

Lydisolering

Af Professor E. Suenson

I. Indledning.

Man kan opnaa en meget effektiv Lydisolering for mindre end 33 Øre, og saa er der regnet med Apotekerpriser. Apotekerne sælger nemlig nogle smaa Paraffinpropper indsvøbt i Silketøj, og propper man dem i Ørerne, hører man næsten intet. Dette lærer os, at Lyden kommer til Øret i Form af Luftsvingninger; ved at lukke af for Luften, lukker man ogsaa af for Lyden. Men da Propperne ikke blot lukker af for den ubehagelige Lyd — Støjen — men for al Lyd, er de kun brugbare i særlige Tilfælde.

Vil man høre, hvad der foregaar i Stuen omkring een, men ikke hvad der foregaar uden for Stuen, maa man tage Propperne ud af Ørene og til Gengæld tilproppe alle Huller i Vægge, Loft og Gulv, saa der ikke gennem disse Huller kan trænge Lyd fra Omverdenen ind i Stuen. Dette er den første og væsentligste Forholdsregel, naar man vil lydisolere en Stue.

Men iøvrigt er Lydisoleringsproblemet saa omfattende, at man ikke kan gøre rede for alle dets Sider i en kort Forelæsning for Tilhørere, af hvilke maaske mange møder uden Kendskab til Emnet, og jeg vil derfor prøve, om jeg kan si det fra, der netop interesserer Dem, ved at tænke mig liggende som Patient paa een af Deres Sygestuer og fortælle Dem, hvad jeg hører, og hvorfor jeg hører det*).

Mine Lydindtryk vil jeg dele i to Grupper:

- 1) Lyde, som opstaar i min Stue.
- 2) Lyde, som opstaar udenfor min Stue, men ad een eller anden Vej trænger ind i den.

*) Se iøvrigt E. Suenson: Byggematerialer II, § 499—530.

Til den første Gruppe hører Støjen fra Fodtrin i Stuen. De haarde Slidlag, man gerne bruger af hygiejniske Grunde, er stærkt lydgivende, og vil man ikke gaa over til at bruge blødere Slidlag, maa man give Sygeplejerskerne Fodtøj med bløde Saaler. Af Betydning er det ogsaa, at der ikke er Resonansrum under det haarde Slidlag; banker man paa Laaget af en tom Trækasse, klinger det stærkt; er Kassen derimod helt fyldt med Sand, saa Laaget hviler paa Sandet, bliver Lyden langt svagere. Dette skyldes delvis, at der intet Resonansrum er under Laaget, saa Lyden ikke forstærkes, men ogsaa, at den primære Lyd er svagere, fordi Laaget ikke kan svinge som Helhed. Denne Iagttagelse lærer os, at Træbjælkelag ikke maa have Resonansrum under Gulvbrædderne, og at Rummet under disse helst skal være stoppende fuldt, saa Fyldstoffet understøtter Brædderne, hvilket kan opnaas ved Indstampning af Sand mellem Lerlaget og Brædderne.

Støjen fra Stuens eventuelle Vandaftapningshane kan være generende, hvordan den undgaas omtales Side 16.

Støjen fra Fejekostes og Gulvskrubbers Stød mod Væggen kan dæmpes ved Brug af Fodlister af Gummi.

Af den Lyd, de forskellige Lydgivere udsender, vil kun en ringe Del ramme mit Øre, Resten vil ramme Vægge, Loft og Gulv, min Seng og de andre Møbler. Hvis alle disse Flader var overtrukne med tykke, bløde Tæpper, vilde Lyden absorberes af dem og ikke blive tilbagekastet, men paa et Hospital, hvor man ikke bruger Gardiner, og hvor alle Fladerne er haarde, vil Lyden blive kastet mange Gange frem

og tilbage imellem dem, og ved hver Tilbagekastning rammer en Del af Lyden mit Øre, d. v. s. Støjen mangedobles. Antallet af Tilbagekastninger pr. Sekund vokser med aftagende Rumstørrelse, hvorved Lydstyrken kan blive generende stor, naar man taler i en snæver Telefonboks med haarde Vægge, derfor polstres disse eller beklædes med Filt, Celotex eller andre lydabsorberende Stoffer.

Paa de moderne Lydlaboratorier har man et lydsterkt Rum, hvis Vægge, Loft og Gulv er dannet af haarde Stoffer, og et lydsvagt Rum, hvis tilsvarende Flader er belagt med et tykt Lag Bomuld. I det første Rum lyder et Pistolskud som en kraftig, længe rungende Torden, i det andet som et svagt, kort Smæld.

Lydvirkningerne i de saakaldte *whispering galleries* skyldes dels de haarde Vægge, dels at disse har en Form, der koncentrerer Tilbagekastningerne i visse Punkter. I Kuplen over Saint Paul Kirken i London høres Ord, som hviskes ind mod Muren, i det diametralt modsatte Punkt med en Styrke, som kom de fra en Højtaler.

Den anden Gruppe er mere omfattende: Støjen fra den øvrige Del af Huset og Støjen fra Husets Omgivelser. Denne Gruppe vil jeg dele i 3 Underafdelinger (Fig. 1a):

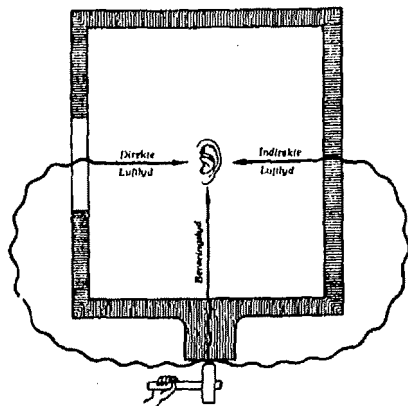


Fig. 1a. Lydforplantningsmaader.

A) Direkte Luftlyd d. v. s. Lyd, der forplanter sig fra Lydgiveren til Øret uden andet Mellemed end Luften, som naar Lyden fra en Flyvemaskine gaar ind gennem et aabent Vindue.

Naar man er generet af Gadestøj eller

af Stemmer i de tilgrænsende Rum, er det ofte direkte Luftlyd man hører, og for at udelukke den, skal man gøre Vinduer, Døre, Vægge, Loft og Gulv saa lufttætte som muligt.

Er en Vægs Lufttæthed ringe, vil baade høje og dybe Toner gaa let igennem, er Lufttætheden stor, vil navnlig de høje Toner blive standsede.

B) Indirekte Luftlyd, der adskiller sig fra (A) ved at Luftbølgerne paa deres Vej til Øret møder en lufttæt Væg, som kaster dem tilbage, men derved selv kommer i Svingning og sætter Luften paa Væggens anden Side i Svingning, som naar der mellem Flyvemaskinen og Øret er en lufttæt Rude.

En saadan Væg eller Vægdel har en bestemt Egensvingningstid; sætter man den i Svingning ved et enkelt Puf, vil den udføre et bestemt Antal Svingninger pr. Sekund. Naar den rammes af Lydbølger med anden Svingningstid, vil den i mer eller mindre høj Grad blive tvunget til at svinge som disse og derved føre Lyden videre. Jo nærmere Lydens Svingningstid ligger Væggens, des bedre overfører denne Lyden. De fleste Husvægge svinger ret langsomt og kan derfor bedre overføre dybe end høje Toner, hvorved den overførte Lyd forvanskes. En saadan Væg vil, naar den er lufttæt, sjældent kunne overføre Tale paa en saadan Maade, at Ordene opfattes; de høje Toner overføres ikke, man hører kun en dyb Mumlen.

Man kan i nogen Grad bedømme Væggens Egensvingningstid ved at slaa paa den med en Hammer; udsender den en høj Tone, er den egnet til at standse dybe Toner og omvendt.

Den Maade, paa hvilken en Væg svinger, naar den overfører Lyd, er meget sammensat, men kan anskueliggøres paa følgende Maade.

Hvis man fæstner et Haandtag i en Væg og langsomt trykker paa det eller trækker i det, vil Væggen, der er fastholdt langs Periferien, bøje sig som en elastisk Plade, og er Kraften givet, vil Bøjningspilen være des større, jo større Væggens Udstrækning er og jo mindre dens Stivhed er, mens Væggens Vægt er uden Betydning.

Hvis man derimod skiftevis trykker og trækker f. Eks. 800 Gange i Sekundet, vil kun den Del af Væggen, der ligger nær-

mest Haandtaget, blive ført med, thi inden Bevægelsen har faaet Tid til at forplante sig ud i Sideretningerne, har den skiftet Retning. Under disse Forhold vil Haandtagets Udsving, naar Kraften er givet, hovedsagelig afhænge af de nærmeste Vægdeles Masse (Vægt), idet Arbejdet medgaar til at overvinde disse Deles Inerti.

Det er navnlig paa denne sidste Maade, at Lydbølgerne paavirker en Væg. Denne rammes af et Virvar af Bølger, der hver især skiftevis trykker og suger, og samtidig med at nogle Dele af Væggen trykkes ud, bliver andre suget ind. Væggen bølger paa lignende Maade som et tungt Gardin, der paavirkes af Vindstød. Under disse Forhold afhænger de enkelte Vægdeles Udsving og dermed Væggens Evne til at overføre Lyden til Naborummet næsten udelukkende af Væggens Vægt pr. m².

Væggens Stivhed gør sig kun i væsentlig Grad gældende, naar den paagældende Vægdel — hvis Højde og Bredde kan skønnes at være lig med den indfaldende Tonens Bølgelængde — har Tendens til at svinge hurtigere end Tonen (d. v. s. har et Egensvingningstal, der er større end Tonens Svingningstal). For at dette Tilfælde skal indtræde, maa enten Tonen være meget dyb eller Væggen meget stiv i Forhold til sin Vægt, hvilket sidste er Tilfældet, naar Væggen er tynd og har et stort Elasticitetstal (Jernblik, Glasruder); Vægge af denne Art isolerer bedre end svarende til deres Vægt.

Under normale Forhold bestemmes en Vægs Lydisoleringsevne altsaa af dens Vægt pr. m², medens saavel dens Udstrækning som dens Indspændingsgrad langs Periferien er uden Betydning.

Den inddirekte Luftlyd er mindre generende end den direkte; den bekæmpes ved at gøre de nævnte Dele tykke, tunge og stive, saa de vanskeligt kan vibrere.

C) Berøringslyd eller Kontaktlyd, som jeg vil kalde den Lyd, der ikke ankommer til mit Værelses Vægge og Dæk gennem Luften, men gennem Husets faste Dele, og stammer fra en Lydgiver, der er i Berøring med disse. Hamrer man et Sted i Huset, vil Hammerslagene dels frembringe Luftlyd dels Berøringslyd, der forplanter sig gennem Husets Mure og Dæk og fra disse gaar over i Luften.

