

B. J. RAMBØLL

VARME- OG LYDISOLERING
AF BETONHUSE

B. J. RAMBOLL

VARME-OG LYDISOLERING
AF BETONHUSE

TEKNISK FORLAG . KØBENHAVN 1949

Copyright by B. J. Rambøll

Denne lille bog er egentlig skrevet til undervisningen i byggeteknik på Danmarks tekniske Højskole. De nyeste undersøgelser og resultater er så vidt muligt taget med. I særlig gæld står jeg til følgende afhandlinger, alle udkommet i 1949.

Poul Becher: Økonomiskvarmeisolering. Kbhvn. 1949. (Statens byggeforskningsinstitut).

Kristian K. Prestrud: Varmeisolasjon av ildfaste boligbygg. Oslo 1949.

Statens kommitte för byggnadsforskning: Det. plane takets problem. (Rapport nr. 16). Stockholm 1949.

Fritz Ingerslev: Akustik. Kbhvn. 1949.

Dr. techn. Erik V. Meyer har givet mig mange gode råd.

Skønt beregnet til undervisningsbrug, har bogen form som håndbog. Det er mit håb, at den også vil finde anvendelse i praksis.

København 1949.

B. J. Rambøll.

	Side
<i>Varme- og lydisolering af betonhuse</i>	9
<i>Varmeisolering.</i>	
Jernbeton contra teglsten.	10
Varmeledningstallet λ	11
Transmissionskoefficienten k	12
Udvendig eller indvendig isolering?	14
Isolationsmaterialer til indvendig brug.	17
Letbetoner.	19
Letbetoner med porøse tilslag.	20
Letbetoner med skumtilsætning.	23
Letbetoner fremstillet under luftudvikling.	24
<i>Vægge.</i>	
Økonomisk vanneisolering.	25
Indvendig isolering.	26
Udvendig isolering.	33
Vægge i jernbetonskeletbygninger	36
<i>Tage.</i>	
Dæk mod loftrum	41
Flade tages fugtighedsforhold.	42
Uventilerede flade tage.	44
Ventilerede flade tage.	47
<i>Lydisolering.</i>	
Intensitetsniveauet I_n	53
Lydopfattelse	54
Lydforplantning.	56
<i>Luftlyd.</i>	
Indvendige vægge.	58
Ydervægge.	65
Vinduer.	65
Døre.	66
Etageskillemure.	66
Lydabsorbenter.	66
Lyddæmpning i trapperunl.	68
<i>Bygningslyd.</i>	
Etageskillemure.	69
Trapper.	71
Vægge.	73
Installationer.	73
Maskiner.	74
Svingninger i bygninger.	74

Varme- og lydisolering af betonhuse

Når et betonhus undertiden får ord for at være både lydt og koldt, er det måske ikke helt uden grund. Det må erkendes, at der blandt betonbygninger findes eksemplarer, som ikke tilfredsstillende opfylder de krav, der må stilles til isoleringen.

Enhver isolering er et kompromis mellem teknik og økonomi. Med økonomien som underordnet faktor var der knap nok grænse for de resultater, der kunne nås.

Økonomiske undersøgelser har imidlertid vist, at udgifter til en efter almindelige begreber særdeles omfattende varmeisolering ofte mere end kompenseres af besparelser i varme- anlæg og fyring. Og i en tid, hvor det ligger i enhver nabos magt uden smålige hensyn at forstærke indfangede æterbølger, vil værdien af en effektiv lydisolering næppe blive undervurderet.

Man må derfor kunne hævde, at isoleringen i et moderne betonhus på ingen måde bør være ringere end normalt i en bygning med rod i ældre tid. Den bør faktisk være bedre.

Varmeisolering

Jernbeton contra teglsten

Den tilladelige trykspænding for normalt murværk er 8 kg/cm², medens der for almindeligt jernbeton kan tillades en trykspænding på 60 kg/cm². I overensstemmelse hermed går man ikke under en murtykkelse på $\frac{1}{2}$ sten \approx 12 cm, medens man f. eks. i en s-etages bygning efter Københavns bygningsvedtægter skal anvende $2\frac{1}{2}$ sten \approx 60 cm i den bærende mur i stueetagen. I begge tilfælde kan der i s.tedetformur anvendes 10 cm jernbeton. Under denne tykkelse går man af praktiske grunde nødt.

Når det drejer sig om den bærende mur i de nederste etager i en fleretagers bygning, vil den murtykkelse, som er bestemt af statiske hensyn, i sig selv yde en tilstrækkelig god varmeisolering.

Under $1\frac{1}{2}$ sten eller 1 sten udført som dobbelt halvstensluur med luftmelletrum må ingen ydermur efter Københavns bygningsvedtægt være. En fordring, som for lave bygninger er strengere end de statiske krav, men som netop er stillet af hensyn til varmeisoleringen.

Da beton leder varmen omtrent dobbelt så godt som tegl, siger det sig selv, at man med de små tykkelser, der af statiske grunde bliver tale om, aldrig i beboelseshuse el. lign. kan opnå en tilstrækkelig varmeisolering. At udføre selve betonen med sin slette isoleringsevne af en tykkelse, der tilfredsstiller de varmetekniske krav, ville være yderst uhensigtsmæssigt. Man benytter derfor den minimumstykkelse, som dikteres af statiske eller praktiske hensyn, medens kravet om en tilstrækkelig varmeisoleringsevne opfyldes ved en beklædning af betonen med et bedre isolerende materiale.

Der skal her kort omtales de begreber, der karakteriserer varmeisoleringsevnen.

Et materiale er varmetekniske karakteriseret ved sin λ -værdi og en væg ved sin k-værdi.

VarDe- lednings- tallet λ

Varmeledningstallet λ

λ , der er et mål for materialets varmeledningsevne, er defineret som det antal kg-calorier, der pr. time går gennem 1 m² af en 1 m tyk væg af materialet, når temperaturdifferensen mellem den varme og kolde side er 1° C. Selvom varmeledningstallet λ varierer lidt med temperaturen, kan man i praksis betragte det som konstant. Jo mindre λ , desto bedre isoleringsevne.

Forskellen på en god og dårlig varmeleders λ -værdi er overordentlig stor, som det fremgår af nedenstående tabel, hvor gennemsnitsværdier af λ er angivet for nogle få stoffer.

Materiale	Vægtfylde kg/m ³	λ
Stål .. '	7850	56
Jernbeton.	2400	1,3
Teglsten.	1800	0,7
Puds. '	1700	0,7
Vand '	1000	0,5
Letbeton.....	500	0,10
Korkplader.	130	0,035
Tør stillestående luft.	1,3	0,02

λ -værdier.

Luft har altså en særdeles lille — den mindste — λ -værdi. Med tanken henvendt på dette forhold forstår man umiddelbart, hvorfor varmeisoleringsevnen, som det fremgår af tabellen, vokser med aftagende vægtfylde: jo flere luftporer, der findes i et materiale, desto bedre isoleringsevne. En luftspalte, hvor luften kan komme i bevægelse, isolerer dog ikke nær så godt som λ -værdien lader formode. Men når luften er fordelt i flest mulige lukkede hulrum — i porerne i et porøst materiale — er dens isoleringsevne særdeles effektiv.

Et blik på tabellen giver også straks forståelse af fugtighedsindflydelse. Når et isoleringsmateriale bliver vådt, fyldes

Fugtige materialers
isoleringsevne.

Varmelednings-tallet λ

stærkt isolerede luftrum lned dårligt isolerende vand. Til for-dampning af vandet kan desuden gå betydelige varmemængder tabt. Det er derfor af største betydning, at man bevarer et isoleringsmateriale tørt. Selvet ringe fugtighedsindhold kan mere end fordoble A-værdien. I praksis indeholder isoleringen en ikke ringe fugtighed, og man må, som senere omtalt, regne med større λ -værdier end for det tørre materiale.

Transmissionskoefficienten k

Den varme, der strømmer igennem en væg, er ikke alene afhængig af materialets λ -værdi, men den afhænger også af en vis modstand mod varmeoverføring fra et medium til et

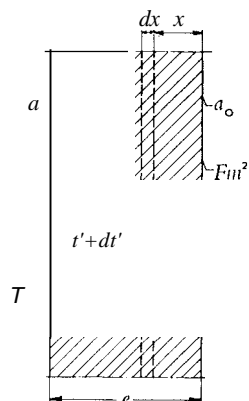


Fig. 1.

Overfladekoefficienten a

andet f. eks. fra luft til væg: overflademodstanden. En mat flade vil lettere suge varmen til sig end en blank. Hvis luften langs overfladen er i bevægelse, vil varmeafgivelsen øges. Man definerer overfladekoefficienten a som det antal kg-calorier, der pr. time går gennem 1 m² af væggenes overflade, når temperaturdifferencen inelleln denne og luften er 1 °C.

Med de data, som er angivet på fig. 1, finder man umiddelbart følgende udtryk for den varmemængde W, der pr. time går gennem F m² af ét snit med tykkelse dx. og med temperaturer t'+dt' og t' på de to snitflader:

$$W = \lambda \frac{F dt'}{dx},$$

idet varmemængden W er proportional med varmeledningstallet λ , med arealet og med temperaturdifferencen og omvendt proportional med tykkelsen.

Heraf $dt' = \frac{FWdx}{\lambda}$, der ved integration giver:

$$\int_{t_0}^t dt' = \frac{W}{F\lambda} \int_0^e dx, \text{ eller}$$

$$t - t_0 = \frac{We}{F\lambda} \quad (1)$$

Da der i ligevægtstilstanden, d. v. s. når der ikke akkumuleres varine i selve væggen, må gå lige stor varmemængde W ind og ud af F m² af væggen, fås

$$W = F a (T - t) = F a_0 (t_0 - T_0)$$

hvoraf

$$t = T - \frac{W}{Fa} \quad t_0 = T_0 + \frac{W}{F_0 a_0},$$

der indsat i (1) giver

$$W = \frac{F (rT - T_0)}{\frac{1}{a} + \frac{1}{a_0} + \frac{e}{\lambda}}$$

Består væggen af flere materialer i tykkelser el' e_2, e_3, \dots og med varmeledningstal $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ fås:

$$W = \frac{F (T - T_0)}{\frac{1}{a} + \frac{1}{a_0} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} \dots}$$

der kan skrives

$$W = Fk (T - T_0), \quad (2)$$

$$\text{hvor } \frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_0} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} \quad (3)$$

Transmissionskoefficienten k

Definition af k

Dette er definitionen på den ovenfor nævnte transmissionskoefficient k, der, som det fremgår af (2), er den varmemæng-

Transmissionskoefficienten k

,de, der pr. tilne passerer gennem en væg nledareal i m², når forskellen i lufttemperatur på de to sider er 10 C. Jo mindre k, desto bedre væg.

Værdierne af a varierer med materialer og rumforhold, men det er almindeligt, at man — naturligvis ikke med større nøjagtighed — sætter $\frac{1}{a} = 0,15$ for indvendige flader og $\frac{1}{a} = 0,05$ for udvendige flader, hvor der må regnes med stærke luftstrømme.

Med de foran anførte A-værdier finder man f. eks. for en 12 cm jernbetonvæg beklædt med 4 cm korkplader og 1 cm puds:

$$\frac{1}{k} = 0,15 + 0,05 + \frac{0,12}{1,3} + \frac{0,04}{0,035} + \frac{0,01}{0,7} = 0,20 + 0,09 + 1,14 + 0,01.$$

$$k = 0,69.$$

Selve jernbetonvæggens bidrag til varmeisoleringen er altså yderst ringe. Beklædninger er absolut nødvendig, hvis der er tale om en ydervæg i et rum, der skal opvarmes.

For en 2 stens teglmur med 1 Cln puds fås:

$$\frac{1}{k} = 0,15 + 0,05 + \frac{0,48}{0,7} + 0,01$$

$$k = 1,11.$$

Denne væg, der normalt betragtes som en udmærket isolator, er altså ikke så lidt mindre isolerende end den ovennævnte isolerede jernbetonvæg. Til gengæld er dens varmekapacitet større, så i praksis vil forskellen abnindeligvis ikke føles så stor som forskellen i k-værdierne lader ane.

Udvendig eller indvendig isolering?

For blot få år tilbage var Inannæppe i tvivl Om, at varmeisoleringen burde anbringels 'indvendig't med den stærkere og mere vejrbestandige jernbeton yderst.

I de senere år, hvor der fremstilles enlængde uorganiske

isolationsmaterialer, der dækket af et passende pudslag er vejrbestandigt, stiller sagen sig noget anderledes.

Der skal her fremdrages forskellige forhold, der spiller ind, når valget står mellem indvendig eller udvendig isolering.

1. På fig. 2 er vist et eksempel på temperaturforholdene ved indvendig og udvendig isolering. Når varmestrømmen er stationær, rummer en indvendigt isoleret væg kun lidt varme i sig i forhold til en udvendigt isoleret væg, hvor store masser

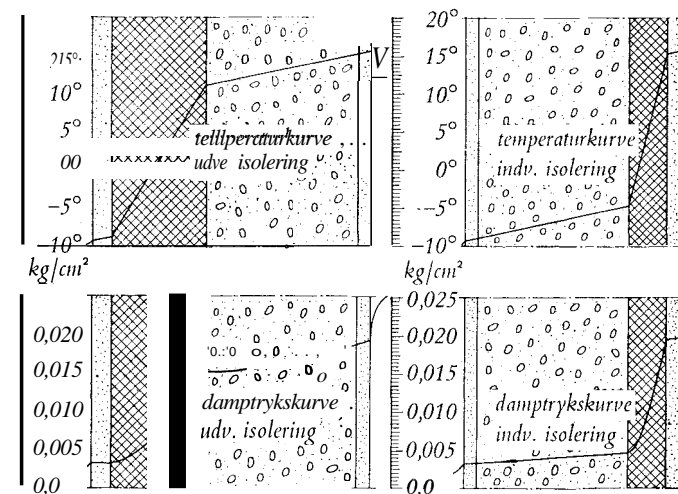


Fig. 2.

Inå opvarmes, før den fra kold tilstand er bragt i sin temperaturmæssige ligevægtstilstand. Hvis der derfor, som ofte i forsamlingshuse el.lign., er tale o.mperiodisk drift, er en indvendig isolation, som sparer opvarmning af betonvæggen fordelagtig.

Når driften derimod er kontinuerlig, vil en udvendigt isoleret væg virke som akkumulator, der regulerer den indvendige temperatur, som kun vil svinge lidt ved mindre ændringer i varmetilførslen, f. eks. under udluftning eller under nedsat natdrift.

