

# LUFTLYD I BEBOELSESEJENDOMME

AIRBORNE SOUND IN DWELLINGS

WITH AN ENGLISH SUMMARY

FRITZ INGERSLEV og JØRGEN PETERSEN

AKADEMIET FOR DE TEKNISKE VIDENSKABER

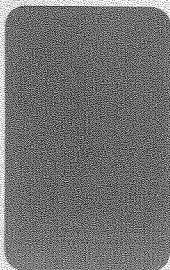
LYDTEKNISK LABORATORIUM

Bibliotekseksemplar 2

Statens Byggeforskningsinstitut

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT RAPPORT NR. 12

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1954



STATENS  
BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

(Borgergade 20, København K, Tlf. Palæ 9855)

er en selvstændig institution, der ledes af en bestyrelse udpeget af boligministeren,

er oprettet ved lov nr. 123 af 19. marts 1947,

har til opgave »— at følge, fremme og samordne teknisk, økonomisk og anden undersøgelses- og forskningsvirksomhed, som kan bidrage til en forbedring og billiggørelse af byggeriet, samt at udøve oplysningsvirksomhed angående byggeforskningens resultater.«

PUBLIKATIONER

Rapporter

er de originale, komplette beretninger om selvstændige forskningsarbejder, som udføres for eller af Institutet.

Nr. 1: *Økonomisk varmeisolerings*, Poul Becher. 1949. 61 s. A<sub>4</sub>. Kr. 7.—. 2. udgave 1950.

Nr. 2: *Gymnastiksales akustik*, Poul Becher. 1950. 2 s. A<sub>4</sub>. (Udsolgt).

Nr. 3: *The Non-Destructive Testing of Concrete with Special Reference to the Wave Velocity Method*, Johs. Andersen, Poul Nerenst and Niels M. Plum. 1950. 80 s. A<sub>4</sub>. (Udsolgt).

Nr. 4: *Testing of 11 Danish Concrete Mixers*, Johs. Andersen, Per Bredsdorff, Niels H. Krarup, K. Malmstedt-Andersen, Poul Nerenst and Niels M. Plum. 1951. 236 s. A<sub>4</sub>. Kr. 25.—.

Nr. 5: *Sammenlignende undersøgelse af træ- og stålstilladser til husbygning*, Niels H. Krarup. 1951. 44 s. A<sub>4</sub>. (Udsolgt).

Nr. 6: *Vinterbyggeri, forsøg afholdt af Statens Byggeforskningsinstitut i årene 1947—50*, Niels M. Plum. 1951. 108 s. A<sub>4</sub>. (Udsolgt).

Nr. 7: *Dæk og huse*, Niels M. Plum. 1. del: Tekst, 178 s. 2. del: Figurer, 46 s. 1952. A<sub>4</sub>. Kr. 20.—.

Nr. 8: *Trinlyd i beboelsesejendomme*, Fritz Ingerslev og V.E.B. Rantfelt. 1952. 40 s. A<sub>4</sub>. (Udsolgt).

Nr. 9: *Tapet, rullelængde og rapportantal*, Philip Arctander og Henry F. Holm. 1952. 63 s. A<sub>4</sub>. (Udsolgt).

Nr. 10: *Trommelyd, undersøgelse over støj fra gulve*, F. Larris. 1952. 28 s. A<sub>5</sub>. Kr. 2,50.

Nr. 11: *Mørteltilsætningsstoffer til brug ved vinterbyggeri*, Henry Dührkop. 1953. 40 s. A<sub>4</sub>. Kr. 3.—.

Nr. 12: *Luftlyd i beboelsesejendomme*, Fritz Ingerslev og Jørgen Petersen. 1954. 40 s. A<sub>4</sub>. Kr. 7.—.

Studier

er en blandet publikationsrække, der spænder fra litteraturgengivelser og diskussioner til forskningsprogrammer, foreløbige beretninger o. lign.

Nr. 1: *Byggemodul, begrebets indhold og problemer i forbindelse med dets indførelse*, Mogens Voltelen. 1949. 30 s. A<sub>4</sub>. (Udsolgt).

Nr. 2: *Forslag til undersøgelser og forskningsopgaver indenfor boligbyggeriet*. 1949. 67 s. A<sub>4</sub>. (Udsolgt).

Nr. 3: *The Predetermination of Water Requirement and Optimum Grading of Concrete under Various Conditions*, Niels M. Plum. 1950. 96 s. A<sub>4</sub>. Kr. 15.—.

Nr. 4: *Om visse grundprincipper vedrørende prøvning af byggematerialer, med særligt henblik på betonprøvnings*, Niels M. Plum. 1950. 24 s. A<sub>4</sub>. (Udsolgt).

Nr. 5: *Hvordan udføres en tør kælder?*, Niels R. Steensen. 1950. 15 s. A<sub>4</sub>. (Udsolgt).

Nr. 6: *Skorstene for småhuse*, Poul Becher. 1951. 45 s. A<sub>4</sub>. (Udsolgt).

Nr. 7: *Betonteknologiske studier i U.S.A.*, Poul Nerenst. 1952. 88 s. A<sub>5</sub>. Udenrigsministeriets serie: Teknisk bistand under Marshallplanen. Høst & Søn. Kr. 7.—.

THE DANISH NATIONAL INSTITUTE  
OF BUILDING RESEARCH

(20 Borgergade, Copenhagen K, Denmark)

is an independent institution supervised by an executive board appointed by the Minister of Housing,

established under Act No. 123 of March 19th, 1947.

The Task of the Institute is »— to follow, promote and coordinate technical, economic, and other examination and research work which may contribute to an improvement and cheapening of building, and to disseminate the results of the building research«.

PUBLICATIONS

Reports

are the original complete reports on research made by or on behalf of the Institute.

No. 1: *Economical Heat Insulation*, Poul Becher (Danish text with an English Summary). 1949. 61 p. Size A<sub>4</sub>. Kr. 7.—. 2. edition 1950.

No. 2: *Acoustics of Gymnasia*, Poul Becher (Danish text with a brief English Summary). 1950. 2 p. Size A<sub>4</sub>. (Out of print).

No. 3: *The Non-Destructive Testing of Concrete with Special Reference to the Wave Velocity Method*, Johs. Andersen, Poul Nerenst and Niels M. Plum. (In English). 1950. 80 p. Size A<sub>4</sub>. (Out of print).

No. 4: *Testing of 11 Danish Concrete Mixers*, Johs. Andersen, Per Bredsdorff, Niels H. Krarup, K. Malmstedt-Andersen, Poul Nerenst and Niels M. Plum. (In English). 1951. 236 p. Size A<sub>4</sub>. Kr. 25.—.

No. 5: *Wooden and Steel Scaffolding for Building Construction*, Niels H. Krarup. (Danish text with an English Summary). 1951. 44 p. Size A<sub>4</sub>. (Out of print).

No. 6: *Winter Construction, Experiments made by the Danish National Institute of Building Research in 1947—50*, Niels M. Plum (Danish text with an English Summary). 1951. 108 p. Size A<sub>4</sub>. (Out of print).

No. 7: *Floor Constructions and Houses*, Niels M. Plum (Danish text with an English Summary). Part One: Text, 178 p. Part Two: Figures, 46 p. 1952. Size A<sub>4</sub>. Kr. 20.—.

No. 8: *Impact Sound in Dwellings*, Fritz Ingerslev and V.E.B. Rantfelt (Danish text with an English Summary). 1952. 40 p. Size A<sub>4</sub>. (Out of print).

No. 9: *Wallpaper, the Length of Roll and Number of Matches*, Philip Arctander and Henry F. Holm (Danish text, partly also in English). 1952. 63 p. Size A<sub>4</sub>. (Out of print).

No. 10: *Drum Noise from Floors*, F. Larris. (Danish text with an English Summary). 1952. 28 p. Size A<sub>5</sub>. Kr. 2,50.

No. 11: *Mortar Admixtures for Winter Construction*, Henry Dührkop (Danish text with an English Summary). 1953. 40 p. Size A<sub>4</sub>. Kr. 3.—.

No. 12: *Airborne Sound in Dwellings*, Fritz Ingerslev and Jørgen Petersen (Danish text with an English Summary). 1954. 40 p. Size A<sub>4</sub>. Kr. 7.—.

Studies

comprise miscellaneous publications, ranging from bibliographies, renderings of literature to discussions and research programmes, preliminary reports etc.

No. 1: *Modular Coordination with a view to the Building Industry*, Mogens Voltelen (Danish text with a brief English Summary). 1949. 30 p. Size A<sub>4</sub>. (Out of print).

No. 2: *Proposals for Investigations and Research within the Housing Field* (Danish text). 1949. 67 p. Size A<sub>4</sub>. (Out of print).

No. 3: *The Predetermination of Water Requirement and Optimum Grading of Concrete under Various Conditions*, Niels M. Plum (In English). 1950. 96 p. Size A<sub>4</sub>. Kr. 15.—.

No. 4: *On Certain Fundamental Principles Regarding the Testing of Materials, with Special Reference to the Testing of Concrete*, Niels M. Plum (Danish text). 1950. 24 p. Size A<sub>4</sub>. (Out of print).

No. 5: *Design and Construction of Dry Basements*, Niels R. Steensen (Danish text). 1950. 15 p. Size A<sub>4</sub>. (Out of print).

No. 6: *Domestic Chimneys*, Poul Becher. (Danish text with an English summary). 1951. 45 p. Size A<sub>4</sub>. (Out of print).

No. 7: *Study of Concrete Technology in U.S.A.*, Poul Nerenst (Danish text with an English summary). 1952. 88 p. Size A<sub>5</sub>. Publication series of the Ministry of Foreign Affairs: Technical Assistance under the E.C.A. Program. Publishers: Høst & Søn. Kr. 7.—.

DK 699.844:728

L U F T L Y D I B E B O E L S E S E J E N D O M M E

AIRBORNE SOUND IN DWELLINGS

With an English Summary

Fritz Ingerslev

Lektor, civilingeniør, dr.techn.

Jørgen Petersen

civilingeniør

Akademiet for de tekniske Videnskaber  
Lydteknisk Laboratorium

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT RAPPORT NR. 12

I kommission hos TEKNISK FORLAG København 1954

112 00849P  
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

INDHOLDSFORTEGNELSE.

	side
Forord .....	5
1 Indledning .....	7
2 Målemetoder .....	9
Definitioner og almindelige betragtninger .....	9
Laboratoriemålinger .....	10
Målinger i beboelsesejendomme .....	11
3 Udenlandske normer for luftlydisolation .....	13
England .....	13
Sverige .....	13
Tyskland .....	14
Norge .....	14
Holland .....	15
4 Planløsningens betydning for luftlydisolation .....	15
Illustrationer fig. 2.1 - 5.2 .....	17
5 Principielle forhold ved vægge og etageadskillelsers luft-	
lydisolation .....	18
Massive vægge .....	18
Dobbeltvægge .....	19
Huller og utætheders indflydelse på isolationen .....	20
Døre .....	20
Flanke-transmissionen .....	21
Etageadskillelser .....	21
Støbte dæk .....	22
Træetageadskillelser .....	22
Etageadskillelser udformet som dobbeltkonstruktioner .....	22
6 Luftlydens udbredelse til fjerntliggende rum .....	24
7 Problemer ved den praktiske udførelse af godt lydisolerende	
konstruktioner .....	24
Dobbeltvægge .....	24
Flytbare vægge .....	25

Oplag: 800 eksemplarer

Eftertryk tilladt, men kun med kildeangivelse  
 Reproduction permitted when reference is made to this report  
 STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT, KØBENHAVN.

	side
Træetageadskillelser.....	25
Svømmende gulve.....	26
8 Foranstaltninger til forbedring af luftlydisolationen af eksisterende konstruktioner.....	27
Vægge.....	27
Etageadskillelser.....	28
Illustrationer fig. 5.3 - 8.2.....	29
9 Måleresultater fra laboratoriemålinger.....	30
Massive enkeltvægge.....	30
Dobbeltvægge opbygget af massive delvægge.....	30
Vægge opbygget af træskelet med beklædning.....	31
Tabel.....	32
10 Måleresultater fra målinger i bygninger.....	34
Vægge.....	35
Etageadskillelser.....	35
Tabel.....	36
11 Eventuelle krav med hensyn til luftlydisolation ved boligbyggeri.....	39
English summary.....	40

## FORORD.

Formålet med de undersøgelser, der er omtalt i nærværende rapport, og som er udført på Lydteknisk Laboratorium, har været at fremskaffe oplysninger om luftlydisolationen af forskellige væg- og etageadskillelseskonstruktioner samt luftlydisolationen i beboelsesejendomme opført i de sidste 4-5 år i København og omegn, således at man har et rimeligt grundlag for fastsættelse af eventuelle krav med hensyn til luftlydisolationen ved boligbyggeri. Målingerne, der danner grundlag for denne rapport, er udført af en række af laboratoriets ingeniører. En meget væsentlig del af målingerne i beboelsesejendomme er gennemført af civilingeniør Erik Trudsø; disse undersøgelser udførtes med økonomisk støtte fra Akademiet for de tekniske Videnskaber.

Indtil omkring 1950 havde man på Lydteknisk Laboratorium hovedsagelig udført målinger af laboratoriemæssig art. En bevilling fra Statens Byggeforskningsinstitut har imidlertid muliggjort gennemførelsen af en lang række målinger i nybygninger i årene 1951-53. Målinger af denne art er meget tidskrævende, idet der i almindelighed må føres en række forhandlinger med arkitekter, håndværkere m.fl. for at sikre, at målebeti-  
tingelserne er tilstrækkeligt betryggende. I adskillige tilfælde må man vente i flere måneder, før bygningen er på et stadium, der tillader målingernes gennemførelse. Lydteknisk Laboratorium vil hermed gerne takke Statens Byggeforskningsinstitut for den ydede støtte og den forståelse af laboratoriets arbejde, som denne støtte giver udtryk for.

Laboratoriet vil ligeledes gerne takke den lange række af boligselskaber, bygherrer, arkitekter, rådgivende ingeniører og ikke mindst beboerne af de lejligheder, i hvilke målingerne blev udført, for den uvurderlige hjælp, der er ydet laboratoriet ved forsøgenes gennemførelse.

København i december 1953.

Forfatterne.

## 1. INDLEDNING.

De mest almindelige kilder for luftlyd i beboelsesejendomme er stemmer, musikinstrumenter og højttalere. For alle disse lydgivere gælder det, at man i almindelighed kun er interesseret i at høre dem i det rum, i hvilket de befinder sig. Det er derfor nødvendigt, at isolationen mod luftlyd er så stor, at styrken af den til de øvrige rum transmitterede lyd er så lille, at lyden ikke virker generende der. Problemet luftlydisolation er uden tvivl blevet mere aktuelt i de sidste årtier. Flere forhold er medvirkende hertil.

Radioens store udbredelse i de sidste 20-25 år giver næsten uovervindelige vanskeligheder i retning af at skaffe tilstrækkelig luftlydisolation mellem to værelser med fælles skillevej eller etageadskillelse. Man bør derfor ikke lægge to rum, mellem hvilke der bør være god luftlydisolation, umiddelbart op ad hinanden; således bør eksempelvis soveværelset i een lejlighed ikke støde op til opholdsstuen i en anden lejlighed, da man må tilstræbe god isolation af hensyn til kravet om absolut ro i soveværelset samtidig med, at der må forventes et relativt højt lydniveau i opholdsstuen.

Den moderne tendens til at anvende lette bygningskonstruktioner vil, såfremt der ikke træffes særlige forholdsregler, medføre en ringe lydisolation.

