



Forblad

Lydisolering i beboelseshuse

Hans Holbek

Tidsskrifter

Arkitekten 1931, Ugehæfte

1931

LYDISOLERING I BEBOELSESHUSE

AF INGENIØR, CAND. POLYT. HANS HOLBEK

Spørger man Beboerne af de moderne Huse, hvad de synes om deres Lejlighed, faar man som oftest det Svar, at de er umaadelig tilfredse med alle de Goder og Bekvemmeligheder, Huset byder dem, men een stor Fejl er der: Der er voldsomt lydt! Naar der spilles i de nederste Etager, kan der danses til det i de øverste, og det lyder, som Musiken kom fra Stuen ved Siden af; til Tider er der en sand Torden i Vand- og Varmeledninger; særlig slemt er det i Badeværelset, vil nogen have sit Morgenbad Kl. 6, saa er den Del af Huset vækket med det samme; og overordentlig ubehagelig er ogsaa Maskinstøjen fra de smaa elektriske Anlæg. Nogle Steder er man derfor gaaet saa vidt, at Lejerne ligefrem i deres Kontrakt maa skrive under paa, at de vil afholde sig fra alt, hvad der kan gøre Støj: Højtalere er selvfølgelig forbudt, Klaverspil-aales kun paa bestemte Tider af Døgnet o. s. v. Alle disse generende Lyde kunde i alt Fald have været betydeligt dæmpet med forholdsvis smaa Omkostninger, naar blot der var blevet taget Hensyn dertil under Bygningens Opførelse; det er betydeligt billigere at forebygge Fejl end siden at rette dem.

LYDENS NATUR

Naar det nu gælder at dæmpe Lydindtrængning og Lydforplantning i Husene, bliver man stillet overfor det nyeste, men tillige det vanskeligste Problem paa Bygningsteknikens Omraade.

Hvorledes da væge sig mod al generende Støj?

For i det Hele taget at søge Midler til Bekæmpelse af denne, maa man naturligvis først være klar over „Støjens“ Natur.

Medens man for Varmens Vedkommende har en ganske eksakt Teori at holde sig til — man kan jo nøje bestemme Varmetabet gennem en Konstruktion — staar man endnu paa en mindre fast Grund i Lydisolationsteorien. Beregningerne her er allerede for ganske enkle Konstruktioner meget udviklede, hvorfor man da hidtil hovedsageligt har henholdt sig til de praktiske Forsøg.

Jeg skal ikke her hverken komme ind paa Lydens Teori eller paa Isolationsberegningerne, men blot nøjes med at opfriske de Definitioner paa fysiske Data, som vi i det følgende vil faa Brug for.

Lyd er elastiske Partikelsvingninger, som skyldes en Lydgiver. Lyden er altsaa en Form for Energi. Begrebet Elasticitet i denne Forbindelse maa forstaaes i ret udvidet Forstand, da Svingningerne praktisk talt kan forplante sig gennem alle Stoffer: Luft, Vand, Træ, Metaller o. s. v., men ikke gennem plastiske Stoffer og ikke gennem det tomme Rum.

Svingningerne kan enten foregaa i Lydens Forplantelsesretning og kaldes da Længdesvingninger (eller Longitudinalbølger), eller de kan foregaa vinkelret paa

Forplantelsesretningen og kaldes da Tværsvingninger (eller Transversalbølger).

Ved *Svingningsamplituden* forstaaes Partiklens største Afstand fra sin Hvilestilling.

Ved *Svingningstiden* forstaaes den Tid, det tager for Partiklen at udføre en hel Svingning, det vil f. Eks. sige fra den ene Yderstilling til den anden og tilbage til den første igen.

Ved *Svingningstallet* (Frekvensen, Periodetallet) forstaaes det Antal hele Svingninger, Lydgiveren udsender i Sekundet.

Svingningerne fremkalder Fortætninger og Fortyndinger i det Medium, i hvilket de er opstaaet, og Afstanden mellem saadanne to Fortætnings- eller Fortyndingspunkter kaldes *Bølgebredden* eller *Bølgelængden*.

Fremstilles en fremadskridende Bølgebevægelse for udæmpede simple Svingninger i Luft grafisk, vil man faa en Sinusoide. Lyden vil saaledes kunne sammenlignes med den Bølgebevægelse, der opstaar, naar man lader en Sten falde i roligt Vand: Vandet stuver sig op i koncentriske kugleformede Flader med en indbyrdes Afstand lig Bølgebredden og med en Forplantnings-hastighed svarende til Lydens Hastighed i vedkommende Medium.

Den Lyd, vort Øre opfanger, er mangeartet, alt efter Lydens varierende fysiske Data:

En Stemmegaffels regelmæssige, med Tilnærmelse harmoniske (simple) Svingninger opfatter vi saaledes som en *Tone*; jo højere Tone, des kortere Svingningstid, des større Svingningstal.

De fleste Tonegivere, f. Eks. Streng eller Menneskets Stemmebaand, udfører ikke regelmæssige Svingninger; der opstaar foruden Grundtonen, der er den stærkeste og dybeste, tillige Overtoner, og det er disses Styrke og Højde i Forhold til Grundtonen, der giver den forskellige Klangfarve; en Stemmegaffels og en Strengs Tone af samme Højde vil altsaa have forskellig *Klang*.

Hastige og uregelmæssige Svingninger opfatter vi som *Støj*; kommer disse Svingninger pludseligt, og er de kortvarige, virker de som et *Knald*.

Lyd er, som nævnt, en Form for Energi; hvis man altsaa ikke stadig tilfører Lydkilden Energi, vil Svingningerne dæmpes og Tonen efterhaanden dø bort, d. v. s. at Svingningsamplituderne aftager grundet paa Friktion og Tab af Svingningsenergi.

Ved *Lydens Styrke* i et givet Punkt forstaaes den Energimængde, der pr. Sekund træffer en gennem Punktet og vinkelret paa Lydstrømmen liggende Flade af 1 cm² Størrelse. For et givet Stof og for en given Tonhøjde er Lydens Styrke proportional med Kvadratet paa Amplituden.

Dette gælder for den Lydstyrke, man kan maale med fysiske Apparater: den *fysiske* eller *objektive Lyd-*

styrke. Denne falder imidlertid ikke helt sammen med den Lydstyrke, man fornemmer gennem Øret: den *fysiologiske* eller *subjektive* Lydstyrke. Der er et Par Ejendommeligheder, der særligt karakteriserer denne sidste:

Vor Høreevne er saaledes i højere Grad afhængig af Tonens Svingningstal end af Svingningsenergien. Ifølge Professor M. Wien varierer den fysiske Lydstyrke, der kræves, for at Øret netop skal opfatte Lyden, paa følgende Maade med Svingningstallet:

Frekv.:	80	100	200	400	800	1.600	3.200	6.400	12.800
Lydst.:	320.000.000	1.400.000	12.000	100	8	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	8	90

d. v. s.: er Svingningstallet lavt, kræves en meget stor Lydstyrke, for at Svingningerne skal kunne opfattes som en Lyd. Høje Toner opfattes altsaa langt lettere end dybe, og Opfattelseevnen er særlig stor, naar Svingningstallet ligger mellem 1000—6000. For Menneskets Stemmebaand ligger Svingningstallet sjældent udenfor Grænserne 80 til 1400 (hvilket i Luft svarer til Bølgebredder fra $4\frac{1}{4}$ til $\frac{1}{4}$ m).