2. En udvendig isolering skåner jernbetonen for store temperaturændringer, som kan fremkalde ekstraspændinger og frostska-der i denne, den bærende konstruktion. Ved tagkonstruk-

Udvendig eller indvendig isolering

E. V. Meyer: Boligopvarmning og varmeledelse. Boligopvarmningsteknik, udg. af Dansk Ingeniørforening 1946.

Vægge under pe- "indisk og unde." kontinuerlig drift

Skadelige temperatursvingninger i jernbeton

Udvendig eller indvendig isolering

Vanddampsvandring mod den kolde side

Om fugtighed i væg med udvendig isolering

Modern putsteknik. Udg. af Svenska Cementforeningen i Stockholm 1945.

Overfladebehandling av mur og betong. Udg. af Statens Teknologiske Institut Oslo 1945.

Om fugtighed i væg. Dled indvendig isolering

tioner er der fare for, at de understøttende vægge forskydes af en ubeskyttet jernbetonplade, som under temperaturændringer udvider sig eller trækker sig sammen.

3. Varm luft kan som bekendt rumme mere vanddamp end kold. I overensstemmelse hermed vil damptrykskurven, som vist på fig. 2 falde mod den kolde yderside, og vanddampene vil følgelig vandre ud ad. Med en hastighed, der er størst, hvor damptrykskurven falder mest.

Det fremgår nu af diagrammerne på fig. 2, at når det drejer sig om en væg med udvendig isolering, vil den fugtighed, der kommer inde fra, langsomt vandre gennem betonen, medens isoleringslaget hurtigt vil skille sig'af med den. Der stilles'her visse krav til pudslaget, der må være så porøst, at vandet kan slippe ud, men på den anden side må være så tæt, at regnvand ikke i for store mængder kan slå igennem og væde isoleringen. Dette krav kan næppe honoreres i et udpræget regnfuldt klima, hvor udvendig isolering derfor ikke er velegnet. I et klima som det danske er det med omhyggelighed muligt at udføre et tilfredsstillende pudslag. Det vil føre for vidt her at komme nær ind på dette spørgsmål, men det skal pointeres, at pudsproblemet bør behandles med alvor. Størstedelen af den puds, der hidtil er udført her i landet, er dårligt egnet som puds på isolering. De erfaringer, man har med pudsen, selv i forbindelse med mursten, er ikke altfor gode. Puds er senere omtalt under afsnittet om isolering med letbeton.

Når der er tale om indvendig isolering, vil vand fra inder-siden hurtigt vandre gennem isoleringslaget. Men i jernbetonen er hastigheden ringe, og da temperaturen og dermed luftens evne til at rumme vanddamp her er lille i sammenligning med forholdene for den udvendigt isolerede jernbeton, vil der være en større fare for kondensering. Det kan være hensigtsmæssigt at udføre inder-siden vandtæt f. eks. ved oliemaling, for at forhindre vanddamp i at trænge ind i væggen. At anbringe et vandtæt lag mellem isolering og beton, f. eks. ved at klæbe isoleringen fast i et asfaltlag, er derimod helt forkasteligt. Den indvendige fugtighed samler sig da i isoleringslaget, som taber i isoleringsevne, hvis det da ikke ligefrem med tiden

helt ødelægges. At det yderste betonlag af regnvand kan blive vædet er af mindre betydning, da et fald i isoleringsevnen, der her i forvejen er så ringe, ikke procentvis giver nogen væsentlig forringelse af væggenes totale isolering.

Når valget står mellem indvendig eller udvendig isolering, er der, ud over de her nævnte forhold, andre, der må tages' i betragtning. Den indvendige isolering fylder oftest mindst, det effektive etageareal bliver altså størst. Søm o. lign. anbringes i reglen let i et indvendigt isoleringslag, vanskeligt direkte i jernbetonen.

Den indvendige isolering har, som man kan forstå, sine fordele og derfor sin berettigelse. Men tendensen'går mod udvendig isolering. Det skyldes vel nok til dels de senere års mange nye fabrikater af letbetoner. Men utvivlsomt også det taltalende princip, der ligger til grund for en udvendig isolering: jernbetonen skånes mod temperaturændringer. Med en samtidig udvendig og indvendig isolering kan ideelle forhold skabes. Men det er naturligvis ikke helt billigt. Det er dog ikke ualmindeligt, .Sønl det vil fremgå af det følgende, at f. eks. jernbetontage både i over- og underside er beklædt med et isolationsmateriale.

Isoleringsmaterialer til indvendig brug

Antallet af eksisterende isolationsmaterialer er ikke just lille. Her skal nævnes nogle.

Kork er jo ligefrem prototypen på et let stof. Letheden skyldes luftindholdet. Følgelig er varmeisoleringssevnen stor. Af expanderet kork presset sammen uden eller med bindemiddel af f. eks. bitumen fremstilles isoleringsplader f. eks. expando. Jo mindre hårdt pladen er presset sammen, og jo mindre bindemiddel der bruges, desto bedre er isoleringsevnen. De letteste plader har en meget lille λ -værdi, omkring 0,°3.

Det må bemærkes, at de i det følgende angivne λ -værdier svarer til temmelig tør tilstand, og at der .alt efter anvendelsen og arten af isoleringsmaterialet må regnes med et ofte

Udvendig eller indvendig isolering

Valg af isolering

løvrigt kan henvises til tabeller i den side 25 nævnte afhandling fra statens byggeforskningsinstitut.

Isoleringsmaterialer til indvendig brug

Vatagtige stoffer

betydeligt tillæg for fugt. Der er senere under omtale af materialernes anvendelse i konstruktionerne angivet nogle tillægsværdier, såvel for indvendigt som for udvendigt anbragte isoleringsmaterialer.

Måtter af vatagtige stoffer f. eks. dannet ved indsyning mellem to lag imprægneret papir eller holdt sammen af tråden benyttes i stort omfang til isolering. Glasuld er en glasvat, der består af ganske tynde glastråde. I rockwool består trådene af mineralet fra granit o. lign., som i smelteovne har gennemgået en særlig proces.

Disse måtter har $\lambda = \text{ca. } 0,03$.

Også i løs form, som isoleringsmateriale i hulrum, benyttes mineraluld.

I stedet for mineralske stoffer kan forskellige organiske materialer som tang, tørv og halm benyttes. I arkimåtter er benyttet langtrevlet søgræs, i halmit imprægneret halm, der er indsyet mellem to lag kraftpapir. Også for disse måtter ligger λ omkring 0,03.

Plader som isotekt består af skåret halm sammenpresset under højt tryk med bitumen.

Afgips indstøbt mellem imprægnerede paplag fabrikeres forskellige plader som gyproc, kivron, pm pudsplader. $\lambda \approx 0,1$.

Af træmasse fremstilles en række isoleringsplader. Her kan nævnes træfiberplader som celotex, danatex, insulite, masonit. Pladerne er fremstillet under mere eller mindre tryk. De blødeste plader isolerer naturligvis bedst. Med en λ -værdi på ca. 0,04.

Molersten med rumvægt ca. 900 kg/m^3 og $\lambda \approx 0,15$ benyttes tit til indvendig isolering. Lette teglsten med rumvægt ned til 1100 kg/m^3 , $\lambda \approx 0,2$ benyttes også. Mangelhulssten, fabrikeret af materialer som almindelige teglsten, isolerer på grund af de mange lufthuller bedre end disse. De nævnte teglsten kan også benyttes mod det fri.

Aluminiumstapet er et specielt isoleringsmateriale. En vægk-værdi afhænger af materialets λ -værdi samt af overflademodstanden. Medens man ved alle her nævnte isoleringsmaterialer ved stort luftporevolumen har søgt at skabe en lille λ -værdi,

beror et aluminiumstapets virkning på dets store overflademodstand. Den spejlende flade tilbageviser varmestråler, som forsøger at trænge ind i væggen.

Letbetoner

De her nævnte isoleringsmaterialer egner sig hovedsagelig kun til indvendig brug. Der skal nu omtales en række materialer, hvoraf de fleste, omhyggeligt pudsede, også kan anvendes som udvendig isolering. Det er de såkaldte letbetoner.

Princippet er det samme som normalt for alle andre isolatorer: luftens fremragende isoleringsevne udnyttes. Betonen, der jo i sig selv isolerer dårligt, fyldes på en eller anden måde med luft. Jo mere luft desto bedre isolator. Den erhvervede evne må betales med et styrketab. For de letteste letbetoner, hvor luftindholdet naturligvis er størst, er vægtfylden ca. 0,3, omtrent $\frac{1}{3}$ af alm. betons. λ er omkring 0,05 mod betonens $\lambda \approx 1,3$. Men samtidig er styrken så lav, at denne letbeton udlagt som slidlag ikke engang ville tåle direkte færdsel.

Letbeton anvendes ikke alene som isolerende beklædning, men indgår også ofte i den bærende konstruktion, f. eks. i form af armerede plader eller som bygningssten. Styrken er derfor ikke nogen uvæsentlig faktor.

Ved at regulere luftindholdet i en mørtelblanding, kan man inden for visse grænser fremstille en letbeton med den minimumstyrke, man i et konkret tilfælde må have. λ -værdien er herved så godt som givet, og kravet til varmeisoleringen må opfyldes ved valget af letbetonisolerings tykkelse.

Efter en almindelig benyttet formel, opstillet af Kreiiger, skulle λ kunne findes af

$$\lambda = a \left(\frac{y}{5} + \frac{y^4}{30} \right),$$

hvor y er rumvægten i t/m^3 , og hvor a kan variere fra 0,8 til 1,0, idet den er mindst for materialer med de fineste partikler og porer.

Styrken af letbeton kan almindeligvis regnes proportional med $3'$ potens af rumvægten, så længe der ikke foretages

Letbetoner

Murværk og jernbeton: København 1938 s. 25-37 (B. V. Meyer)

Betong. Stockholm 1945. s. 460-80 (G. Heimburger).

Styrkens aftagen med voksende λ -værdi

λ -værdiens forøgelse lued rumvægten

Styrkens stigning med rumvægten

Bløde organiske stoffer

Gipsplade

Træfiberplade

Molersten, lette teglsten

Aluminiumstapet

Letbetoner

Letbetonens fugtighedsforhold

Se nærmere om λ -værdier i den s. 25 førstnævnte bog

Bearbejdelse

1. Indstilling af letbetonen

Slaggebeton

ændringer i den anvendte mørtels sammensætning. Når styrken alligevel tit med aftagende rumvægt falder meget langsommere end efter 3' potens, er det en ændring af mørtelblanding, der er årsagen.

Forskellige letbetonfirmaers angivelser af deres materials isolationsevne er i almindelighed næppe undervurderet. I hvert fald gælder λ -værdierne kun for tilpas tørre materialer. Og da der altid vil være mulighed for fugt, må der regnes med betydelige tillæg i λ -værdier, især for udvendig isolering. Trods pudslag kan den ikke undgå at blive våd. Letbetonen med snævre kanaler vil der foregå en kapilær opslugning af vand fra det våde puds. Kapilarvirkningen er mindst, når luftåbningerne er videst, men til gengæld trænger vandet her lettere direkte ind, og der kan være mere vand. Under omtale af letbetonens anvendelse i konstruktioner, nævnes nogle λ -værdier for fugtige materialer.

En delbetoner har tendens til et betydeligt svind under afbindingen. For letbeton, der udstøbes på brugsstedet, modarbejdes svindet bedst ved under udstøbningen at bruge så tør en konsistens som muligt. Færdigstøbte elementers svind formindskes for en del betoners vedkommende ved hærkning i damp, undertiden med røggas, i visse tilfælde under tryk.

De fleste letbetoner er let bearbejdelige. Det er i reglen muligt at bore, save og sømme i dem.

Letbeton falder efter de metoder, der bringes til anvendelse ved fremstillingen, i 3 hovedgrupper:

1. Letbeton fremstillet ved anvendelse af porøse tilslag.
2. Letbeton fremstillet ved nedblanding i betonen af et stift pisket SkUIU, eller ved oppiskning af en mørtel, hvortil et skumdannende stof er sat.
3. Letbeton fremstillet ved luftudvikling i betonen.

Letbetoner Uledporøse tilslag

I slaggebeton er det normale betons sten- og grusmateriale erstattet af slagger. Som bindemiddel anvendes cement, idet

tilsætning af kalk dog også forekommer. Der kan bruges koksslagger eller slagger fra forbrændingsanstalter. Brugelige slagger kan fra nogle værker købes sorteret i forskellige størrelser og befriet for jern. Svovlforbindelser, der kan danne de såkaldte cementbaciller d. v. s. forbindelser med meget stort indhold af krystalvand, som kan forårsage udvidelser, eventuelt sprængninger i betonen, må undgås i større mængde.

Slaggebeton anvendes til isolerings- og afretningsslag f. eks. på tage, men benyttes dog mere til skillerumssten eller plader.

Rumvægten er ca. 1100-1300 kg/m³. Varmeledningstallet $\lambda = 0,25-0,35$. Trykbrudstyrke 10-25 kg/m² for blandingsforholdet 1:10 (1 del cement til 10 dele slagger efter rumfang) stigende til 75-85 kg/m² for blandingsforhold 1:4.

I bims-beton består det porøse tilslag af materiale af vulkansk oprindelse, pimpsten, der f. eks. forekommer ved Rhinen og på Island. Pimpstenen er fyldt med små jævnt fordelte luftblærer, der er opstået ved ophedning, idet frigjort luft er blevet tilbageholdt i den halvmeltede masse. Pimpstensbetoner kan udstøbes på anvendelsesstedet, men iøvrigt fremstilles der bygningssten og plader, der kan benyttes direkte til opmuring af vægge eller som isolering på betonvægge. Også allerede tagplader med små spændvidder fremstilles.

Rumvægten varierer fra 600 til 900 kg/m³. Varmeledningstallet λ tilsvarende fra 0,12-0,25. Brudtrykstyrken er ringe, 20-30 kg/cm².

Klinkerbeton fremstilles med lette porøse såkaldte betonklinker af brændt ler som tilslag. Metoden blev opfundet af den danske ingeniør E. C. Bayer i 1920, og brændningsteknikken senere forbedret af svenskeren Lindman. Betonklinkerne fremstilles af kalkfattigt, plastisk ler eller af andre egnede lerarter ved opvarmning f. eks. i en roterovn. Her foregår det således for hundreder af år siden i pimpstenen: på et bestemt opvarmningstrin frigøres en mængde luft, der som blærer indesluttet i den sejge, smeltede lermasse. Den afkølede masse består af klinker med størrelser 3-30 mm og med rumvægt 300-500 kg/m³.