Bestemmelsen af luftlydisolationen i beboelsesejendomme må ske på empirisk basis, idet en teoretisk behandling af problemet ikke lader sig gennemføre med tilstrækkelig godt resultat. Dette medfører, at det ofte bliver vanskeligt at komme til mere almene love og retningslinier, men det har på den anden side den fordel, at de fundne resultater svarer til rent praktiske forhold og ikke er begrænset af den uoverskuelige rækkevidde af de for en teoretisk behandling nødvendige idealiserende forudsætninger.

Luftlydisolation kan ikke måles tilstrækkelig nøjagtig ved benyttelse af den i det daglige liv optrædende luftlyd; det vil være nødvendigt at anvende luftlyd af særlig karakter. Lydens styrke må være konstant gennem den tid, der er nødvendig for målingernes udførelse, og det må være muligt at variere lydens frekvensmæssige sammensætning på en forud fastlagt måde. Dette gøres ved at udsende lyden fra en højttaler, der fødes fra en elektrisk tonegenerator.

I det følgende vil der blive redegjort for den målemetode, der anvendes til bestemmelse af luftlydisolationen, de faktorer, der bestemmer luftlydisolationen, og de resultater, der er fundet for luftlydisolation af enkelte bygningsdele og hele bygningskonstruktioner.

Undersøgelserne er i hovedsagen tilrettelagt med henblik på at skaffe oplysninger om, hvorledes luftlydisolationen er imellem forskellige lejligheder, medens det ikke er tilstræbt at klarlægge luftlydisolutionsforholdene inden for en og samme lejlighed, mellem det frie og en lejlighed eller mellem en trappeopgang og en lejlighed. Hovedvægten er derfor lagt på vægtyper, der anvendes som lejlighedsskille rum og på etageadskillelser. Isolationsproblemerne i forbindelse med meget lette skille rum, tage, døre og vinduer er enten slet ikke behandlet eller kun berørt mere periferisk.

For fuldstændighedens skyld skal det bemærkes, at etageadskillelisesisolationen for trinlyd er behandlet i en tidligere udkommet rapport nr. 8 fra Statens Byggeforskningsinstitut: Fritz Ingerslev og V.E.B. Ranfelt: Trinlyd i beboelsesejendomme.

## 2. MÅLEMETODE.

### Definitioner og almindelige betragtninger.

Lydtransmissionen fra et rum til et andet sker ved, at vægge, gulv og loft i det rum - senderummet - hvori lyd giveren befinder sig, sættes i svingninger af lydbølgerne i rummet, og disse svingninger transmitteres derpå til vægge, gulv og loft i naborum eller fjernere liggende rum - modtagerummene - hvor de svingende begrænsningsflader frembringer et lydfelt i luften. Ved disse betragtninger angående lydtransmissionen er set bort fra det ret trivielle tilfælde, hvor lydtransmissionen fra det ene rum til det andet sker gennem åbninger og kanaler, der forbinder de to rum eller gennem større porer i vægge.

I langt det overvejende antal af de i praksis forekommende tilfælde vil man være interesseret i lyd isolationen mellem to rum, der støder umiddelbart op til hinanden, d.v.s. at de enten har en fælles skillevæg eller en fælles etageadskillelse. I disse tilfælde vil det yderligere ofte være således, at hovedparten af lydtransmissionen sker gennem den fælles begrænsningsflade, skillevæg eller etageadskillelse.

En skillevægs eller etageadskillelses isolationsevne udtrykkes ved det reciproke forhold mellem energien af de lydbølger, der rammer væggen i senderummet og energien af de lydbølger, som udsendes til modtagerummet på grund af væggenes svingninger. Man definerer transmissionsforholdet  $q$  for en væg som forholdet mellem effekten  $N_2$ , der afgives af væggen til modtagerummet, og effekten  $N_1$ , der rammer væggen på sendesiden, altså

$$q = \frac{N_2}{N_1} \quad (1)$$

Reduktionstallet for skillevæggen defineres som

$$R = 10 \log \frac{1}{q} = 10 \log \frac{N_1}{N_2} \text{ decibel} \quad (2)$$

Selv om det som nævnt ofte er således, at den væsentlige del af lydtransmissionen sker gennem en fælles skillevæg eller etageadskillelse, må man dog altid huske, at der også sker lydtransmission fra sender til modtagerum gennem svingningerne af alle de andre af rummets begrænsningsflader, og at det i et konkret tilfælde kan være vanskeligt at afgøre, hvor stor en del af lydenergien der går den ene og den anden vej. Reduktionstallet for den fælles væg eller fælles etageadskillelse giver derfor ikke et fuldgyldigt mål for isolationen mellem to rum.

Som mål for isolationen mellem to rum benyttes gerne forskellen mellem lydstyrkerne i sender- og modtagerum. Er modtagerummet umøbleret og derved relativt hårdt, fås en relativ lille forskel mellem lydstyrkerne i de to rum, er modtagerummet derimod stærkt møbleret og følgelig dødt, fås en relativ stor forskel mellem lydstyrkerne. Når forskellen

mellem lydstyrkerne i sende- og modtagerum anføres, er det derfor nødvendigt at give oplysning om modtagerummets akustiske tilstand under målingen. Normalt udregner man ud fra den målte forskel mellem lydstyrkerne, hvilken værdi man ville have målt, såfremt modtagerummet havde haft en ganske bestemt nærmere fastsat dæmpning, eventuelt udtrykt ved rummets efterklangstid.

Da reduktionstallet for skillevægge og etageadskillelser såvel som isolationen mellem naborum afhænger af tonehøjden, er det ikke tilstrækkeligt at måle ved en enkelt frekvens, men målingen må foretages ved et større antal frekvenser, der repræsenterer den del af toneområdet, der har interesse. Ved de målinger, der foretages her i landet, måles i frekvensområdet 100-3200 Hz ved følgende standardfrekvenser udvalgt med 1/3 oktavs spring: 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 640, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 og 3200 Hz. Fig. 2.1 viser reduktionstallet som funktion af frekvensen for en 1-stens mur. Reduktionstallet stiger i gennemsnit 5 dB/oktav. Den her viste frekvensafhængighed for reduktionstallet er typisk, idet et meget stort antal vægkonstruktioner har en middelstigning på 4-6 dB pr. oktav. For at kunne angive et bekvemt tal for isolationen opgives i reglen middelværdien af de værdier for isolationen, der er bestemt ved de ovennævnte standardfrekvenser. Dette gælder både for laboratoriemålinger af reduktionstallet og for målinger af forskellen i lydstyrken mellem rum i almindelige bygninger. Der skal dog her gøres opmærksom på, at en sammenligning af f.eks. vægkonstruktioners isolationsevne ikke kan foretages alene ved vurdering af forskellen i konstruktionernes middelduktionstal. Reduktionstallets stigning med frekvensen kan nemlig afvige en del fra den normale, der som nævnt er 4-6 dB pr. oktav, således at to konstruktioner med samme middelduktionstal kan have ret forskellige lydmassige egenskaber. Fig. 2.2 viser således, at reduktionstallet i grove træk er uafhængigt af frekvensen for en pudset 5 cm gasbetonvæg.

Fig. 2.3 viser et blokdiagram af det apparatur, der anvendes ved måling af differensen mellem lydtrykniveauerne. De to højttalere i senderummet fødes med en hyletone fra en tonegenerator. Mikrofonen står gennem en transformator og en mikrofonforstærker i forbindelse med en niveauskriver, der registrerer lydtrykniveauet som funktion af frekvensen, idet niveauskriverens transportør gennem et koblingsled kontinuerligt varierer hyletonens middelfrekvens. Grunden til, at man anvender hyletone i stedet for ren tone, er, at man med hyletone opnår et mere diffust lydfelt i rummet end med rene toner. Når man på denne måde har optegnet lydtrykniveauet i senderummet som funktion af frekvensen med tre forskellige placeringer af mikrofonen, flyttes mikrofonen til modtagerummet, hvor lydtrykniveauet som funktion af frekvensen måles på samme måde, ligeledes ved tre mikrofonpositioner. Fig. 2.5 viser et eksempel på et par kurver over lydtrykniveauet i sende- og modtagerum. Subtraheres modtagerumskurven fra senderumskurven, fås lydtrykniveaudifferensen som funktion af frekvensen. I praksis gøres dette ved, at man efter målingen skønsmæssigt indlægger en middelkurve, og ved hjælp af en frekvensskabelon afmærkes de tidligere nævnte standardfrekvenser på hver af kurverne, og dernæst udføres subtraktionen ved disse frekvenser.

#### Laboratoriemålinger.

De laboratoriemålinger, der ligger til grund for de i et senere afsnit angivne reduktionstal, er foretaget i Lydteknisk Laboratoriums

prøverum for rumakustiske målinger. Fig. 2.4 viser et længdesnit i rummene. Rummene, der hver har dimensionerne 4x6x4 m<sup>3</sup>, er opført uafhængigt af hinanden på hver sit fundament. I de to mod hinanden vendende endevægge findes en åbning på 3x3 m<sup>2</sup>, og i denne åbning opføres den prøvevæg, hvis reduktionstal ønskes bestemt. I det ene af rummene - senderummet - er anbragt to højttalere, der anvendes som lydgivere.

Væggens reduktionstal er (som nævnt ovenfor) defineret ved

$$R = 10 \log \frac{N_1}{N_2} \text{ decibel} ,$$

hvor  $N_1$  er den lydeffekt fra højttalerne, der rammer væggen i senderummet, og  $N_2$  den tilsvarende effekt der afgives fra væggen til modtagerummet. Det er imidlertid ikke muligt at måle  $N_1$  og  $N_2$  og således direkte bestemme reduktionstallet. I stedet måles lydtrykniveauerne  $L_1$  og  $L_2$  i sende- og modtagerum, og ud fra disse målinger bestemmes reduktionstallet ved hjælp af følgende ligning

$$R = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A}{S} .$$

Reduktionstallet bestemmes således ved differensen mellem lydstyrkerne eller mere korrekt lydtrykniveauerne i sende- og modtagerum korrigeret med størrelsen  $10 \log \frac{A}{S}$ , hvor  $A$  er antallet af absorptionsenheder (i m<sup>2</sup> total absorberende flade) og  $S$  væggens areal, i dette tilfælde således 9 m<sup>2</sup>.

Korrektionsleddet  $10 \log \frac{A}{S}$  bestemmes ved måling af efterklangstiden i modtagerummet, idet  $A$  udledes af efterklangstiden  $t$  ved følgende formel (Sabines formel)

$$t = \frac{0,16 \cdot V}{A} ,$$

hvor  $V$  er rummets volumen.

Det er ikke muligt at bestemme reduktionstallet for en vægkonstruktion ved at foretage målinger på modeller af vægge i mindre målestok, idet netop væggens dimensioner og randbetingelser kan influere på reduktionstallet. I de internationale normer for måling af luftlydisolation foreskrives, at randbetingelserne for prøvekonstruktioner skal svare så nøje som muligt til praktiske forhold, ligesom det anbefales at anvende en vægstørrelse på ca. 2,5x3,5 m<sup>2</sup>. Minimumstørrelse for sende- og modtagerummet fastsættes i normerne til 100 m<sup>3</sup>.

#### Målinger i beboelsesejendomme.

Det er som tidligere nævnt umuligt at bestemme reduktionstallet ved målinger i bygninger. Det har imidlertid også mindre interesse at

bestemme, hvor megen lyd der passerer gennem en enkelt bygningsdel, end det har at få fastlagt, hvilken isolation den samlede bygningskonstruktion giver mellem to rum, der er adskilt med konstruktioner, hvis reduktionstal er bestemt ved måling i laboratoriet. En norm for luftlydisolation i boligbyggeriet kan således ikke udarbejdes på basis af laboratoriemålinger, men må først og fremmest baseres på en undersøgelse til konstatering af de akustiske tilstande, som opnås ved anvendelse af de pågældende konstruktioner.

Et mål for luftlydisolationen mellem to rum i en færdig opført bygning er som nævnt ovenfor forskellen i lydtrykniveau mellem sende og modtagerum. Da denne differens afhænger af dæmpningen af modtagerummet, må den målte differens for sammenligningens skyld korrigeres med en størrelse, der tager hensyn til den øjeblikkelige akustiske tilstand i rummet, således at den korrigerede lydtrykniveaudifferens svarer til en bestemt dæmpning af modtagerummet. Erfaringen viser, at efterklangstiden i normalt møblerede rum er ca. 0,5 sek. i hele toneområdet og uafhængig af rummets størrelse, og man har derfor vedtaget at anvende en efterklangstid på 0,5 sek. som referenceværdi for dæmpningen af modtagerummet.

Den korrigerede lydtrykniveaudifferens, der betegnes  $D_{0,5}$ , bliver således

$$D_{0,5} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{t}{0,5},$$

hvor  $t$  er efterklangstiden.

Lydtrykniveaudifferensen bestemmes i reglen ved de samme standardfrekvenser som ved måling af reduktionstallet i laboratoriet. Foruden at opgive måleresultaterne ved disse frekvenser opgiver man i reglen også deres middelværdi, der betegnes  $D_{0,5}$  middel.

Måleapparatet og målemetoden ved målinger i bygninger er nogenlunde de samme, som anvendes ved laboratoriemålinger. I reglen anvendes dog ikke kun to højttalere, men derimod 6 - sammenbygget 3 og 3. Mikrofonstativ og højttalere er forsynet med fødder af svampegummi, som har til formål at forhindre, at mikrofonen registrerer lyd, der overføres til bygningskonstruktionen, ved at højttalerne påvirker disse mekanisk.

### 3. UDENLANDSKE NORMER FOR LUFTLYDISOLATION.

#### England.

I England vedrører kravene til luftlydisolationen lydtrykniveaudifferensen mellem rummene, når denne er reduceret til en efterklangstid på 0,5 sek. I en betænkning angående lydisolation og akustik fra 1944<sup>1)</sup> foreslås som normkrav 55 dB mellem opholdsrum i eet lejemål og opholdsrum i et andet lejemål og endvidere 45 dB mellem de øvrige rum i forskellige lejemål. Mellem opholdsrum inden for samme lejemål foreslås 45 dB, dog kun 35 dB mellem to soveværelser i samme lejemål. Det opstillede normforslag er baseret på målinger i en række huse med gængse vægge og etageadskillelser sammenholdt med de subjektive indtryk af de pågældende konstruktioners lydisolation. Man havde således konstateret, at en ret stor procentdel af beboerne i lejligheder, der var adskilt ved 9" massiv mur, klagede over luftlydisolationen mellem lejlighederne. I bygninger med 9" tykke mure fandtes en isolation på ca. 50 dB. Da undersøgelserne tillige viste, at en isolation på 60 dB ikke gav anledning til klager, fastsatte man middelværdien på 55 dB som et passende økonomisk forsvarligt krav.

#### Sverige.

Ligesom i England har man i Sverige opstillet de talmæssige isolationskrav til den forskel i lydtrykniveau, der måles mellem rum i bygninger, dog med den lille forskel, at den målte differens ikke skal reduceres til en efterklangstid på 0,5 sek., men derimod til en absorption på  $10 \text{ m}^2$ -Sabin i modtagerummet.

De første svenske normer for luftlydisolation udkom i 1946. Normerne blev revideret i 1950<sup>2)</sup> og indeholder følgende minimumskrav:

Mellem opholdsrum i forskellige lejligheder 48 dB,  
mellem arbejdsrum i kontor- og forretningsbygninger 40 dB,  
mellem sygeværelser på hospitaler 48 dB,  
mellem skolestuer 44 dB.

I normale lejligheder med rumstørrelser på ca.  $50 \text{ m}^3$  og en efterklangstid på 0,5 sek. er antallet af absorptionsenheder ca.  $16 \text{ m}^2$ -Sabin. Kravet om 48 dB mellem lejlighederne ved en absorption på  $10 \text{ m}^2$ -Sabin i modtagerummet, vil derfor være ensbetydende med en forskel i lydtrykniveauerne på ca. 50 dB ved en efterklangstid på 0,5 sek. i modtagerummet.

