangle fugemørtel, hvilket er en meget hyppig fejl. Der kan også opstå revner mellem mørtel og sten eller blokke. Disse revner er i nogle tilfælde vanskelige at konstatere og må formodes at kunne være en mulig årsag til de undertiden ret varierende reduktionstal for murede vægge med fyldte fuger.

Fugerne mellem elementerne i præfabrikerede vægge – lette eller tunge – udgør lydteknisk set et svagt punkt.

Denne svaghed er måske ikke så afgørende for lette vægges anvendelse, men den er ofte årsag til den i forhold til vægten ringe lydisolering. Lydtransmission gennem utætte fuger er mere ødelæggende for tunge vægges lydisolering end for lette vægges.

Utætte fuger kan formindske lydisoleringen. Et grelt eksempel ses i figur 7, der viser rumisolationen mellem tilsvarende rum i en bygning, hvor der i det ene tilfælde fandtes en alvorlig utæthed ved elementvæggenes tilslutning til de ovenliggende dækplader.

Lav rumisolation skyldes fejl i bygningsdele som vist i figur 8, hvor et rør forbinder over for hinanden liggende el-dåser. Udsparringer til el-dåser bør ikke forekomme i skillevægge mellem boliger og må aldrig

anbringes umiddelbart over for hinanden.

Det bør i denne forbindelse bemærkes, at forøgelse af en vægs tykkelse betyder en procentvis større forøgelse af godstykkelsen ved eventuelle udsparringer.

Tilslutningen til omgivende bygningsdele kan udføres forkert og føre til for lav rumisolation. I figur 9 vises en væg tilsluttet loftet i den øverste etage i en treetages ejendom. Væggen er ført ca. 5 cm over loftsbeklædningen, som i øvrigt ikke slutter tæt imod skillevæggen.

Erfaringer fra anvendelse af dobbeltvægge er få, og de hidtil kendte resultater er ikke opmuntrende. Årsagen til de ringe resultater kan i reglen henføres til forhold vedrørende tilslutningerne til omgivende bygningsdele, hvor der ofte opstår lydteknisk

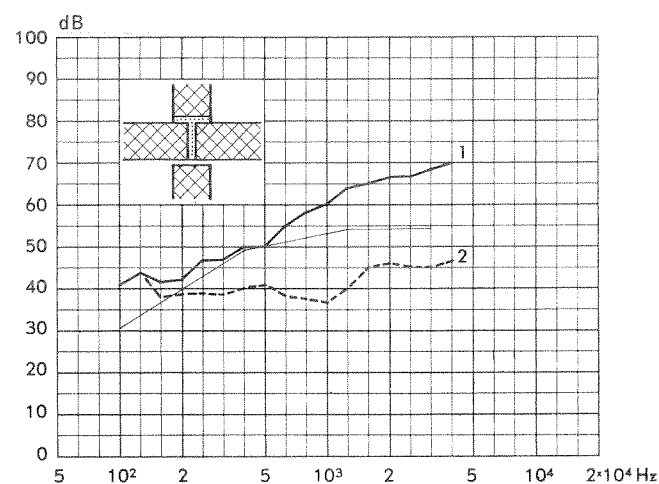


Fig. 7. Rumisolationen som funktion af frekvensen mellem ensliggende naborum i samme byggeri. Skillevæggene er af beton med en tykkelse på 15 cm. Kurve 1: Rumisolationen mellem to rum adskilt med en fejlfri væg, $D_{0,5 \text{ mid}} = 54$ dB. Kurve 2: Rumisolationen mellem to rum adskilt med en væg, der havde en mangelfuld tilslutning til den ovenliggende dækplade $D_{0,5 \text{ mid}} = 41$ dB.