Med blandingsforhold f. eks. 1 del cement, 3 dele beton-

Letbetoner Uledporøse tilslag

Bims-beton.

Klinkerbeton.

Beton Teknik, 1939 nr. 4.

Letbetoner IDed porøse tilslag

grus og 3 dele klinker fås en tung klinkerbeton med rumvægt 1800 kg/m³ og med trykbrudstyrke omkring 300 kg/cm². Den anvendes ganske som alm. beton f. eks. i jernbetonetageadskillelser, der derved bliver lettere og mere varmeisolerende.

Med anvendelse af mindre grus synker rumvægten, indtil man helt uden grus, med et blandingsforhold I: IS, har nået en vægt på ca. 600 kg/m³. Let klinkerbeton anvendes til afretningsslag og varmeisolering aff. eks. tage og gulve. Endvidere til bygningssten og skillerumsplader samt til armerede tagplader med spændvidde på indtil 6 m.

Til rumvægte 600-1000 kg/m³ svarer $\lambda = 0,12-20$ og trykbrudstyrker 15-45 kg/cm².

Ved at erstatte en betons sten- og grusmateriale med den 3 gange så lette molér fås en letbeton, der især anvendes som varmeisolerende underlag for linoleum, gummi, kork o. lign. Kan udstøbes på stedet, men fremstilles også i plader, armerede og uarmerede.

Med blandingsforhold I: 6 efter rumfang bliver rumvægten 800-950 kg/m³ med $\lambda = 0,14-0,17$ og med en trykbrudstyrke på 50-70 kg/cm².

Savsmuldsbeton.

Ved at erstatte gruset eller noget af gruset med lette materialer som imprægneret savsmuld eller granuleret imprægneret kork bringes rumvægten selvfølgelig ned. Men styrken falder naturligvis hurtigt med mængden af disse materialer. Med en rumvægt på 700 kg/m³ er styrken sunket til omkring 10 kg/cm²

Tretong.

I det svenske produkt tretong består tilsætningsstoffet af savspån. I materiale, som indgår i bygningsblokke o. lign., hvor styrken er af betydning, er kun en del af gruset erstattet af savspån. De letteste isoleringsplader med vægt 650 kg/m³ består udelukkende af cement og savspån. I: 4 efter rumfang. For disse plader er $\lambda = 0,15$. Trykbrudstyrken ca. 35 kg/cm².

DUI'sol.

Durisol er en schweizisk letbeton, der dog nu også fremstilles her i landet. Består af mineraliseret træstof, der med cement er presset sammen under højt tryk. Der fremstilles af materialet både lette isoleringsplader, hulsten og hulstensplader, uarmerede og armerede, sidstnævnte beregnede til fritbærende tagplader. Isoleringspladernes vægtfylde ligger omkring 500 kg/m³

med en Å-værdi på ca. 0,07. Trykbrudstyrken, som for det meget plastiske materiale er vanskelig at fikseres, ligger på 15-20 kg/cm².

I denne forbindelse skal nævnes træuld-beton eller træbeton, der måske nok er mere træ end beton og derfor næppe med fuld ret kan betegnes som letbeton. Det er et produkt, der er fremstillet af mineraliserede træspåner, som er presset sammen med cement. Materialet har her i landet vundet så stor udbredelse, at man har udarbejdet normer for det.

Det leveres i plader af forskellige dimensioner, normalt med tykkelser varierende fra 2,5 cm til 10 cm. Vægten er i almindelighed 400-600 kg/m³, λ omkring 0,07. Trykbrudstyrken er ringe, omend i reglen tilstrækkelig for en isoleringsplade, 3-6 kg/cm².

Letbetoner IDed skumtilsætning

Cellebeton er ligesom klinkerbeton opfundet af E. C. Bayer, i 1922. Under fremstillingen blandes cementmørtlen, der enten består af cement og vand alene eller af cement og vand og fint sand, mens man samtidig på en piskemaskine fremstiller en skum, fortrinsvis af harpikssæbe eventuelt med en styrkende tilsætning. Når skummassen er blandet op i mørtlen, kan den udstøbes.

Fremstillingen kan også ske ved tilsætning af et stof med skumevne, et stof som med andre ord kan nedsætte cementmørtlens overfladespænding. Hele massen skal da piskes op til en flødeskumsagtig masse. Denne fremgangsmåde kræver dog i reglen en vådere mørtel end den førstnævnte og giver derfor næppe helt så gode resultater.

Cellebetonen kan enten udstøbes på anvendelsesstedet, hvilket dog indebærer fare for ikke ubetydelige svindrevner, eller rekvireres i form af plader eller blokke. Også armerede plader med små spændvidder på 1,0-1,5 m fremstilles. For at nedsætte svindet er de færdigstøbte varer ofte damphærdede.

Cellebeton kan fremstilles i enhver rumvægt mellem 300

Letbetoner IDed porøse tilslag

T"æuldbeton

Foreløbige betingelser for produkter fremstillet under anvendelse af træuldbeton. Dansk Ingeniørforsening.

Cellebeton

Beton Teknik 1937, nr. 3.

E. V. Meyer: Cellebetons volumenændringer [Dokterafh.]. Kbhvn. 1934.

Letbetoner Dled skUID-tilsætning

kg/m³ og 1200 kg/m³. Vægten reguleres gennem sandtilsætningen. Den letteste beton indeholder overhovedet intet sand, men består af cement, vand og det celledannende stof. λ varierer fra 0,05 til 0,30, mindst naturligvis for den letteste celledbeton. Trykbrudstyrken varierer tilsvarende fra få kg/cm² til 45 kg/cm².

Letbetoner freDlillet under luftudvikling

Gasbeton

Beton Teknik,
1939, nr. 1.
1941, nr. 4.

Det er mere end et halvt århundrede siden, at de første patenter på fremstilling af gasbeton' udtoges. Men først da nordmanden Alf Sinding Larsen foreslog anvendelse af aluminiumspulver som luftudvikler, var en praktisk gennemførlig løsning nået. Aluminiumspartiklerne reagerer ved kalkholdigt vand og frigør brint, der i små bobler forbliver i materialet. Her i landet anvendes til gasbeton 25 % cement, 10 % kalk og 65 % malet sand. Umiddelbart inden udstøbningen tilsættes aluminiumspulveret, 2½-5 %. I forme, der kun fyldes ca. halvt, udstøbes blandingen, og efter få minutters forløb vokser gasbetonen på grund af brintudviklingen og fylder efterhånden formene helt.

Under udtørringen foregår et kraftigt svind, der tidligere har givet anledning til betydelig revnedannelse. Nu reducerer man svindet til en brøkdel ved en damphærdning under ca. 10 at. tryk af det lige afbundne produkt. Det fremstilles i blokke samt i plader og bjælker, uarmerede og armerede med spændvidder op til 5-6 m. Gasbeton fås med rumvægt ca. 500 kg/m³ og 800 kg/m³. Hertil svarer $\lambda = 0,09$ og $\lambda = 0,14$, og trykbrudstyrker 20 kg/cm² og 60 kg/cm².

Siporex

Siporex er en gasbeton, som i Sverige har fået en overordentlig udbredelse, og som nu også fremstilles her i landet. I fremstillingsmåde, egenskab og anvendelse ligger den nær op til den forannævnte gasbeton.

VÆGGE

Økonomisk varmeisolering

Det er tidligere nævnt, at en isolering ud over den normale vil kunne betale sig.

Der er i København og i Oslo foretaget omfattende undersøgelser af økonomisk varmeisolering, idet der for en række vægkonstruktioner er udregnet de årlige driftsomkostninger, der omfatter både udgift til brændsel og til forrentning og afskrivning af konstruktionen.

Det viser sig, at det for en 1½ stens teglstensmur ($k \sim 1,35$), hvis isoleringsevne tit benyttes som norm, 'altid kan hetalesig at øge isolationen.

En isoleret betonvæg med en 1½ stens teglstensmur som forbillede er derfor ikke økonomisk forsvarlig.

Selv med denne kendsgerning for øje vil en bygherre have tilbøjelighed til at vige til side for de forøgede øjeblikkelige omkostninger ved ekstra isolering, der bringer hans bygningskvadratmeterpris op over, den gængse.

En bestemmelse om en højeste værdi af $k = 1,0$ for ydervægge, som findes anført i regler, for statslånsbyggeri, vil dog nok efterhånden arbejde varnleøkonomien ind i et rigtigere leje.

Ganske vist er fordringen om en bestemt k -værdi ikke rationel. En let bygget væg med ringe varmeakkumuleringsevne kræver en lille k -værdi. Erfaringer fra Sverige tyder på, at et træhus må have en k -værdi ikke stort over halvdelen af k -værdien i et muret hus, når de to huse følelses- og sundhedsinæssigt skal kunne ækvivalere.

Poul Becher (Statens Byggeforskningsinstitut): Økonomisk varmeisolering. København 1949.

Kristian K. Prestrud: Varmeisolasjon av ildfaste boligbygg. Oslo 1949.

Fra disse to klart og nøgtermt skrevne afhandlinger er meget af det følgende stof hentet.

Okonomisk varmeisoleringsring

Det er i de færreste tilfælde, at $k = 1$ er den rigtigste værdi. Undersøgelser har vist, at det økonomiske optimum tit nås for mindre værdier, sommetider for k -værdier helt nede omkring 0,5.

Der gælder ingen regler for vinduer. Men de vil utvivlsomt komme. Det viser sig nemlig, at man ved anvendelse af dobbeltvinduer i stedet for enkeltvinduer sparer 2-3 gange så meget i fyringudgifter, som normalt kan spares ved at ned sætte k fra 1,35 til 1,0 for ydervæggene.

Forholdet er simpelthen det, at dobbeltvinduer altid i beboelseshuse kan betale sig frem for enkeltvinduer. I mange tilfælde vil de ekstra omkostninger til dobbeltvinduer i nybygninger ligefrem kompenseres af den formindskede udgift til varmeanlægget. Den årlige brændselsbesparelse bliver altså da ren netto.

Indvendig isolering

I betonhusenes tidligste stadium var korkisolering næsten enerådende. Kork benyttes stadig i udstrakt grad, ikke mindst, når der er tale om en særlig effektiv isolering som i kølehuse.

Isolationen kan opsættes som plader i forskallingen og faststøbes til betonen, fig. 3. Da pladernes styrke er ringe, er der dog på denne måde fare for beskadigelse. Pladerne kan også sømmes til trælisters, der fastgøres på i forvejen indstøbte bolte eller træklodser.

Derimod må det på det kraftigste frarådes at benytte et tæt asfaltlag som lim mellem kork og beton. Vanddamp fra den indvendige side vil standses af asfaltlaget og samle sig i korken, hvor de let kondenserer. Korkens isolationsevne kan da synke væsentligt, korken bliver efterhånden ødelagt og får tilbøjelighed til at løsne sig fra væggen.

Selv uden asfaltlaget er der i fugtige rum som i køkken og bad fare for, at korken springer fra.

En forankring af korken til et trådvævsnet vil formindskede risikoen.

En damptæt overflade f. eks. oliemaling på puds forhindrer naturligvis korkens fugtning. Men til gengæld har væggen

ingen accumulerende virkning over for vanddampene, så i et fugtigt rum som i et køkken vil væggens overflade kunne blive drivende våd.

Misfarvninger kan opstå, da isolationen i korkpladernes fu-

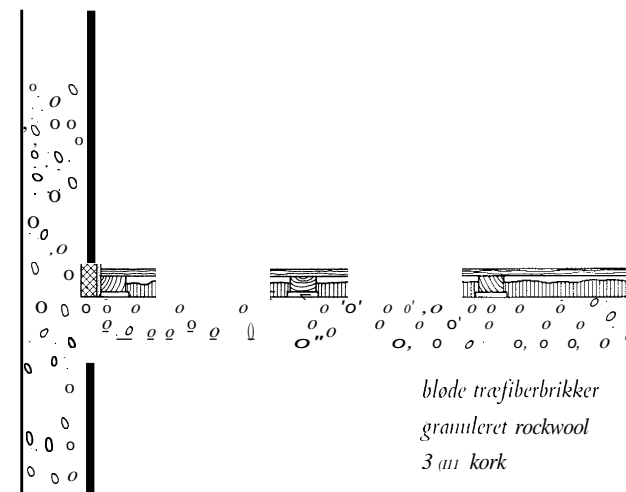


Fig. 3-

ger er mindre god, kondensation kan her finde sted, og støv vil slå sig ned på de våde striber i puds.

Isolationen bør føres omkring 50 cm ind under loftet som vist på fig. 3, for at dække kuldebroen. Loftpladen bliver herved svækket, dog kun lige ved understøtningen, hvor nmomentet normalt er så lille, at svækkelsen kan tåles.

Ved denne ordning undgås kuldebroen ikke helt. Den bliver blot - omend i svækket form - ført længere ind på loftet. En farveforskel ved korkpladens afslutning vil ofte ikke kunne afværges. En beklædning af hele loftet er naturligvis mere effektiv.

Den mest økonomiske, tykkelse af expandede asfaltkorkplader ligger omkring 5 cm svarende til k knap 0,6, men økonomien forrykkes ikke væsentlig, selvom den almindeligste pladetykkelse 3 cm benyttes.

Alt i alt kan det vel nok siges, at kork egner sig bedst på steder, hvor der ikke stilles alt for strenge krav til overfladen,

Indvendig isolering

Træuldbeton

og hvor fugtigheden ikke er større end i et almindeligt beboelsesrum.

Træuldbetonplader benyttes på samme måde som kork. Pladerne opsættes i reglen i forskallingen, der kan være åben, da pladerne i sig selv er ret stive. På grund af overfladens uregelmæssige og hullede karakter vil forbindelsen mellem plader og beton være overordentlig effektiv, ligesom puds hefter godt. Til gengæld vil en del af mørtelen trænge ind i hulrummene og nedsætte isolationen, muligvis slet ikke så lidt.

Selvom der kan være tale om kondensation af vanddamp i skillefladen mellem beton og plade, er der næppe fare for, at pladerne skal løsne sig. Men fugtighed kan opmagasinere sig i pladerne og nedsætte isolationsevnen. I særlig fugtige rum vil pladerne ikke være formålstjenlige.