I anvisningerne er redegjort for en række tilfælde, i hvilke kravene ikke behøver at være opfyldt. Således vil man foreløbig acceptere en luftlydisolation på 44 dB i beboelsesejendomme, hvor etageadskillelser og skillerum udføres i træ. Anvisningerne indeholder endelig en oversigt i tabellarisk form over den luftlydisolation, der opnås med en række gængse konstruktioner. Tabellen er baseret på målinger af de pågældende konstruktioner i almindelige bygninger.

1) "Sound Insulation and Acoustics", Post-War building studies nr. 14, London 1944.

2) "Anvisningar till Byggnadsstadgan", Kungl. Byggnadsstyrelsens Anvisningar nr. 1, 1950.



## Tyskland.

Tyskland var det første land, der opstillede krav til luftlydisolation, og det skete allerede i 1938 ved DIN 4110. Grundlaget for de ældste normer var skillevæggens og etageadskillelsernes reduktionstal målt i laboratoriet. I DIN 4110 kræves et middelreduktionstal af både vægge og etageadskillelser på mindst 48 dB. Udover dette krav, der gælder for frekvensområdet 100-3000 Hz, forlanges, at middelreduktionstallet i frekvensområdet 100-550 Hz er mindst 42 dB og i området 550-3000 Hz mindst 54 dB. De ældste normer indeholder ingen anvisning på, hvilke konstruktioner der opfylder kravene. Først i 1944 blev der i DIN 4109 anvist et mindre antal konstruktioner, der havde de forlangte lyd-mæssige egenskaber.

I de senere år er der i Tyskland udført et stort forsøgsarbejde for at fastlægge talværdierne for luftlydisolationen af de gængse typer af vægge og etageadskillelser. Dette har resulteret i et tillæg til DIN 4109, og det fremgår af dette, dels hvilke konstruktioner der af sig selv opfylder normerne, dels hvilke konstruktive forbedringer, der kan foretages ved konstruktioner, der ikke i forvejen opfylder kravene.

Undersøgelserne har tillige medført, at der er udarbejdet et forslag (DIN 52211) til ændring af normerne. I forslaget er angivet normkurver for vægge og etageadskillelseres reduktionstal som funktion af frekvensen i stedet for de tidligere anvendte middelreduktionstal inden for de tre frekvensområder. Normkurven for vægge er retlinet fra 33 til 51 dB i frekvensområdet 100-400 Hz, derefter retlinet stigende til 56 dB ved 1250 Hz og endelig konstant lig med 56 dB i resten af frekvensområdet. Normkurven for etageadskillelser ligger overalt 2 dB højere. I middel må konstruktioner, der skal godkendes, kun ligge 2 dB lavere end normkurven. Målepunkter over normkurven skal regnes liggende på kurven, og endelig må tre nabopunkter tilsammen ikke ligge mere end 12 dB under kurven.

Udover disse normkurver for vægges og etageadskillelseres reduktionstal indeholder forslaget endvidere et sæt normkurver, der skal opfyldes, hvis konstruktionernes "reduktionstal" bestemmes ved målinger i almindelige bygninger. "Reduktionstallet" bestemmes som lydtrykniveaudifferensen mellem sende- og modtagerum, reduceret således at differensen svarer til, at hele lydtransmissionen foregår gennem det pågældende bygningselement. Normkurverne for disse målinger ligger overalt 2 dB lavere end den tilsvarende kurve for laboratoriemålinger. Det fremgår ikke af normforslaget, hvilken af normkurverne, der skal anses som hovedkrav til luftlydisolationen i de tilfælde, hvor en konstruktion opfylder normkurven ved måling i laboratoriet, men ikke tilfredsstiller fordringerne, når der foretages målinger i en almindelig bygning.

## Norge.

De krav, der i Norge stilles luftlydisolation, er udarbejdet i 1948<sup>1)</sup> og vedrører konstruktionernes lydreduktionstal målt i laboratoriet. Kravet til vægge og etageadskillelser imellem lejligheder er 50 dB; dette gælder også for isolationen mellem sygeværelser på hospita-

1) Departementets bygningsforskrifter, varme og ljudisolasjon.

ler samt mellem hotelværelser. For isolationen mellem skolestuer er opstillet et minimumskrav på 44 dB. Forskrifterne indeholder tillige de talmæssige størrelser for luftlydisolationen af en række almindelige væg- og etageadskillelsekonstruktioner.

## Holland.

I Holland er der i sommeren 1952 udsendt et normforslag for lyd-isolering i boligbyggeriet<sup>1)</sup>. Forslaget adskiller sig fra alle de ovenfor omtalte normer derved, at det ikke indeholder nogle talmæssige krav for isolationen, men i stedet angiver hvilke konstruktioner, der kan anvendes. De forskellige typer af vægge og etageadskillelser er inddelt i klasser efter deres isolationsevne. Som grundlag for inddelingen af væggene er anvendt de massive skillevægge; således tilhører vægge med en vægt på 180-250 kg/m<sup>2</sup> klasse 8, vægge med vægt 250-360 kg/m<sup>2</sup> klasse 9 o.s.v. Dobbeltvægge uden forbindelser mellem de to enkeltvægge er opført en klasse højere end en massiv mur med samme totalvægt.

Normforslaget indeholder samtidig en oversigt over, hvilke klasser af vægge og etageadskillelser der kræves svarende til en "god", "middel" og "mindre god" isolation mellem de enkelte lejligheder. Således skal vægge mellem opholdsstuerne i lejligheder med betegnelsen "god" mindst tilhøre klassen 8, d.v.s. hvis væggen udføres af massiv mur, skal vægten pr. m<sup>2</sup> mindst være 500 kg/m<sup>2</sup>. Luftlydisolationen af "gode" etageadskillelser skal mindst svare til det, der opnås med en fuldstøbt etageadskillelse, der vejer 250/m<sup>2</sup>.

## 4. PLANLØSNINGENS BETYDNING FOR LUFTLYDISOLATIONEN.

En god luftlydisolation er ikke udelukkende afhængig af anvendelsen af lyd-mæssig gode skillerum og etageadskillelser. Allerede ved arbejdet med planløsningen for lejlighederne kan grunden lægges til en god luftlydisolation, og en fornuftig planløsning kan i visse tilfælde overflødig gøre anvendelse af specielle kostbare konstruktioner.

De akustiske hensyn, der bør tages ved udarbejdelsen af planløsningen, består i, at "støjende" rum i eet lejemål ikke placeres direkte op ad "rolige" rum i andre lejemål. De "støjende" rum er opholdsstuer, køkkener, badeværelser og trapperum, medens det først og fremmest er soveværelserne, der udgør de "rolige". Det vil altså sige, at soveværelset hørende til eet lejemål ikke bør have fælles skillerum med opholdsstue, køkken eller badeværelse i det tilstødende lejemål. En i akustisk henseende tilfredsstillende planløsning fås ved at placere soveværelse mod soveværelse og opholdsstue mod opholdsstue, medens køkken og bad lægges ryg mod ryg imellem trapperummet og opholdsrummene. En sådan i lyd-mæssig henseende hensigtsmæssig plantype ses på fig. 4.1. Til sammenligning er på fig. 4.2 vist en planløsning, der må betegnes som dårlig, idet lejlighedens soveværelse støder op til både

1) Natuurkundige Grondslagen voor Bouwvoorschriften, deel III, Geluidwering in Woningen.

nabolejlighedens køkken og badeværelse.

Der skal i denne forbindelse gøres opmærksom på, at den støj, der fra vandinstallationer udsendes som bygningslyd, kan være stærkt generende. Støjgenen kan reduceres ved at undlade at montere installationerne på skillevægge mod opholdsrum i samme eller tilstødende lejemål. Man må erindre, at selvom vandinstallationerne ikke giver anledning til støjgene i de tilstødende lejemål på samme etage, kan de godt give støjgene i lejemål i over- og underliggende etager.

I beboelsesejendomme med store altan- og vinduespartier kan luftlydisolationen mellem lejlighederne være ret ringe, når vinduer og døre mod altaner står åbne i sommertiden, idet isolationen i høj grad er betinget af lydtransmissionen gennem vinduerne. I lydæssig henseende er derfor en løsning, som vist på fig. 4.1, hvor altanerne lægges bag facade-linien, bedre end den tidligere meget anvendte byggemåde, hvor altanerne blev "hængt" udenpå. Man opnår nemlig på denne måde en længere vej og dermed større dæmpning for den lydtransmission, der foregår via vinduerne.

Inden for de enkelte lejemål anvendes ofte af belastningsmæssige grunde meget lette konstruktioner til sekundære ikke bærende vægge. På steder, hvor der ønskes en god luftlydisolation (f.eks. mellem lejlighedens opholdsstue og soveværelse) kan virkningen af et let, dårligt isolerende skillerum i nogen grad afhjælpes, hvis man ved planløsningen placerer nogle af lejlighedens faste skabe, således at de dækker den pågældende vægflade.

Isolation mod udefra kommende luftlyd (d.v.s. støj fra trafikarer, fabrikker o.s.v.) forbedres, når afstanden mellem bygningen og støj-kilden gøres større. Ved projekter til boligbyggeri ud mod jernbanelinier og stærkt trafikerede gader og veje, bør bygningen derfor placeres så langt fra disse som muligt. Et grønt beplantet bælte på det mellemliggende areal vil have en gunstig virkning; der findes dog endnu ikke et tilstrækkeligt erfaringsmateriale til, at man kan give nogen talmæssig værdi for den isolationstilvækst, der kan opnås med en sådan beplantning. De af bygningens rum, i hvilke man ønsker det laveste støjniveau - det vil i første række være lejlighedernes soveværelser -, bør så vidt muligt ikke placeres ud imod støj-kilderne.

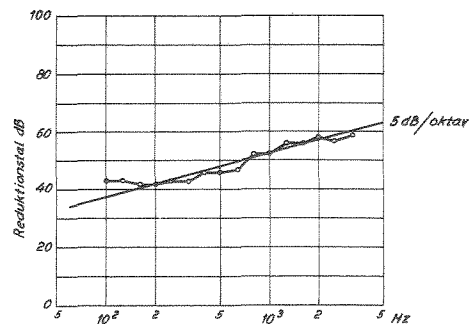


Fig. 2.1 Reduktionstallet som funktion af frekvensen for en 1-stens mur.

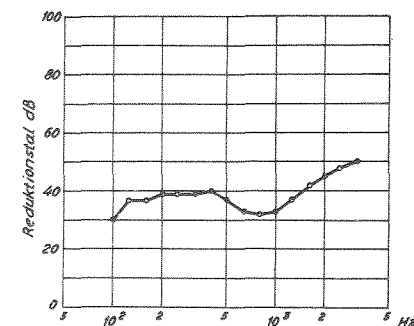


Fig. 2.2 Reduktionstallet som funktion af frekvensen for en pudset 5 cm gasbetonvæg.

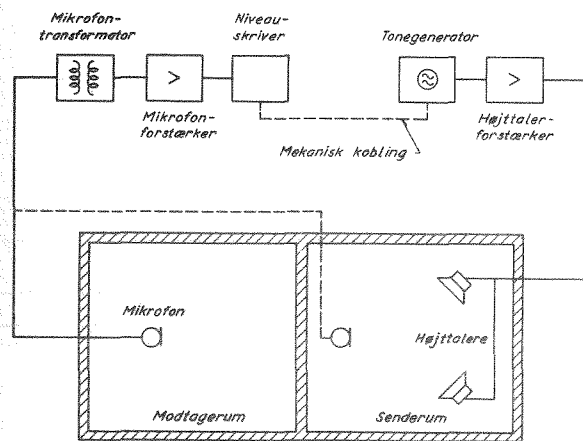


Fig. 2.3 Blokdiagram for apparatur til brug ved bestemmelse af luftlydisolation.

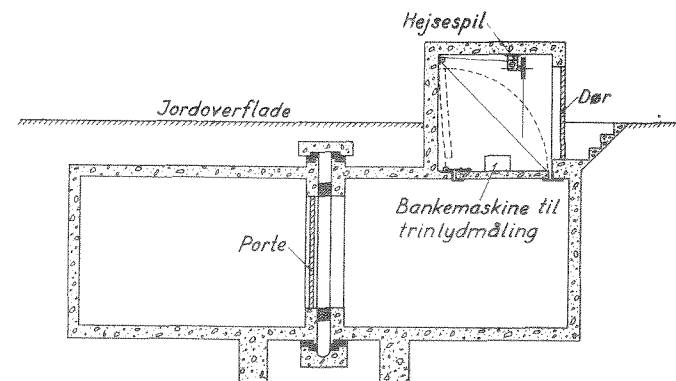


Fig. 2.4 Længdesnit i Lydteknisk Laboratoriums prøverum for rumakustiske målinger.

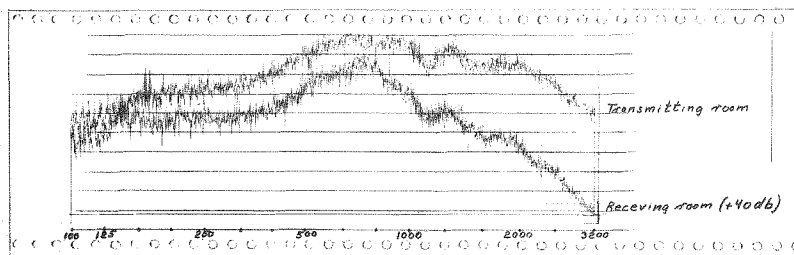


Fig. 2.5 Kurver for lydtrykket som funktion af frekvensen i sende- og modtagerum.

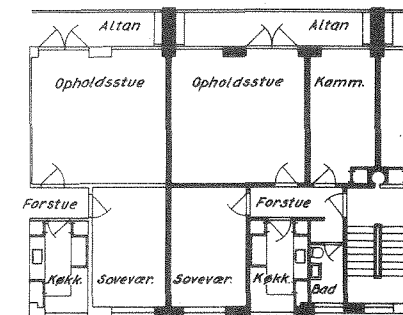


Fig. 4.1 En plantype der i akustisk henseende er hensigtsmæssig.

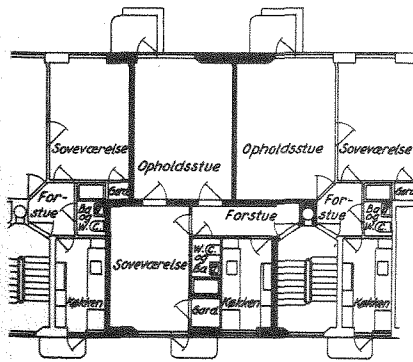


Fig. 4.2 En plantype der i akustisk henseende er uhensigtsmæssig.

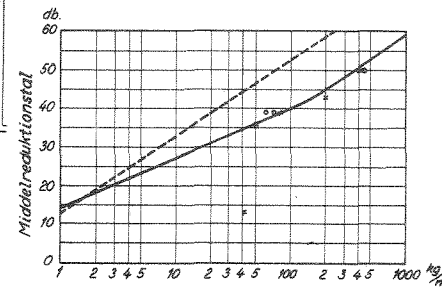


Fig. 5.1 Middelreduktionstallet som funktion af vægten pr. m<sup>2</sup>.

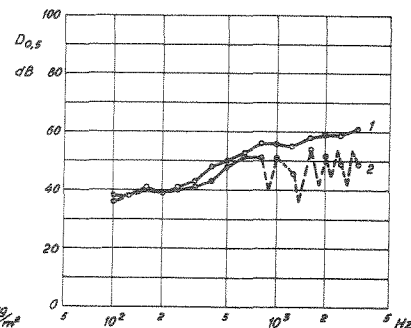


Fig. 5.2 Luftlydisolationen som funktion af frekvensen for en etageadskillelse med et ca. 35 cm langt elektrisk kabel med 12 mm lysning.