Berøringslyd kan stamme fra mange

forskellige Lydkilder, f. Eks. fra Klaverer, fra Maskiner i Bygningen, fra Vandtafningshaner, fra Fodtrin paa Gulvene, fra Gadefærdsel og Jernbaner paa og under Jorden, idet Lyden gennem denne ledes ind i Bygningen.

Meget ofte omdannes Luftlyd til Berøringslyd. Naar saaledes Væggen tilhøre i Fig. 1a sættes i Svingning af Luftlydsbølger, vil den røkke paa Underlaget, og hvis dette er haardt, vil der skabes Berøringslyd.

II. Lydstyrkemaaling.

Hvis jeg lader først 1 og derefter 10 Vækkeure ringe, vil De ikke synes, at Lydstyrken er blevet 10-doblet, men snarere fordoblet. Lydens fysiske Styrke og dens fysiologiske Styrke er altsaa meget forskellige Ting; Ørets Lydmaalestok er en helt anden end den fysiske.

1) *Lydens fysiske Styrke* kan maales ved de Trykdifferenser, den fremkalder i Luften, idet man opfanger noget af Lyden i en Mikrofon, hvorved der i denne opstaar elektriske Strømme, der sendes videre gennem en Forstærker til et Maaleapparat, hvis Udslag viser Lydtrykket. Da dette svinger mellem en positiv og en negativ Yderværdi, bestemmes dets »effektive Middelværdi«:

$$P_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2 dt}$$

hvor T er Svingningstiden og p Lydtrykkets Størrelse paa Tidspunktet t.

Lydtrykket angives i dyn/cm². Som forkortet Betegnelse for denne Enhed bruges i Amerika Bar, i Tyskland Mikrobar (μ B).

$$1 \text{ dyn/cm}^2 = \frac{1}{981} \text{ g/cm}^2 = 1,01972 \cdot 10^{-6} \text{ at}$$

Ved normal Tale vil Lydtrykket i nogle Centimeters Afstand fra Munden være 1—10 dyn/cm².

Ved Lydens Intensitet I forstaas den Energimængde, der i 1 Sekund passerer gennem 1 cm² af en Flade, der staar vinkelret paa Lydens Forplantningsretning. Den kan beregnes af P_{eff} ved Hjælp af Ligningen:

$$I = \frac{P_{eff}^2}{c \cdot \gamma}$$

hvor c er Lydens Hastighed i Luften (cm/sec) og γ Luftens Vægtfylde. Da c og γ varierer noget med Luftens Tryk og Tem-

peratur, er Forholdet mellem I og P² ikke helt konstant. Ved Stuetemperatur og normalt Tryk er $c \cdot \gamma = 415$. I maales i

$$\frac{\text{Erg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sek}} \text{ eller } \frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2} \quad (1 \text{ Watt} = 10^7 \text{ Erg/sek}).$$

Ved Lydtæthed E forstaas Energi-mængden i 1 cm³:

$$E = \frac{I}{c}.$$

Hvis Lydens Intensitet svækkes fra I₁ til I₂ ved at passere en Væg, kan dennes Evne til at svække Lyden angives ved Forholdet $\frac{I_1}{I_2}$. De Talværdier, man ved en saadan Maaling faar at gøre med, er meget store, thi Ørets Høreomraade er meget stort. Den saakaldte Normaltone, hvorved man forstaar en Tone med 1000 Svingninger pr. Sekund, bliver hørlig for Øret, naar den kommer op paa Intensiteten $I_0 = \text{ca. } 10^{-16} \frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2}$, og er endnu hørlig, naar Intensiteten er ca. en Billion Gange saa stærk; bliver Intensiteten større, gaar Lydfornemmelsen over til en Smertefornemmelse. Ørets Høreomraade strækker sig altsaa for Normaltonens Vedkommende fra I₀ til 10¹² I₀.

For at faa mindre Tal at regne med og af andre Grunde foretrækker man at skrive ovennævnte Forhold:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{10^x \cdot I_0}{10^y \cdot I_0} = 10^{x-y}$$

og at bruge Størrelsen:

$$S = 10 \cdot (x-y) = 10 \cdot \log \frac{I_1}{I_2}$$

som Maal for Væggens Lyddæmpnings-evne og overhovedet for Forholdet mellem to Lydintensiteter. Denne Skik er indført af Amerikanerne, der ogsaa har indført Betegnelsen decibel (= 0,1 bel) for den nye Enhed, der skrives forkortet som db. Tyskerne har omdøbt den til Fon.

Decibelværdien S kan ogsaa beregnes af Lydtrykkene P₁ og P₂. Der bestaar følgende Forhold:

$$S = 10 \cdot \log \frac{I_1}{I_2} = 20 \cdot \log \frac{P_1}{P_2}.$$

Decibel-Enheden er altsaa Maal for et Intensitetsforhold, men man bruger den ogsaa som Maal for selve Intensiteten, idet man da underforstaar, at Intensiteten er angivet i Forhold til en anden Intensitet I₀, som man er enedes om altid at sammenligne med. Den naturligste Værdi af I₀ vilde være Nul, men ligesom man ved al-

mindelige Temperaturmaaling er ikke maalet ud fra det absolutte Nulpunkt, men fra Vandets Frysepunkt eller fra Fahrenheits-skalaens Nulpunkt, bruger man ogsaa for Decibel-Skalaens Nulpunkt en Værdi, der ligger Ørets Høreomraade nærmere, nemlig den Værdi, der svarer til Normaltonens Hørlighedsgrænse. Denne Intensitet udtrykkes altsaa ved 0 db; de Normaltone-Styrker, hvis Intensitet udtrykkes ved et negativt Antal db er ikke hørlige for et normalt Øre.

Normaltonens Hørlighedsgrænse er dog ikke en skarp Grænse, den er forskellig for forskellige Forsøgspersoner. Dette har ført til, at Decibel-Skalaens Nulpunkt ikke er helt ens i Amerika og Tyskland.

I Amerika defineres Nulpunktet siden 1933 ved:

$I_0 = 10^{-16} \text{ Watt/cm}^2$ svarende til Lydtrykket $P_0 = 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ dyn/cm}^2$ ved 20° C og 76 cm Barometerstand. Tidligere havde man Nulpunktet liggende 13,8 db højere.

I Tyskland og Sverig defineres Nulpunktet ved, at den til Lydtrykket $P = 1 \text{ dyn/cm}^2$ svarende Lydstyrke sættes lig 70 db. Ved ovennævnte Temperatur og Tryk kommer Decibel-Skalaens Nulpunkt da til at ligge ved:

$I_0 = 2,5 \cdot 10^{-16} \text{ Watt/cm}^2$ svarende til Lydtrykket $P_0 = 3,16 \cdot 10^{-4} \text{ dyn/cm}^2$. Det tyske Nulpunkt ligger 3,8 db højere end det amerikanske.

En Lyds fysiske Styrke kan altsaa udtrykkes paa 3 Maader:

$$P = P_0 \cdot \sqrt{10^x} \text{ dyn/cm}^2 \quad I = 10^x \cdot I_0 \text{ Watt/cm}^2$$

$$S = 10 \cdot x \text{ db.}$$

Til $x = 0$ ($I = I_0$) svarer $S = 0$ db, til $x = 12$ ($I = 10^{12} I_0$) svarer $S = 120$ db.

Hvis et enkelt Vækkeur ringer med Intensiteten $I \frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2}$ og S db, vil k tilsvarende Vækkeure ringe med Intensiteten $k \cdot I$ og $S + 10 \cdot \log k$, hvadenten I er stor eller lille. Man finder deraf følgende sammenhørende Værdier:

k:	1	2	3	4	5	8	10
Antal db	S	S+3	S+4,8	S+6	S+7	S+9	S+10

Naar Vækkeurenes Antal fordobles, bliver Lyden altsaa 3 db kraftigere, til 4-Dobling svarer 6 db, til 8-Dobling 9 db.

De Maaleapparater, med hvilke Lydstyrken maales, kan enten simpelthen vise Lydtrykket eller den dertil svarende I-Værdi, men ofte viser de direkte Decibel-

Værdien maalt ud fra enten det amerikanske eller det tyske Nulpunkt. En saadan Decibel-Værdi er altsaa tvetydig. Naar man derimod angiver en Vægs Lyddæmpningsevne ved at 10-doble Forskellen mellem Moderlydens Styrke x db og den gennemtrængte Lyds Styrke y db, altsaa ved $10 \cdot (x-y)$ db, er denne Værdi uafhængig af Nulpunktets Beliggenhed.

2) *Lydens fysiologiske Styrke* er langt vanskeligere at bestemme end den fysiske Styrke. Ørets Lydstyrkefornemmelse kan næppe maales paa en for alle Lydarter og alle menneskelige Øren fælles Maalestok. Ligesom det er vanskeligt at afgøre, om en blaa Væg og en gul Væg er lige lyse, er det ogsaa vanskeligt at afgøre, om en fjern Torden eller en Nattergal støjer mest. Men hvis Lydkilderne er nogenlunde ensartede, kan Øret sammenligne Lydstyrkerne.

I Fig. 1b er som Abscisser afsat Logaritmen til de forskellige Toner Svingningstal. Flygelklaviaturet nederst paa Figuren anskueliggør Tonehøjden; det gælder for et stort Flygel, paa et lille Flygel mangler de 9 øverste hvide Tangenter. Ordinatmaalestokken tilvenstre angiver Tonens fysiske Styrke maalt i db. Den laveste Kurve viser Hørighedsgrænsens Afhængighed af Svingningstallet. For Normaltonen ($n = 1000$) ligger Hørighedsgrænsen ved 0 db, for en meget dyb Tone ligger den ved 60 db. Den øverste Kurve viser Smertegrænsens Beliggenhed, der kun i ringere Grad er afhængig af n . Afstanden mellem Hørigheds- og Smertegrænsen — Ørets Høreomraade — er størst for Toner med $n = \text{ca. } 1000$, og blandt disse Toner har man derfor valgt den med det runde Tal 1000 til Normaltone.

Baade Hørigheds- og Smertegrænsen er fundne som Middelkurver ved Forsøg med talrige Forsøgspersoner. Samtidig har man ladet disse skønne over de forskellige Toner Styrke i Forhold til Normaltonens, idet man har ladet Forsøgspersonen skiftevis lytte til den omspurgte Tone — f. Eks. en Tone med $n = 64$ og $S = 60$ db — og til Normaltonen og ændret dennes Styrke, indtil de to Toner syntes lige stærke — Normaltonens Styrke i det nævnte Tilfælde var da $S = 20$ db. Derved er man blevet i Stand til at indtegne de mellem-liggende Kurver, som viser, hvilken fysisk Styrke de forskellige Toner skal have, for

at Øret skal fornemme dem af samme Styrke som en Normaltone, hvis fysiske Styrke er 10, 20, 30 o. s. v. decibel. Man ser, at en Tone med given fysisk Styrke fornemmes des svagere af Øret, jo dybere den er. Denne Forskel er navnlig udpræget ved svage Lyde, jo stærkere en Tone er, des mindre betyder dens Svingningstal for Ørets Styrkefornemmelse.