At føre en forholdsvis tyk plade ind under loftet på samme måde som i fig. 3 lader sig i almindelighed ikke gøre, da jernbetondækkets svækkelse herved bliver for stor. Medens man i Norge har en bestemmelse om, at en korkisolering skal føres mindst 35 cm ind under loftet, stilles der ingen krav til træbeton. Selvom kuldebroen på grund af vægpladernes større tykkelse ganske vist ikke bliver så farlig som ved kork, er det ikke tiltalende at undlade loftisoleringen. Gør man det, bør man i hvert fald i transmissionsberegninger tage et hensyn og f. eks. regne 20 % tillæg på varmetabet igennem ydervæggene. En misfarvning af loftet undgås da næppe.

Selvom vægisoleringen er af træuldbeton, er der jo ivoøvrigt intet i vejen for, at man i loftet anvender de tynde korkplader.

Økonomisk tykkelse af træuldbeton med rumvægt ca. 600 kg/m³ har vist sig at være 12,5 cm hvortil svarer $k \approx 0,5$. 10 cm svarende til $k \approx 0,6$ er måske mest anvendeligt i praksis, 7,5 cm lovlig lidt men dog ikke dårligt. Den almindeligste pladetykkelse 5 cm, der giver en k-værdi på omtrent 1,1, synes at være for lille.

På fig. 4 er vist nogle konstruktioner, hvor isolationsplader ikke fæstnes direkte til betonen. Bløde fiberplader o. lign. vil blive for våde, hvis der støbes mod dem. Også stor fugtig-

Fiberplader, måtter

hed i det rum, de isolerer, kan ødelægge pladerne eller i det mindste få dem til at slå sig.

En ekstra isolering opnås ved anbringelse af måtter i hulrummene.

Isoleringen kan blive effektiv, men brandsikkerheden er

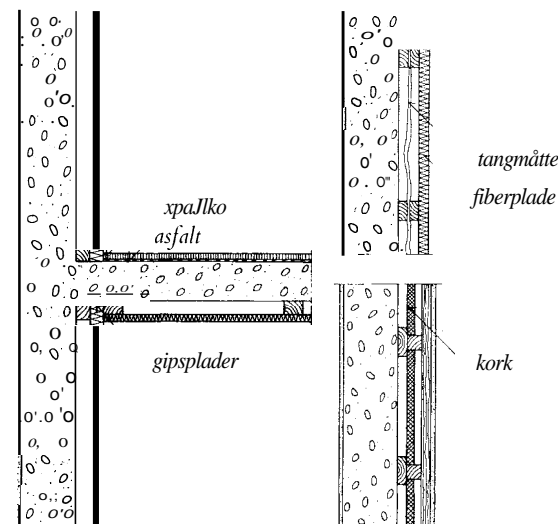


Fig. 4.

ikke altid så stor, og det er vanskeligt at sømme i væggen. Fremgangsmåden er ikke så benyttet mere, i mange tilfælde opnås en given isolationsgrad billigere på anden måde.

I ældre huse, hvor man ønsker en øget isolation, kan metoden dog tit med fordel anvendes.

Fig. 5 viser en betonvæg med isolering af en rockwoolmåtte med trådvæv på begge sider, støbt direkte på betonen. Afdækning afpuds på rørvæv.

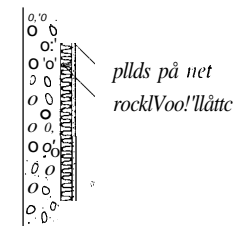


Fig. 5.

På fig. 6 er vist en normal letbetonisolering. Letbetonsten eller -plader kan mures op, men almindeligst er det at sætte dem op i forskallingen, som da ikke behøver at være tæt, jævnf. fig. 7, hvor isoleringen dog er anbragt udvendig.

Letbeton

Indvendig isolering

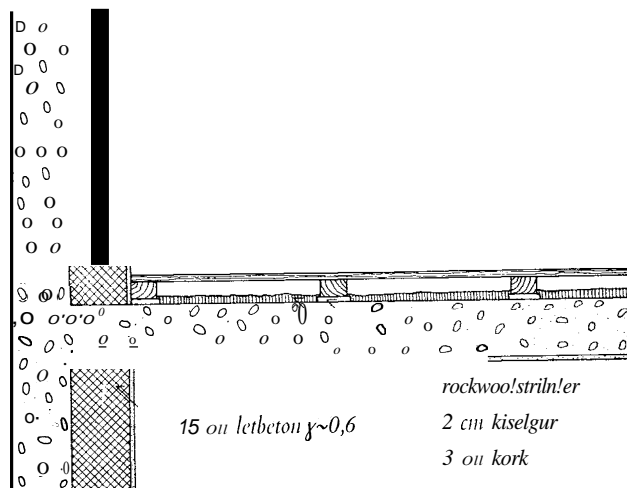


Fig. 6.

Letbetoner forbinder sig ved sammenstøbningen effektivt med betonen, og puds hefter godt. Mørtelen, der trænger ind i letbetonen, og som netop betinger den gode sammenstøbning, vil utvivlsomt reducere isolationsevnen. Nærmere kendskab til dette forhold har man dog endnu ikke.

Ternet tegning' i pudsens fra støv, som slår sig ned på fugtige striber ud for fugerne, hvor svag kondensation kan finde

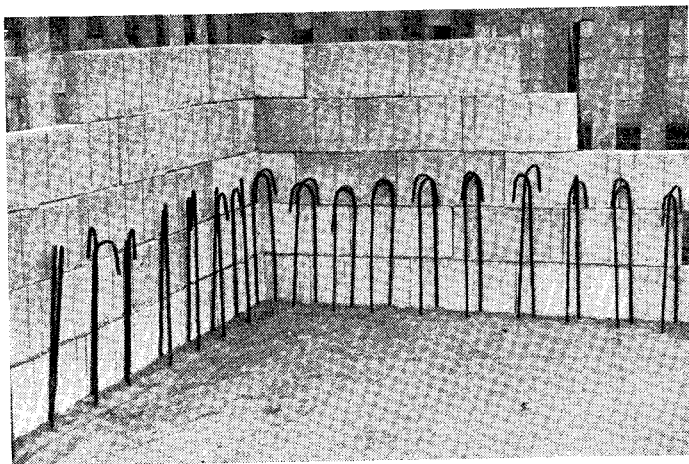


Fig. 7.

Indvendig isolering

sted, er ikke ualmindelig. Letbetonpladerne bør støde helt sammen - med »knasfuger« - da det dårligt isolerende fugeareal naturligvis må være mindst muligt. *Et tillæg i A-værdierne på 20-30 % på grund af fugearealer og fugt vil under normale forhold sikkert ikke være for meget for indvendigt opsatte letbetoner.* Når der er tale om en letbetonsten, let teglsten eller molersten muret op i mørtel med normale fuger, som isolerer dårligt, *kan tillægget godt, blive omkring det dobbelte.*

Helt forkert er det som før nævnt at asfaltere mellem beton og isolation. Man har tidligere gjort det - med kondensering som resultat. I andre tilfælde er det tilsyneladende gået godt. Det skyldes, at letbetonen i vintermånederne har været i stand til at accumulere betydelige vandmængder, som den i sommerens løb har åndet ud igen.

Hvor meget en asfaltering i almindelighed skader i de tilfælde, der ikke viser sig kondensering, vides ikke, men vist er det, at isolationsevnen må være betydelig nedsat i den våde letbeton.

Også et hulrum mellem beton og letbeton kan befordre kondensering. Det har i hvert fald vist sig, at der i hulrummet kan slå sig rim ned, som luod foråret er smeltet.

Hulrum har dog naturligvis en vis isolerende virkning. Men det lønner sig utvivlsomt bedre at have f. eks. en 16 cm' massiv letbeton end 12 cm letbeton + 3 cm hulrum. Luftens isolerende virkning -begrænses jo, hvis den kan komme i bevægelse. Og en så smal spalte vil desuden let blive fyldt med mørtel, som absolut ikke er nogen god isolator. Hvis man vil drage fordel af den isolerende virkning af et hulrum, som jo må siges at være et billigt isolationsmateriale, bør man sikkert gøre det bredere f. eks. -10 cm.

Som for al anden indvendig isolering kan man have betænkelighed ved at anvende letbetonbagmur i meget fugtige rum. Anvendes en damp-tæt f. eks. oliemalet overflade, vil vanddamp forhindres i at trænge ind og nedsætte isolationsevnen. Man må da isolere kraftigt, så overfladens temperatur ikke synker under dugpunktet, med mindre man kan tolerere, at fugtigheden slår sig ned på overfladen.

Indvendig isolering

Letbetonen fylder naturligvis for lneget til, at man som ved kork (fig. 3) kan isolere ind under loftet. Enten må man her isolere med en tynd plade med særlig lille Å-værdi, eller man må finde sig i kuldebroen, som man kan tage hensyn til f. eks. ved et tillæg på 20 % i ydermurenes varmetransmission.

For gasbeton med rumvægt 500 kg/m^3 er den mest økonomiske tykkelse 20 cm. 17,5 cm svarende til $k \approx 0,7$ er måske.

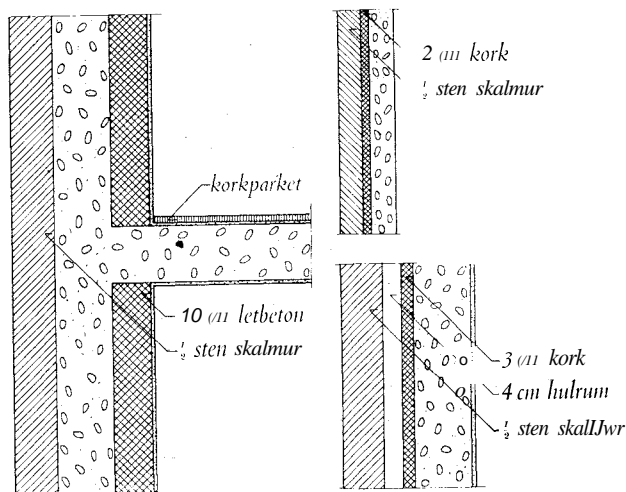


Fig. 9.

Fig. 8.

Fig. 10.

lnest anvendelig i praksis. Lidt mindre tykkelser ændrer dog ikke væsentligt på økonomien. Ved 10 cm er afvigelsen fra det økonomiske optimum ved at blive lnærkbar.

En rigtig dimensioneret letbetonbagnlur hører til blandt de billigste isoleringer.

$\frac{1}{2}$ stens skalmur af teglsten giver naturligvis ikke tilstrækkelig isolation af en jernbetonmur. Der må yderligere isoleres f. eks. med en indvendig letbetonklædning som på fig. 8. Kuldebroen ved etageadskillelsen er, selvom teglstenen kun er $\frac{1}{2}$ sten, dog noget dækket.

En isolation anbragt mellem beton og skalmur som vist på fig. 9 kan næppe anbefales, da skalmuren opmagasinerer så megen fugtighed, at isolationen let ødelægges. Et luftmelle-

rum som på fig. 10 er ikke særlig heldigt. Isdannelser har fundet sted i sådan et hulrum, og sten i blandingen er blevet ødelagt af frost.

Det er klart, at den mest økonomiske isolering bag en radiator, hvor temperaturforskellen mellem de to sider af væggen er særlig stor, må være kraftigere end den normale vægisolering.

7,5 cm kork og 15 cm træuldbeton svarende til k-værdier på 0,4-0,5 er de fordelagtigste tykkelser bag radiatorer.

En træfiberbeklædning bør sikkert mindst være 3 cm. Da træfiberplader kun findes i tykkelser til 1,9 cm, må flere plader anvendes. Samme isolation kan utvivlsomt opnås billigere på anden måde.

Et aluminiumstapet kan være fordelagtigt. 5 cm kork + aluminiumstapet er sandsynligvis bedre end 7,5 cm kork. Men den varmeafgivelse, som normalt foregår fra radiator via væg til luft, standses. Det tilrådes derfor at varmeblæsen ved aluminiumstapet forøges med omkring 10 %.

Udvendig isolering

På fig. 11 er vist en jernbetonvæg udvendigt isoleret med letbeton. Pladerne sættes op i forskallingen, som ikke behøver at være tæt. Fig. 7 viser en siporexisolering under udførelse.

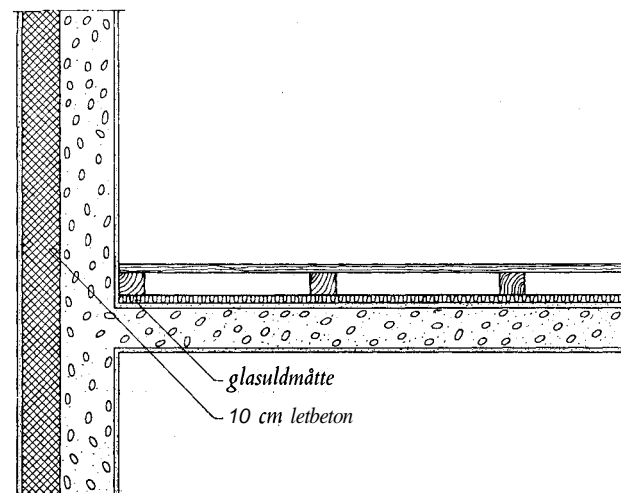


Fig. 11.

Teglstens skalmur + letbetonisolering

Letbeton

Indvendig isolering

Vægge bag radiatore.

Udvendig isolering

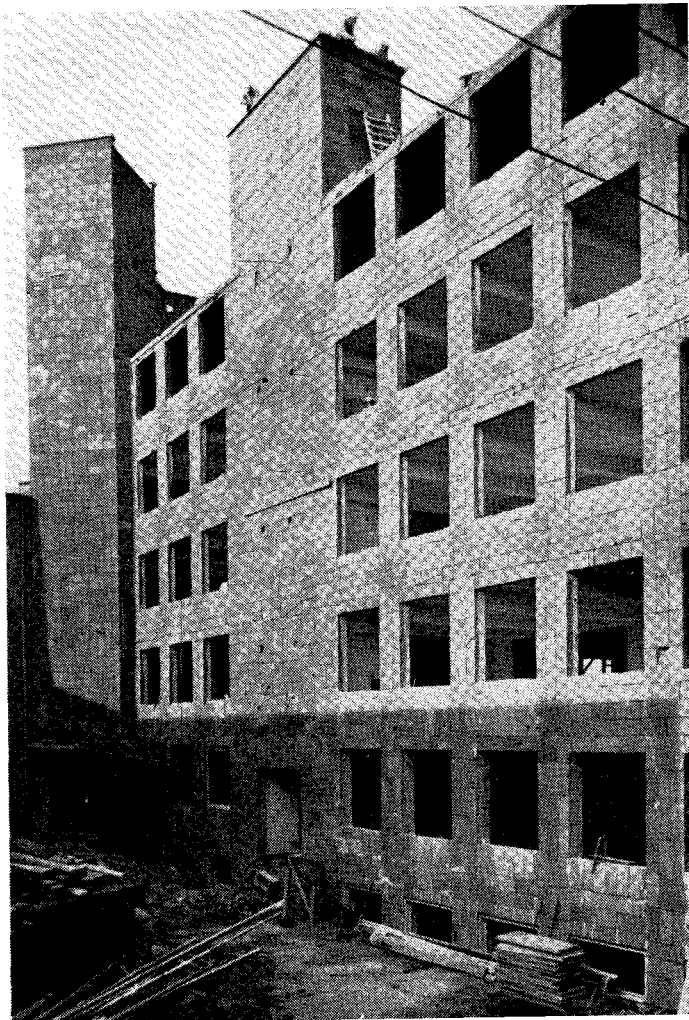


Fig. 12.