Det menneskelige Øres Opfattelseevne omfatter omtrent 10 Oktaver, d. v. s. Toner med Svingningstal paa 16 til 16400. Amerikanerne inddeler dette Omraade i 108 „decibels“, idet de som Maaleenhed for Lydstyrken anvender „the sensation unit“ eller „decibel“; en kraftig Højtaler maaler de til omkring 90 decib., almindelig Samtale til ca. 60 decib. og hviskende Samtale til ca. 20 decib.

Der er ikke en Gang for *samme* Frekvens nogen direkte Proportionalitet mellem den fysiske og den fysiologiske Lydstyrke, men denne er proportional med Logaritmen til den fysiske, d. v. s. at hvis en Lyd fysisk set f. Eks. er 1.000.000 Gange stærkere end en anden knap hørbar Lyd af samme Frekvens, saa vil den i den fysiologiske Skala kun være 6 Gange stærkere end den knap hørlige Lyd, saafremt man da lægger 10-Tals Logaritmen til Basis for sine Beregninger. Øret opfatter altsaa lettere en ringe Styrkeforskel, naar Lydstyrken i sig selv er ringe, end en stor Styrkeforskel, naar Lydstyrken i sig selv er stor.

Den fysiologiske Lydstyrke adskiller sig endvidere fra den fysiske derved, at Lyde af lang Varighed forøger Ørets Følsomhed; dette som Følge af den Smerte, det konstante Lydbølgetryk øver paa Hørenevnen.

Den *Hastighed*, hvormed Lyden udbreder sig i forskellige Stoffer, er i høj Grad afhængig af Stoffernes fysiske Egenskaber, men uafhængig af Lydens Styrke og Tonens Højde. Lydhastigheden er saaledes i Luft ca. 340 m pr. Sek., i Vand ca. 1400 m pr. Sek. og i Jern ca. 5100 m pr. Sek. Det er jo ikke særlig imponerende Hastigheder i Sammenligning med en anden Slags Svingningsenergis Hastighed, nemlig Lysets, der er ca. 300.000 km pr. Sek., d. v. s. ca. 1 Million Gange større end Lydens Hastighed i Luft.

Lyd og Lys udviser iøvrigt en hel Række Analogier: de kan begge — som alle Arter Energi — omdannes til Varme; begge kaster Skygge, kan fotograferes, filmes

(Talefilmen); begge tilbagekastes fra Flader og brydes ved Overgang fra et Stof til et andet efter samme geometriske Love. Der er dog her en lille Afvigelse, idet nemlig Lyden ogsaa kan tilbagekastes fra en aaben Munding (Orgelpiben); dette skyldes Dannelsen af „staaende Svingninger“. Naar Lyden i Modsætning til Lyset bøjer om Hjørner, ligger det i, at dens Bølgebredde er ca. 1 Million Gange større end Lysets; en Døraabning er saaledes for en Lydbølge det samme som en Spalte paa $\frac{1}{1000}$ mm er for en Lysstraale; ved at passere en saadan vilde Lysstraalen ogsaa spredes.

Ikke blot Lydhastigheden, men ogsaa selve Lydens *Natur* er afhængig af, hvilket Medium Lyden bevæger sig i; saaledes er Lyden i Luft karakteriseret ved Længdesvingninger, medens Lyden i faste Stoffer — ubegrænsede Masser — væsentligt er karakteriseret ved Tværsvingninger.

LUFTLYD OG LEDNINGSLYD

Man kan i Praksis — for saa vidt det berører os her — henføre al Slags Lyd til to Kategorier: *Luftlyd* og *Ledningslyd*, og jeg vil i det følgende skarpt skelne mellem disse to Sorter Lyd.

Ved „Luftlyd“ forstaar vi al Lyd, der forplanter sig gennem Luft, og ved „Ledningslyd“ forstaar vi al Lyd, der forplanter sig gennem alle andre Stoffer.

Eksempler paa ren Luftlyd har vi i: Menneskets Stemme, Strenginstrumenter, Membransvingninger som Grammofon og Højtalere, Explosioner, Torden, og Eksempler paa ren Ledningslyd har vi i: Rystelser hidrørende fra Trafikmidler og Maskiner.

Men saa godt som aldrig har vi kun med den ene eller med den anden af disse simple Lydformer at gøre; i Reglen optræder de samtidigt og ofte i yderst komplicerede Kombinationer; Skridt paa Gulvet, Flytten med Møbler, Hammerslag og Vandets Susen i Ledninger er saaledes Eksempler paa baade Luft- og Ledningslyd samtidigt; den ene kan være Aarsag til den anden — og omvendt; saaledes ved vi, at et Kanonslag eller en Eksplosion kan slaa Ruder ud, og at knalde en Dør i kan have en ganske virkningsfuld „Lyd-Effekt“. *De to Lydarter er altsaa i Stand til at omsætte sig med hinanden*, og det er denne stadige gensidige Vekselvirkning, der foraarsager saa mange Vanskeligheder ved Isolationen.

Men ogsaa en relativ *svag Luftlyd* kan i visse Tilfælde frembringe en endog ret *stærk Ledningslyd* — og omvendt.

Og endelig kan en *svag* Luft- eller Ledningslyd under særlige Omstændigheder *forstærke sig selv*. Eksempler herpaa er Vinduets Klirren, det syngende Vinglas, Strenginstrumenters Sangbund o. s. v. Forklaringen er, at de Svingninger, den relativt svage Lyd har fremkaldt i Stoffet, Stoffets *Egensvingningstal*, falder sammen med den svage Lyds Svingningstal; der opstaar, hvad man kalder, *Resonans*.

Da al Lyd, vi opfatter, i Almindelighed nødvendigvis maa være Luftlyd, — Ledningslyd maa altsaa først

træde ud af Mediet og omsætte sig til Luftlyd for at indvirke paa vore Sanser —, er det ganske naturligt, at man i Praksis ofte støder paa en forkert Opfattelse af Lyd.

Da vi jo, som sagt, har to forskellige Arter Lyd, kan det meget naturligt heraf følge, at hver af dem kræver sin specielle Isolationsmetode, hvad der ogsaa i Reglen er Tilfældet. *Et Stof, der isolerer mod Luftlyd, behøver saaledes i Almindelighed ikke ogsaa at isolere mod Ledningslyd — og omvendt.*

Naar man altsaa skal isolere mod Lyd, er det selvfølgelig klart, at man først og fremmest bestemmer Lydens Art, og principielt vil da Bestræbelserne for Isolationen rettes mod Ondets Rod; det gælder om ikke at forveksle Virkning med Aarsag.

LYD-ISOLATIONSSTOFFER

Ved Bedømmelsen af Lydisolationsmaterialer vil det være praktisk at indføre Begrebet „Lydhaardhed“, ved hvilket vi forstaaer Produktet af Lydhastigheden og Vægtfylden; begge Faktorer kan let maales eller beregnes. I nedenstaaende Tabel er den omtrentlige Værdi af Lydhaardheden for nogle Stoffer opført:

	Vægtfylde	Lydhastighed Lydhaardhed	
		m/Sek.	
Luft	0,0013	340	0,442
Raakork	0,3	450	135
Vulk. Kautsjuk	1,0	60—150	60—150
Vand	1,0	1435	1435
Fyretre	0,5	5000	2500
Teglstensmur	1,6	2200	3500
Beton	2,2	2500	5500
Glas	2,5	5000	12500
Bly	11,3	1300	14700
Jern	7,7	5100	40000

Vi faar da ganske simpelt:

at Materialer med størst Lydhaardhed, hvilket i Reglen falder sammen med tunge og tætte Materialer, principielt bør anvendes for Luftlydisolation, og

at Materialer med mindst Lydhaardhed, hvilket som oftest falder sammen med fjedrende (lette og porøse) Materialer, principielt bør anvendes for Ledningslydisolation.