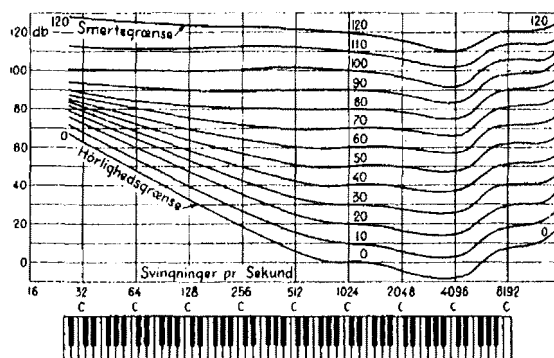


Fig. 1b. Hørighedskurver.

De viste Kurver kaldes Hørighedskurver, idet de repræsenterer Lyde, hvis Hørighed er ens, d. v. s., hvis Styrke fornemmes ens af Øret. Som Maal for Hørigheden bruges den lige saa hørlige Normaltones Decibeltal, alle Lyde svarende til den næstlaveste Kurve har f. Eks. Hørigheden 10 db. En Lyd har saaledes to Decibel-Tal, eet, der giver dens fysiske Styrke og et andet, der giver dens Hørighed; kun for Normaltonen falder de to Tal sammen.

Kurverne er tegnede efter de nyeste amerikanske Maalinger, der i væsentlig Grad afviger fra de ældre.

Ordet decibel eller Fon kan altsaa betyde 3 forskellige Ting:

1) Forholdet mellem to Lydes fysiske Styrke ($S = 10 \cdot \log \frac{I_1}{I_2}$). En saadan Decibel-Værdi er uafhængig af de forskellige Nulpunktsdefinitioner; dette gælder altsaa ogsaa en Vægs Lyddæmpningsevne.

2) En Lyds fysiske Styrke maalt ud fra det vedtagne Nulpunkt ($S = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$). En saadan Decibel-Værdi er afhængig af Nulpunktsdefinitionen og derfor ikke ganske den samme i Amerika og Tyskland, naar I er givet.

3) En Lyds Hørighed udtrykt ved en lige saa hørlig Normaltones fysiske Styrke.

Medens (1) og (2) er fysisk definerede Størrelser, er (3) afhængig af Forsøgs-personen.

Skal en ren Tones Hørlighed bestemmes, kan man maale Tonens fysiske Styrke og derefter gøre Brug af Fig. 1b. En Toneblandings — en Støjs — Hørlighed maa derimod bestemmes direkte og kræver alt-saa et stort Antal Forsøgspersoners Medvirken, et Faktum, som man paa forskel-lige Maader søger at omgaa.

Barkhausens Støjmaaler er et Apparat, der kan udsende en summende Lyd med omkring 1000 Svingninger pr. Sekund og angive denne Lyds fysiske Styrke i Fon. Man lytter til Sumningen gennem en Tele-fon, der holdes for det ene Øre. Skal Støjen i en Stue maales, stiller man sig i denne, saa Stuelyden gaar direkte ind i det andet Øre, hvorefter Sumningens Styrke ændres saa meget, at den synes at svare til Stuelydens Styrke; denne angives da ved det Antal Fon, som Apparatet viser. Nøjagtigheden er højst 6 Fon.

Er Stuelydens Klangfarve meget for-skellig fra Summerens, maa Stuelyden sammenlignes med en anden Normallyd, der ligner den mere, hvorved der kom-mer en yderligere Usikkerhed ind i Maa-lingen.

Skønt Øret i sidste Instans maa være Højesteret i Lydisoleringssspørgsmaal, eg-ner et enkelt Øre sig ikke for systematiske Lydundersøgelser; det personlige Skøn er usikkert, og de forskellige Personer be-dømmer forskelligt.

Derfor foretrækker man undertiden at ombytte Menneskeøret med et »elektrisk Øre«, d. v. s. et Apparat, anbragt mellem Mikrofon og Maaleapparat og af en ind-viklet Bygning, hvorved Støjens forskelli-ge Toner svækkes i forskellig Grad, nemlig i Overensstemmelse med de forannævnte Diagrammer (Fig. 1b), altsaa som man mener, at et normalt Øre vilde fornemme dem; Styrken af den saaledes transforme-rede Støj maales derefter i Fon. Ved disse Maalere udelukkes de med et subjektivt Skøn følgende Tilfældigheder, men Værdi-erne bliver naturligvis ikke mere menne-skelige.

Naar en Støjs Styrke opgives at være S db eller Fon, betyder det altsaa, at et normalt Øre fornemmer den af samme Styrke, som det fornemmer Normaltonen, naar denne udsendes med den fysiske Styrke S db. Af hosstaaende Sammenstil-ling faar man et Begreb om, hvor stærke forskellige Lyde er, naar de maales i den-ne Enhed. Desuden er den paagældende

Lydstyrke		db	
Watt cm ²	I ₀		
10 ¹²	I ₀	120	Smertefornemmelse
10 ¹¹	I ₀	110	Motorecykel uden Lyddæmper, Kedelsmedie
10 ¹⁰	I ₀	100	Støj i Flyvemaskine, kraftigste Bilhorn i 7 m Afstand, Iltog i 4 m Afstand, Løvebrøl
10 ⁹ -10 ⁸	I ₀	90-80	Motorecykel med daarlig Lyddæmper, elektrisk Bilhorn i 8 m Afstand
10 ⁸	I ₀	80	Meget stærk Radiomusik, stærk Gadestøj, Støj i underjordisk Tog
10 ⁸ -10 ⁷	I ₀	80-70	Motorecykel med god Lyddæmper, alm. Bilhorn i 8 m Afstand, Støj i Jernbanetog
10 ⁷	I ₀	70	Støj i Sporvogn, meget livlig Restaurant, Kontor med mange Skrivemaskiner
10 ⁶	I ₀	60	Alm. Gadestøj, Konversation, høj Radiotale
10 ⁵	I ₀	50	Alm. Restaurant, Butik, Konversation, aaben Vandhane
10 ⁴	I ₀	40	Overrivning af Papir, Konversation, sagte Radiomusik
10 ³	I ₀	30	Meget rolig Gade uden Færdsel
10 ²	I ₀	20	Rolig Have, Hvisken hørt i 1 m Afstand
10	I ₀	10	Bladraslen i svag Brise
	I ₀	0	Hørlighedsgrænse

Normaltones Styrke opgivet i Watt/cm², dog kun som Multipla af I₀. Da I₀ er lidt forskellig i Amerika og i Tyskland, burde db-Værdierne ogsaa være det, men Forskellen betyder intet i Forbindelse med Tabellens vage Angivelser.

Betegnelserne db og Fon er i Øjeblikket ensbetydende bortset fra, at Nulpunkterne er lidt forskellige. Maaske vil man før eller senere enes om at bruge db alene for den fysiske Styrke og Fon alene for Hørligheden.

Som det fremgaar af Fig. 1b er man nogenlunde orienteret m. H. t. Toners Hørlighed, naar man bevæger sig paa en vandret Linie i Figuren, men hvorledes er Forholdene, naar man bevæger sig paa en lodret Linie? Hvorledes opfatter Øret Trinene 10, 20, 30 db?

Tidligere mente man, at Ørets Fornemmelse er proportional med Decibel-Antallet (*Weber-Fechners Lov*), saaledes at Stigningen fra x db til x+1 db opfattedes ens af Øret, enten x er stor eller lille, og desuden mente man, at 1 db var omtrent den mindste Styrkeforskel, et normalt Øre kunde opfatte, men nyere Undersøgelser viser, at jo svagere den oprindelige Lyd er, des tydeligere fornemmes en Forstærkning paa 1 db. Jeg har søgt at udtrykke nogle af *Geiger & Firestone* fundne Forsøgsværdier*) i en Formel og er kommet til følgende:

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^5$$

hvor θ_1 og θ_2 betegner Ørets Styrkefornemmelser af en Lyd, der først er S₁ db og derpaa sættes ned til S₂ db. Af dette Udtryk følger, at naar Lydstyrken synker fra 80 til 70 db, bliver Ørets Lydstyrkefornemmelse halveret ($\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{100}{52}$); naar den synker fra 55 til 45 db, synker θ fra 100 til 37; naar den synker fra 30 til 20 db, synker θ fra 100 til 13. For Øret er Springet fra 30 til 20 db altsaa langt større end Springet fra 80 til 70 db.

Endvidere finder man af Formelen, at hvis Lydstyrken aftager 3 db, hvilket vil sige, at dens I halveres, synker θ fra 100 til 82, hvis S = 80 db, og fra 100 til 59, hvis S = 30.

*) The Journal of the Acoustical Society of America, Juli 1933, S. 25.

III. Lydisolering.

De Vægge, Loftet og Gulve, der begrænser en Lejlighed, bør som Regel være saa lydtætte, at Lyden ved at passere dem svækkes 40—60 db; Naboerne kan da støje ret kraftigt, uden at det i væsentlig Grad generer. Til Lejlighedens interne Vægge behøver man ikke at stille saa store Krav, men under 30 db burde Dæmpningen ikke være, og det samme gælder for Døre. For Vinduer vil 25 db være en passende Værdi.

Saadanne Tal maa dog modtages med stort Forbehold, dels fordi en given Vægs Dæmpningsevne kan variere 50 pCt., eftersom den bestemmes paa det ene eller det andet Laboratorium, dels fordi Dæmpningsevnen kan være meget forskellig overfor høje og lave Toner. De Værdier, der angives i det følgende, er Middeltal af Værdier fundne for talrige Tonehøjder (100—3000 Svingninger pr. Sekund).

Jeg vil nu gennemgaa Stuens Begrænsninger i Ordenen: Vægge, Vinduer, Døre, Dæk (Etageskillelser) med Henblik paa Lydtæthed og dernæst omtale, hvad man kan gøre for at holde Berøringslyd fra Maskiner og Vandledninger borte.