På fig. 12 er vist en klinkerbetonisolering på en bygning, der endnu ikke er pudget.

Letbetonen må beskyttes mod regn. Men en tæt overflade skal ikke tilstræbes, idet den dels hindrer vanddamp indefra i at trænge ud og dels hæmmer fordampning af regnvand, som trods tætheden alligevel trænger ind.

En ikke for tæt puds, der ganske vist samler en del regnvand, men som til gengæld åbner mulighed for hurtig fordampning, er den bedste beskyttelse.

Der findes fugtige værjlig, ved Norges og Sveriges kyster, måske næppe her i landet, hvor fordampningen i perioder er mindre end regnindtrængningen. Vandet samler sig sammen, og letbetonen bliver gennemvåd. I et sådant klima bør indvendig isolering foretrækkes.

Anskuelserne vedrørende den bedste puds er divergerende. Fra sagkyndig side har man her i landet anbefalet at pudse en letbeton på følgende måde: først udkastes med lidt cementmørtel et så tyndt pudslag, at letbetonen skinner igennem. Efter nogle timers forløb, eventuelt næste dag, påkastes en bastardmørtel f. eks. af I del kalkmørtel til I del cementmørtel. Endnu et lag f. eks. af 2 dele kalkmørtel til I del cementmørtel kan påføres efter et par dages forløb.

På ganske lette letbetoner må først udsåndes et trådnæt. De tungere fabrikater kan bære pudsen uden net.

I Sverige, hvor man har megen erfaring i puds, er man gået systematisk frem og har nået udmærkede resultater. Grusets Inaterialesammensætning og kornkurve, mørtelsammensætningen, arbejdets udførelse er undersøgt og afvejet i forhold til underlagets karakter. I reglen bliver mørtlen blandet i en meget hurtiggående blandemaskine, en aktivator, som på kort tid gennelpisker og homogeniserer den yderst effektivt.

Selv med en fuldkommen puds villetbetonen ikke undgå regnvandsfugtighed og dermed følgende tab i isolationsevne. Det tilrådes under normale forhold at regne med en λ -værdi mindst 50 % større end katalogværdierne. Hvis det drejer sig om sten af normalt teglstensformat, der mures sammen med mørtelfuger, bliver tillægget henved det dobbelte.

Økononisk tykkelse af letbetonisolering er anført under indvendig isolering. På grund af den større fugtighed i udvendig isolering er tykkelsen her snarest større. 17,5 cm for betonsten med rumvægt 500 kg/m³ må dog siges at være fortræffeligt. En tykkelse på f. eks. 7½ cm, som tit anvendes, er ikke økonomisk. Det vil dog ikke sige, at den ligefrem er

Udvendig isolering

Puds.

Se henvisning side 16.

Udvendig isolering

uforsvarlig. Den er billig at sætte op, men de mindre byggeomkostninger kan ikke kompensere de forøgede brændselsudgifter, så den samlede driftsudgift bliver alligevel større end nødvendigt.

En rationel udvendig isolering ligger i samme prisniveau som en indvendig isolering af tilsvarende virkning. Den beskytter betonen og kan som på fig. 11 føres forbi etageadskillelser, uden at kuldebroer opstår. Væggen virker som varmeaccumulator til stabilisering af stuetemperaturen. Vanddamp kondenserer sjældent.

I Sverige, hvor udviklingen af betonbygninger er længere fremme end her i landet, har udvendig letbetonisering vundet overordentlig stor udbredelse.

Vægge i jernbetonskeletbygninger

I skeletbygninger har væggene ingen bærende funktion. Sig selv skal de dog naturligvis bære, i reglen kun i en etagehøjde, idet de normalt hviler på facadebjælkerne (fig. 13). De bør derfor udføres så lette som muligt. Ønsker man en teglstensfacade, bør teglstensbeklædningens tykkelse være lille,

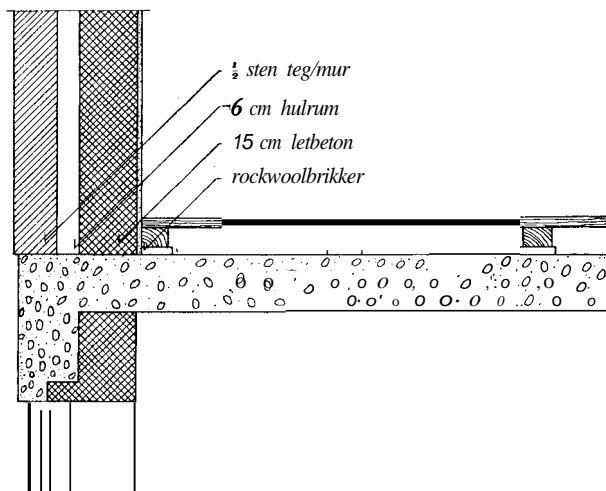


Fig. 13.

Skeletkonst. uktionen **synlig** i facaden

helst kun en halv sten. Resten af muren bør bestå af et let, varmeisolerende materiale. Når bjælkerne trækkes frem i facaden som på figuren, kan en kuldebro vanskeligt undgås. Man kan dog kombinere isolationen med en korkisolation af den yderste del af dækket som på fig. 3.

Den mest økonomiske tykkelse af bagmuren er i praksis for klinkerbeton (650 kg/m³) 11 cm, svarende til en k-værdi

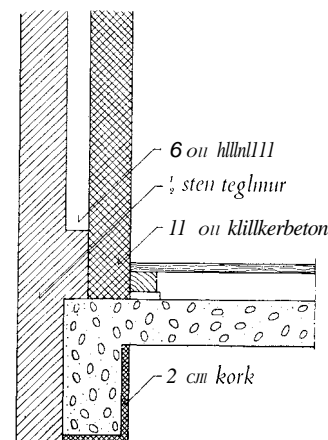


Fig. 14.

af væggen på ca. 1,0. For molersten er de tilsvarende størrelser 15 cm og $k \sim 0,95$.

Når facadevæggen på den udvendige side føres forbi det bærende skelet, kan en effektiv isolering opnås. På fig. 15 er på bjælkerne - det samme kan gælde søjlerne - anbragt en ekstra indvendig isolering til at kompensere den mindre tykkelse, som den, udvendige isolering har udfør bjælker og søjler. Et vinkeljern eller en betonnæse til at bære udfyldningsmuren over vinduer bør så vidt muligt undgås, da de giver anledning til kuldebroer. I reglen vil stritter være tilstrækkeligt til at fastholde muren udfor, bjælken og den øvrige mur vil med bindere kunne overføre sin belastning til bjælken.

Af store blokke — få fuger — eventuelt med hulrum vil kunne udføres en tiltalende konstruktion som på fig. 15.

Skeletkonst. uktionen beklædt **udvendig**

Vægge i jernbeton-skelet-bygninger

Samme figur viser et tilfælde, hvor vinduet ikke når helt op til etageadskillelsen. Det er her nødvendigt at indlægge en ekstra bjælke. Med de arnlerede letbetonbjælker, der er i handelen,

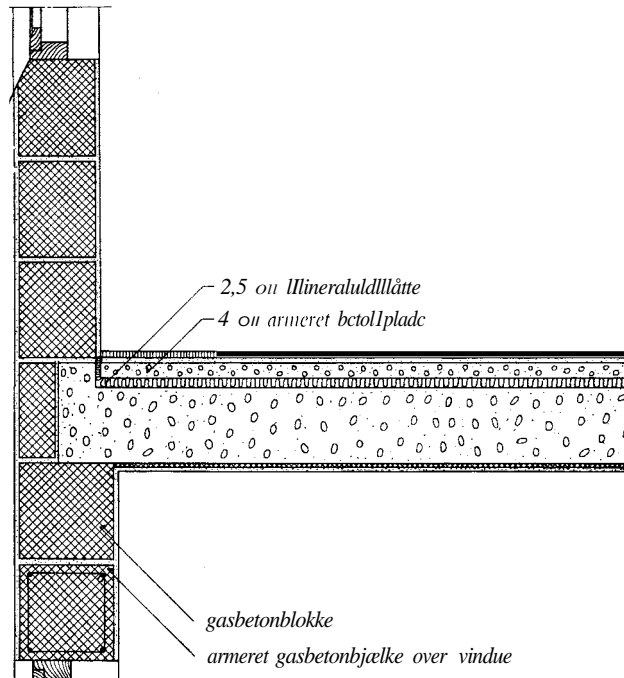


Fig. 15.

vil det i almindelighed ikke volde vanskeligheder at undgå en kuldebro.

Statens Byggeforskningsinstitut fremhæver som billige ydermure:

- 22,5 cm mur af gasbetonblokke.
- 2 gange 1 cm mur af mangehulsten med 13 cm hulrum fyldt med løse betonklinker.

Det er ikke udelukket, at udfyldningsvægge kan føres op i flere etager, så de ikke belaster hver etagebjælke, men overfører hele deres egenvægt til fundamentet. Man må da natur-

ligvis benytte sten med så stor styrke, at de kan bære sig selv i flere etagers højde. Men dernæst må man sikre sig, at bygningsmyndighederne godkender konstruktionen, endnu findes ingen normering på dette område.

En trævæg isoleret med mætter af tang, glasuld, rockwool eller lignende er formodentlig billigere end nogen af de hidtil nævnte konstruktioner, men dens anvendelsesområde er naturligvis noget begrænset. En sådan væg kan eventuelt udføres på fabrik og indsættes hel i vægfeltet. En nøjagtig udførelse af skeletkonstruktionen må da fordres, og alligevel er det ikke helt let at få tilslutningerne tætte.

Men man bør have sin opmærksomhed henvendt på sådanne færdigbyggede elementer. Der er ingen tvivl om, at

Vægge i jernbeton-skelet-bygninger

Forskellige sammensatte vægge



Fig. 16.

Vægge i jernbeton-skelet-bygninger

udviklingen går i retning af en gennemført standardisering. Og standardvægfelte, bygget i serier på fabrik, kan udføres billigt og vil have en chance i fremtidens byggeri.

Fabriksfremstillede vægge behøver naturligvis ikke just at være af træ. I bygningen på fig. 16 er vægfelterne udført som trærammer med vinduer og døre og med brystninger udført

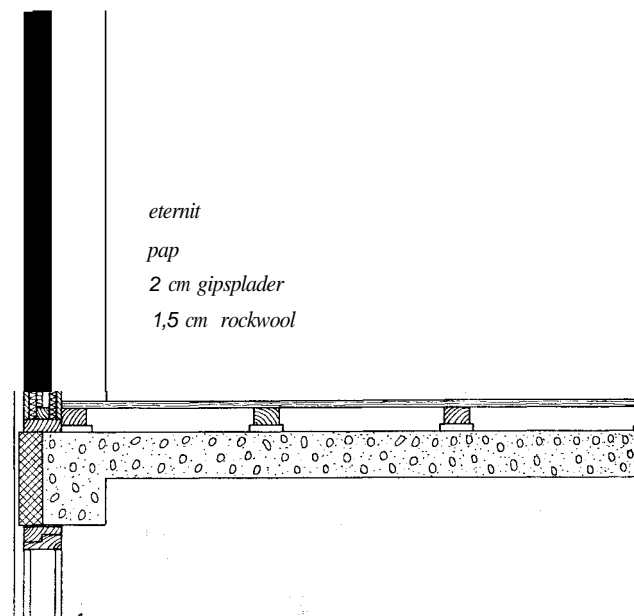


Fig. 17.

af eternitplader udvendig beklædt med råglas, indvendig isoleret med kork og masonitplader.

På fig. 17 er vist en brystningsvæg, der kun er 9 cm tyk, og som angives at have en k -værdi på 0,7. Skeletkonstruktionen er udvendigt isoleret med letbeton.

Indvendige vægge

I det foregående er der kun tænkt på ydervægge. Indvendige vægge, der vender mod et koldt rum, må naturligvis isoleres efter behov. Men der er ikke, som ved ydervægge, noget særligt problem forbundet med isoleringen, og varmetabet er ringe i forhold til tabet gennem yderfladerne. En 2-3 cm korkisolering eller en ækvivalent isolering kan i reglen løse spørgsmålet.

TAGE

Rumtemperaturen ved taget er højere end ved ydervæggene, og isolationen bør udføres i overensstemmelse hermed. I Oslo kræver bygningsvæsenet $k=0,8$ og $k=1,0$ henholdsvis for tag og ydervæg. Under normale forhold bør man sandsynligvis for et tag tilstræbe en k -værdi, der er endnu mindre.

Dæk mod loftrum

For dæk, der vender mod et loftrum, og som derfor er beskyttet mod regn og også mod meget stærk kulde, er isoleringsproblemet mindre indviklet end for en ydermur. Isoleringen af kork, trældbeton, letbeton o.s.v. kan anbringes på undersiden, især hensigtsmæssigt hvis væggene er isolerede indvendigt, fordi kuldebroer ved dækkets rand i tilfælde af ovenliggende isolation da dårligt kan undgås.

En isolering oven på dækket bør ellers nok foretrækkes. Fordelene er de samme som nævnt under udvendig isolerede vægge, og man har tilmed her ikke noget besvær med at beskytte isoleringen. Foruden plader af kork, træbeton, letbeton m. dl. kan benyttes måtter, granuleret mineraluld, klinkergrus o. lign.