Men der er jo ingen Regel uden Undtagelse. Af Tabellen fremgaar det, at Jern er næsten 3 Gange bedre luftlydisolerende end Bly; dette stemmer dog ikke overens med de praktiske Forsøg, der viser, at Bly dæmper omtrent dobbelt saa godt som Jern. Forklaringen herpaa er, at Bly indtager en Særstilling derved, at det nærmer sig de plastiske Materialer.

Ved plastiske Stoffer — egentlig „absolut plastiske“ — forstaaes som bekendt Stoffer, der selv ved en ganske ske ringe Kraftpaavirkning *deformeres blivende*. Lydsvingninger, der rammer saadanne Materialer, vil naturligvis ikke kunne forplantes videre, men helt omdannes til Varme. En blivende Formforandring er altsaa et Maal for Materialets lyd-dæmpende Egenskaber. Absolut plastiske Stoffer er derfor ganske fortrinlige Iso-

latorer for Ledningslyd og, under Forudsætning af at de er lufttætte, ogsaa for Luftlyd. I Praksis vil saadanne Stoffer almindeligvis ikke kunne benyttes, i alt Fald ikke paa Steder hvor de er udsat for Tryk, der vil deformere dem, men man tilstræber da at anvende Stoffer, der nærmer sig saa meget som muligt de absolut plastiske, og som vi passende vil kalde „halvplastiske“ Stoffer, som f. Eks. Asfaltpræparater og Bly.

I Modsætning til de plastiske Stoffer har vi de „højelastiske“ Stoffer, hvorved vi altsaa forstaaer Stoffer, der selv overfor en relativ stor Kraftpaavirkning *ikke deformeres blivende*, f. Eks. hærdet Staal og Glas. Saadanne Stoffer er meget daarlige Isolatorer for Ledningslyd, men under Forudsætning af, at de er lufttætte og tillige er hindrede i at kunne svinge, udmærkede Isolatorer for Luftlyd.

Midt imellem disse to Grupper har vi de saakaldte „ufuldkommen elastiske“ Stoffer, som f. Eks. Luft, Beton, Teglsten, Træ, Kork og Gummi. Af disse udmærker Kork sig ved sin store Elasticitet overfor Trykspændinger, medens Gummi udmærker sig ved sin store Elasticitet overfor Trækspændinger, og hvor vi ved Elasticitet — eller Fjederkraft — jo forstaaer et Maal for Materialets Evne til *fjedrende Formforandring*. Saadanne Stoffers lydisolierende Egenskaber er — forøvrigt ligesom de højelastiske Stoffers — karakteriseret ved deres Lydhaardhed og „Absorptionsevne“, og hvor vi ved Absorptionsevnen forstaaer Forholdet mellem

Dæmpning og Elasticitet ($\text{Absorption} = \frac{\text{Dæmpning}}{\text{Elasticitet}}$),

eller med andre Ord Forholdet mellem den blivende og den fjedrende Formforandring.

Hertil maa dog bemærkes: For Ledningslyd indses det, at jo mere Tryk, Materialet underkastes, jo bedre ledes Lyden, hvorfor det Materiale, der ved det forekommende Tryk udviser størst Elasticitet, vil være det fordelagtigste. Ved store Tryk er det hensigtsmæssigt at anbringe trykfordelende Plader over Isolationsmaterialet. Det er en Selvfølge, at der maa stilles det Krav til Isolatoren, at det ikke med Tiden mister sin Elasticitet, hvilket f. Eks. kan være Tilfældet med Filt, der gennem Aar har været udsat for stort Tryk, og med almindelig vulkaniseret Gummi, der med Tiden kan afvulkaniseres eller polymeriseres. Endvidere er det ogsaa klart, at Isolatoren ikke maa kunne ændre sine Egenskaber, f. Eks. ved at suge Fugtighed, da Vand jo er en god Ledningslydleder, eller ved at hen-smuldre eller raadne; i saadanne Tilfælde maa Isolatoren beskyttes ved Imprægnering.

Hvad Luftlyd angaar, vil jeg i det følgende skarpt skelne mellem lufttætte og porøse Materialer.

VÆGGENES LYDISOLERINGSEVNE

I: VÆGGE AF EET MATERIALE

Naar en Luftlyd rammer en fast indespændt, elastisk eller ufuldkommen elastisk Væg vil følgende ske: Luftmolekylernes Stød vil virke som Hammerslag paa denne og vil som Følge af det „Lyd-

tryk“, de derved udøver, fremkalde en Svingningsenergi i Væggen; denne vil nu enten forblive i Ro eller komme i Svingning som en Membran (se Figur 1).

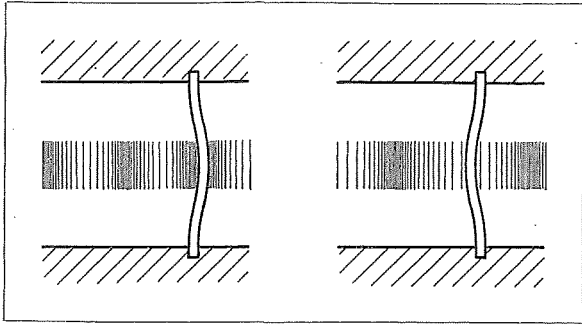


Fig. 1. Luftlydens Gennemgang gennem en lufttæt, fast indspændt Væg.

Er Væggen *lufttæt*, vil Lydgennemgangen være afhængig af Væg-Udsvingets Størrelse (Vægamplituden), men da dette er omvendt proportionalt med Produktet af Elasticitetsmodulen og Tykkelsen i 3die Potens,

$\frac{1}{(E \cdot a^3)}$, ses det, at Væggens Isolationsevne for samme Vægtykkelse stiger liniært med voksende Modul og for samme Modul stiger med 3die Potens af Vægtykkelsen.

Væggens Udsving behøver kun at være en Milliontedel mm for at sætte Luften i hørlige Svingninger.

Er Væggen derimod opbygget af et *porøst* Materiale, som f. Eks. Mursten eller Beton, vil dens luftlydisolerende Evne, idet vi et Øjeblik helt ser bort fra den Luftlyd, der — som Følge af Porøsiteten — kan passere lige igennem, ifølge Professor Kreüger stige med Vægten, indtil denne er naaet 175 kg/m^2 — altsaa f. Eks. $\frac{1}{2}$ -Stens Mur eller 8–9 cm Beton; herudover vil en Forøgelse af Murtykkelsen ingen nævneværdig Rolle spille m. H. t. Isolationsevnen.

Vægtens Indflydelse paa Væggens luftlydisolerende Evne er grafisk fremstillet i nedenstaaende Kurve, hvor Vægten pr. m^2 er afsat som Abscisse og Isolationsevnen som Ordinat; dennes Betydning skal jeg straks komme tilbage til.