## 5. PRINCIPIELLE FORHOLD VED VÆGGE OG ETAGEADSKILLELSERS LUFTLYDISOLATION.

### Massive vægge.

Det kan ad beregningsmæssig vej vises, at middelreduktionstallet for massive vægge vokser med væggenes vægt pr.  $m^2$ . Ved de praktiske forsøg, der er foretaget til undersøgelse af dette forhold, er der også fundet en simpel sammenhæng mellem middelreduktionstal og vægt, selvom overensstemmelsen mellem de beregnede og de empirisk bestemte værdier af reduktionstallet ikke er særlig god. På fig. 5.1 er vist middelreduktionstallet som funktion af væggenes vægt pr.  $m^2$ . Den punkterede kurve viser det teoretisk bestemte middelreduktionstal, medens den fuldt optrukne er en empirisk kurve bestemt på Institut für Schwingungsforschung i Berlin. De målinger, der er foretaget her i landet på homogene vægkonstruktioner, viser god overensstemmelse med den empiriske kurve i alle de tilfælde, hvor reduktionstallet har den normale frekvensafhængighed, d.v.s. når reduktionstallet gennemsnitlig stiger 4-6 dB ved fordobling af frekvensen som vist på fig.2.1. Derimod vil middelreduktionstallet som regel være mindre end angivet ved den empiriske kurve i de tilfælde, hvor reduktionstallet stiger mindre end 4-6 dB pr. oktav. Dette gælder f.eks. for porøse, upudsede vægge. Middelreduktionstallet for en 6 cm tyk, upudset klinkerbetonvæg er således kun 13 dB og ikke 39 dB som aflæst af den empiriske vægkurve. En pudset 6 cm tyk klinkerbetonvæg har derimod et reduktionstal, der stiger 4-6 dB pr. oktav, samt et middelreduktionstal, der svarer til værdien angivet på vægkurven.

Visse typer af lette, ikke porøse vægge har også et middelreduktionstal, der ligger lavere end det, der svarer til væggenes kvadratmeter vægt. I disse tilfælde har kurven, der fremstiller reduktionstallet som funktion af frekvensen heller ikke den normale konstante hældning, men fremviser udprægede knækpunkter. Fig. 2.2 viser en sådan kurve for reduktionstallet. Denne form for afvigelser fra vægkurven har været genstand for en række undersøgelser i Tyskland<sup>1)</sup>, ved hvilke man ved modelforsøg har konstateret, at årsagen til "dyk" i isolationskurven ved visse frekvenser sandsynligvis kan søges i væggenes bøjningsstivhed<sup>2)</sup>. En ændring af bøjningsstivheden skulle således kunne afhjælpe forholdet. Tynde vægge bør, hævdes det, udføres med så ringe bøjningsstivhed som muligt, hvorved det frekvensområde, i hvilket "dykket" fremkommer, flyttes op til så høje frekvenser, at det falder uden for det toneområde, der har betydning for isolationen. Tykke vægge bør derimod have størst mulig bøjningsstivhed, således at det kritiske frekvensområde kommer til at ligge under 100 Hz, der er den nedre grænse for måling af reduktionstallet.- De undersøgelser, der indtil nu er foretaget, er hovedsagelig teoretiske overvejelser og forsøg med idealiserede vægge i formindsket målestok, og problemerne omkring bøjningsstivhedens indflydelse på reduktionstallet er derfor endnu ikke så afklarede, at man kan sige, i hvor høj grad de spiller ind ved normale vægkonstruk-

tioner, eller på hvilken måde man ved udformning af væggen skal undgå at få middelreduktionstal, der ligger under vægkurven.

Indtil disse forhold er nærmere udforsket, er vægten pr.  $m^2$  det eneste kriterium, man har for luftlydisolationen af massive, homogene vægge, og det må understreges, at vægkurven i de fleste tilfælde giver den maksimalt opnåelige værdi af reduktionstallet; men man kan som oven for nævnt komme ud for, at den målte værdi af reduktionstallet ligger noget under vægkurven.

### Dobbeltvægge.

Ved en dobbeltvæg forstås i akustisk forstand en vægkonstruktion opbygget af to vægge, der er adskilt ved et større eller mindre hulrum, som enten er luftfyldt eller fyldt med et blødt materiale.

Med dobbeltvægge er det muligt at opnå et reduktionstal, der er væsentligt højere end det, der ifølge vægkurven skulle svare til en massiv væg med samme vægt som dobbeltvæggen, men lydreduktionstallet vil dog altid være væsentlig mindre end summen af enkeltvæggens reduktionstal. De to enkeltvægge er nemlig aldrig fuldstændig uafhængige af hinanden; selv ved de konstruktioner, hvor der overhovedet ikke er stive forbindelser mellem enkeltvæggene, vil selve luftrummet og forbindelserne langs randen give en vis kobling mellem enkeltvæggene, der bevirker, at reduktionstallet er mindre end summen af enkeltvæggens reduktionstal.

Normalt stiger luftlydisolation med stigende vægt af enkeltvæggene og med tiltagende dybde af hulrummet. Det er på basis af teoretiske undersøgelser foretaget i udlandet blevet hævdet, at der findes en optimal hulrumsdybde på 8-12 cm, ved hvilken reduktionstallet for dobbeltvæggen har maksimum. Nyere undersøgelser har ikke bekræftet denne antagelse, men har vist, at en forøgelse af hulrumsdybden medfører stigende isolation, også når afstanden mellem enkeltvæggen øges ud over de 8-12 cm. Der er for nylig fremkommet teorier, der går ud på, at hulrumsdybden for dobbeltvægge af meget tynde delvægge skal være større end 5-10 cm, før reduktionstallet bliver det samme som for en massiv væg af samme vægt som dobbeltvæggen, og denne mindste afstand mellem delvæggene er større, når hulrummet er udæmpet, end når der er anbragt et lydabsorberende materiale i hulrummet.- De målinger på dobbeltvægge, der er foretaget her i landet, har ikke givet eksempler på dette forhold, men har - kortfattet sagt - vist, at hensigtsmæssigt udformede dobbeltvægge kan give et middelreduktionstal, der kan blive 10-12 dB højere end det, der svarer til vægten. En hensigtsmæssig udformning kræver en hulrumsdybde mellem 2 og 10 cm for tunge dobbeltvægge og mellem 8 og 12 cm for lette dobbeltvægge. Desuden bør der forefindes en passende dæmpning af hulrummet ved anbringelse af et lydabsorberende materiale, og der bør ikke være stive forbindelser ("lydbroer") mellem de to delvægge. Er de to væghalvdele relativt tunge og stive, kan der udføres enkelte faste forbindelser mellem væggene, uden at det får katastrofale følger for isolationen, og ligeledes når i det mindste den ene væg udføres med meget ringe bøjningsstivhed. Langt de fleste dobbeltkonstruktioner bør dog udføres, således at de to delvægge kun berører hinanden gennem mellem-lag af bløde materialer. Dette gælder både for forbindelser på selve vægarealet og ved randen af væggene. Randforbindelserne har en stor indflydelse på den maksimalt opnåelige isolation med dobbeltvægge, idet lydtransmissionen ved hensigtsmæssig udformning af dobbeltvæggen i mange tilfælde hovedsagelig vil foregå via væggenes forbindelser med de

1) L. Cremer: Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägen Einfall. Akustische Zeitschrift Bd.7 (1942) S. 81-104.

2) L. Cremer og A. Eisenberg: Verbesserung der Schalldämmung dünner Wände durch Verringerung ihrer Biegesteifigkeit. Bauplanung und Bautechnik 1948, S.235.

tilstødende flader. Skal dobbeltvirkningen udnyttes fuldt ud, må delvæggene derfor både isoleres fra hinanden og fra de tilstødende vægge, lofter og gulve.

Som eksempel på disse forhold skal nævnes, at i bygninger med støbte etageadskillelser med trægulve på strøer vil en let dobbeltvæg kun give en ringe luftlydisolation, såfremt den opstilles oven på gulvbrædderne, idet lydtransmission mellem de to rum, der adskilles væggen, for en meget stor del vil foregå gennem de gennemgående gulvbrædder og hulrummet over det støbte dæk. Det fulde lydisolationsmæssige udbytte vil kun opnås, når gulvbrædderne afbrydes, hvor væggen skal anbringes, og dobbeltvæggen dernæst opstilles på en strimmel blødt materiale på selve det støbte dæk.

I et følgende afsnit vil nogle af problemerne ved den praktiske udformning af dobbeltvægge blive nærmere omtalt.

#### Huller og utætheders indflydelse på isolationen.

På samme måde som porøsitet i materialet giver anledning til en fladere isolationskurve og et lavere middelreduktionstal end det, der svarer til vægten af væggen, har tilstedeværelsen af huller og åbninger stor indflydelse på væggenes reduktionstal. Faldet i isolationen kan beregnes, når hullets dimensioner og reduktionstallet for den tætte væg kendes, idet den lyd, der rammer åbningen, bliver transmitteret, når åbningens dimensioner er store i sammenligning med bølgelængden. Virkningen af et hul er større i en godt isolerende væg end i en dårligt. Til belysning af dette kan nævnes, at i en væg med et areal på  $9 \text{ m}^2$  og et reduktionstal på 40 dB, vil et hul på  $3 \times 3 \text{ cm}^2$  bevirke et fald i reduktionstallet på 3 dB; er væggenes reduktionstal 60 dB, skal hullet kun have dimensionerne  $0,3 \times 0,3 \text{ cm}^2$  for at medføre en reduktion i isolationen på 3 dB. Som følge heraf bliver kurven for isolationen som funktion af frekvensen mindre for vægge med huller end for tætte vægge. Ved de frekvenser, hvor væggenes tykkelse og følgelig hullets længde er et multiplum af  $1/2$  bølgelængde, er lydtransmissionen særlig kraftig, således at der fremkommer udprægede dyk i isolationskurven på disse steder. Et eksempel på dette ses i fig. 5.2. Målingerne er foretaget på en etageadskillelse i en nyopført bygning, hvor der i et hjørne af etageadskillelsen er indstøbt et ca. 35 cm langt elektrisk rør med 12 mm lysning til nedføring af en telefonledning. Kurve 1 viser isolationen som funktion af frekvensen for etageadskillelsen, når røret er tilstoppet, medens kurve 2 viser isolationen for etageadskillelsen, når røret er åbent. Man ser tydeligt dykkene ved alle de frekvenser, hvor rørets længde (ca. 35 cm) er et multiplum af den halve bølgelængde. Eksemplet giver også forklaringen på det velkendte fænomen i mange beboelsesejendomme, hvor man tydeligt kan høre samtaler i den over- og underliggende lejlighed, når man opholder sig i nærheden af centralvarmeapparaterne. Dette skyldes udelukkende utætheder omkring rørgennemføringer i etageadskillelsen og ikke, som det almindeligvis antages, at varmeapparaterne "opsamler" luftlyden i den ene lejlighed og transmitterer den til de øvrige lejligheder.

#### Døre.

Tilstedeværelsen af døre forringer i de fleste tilfælde isolationen af det samlede vægareal betydeligt, idet middelreduktionstallet af almindelige døre kun er 15-20 dB. I en væg med et areal på  $20 \text{ m}^2$

og et middelreduktionstal på 40 dB vil en dør på  $1,8 \text{ m}^2$  bevirke, at middelreduktionstallet for det samlede areal kun bliver 30 dB. Man bør derfor allerede ved planløsningen søge at undgå at anbringe døre i skillerum, som man tilstræber at give en høj luftlydisolation.

#### Flanke-transmissionen.

En maksimumsgrænse for isolationen mellem to rum sættes ikke alene af den fælles skillevægs reduktionstal, men også af den såkaldte flanke-transmission, hvorved forstås den lydtransmission til modtagerummet, der foregår gennem de af rummenes begrænsningsflader, der støder op til den fælles skillevæg. Luftlyden i senderummet bringer nemlig ikke alene skillevæggen i svingninger, men ligeledes gulv, loft og øvrige vægge. Disse svingninger forplanter sig til modtagerummets begrænsningsflader, hvorved de bidrager til lydfeltet i modtagerummet. Den indflydelse, flanke-transmissionen har på luftlydisolationen mellem to rum, er dels afhængig af skillerummets reduktionstal og dels af karakteren af de tilstødende bygningselementer. Er skillerummet en let konstruktion med et lavt reduktionstal, medens de flankerende vægge og etageadskillelser er tunge, massive konstruktioner, vil flanke-transmissionen kun have ringe indflydelse på luftlydisolationen mellem rummene. Omvendt gælder det, at flanke-transmissionen kan være stor, når skillevæggen er en godt isolerende dobbeltvæg. Det er ikke muligt at bestemme flanke-transmissionen ad beregningsmæssig vej; men en sammenligning mellem målinger foretaget i laboratoriet og i almindelige bygninger viser, at flanke-transmissionen normalt først får betydning i almindelige bygninger ved konstruktioner med reduktionstal, der ligger over ca. 50 dB.

Flanke-transmissionen kan reduceres ved en opdeling af de flankerende bygningselementer, således at disse ikke føres ubrudt igennem fra rum til rum. Den praktiske udformning vil blive beskrevet i et følgende afsnit.

#### Etageadskillelser.

De i det foregående beskrevne principielle forhold ved vægges luftlydisolation gælder ligeledes for etageadskillelser, men ud over disse er der ved etageadskillelser en række problemer, der ikke foreligger ved vægge.

I det almindelige boligbyggeri er det som regel betydeligt vanskeligere at opnå en tilstrækkelig luftlydisolation ved etageadskillelserne end ved skillevægge, idet vægten af de gangse etageadskillelser ligger noget lavere end vægten af de vægkonstruktioner, der anvendes som lejlighedsskillerum. Endvidere er arealet af en etageadskillelse ofte omkring det dobbelte af arealet af den væg, der er lejlighedsskillerum. Dette medfører, at den forskel i lydtrykniveauerne, som en etageadskillelse giver mellem to lejligheder, ligger 2-3 dB lavere end forskellen i lydtrykniveauerne mellem lejligheder, der er adskilt med et skillerum med samme reduktionstal som etageadskillelsen, forudsat at flanke-transmissionen er den samme. I det nye tyske normforslag er der delvis taget hensyn til dette forhold, idet der kræves, at reduktionstallet er 2 dB højere for etageadskillelser end for skillerum.

Kurven over middelreduktionstallet som funktion af kvadratmeter-vægten har som nævnt også gyldighed for etageadskillelser, men det er en betingelse for anvendelsen af vægdkurven, at etageadskillelsen er

nogenlunde homogen, således at en stor del af den samlede vægt ikke er koncentreret i bjælker eller ribber.

Etageadskillelserne kan med hensyn til luftlydisolationen inddeles i tre kategorier: Støbte dæk, træetageadskillelser og etageadskillelser udformet som dobbeltkonstruktioner.

#### Støbte dæk.

I gruppen, der omfatter støbte dæk, er der ingen principiel forskel på fuldstøbte, massive dæk og hulstensdæk, idet begge giver et middelreduktionstal, som svarer til vægdkurven. Det må derfor understreges, at den forskel, der er på massive dæk og hulstensdæk i relation til varmeisolationen, ikke også er gældende for de lydmæssige forhold. Et hulstensdæk giver samme luftlydisolation som et fuldstøbt dæk med samme vægt. Den tendens, der har været i udviklingen af etageadskillelserne i retning af at gøre dem lettere og lettere, er derfor med hensyn til de lydmæssige forhold et betydeligt tilbageskridt.