A. Vægge.

For Vægge gælder som for alle andre Begrænsninger, at deres Lydtæthed vokser med deres Lufttæthed; derfor bør der ikke være Døre i dem, hvis de skal være lydtætte. Ogsaa Væggens Tilslutning til

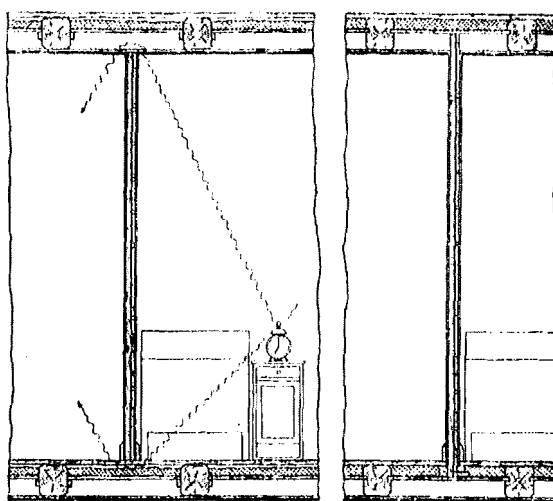


Fig. 2. Daaelig og god Opstilling af Bræddevæg.

Dækkene og de tværgaaende Vægge maa man skænke Opmærksomhed (Fig. 2).

Er det nødvendigt at føre Rørledninger tværs gennem Væggene, maa der tættes omhyggeligt omkring dem.

Ventilationskanaler og Rørnicher maa udføres saaledes, at der ikke bliver direkte Luftforbindelse mellem Rummene.

Naar Skillevægge opstilles paa et Betondæk eller paa en Jernbjælke, er det rigtigt først at udlægge en Korkpladestrimmel eller anden blød Strimmel, der hindrer Berøringslyds Opstaaen og Overgang fra Dæk til Væg eller omvendt.

Almindelige Vægge kan inddeles i 1) Enkeltvægge, 2) Forskallede Vægge og 3) Dobbeltvægge.

1) Ved *Enkeltvægge* skal forstås Vægge, der enten bestaar af et enkelt Lag eller af flere Lag, der er saa fast forbundne, at de svinger som et enkelt Lag, f. Eks. Mure, Pladevægge, dobbelte Bræddevægge. Naar disse Vægge er lufttætte, vil deres lyddæmpende Evne variere med Kvadrat-

metervægten efter en Kurve som Fig. 3; man ser, at en Vægtforøgelse navnlig er virksom for de meget lette Vægges Vedkommende. De Kurver, forskellige Eksperimentatorer har fundet, har nogenlunde samme Form, men ligger undertiden højere, undertiden lavere end den tegnede; $\frac{1}{2}$ Stens Mur med Puds paa begge Sider vejer godt 200 kg/m^2 , og for en Væg af denne Vægt svinger de fundne Dæmpningstal mellem 40 og 62 db. Dette skyldes for en stor Del, at Forsøgsrummene har været forskellige; i nogle Tilfælde har

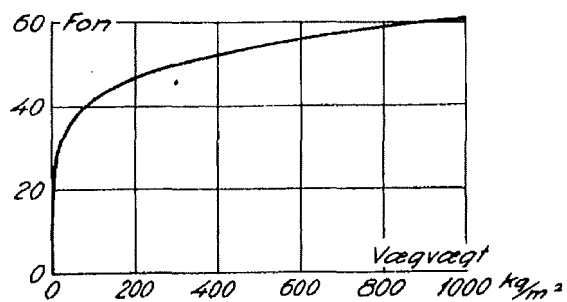


Fig. 3. Lyddæmpningens Vækst med Væg vægten.

ENKELTVÆGGES LYDDÆMPNING			
Materiale	Tykkelse cm	Vægt kg/m ²	Dæmpning db
Karton	0,4	2,4	20
Porøse Træfiberskive (Colotex, Insulite)	1,3	3,5	23
Krydsfiner	0,6	3,4	23
Haard Træfiberskive	0,4	3,8	24
Krydsfiner	1,0	5,7	24
Brædder	2,3	11,9	28
Glas	0,3	7,0	29
Lameltræ (Møbelplade)	4,2	21,5	30
Jernplade	0,3	24,0	31
Glas	0,6	14,0	32
Jernplade	0,2	15,5	33
Gipsplade	5,1	51,0	38
Puds + 7 cm Bimsplade + Puds		120	41
„ + 7 „ Slagge „ + „		115	42
„ + 5,1 „ Gips „ + „		103	43
„ + 10 „ hule Teglsten + Puds		140	43
Rabitz	6,3	113	44
Jernplade	0,6	50	45
Puds + 12 cm Teglsten + Puds		250	48
Beton	10	250	50

Modtagerrummet været stærkt absorberende, saa man kun har maalt den fra Forsøgsvæggen direkte udstraalede Lyd, i andre Tilfælde har Modtagerrummet været lidet absorberende, saa man ogsaa har faaet den tilbagekastede Lyd med. Men ogsaa Lydgiverens Art har stor Indflydelse. Det er i særlig Grad høje Toner, man kan udelukke ved at gøre Væggen tung, thi de høje Toner har for høje Svingningstal til, at de kan faa en tung Væg til at svinge i Takt med sig. Dybe Toner har lave Svingningstal, og for at udelukke dem er det nok saa vigtigt, at Væggen er stiv, end at den er tung.

Nogle Værdier fundne eller korrigerede af Prof. *Kreüger*, Stockholm, er meddelt i Tabellen Side 8.

Kurven i Fig. 3 bliver omtrent retliniet, hvis man i Stedet for Vægvægten G kg/m^2 indfører dens Logaritme. For denne rette Linie angiver *Berger* Ligningen:

$$S = -25,2 + 12,25 \log n + 18,3 \log G$$

hvor n er Tonens Svingningstal.

For n varierende mellem 100 og 3000 fandt *Kreüger* gennemsnitlig:

$$S = 9 + 17 \log G.$$

Begge Udtryk forudsætter $G > 30 \text{ kg/m}^2$.

Af begge Udtryk følger, at en Fordobling af Vægvægten øger Væggens Isoleringssevne med godt 5 db, hvadenten den oprindelige Vægt er lille eller stor.

En Boligs Ydermure er som Regel saa tykke, at den Lyd, der gaar igennem dem, ingen Rolle spiller i Forhold til den Lyd, der gaar igennem Vinduerne.

Til de ikke bærende Skillevægge er Murværk eller Jernbeton at foretrække for Plader eller Brædder, da baade Lufttætheden, Vægten og Stivheden bliver større. $\frac{1}{2}$ Stens Mur eller en tilsvarende tung Jernbetonvæg vil som Regel gøre Fyldest; kræves en bedre Isolering, vil man betænke sig paa at opnaa denne ved at forøge Vægtykkelsen, dels fordi Forøgelsen skal være betydelig for at nytte, dels fordi Skillevæggene bæres af det underliggende Dæk, der derfor ogsaa skal forstærkes. Snarere vil man i saadanne Tilfælde ty til en forskallet Væg eller en Dobbeltvæg.

2) Ved *forskallede Vægge* skal forstaaes en Mur eller Pladevæg, der paa en eller begge Sider er forskallet med Brædder eller Byggepap sømmet paa Lægter, der selv er sømmede paa Væggen. Naar Slaggepladevæggen i Tabellen ovenfor paa begge

Sider fik paasømmet Lægter ($2,5 \times 2,5 \text{ cm}^2$) med 1,3 cm Fiberplader og Puds, steg Vægten fra 115 til 160 kg/m^2 og Dæmpningen fra 42 til over 57 db. Lignende Resultater er fundne i andre Laboratorier, saa man tør regne med, at en Forskalling med pudset Fiberplade forøger Dæmpningen med 8 eller 16 db, eftersom Væggen forskalles paa en eller paa begge Sider.

Sømmes Fiberpladen direkte paa Væggen, bliver dennes Lydtæthed lidet forøget, men hvis et Værelse beklædes paa denne Maade, vil den Støj, der opstaar i Værelset, blive forringet, hvilket ogsaa er en Fordel for Naboværelserne.

3) Ved *Dobbeltvægge* skal forstaaes Vægge dannede af 2 Lag, der er fuldstændig adskilte af et Luftmelletrum. Slige Vægge kan gøres mere lydtætte end en Enkeltvæg eller en forskallet Væg af tilsvarende Vægt og er derfor paa deres Plads, saavel hvor Lydtætheden skal være særlig stor, som hvor Væggen skal være let i Forhold til sin Lydtæthed.

Hvis en Enkeltvæg vejende $G \text{ kg/m}^2$ og dæmpende S db flækkes i to Halvdele, vil een af disse veje $\frac{1}{2} G \text{ kg/m}^2$ og dæmpe $S-5$ db; stilles den anden op i passende Afstand fra den første, kunde man vente, at den samlede Dæmpningsevne vilde blive $2 \cdot (S-5)$ db. Saa højt naar man dog vanskeligt, men Principets Fordelagtighed er indlysende.

De to Enkeltvægge bør hver især være saa lydtætte som muligt, Luftlaget mellem dem saa tykt som muligt, mindst 5 cm, og der maa ingen som helst Forbindelse være mellem dem, ikke engang et enkelt Søm. Den først opstillede Vægghalvdels Inderside kan med Fordel beklædes med Tangmaatter eller andre lydabsorberende Stoffer, der hindrer, at Lyden kastes frem og tilbage mellem de to haarde Vægflader og derved forstærkes; endnu bedre er det, om begge Vægges Inderflader beklædes, men det er ikke saa let at gennemføre.

Som Eksempel paa hvad der ved et Laboratorieforsøg kan opnaas ad denne Vej skal nævnes, at en upudset Dobbeltvæg af 5 cm tykke Gipsplader med 5 cm Luftmelletrum (Vægt: 98 kg/m^2) kan virke som en 25 cm tyk Mur (Vægt: 425 kg/m^2), og med 10 cm Luftmelletrum som en 31 cm tyk Mur, og at en Beklædning af begge Inderflader i sidstnævnte Væg med 2,5 cm

tyk Filt kan bringe den i Klasse med en 63 cm tyk Mur.

Saa gode Resultater er det dog langt fra muligt at opnaa i Praksis, bl. a. fordi de to Vægghalvdele rører ved Dæk og Tværvægge og saaledes er i ledende Forbindelse, medens de ved Forsøget var helt adskilte, men utvivlsomt ogsaa af andre

Grunde. Man maa ogsaa erindre, at saadanne Pladevægge let faar Svindrevner, gennem hvilke Lyden kan gaa, hvilket i ringere Grad er Tilfældet med Mure og Jernbetonvægge.