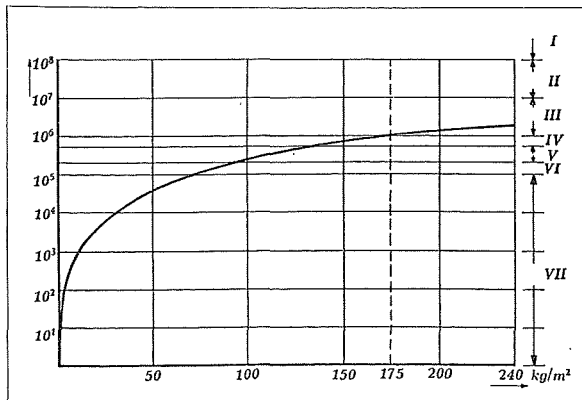


Fig. 2. Vægtens Indflydelse paa en porøs Vægs luftlydisolerende Evne.

En lufttæt Væg eller en porøs Væg (der vejer indtil 175 kg/m^2) af Tykkelse a er derfor bedre isolerende end en hul Væg af Tykkelse $(\frac{1}{2}a + \text{Luft} + \frac{1}{2}a)$, idet den enkelte Vægshalvdels Udsving kan blive større

end den massive Vægs og endog frembyde Fare for Resonansvirkning i Luftmelle rummet. Tværforbindelse eller Udfyldning af Luftmelle rummet med et tungt Materiale, f. Eks. faststampet Grus, der enten dæmper Vægshalvdels Udsving eller helt hindrer denne i at svinge og altsaa gør Væggen saa stiv som mulig, vil under disse Forhold forøge Luftlydisolationsevnen.

Er derimod Tykkelsen af en lufttæt Vægshalvdel tilstrækkelig til at hindre Udsving, eller vejer en porøs Vægshalvdel over 175 kg/m^2 , vil et Luftlag mellem to saadanne Vægshalvdele virke mere gavnligt end Tværforbindelse eller Udfyldning.

Er endelig Væggen tilfældigvis af en saadan Tykkelse, at den kan komme til at svinge i Takt med en Lydkilde, f. Eks. en Maskine, vil den virke forstærkende paa Lyden — fremkalde Resonans; i et saadant Tilfælde vil ikke blot en tykkere, men ogsaa en tyndere Væg isolere bedre.

Tager vi nu ogsaa Hensyn til Væggens Porøsitet, vil, som nedenstaaende Figur skematisk viser det, følgende ske:

Luftlyden vil brydes: noget reflekteres, noget absorberes, og Resten passerer Væggen.

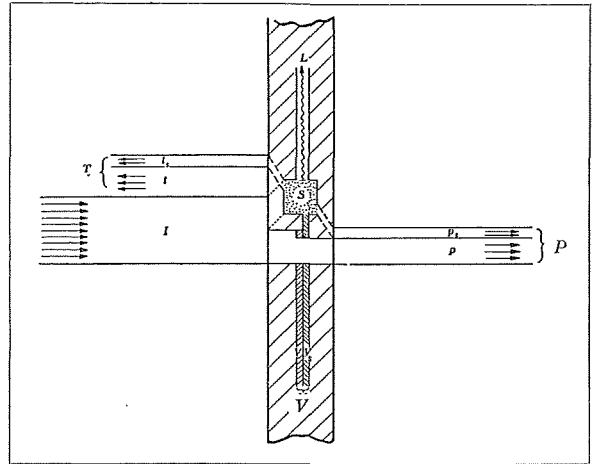


Fig. 3. Luftlydens Gennemgang gennem en porøs Væg.

Naar Lydstraalen (I) rammer Væggen, vil en Del (t) direkte tilbagekastes; en anden Del (p) finder Vej gennem Huller, Revner, Sprækker eller Porer og gaar igennem som saadan uden at brydes, dog vil den paa Grund af Modstand og Gnidning miste noget af sin Energi, der da omsættes til Varme (v). Den resterende Del af den indfaldende Lydenergi fremkalder i H. t. det tidligere nævnte en Svingningsenergi (S) i Væggen. Den svingende Væg udstråler nu:

1. en Del (t_s) af sin Svingningsenergi samme Vej tilbage, hvorfra den oprindelige Lydstraale kom,
2. en Del (p_s) sendes ud til den modsatte Side af Væggen,
3. en Del (v_s) omsætter sig paa Grund af indre Frikktion til Varme, og endelig
4. forplanter en Del (L) sig — i Form af Ledningslyd — til Væggens Rande og videre til Gulv og Loft.

Den tilbagekastede Lyd (T) sammensætter sig følgende af t og t_s , den absorberede Lyd af V og L og den passerede Lyd (P) af p og p_s .

En Luftlydisolation vil da i første Instans gaa ud paa at gøre (P) saa lille som mulig, dernæst bør ogsaa L søges bragt ned paa et Minimum, og endelig vil det ogsaa ofte være ønskeligt at forringe T 's Størrelse, men dette sidste er et Spørgsmaal om Akustik, som jeg ikke naar at komme nærmere ind paa her.

Principielt vil da Bestræbelserne rettes mod at faa V til at antage den størst mulige Værdi, altsaa hvor det er muligt f. Eks. ved at indføre et plastisk Materiale i Væggen; hvor stor V end bliver, kan dens Størrelsesorden i denne Forbindelse aldrig frembyde nogen praktisk Gene.

Hvad den direkte gennemgaaende Lyd (p) angaar, har vi her en klar Teori at holde os til, nemlig den: at *Lydgennemtrængeligheden vokser med Luftgennemtrængeligheden*. Jo tættere en Væg altsaa er, des mindre Luftlyd kan der slippe igennem. Tæpper og andre groft porøse Stoffer — alene anvendt som Væg — er derfor meget daarlige Luftlydisolatorer. Murværk og Beton isolerer des bedre, jo mere lufttæt Massen er. Luftgennemtrængeligheden vokser med Porenes Diameter og er isøvrigt meget afhængig af Porenes Struktur; Beton med lukkede Celler er saaledes bedre isolerende end Beton med gennemgaaende Kanaler. Løse Fyldstoffers Isolationsevne vokser med Lejringstæthed; jo mere Stoffet komprimeres, des bedre isolerer det.

En Vægs Isolationsevne forringes følgelig stærkt, naar den gennembydes af Døre, Ventil, Rørledninger og lign., og hvis disse da ikke særligt isoleres, vil alle Forholdsregler, der isøvrigt tages, være spildte.

Derfor bør Døre helst være dobbelte, i hvert Fald slutte godt i Falsen og være saa lufttætte, tunge og stive som muligt. Nøglehuller uden Dæksler bør ikke forekomme.

For (t), den direkte tilbagekastede Lyd, stiller Sagen sig ogsaa forholdsvis simpel, idet det nemlig her i første Række er Væggens Overflade, det kommer an paa, men da dette Spørgsmaal jo maa henføres til Akustik, vil jeg nøjes med at nævne, at en her glat og haard Overflade vil give stor Tilbagekastning, medens en ru og plastisk Overflade vil medføre ringere Tilbagekastning og større Absorption.

Er altsaa en Væg porøs, vil en lufttæt Overflade være at foretrække, men er Væggen lufttæt, vil en ru Overflade være den fordelagtigste.