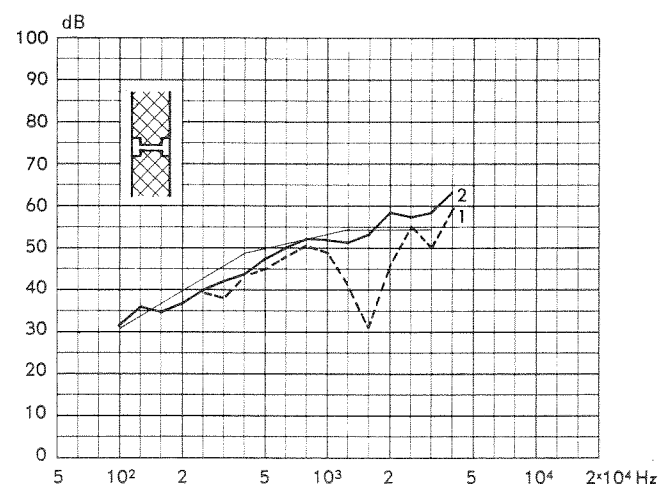


Fig. 8. Rumisolationen som funktion af frekvensen mellem to rum adskilt med en betongvæg på 15 cm tykkelse. I væggen var anbragt to over for hinanden liggende el-dåser, indbyrdes forbundet med et el-rør. Kurve 1: Måleresultatet for stopning af rørforbindelsen, $D_{0,5 \text{ mid}} = 42$ dB. Kurve 2: Måleresultatet efter stopning af el-røret, $D_{0,5 \text{ mid}} = 47$ dB.

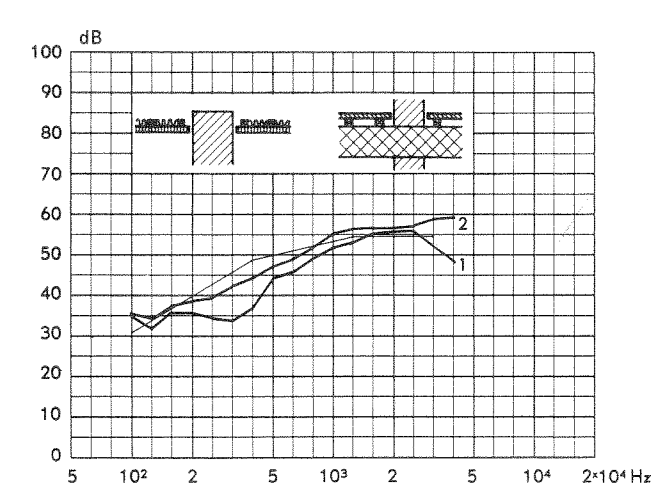


Fig. 9. Rumisolationen som funktion af frekvensen mellem ensliggende naborum i samme byggeri. Skillevæggene består af 23 cm pudsede teglvægge. Kurve 1: Rumisolationen mellem to rum i øverste etage, hvor adskillelsen mod et uudnyttet loftsrum består af gipsplader på lægter, $D_{0,5 \text{ mid}} = 44$ dB. Kurve 2: Rumisolationen mellem rum i en underliggende etage, $D_{0,5 \text{ mid}} = 48$ dB.

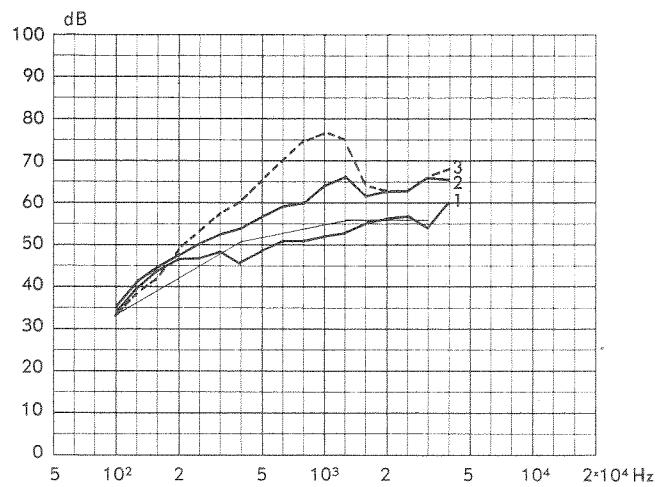


Fig. 10. Reduktionstallet som funktion af frekvensen for tre dobbeltvægge med to lag 9 mm gipsplader som beklædning. Lægterne 2 1/4" x 1 1/2" var opsat pr. 40 cm, i mellemrummet var indlagt 10 cm Rockwool Batts.
Kurve 1: Væggens totaltykkelse 15 cm, fælles fod- og loftsrem. Rm = 49 dB.
Kurve 2: Væggens totaltykkelse 15 cm, adskilt fod- og loftsrem. Rm = 55 dB.
Kurve 3: Væggens totaltykkelse 20 cm, adskilt fod- og loftsrem. Rm = 59 dB.