Prof. *Kreüger* har fundet hosstaaende Værdier:

DOBBELTVÆGGES LYDDÆMPNING		
Materiale	Vægt kg/m ²	Dæmpning db
A. 2 Vægge af 5 cm Slaggeplader, Puds udvendig, Mellemlaget:		
a. 1,3 cm Træfiberplade	150	46
b. Luft... ..	145	47
c. 1,5 cm Tangmaatte	150	50
B. 1 Væg af 7 cm Slaggeplade pudset paa begge Sider:		
a. Ingen Beklædning	115	42
b. Paa den ene Side selvstændige Stolper (5 · 10 cm ²) 1 cm fra Pladevæggen beklædt med:		
1,3 cm Træfiberplade	125	56
1,3 cm Gipsplade	130	57
1,3 cm Træfiberplade + Puds	145	64
c. Paa begge Sider:		
Selvstændige Stolper + 1,3 cm Fiberplade + Puds	170	70
C. 2 Vægge af pudsede 1,3 cm Træfiberplader paa adskilte Stolper. Vægtykkelse: 27 cm. Afstand mellem Stolperækkerne: 1,5 cm.		
a. Luft mellem Stolperækkerne... ..	55	59
b. 1,3 cm Træfiberskive mellem do.	60	62

Det kan være en Fordel, at de to Enkeltvægge er af uens Materiale eller af uens Tykkelse. Hvis de nemlig er ens, kan de begge komme i Resonans med en enkelt Tone, saaledes at denne gaar usvækket igennem, hvilket ikke er muligt, hvis de har forskellig Svingningstid.

Fylder man Mellemmrummet med Sand, tvinges de to Vægge til at følges ad, hvilket forringer Isoleringsevnen, men samtidig forøges Vægten, hvilket forøger Isoleringsevnen. Den samlede Virkning afhænger derfor af Mellemmrummets Vidde, der hyppigst er saa ringe, at den førstnævnte Virkning bliver den dominerende. Kun hvis de to Vægge i Forvejen er fast forbundne, f. Eks. fastsømmede paa samme

Stolperække, er der større Sandsynlighed for, at Fyldningen vil gavne.

Fyldning med løse, meget eftergivende Stoffer som Korkkrummer, Asbestfibre, Slaggeuld, Risskaller, vil ikke i væsentlig Grad kunne paavirke Væggens Svingning (med mindre Væggene er meget tynde: Metalblik) eller Vægt, men saadanne Stoffer vil kunne virke absorberende paa den Luftlyd, der kastes frem og tilbage mellem de to Vægges Indersider, og derved forøge Lydtætheden.

B. Vinduer og Døre.

Vinduer. Den meste Gadestøj kommer ind gennem Vinduerne. Gennem et Vindue

gaar der langt mere Lyd end gennem en $\frac{1}{2}$ Stens Mur af samme Størrelse. Stuens samlede Vinduesareal maa derfor helst være ringe.

Lyden forplantes først og fremmest gennem Vinduernes Utætheder (direkte Luftlyd), i mindre Grad ved at Ruderne svinger (indirekte Luftlyd). Det Antal db, en Lyd dæmpes ved at passere et Vindue, afhænger derfor af dets Lufttæthed. Eksempelvis har man fundet følgende Dæmpningstal:

Vindue med 0,5 mm Luft i Falsen:	12 db
Vindue med 0,2 mm Luft i Falsen:	26 db
Vindue lufttæt indfattet	35 db
Vindue med Forsatsruder i 5 cm Afstand, omhyggelig Udførelse	40 db

Tallene opfordrer til ikke at høvle for meget af Vinduer, der binder.

Vinduerne i en almindelig Bolig burde dæmpe mindst 25 db, i Sygehuse og Skoler helst 40 db, saaledes at Gadestøj af 60 db Styrke neddæmpes til henholdsvis 35 og 20 db.

Vinduerne skal ikke blot være tætte i Falsene, der skal ogsaa være Tæthed mellem Vinduet og Muren. Overklæbes utætte False med tykt Papir, forøges Lydtætheden stærkt.

Jo dybere Falsen gøres, des lydtættere bliver den. Endvidere virker Udvidelser (Fig. 4) gavnligt, idet en Del af Lydener-

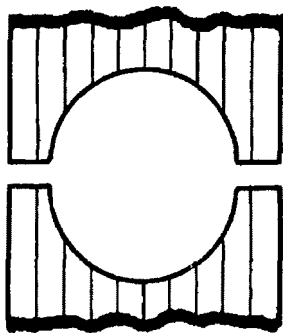


Fig. 4.

gien gaar tabt i dem. Denne Virkning gør sig gældende ved Dobbeltvinduer og Dobbeldøre, og det skyldes ogsaa den, at Nøglehuller ikke er nær saa skadelige som Spalter. I Staalvinduers False er der Udvidelser af denne Art (Fig. 5), og de bidrager til disse Vinduers Lydtæthed, som

øvrigt er en Følge af deres Lufttæthed og Stivhed.

Uoplukkelige Vinduer er lufttættere og derfor ogsaa lydtættere end oplukkelige. Den Lyd, man hører gennem et helt luft-

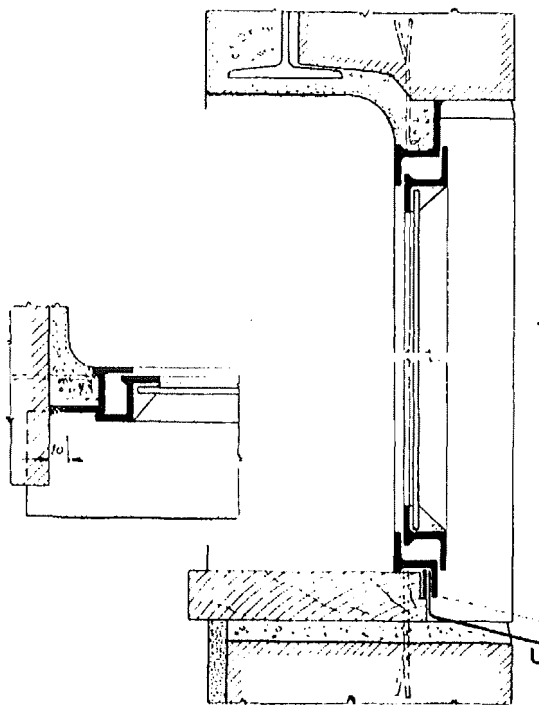


Fig. 5. Staalvindue.

tæt Vindue, er indirekte Luftlyd; den bekæmpes ved at gøre Ruderne smaa og tykke, saa de vanskeligere sættes i Svingning, samt ved at bruge Forsatsvinduer; i sidste Tilfælde bør Luftlagets Tykkelse være mindst 5 cm. En meget høj Isole-ringsevne har man fundet for 3mm Glas+10mm Luft+6mm Glas (47 db). En Forøgelse af Glas- og Lufttykkelsen svækker navnlig de dybe Toner.

Døre. For Dørene gælder det samme som for Vinduerne. Hvis man ikke kan have Dørtrin af Hensyn til Sygevojnene, bør Dørene forsynes med Gummilister, der fejer hen over Gulvet (Fig. 6—8).

Listerne Fig. 6 og 7 slaar om, naar Døren skifter Bevægelsesretning, og maa ikke være saa stive, at Døren derved løftes i Hængslerne, hvilket støjer; Listen Fig. 8 vil, naar Fligen er passende lang og stiv, ikke slaa om. Man har ogsaa Lister (af Filt), som ligger skjult i en Not i Døren,

naar denne staar aaben, men automatisk presses mod Gulvet, naar Døren lukkes.

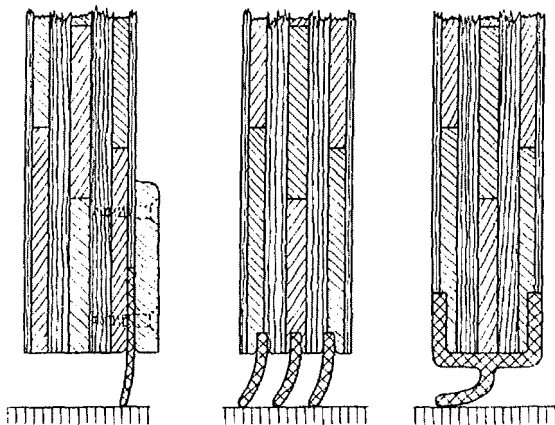


Fig. 6-8. Gummilister, der erstatter Dørtrin.

Ogsaa i Dørfalsene indlægges med Fordel Gummi- eller Filtlister, hvorved man tillige undgaar Støj ved Dørens Lukning, hvilket navnlig er af Betydning ved Jerndøre.

For Trædøres Lyddæmpningsevne har man fundet følgende Værdier:

Fyldingsdøre	24.36 db
Glatte sammenlimede Døre	30.45 db
Dobbeltdøre	41.56 db

30 db burde være Minimum i Boliger, 40 db i Sygehuse og Skoler.

Næst efter at Døren selv er lufttæt og slutter lufttæt, er det af Betydning, at den er tung, saa den ikke kommer i Svingning og udsender indirekte Luftlyd. Dens Godhed i saa Henseende vokser med Vægten pr. m². Beslaaning med Jernblik forøger baade Vægt og Lufttæthed og gavner derfor.

Iøvrigt maa man skelne mellem 3 Slags Døre:

1) Massive Døre, som de almindelige Fyldingsdøre og sammenlimede Døre, hvis enkelte Lag er fast forbundne. Slige Døres Lydtæthed vokser med Vægten pr. m², naar Lufttætheden er givet. En Polstring menes at være virkningsløs eller rettere kun at virke ved sin Vægt. Nøglehuller bør undgaas eller i alt Fald have Klap paa begge Sider. Flerlagsdøre sammenlimede af to Plader af forskelligt Materiale me-

nes ikke at isolere bedre end Enkeltlagsdøre af samme Vægt pr. m².

2) Hule Døre kan derimod være mere isolerende end massive Døre af samme Vægt pr. m². Hulrummet kan være fyldt med Luft eller med et blødt Stof, der ikke kan overføre den ene Plades Vibration til den anden. Det bløde Stof kan f. Eks. være Slaggeuld, Glasuld eller Korkkrummer, men et Luftrum er ofte lige saa godt, dog ikke i Jerndøre; tynde Metalplader er nemlig altid i nogen Grad bulede, hvorved Egenfrekvensen kan variere stærkt fra Sted til Sted; derfor kan der let et eller andet Sted opstaa Resonans med en af de indfaldende Toner, som da gaar ret usvækket gennem Væggen; disse Resonansmuligheder forsvinder, naar Hulrummet fyldes med et passende tungt eller fastpakket Stof. I Trædøre bør Hulrummet ikke fyldes med et saa fast Stof som f. Eks. Fiberplader; en Dør fremstillet af en Fiberplade med paalimede Møbelplader virker kun som en massiv Dør af samme Vægt; hvis man derimod limer en Fiberplade paa Indersiden af hver af Møbelpladerne og bevarer et Luftrum mellem Fiberpladerne, bliver Resultatet godt. Forøges Hulrummenes Antal udover 1, kan endnu bedre Resultater opnaas.