Pudsmørtlers Tilbagekastningsevne vokser i Ordenen Cement, Gibs og Kalk og aftager efterhaanden, som Mørtlerne tørrer og hærder. Luftgennemtrængeligheden af Vægbeklædninger vokser i Ordenen Oliefarve (der kun i nystrøget Tilstand er hel tæt), Limfarve, Kalkfarve og alm. Tapet. En Beklædning med Blyplader er meget virkningsfuld, da Bly baade er lufttæt, plastisk og tungt. I Telefonceller anvendes ofte Filt som lydabsorberende Beklædning, skønt det i hygiejnisk Henseende er lidet tiltalende.

Af Figur 3 fremgaar det, at man vilde slaa 3 Fluor

med eet Smæk ved at reducere Svingningsenergien (S) til et Minimum, idet p_s , t_s og L derved vilde formindskes. Det er derfor af overordentlig stor Betydning at hæmme eller bedre helt at hindre S 's Dannelse, men hvorledes dette opnaas, har jeg allerede omtalt.

VÆGGENES LYDISOLERINGSEVNE II: VÆGGE SAMMENSAT AF FLERE MATERIALER

Hvad jeg hidtil har nævnt gælder for Vægge opført af kun eet Materiale; bygger man derimod Vægge af flere Materialer i Forbindelse med lydisolierende Stoffer, faar man baade tyndere og bedre og — i Forhold til Isolationsevnen — billigere Vægge.

Der er i den senere Tid eksperimenteret med de forskellige Kombinationer. Professor Kreüger offentliggør i det svenske „Ingeniørs Vetenskaps Akademien, Handlingar No. 74“ Resultatet af en af ham foretaget Række Undersøgelser paa 36 udførte Vægkonstruktioner i forskellige Bygninger i Stockholm. 14 af disse Vægge var massive, med eller uden Puds, dem benævner Professoren „enkelte Vægge“; de øvrige 22 var derimod bygget op af forskellige Materialer (Træ, Pap, Beton, Mursten, Puds m. m.), og betegnedes „sammensatte Vægge“.

Professorens Fremgangsmaade ved Forsøgene skal jeg ikke nærmere komme ind paa her, men blot pointere, at Lydgennemgangen for hver Konstruktion blev maalt for et stort Antal tæt liggende Periodetal, da nemlig en relativ lille Forskel i Periodetallet, bl. a. grundet paa Væggens Egensvingning og akustiske Forhold, kan forårsage en meget stor Forskel af Lydisolationsevnen for eet og samme Materiale i een og samme Konstruktion, d. v. s. man kan komme til at staa overfor det mærkelige Fænomen, at en Væg, der ellers er udmærket lydisolierende, kan lade een ganske bestemt Tone (eller muligvis flere enkelte Toner) slippe lige igennem. Almindeligvis vil dette ikke betyde saa meget i Praxis, men maa være klar over, at et saa uheldigt Forhold kan indtræffe, at en Maskine netop udsender den Tone, Væggen lader passere, hvorfor man da i saa Tilfælde maa gardere sig paa anden Maade.

Middeltallet af den passerede fysiske Lydstyrke udregnede Professoren følgelig paa en særlig Maade, og paa Grundlag heraf inddeltes nu alle Væggene efter deres Isolationsevne i 7 Klasser efter nedenstaaende Tabel, hvor μ er Middeltallet for et fysisk Maal og $\log \mu$ følgelig Middeltallet for et fysiologisk Maal for Væggens Isolationsevne.

Klasse	μ	$\log \mu$	Stemme	høres
1.	over 100.000.000	8	stærk	ikke
2.	100.000.000—10.000.000	8,0—7,0	—	m. Anstrengelse
3.	10.000.000—1.000.000	7,0—6,0	—	svagt
4.	1.000.000—500.000	6,0—5,7	—	utydeligt
5.	500.000—200.000	5,7—5,3	—	tydeligt
6.	200.000—100.000	5,3—5	alm.	næsten tydel.
7.	under 100.000	5	—	fuldk. tydeligt

Det ses heraf, at den tidligere omtalte porøse Væg paa 175 kg/m² maa henføres til Klasse 3.

Professor Kreüger beskriver i nævnte Hefte en saakaldt „dobbel Clouisonvær med Luftmelleum“, som kun vejer 145 kg/m² og er 18,9 cm tyk, denne henføres til Klasse 1 og er altsaa fortrinlig isolerende, men den vil sikkert ikke her til Lands have Udsigt til at blive anvendt, da den er for dyr; der er hovedsageligt anvendt Træ.

Det karakteristiske ved de sammensatte Vægge er, at de alle bestaar af mange forskellige Materialer, af forskellig Tykkelse, med forskellig Lydhaardhed og af forskellig Elasticitet. For hvert saadant Lag brydes Lyden, som tidligere beskrevet, hvorved Lydtransmissionen nedsættes.

Hertil bemærkes: 1) jo større Forskel i Lydhaardhed mellem to paa hinanden følgende Lag, des bedre lyddæmpende bliver Konstruktionen. 2) to eller flere Lag af samme Materiale eller to eller flere Luftmelleum formindsker kun ubetydeligt Lydgenngangen, altsaa ikke som forventet proportionalt med Antallet af Lag. 3) et Materiale eller et Fyldstof, som viser sig udmærket i Forbindelse med en vis Konstruktion, er ikke altid lige anvendeligt i Forbindelse med en anden Konstruktion.

Det vil heraf fremgaa, at man ved Valget af sine Isolationsmaterialer og Konstruktioner bør vurdere Reklamer og Laboratorieprøver og -undersøgelser med en behørig Kritik, hvorfor man som oftest vil staa sig ved at benytte sig af de Erfaringer, uddannede Lydteknikere sidder inde med.

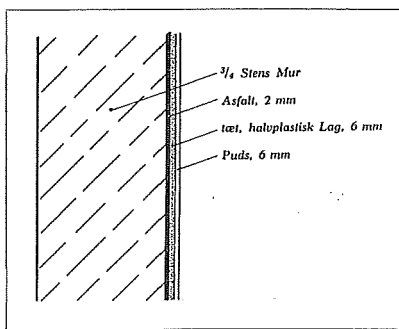


Fig. 4. Bærende Skillerum.

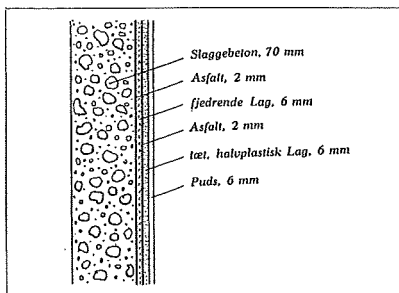


Fig. 5. Ikke-bærende Skillerum.

I ovenstaaende Tegninger er skitseret et bærende og et ikke bærende Skillerum. Jeg vil dog her forudskikke den Bemærkning, at i denne og i de følgende Tegninger er det blot Princippet for Isolationen i de enkelte Tilfælde, der er draget frem, under Hensyntagen til baade Pris og praktisk Udførelse.

Det er selvfølgelig ikke tilstrækkeligt, at Væggen kun hindrer Lydens Gennemgang fra det ene Rum til det andet; hverken den af Luftlyden eller den f. Eks. ved Bankning opstaaede Ledningslyd maa naturligvis ikke kunne forplante sig videre omkring i Huset.

Dette kan man for et ikke bærende Skillerum afskære den fra ved ligefrem at indramme hele Væggen i et ledningslydisolerende Materiale, dog paa en saadan Maade at Væggen derved ikke mister sin Stivhed.