#### Træetageadskillelser.

Træetageadskillelser har med hensyn til luftlydisolationen mange lighedspunkter med hulstensdækkene, idet de udformes relativt lette. Den empirisk bestemte kurve, der angiver middelreduktionstallet som funktion af vægten, kan kun anvendes med stor forsigtighed, især ved træbjælkelag uden lerindskud, ved hvilke en meget betydelig del af etageadskillelsens vægt er koncentreret i bjælkerne. Normale træetageadskillelser kan ikke betragtes som dobbeltkonstruktioner, idet forbindelserne mellem bjælker og gulvbrædder henholdsvis forskallingsbrædder i reglen udføres så stive, at de virker som lydbroer.

#### Etageadskillelser udformet som dobbeltkonstruktioner.

Ligesom dobbeltvægge giver et højere reduktionstal end det, der svarer til væggenes kvadratmeterwægt, kan etageadskillelser udført som dobbeltkonstruktioner fremvise en luftlydisolation, der ligger højere end den, der svarer til vægdkurven. Medens det er relativt let at udforme en dobbeltvæg, således at de to delvægge ikke berører hinanden, er det derimod vanskeligt at fremstille en etageadskillelse uden forbindelse mellem over- og underdelen. På fig. 5.3<sup>1)</sup> er afbildet nogle tyske etageadskillelser, der i nogen grad virker som dobbeltkonstruktioner, idet forbindelserne mellem det støbte dæk og de pudsede forskallingsbrædder er gjort så få og små som muligt. Det er en almindelig antagelse, at tilstedeværelsen af hulrummet i et almindeligt hulstensdæk forøger dækets luftlydisolation. Dette er imidlertid ikke rigtigt. Fig. 5.4 viser nogle hulstensdæk af tysk oprindelse. I intet tilfælde er der tale om en tilnærmet dobbeltkonstruktion. De i fig. 5.3 viste konstruktioner giver ca. 6 decibel bedre lydisolation end de i fig. 5.4 viste, til trods for at kvadratmeterwægten er omtrent ens i de to tilfælde.

Tyske undersøgelser har vist, at ved etageadskillelser, hvor de to halvdele ikke er helt adskilte, er betingelserne for at opnå dobbeltvirkning, at den underste del har en betydelig mindre bøjningsstivhed end selve den bærende del. Forbindelserne mellem de to halv-

dele må ikke have mindre afstand end ca. 50 cm. Ifølge engelske undersøgelser bør underpladen have en vægt på mindst 25 kg/m<sup>2</sup>. I hulrummet bør indlægges lydabsorberende materiale, medmindre den indre overflade af de to halvdele er så porøs, at hulrummet er tilstrækkeligt dæmpet. Som det fremgår af det følgende afsnit om målinger på etageadskillelser, er der også her i landet udført etageadskillelser, hvis lydreduktionstal er højere end det, der svarer til vægdkurven, og afvigelsen kan i disse tilfælde forklares ved, at etageadskillelsen virker som dobbeltkonstruktion.

1) Der findes ikke nærmere opgivelse i litteraturen med hensyn til materialer, konstruktioner, forhold m.v.

## 6. LUFTLYDENS UDBREDELSE TIL FJERNERELIGGENDE RUM.

For det almindelige byggeri er det i reglen kun luftlydisolationen mellem opad hinanden liggende rum, der har interesse, hvori- mod isolationen mellem rum i større afstand normalt er fuldt tilstrækkelig.

Til brug ved en principiel undersøgelse af luftlydisolation er der foretaget målinger mellem rum, der ikke alene er adskilt ved et enkelt bygningsselement, men også ved mellemliggende rum. Fig. 6.1 viser resultatet af nogle målinger fra en beboelsesejendom, hvor luftlydisolationen er målt mellem et fast senderum og forskellige modtagerum i varierende afstand fra senderummet. Lydtrykniveaudifferensen mellem sende- og modtagerum er afbildet som funktion af frekvensen med afstanden som parameter. Optegnes middelværdien af lydtrykniveaudifferensen som funktion af afstanden fra senderummet i logaritmisk målestok, fås som vist på fig. 6.2 med tilnærmelse en ret linie. Dette er ensbetydende med, at der opnås den samme forøgelse af luftlydisolationen (10-12 dB), hver gang afstanden fra senderummet fordobles. Denne afhængighed blev bekræftet ved målinger i andre bygninger med forskellig konstruktiv opbygning, selv om de absolutte værdier af luftlydisolationen varierede noget fra bygning til bygning. Denne regelmæssighed kunne dog ikke påvises i alle tilfælde, f.eks. ikke i skolebygninger, hvor senderummet og alle modtagerummene havde døre ud mod en udåmpet, langsgående korridor.

I tilknytning til disse målinger blev der samtidig foretaget undersøgelser af trinlydens udbredelse til fjernereliggende rum til supplerende af de undersøgelser, der er omtalt i "Trinlyd i beboelsesejendomme". Disse målinger viste, at dæmpningen af luftlyd og trinlyd vokser på tilnærmelsesvis samme måde, når afstanden fra senderummet forøges. Der er dog den forskel, at den støj, der kan måles i et rum, hidrørende fra normale luftlyd-støjgivere (radio) i fjernereliggende rum i reglen er så lav, at den ligger under rummets baggrundsstøj, hvorimod støjen fra fodtrin og andre former for bygningslyd (smækken med døre) i fjernere rum i mange tilfælde kan være ret betydelig. Årsagen til dette er, at trinlyden fremkommer ved en mekanisk påvirkning af bygningsselementerne, medens det kun er en mindre del af luftlyden, der omsættes til bygningslyd og derefter bliver transmitteret til fjernereliggende rum.

## 7. PROBLEMER VED DEN PRAKTISKE UDFØRELSE AF GODT LYDISOLERENDE KONSTRUKTIONER.

I det følgende afsnit skal der gøres rede for visse konstruktive enkeltheder, som det er nødvendigt at tage i betragtning for at opnå det fulde udbytte af konstruktionerne i lydisolationsmæssig henseende.

### Dobbeltvægge.

I dobbeltvægge, der opføres af klinkerbeton- eller slaggeplader med en lille hulrumsdybde, bør der altid indlægges en isoleringsmåtte, selvom hulrummet i sig selv er tilstrækkeligt dæmpet ved pladernes porøse overflade. Måtten skal i disse tilfælde forhindre, at nedfaldende mørtel fra opmuringen samles fornedet og således danner lydbro mellem

de to væghalvdele.

Hvor væggenes dimensioner kræver en større stivhed, end den der opnås med delvæggene alene, vil det være nødvendigt at anvende bindere mellem de to væghalvdele; men disse bindere må udformes på en særlig måde, således at de ikke kommer til at virke som lydbroer. En akustisk forsvarlig binderkonstruktion findes i den såkaldte "Butterfly"-binder, der er vist på fig. 7.1. Engelske forsøg med dobbeltvægge med en vægt på  $140 \text{ kg/m}^2$  og 5 cm hulrum giver uden bindere et middelreduktionstal på 53 dB. "Butterfly"-bindere af ca. 3 mm tråd reducerede middelreduktionstallet til 49 dB, hvorimod bindere af snoet båndjern  $1 \times 3/16$  reducerede middelreduktionstallet til 41 dB, hvilket også er middelreduktionstallet for en massiv enkeltvæg med samme kvadratmeter vægt. Binderne var ved disse forsøg placeret i zig-zag rækker med en vandret afstand på 90 cm og en lodret afstand på 45 cm.

Gennemførelse af rørledninger kan give anledning til lydbroer mellem de to væghalvdele, såfremt der ikke træffes forholdsregler for at undgå, at rørene berører begge delvægge. Dette kan gøres dels ved at omvikle rørene med blødt materiale (f.eks. filt eller en strimmel isoleeringsmåtte) dels ved at anvende specielle isolerede rørgennemføringsbøsninger.

Anbringes der undtagelsesvis en dør i en godt isolerende dobbeltvæg, må døren udformes som dobbeltdør, således at de to døre anbringes i hver sin væg i af hinanden uafhængige karme. Hulrummet mellem de to væghalvdele må lukkes af på en sådan måde, at der skabes tæthed, uden at afdækningen virker som en lydbro. Det kan f.eks. udføres som vist på fig. 7.2, hvor afdækningen består af en krydsfinerplade, der kun er fastgjort i den ene væg og berører den anden.

### Flytbare vægge.

I moderne kontorbyggeri og andre former for byggeri, hvor der stilles krav om, at skillevæggene skal være let flyttelige, er der ofte en ganske utilstrækkelig isolation mellem de enkelte rum. Grunden hertil er som regel enten, at de anvendte vægkonstruktioner er meget lette, eller at skillerummene ikke er ført helt op til undersiden af den overliggende etageadskillelse, men støder et hængeloft bestående af en perforeret plade med en isoleringsmåtte ovenpå. Den sidstnævnte konstruktion har selvfølgelig mange fordele. Den er således let flytbar og muliggør en simpel rørføring mellem akustikloftet og selve det bærende dæk, men set fra et akustisk synspunkt er konstruktionen helt forfejlet. Selvom selve væggen har et højt lydreduktionstal, vil åbningen over akustikloftet bevirke, at isolationen mellem de rum, der er adskilt ved væggen, vil være ganske minimal og helt utilstrækkelig i langt de fleste bygninger. Problemet kan løses på to måder, enten ved at føre væggene helt op til etageadskillelsen eller til et virkeligt hængeloft, som danner underlag for akustikbeklædningen. Et sådant loft må have en vægt på mindst  $25-30 \text{ kg/m}^2$  og udføres så tæt som muligt.

### Træetageadskillelser.

Der er hidtil kun foretaget relativt få undersøgelser af træetageadskillelser, der udføres som træbjælkelag med gulvbrætter foroven og forskalling og puds fornedet. Det kan derfor ikke afgøres, hvor stor en forbedring der opnås i isolationen ved at anvende ler som indskudsmateriale i stedet for mineraluld og moler.

Træetageadskillelser kan give anledning til en betydelig flanke-transmission, hvis gulvbrædderne føres igennem fra værelse til værelse. Således vil en let dobbeltvæg med et højt lydreduktionstal ikke give en tilfredsstillende isolation, hvis den opsættes oven på gulvbrædderne som vist på fig. 7.3A. En væsentlig del af lydtransmissionen vil nemlig foregå via de gennemgående gulv- og forskallingsbrædder og via de tilstedelevarende hulrum. Dette undgås ved at føre væggen helt op til indskudsbrædderne i den overliggende etage og ved at indlægge en bjælke under væggen, således at gulvbrædderne bliver afbrudt ved væggen, hvilket ses på fig. 7.3B.

#### Svømmende gulve.

Svømmende gulve udføres hovedsagelig med henblik på en god trinlydisolation, men et svømmende gulv giver samtidig en mindre forøgelse af etageadskillelsens luftlydisolation. De krav, der må stilles til udførelse af en sådan gulvkonstruktion for opnåelse af en god trinlydisolation, gælder også for gulvets luftlydisolation. Udføres det svømmende gulv som et armeret 4-6 cm tykt pudslag, der udlægges på en blød isoleringsmåtte, må den bløde måtte bøjes op langs overpladens kanter, således at gulvpladen ikke på noget sted berører de tilstødende vægge. Det bløde isoleringsmateriale bør inden udstøbningen dækkes med et lag vandtæt papir, der kan hindre, at betonen trænger ned mellem de enkelte baner af måtten og derved danner ødelæggende lydbroer mellem den bærende etageadskillelse og overgulvet.

Den luftlydisolation, som opnås med en sådan svømmende gulvkonstruktion, vil i de fleste tilfælde være større end isolationen af et støbt dæk med samme vægt forsynet med et trægulv udlagt på strøer på et blødt mellemlag; men det er endnu ikke muligt at angive nogen tal-mæssig forskel i luftlydisolationen for de to konstruktionstyper.

### 8. FORANSTALTNINGER TIL FORBEDRING AF LUFTLYDISOLATIONEN AF EKSISTERENDE KONSTRUKTIONER.

Det er ikke muligt generelt at angive en metode, der kan anvendes, når man ønsker at afhjælpe en utilstrækkelig luftlydisolation i en eksisterende bygning, idet de faktorer, der har indflydelse på luftlydisolationen mellem de pågældende rum, kan være ret forskellige fra sted til sted.

Det undersøges først, om isolationen, der findes mellem de pågældende rum, må antages at være den maksimalt opnåelige for den anvendte konstruktion, eller om det er mangler og fejl i opbygningen (utætheder, lydbroer), der er årsag til den utilstrækkelige isolation.

Når det er klargjort, at den forhåndenværende isolation svarer til de anvendte konstruktioner, må det overvejes, hvilke af de pågældende bygningslementer det vil være formålstjenligt at ændre for at forøge isolationen, da det ikke i alle tilfælde er den fælles begrænsningsflade mellem de to rum, der har den største indflydelse på isolationen. Således vil isolationen mellem to rum, adskilt ved en fælles væg, ikke blive forøget, når denne væg ændres til en dobbelt væg i de tilfælde, hvor det i forvejen er flanke-transmissionen gennem sidevægge, loft og gulv, der er bestemmende for isolationens størrelse.

#### Vægge.

Hvis der skal foretages forbedringer af en væg, som er sammensat af arealer med forskellig isolation, kan man ad beregningsmæssig vej afgøre, hvor meget de enkelte delarealer influerer på det samlede vægareals isolation. Hvis der således findes en dør i den pågældende væg, vil det i de fleste tilfælde vise sig, at en forøgelse af dørens isolation vil give langt mere end en forøgelse af isolationen for det arealmæssigt langt større vægareal.

Såfremt det skønnes, at forbedringen kun kan opnås ved en forøgelse af selve væggen luftlydisolation, bør dette normalt ske ved opsætning af en ekstra væg i en passende afstand fra den eksisterende, således at der fremkommer en dobbeltvæg. Den praktiske udformning af dobbeltvæggen må afpasses efter den eksisterende væg og de tilstødende vægge og etageadskillelser. Hvis den eksisterende væg f.eks. er en 1/2 stens mur, og de flankerende bygningsdele er tunge konstruktioner, vil det, såfremt det er belastningsmæssigt forsvarligt, i mange tilfælde være formålstjenligt at opføre yderligere en 1/2 stens mur.

Hvis der ikke er mulighed for at opføre en helt uafhængig ekstra væg, kan dobbeltkonstruktionen også udføres således, at der på den eksisterende væg fastgøres 1 1/2 - 2" tykke lægter, der danner underlag for en beklædning af træbetonplader eller forskallingsbrædder, der bagefter pudses. Lægteafstanden bør ikke være mindre end ca. 50 cm. Lægterne bør så vidt muligt isoleres fra den eksisterende væg. Dette kan f.eks. gøres ved at fastgøre lægterne, der har svalehaleformet tværsnit, til metalholdere foret med filt som vist på fig. 8.1.

Det er en ret almindelig, men fejlagtig antagelse, at luftlydisolationen af et skillerum forøges, når det beklædes med lydabsorberende materiale, som regel i form af perforerede træfiberplader, de såkaldte akustikplader. Lydabsorberende materialer anbragt på en væg bevirker kun en nedsættelse af efterklangstiden i det pågældende rum og som følge heraf eventuelt en nedsættelse af lydtrykniveauet i selve rummet, hvorimod væggen isolerende egenskaber overhovedet ikke berøres heraf. I samme for-

bindelse skal det nævnes, at et skillerum bestående af et lægteskelet beklædt på begge sider med perforerede træfiberplader er en forfæjlet konstruktion i lydisolationsmæssig henseende. Årsagen til disse misforståelser er dels, at man fejlagtigt overfører de bløde træfiberpladers gode varmeisolationsmæssige egenskaber til også at være gældende for lydisolationen, og dels den kendsgerning, at lyddæmpning af et rum ved opsætning af lydabsorberende materiale desværre stadig ofte omtales som "lydisolering" af rummet.