De to Yderplader bør som Regel kun være forbundne langs Periferien, saa den enes Svingning ikke kan overføres til den anden. Yderligere Forbindelser, der gør Døren stivere, kan dog i visse Tilfælde forøge Isoleringsevnen overfor dybe Toner saa meget, at det mere end opvejer Ulempen ved, at høje Toner gaar lettere igennem.

3) Dobbeltdøre virker stærkt lyddæmpende; en saadan Dør bestaaende af 2 massive Døre vil som Regel virke bedre end 1 hul Dør. Polstres Døren bør det være paa Indersiden, men Virkningen er ikke stor. En Portiere virker stærkest mellem Dørene, men ogsaa dens Virkning er ringe.

Ved alle 3 Slags Døre er det vigtigt, at Dørkarm og Dørindfatninger slutter lufttæt til Væggen.

C. Dæk.

Luftlyd. Dækkene i et Hus bør være saa lydtætte, at en 40—60 db stærk Luftlyd

ikke kan høres igennem dem, og at stærkere Luftlyde altsaa dæmpes 40—60 db.

Ligesom for Væggene er det ogsaa for Dækkene Hovedsagen, at de er lufttætte. Kan man høre Tale fra den ene Etage til den anden, skyldes det ofte manglende Tæthed. De fleste Former af Jernbetondæk er i denne Henseende gode. De almindelige Etageadskillelser af Træbjælker med tykt Lerlag paa Indskudsbrædderne er som Regel en Del ringere, men virker dog tilfredsstillende. F. Eks. fandtes en 23 cm tyk Jernbetonplade at dæmpe 58 db, medens et 27 cm tykt Træbjælkelag af nævnte Art dæmpede 43 db. Men i en Del moderne Huse har man i Stedet for Træbjælker brugt Jernbjælker og ikke ført Lerlaget hen til disse (Fig. 9), saaledes at der langs hver Bjælke er en lodret Luftvej begrænset foroven af Gulvbrædderne og forneden af Forskallingsbrædderne, og her gaar Lyden igennem.

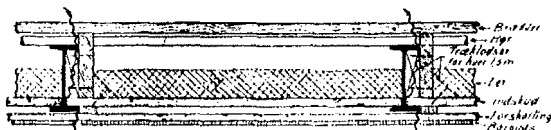


Fig. 9. Dæk med mangelfuld Lydtæthed.

En lignende Fejl begaas ved Træbjælkelag, naar den yderste Bjælke ikke lægges tæt til Muren (Fig. 10). Hensigten hermed er at holde Murfugtighed borte fra Bjælken, men dette opnaas ogsaa ved Indlæg af Asfaltpap, og denne forøger Lydtætheden.

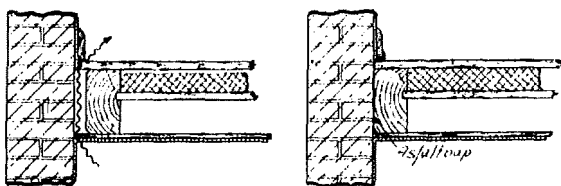


Fig. 10. Trædæk med mangelfuld og god Lydtæthed.

Alt hvad der forøger Dækkets Lufttæthed — f. Eks. Paalægning af Gummi, Linoleum, Mørtel eller andre fugefri og tætte Slidlag — forøger ogsaa dets Lydtæthed. Alt hvad der formindsker Dækkets Lufttæthed — som naar Lerlaget i de almindelige Trædæk erstattes med et Slagelag — formindsker ogsaa dets Lydtæthed.

Den indirekte Forplantning af Luftlyd ved Svingninger af selve Dækket som Helhed eller af de mellem Bjælkerne liggende Brædder eller Betonplader plejer ikke at genere, med mindre Dimensionerne er usædvanlig spinkle. For Trædæk med Forskalling, Indskud, Ler, Blind- og Slidgulv og for andre Former af Trædæk, alle med ca. 4 m Spændvidde, har man fundet Egensvingningstallet liggende mellem 16 og 23 Svingninger pr. Sekund og for et Jernbetondæk med indstøbte hule Blokke (samlet Tykkelse 19 cm) har man fundet 70, altsaa Tal, der alle ligger lavere end Svingningstallene for almindelig Tale (80—1400). Kun meget dybe Toner kan forplantes gennem saadanne Dæk, og den forplantede Lydstyrke vil da vokse med Dækkets Udsving; dette er — under ensartede Forhold — langt mindre for Jernbetondæk end for Trædæk, og Jernbetondækket kommer ogsaa hurtigst i Ro.

I denne Forbindelse vil jeg gøre opmærksom paa, at man ikke bør lade Træbjælker være gennemgaaende tværs over Husets Midterskillerum, naar man vil undgaa, at Rystelser fra det ene Gulv forplanter sig til det andet. Jeg har ved Maaling i mit eget Hus fundet, at disse Rystelser udelukkende forplanter sig gennem de Bjælker, der er gennemgaaende (hver 3.). Den afstivende Virkning, saadanne Bjælker har paa Huset, kan man opretholde ved at sammenlaske de to Bjælkeender.

Trinlyd. Meget generende kan Støjen af Fodtrin paa det Dæk, man har over sig, være. Her staar man overfor en Berøringslyd, idet Fodtøjets Slag mod Gulvmaterialet sætter dette i Svingninger, der forplanter sig ned i Gulvet til den underliggende Loftsflade og fra denne overføres til Luften. Kan man lægge et meget tykt Tæppe paa Gulvet, opstaar Lyden slet ikke, og et blødt Slidlag som Kork, Gummi eller løstliggende Linoleum har en lignende Virkning, men tvinges man til at bruge haardere Slidlag, og da navnlig Fliser og Terrazzo, kan man ikke hindre Trinlydene i at opstaa, og deres Forplantning nedefter vil oftest kun kunne hindres ved at indskyde et lydstandsende Lag mellem Slidlaget og det bærende Dæk.

Dette lydstandsende Lag skal imidlertid have helt andre Egenskaber end et Lag, der skal standse Luftlyd. Et Lag af sam-

menloddet Metalblik udelukker al direkte Luftlyd, fordi Laget er lufttæt, men er uden Evne til at standse Berøringslyd. Et Luftlag er derimod noget af det bedste til at standse Berøringslyd. Trykker man Øret fast mod en Telefonpæl, hører man den synge; trækker man Øret lidt bort fra Pælen, hører man intet, fordi den mellemværende Luft isolerer. Dette skyldes, at Partikelsvingningerne i den faste Pæl er saa forskellige fra Partikelsvingningerne i Luften, at Lydovergangen volder Vanskelighed.

Derfor er lodrette Luftlag i Vægge fortræffelige til at hindre Berøringslyds Forplantning tværs gennem Væggen, og samme Princip bruges undertiden, naar man vil gøre et Trægulv særlig lydtæt. Fig. 11

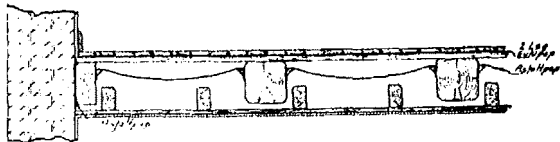


Fig. 11. Lydtæt Dobbeltdæk.

viser et saadant Dæk, hvis Gulv- og Loftsflade er fuldstændig adskilte og som er meget lydtæt overfor saavel Luft- som Berøringslyd. De to Lag Gulvpap under Slidgulvet virker navnlig til at standse direkte Luftlyd, der ellers vilde gaa gennem Brædefugerne, derimod er de næppe i væsentlig Grad virksomme overfor Trinlyd, eftersom Slidgulvet er fastsømmet i Blindgulvet, saaledes at Sømmene overfører Trinlyden.

Den i Fig. 11 viste fuldstændige Adskillelse mellem Gulv- og Loftsflade kræver 2 selvberende Lag og bruges kun sjældent, hyppigst nøjes man med eet og indskyder det lydstandsende Lag mellem det bærende Lag og Slidlaget (Fig. 12), og man bruger da et blødt, let eftergivende Stof, f. Eks. Kork, Tangmaatter, Høvlspaanplader, Træfiberplader, hvis Egenskaber nærmer sig til Luftens, men som dog er fast nok til at bære Slidlaget. Skal der støbes paa det bløde Lag, maa dette hindres i at suge Vand.

Hvor gode Resultater man kan opnaa paa denne Maade viser Studenterforeningen, hvis Etageadskillelser er af Jernbeton belagt med forskellige Slidlag. I den store Sal er der Parketgulv hvilende paa

Strøer (Fig. 13), der atter hviler paa 5 cm tykke Korkplader liggende paa Jernbetonen, og Rummet mellem Strøerne er fyldt med Kiselgur; disse Forholdsregler vir-

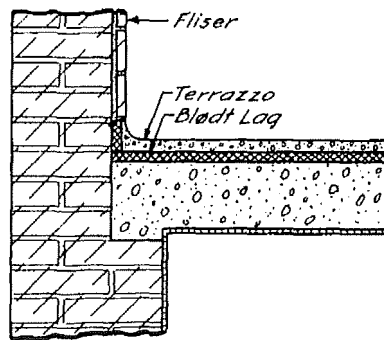


Fig. 12. Trinlydsoliseret Betonplade.

ker saa godt, at man intet hører i de underliggende Værelser, naar der er Bal i Salen. Kiselguren blev indlagt for at absorbere den Lyd, der fra Parketgulvet gaar over i Luften mellem Strøerne; den-

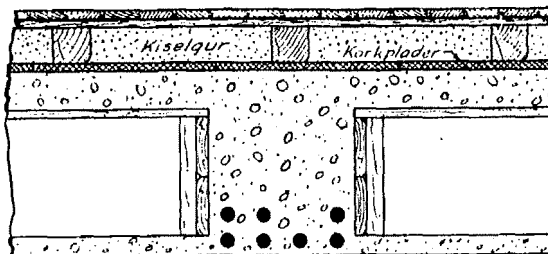


Fig. 13. Lydtæt Balsalgulv.

ne Lyd er som Regel uskadelig, idet den standses af Betondækket, men det er næppe udelukket, at den ved gentagne Tilbagekastninger mellem dette og Parketgulvet kan sætte Betondækkets Plader i Svingning og derved genopstaa under disse som indirekte Luftlyd; det er derfor sikrest at fylde saadanne Rum med et porøst Stof, i hvis Porer Lyden kan trænge ind og løbe sig død uden at tilbagekastes.