For bærende Skillerum kan man af Hensyn til Forbindelsen med Ydermuren ikke indføre en lodret lyd-isolerende Adskillelse; man er da for saadanne Vægge henvist til at isolere deres Overflade og isvrigt tage særlige Hensyn ved Etageadskillelsen, men det skal jeg straks komme tilbage til.

ISOLATION AF ETAGEADSKILLELSER

Medens Vægisolationen væsentligt tager Sigte paa Luftlyd kommende fra den ene eller den anden Side af Væggen, maa Etageadskillelsesisolationen rettes lige-saa vel mod Luft- som Ledningslyd, dog med særlig Henblik paa den oppefra kommende Lyd.

Naar man i en fleretages Bygning almindeligvis er mere plaget af Støjen fra den overliggende end fra den underliggende Etage, ligger det for en stor Del i, at Ledningslyden, som hovedsagelig skyldes Færdsel paa Gulvet og Maskiner, der staaar paa Gulvet, overføres direkte til Etagen nedenunder, medens den nedefra kommende Ledningslyd først maa passere gennem Murene, hvorved den svækkes, inden den som Luftlyd træder ud i de overliggende Etager.

Mod denne Ledningslyd isolerer man naturligst ved at sørge for, at den i sin Opstaaen bliver saa svag som mulig, hvilket bedst sker ved at belægge Gulvet med Tæpper, Kork eller lign. elastisk Materiale.

Det kendte Bjælkelagsgulv med Indskudsfyld, som jo her til Lands er langt det almindeligste, er — set fra et lydteknisk Standpunkt — egentlig ganske godt, men det kunde dog forbedres betydeligt:

mod Luftlyden ved at stampe Fyldmassen fast i Fagene i Stedet for at lægge den løst deri (dette sidste er rigtigt, naar det kun gælder Varmeisolation), og ved herover at lægge et Stykke Asfaltpap samt sørge for, at det hele kommer til at staa i Spænd op under Gulvbrædderne, saaledes at Luftmelleum undgaas;

mod Ledningslyden isoleres ved paa Bjælkernes Underside at fæste f. Eks. Korkstrimler, derpaa et Lag Asfaltpap el. lign., som klæbes sammen i Overlagene, og derpaa igen Forskallingsbrædder, Rør og Puds.

Det er en Selvfølge, at en saadan rationel Forbedring af et Træbjælkelags Lydisolationsevne vil fordyre dette betydeligt, og da den væsentligste Grund til at benytte dette, er dets Prisbillighed, vil man formentlig foretrække i Stedet for at ofre Penge paa Træbjælkelagets Forbedring at gaa over til brandsikre Etageadskillelser, saaledes som man gør det næsten overalt i Udlandet, selv om det bliver noget dyrere.

Man faar da som oftest at gøre med Materialer, der

er langt mere lydforplantende end Træ, og en Lydisolation er derfor her ganske nødvendig. Dette har man ogsaa været klar over længe, og der gøres som Regel en Del mod Lydforplantning i saadanne Etageadskillelser.

Der findes jo en saadan Mængde brandsikre Konstruktioner, at det vilde være uoverkommeligt her at gaa dem alle igennem med Henblik paa Lydisolation; jeg skal derfor kun nævne et Par Eksempler.

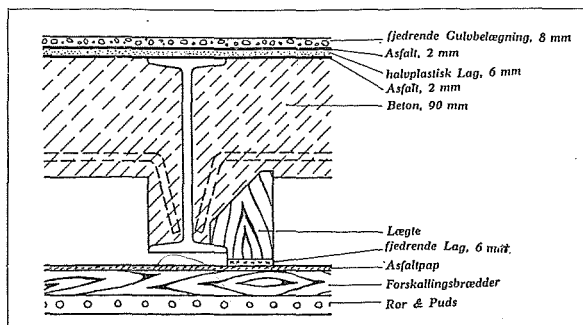


Fig. 6. Lydisoleret Etageadskillelse.

I ovenstaaende Figur er skitseret en Etageadskillelse udført af Beton og Jernbjælker:

Naar Betonen er støbt lige med Bjælkernes Overside i Stedet for med Undersiden, er det dels for ikke at gøre Betonen tykkere end nødvendigt, — her forudsættes dog en Minimumsvægt af 175 kg/m^2 —, dels fordi det er uheldigt at pudse paa Beton direkte under Jernbjælkerne (dette giver nemlig Anledning til Revner og sorte Striber i Loftet langs disse, fordi Støvet sætter sig fast i den Bedugning, de fremkalder), og endelig fordi man herigennem ved under Støbningen at indlægge en Lægte, som Figuren viser, faar dannet et Luftmelletrum altsaa en udmærket Ledningslydisolation (og Varmeisolation) i Etageadskillelsen.

Loftet udføres iøvrigt paa samme Maade som beskrevet under Bjækelagsgulv.

Over Jernbjælkerne er lagt en halvplastisk Plade i Asfalt og herover igen et fjedrende Gulvbelægningsmateriale ogsaa i Asfalt. Herved dæmpes Skridt og Stød paa Gulvet, og af de to Asfaltlag hindres Luftlyden i at trænge igennem.

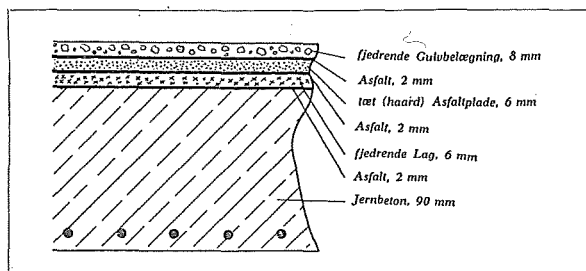


Fig. 7. Lydisoleret Etageadskillelse.

Paa Fig. 7 er vist en Jernbetonetageadskillelse.

Da det her er mest praktisk at anbringe Pudslaget direkte paa Undersiden, er hele Lydisolationen lagt oven paa Betonen; Isolationen maa derfor her være noget stærkere end ved den forrige Konstruktion. Man lægger

derfor det fjedrende Gulvbelægningsmateriale paa en tæt (haard) Asfaltplade, der er i Stand til at fordele Trykket ud over et fjedrende Lag.

Tilbage er endnu at hindre Ledningslyden i at forplante sig fra Etageadskillelserne ud i Muren.

Da Lyden ledes des bedre, jo større Belastningen er, er det Bjælkerne — og hovedsageligt de gennemgaaende Bjælker — der bør isoleres; dette udføres bedst ved helt at beklæde Bjælkeenderne med et ledningslydisolerende Materiale, der er egnet til de store Trykspændinger, altsaa bedst Kork; man kan dog paa Siderne, hvor der ikke er Tryk, i Stedet for nøjes med en Luftfuge.

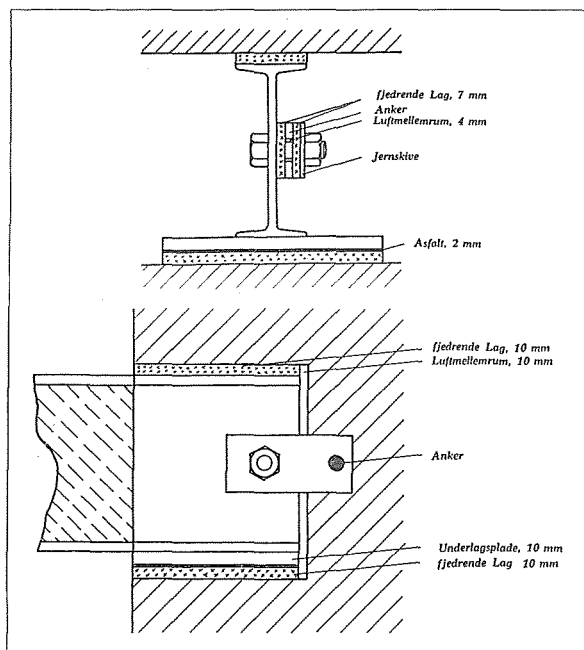


Fig. 8. Lydisolering af Jernbjælkeender.