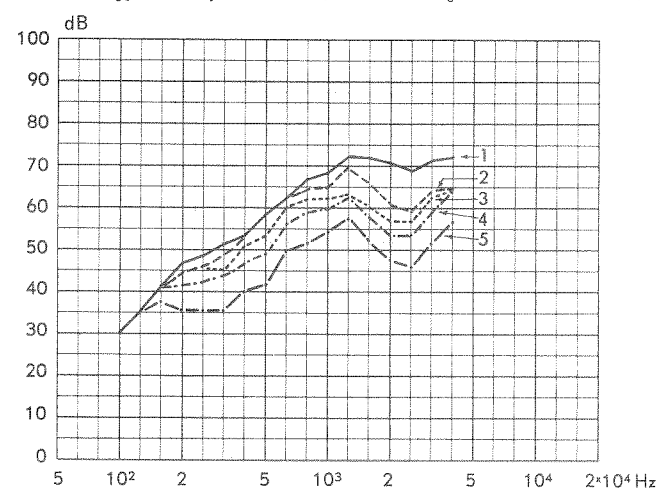


Fig. 12. Reduktionstallet som funktion af frekvensen for den i fig. 11 angivne dobbeltvæg med adskilte ledere. Væggen blev successivt sammenspændt med 1/2" bolte i de fire hjørner.
Kurve 1: Væggen før isætning af bolte.
Kurve 2: En bolt spændt.
Kurve 3: To bolte spændt i samme hjørne.
Kurve 4: Fire bolte spændt i to hjørner.
Kurve 5: Alle otte bolte spændt.

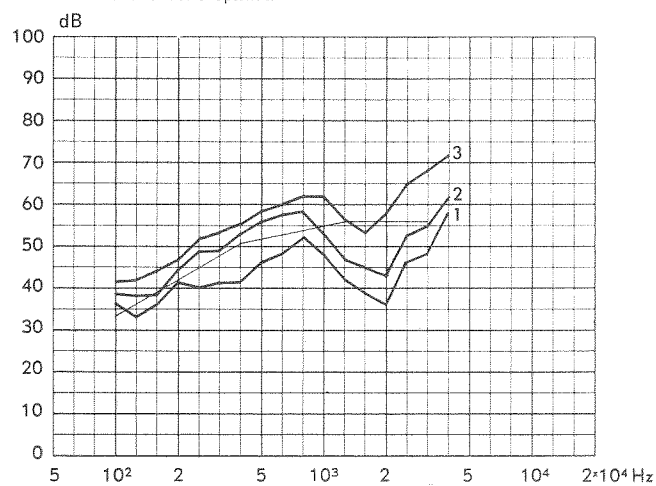


Fig. 14. Reduktionstallet som funktion af frekvensen for en dobbeltvæg af 22 mm spånplader på lægter pr. 140 cm. Lægtesystemerne var opført med adskilte rømme. Væggens totale tykkelse 20 cm.
Kurve 1: Væggen uden lydabsorberende materiale i mellemrummet. Rm = 42 dB.
Kurve 2: Lydabsorberende materiale - 10 cm Rockwool Batts i en bredde på 50 cm - langs prøvevæggens tilslutning til sider, loft og gulv. Rm = 48 dB.
Kurve 3: I mellemrummet mellem væggene var indlagt 10 cm Rockwool Batts, type 112. Rm = 55 dB.