### Etageadskillelser.

Luftlydisolationen af etageadskillelser kan forbedres på to forskellige måder, enten ved opsætning af et underloft uafhængigt af selve etageadskillelsen eller ved udlægning af en gulvplade "svømmende" på den bærende etageadskillelse. Ved støbte etageadskillelser udføres det svømmende dæk som omtalt i det foregående afsnit ved udstøbning af et 4-6 cm pudslag på et mellemlag af et blødt materiale. Hvis dette er umuligt af belastningsmæssige grunde, kan det svømmende gulv udføres som et trægulv, der lægges på blødt materiale. I sidstnævnte tilfælde fås en forbedring på 3-5 dB i luftlydisolationen. Der foreligger derimod ikke måleresultater, der viser, hvilken forbedring der kan opnås med et svømmende pudslag, men der hersker næppe tvivl om, at der opnås en større forbedring med en støbt overplade end med et svømmende overgulv af træ.

Træetageadskillelser kan ligeledes udføres med svømmende overgulv, og den ændring, der skal foretages med den eksisterende etageadskillelse, er forholdsvis simpel. Princippet i konstruktionen er, at gulvbrædderne ikke sømmes til oversiden af bjælkerne, men derimod til strøer udlagt på indskudsbrædderne på et mellemlag af blødt materiale. Fig. 8.2 viser et snit i et sådant svømmende trægulv, hvis udformning skyldes A/S Dominia. I relation til etageadskillelsens trinlydisolation frembyder denne konstruktionsændring en betydelig forbedring; men hvad angår luftlydisolationen vil forbedringen derimod ofte være relativ lille. Ved træetageadskillelser vil man derfor i de fleste tilfælde foretrække at opsætte et underloft. Den største virkning opnås, når dette loft ophænges på de tilgrænsende vægge og slet ikke er i forbindelse med selve etageadskillelsen. Ophængningen på væggene bør endvidere foretages, således at der overalt er indskudt blødt materiale mellem underloftet og væggene.

Falles for alle de ovennævnte konstruktive ændringer, der kan foretages til forbedring af luftlydisolationen, gælder, at det på forhånd er umuligt at afgøre, hvor stor forbedringen vil blive, idet den i nogen grad er afhængig af en række ukontrollable faktorer, der er betinget af den pågældende bygning. Det må understreges, at der ved de nævnte konstruktive ændringer i reglen kun opnås forholdsvis små forbedringer, som aldrig kan afbøde virkningerne af en i akustisk henseende dårlig konstruktion.

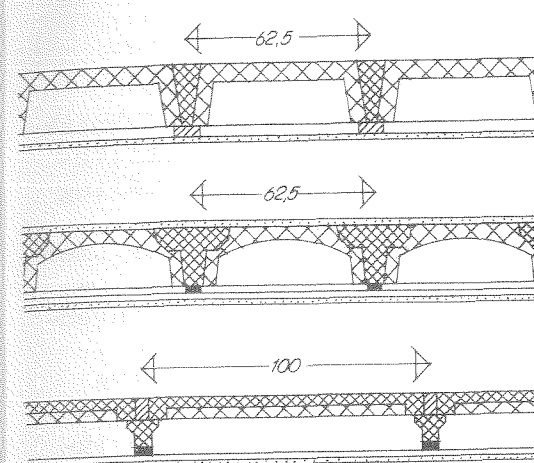


Fig. 5.3 Tværsnit i tyske typer af etageadskillelser, der virker som dobbeltkonstruktioner.

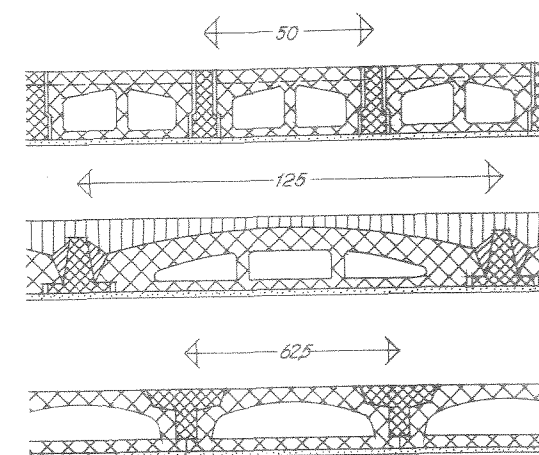


Fig. 5.4 Tværsnit i tyske hulstensdæk, der ikke virker som dobbeltkonstruktioner.

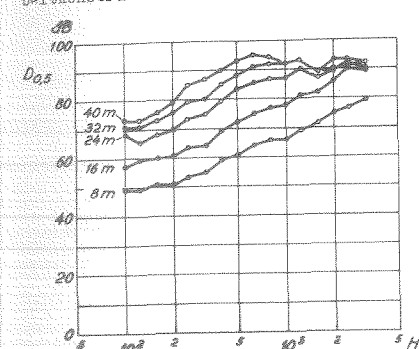


Fig. 6.1 Måling af luftlydisolationen mellem eet rum og en række rum liggende på samme etageadskillelse. Afstanden mellem målerummene er parameter.

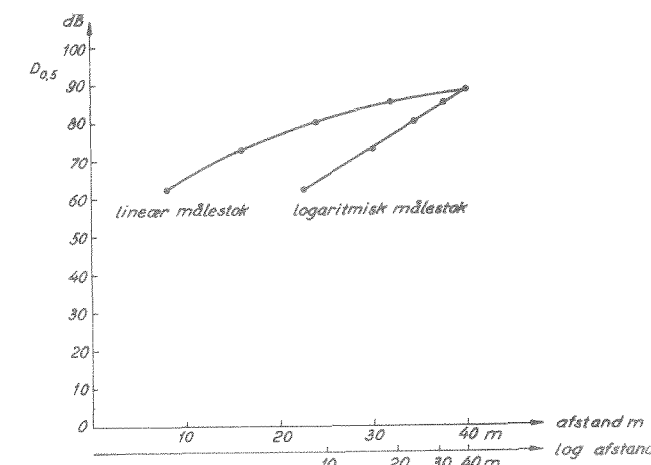


Fig. 6.2 Middelværdier af isolationen som funktion af afstanden mellem målerummene, idet der for afstanden er benyttet dels lineær dels logaritmsk målestok.

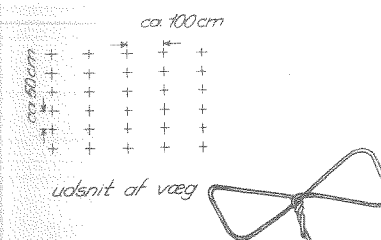


Fig. 7.1 Den såkaldte "butterfly"-binder, der giver lille lydtransmission mellem delvæggene.

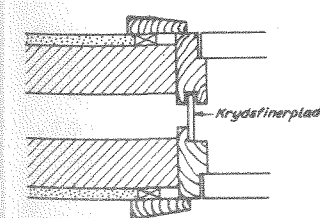


Fig. 7.2 Anbringelse af en ikke lydoverførende dobbeltleder i en dobbeltvæg.

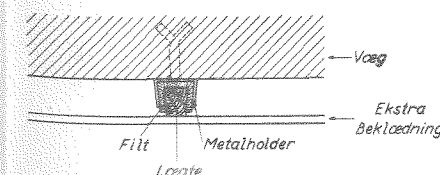


Fig. 8.1 Fastgørelsesmetode for en ekstra beklædning på en væg til foregørelse af væggenes lydisolations. Der anvendes en lagte med svalehaleformet tværsnit og metalholdere foret med filt.

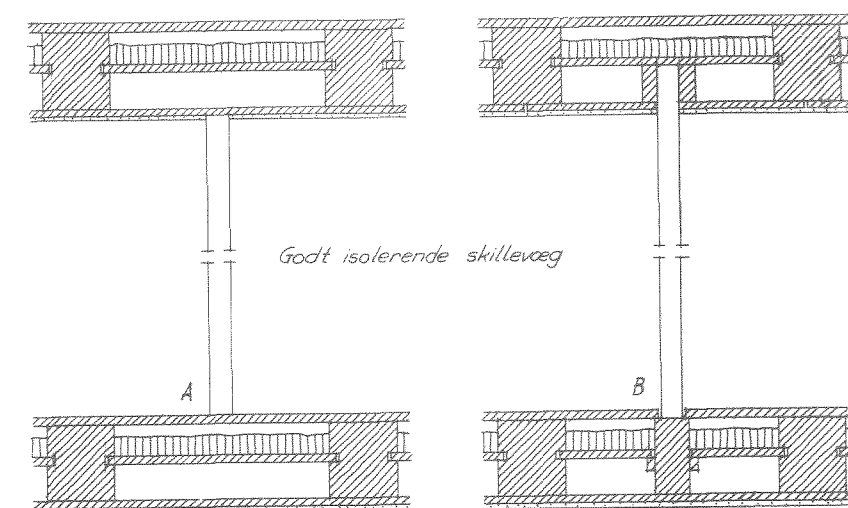


Fig. 7.3 En dårlig (A) og god (B) anbringelse af en godt lydisolierende skillevæg på en træetageadskillelse.

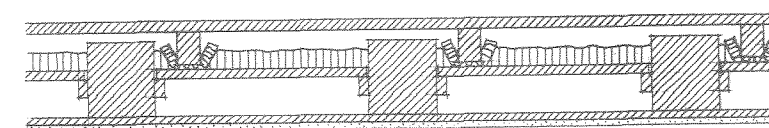


Fig. 8.2 Svømmende trægulv på træetageadskillelse.



## 9. MÅLERESULTATER FRA LABORATORIEMÅLINGER.

De målinger, der er foretaget som laboratiormålinger på Lydteknisk Laboratorium, har kun omfattet målinger af reduktionstallet for skillevægge, idet indretningen af laboratoriets prøverum ikke muliggør måling af reduktionstallet for etageadskillelser.

En del af laboratiormålingerne er foretaget på konstruktioner, der ikke normalt anvendes som lejlighedsskille rum i det almindelige boligbyggeri, idet de gældende bygge love i almindelighed ikke muliggør anvendelse af disse specielle konstruktioner mellem forskellige lejemål.

Skillevæggene, der er undersøgt på laboratoriet, kan deles i tre kategorier: massive enkeltvægge, dobbeltvægge opbygget af massive delvægge samt vægge opbygget af træskelet med pladebeklædning. I nedenstående skematiske oversigt er anført måleresultaterne for en række konstruktioner af hver gruppe, idet dog kun reduktionstallet ved oktavgrensenerne: 100, 200, 400, 800, 1600 og 3200 Hz samt middelreduktionstallet er angivet. Der er kun udført måling på en enkelt væg af hver type.

### Massive enkeltvægge.

De undersøgte vægkonstruktioner har givet middelreduktionstal, der stort set svarer til den empiriske vægkurve med undtagelse af den tidligere omtalte 6 cm klinkerbetonvæg, der i upudset tilstand kun havde et middelreduktionstal på 13 dB. Et pudslag på begge sider af væggen nedsatte den direkte lydtransmission gennem porerne i væggen så meget, at middelreduktionstallet steg til 39 dB, hvilket svarer til den empiriske kurve ved den pågældende vægt af væggen.

### Dobbeltvægge opbygget af massive delvægge.

En sammenligning mellem reduktionstal og vægt for henholdsvis massive vægge og dobbeltvægge af massive delvægge viser tydeligt de belastningsmæssige fordele, som dobbeltvæggene frembyder i de tilfælde, hvor der tilstræbes en god luftlydisolation. Således har f.eks. en dobbeltvæg opbygget af 2x5 cm klinkerbeton et middelreduktionstal, der ligger 2 dB højere end middelreduktionstallet for en 1/1 stens mur. Dobbeltvæggens vægt er ca 95 kg/m<sup>2</sup>, medens 1/1 stens muren vejer ca. 420 kg/m<sup>2</sup>.

Betydningen af at anvende en måtte i hulrummet i murede dobbeltvægge med lille vægafstand fremgår af målingerne 8, 9 og 10. Ved måling nr. 8 var dobbeltvæggen opført med en hulrumdybde på 2 cm, og middelreduktionstallet var kun 44 dB. Ved nedtagningen af væggen blev det konstateret, at nedfaldende mørtel fra opmuringen dannede lydbro i bunden af hulrummet. Dette kan undgås ved, at man indlægger en måtte i hulrummet. Således viser måling nr. 9 et middelreduktionstal på 52 dB for målingen, der blev foretaget, efter at dobbeltvæggen var genopført med en 20 mm glasuldmåtte i hulrummet. Ved større hulrumdybder kan måtten undværes ved disse typer af dobbeltvægge, hvor de indre overflader af væghalvdelene er porøse, idet faren for dannelse af lydbroer formindskes med stigende hulrumdybde. Dette illustreres ved måling nr. 10, der viser et middelreduktionstal på 52 dB for dobbeltvæggen med et 6 cm dybt hulrum uden måtte.

### Vægge opbygget af træskelet med beklædning.

Måleresultaterne for denne kategori af skille rum viser nødvendigheden af, at væggene udformes på en sådan måde, at de to overflader bliver uafhængige af hinanden. Dette kan dels gøres ved at udforme væggen som dobbeltvæg, således at de to væghalvdele er opbygget af hvert sit lægteskelet, og dels ved at opbygge væggen af et enkelt skelet og dernæst opsætte beklædningen således, at den kun berører det fælles skelet gennem mellemlag af bløde materialer. Det må bemærkes, at virkningen af mellemlaget ophæves, når pladebeklædningen sømnes til stolperne gennem mellemlaget. Dette fremgår af målingerne nr. 12 og 14. Ved væg nr. 12, der gav et middelreduktionstal på 42 dB, var beklædningen sømnet til stolperne gennem det bløde mellemlag, medens beklædningen på væg nr. 14, der viste et middelreduktionstal på 50 dB, var fastholdt med dæklistes på en sådan måde, at der ikke forekom stive forbindelser mellem beklædning og skelet.

Nr.	Beskrivelse	Vægt kg pr. m <sup>2</sup>	Reduktionstal Hz						Middelre- duktion tal 100 3200 Hz
			100	200	400	800	1600	3200	
Massive enkeltvægge.									
1	1/1 stens mur pudset på begge sider	420	43	48	43	52	61	63	50
	3/4 stens mur pudset på begge sider x)								
2	5 cm gasbeton pudset på begge sider	80	30	39	40	32	42	50	39
3	6 cm Lecaplader ikke pudset	40	13	15	14	14	12	13	13
4	6 cm Lecaplader pudset på begge sider	80	35	33	30	38	45	55	39
5	6 cm træbetonplade pudset på begge sider med 0,5 cm gips	45	30	33	35	32	29	39	34
6	To lag brædder med pap imellem. Pudset på begge sider	55		33	37	36	38	46	36
Dobbeltvægge opbygget af massive delvægge.									
7	Dobbeltvæg af 2x5 cm gasbeton pudset på ydersiderne. Hulrumsdybde 6 cm. I hulrum 25 mm rockwoolmåtte	120	52	52	54	49	59	62	55
8	Dobbeltvæg af 2x5 cm Lecaplader pudset på ydersiderne. Hulrumsdybde 2 cm	95	42	44	42	37	45	57	44
9	Dobbeltvæg af 2x5 cm Lecaplader pudset på ydersiderne. Hulrumsdybde 2 cm. 20 mm glasuldmåtte i hulrum	95	44	51	54	46	55	62	52
10	Dobbeltvæg af 2x5 cm Lecaplader pudset på ydersiderne. Hulrumsdybde 6 cm	95	48	48	53	46	54	64	52
11	Dobbeltvæg af 2x5 cm træbeton med 5 mm gips udstøbt på ydersiderne. Hulrumsdybde 2 cm	80	40	53	56	54	59	69	55
Vægge opbygget af træskelet med pladebeklædning.									
12	Enkeltvæg af 2"x3" stolper med 60 cm's afstand, beklædt på begge sider med påsømmede 10 mm gipsonitplader, der på undersiden er påklæbet 25 mm rockwoolbats	30	29	31	37	45	52	52	42

x) Der foreligger ikke noget måleresultat, men middelreduktionstallet skønnes at være ca 48 dB.