Endvidere bør Betonpladen, hvor den hviler paa Skillerummene, isoleres, og endelig bør ogsaa Ankrene isoleres. Paa Fig. 8 er angivet, hvorledes dette kan gøres. Boltisolationen udføres paa den Maade, at Bolt-hullet gøres større, hvorpaa Møtriken fastskrues over et ledningslydisolerende Materiale.

Endelig er det indlysende, at Isolationen i Etageadskillelserne i Lighed med Væggenes maa være gennemført, da den ellers vil være spildt. Der maa altsaa intet Sted kunne dannes *Lydbroer*, hvorved forstaas: selv den mindste Utæthed i det luftlydisolerende Lag, eller

selv den mindste uelastiske Forbindelse i det ledningslydisolerende Lag.

Rørledninger, der skærer Gulvet, maa derfor absolut isoleres omhyggeligt, hvad jeg senere skal komme til.

MASKINISOLATION

En meget generende Støj i Beboelseshuse er den, der hidrører fra Maskiner; da Betingelserne for Resonansvirkning tillige særlig er til Stede her, er det af stor Vigtighed at udføre Isolationen med megen Omhu. Ogsaa her maa der isoleres for begge Lydarter,

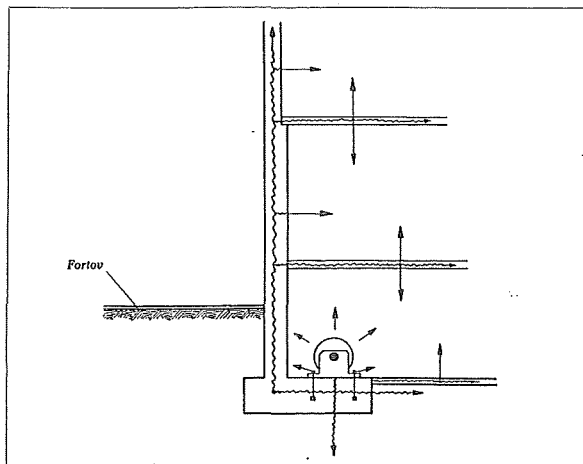


Fig. 9. Maskinstøj fra Motor i Kælderetage.

Figur 9 viser et Snit gennem en Bygning, hvor der i Kælderen er opstillet en Motor. En saadan Maskine er en Lydkilde og er altsaa Udgangspunkt for baade Luft- og Ledningslyd. Luftlyden udstraales radiært og rammer Rummets fire Vægge, Loft og Gulv og forplanter sig, hvis der ikke er truffet Foranstaltninger derimod, videre, som tidligere omtalt. Ledningslyden, som opstaar, ved at Maskinen sætter Fundamentet i Svingninger, forplanter sig i Modsætning til Luftlyden gennem hele Bygningen, følger Rørledninger, stiger op i Murværket, gaar gennem Etageadskillelser o. s. v. og træder saa overalt ud som Luftlyd.

Fundamentsvingningerne forplanter sig ogsaa gennem Terrænet og vil paa deres Vej muligvis træffe paa Fundamenter fra andre Bygninger, sætte disse i Svingninger og høres i Nabogaarden. Omvendt er man altsaa i egen Bygning udsat for Maskinlyd fra Nabobebyggelse, saaledes at Lydisolationsproblemet ogsaa bliver et Naboforhold.

En Maskinisolation for Lyd maa derfor omfatte: En særlig effektiv Luftlydisolation af Rummet, i hvilket Maskinen befinder sig, og tillige vil det være hensigtsmæssigt yderligere at isolere Væggene for Ledningslyd, dels fremkaldt af Luftlyden og dels forplantet fra Maskinen, ved en saakaldt Tværfugeisolation (Fig.10).

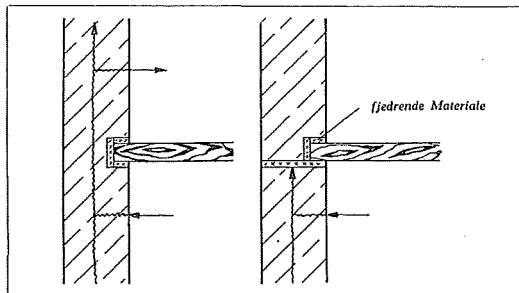


Fig. 10. Vægge isoleret for Ledningslyd.

Hvis Rumisolationen ikke er nok, maa selve Maskinen helt indkapsles i en lydabsorberende Kasse.

Endvidere maa Maskinen ledningslydisoleres, hvilket udføres ved at isolere Fundamentet, hvorpaa Maskinen staar.

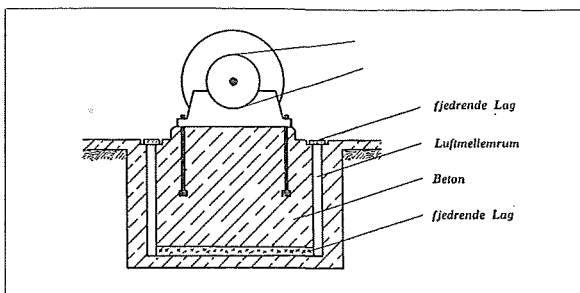


Fig. 11. Lydisoleret Maskinfundament.

Der findes naturligvis mange forskellige Maader at udføre dette paa. Ligger Maskinfundamentet i Jorden, se Fig. 11, gør man bedst i at adskille dette helt fra Bygningen ved at indskyde et ledningslydisolerende Lag f. Eks. Kork saa langt nede, at Ankerboltene ikke gennembryder dette. Den stive Forbindelse mellem Fundamentet og Maskinen vil dæmpe dennes Svingninger, og Korken vil hindre Svingningerne i at forplante sig til Bygningens Fundament. En Luftfuge eller en Korkplade omgiver Fundamentets Sider; i Slidlaget anbringes en Korkstrimmel, eller der lægges en løs Træplade over.

Skal Maskinen fastboltes til en Etageadskillelse, i hvilken Boltene kan indstøbes, men som ikke tillader, at de isoleres fra denne, maa hele Isolationssystemet anbringes over Gulvet. Det kan enten købes færdigt i Form af saakaldte „Svingningsdæmpere“, der bestaar

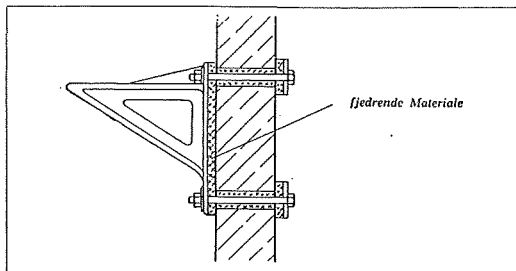


Fig. 12. Lydisoleret Lejebuk.

af Staal-fjedre indkapslet i et Hylster, eller ogsaa kan Maskinen monteres paa et Træunderlag, der hviler paa et ledningslydisolerende Materiale, og som isoleres paa samme Maade fra Boltene, som tidligere nævnt.