Selv om Slidlaget er blødt, vil Trinlyden kunne blive stærkere end ønskeligt, da de bløde Slidlag er tynde og under Fodens Tryk kan sammenpresses saa stærkt, at Blødheden forsvinder. Under saadanne Forhold vil et blødt Lag direkte under Slidlaget sjældent være formaalstjenligt, bl. a. af den Grund, at Møblerne trykker sig ned i de to bløde Lag. Man bør da

mellem disse udstøbe et 3—5 cm tykt Cementmørtellag, helst armeret, hvorved ikke blot Møblernes Tryk, men ogsaa Fodtrykket fordeles, saa det lydstandsede bløde Lag ikke komprimeres i væsentlig Grad. Paa denne Maade opnaas en meget kraftig Trinlydisolering, selv om det bærende Dæk er tyndt; f. Eks. vil en 10—12 cm tyk Jernbetonplade, der dækkes med 1) en asfalteret Tangmaatte, 2) et Mørtellag som beskrevet, 3) et blødt Slidlag (Korkparket, Linoleum), tilfredsstillende alle rimelige Fordringer. Tangmaatten kan erstattes med en presset Halmmaatte eller en blød Træfiberplade eller et Lag Korkkrummer.

Berøringslyd blev defineret som en Lyd, der ankommer til mit Værelses Vægge og Dæk ikke gennem Luften, men gennem Husets faste Dele. Er Loftsdækket massivt, vil de Trinlyde, det udstraaler, være af denne Art. Er der derimod store Hulrum i Dækket, kan Trinlydene delvis være indirekte Luftlyde, som forklaret ved Fig. 13, og alle Forholdsregler, der gør de svingende Dele tykkere og tungere eller absorberer Luftlyden paa dens Vej fra Gulvets Underside til Loftets Overside, vil da svække Trinlyden.

Det synes at være en almindelig Regel for saavel Trin- som Luftlyd, at brede luftfyldte Celler, som de i Fig. 13 viste, gør Gavn, naar de ligger umiddelbart over Loftsfladen, hvorimod slige Celler bør fyldes, hvis de ligger nær Gulvfladen.

Iøvrigt gælder for Trinlyd som for Luftlyd, at Dækkets Isoleringsevne under iøvrigt ens Forhold vokser med dets Vægt.

Massive Betondæk absorberer ikke højfrekvent Berøringslyd, hvorimod sammensatte Dæk som Træbjælkelaag gør det.

I Huse med haarde Slidlag og tilsvarende stærke Trinlyde kan man vanskeligt hindre, at disse i nogen Grad høres i den underliggende Etage, men det er et rimeligt Krav, at de ikke høres med større Styrke end 40 db.

Dæks Isolering fra Mure. De Lyde, som et Dæk sender videre til det underliggende Rums Luft, udstraaler overvejende fra selve Dækket. Adskilles dette fra Murene ved underlagte Korkplader ændres Lyden i nævnte Rum ikke stort. Men Rum, der ligger fjernere Lydkilden, beskyttes paa denne Maade mod Lydtilførsel gennem

Murene, og Dækket selv beskyttes mod Tilførsel af Maskinlyd gennem Murene.

D. Støj fra Maskiner.

Støjende Maskiner maa — hvis de ikke kan anbringes i en særlig Bygning — isoleres paa anden Maade. En Motor eller anden Maskine, der staar paa et Gulv eller er befæstet til en Væg eller et Loft, vil dels udsende Luftlyd, dels Berøringslyd (Fig. 1a). Luftlyden standser man ved at gøre Døre og Rummets andre Begrænsninger lydtætte. Berøringslyden standser

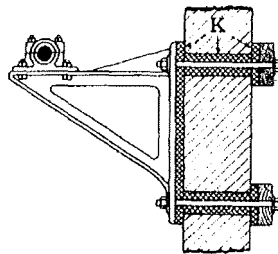


Fig. 14. Korkisoleret Lejebuk.

man ved at indskyde et Korklag eller andet meget elastisk Lag mellem Maskinen og den haarde Bygningsdel, som bærer den (Fig. 14 og 15). Man kan ogsaa stille Maskinen paa lyddæmpende Fødder (Fig. 16) bestaaende af to Dele, der er adskilt

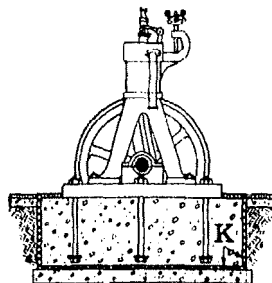


Fig. 15. Korkisoleret Maskinfundament.

fra hinanden med Fjedre og bløde Stoffer; Fjedrene standser Rystelserne, de bløde Stoffer Lyden.

Har man mange Maskiner staaende i samme Rum, kan man muligvis — i Stedet for at isolere Maskinerne hver for sig — betragte hele Rummet som en støjende Kasse, og isolere denne Kasses Bund, Loft og Vægge fra den øvrige Del af Bygningen.

Støjen fra Ventilatorer mindskes, naar Luftledningen nærmest Ventilatoren udfø-

res som en Segldugsslange, Støjen fra Pumper ved Indskydning af en Gummi- eller Tombakslange.

Det er ikke altid muligt at standse Berøringslyden umiddelbart ved Lydgiveren, f. Eks. hvis denne er et Hestekøretøj, der passerer forbi Bygningen eller gennem

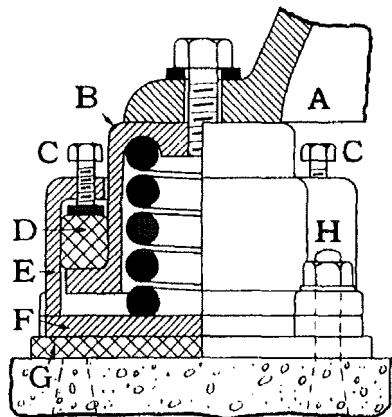


Fig. 16. Lyddæmpende Maskinfod.

dens Port. Ved Opførelsen af det nye Teater, der er gennembrudt af en Gade, blev der i de bærende Piller, der staa langs Kørebanelen, indlagt Filt indpakket i vandtæt Papir for at standse Berøringslyden paa dens Vej op til Tilskuerpladsens Gulv.

Bedre end at hindre Støjen i at bræde sig er det at hindre Støjen i at opstaa. De Maskiner, man installerer, bør derfor ikke støje mere end nødvendigt. Centrifugal-pumper er i saa Henseende at foretrække for Stempelpumper. Varmtvandspumper og Ventilatorer bør ikke gøre over 700—900 Omdrejninger pr. Minut. Vinduesventilatorer bør sidde i en Træplade, der ved Mellemlag af Gummi er adskilt fra Vinduet. Elektriske Motorer, der arbejder næsten lydløst, er i Handelen.

E. Støj fra Vandledninger.

Støjen fra Vandledninger stammer ikke fra det i Ledningerne strømmende Vand, men fra Aftapningsstederne.

Naar en Fjerhane pludselig lukker, og Vandstrømmen pludselig standses, støder denne kraftigt mod Hanen, og Støjen fra dette Stød forplanter sig rundt i Huset gennem Vandrørene. Derfor bør disse ende i en Vindkedel, hvis Luft virker som en Stødpude og mildner Stødene. Blot det,

at Vandledningen forlænges 1 m over øverste Aftapningshane, har en udmærket Virkning.

I den snævre Spalte, som aabnes, kan Vandhastigheden stige til 25 m/Sek. og mere, og Vandstrømmen kan da sætte Hanens løse Dele eller selve Hanehuset i Vibration og forårsage en stærk Støj. Hanehuset med indvendige Støbegrater kan støje meget.

Den fossende Lyd, som ledsager Vand-aftapning, skyldes delvis Vandets Luftindhold. Naar Vandet strømmer gennem Ventilensædet og fra det høje Tryk i Rørene kommer ud under Atmosfæretryk, udskiller det Luftblærer, der rives med af Vandet. Samtidig fremkalder Hanens Uregelmæssigheder Hvirveldannelser og Stød, hvorved Luftblærens Vandvægge kan klaske sammen og frembringe Støjen. Hvis Ventilensædet og dermed Trykfaldet flyttes ud til Hanens Munding, møder den luftfyldte Straale ingen Modstand paa sin videre Vej, og Aftapningsbruset udebliver.

Disse Lyde har man været saa bange for, at man i et nyligt bygget københavnsk Hospital ikke har ført Vandledninger til Sygestuerne, men er vendt tilbage til det gamle System med Vandkander. Saa radikalt behøver man dog ikke at gaa til Værks; man kan nøjes med at formindske den Hastighed, med hvilken Vandet strømmer ud af Hanerne, hvilket opnaas ved at formindske Vandtrykket enten umiddelbart foran Hanen eller for en hel Etage under eet.

En Trykformindskelse umiddelbart ved Hanen kan enten opnaas ved her at indskyde en almindelig Afspærringsventil og lukke denne i passende Grad eller ved i selve Røret at indsætte smaa fjedrende Blikspiraler eller andre Legemer, som bremses Vandstrømmen.

En Trykformindskelse for en hel Etage kan enten opnaas ved at indskyde en Tryk-reduktionsventil, der er saaledes indrettet, at den formindsker Trykket til den ønskede ringe Højde, saasnart Vandet begynder at strømme, uanset om man aabner 1 eller 10 Haner, eller man kan opstille aabne Vandbeholdere i passende Højder i Huset, fylde dem fra Vandledningen og lade Husledningerne udgaa fra dem, hvorved man opnaar det samme.

Simplest vilde det være, om man kunde faa lydløse Aftapningshaner, der er fri

for vibrerende Dele og er udformede saaledes, at de aabner og lukker langsomt, og uden at der opstaar Hvirvler i Vandet. Særlig støjende er Haneer med løse Ventil-sæder, fordi det udstrømmende Vand faar disse til at vibrere. Den danske »Armatura« Hane er bedre (Fig. 17), fordi den

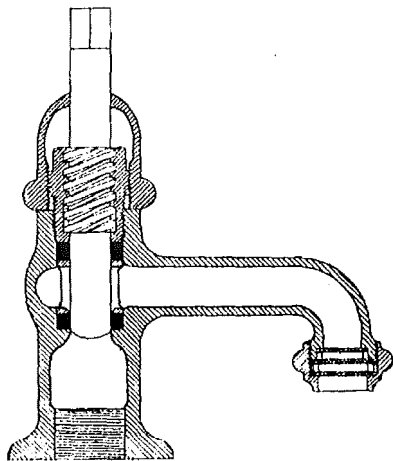


Fig. 17. Armatura-Hane.

er fri for vibrerende Dele og er vel forarbejdet med bløde Rundinger. I Munden er vist 3 Sier, der samler Straalen, hvilket ogsaa forringes Støjen, disse Sier maa ikke bruges i København, men der-

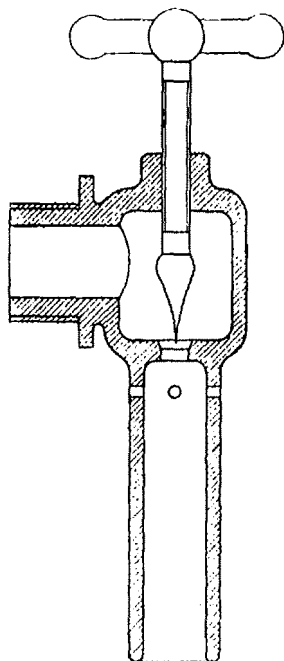


Fig. 18. Svensk Hane.

imod andre Straalesamlere med en lignende Virkning. Fig. 18 viser en svensk Aftapningshane, der er støjfri, fordi Ventillegemet har en gunstig Form, og fordi Ventilsædet er saaledes beliggende, at Straalen ikke skal ændre Retning efter Trykfaldet. Det lange Udløbsrør med Luft-huller foroven er tilføjet for at mindske Straalens meget betydelige Udløbshastighed.