Nr.	Beskrivelse	Vægt kg pr. m <sup>2</sup>	Reduktionstal Hz						Middelre- duktions- tal 100- 3200 Hz
			100	200	400	800	1600	3200	
13	Enkeltvæg af 2"x4" stolper med 60 cm's afstand, beklædt på begge sider med 10 mm Cembritplader fastholdt med dæklist over samlingerne. Ingen dæmpning af hulrum	40	31	34	43	49	50	44	43
14	Som nr. 13, dog er stolperne beklædt på alle sider med strimler af 10 mm rockwool-måtte	40	35	38	47	56	61	55	50
15	Dobbeltvæg af 2"x4" stolper med 30 cm's afstand beklædt på begge sider med 2 sammenklæbede 10 mm Kivronplader. Hulrumsdybde 12,5 cm. I hulrummet er flettet en 25 mm rockwool-måtte	50	32	45	56	62	72	70	56
16	Dobbeltvæg af 2"x4" stolper med 40 cm's afstand beklædt på begge sider med 3/4" forskallingsbrædder med puds. Hulrumsdybde 12 cm. I hulrummet er flettet en 20 mm rockwool-måtte	90	-	38	54	53	64	68	53

## 10. MÅLERESULTATER FRA MÅLINGER I BYGNINGER.

I nedenstående skematiske oversigt er opført måleresultater fra målinger i bygninger. De anførte måleresultater er de korrigerede lydtrykniveaudifferenser mellem sende- og modtagerum ved oktavfrekvenserne 100, 200, 400, 800, 1600 og 3200 Hz samt middelværdien af differensen, altså  $D_{0,5}$  middel, ved samtlige normalfrekvenser i frekvensområdet 100-3200 Hz. Alle måleresultaterne er fundet ved målinger mellem rum med fælles væg eller fælles etageadskillelse. Målebetingelserne er karakteriseret ved arten af den fælles væg eller den fælles etageadskillelse. Det må udtrykkeligt bemærkes, at man ikke kan forvente, at måleresultaterne svarer til vægkurven for middelreduktionstallet, jfr. fig. 5.1, da de anførte måleresultater ikke er middelreduktionstal. En lang række faktorer ud over den fælles væg eller etageadskillelses lydtransmission er bestemmende for måleresultatet; eksempelvis skal nævnes flanke-transmission, areal af væg eller etageadskillelse samt rumstørrelse. Det kan vises ad regningsmæssig vej, at

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

hvor R og S er henholdsvis reduktionstallet og arealet af den pågældende væg eller etageadskillelse, medens V er modtagerummets volumen, og C repræsenterer flanke-transmissionens indflydelse. Under forudsætning af, at flanke-transmissionen og forholdet mellem volumen og areal er konstant, vil  $D_{0,5}$  vokse med tiltagende vægt af konstruktionen på samme måde som reduktionstallet. Man kan derfor kun i disse specielle tilfælde regne sikkert med, at stigende vægt af væg eller etageadskillelse vil svare til stigende værdi af  $D_{0,5}$  middel. Da de valgte rum i langt de fleste tilfælde har omtrent samme volumen, og da antallet af konstruktioner i praksis er relativt lille, vil man dog ved et studium af måleresultaterne finde, at der også ved de anførte måleresultater er en relativ god korrelation mellem vægt og  $D_{0,5}$  middel. I de tilfælde hvor en konstruktion enten giver en uforholdsmæssig høj eller lav værdi for  $D_{0,5}$  middel, må man ikke drage forhastede slutninger om konstruktionens over- eller underlegenhed i akustisk henseende, idet det kun kan godtgøres, såfremt man er i besiddelse af en lang række oplysninger, der ikke er anført i nedenstående oversigtsskema, og som det i praksis endda kan være vanskeligt at fremskaffe. De anførte måleresultater giver derimod udmærkede oplysninger om de lydæssige vilkår - i henseende til isolation mod luftlyd -, der eksisterer i moderne boligbyggeri, og giver - efter sammenhold med subjektive erfaringer med hensyn til støjgene - mulighed for at opstille krav angående minimal tilladelig værdi af  $D_{0,5}$  middel.

Det ses af oversigten, at de lave værdier i hovedsagen forefindes, hvor der anvendes lette skillevægge og etageadskillelser, idet der i denne forbindelse ses bort fra dobbeltkonstruktioner. Det er uden tvivl også i grove træk rigtigt, at de høje værdier af  $D_{0,5}$  middel kun kan opnås ved relativt tunge konstruktioner eller dobbeltkonstruktioner. En sikker vurdering af de enkelte konstruktioner kan imidlertid kun opnås ved omfattende undersøgelser, og dette har været umuligt at gennemføre inden for dette arbejdes rammer.

## Vægge.

Der er bortset fra et enkelt tilfælde kun foretaget målinger på de tre almindeligste typer af skillerum mellem lejligheder, nemlig: 3/4 stens mur, 1/1 stens mur og 15 cm grovbeton. Det største antal målinger, ialt, er foretaget mellem lejligheder, der var adskilt med 3/4 stens mur. Gennemsnittet af  $D_{0,5}$  middel for de ni af disse målinger er 46 dB; samtlige måleresultater ligger inden for  $\pm 2$  dB fra gennemsnittet. Afvigelserne mellem de enkelte målinger skyldes dels måleusikkerhed og dels forskelligheder i væggenes opbygning (utætheder) og i flanke-transmissionen. Endelig har forholdet mellem vægareal og modtagerummets volumen som nævnt også indflydelse på den korrigerede lydtrykniveaudifferens mellem sende- og modtagerum. Dette kan illustreres ved et måleresultat, der ikke er medtaget i oversigten. Målingen blev foretaget mellem to lejligheder, der var adskilt ved en 3/4 stens mur. Sende- og modtagerum havde begge et volumen på ca. 60 m<sup>3</sup>, og arealet af den fælles væg var 9 m<sup>2</sup>. Forholdet mellem modtagerummets volumen og vægareal blev således 6,7, medens middeltallet af forholdet for de målinger, der er medtaget i oversigten, kun er 3,6. Dette er forklaringen på, at den korrigerede lydtrykniveaudifferens i dette specielle tilfælde målt til 49 dB, hvilket er den største værdi, der er målt mellem lejligheder adskilt med 3/4 stens mur.

## Etageadskillelser.

Måleresultaterne for de massive dæk bekræfter som helhed reglen om, at middelværdien af lydtrykniveaudifferensen mellem sende- og modtagerum stiger med voksende vægt af etageadskillelsen.

Forskellige afvigelser forekommer dog. I adskillige tilfælde er isolationen uforholdsmæssig lav. Dette gælder således f.eks. tilfældene nr. 9, nr. 11, nr. 13 og nr. 16. Årsagen er her at søge i, at etageadskillelserne i disse tilfælde ikke havde nogen gulvbelægning, da målingerne blev udført. Lægges der trægulv på strøer på bløde brikker ovenpå etageadskillelserne, fås i almindelighed en forøgelse i isolationen på 3-5 dB, sammenlign f.eks. måling nr. 11 og nr. 12 eller måling nr. 13 og nr. 14, der er udført på nøjagtig de samme etageadskillelser før og efter udlægning af gulvbelægningerne. Måleresultaterne stemmer herefter meget pænt overens med de andre måleresultater. I tilfælde nr. 5 er isolationen også lav. Årsagen er at søge i, at målebetingelserne afviger ret stærkt fra målebetingelserne i de fleste andre tilfælde, og i at gulvbelægningen - gummifliser - ikke giver nogen forøgelse i luftlydisolationen af etageadskillelsen. Tilfældene nr. 17 og nr. 19 lader sig ikke helt forklare, selvom gulvbelægningerne afviger fra den normale gulvbelægning, hvilket sandsynligvis medfører lidt lavere værdi af luftlydisolationen. Måleresultat nr. 7 samt de to dårligste tilfælde af måleresultat nr. 8 kan ikke forklares ud fra de foreliggende oplysninger.

Nr.	Beskrivelse	Vægt kg pr.m <sup>2</sup>	Lydtryksniveaudifferens D <sub>0,5</sub> <sup>dB</sup> Hz					D <sub>0,5</sub> mid 100-3200	
			100	200	400	800	1600		3200
<u>Vægge.</u>									
1	3/4 stens mur med puds på begge sider Gennemsnit af 9 målinger Største værdi Mindste værdi	300	38	39	43	50	53	53	46 46 48 45
2	1/1 stens mur med puds på begge sider Gennemsnit af 2 målinger Største værdi Mindste værdi	420	41	44	49	56	60	57	52 50 52 48
3	15 cm grovbeton med puds på begge sider Gennemsnit af 4 malinger Største værdi Mindste værdi	390	41	42	48	55	57	52	50 50 52 47
4	Tredobbelt bræddeskillerum med puds på begge sider	95	24	24	35	44	52	53	39
<u>Etageadskillelser.</u>									
<u>Massive dæk.</u>									
5	10 cm jernbeton med påklæ- bede 5 mm gummifliser	240	32	37	42	52	54	53	45
6	10 cm jernbeton med bøge- parket på strøer på kram- forsbrikker	260	35	40	46	51	55	55	47
7	12 cm jernbeton med 2,5 cm træbeton på undersiden; bøgeparket på strøer på rockwoolmåtte over hele gulvet	320	34	39	46	53	51	56	47
8	13 cm jernbeton med bøge- parket på strøer på bløde træfiberbrikker Gennemsnit af 4 målinger Største værdi Mindste værdi	340	34	44	52	57	59	57	52 50 53 47
9	15 cm jernbeton uden gulv- belægning Gennemsnit af 2 målinger Største værdi Mindste værdi	360	36	40	46	52	55	62	49 49 50 49

Nr.	Beskrivelse	Vægt kg pr.m <sup>2</sup>	Lydtryksniveaudifferens D <sub>0,5</sub> <sup>dB</sup> Hz					D <sub>0,5</sub> middel 100-3200	
			100	200	400	800	1600		3200
10	16 cm jernbeton med bøge- parket på strøer på bløde træfiberbrikker Gennemsnit af 2 målinger Største værdi Mindste værdi	410	43	45	52	57	64	66	54 53 54 52
11	16 cm jernbeton uden gulv- belægning Gennemsnit af 2 målinger Største værdi Mindste værdi	385	45	41	45	53	55	59	49 49 49 49
12	16 cm jernbeton med bøge- parket på strøer på kork- brikker Gennemsnit af 2 målinger Største værdi Mindste værdi	410	40	45	51	61	59	65	53 52 53 52
<u>Hulstensdæk.</u>									
13	14 cm sperledæk uden gulv- belægning Gennemsnit af 4 målinger Største værdi Mindste værdi	155	28	31	35	45	51	56	41 42 43 41
14	14 cm sperledæk med bøge- parket på strøer på træ- fiberbrikker Gennemsnit af 2 målinger Største værdi Mindste værdi	180	29	35	43	51	52	56	45 46 47 45
15	14 cm L.M.-dæk med brædde- gulv på strøer på kork- brikker Gennemsnit af 2 målinger Største værdi Mindste værdi	200	34	39	47	53	54	62	48 49 49 48
16	15 cm Durisol-dæk + 4 cm overbeton uden gulvbe- lægning	210	38	41	40	47	48	50	44
17	15 cm Durisol-dæk + 4 cm overbeton med egeparket på blød træfiberplade i asfalt	230	34	35	40	45	49	57	43
18	15 cm ståltegl-dæk + 4 cm overbeton uden gulvbelæg- ning	250	35	42	47	52	55	57	47

Nr.	Beskrivelse	Vægt kg pr.m <sup>2</sup>	Lydtryksniveaudifferens D <sub>0,5</sub> dB					D <sub>0,5</sub> mid 100-320	
			100	200	400	800	1600		3200
19	15 cm ståltegl-dæk + 4 cm overbeton med bræddegulv på strøer på papstrimler	270	32	42	44	49	54	61	47
	Gennemsnit af 2 målinger								47
	Største værdi								47
	Mindste værdi								48
20	16 cm røselers-dæk med bøgeparket på strøer på bløde træfiberbrikker	190	34	40	46	51	55	57	47
	Gennemsnit af 2 målinger								48
	Største værdi								47
	Mindste værdi								48
21	20 cm L.M.-dæk med bøgeparket på strøer på brikker af kork eller blød træfiber	250	38	40	50	53	58	52	47
	Gennemsnit af 4 målinger								50
	Største værdi								50
	Mindste værdi								51
									49
	<u>Specielle dæktyper</u>								
22	18 cm formeta-dæk med bræddegulv på strøer på bløde træfiberbrikker	290	40	42	52	53	58	59	51
23	18 cm formeta-dæk med bøgeparket på strøer på korklinolag C	290	38	50	50	53	53	55	52
24	18 cm formeta-dæk med bøgeparket på strøer på korkbrikker	290	36	46	53	61	60	56	53
	Gennemsnit af 2 målinger								54
	Største værdi								55
	Mindste værdi								53

#### 11. EVENTUELLE KRAV MED HENSYN TIL LUFTLYDISOLATION VED BOLIGBYGGERI.

For væggenes vedkommende viser målingerne, at der er ret stor lydmæssig forskel på 1/1-stens mure og 3/4-stens mure som lejligheds-skillerum. Ud fra lydmæssige synspunkter bør man derfor tilstræbe, at en kommende dansk byggelov kræver, at skillevægge mellem lejligheder er 1/1-stens mure eller konstruktioner, der i lydmæssig henseende er mindst lige så gode som 1/1-stens mure.

For etageadskillelsernes vedkommende viser måleresultaterne, at en værdi på 50 dB for D<sub>0,5</sub> middel, hvilket svarer til isolationen af 1/1-stens mure, kan opnås med fuldstøbte dæk eller hulstensdæk med trægulv på strøer på blødt materiale, når vægten af det færdige dæk er større end 250 kg/m<sup>2</sup>, hvorimod 50 dB ikke er målt i bygninger med hulstensdæk, hvis vægt pr. m<sup>2</sup> ligger under 250 kg. Det bør derfor kræves, at alle etageadskillelser skal have en luftlydisolation, der ikke er ringere end den, der opnås med en etageadskillelse, der vejer 250 kg/m<sup>2</sup>, og som er udformet som et støbt dæk med trægulv på blødt materiale. Det skulle ikke være umuligt at udforme dækkonstruktionen, der giver 50 dB, selvom vægten er under 250 kg/m<sup>2</sup>, såfremt man benytter sig af tilnærmede dobbeltkonstruktioner;

ENGLISH SUMMARY.

The purpose of this paper is to give a survey of field and laboratory measurements of airborne sound insulation carried out in Copenhagen by the Acoustical Laboratory.

The apparatus and technique used are described in section 2. The provisional code for field and laboratory measurements drawn up by an informal international working committee (see Report from the Acoustics Group Symposium, London 1949. P.H. Parkin: Provisional Code for Field and Laboratory Measurements of Airborne and Impact Sound Insulation) is mainly followed.

Section 3 gives a survey of the regulations concerning airborne sound insulation in dwellings in Great Britain, Sweden, Germany, Norway and the Netherlands.

The importance of planning measures is discussed in section 4. It is emphasized that the best approach to sound insulation is to consider it as a planning problem, because in the first place good planning is likely to yield more beneficial results than later structural measures.