Ved Maskiner, der er løst opstillede paa et Gulv eller et andet Fundament, indlægges simpelt hen en Korkplade mellem dette og Maskinen.

Naturligvis maa alle de Dele, der er direkte forbundne med Maskinen eller har Tilknytning til denne, ogsaa isoleres. F. Eks. kan man isolere Lejebukke ved at indlægge Kork mellem alle de Jernflader, der ellers vilde komme i Berøring med Bygningen, se Fig. 12.

ISOLERING MOD STØJ FRA VAND-LEDNINGER O. LIGN.

Paa samme Maade, som ved den her omtalte Maskinisolation, maa alle de i Huset forekommende Lydkilder af denne Art isoleres. Meget vigtigt er dette især for de sanitære Anlægs Vedkommende. W.C.-Cisterner maa

isoleret fra Muren, W.C.-Kummer og Badekar maa monteres paa fjedrende Underlag, og selve Rummene bør isoleres for baade Luft- og Ledningslyd. Til- og Afløbsrørene for Vand kan — som isøvrigt andre Vandledninger i Huset — isoleres fra Muren — for Ledningslyd — ved at fastgøre Rørhagerne i indmurede Korkklodser. Egentlig burde selve Rørene isoleres for saavel Luft- som Ledningslyd, men at gennemføre dette er praktisk talt umuligt; der kan højst være Tale om at isolere Hovedstammen saaledes. Gennem en Etageadskillelse kan Rørene isoleres ved at gøre Hullet større og deri omkring Røret stampe en lydisolierende Fyldmasse, af f. Eks. Asfalt iblandet Korksmuld.

Hovedaarsagen til Støj fra Vandledninger skyldes Vandets Udvidelse i Hanen ved Overgangen fra Vandledningstryk til Atmosfæretryk; der findes forskellige Maader at dæmpe denne Støj paa; den simpleste er at isolere Hanen fra den øvrige Ledning, f. Eks. ved i Nærheden af Hanen at erstatte et lille Stykke (10—15 cm) af Jernledningen med en Blyledning. Da megen Lyd fra Vandledninger ogsaa skyldes de skarpe Knæk paa disse, er det hensigtsmæssigt at undgaa Knækkene, hvor de kan undgaa, og — om muligt i Stedet — enten at føre Ledningerne i en Bue eller at anvende Bøjninger. Meget virkningsfuldt er det, som nævnt, paa enkelte Steder at erstatte et lille Stykke af Jernledningen med en Blyledning eller at isolere enkelte Samlingssteder med specielt lydisolierende Muffer.

Hvad Ventilationsrør angaar, maa fordres, at hvert Rum har sit Rør, som ikke staar i Forbindelse med andre, og at Røret lydisoleres. Jeg skal blot i denne Forbindelse nævne, at man kan luftlydisolere Ventilationsrør ved i dette at anbringe et dobbelt konkavt Spejl.

ISOLERING MOD STØJ UDEFRA

En virkelig Lydisolation af Beboelseshuse omfatter ikke blot Bekæmpelse af den Lyd, der opstaar i selve Huset, men den maa ogsaa i høj Grad rettes mod Lydindtrængning udefra.

Lyd kan trænge ind i Huset ad to Veje: enten gennem Luften eller, som nævnt, gennem Grunden; altsaa maa man ogsaa her isolere for begge Lydarter.

Luftlyden hindres bedst i at trænge ind af tætte Mure med lufttætte Vinduer. En sædvanlig Ydermur er, i H. t. det tidligere nævnte, en nogenlunde god Isolator, i al Fald opnaar man ikke meget ved yderligere at forsøge Tykkelsen; vil man gøre noget, maa man paa en eller anden Maade tætnes dens Overflade. Derimod er den sædvanlige Vindueskonstruktion en slem Luftlydleder. I moderne Huse fordres netop mange og store Vinduer; saa meget des mere er en lydisolierende Konstruktion her paakrævet. Der maa, som altid naar det gælder Luftlydisolation, sørges for, at Konstruktionen bliver saa stiv og tæt som mulig. Derfor maa der fyldes omhyggeligt ud mellem Mur og Vindueskarm, og Vinduesrammerne maa slutte tæt i Falsene, f. Eks. ved en Pakning, og Vinduerne bør

være dobbelte. Professor Kreüger har paavist, at Isolationsevnen kun forøges lidt i Forhold til Afstanden mellem Ruderne, naar denne overskrider et Par Centimeter, og at flere Luftmellemlum kun hjælper ubetydeligt.

Hvad Ledningslyden i Jorden angaar, tillægges denne i Almindelighed for lidt Betydning; men har dog maalt Lydoverføring gennem Terræn paa Afstande indtil 1 km, og mærkelig nok har det ofte vist sig, at Lyden høres tydeligere længere fra end nær ved Lydkilden. Bekæmpelsen af de Rystelser, som Færdslen paa Gaden fremkalder, er en Opgave, som Arkitekter og Ingeniører ikke kan skyde fra sig, da disse Rystelser, foruden den Gene de er for Beboerne, i Tidens Løb kan volde Bygningerne alvorlig Skade; ja, Bygninger har endog af den Grund maattet rives ned, da de truede med at falde sammen.

Man kan paa en forholdsvis simpel Maade isolere Huset for denne Jordledningslyd; undertiden kan denne afbrydes eller dæmpes i Nærheden af Lydgiveren, f. Eks. ved at asfaltere Gaderne, i Stedet for at stenbrolægge dem. Fortovsbelægninger, der jo er gode Lydledere, bør ikke berøre Huset; dette kan hindres ved f. Eks. at indskyde en Korkplade mellem Mur og Fortov, men bedre endnu vilde det være at isolere Kældermuren helt ved at beklæde den udvendigt med Kork, se Fig. 13.

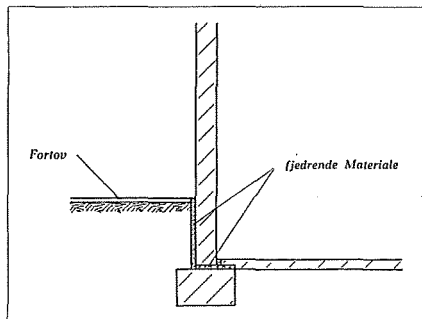


Fig. 13. Isolering af Kælderrum.

Da Fundamentet udøver et betydeligt Tryk mod Jorden, er dette en fortrinlig Leder og bør derfor isoleres fra Huset ved *gennem hele Bygningens Plan* at indlægge et ledningslydisolerende Materiale, d. v. s. tværfugeisolere, altsaa i Principet det samme som ved Maskinisolationen.

Lydindtrængning ad andre Veje end de to nævnte er mindre almindelig; nævnes skal dog, at Bæretænderne for de elektriske Sporvejenes Luft-Ledninger bør isoleres fra Muren.

*

Sammenfattes til Slut alt, hvad der i det foregaaende er nævnt, fremgaar det, at vil man lydisolere et Hus, bør man rette sine Bestræbelser mod saavidt muligt at hindre

1. *Lyddannelse i Huset,*
2. *Lydførplantning i dette, baade gennem Luften og gennem dets faste Dele, og*
3. *Lydindtrængning udefra.*