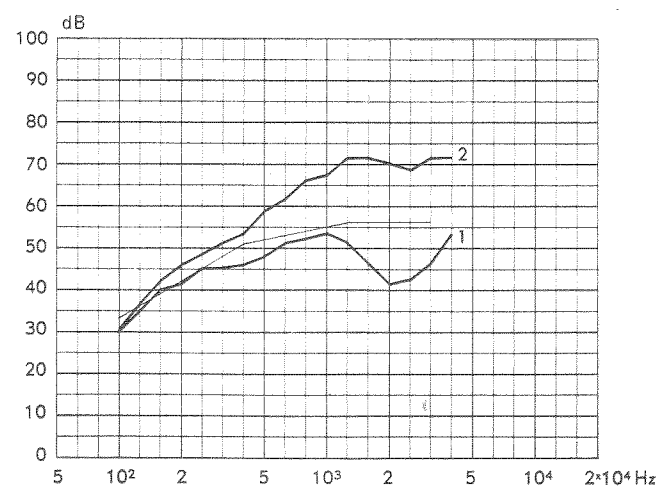


Fig. 11. Reduktionstallet som funktion af frekvensen for to dobbeltvægge af 10 mm imprægneret plade. Pladerne var på bagsiden forsynet med en listeafstivning, hvori var indlagt 5 cm Rockwool Batts i hver vægflade.
Kurve 1: Væggens totaltykkelse 20 cm, fælles ledere ved gulv, loft og vægge. Rm = 45 dB.
Kurve 2: Væggens totaltykkelse 20 cm, adskilte ledere ved gulv, loft og vægge. Rm = 57 dB.

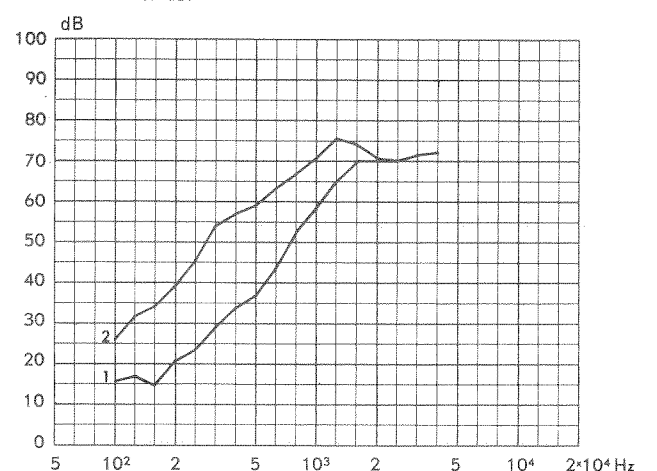


Fig. 13. Reduktionstallet som funktion af frekvensen for en væg af 2' x 2' stolper på 60 cm c-c udfyldt med 17,5 cm Rockwool pladebatts type 2, henholdsvis med og uden beklædning af 9 mm gipsplader på væggens ydersider.
Kurve 1: Væggen med beklædning.
Kurve 2: Væggen uden beklædning.

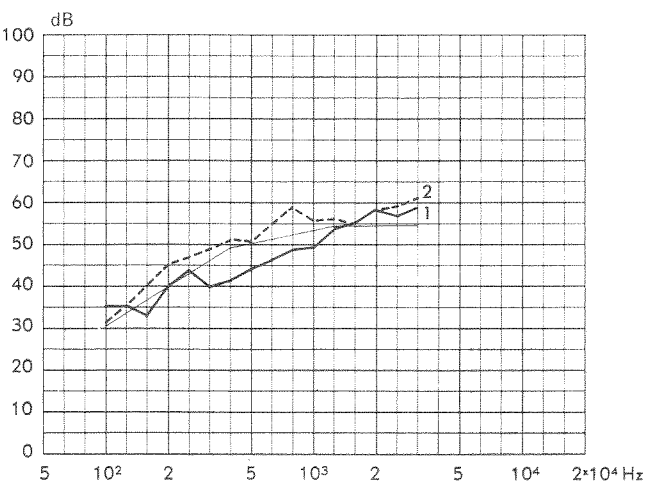


Fig. 15. Rumisolationen som funktion af frekvensen mellem enslydende naborum i samme byggeri adskilt henholdsvis med en dobbelt letbetonvæg og en 20 cm dobbeltvæg som refereret i fig. 11.
Kurve 1: Letbetonvæg, D_{0,5 mid} = 46 dB. Afvigelse fra krav i BR-66, 2,4 dB.
Kurve 2: Dobbeltvæg af 10 mm imprægneret træplade med listeafstivning og 2 x 5 cm Rockwool Batts i mellemrummet. D_{0,5 mid} = 50 dB. Afvigelse fra krav i BR-66, 0,1 dB.

set ødelæggende utætheder. I årenes løb er mange bygherrer og projekterende blevet skuffede i deres forventninger om at opnå en stor rumisolation ved hjælp af dobbeltvægge med stort reduktionstal.