More general and fundamental rules concerning airborne sound insulation are recapitulated in section 5. Transmission of airborne sound through solid non-porous walls, double non-porous walls and doors are discussed. The influence of openings in a wall and the influence of flanking transmission on the airborne sound insulation of a wall are mentioned. At the end of section 5 there is a similar discussion on floor-constructions.

The transmission of airborne sound to distant rooms is mentioned in section 6.

It is not at all easy to build constructions in the field which gives a good airborne sound insulation. Mortar and other building materials must not be dropped between the two leaves of a double wall. Wall ties may easily reduce the airborne sound insulation of a double wall. A door in a double wall reduces very much the airborne sound insulation of a partition. Moveable walls having high airborne sound insulation give many problems which are difficult to solve. The flanking transmission through wood joist floors determines the obtainable airborne sound insulation between two neighbouring rooms. These and other related problems are discussed in section 7.

It often occurs that the airborne sound insulation of an existing partition or floor-construction is insufficient. Section 8 gives various possible methods which can be used when an improvement is wanted.

Section 9 gives a tabular survey of the sound reduction factor for various typical wall-constructions measured by the Acoustical Laboratory. A few comments are given.

Section 10 gives a similar tabular survey of the effective sound pressure level difference measured in buildings having various partitions and floor-constructions.

Section 11 gives a proposal for a Danish recommendation for airborne sound insulation in dwellings. The proposal is drawn up considering the airborne sound insulation obtainable using the better of the present constructions.

It is proposed that the effective sound pressure level difference ( $D_{0,5} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{t}{0,5}$ ) shall be at least 50 dB both for partitions and for floors between two dwellings.

ANDRE SKANDINAVISKE PUBLIKATIONER  
Publications from Building Research Institutes in other Scandinavian countries.

ordiske landes byggeforskningsorganer søger gennem et samarbejde at koordinere deres bestræbelser, og publikationer et ene land kan således ofte have værdi i det andet. Efter fælles aftale bringes her en liste over publikationer indenfor byggeforskningsområdet fra andre skandinaviske lande. De vil normalt kunne fås gennem boghandelen.

Udgivet af: STATENS TEKNISKA FORSKNINGSANSTALT, Helsingfors.  
Published by: The State Institute for Technical Research, Helsingfors, Finland.

ikationer (Publications)

- 1: Tuomola, Tuomas. Über die Holzrocknung mit besonderer Berücksichtigung der Beziehungen zwischen der Trocknungswindigkeit des finnischen Kiefernholzes und den darauf rnkenden verschiedenen Faktoren. 1943. 160 p. FMk 200:—.
- 2: Kantola, Martti. X-ray Studies on Solid Solutions of KCl KBr. 1947. 8 p. FMk 50:—.
- 3: Kantola, Martti. X-ray Studies on the Thermal Expansion lid Solutions of KCl and KBr. 1947. 12 p. FMk 60:—.
- 4: Ryti, Henrik. Über den Einfluss der exzentrischen Anlen-der Pleuelstangen in Verbrennungsmotoren. 1948. 114 p. 500:—.
- 5: Vainio, Martti T. Über den horizontalen Kurvenflug. 1948. FMk 500:—.
- 6: Wuolijoki, Jaakko R. On Determination of Elastic Con- s from Natural Frequencies of Bending Vibration. 1948. 9 Mk 60:—.
- 7: Gripenberg, Ole. Byggnadsekonomi. (English summary: ling Economy). 1948. 271 p. FMk 650:—.
- 8: Asanti, P. Über die thermischen Eigenschaften der Kobalt- indungen und ihr Auftreten in Schlacken. 1948. 84 p. FMk —.
- 9: Kivimaa, Eero & Murto, Jaakko O. Investigations on Fac- Affecting the Chipping of Pulp Wood. 1949. 25 p. FMk —.
- 11: Aspijala, Tapani. Teoretiska studier över byggnadsstommens affningskostnader. (Under tryckning — in press).
- 12: Tikkanen, Martti. Beitrag zur Theorie der Wasserstoffre- tion des Magnetit. 1949. 92 p. FMk 500:—.
- 14: Virtala, Voitto, Oksanen, S. och Frilund, F. Om självantänd- et, dess bestämning och förekomst. (English summary: On ntaneous Ignition and its Occurrence, Methods for the Deter- ation of the Tendency to Spontaneous Ignition). 1949. 52 p. k 250:—.
- 18: Kivimaa, Eero. Cutting Force in Woodworking. 1950. p. FMk 600:—.
- 19: Kuuskoski, Viljo. Über die Haftung zwischen Beton und hl. Experimentelle Untersuchung über den Einfluss der äus- en Belastung auf den Betrag der Spannungen in einbetonier- Stahleinlagen sowie auf die Ausbildung der Haftspannungen der Berührungsfläche von Beton und Stahleinlage. 1951. 3 p. FMk 900:—.
- 20: Vuolijoki, Jaakko R. Zur Schwingungstheorie des Krag- kens unter besonderer Berücksichtigung des Schubmoduls. 1950. English summary: Vibration Theory of Cantilever Beams with gard to Shearing Modulus). 1950. 10 p. FMk 75:—.
- 21: Suolahti, Osmo. Über eine das Wachstum von Fäulnis- zen beschleunigende chemische Fernwirkung von Holz. 1950. English summary: Studies on Volatile, Wood-Borne Substance

Udgivet af: NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT, Oslo.  
Published by: The Norwegian Building Research Institute, Oslo, Norway.

pporter (Reports)

- 1: Watzinger, A. Varmeledningstill for byggematerialer. (Heat onduction Coefficients for Building Materials. — With an English mmary). Oslo 1950. 38 p. N. kr. 5.20.

Promoting the Growth of Wood-Rotting Fungi). 1951. 95 P. FMk 600:—.

No. 23: Jarle, Per-Olov. Till frågan om bedömning av hyreslä- genheternas värde. (English summary: A Thesis on the Valuation of Apartments). 1951. 214 p. FMk 1000:—.

No. 24: Helenelund, K. V. Markstabilitet och markgenombrott med speciell hänsyn till järnvägsbankar i Finland. (English summary: Stability and Failure of the Subsoil with Special Reference to Railway Embankments in Finland). 1953. 148 p.

Meddelanden (Reports)

No. 31: Blomberg, Hans. Kryppgalvanometern. (Fluxmeter). 1946. 45 p. FMk 100:—.

No. 34: Wegelius, E. Metallteknisk forskning, dess möjligheter och uppgifter. 1946. 22 p. FMk 50:—.

No. 37: Virtala, Voitto. Om plåtbeslagna branddörrar av trä. 1947. 10 p. FMk 50:—.

No. 48: Paavola, Martti, Laurinmäki, Erkki & Simola, Osmo. Un- dersökningar av isolerade ledningars uppvärmning. 1947. 24 p. FMk 50:—.

No. 64: Blomberg, Hans. En permeameter för mätning av magne- tiseringskurvan för järnprov vid höga magnetiska fluxtätheter. 1948. 28 p. FMk 75:—.

No. 75: Sundgren, Albert. Undersökningar beträffande torvextrak- tion och framställning av vax- och hartsämnen ur det erhållna torvbitumenet. (English summary). 1949. 32 p. FMk 75:—.

No. 76: Wegelius, E. Teknisk forskning i Finland, dess betydelse och möjligheter. 1949. 16 p. FMk 50:—.

No. 82: Sundgrén, A. & Rauhala, Veikko T. Preliminary Note on Fatty Acids. 1949. 11 p. FMk 50:—.

No. 89: Gripenberg, O. & Jarle, P.-O. Ekonomi och byggnadsverk- samhet. Uppsatser I. (English summary: Economy and Building Activities. Articles I). 1950. 50 p. FMk 80:—.

No. 90: Rahti, H. Byggnadsforskningen och den byggnadstekni- ska utvecklingen i Finland. (English summary: On Building Research and the Development of Building Technics in Finland). 1950. 14 p. FMk 50:—.

No. 92: Sundgren, A. Om teknisk forskning i U. S. A. 1950. 27 p. FMk 50:—.

No. 96: Ant-Wuorinen, Olli. Determination of Carboxyl Groups in Cellulose. 1951. 68 p. FMk 150:—.

No. 97: Wegelius, Edvard. Den tekniska forskningens organisation i England. 1951. 15 p. FMk 50:—.

No. 105: Jarle, P.-O. Värdet av en lägenhet — och kostnaderna för densamma. 1952. 14 p.

No. 110: Wegelius, Edvard. Tillämpad forskning i U.S.A. Dess organisation och arbetsmetoder. (English summary: Applied Research in the U.S.A. Its Organization and Methods of Work). 1953. 37 p.

No. 2: Andersen, Aksel og Granum, Hans. Forsøk med tømmerfor- binderne Alligator, Bulldog, Rox og »Stjerne«. (Tests of Alligator, Bulldog, Rox and «Stjerne» Timber Connectors. — With an English summary). Oslo 1951. 59 p. N. kr. 5.20.







- Nr. 25: *Nye ensilagesiloers beskyttelse mod syreangreb*, Lars Andersen. 1951. 3 s. A<sub>5</sub>.
- Nr. 26: *Vinterbyggeri, beretning om et uheld*, O. Gerner Hansen. 1951. 12 s. A<sub>5</sub>.
- Nr. 27: *Har vinterbyggeriet formindsket byggefagenes sæsonledighed?*, Lars Andersen. 1951. 6 s. A<sub>4</sub>.
- Nr. 28: *Grusets indflydelse på betonens holdbarhed*, Poul Nerenst. 1952. 15 s. A<sub>5</sub>.
- Nr. 29: *Wave Velocity in Concrete*, Johannes Andersen and Poul Nerenst. 1952. 23 p.
- Nr. 30: *Kunstlig udtørring af nybygninger ved hjælp af Schwartzköpf-ovne*, H. Dührkop og Hans Nielsen. 1952. 8 s. A<sub>4</sub>.
- Nr. 31: *Ensilagesiloers beskyttelse mod syreangreb, 2. undersøgelse 1951—52*, Erik Laursen. 1952. 5 s. A<sub>5</sub>.
- Nr. 32: *Betonkontrol*, Niels Munk Plum. 1953. 81 s. A<sub>5</sub>.
- Nr. 33: *Små skorstene*, Poul Becher. 1953. 12 s. A<sub>5</sub>.
- Nr. 34: *Træfri gulbelægninger*. 1953. 56 s. A<sub>5</sub>.
- Nr. 35: *Quality Control of Concrete — Its Rational Basis and Economic Aspects*, Niels Munk Plum. 1953. 26 p. 21,5 × 14 cm.
- Nr. 36: *Varmøkonomiske undersøgelser i »Pileparken 2« 1950—52*, J. L. Mansa. 1953. 10 s. A<sub>4</sub>.
- Nr. 37: *Beton-Rapport-Blanketter*, Niels Munk Plum. 1953. 17 s. A<sub>5</sub>.
- Nr. 38: *Lang-tids studier af betons holdbarhed*, Niels Munk Plum. 1953. 5 s. A<sub>5</sub>.
- Nr. 39: *Danmarks træforbrug til byggeriet 1939—1952*, K. Agermose og Niels Munk Plum. 1954. 16 s. A<sub>5</sub>.
- Nr. 40: *Morteltilsetningsstoffer til brug ved vinterbyggeri*, O. Gerner Hansen. 1954. 11 s. A<sub>5</sub>.

- No. 25: *Protective Treatments for New Concrete Silage-Silos*, Lars Andersen (Danish text). 1951. 3 p. Size A<sub>5</sub>.
- No. 26: *Winter Construction, Report of a Failure*, O. Gerner Hansen (Danish text). 1951. 12 p. Size A<sub>5</sub>.
- No. 27: *Has Winter Building been a Remedy for Seasonal Unemployment in the Building Trades?*, Lars Andersen (Danish text). 1951. 6 p. Size A<sub>4</sub>.
- No. 28: *Concrete Durability Influenced by Aggregate*, Poul Nerenst (Danish text with an English summary). 1952. 15 p. Size A<sub>5</sub>.
- No. 29: *Wave Velocity in Concrete*, Johannes Andersen and Poul Nerenst (In English). 1952. 23 p.
- No. 30: *Artificial Drying of New Buildings by Means of Schwartzköpf-Salamanders*, H. Dührkop and Hans Nielsen (Danish text). 1952. 8 p. Size A<sub>4</sub>.
- No. 31: *Protective Treatments for Silage-Silos, Second Investigation 1951—52*, Erik Laursen (Danish text). 1952. 5 p. Size A<sub>5</sub>.
- No. 32: *Control of Concrete*, Niels Munk Plum (Danish text). 1953. 81 p. Size A<sub>5</sub>.
- No. 33: *Domestic Chimneys*, Poul Becher (Danish text). 1953. 12 p. Size A<sub>5</sub>.
- No. 34: *Woodless Floor Coverings* (Danish text). 1953. 56 p. Size A<sub>5</sub>.
- No. 35: *Quality Control of Concrete — Its Rational Basis and Economic Aspects*, Niels Munk Plum (In English). 1953. 26 p. Size 21.5 × 14 cm.
- No. 36: *Heating-Economic Investigations in the "Pileparken 2" 1950—52*, J. L. Mansa (Danish text). 1953. 10 p. Size A<sub>4</sub>.
- No. 37: *Concrete-Report-Forms*, Niels Munk Plum. (Danish text). 1953. 17 p. Size A<sub>5</sub>.
- No. 38: *Long-Time Studies of Concrete Durability*, Niels Munk Plum. (Danish text). 1953. 5 p. Size A<sub>5</sub>.
- No. 39: *Wood Consumption for Building Activities in Denmark 1939—1952*, K. Agermose and Niels Munk Plum (Danish text). 1954. 16 p. Size A<sub>5</sub>.
- No. 40: *Mortar Admixtures for Winter Construction*, O. Gerner Hansen (Danish text). 1954. 11 p. Size A<sub>5</sub>.

### Årsberetninger 1947—52

om Institutets virksomhed og administration nr 1, 2, 3, 4 og 5. Enhedspris for alle årsberetninger: kr. 2.—

### Annual Reports 1947—52

on the activities and management of the Institute (special English Issues) Nos. 1, 2, 3, 4 and 5.

Alle publikationerne kan købes gennem boghandlerne eller hos Teknisk Forlag, Vester Farimagsgade 31, København V.

All the publications may be obtained through our publishers Teknisk Forlag, 31, Vester Farimagsgade, Copenhagen V, Denmark.

Abonnement på en eller flere serier kan tegnes hos Teknisk Forlag. Herved opnås 25% rabat, som fradrages, når betalingen opkræves ved hvert års udløb. For kr. 2,— om året kan man endvidere samme sted abonnere på de »Forhåndsmeddelelser«, som udsendes ca. 3 uger før hver publikations fremkomst.

Ved et skandinavisk samarbejde udsendes tillige

By a Scandinavian co-operation is further issued

### Bygglitteratur

der bringer ensartede referater på 100—200 ord af den vigtigste skandinaviske litteratur om byggeri. Referaterne udarbejdes af de nationale komiteer for byggedokumentation i Danmark, Finland, Norge og Sverige og udsendes samlet i hefter, der udkommer 6 gange om året med ialt 180—200 referater på kartotekskort i format A<sub>7</sub>. Abonnement kan tegnes gennem Statens Byggeforskningsinstitut, komiteen for byggedokumentation, og koster kr. 27,— om året.

### Bygglitteratur

containing uniform abstracts, of 100—200 words each, of the most essential Scandinavian building literature. The abstracts are prepared by the national committees on building documentation in Denmark, Finland, Norway and Sweden, and they are collected in issues appearing six times a year and containing 180—200 abstracts annually, printed on index cards of the size A<sub>7</sub>. Subscription can be ordered through The Danish National Institute of Building Research, Building Documentation Committee. The price is Dan. Kr. 27.— annually.

PRIS KR. 7,—