På fig. 18 består isoleringen af granuleret mineraluld. Den fordelagtigste tykkelse, svarende til mindste driftsudgifter,

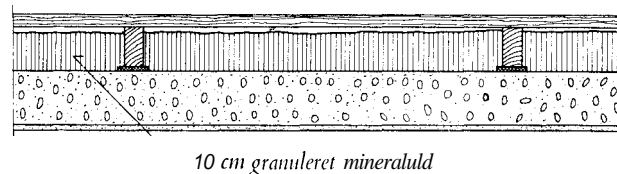


Fig. 18.

Dæk i Dod lofttrulD

ligger på omkring 10 cm, og k-værdien er helt nede på ca. 0,25. En tykkelse på 5 cm af mineralulden svarende til $k = 0,4$ er dog ikke uøkononUsk.

Det er nleget vigtigt, at der er god ventilation i et tagrum. Hvis dette krav negligeres, kan rummet blive mættet med fugtighed, og isolationen i dækket komlner ikke af med sin vanddamp, der efterhånden hober sig op og nedsætter isolationsevnen. Og træværket i det fugtige rum går sin ødelæg-gelse i møde.

Hvad der her er sagt om det øverste dæk gælder naturligvis om ethvert dæk, som vender modet koldt rum. Det nederste dæk må selvfølgelig også isoleres i overensstemmelse nled den minimumstemperatur, det kan blive udsat for.

Flade tages fugtighedsforhold

Det er flere gange under ydervægge nævnt, at et dampstandsdelag i væggen eller på ydersiden ubetinget må undgås, da vanddanp ellers ophober sig i væggen inden for' det tætte lag, hvor den muligvis kondenserer og i alle tilfælde nedsætter isolationsevnen.

Et fladt tag må beskyttes mere effektivt mod regn enden væg, og det er derfor nødvendigt at anbringe et regntæt lag. Tagpap og asfalt hindrer udmærket regn i at trænge ind, men det forhindrer rigtignok også indespærret fugtighed i at fordampe.

Utallige tagkonstruktioner er udført netop på dennIåde, SOUL i virkeheden isolationsmæssigt set er forkert.

Når det alligevel går forholdsvis godt med denne konstruktion, skyldes det, at udpræget kondensering tit undgås, idet fugtighed, som i vinterens løb vandrer ind i loftet, fordamper igen om sommeren. I mange konstruktioner, sonl hidtil har synes upåklagelige, er ligevægten dog blevet brudt i brændselsrationeringstider.

I et tilfælde, hvor isoleringen kun bestod af 2 cm kork uled tagpap på en 8 cm jernbetonplade, kom der ligefrem is på undersiden. Man udstøbte ovenpå hele konstruktionen 8 cm let klinkerbeton med puds og tagpap. Den oprindelige kon-

struktion, der af ekstraisoleringen holdes varmere, kan nu rumme den vanddamp, der ophober sig i vinterens løb.

Men hverken denne eller lignende konstruktioner, hvor kondensering ikke har vist sig, er ideelle. De kan være gennemfugtige, isoleringsevnen rnrereend halveret.

Et tag er mere udsat for solvarme og for afkøling end en væg, og der er derfor al mulig grund til at foretrække udvendig isolering, som beskytter betonen.

Uheldigt er det, at den fugtighed, der findes i den udvendige isolering, har meget svært ved at komme ud, dækket som den er af en damptæt tagdækning foroven og af en svært gennemtrængelig betonplade forneden.

Forholdene kan blive tilfredsstillende, hvis man sørger for et hulrum mellem isoleringen og tagbeklædningen. En sådan ventilering, hvor den friske luft kan føres ind over isolationen og udtørre den, er man kommet ind på i de senere år. Men metoden kan være lidt kompliceret og' ikke helt billig.

Hvis nlan ikke ventilerer, må man bedst mulig afbøde manglerne ved'den i og for sig uheldige løsning.

Indvendig isolation alene er ikke tiltalende, da betonen som nævnt får store tellperatursvingninger, og samtidigt er der fare for kondensering i isoleringen med sin kolde overside. Men i forbindelse med en udvendig isolation kan den være hensigtsmæssig. Den indvendige isolation må ikke være for tyk, da man derved risikerer, at temperaturfaldet i den bliver så stort, at dugpunktet falder i selve isolationen eller i skillefladen mellem denne og betonen. For isolationsplader med en λ -værdi på f. eks. 0,06, bliver der kun tale om tykkelser på omkring 1 cm.

Hvis man som overisolering benytter f. eks. korkplader - under 5 cm bør man næppe bruge - kan et linlag af asfalt mellem kork og beton være heldigt, idet det standser fugtighed nedefra, så korken bevares tør og isolerende.

Der må lægges megen vægt på, at korken ikke får fugtighed, før tagpap pålimes. Vand fra et regriskyl på den uafdækkede korkplade vil, når det bliver spærret inde mellem asfaltlim og tagpap, ikke kunne komme bort, korkens isoleringsevne ned-

Flade tages fug- tigheds- forhold

Flade tages fugtighedsforhold

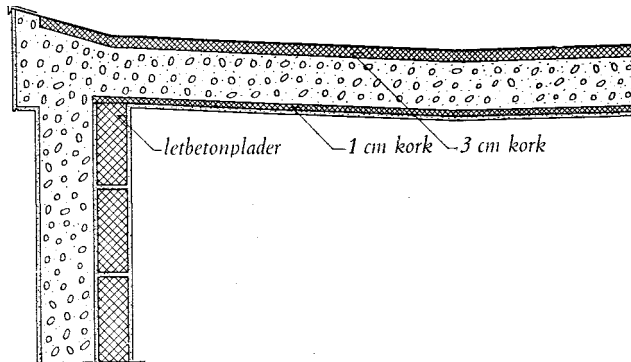


Fig. 19.

sættes, tagpappet kan bule op på grund af udvidelse under solvarme af den fugtige indespærrede luft, og det kan blive nødvendigt at pålægge ny isolation.

Uventilerede flade tage

Bløde belægnin-
ger uden færdsel

På fig. 19 er vist et udvendigt korkisoleret tag. Den mindre, indvendige isolering hindrer bl. a. en kuldebro i hjørnet. Det skal i denne forbindelse nævnes, at kork faststøbt i undersiden af betonen har tilbøjelighed til at løsne sig, idet kalciumoxydet i mørtelen med fugtighed danner kalkmælk, der angri-

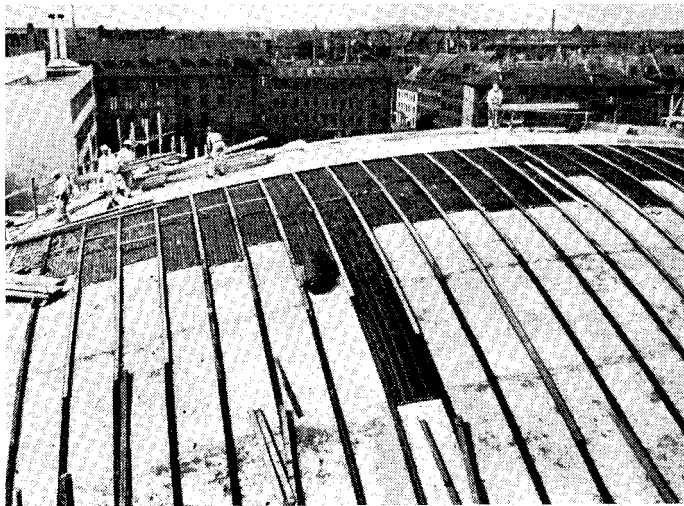


Fig. 20.

ber fedtsyren i korksubstansen. I Oslo er det forbudt at støbe kork fast i undersiden af betontag.

På fig. 20 er vist en isolering med rockwoolmåtter på en jernbetonkonstruktion, som dækkes med tagpap på en bræddebeklædning der sømmes på strøer.

Hvis der skal være færdsel på taget, kan man i reglen ikke f. eks. på kork nøjes med at klæbe tagpappet direkte på den bløde isolation. Et afretningslag må påføres. Under støbningen kan det ikke undgås, at korken bliver våd. Det er muligt, at konstruktionen kan forsvares, hvis en effektiv udtørring finder sted, inden tagpap pålægges. Men det vil sikkert vare flere varme sommermåneder, hvor man under regnskyl må overdække med presenninger.

Samme bemærkning kan gælde en konstruktion med udstøbt letbeton som isolering. En letbeton f. eks. cellebeton med rumvægt 300 kg/m^3 må ligesom kork dækkes med et afretningslag for at kunne tåle færdsel. Med rumvægt $400\text{-}500 \text{ kg/m}^3$ kan færdsel foregå, når betonen dækkes af et nogenlunde bæredygtigt slidlag som støbeasfalt. Et tag med øverste betonlag af rumvægt 800 kg/m^3 kan befærdes med tagpap direkte påklæbet.

Letbeton udstøbt på stedet kan udføres billigt. Men det har den fejl, udover det uheldigt store vandindhold i tiden efter støbningen, at den kan udvide sig temmelig kraftigt. Slaggebeton, som tit indeholder svovl, der kan danne gips, hvis volumenforøgelse er særlig stor, har i enkelte tilfælde ligefrem sprængt brystningen.

Ved anvendelse af færdigstøbte letbetonplader, der støbes sammen, formindskes vandindholdet, og volumenforøgelse undgås. På fig. 21 er vist oplægning af cellebetonblokke.

For en konstruktion som den på fig. 22 viste allgives det, at den mest økonomiske tykkelse af de lette cellebetonblokke er 10 cm. Tilsvarende λ -værdi er godt 0,05.

Færdigstøbte bærende betonplader er i de senere år kommet i handelen. Man forsøger at kombinere de bærende og isolerende egenskaber i en plade og undgår da i hvert fald ulemper fra støbevandet. På fig. 23 er vist en armeret plade af klinker-

Uventilerede flade tage

Rockwool
Glasuld

Ko.-isolation på
tag med færdsel

Letbetonisering

E. Suenson: Flade
betontage.
Beton Teknik 1937
nr. 4.

Letbeton udstøbt
I.å stedet

Færdigstøbte isoleringsplader

Færdigstøbte
bærende plader
Dled isolering
indlagt

Uventile- rede flade tage

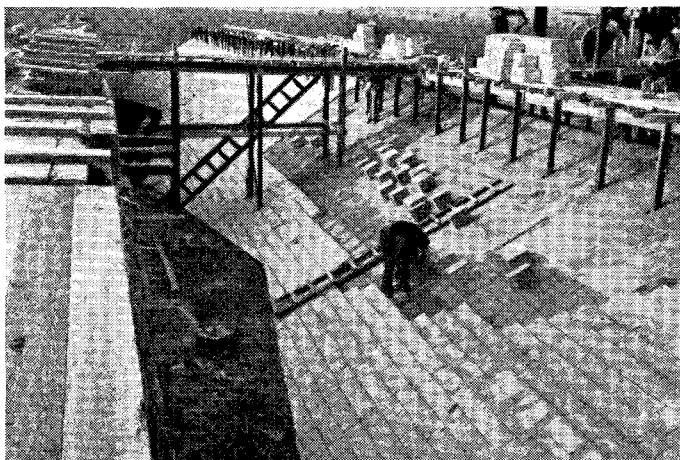
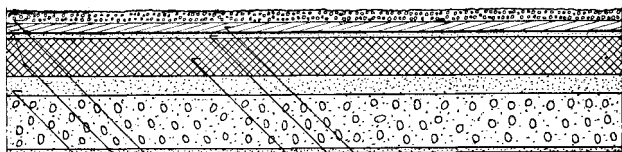


Fig. 21.



3 ou perlestell	2-3 cm støbeasfalt
2 lag tagpap	1,5-2 ou afretning
5 cm sand	10 cm ce/tebetan 300 kg/m ³

Fig. 22.

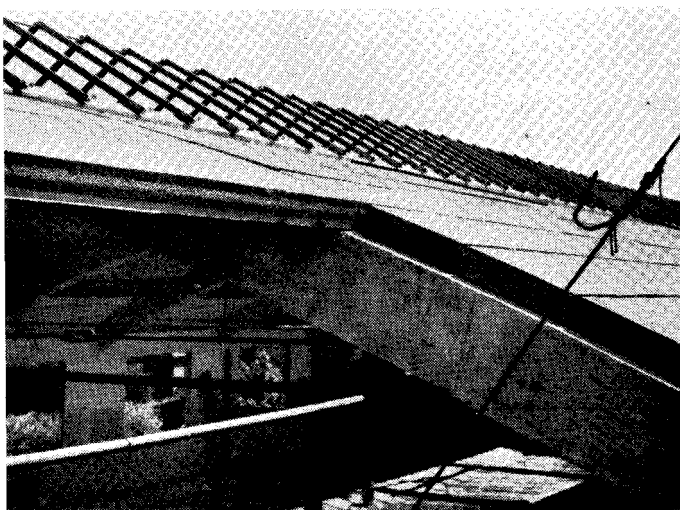


Fig. 23.

beton. Det midterste parti omkring nullinien, hvor spændingerne er små, er støbt af godt isolerende letbeton. Den viste plade er for tynd - beregningsmæssigt er $k \approx 1,1$ - til en boligbebyggelse; den er her anvendt på et sted, hvor kravene til isolering ikke er særlig store. Men isolationen kan naturligvis øges med en påstøbning af letbeton.

Uanset hvor tør letbetoniseringen er, når den dækkes af med tagpap eller støbeasfalt, kan den ikke undgå at blive fugtig efterhånden fra vanddamp, der trænger ind fra rumsiden. Man bør derfor regne med et rigeligt tillæg til de A-værdier, som anføres i kataloger. Det er hævdet, at tillæg på 80-150 % må anses for passende.

En isolering med fugtige materialer er naturligvis ikke tiltalende. Man kommer derfor mere og mere ind på konstruktioner, hvor fugtigheden kan fordampe bort fra isoleringens overside.

Og når der er tale om særlig stor fugtighed som i rummet under taget i spinderier, farverier, glasslibrier, kogerier m. m., er en sådan ventilering nødvendig, hvis man skal sikre sig tilfredsstillende forhold.

Ventilerede flade tage

Måske er en ventilering i alle tilfælde den eneste acceptable løsning.

Tilstrækkelig erfaring har man endnu ikke. I det følgende er vist en række ventilerede tagkonstruktioner - ikke alle lige gennemprøvede.

I Tyskland har man i stor udstrækning ventileret en bimsbetonpåstøbning med ventilationspiber, i reglen af zink, perforerede i den del, der er indstøbt. Det menes, at en ventilationspipe for hver 10 m² er tilstrækkelig til at bortfordampe fugtigheden i den relativt porøse bimsbeton.