Lette dobbeltvægge anvendes dels for at opnå stor rumisolation, dels for at opnå stor fleksibilitet i rumindelingen. Rumisolation og fleksibilitet er imidlertid ofte omvendt proportionale størrelser, d.v.s. jo større rumisolation, desto mindre fleksibilitet.

Anvendes dobbeltvægge i et byggeri, må de bærende konstruktioner og planløsningen være egnede for anvendelse af dobbeltvægge. Bærende konstruktioner, hvori dobbeltvæggen kan indpasses som et udfyldningselement mellem søjler og bjælker, er velegnede. En dobbeltvæg bør påbegyndes og afsluttes ved en massiv konstruktion.

Dobbeltvægge skal udføres således, at de enkelte vægge er helt adskilte. I praksis ligger grænsen for opnåelige reduktionstal med ikke adskilte vægge i øjeblikket imellem 40 og 50 dB afhængig af de enkelte vægge og deres indbyrdes forbindelser.

I figur 10 vises reduktionstal for en dobbeltvæg henholdsvis med fælles fod- og loftsrem, med adskilt fod- og loftsrem, samt med forøget afstand mellem de enkelte vægge. Et tilsvarende måleresultat ses i figur 11, hvor den eneste forskel mellem de målte konstruktioner er fælles og adskilte ledere. Forbindelse mellem en dobbeltvægs to enkelte vægge kan være ødelæggende for dobbeltvæggens lydisolering. Dette illustreres i figur 12, der viser resultatet af en række målinger af reduktionstal for en dobbeltvæg, hvis to adskilte vægge indbyrdes var fastgjort ved hjælp af bolte. I hvert hjørne uden for lederne var anbragt to bolte. Reduktionstallet aftog efterhånden, som boltene blev spændt. Selv en enkelt bolt har en ret stor indvirkning på dobbeltvæggens lydisoleringsevne.

For meget lette dobbeltvægge er det af afgørende værdi at have et lydabsorberende indlæg mellem væggene. Det anføres flere steder i litteraturen, at en rand af lydabsorberende materiale langs væggens begrænsningsflader er tilstrækkeligt til at dæmpe stå-

ende bølger parallelt med vægfladerne. Mange tillægger derfor fejlagtigt det lydabsorberende materiale, f. eks. mineraluld, lydisoleringsevnen nul, hvilket er urigtigt. Mineralulds lydisoleringsevne afhænger af materialets tæthed og dets lydæmpende egenskaber. D.v.s. at en væg af mineraluld kan have reduktionstal, der er betydelig større end en massiv væg med samme vægt. Figur 13 viser reduktionstallet for en stolpevæg udfyldt med Rockwool pladebatts med og uden beklædning. Figur 14 viser reduktionstallet for en dobbeltvæg henholdsvis med og uden indlæg af lydabsorberende materiale.

Lette vægge med udtalt koicidens kan ikke forbedres væsentligt i koicidensområdet med mineraluld, medmindre mineraluldens lydisolering er større end væggens lydisolering i koicidensområdet. Dette betyder i praksis, at der skal anvendes mineraluld, hvis rumvægt er mindst 100 kg/m³ og hvis tykkelse er mindst 10-15 cm.

Et indlæg af lydabsorberende materiale har betydning for lydtransmissionen gennem eventuelle huller frembragt med bor eller søm. To huller 10 mm ϕ ét i hver vægflade og forsat 50 cm for hinanden i den dobbeltvæg, hvis reduktionstal er vist i figur 11, havde ikke nogen indflydelse på reduktionstallet, hvilket ikke er tilfældet for en væg uden indlæg af lydabsorberende materiale.

Erfaringen for anvendelse af dobbeltvægge i boliger er ikke stor. Enkelte måleresultater er vist i figur 15.