Støjen fra WC-Udskylningerne er meget kraftig, og den Efterstøj, der ledsager Cisternens Fyldning, er om muligt endnu værre, fordi den er saa vedholdende. Denne Efterstøj vilde kunne undgaas, hvis man lod Vandtilførselsledningen udmunde under Cisternens Vandspejl.

Ved at bruge Skylleventiler (Fig. 19) bliver man helt fri for Cisternen og for al den Støj, der udgaar fra denne saavel før som efter Skyllingen.

Selve Skyllestøjen er i nogen Grad afhængig af WC-Kummens Form, men kan dog ikke forringes stærkt, med mindre

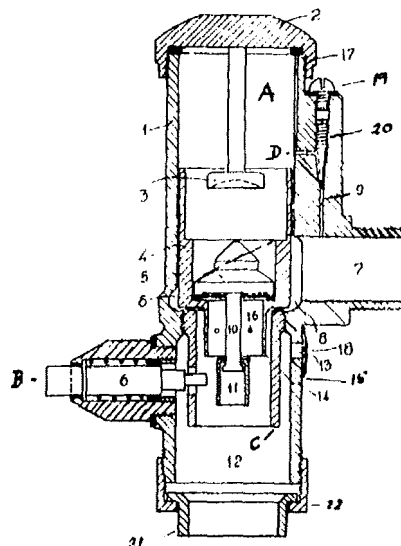


Fig. 19. Skylleventil.

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1) Ventilhus. | 13) Luft hul. |
| 2) Laug. | 14) Rør paa Stempellet. |
| 3) Stoppeplade (Kuglekalot). | 15) Lufttilgang. |
| 4) Stempel. | 16) Luft hul. |
| 5) Vippeventil-Hoved. | 17) Rille. |
| 6) Trykatift. | 18) Beskyttelses-Kappe. |
| 7) Indløbsrør fra Vandledning. | 19) Beskyttelses-Skrue. |
| 8) Vandkammer. | 20) Stilleskrue. |
| 9) Omløbs-Kanal. | 21) Loddestykke t. Blyrør. |
| 10) Vippeventil-Stang. | 22) Omløber-Møtrik. |
| 11) Løst Rør. | A) Vandkammer. |
| 12) Skyllerør. | B) Trykknop. |
| | C) Skyllerør. |
| | D) Hul til Kammeret A. |

man gaar over til de Systemer, ved hvilke Skyll vandet strømmer langsomt til Klosetkummen, hvorefter det — naar Vandspejlet har naaet en vis Højde — pludselig udsuges.

Støjen fra Badekars Fyldning kan være endnu stærkere end Udskylningsstøjen fra WC'erne. Ligesom Badekar tømmes lydløst, indtil det Øjeblik kommer, da Luften gennembryder Vandspejlet ved Udløbsaabningen, fyldes de ogsaa lydløst fra det Øjeblik, da Vandspejlet naar op over Tilførselsrørets Munding; denne bør derfor ligge nær Bunden.

Hvis man ikke kan hindre de forskellige Slags Vandledningsstøj i at opstaa, maa man søge at lokalisere dem, saa de kun høres i det Rum, hvori de opstaa.

WC-Cisternen bør saaledes ophænges paa en tyk Mur og isoleres fra denne efter det i Fig. 14 viste Princip. Rørholdere for Cisternens Afløbsledning bør fores med Kork (Fig. 21). WC-Kummen bør isoleres fra Gulvet (jvf. Fig. 14), og dens Afløbstud, der gaar ind i Støbejernsrørets Muffe, bør isoleres fra denne med en Korkbøsning, saa Lydoverføring til Røret vanskeliggøres.

Lyden fra Aftapningshaner forplantes navnlig gennem Jernrørene, der er særlig gode Lydledere og fører Lyden rundt i Huset. Det rationelleste vilde være at hindre Støjen fra Aftapningshanen i at gaa over i Rørene, og til dette Formaal kan man erstatte Jernrøret nærmest Hanen med en Gummislange med Metalindlæg (Fig. 20) eller med en Metalslange af

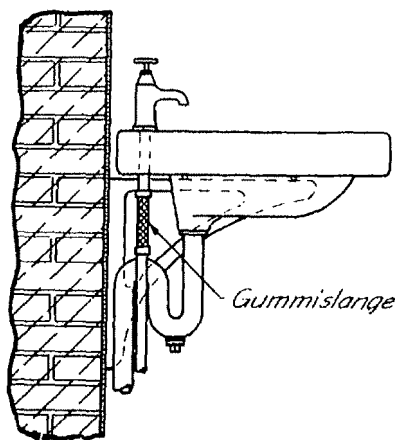


Fig. 20. Lydisoleret Aftapningshaane.

Tombak. Virkningen vokser med Slangens Længde; en 1 m lang Gummislange afbryder næsten helt Lydstrømmen. Men om saadanne Slinger kan fremstilles saa holdbare, at de ikke en skønne Dag revner, er tvivlsomt. En svagere Virkning af samme Art som Slangens kan man opnaa ved mellem Hane og Rørledning at indskyde en Flangesamling, hvor al metallisk Berøring er undgaaet ved Indlæg af Gummi.

Tør man ikke gøre Brug af Slinger, vil Hovedparten af Lyden gaa over i Rørene, og det er da en Fordel, om disse er af Bly, som ikke leder Lyden saa langt bort som Jern, fordi det plastiske Bly absorberer Lyden, d. v. s. omdanner den til Varme. En lignende Virkning vil det have, om alle Rørsamlinger udføres med gummi klædte Flanger. Man kan ogsaa absorbere en Del af den gennem Røret strømmende Lyden ved paa en passende lang Strækning at omgive Røret med Sand eller indstøbe det i Beton; Friktionen og Adhæsionen vil da bevirke, at Rørets Svingninger bremses af Omgivelserne, og den til disse overførte Energi vil for en stor Del blive til Varme. Alene det, at man fører Røret tværs gennem en tyk Mur og stopper tæt med Mørtel om det, formindsker Lyden i Røret.

Den Lyd, man ikke har faaet absorberet i Nærheden af Lydkilden, løber videre gennem Rørene og afgives efterhaanden til Luften og til de Vægge og Dæk, som Rørene er i Forbindelse med. Gennem Sovekamre og andre stilhedkrævende Rum bør der derfor ikke føres Rør, og disse bør heller ikke lægges paa Bagsiden af saadanne Rums Vægge. Har man Valget mellem at lægge Rørene paa en Indermur og paa en Ydermur, er det sidste at foretrække.

Hvis et Rør ligger langs en Væg eller under et Loft, og man vil forhindre Lydoverføring, bør Luftmelle rummet ikke være for snævert, og Rørholdere bør undgaaes eller i alt Fald fores med et blødt Stof (Fig. 21); jo tyndere Væggen er, des mere paakrævede er disse Forholdsregler.

Er man tvunget til at føre Røret gennem et stilhedkrævende Rum, maa Røret isoleres, hvilket kan ske ved at omvikle det med Tangmaatter eller et andet blødt Stof og derefter omstøbe det med Slaggebeton (Fig. 22). Skjules Rørene i Nicher, kan man behandle dem paa tilsvarende

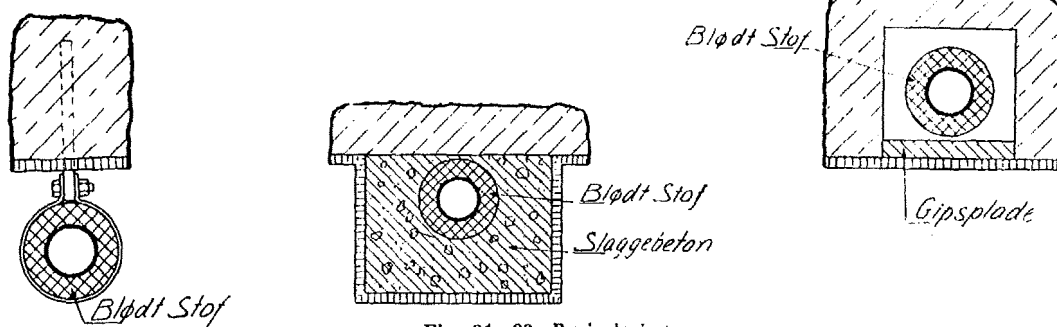


Fig. 21—23. Rørisolering.

Maade, eller maaske hellere fore Nichen med Maatter, og støbe Beton mellem disse og Røret. Skal Rørene være tilgængelige, kan de ikke indstøbes, og man maa da gøre Brug af Isoleringstoffer, som let kan fjernes (Fig. 23).

Ved Udsparring af Nicher i Indermure, maa man være opmærksom paa, at den tiloversblevne Murtykkelse er stor nok til at hindre Rørlyd eller anden Lyd i at trænge ind i Naborummet; er der Nicher i begge Mursider, bør de ikke lægges ud for hinanden. Naborummet er bedst tjent med, at Rørene ikke lægges ind i Muren, men skjules paa anden Vis.

Efter Rørlægningen maa alle Rørgen-

nemføringshuller i Dæk og Vægge udstøbes med Slaggebeton eller paa anden Maade stoppes, saa Luftlyd ikke kan gaa igennem dem, men forinden bør Røret indklædes i Kork eller et andet blødt Stof paa Gennemføringsstedet, saa der ikke gaar Berøringslyd over i Dækket eller Væggen.

Det bedste Princip for Rørføring er det fra Hotellerne kendte, hvor alle Til- og Fraførselsledninger er samlede i vide Skakte, der kan bestiges fra Kælderen, og omkring hvilke alle Badeværelser og WC er anbragte. Da Rørene gaar direkte ud i denne Skakt uden at passere andre Rum, falder alle Isoleringsforanstaltninger bort.