På fig. 24 er vist en ventilation, som muligvis er tilstrækkelig for smalle tage. I murbrystningerne er indsat ventilationsrør eller spalventiler, som står i forbindelse med en rende, som løber langs hele tagranden, opfyldt med løst grus af beton-

Uventile- rede flade tage

A. K. Krog: *Isoleringsproblemer ved tage. Ingeniøren 1942 nr. 35.*

Ventile- rede flade tage

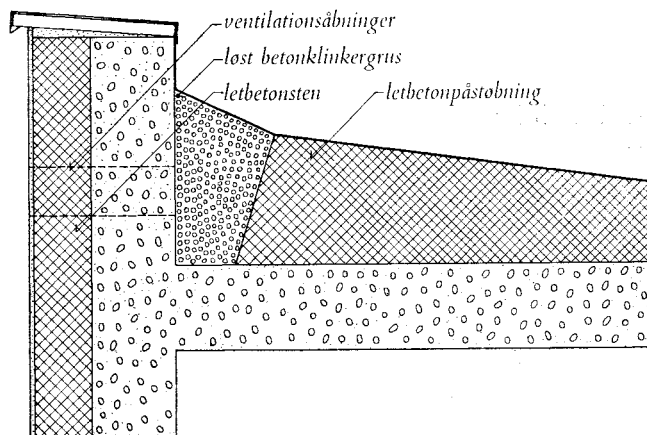


Fig. 24.

klinker, cellegrus, bims el.lign. Erfaringer fra en enkelt konstruktion over et fugtigt rum tyder godt.

På fig. 25 er hele tagfladen isoleret med en løs opfyldning dækket af en betonpåstøbning. Ventilationen i den porøse masse kan blive effektiv. Gode erfaringer har man fra en række norske konstruktioner.

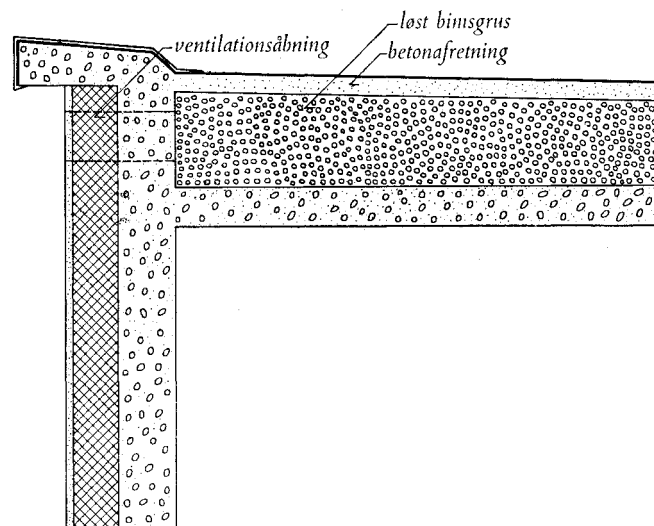


Fig. 25.

Ventile- rede flade tage

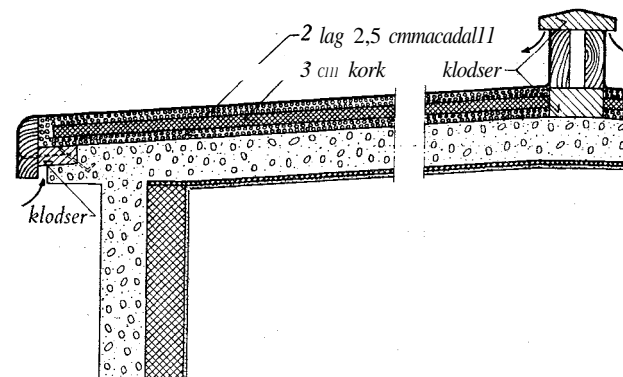


Fig. 26.

Et svensk patenteret tag - Lindquist's patent - er vist på fig. 26. Udluftningslaget består af asfaltholdigt macadam. Tagpapet er lagt på et lag, der er udjævnet med asfalt. I modsætning til en betonafdækning, som skal udtørre inden pap lægges på, kan asfaltafretningen hurtigt dækkes. Det angives, at 100000 m² er udført i de sidste år uden påviselige skader.

Statens komité för byggnadsforskning: *Det plane takets problem.* (Rapport nr. 16). Stockholm 1949.

bølgeeternit over letbeton
betonafretning

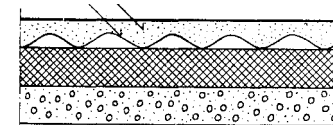


Fig. 27.

Fig. 27 viser et snit i en tagkonstruktion isoleret med letbeton, udluftet ved hjælp af bølgeeternitplader, en konstruktion som er udført adskillige steder her i landet.

I fig. 28 er udluftningen tilvejebragt af nogle dertil fabrikerede kanalplader af træuldbe-
ton, anbragt over en letbeton-isolering.

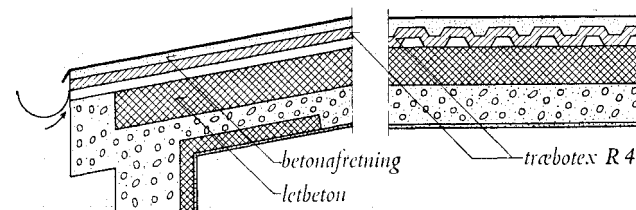
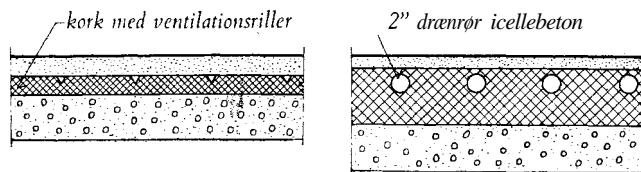


Fig. 28.

Ventile-redeflade tage

Fig. 29. Fig. 30.



I fig. 29 er kanalerne anbragt i selve isoleringen, der her består af kork. Ventilationsrillerne er overdækket med bitumenkraftpapir.

Man har anvendt rørformede ventilationskanaler udsparede i færdigstøbte letbetonplader.

Man har også som på fig. 30 prøvet at ventilere letbeton udstøbt på stedet med 2" drænrør. Hvor tæt de skallige, har man endnu ikke erfaring for. Da porerne i rørene formodentlig efterhånden tilstoppes, er det i det hele taget tvivlsomt, om konstruktionen virker efter sin hensigt. I Sverige har man en del tilfælde indstøbt rør af pap.

Hvis man beklæder taget med tagpap på brædder, er det let at etablere en udluftning. Fig. 31 viser en sådan konstruktion.

Nie IsSteensen:
Ventileret isolering.
Haandbog for Bygningsindustrien, 1948,
nr. 12.

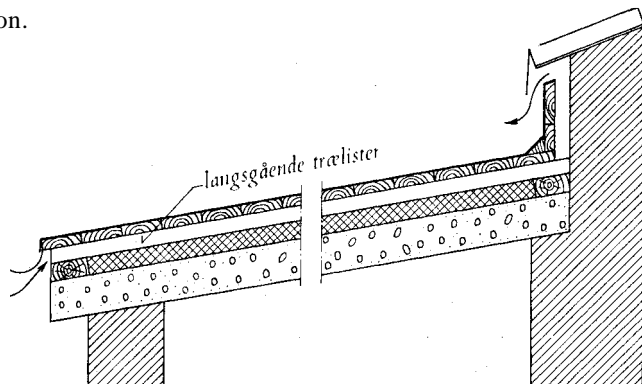


Fig. 31.

På fig. 32 vises en lignende ordning for et tag helt i beton.

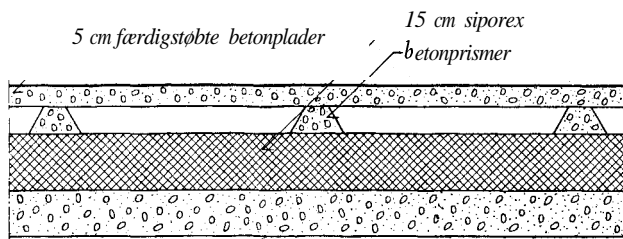


Fig. 32.

Ventile-rede flade tage

De her nævnte konstruktioner med hulrum over isolationen har alle mulighed for at virke tilfredsstillende, når luftsiftet er rigeligt.

Mindre luftsifte fordres, når udluftningskanalerne, ligger relativt lunt under isolationen, hvor den varmere luft kan rumme mere vanddamp. Hulrummet kan her frembringes af bølgeeternit, som på fig. 27, men bølgerne kan også findes

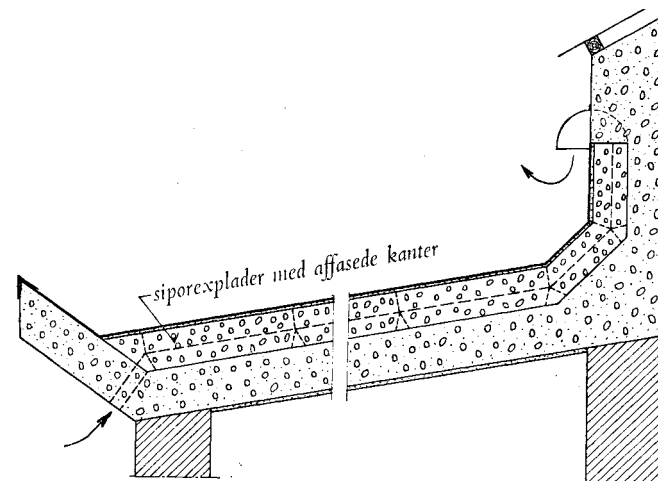


Fig. 33.

i selve letbetonpladen, som da må være støbt mod bølget forskalling.

I den på fig. 33 viste konstruktion er frembragt et net af kanaler ved en affasning af kanterne på letbetonpladernes underside. Denne udluftningsordning menes at være tilstrækkelig selv for tage over fugtige rum.

En gennemluftning med indblæst varm, tør luft som vist på fig. 34 er naturligvis effektiv, men ikke helt billig i drift.

I en række af de her viste konstruktioner, hvoraf adskillige stammer fra norske og svenske forslag, er der faldt bort fra tagkanten mod et indvendigt nedløb. Både i Norge og Sverige har man dårlige erfaringer med udvendige afløb med tagrender, som fryser til og forårsager oversvømmelse og isdannelse.

Sven H. Nycander:
Fugt i byggnader.
Kurs i husbyggnad,
side 105.
Norrköping 1948.

Ventile- rede flade tage

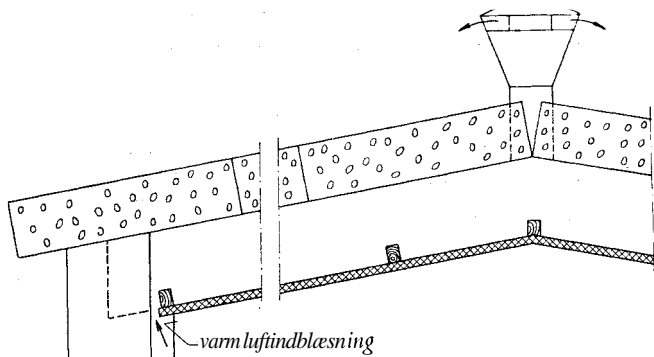


Fig. 34.

ser, der skader tag og facade. Her i landet vil de klimatiske forhold i mindre grad begunstige den ene ordning frem for den anden.

Lydisolering

Intensitetsniveauet I_n (decibel)

Nogle data, der knytter sig til begrebet lyd, skal først kort anføres.

Intensiteten I er den lydenergi, der pr. tidsenhed transmitteres gennem en arealenhed anbragt vinkelret på lydretningen.

I praksis regner man med intensitetsniveauet I_n , der er defineret ved

$$I_n \equiv 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Intensitetsniveauet måles i decibel — tiendedele bel — idet $\log \frac{I}{I_0}$ har enheden bel.

I_0 er en udgangsintensitet-referencéværdien — som den tilstedeværende intensitet I sammenlignes med. Som referencéværdi benyttes i reglen det svageste lydtryk af frekvensen 1000 hz (Hertz) som et normalt menneskeligt øre er i stand til at opfatte. 2×10^{-4} Dyn/cm² er det lydtryk, som en international komité er enedes om at fastsætte som referencéværdi. I amerikanske normer er angivet en 2 % større værdi, altså praktisk taget den samme. Også andre værdier findes dog, angivet i litteraturen.

Når den tilstedeværende intensitet for en 1000-hz-lyd netop svarer til høregrensen altså $I = I_0$, bliver som det ses $I_n = 0$ db (decibel).

m lydgivere, hvor for sig med intensiteten I og intensitetsniveauet I_n vil tilsammen svare til et intensitetsniveau

*F. Ingerslev: Akustik. Kbhvn. 1949.
Fra denne udførlige og pålidelige bog er en del oplysninger hentet.*

**Intensitetsniveau
af Oere lydgivere**

Intensitetsniveauet

Definition af vægges isoleringsevne

$$IO \log \frac{I}{I_0} = I_n + IO \log m.$$

Når lydstyrken I IO -dobles, vokser intensitetsniveauet altså med $IO \log IO = IO$ db f. eks. fra 40 til 50 db. En IO -dobling svarer til en forøgelse på 20 db, en 1000 gange stærkere lyd til 30 db's tillæg o.s.v. En lyd, der skal dæmpes fra 60 til 30 db, må formindskes 1000 gange.

Når en væggs isoleringsevne angives til f. eks. 40 db, betyder det, at differencen mellem intensitetsniveauerne i et rum på den ene side af væggen, hvor en lyd frembringes, og i rummet på væggens anden side er 40 db. Denne angivelse i db karakteriserer ikke isoleringsevnen eksakt, idet differencen f. eks. ikke vil være ens for høje og dybe toner. For at belyse dette forhold ville det være nødvendigt i en kurve at angive isoleringsevnen som funktion af frekvensen. Det er af praktiske grunde, at man nøjes med at angive isoleringsevnen med et enkelt tal, en gennemsnitsværdi.

Lydopfattelsen

En lyds styrke angivet i db er ikke direkte noget mål for dens indvirkning på den menneskelige hjerne. En dyb lyd med frekvens 1000 Hz må være stærkere end en højere lyd på f. eks. 1000 Hz, hvis den skal synes lige så kraftig. Forskellen er især udpræget, når det drejer sig om mindre lydstyrker.