Med dobbeltvægge bestående af plader opsat på opstalter af forskellige metalprofiler er der i udlandet opnået gode resultater. Der foreligger endnu ingen erfaringer med hensyn til anvendelse af den slags vægge i dansk etageboligbyggeri.

Resultater fra anvendelse af dobbeltvægge fremstillet i enkelte præfabrikerede sandwich-elementer har hidtil ikke svaret til forventningerne. Det er muligt, at der kan fremstilles lydteknisk brugbare sandwich-elementer, hvis der anvendes meget bløde mellemlag og specielle transportkoblere, som fjernes ved elementets opstilling.

En anden løsning er at anvende massive vægkerner og på begge sider opstille lette vægge. Vægflader med

stor bøjningsstivhed må ikke have mekanisk kontakt med den massive kerne. Denne metode kan også anvendes til forbedring af eksisterende massive vægges lydisolering.

I praksis er det muligt at forbedre en massiv væggs reduktionstal indtil ca. 10 dB ved at beklæde væggen med gipsplader på 1-1/2" lægter, mellem lægterne skal anbringes mineraluld. Lægterne må gerne anbringes direkte på væggen, men de skal anbringes parallelt og ikke tættere end 60 cm. Der kan anvendes andre plader end gipsplader, men ikke med tykkelse over 8-10 mm.

Konklusion

Lydtransmissionen mellem to naborum er af kompleks karakter, og de beregnede maksimale rumisolationer svarer kun i meget få tilfælde til de faktiske rumisolationer. Reduktionstallet kan alene give oplysning om den maksimalt opnåelige rumisolation.

Reduktionstal for massive vægge afhænger af vægten pr. kvadratmeter og kan forudbestemmes med rimelig sikkerhed.

Reduktionstal for dobbeltvægge kan være større end for massive vægge med samme vægt, men det lader sig ikke umiddelbart forudberegne. Det må derfor bestemmes ved måling under laboratoriebetingelser.

Rumisolationen kan i almindelighed ikke forudberegnes med rimelig sikkerhed, og der foreligger i dag alt for få måleresultater til belysning af de forskellige konstruktionsformers og materialers indflydelse på lydtransmissionen i bygninger.

Ved brug af dobbeltvægge som adskillelse mellem etageboliger må det påregnes, at vejledende målinger af rumisolationen i det færdige byggeri vil være nødvendige for at sikre en tilstrækkelig ensartet udførelse og en tilfredsstillende lydisolering. Det må også forventes, at bygningsmyndigheden i større projekter med dobbeltvægge vil gøre brug af dens ret til at kræve målinger udført i det færdige byggeri.

- (1) M. Heckl: Die Schalldämmung von homogener Einfachwänden endlicher Fläche. *Acustica* 10 (1960), pag. 98.
- (2) F. Ingerslev: *Akustik*. Teknisk Forlag 1949.
- (3) SBI rapport 39: Lydisolation i boligbyggeri.

Summary

The article deals with the sound insulation provided by partitions in laboratory experiments and in practice. While sound is transmitted through a building along many paths, in a laboratory set-up in which flanking transmission is eliminated sound is transmitted solely through the studied wall. The sound reduction measured in the laboratory is known as the sound reduction index and expresses the ability of the wall to insulate against sound. The sound reduction index also determines the maximum sound insulation obtainable in a building using a certain wall.

The insulation provided by a single wall depends in the first instance

on the weight per square metre of the wall. Depending on the material and the thickness of the wall there may, within the frequency range generally used in the determination of sound reduction, be narrow frequency ranges around so-called coincidence frequencies at which a considerable transmission of sound takes place. The insulation provided by a double wall depends in the first instance on the weight per square metre of the individual panels and on the distance between the panels.

In practice sound insulation is frequently found to be considerably poorer than might be expected from the sound reduction index. As regards

double walls we have experience of their acoustic properties in practice, but few results of measurements are available. The article mentions a number of examples which show the influence exerted on sound insulation by the construction of the wall. It is not possible with any reasonable certainty to estimate in advance the sound insulation in a certain building, and it must be anticipated that in future the building authority requirements will to an increasing extent include measurements made in completed buildings.