Da det jo er lydopfattelsen og ikke selve den fysiske styrke, der er afgørende, når der er tale om lydisolering, har man - det synes ikke at være noget lykkeligt indfald - indført begrebet hørestyrke, som måles i phon:

Når en lyd med vilkårlige frekvens forekommer øret lige så kraftigt som en tone af frekvens 1000 Hz, siges den at være lige så mange phon som 1000 Hz-tonen er db. Hvis den lyd, der skal vurderes, netop er 1000 Hz, er den altså nøjagtig lige så mange phon som db. En lyd på 1000 Hz, der lige akkurat kan høres, er både 0 phon og 0 db. Men en 1000 Hz-lyd, der synes lige så kraftig, som altså netop kan skelnes, og som netop er 0 phon, har et intensitetsniveau på omkring 40 db.

Hørestyrke (phon)

Ved større lydstyrker udvises forskellen mellem phon og db. 60 phon, der jo er identisk med 60 db ved 1000 Hz, svarer til ca. 70 db ved 100 Hz. For lydstyrker på 80-90 db og derover er forskellen uvæsentlig.

Når hørestyrken angives i phon, har man fået et mål for den høremæssige styrke uanset frekvensen, idet man jo har ækvivaleret enhver lyd med en 1000 Hz-tone.

Men hvis phon enheden skal bruges direkte som mål for organismens opfattelse af lyden, er den dårlig valgt.

For det første giver to lyde med samme styrke i phon, to lyde som altså høres lige kraftige, ikke samme gene. Fløje toner virker ubehageligere end dybe. Det angives f. eks., at en 5000 Hz-tone med hørestyrke 60 phon er lige så generende som en 250 Hz-tone på 95 phon.

For det andet får man ved phon-betegnelsen kun oplysning om, at en bestemt lyd (med f. eks. 50 phon) høres lige så kraftig som en anden (en 1000 Hz-tone med 50 db). Men man får intet begreb om, hvordan f. eks. en 50 phons lyd opfattes i forhold til en 40 phons lyd.

Det er en almindelig anskuelse, som ikke sjældent ses fremført i fagbøger, at lydopfattelsen svarer til logaritmen af den fysiske lydstyrke. Med denne lov ville phon-skalaen, der jo for en 1000 Hz tone er logaritmisk, ikke være uhensigtsmæssig. db enheden, der for alle frekvenser svarer logaritmisk til lydstyrken, ville dog naturligvis være bedre, hvis loven gjaldt, idet lydindtrykket da ville være proportionalt med db-skalaen og altså ligefrem kunne måles i denne skala.

Men den logaritmiske lov gælder faktisk usædvanlig dårligt. Hvis man for de lydstyrker, der har interesse, når der er tale om lydisolering, regner med, at 8-10 phons forøgelse svarer til en fordobling af lydindtrykket, er det ikke helt forkert. En stigning fra 40 til 50 phon, der jo ved 1000 Hz betyder en tidobling af den fysiske styrke, opfattes altså af øret omtrent som en fordobling.

For at give et lille indtryk af måleenheden phon skal anføres, at den kraftigste lyd, man normalt kan blive udsat for, f. eks. larmen ved en flyvemaskinepropel svarer til ca. 120

Lydopfattelsen

Eksempler på hørestyrke.

Lydopfatteisen

phon. Meget kraftig radiomusik kan komme over 80 phon, almindelig tale ligger omkring 60 phon. Sænkes stemmen til en sagte hvisken, falder hørestyrken til ca. 20 phon. At 0 phon svarer til høregrensen er tidligere nævnt.

Luftlyd og bygningslyd

Lydforplantning

Ved luftlyd og bygningslyd forstår man lyd som i særlig grad forplanter sig henholdsvis med luft og med bygningsdele som medium.

Tale er luftlyd, trinstøj bygningslyd. Men tale, der starter med at sætte luften i bevægelse, når i reglen ind i et andet rum efter at have sat en væg eller et dæk i svingninger. Og trinstøj, som forplanter sig gennem et dæk, når øret gennem luft, som er sat i svingninger af dækket.

Der er altså ikke noget skarpt skel mellem de to begreber, men opdelingen er praktisk, når det drejer sig om lydisolering, idet principperne for isoleringen afhænger af lydets art.

LUFTLYD

Måling af luftlydsniveauet for at bygningselement kan foretages, idet det anbringes som fælles væg i to sammenstødende rum, der ellers er helt adskilte fra hinanden. Lydtrykket af en tone, der pr. højttaler udsendes i det ene rum registreres ved hjælp af mikrofoner på begge sider af væggen. Er effekterne i sender- og modtagerrum henholdsvis N_1 og N_2 , fås som mål for isolationsevnen af byggeelementet - ell væg, en etageadskillelse, en dør, et vindue:

$$\text{reduktionstallet} \equiv 10 \log \frac{N_1}{N_2} \text{ db.}$$

Reduktionstallet

Når lyden på sin vej gennem prøvofeltet reduceres f. eks. 10000 gange f. eks. fra 60 til 20 db, bliver reduktionstallet altså simpelthen 40 db.

Reduktionstallet for samtlige materiale er afhængig af forskellige forhold, som prøvofeltets størrelse, absorption i sender- og modtagerrum, tonens frekvens m. m. Disse faktorer må derfor fikseres, når materialer skal sammenlignes. F. eks. er det som reduktionstal for luftlyd almindeligt at benytte middelværdien inden for frekvensområdet 100-3200 Hz.

Der er naturligvis betydelig forskel på de krav, man stiller til lydisoleringen i forskellige rum.

Som retningslinje kan anføres følgende tilladelige støjniveauer:

i soveværelser	15 db
i opholdsstuer	30 db
i kontor uden ekspedition .	35 db
i ekspeditionslokaler	60 db.

Tilladeligt støjniveau i forskellige rum

Luftlyd

Når støjniveauet i et ekspeditionskontor kan nå op på 60 db, betyder det ikke, at vægge eller dæk må være så slet isolerede, at dette niveau kan frembringes af støj fra omverdenen.

Selv i ekspeditionstiden synes 60 db rigeligt. Det skal i denne forbindelse nævnes, at støjniveauet fra lyd, der opstår i selve rummet, og naturligvis også fra lyd, der trænger gennem vægge og dæk, kan nedsættes ved anbringelse af absorberende materiale på rumnlets flader. Det er altså ikke helt rationelt - omend praktisk - at forlange et bestemt reduktionstal for dæmpning af en væg: lydforholdene afhænger af den akustiske tilstand, altså af absorptionen, i såvel selve rummet som i de omgivende rum. Absorptionsvirkningen er senere omtalt. Her skal først behandles de enkelte bygningselementers lyddæmpende virkning.

Indvendige vægge

Her i landet findes endnu ingen normer for en vægs dæmpning. I England kræves mindst 45 db for væg mellem to lejligheder. Hvis det ene rum er en opholdsstue dog 55 db. Tilsvarende isolering for væg i rum inden for samme lejlighed: 35 og 45 db. En tysk norm kræver 48 db for en skillevæg. Selvom en prøvevæg opviser en tilstrækkelig isoleringsevne, er det ikke sikkert, at den er tilfredsstillende, når den anbringes i den endelige bygningskonstruktion, da en del af lyden vil forplante sig gennem sidevægge og dæk, der begrænser selve væggen. Denne såkaldte flanking-effekt, i det følgende kaldt omløbsvirkningen, er størst, når en tung væg er omgivet af lettere bygningselementer. Det er altså uhensigtsmæssigt at udføre en skillevæg usædvanlig svær uden at gøre noget særligt ved de omgivende konstruktionselementer. I tilfælde, hvor disse kun var halvt så tykke som skillevæggen, har man fundet en omløbsvirkning, der har slugt 8 db af dennes isolationssevne. Med en 4 gange så stor tykkelse af de omgivende elementer, er virkningen umærkelig.

Men det er i almindelighed uøkonoluisik at anvende så tunge konstruktioner omkring skillevæggen. Bedre reduceres on-

Krav til
isolationen

Omløbsvirkningen
(flanking-effekten)

løbsvirkningen ved en overskæring af de massive konstruktioner som vist på fig. 36 og 37.

55 db, som foreskrevet i England for væg i opholdsstue mod nabo, er en høj isolation. Hvis man uden at komme andre krav for nleget på tværs kan placere opholdsstuen, så den får færrest mulige vægge fælles med de rum, imod hvilke der kræves god isolation, bør det gøres. I det hele taget må man allerede ved planudformningen tage hensyn til lydforholdene. Soveværelser må nødvendig stødeop til trappegange eller opholdsstuer i naboledigheder. Toiletter og badeværelser bør ligge samlet og

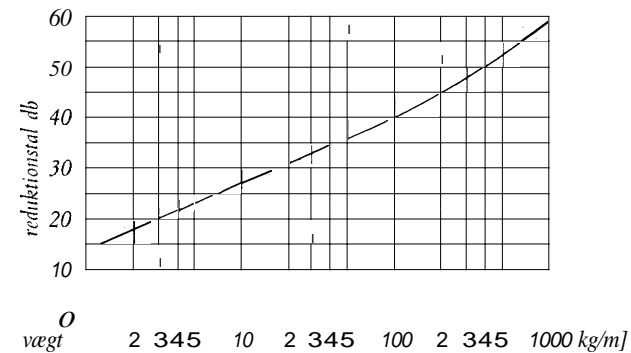


Fig. 35.

så isoleret som muligt. Trappegangens adskillende virkning bør udnyttes. Indbyggede skabe kan, rigtigt anbragt, tage del i lydisoleringen.

Lydtransmissionen gennem en væg kan ske dels ved en svingningsbevægelse af væggen, dels gennem væggenes porer.

En massiv betonvæg er så tæt, at den transmitterer lyden næsten udelukkende gennem sin svingningsbevægelse. For sådanne vægge er lydisolationssevnen onltrent proportional med logaritmen til vægten pr. kvadratenhed. Fig. 35 -viser sammenhængen. Vægten er som absicse afsat i logaritnisk skala, kurven skulle altså være en ret linie, hvis proportionaliteten rådede fuldt ud.

Når der her og i det følgende er angivet forskellige reduktionstal, skal de tages med noget forbehold. For det første er en vægs isolation tit meget afhængig af udførelsen, og da

Indvendige vægge

Massive vægges
lydtransmission

Usikkerhed i
bestemmelse af
reduktionstallet

Ind- vendige vægge

de fleste Inålingerstammer fra laboratorier, hvor omhyggelighed udvises, har db-værdiernes tendens til at blive vel høje, når de skal overføres til praktiske konstruktioner, hvor utætheder og lydbroer ikke er ukendte fænomener.

For det andet er reduktionstallet en middelværdi for et stort frekvensområde, og forskellige konstruktioner med samme gennemsnits-db kan opføre sig forskelligt over for høje og dybe toner. I reglen er reduktionstallet bedst for høje toner, hvilket i og for sig er heldigt, da det netop er dem, der generer mest.

Endelig er en vægs godhed som nævnt ikke alene afhængig af væggen selv, men også af de omgivende konstruktioner.

En pudset betonvæg med en tykkelse på 15 cm, vægt omkring 350 kg/m², har et reduktionstal på lidt under 50 db. I reglen vil dog omløbsvirkningen reducere dette tal med nogle db. I visse tilfælde må denne isolation siges at være tilfredsstillende selv mellem lejligheder. Som væg mellem opholdsstuer, hotelværelser, sygestuer, lign. er den uden just at være dårlig dog problematisk. Det ligger i tiden - måske først i fremtiden - at øge isolationen for rum som de nævnte.

Som det fremgår af fig. 35, vil en fordobling af vægten svare til en stigning på 4 db. Hvis der var tale om en tynd væg, kunne isolationen øges ved at øge tykkelsen. Men når det som her drejer sig om en væg på 15 cm, vil en forøgelse af vægtykkelsen blot for at bedre lyd isolationen være uøkonomisk. En sanlmensat væg vil være mere rationel. Sådanne konstruktioner er nedenfor omtalt.

En væg af normale mursten på 1 stens tykkelse vil give en smule bedre isolation end den ovenfor nævnte jernbetonvæg.

En 1/2 stens væg, der efter sin vægt i sig selv har en isolation på omkring 45 db, egner sig kun til adskillelse af rum inden for samme lejlighed.

Det er ikke udelukket, at porøsiteten kan spille en rolle for en nlurstensvæg, der ikke just altid opmures lige omhyggeligt. Alene af lydtekniske grunde bør alle fuger være fyldt helt. For en vel udført nlurstensvæg vil porøsiteten dog sikkert

Massive
betonvægge

1 stens
teglstensvæg

1/2 stens
teglstensvæg

Porøse vægges
lydtransmission

intet betyde, især ikke når den, som det jo næsten altid er tilfældet, er pudset.

En porøs letbetonvæg må nødvendigvis pudses, hvis isolationen skal være nogenlunde god. En upudset 10 cm tyk gasbetonvæg viste ved forsøg kun et gennemsnitligt reduktionstal på 13 db, skønt den efter vægten skulle udvise 35 db. Efter pudning blev væggen så tæt, at vægkurvell' svarende' til lydtransmission udelukkende ved syngningsbevægelse, blev bestemmende, idet den med sine 70 kg/m² udviste en isolation på 39 db. En sådan væg kan benyttes mellem rum i samme lejlighed, når kravene til lyd isolationen ikke er for strenge..

En forøgelse af tykkelsen til bedring af isolationen er ikke rationel. En tykkelse, der ville give tilstrækkelig isolation mellem to lejligheder, var i hvert fald særdeles uøkonomisk.

En opdeling af væggen er det middel, man griber til, når selv en væg, der efter forholdene i praksis må betegnes som tung, ikke isolerer tilstrækkeligt. En væg med luftmelletrum, hvor svingningerne skal overføres fra en vægplade via luften til en anden vægplade, har betydelig større lydmodstand end en enkelt væg med samme vægt. Hulrummets bredde spiller en rolle. Formodentlig vokser isolationen med voksende bredde omend langsommere og langsommere. Det er dog en almindelig anskuelse, der i hvert fald ikke altid holder stik, at maksimumsvirkningen svarer til en bredde på en halv snes cm.

Det er naturligvis vigtigt, at de to vægplader ikke er forbundne, så svingningerne direkte kan overføres. Vanskeligt er det at undgå kobling langs randen af væggene. Indlæg af filt, kork eller lignende som vist på fig. 36 og 37 løser dette problem, men kan tit i statisk henseende være uheldigt.

Ophænges i hulrummet en isolationsmåtte som på fig. 38, eller udfyldes det med et eller andet porøst materiale vil resonansen i rummet ødelægges, og isolationen forbedres.

Der er altså adskillige forhold, der spiller ind på en dobbeltvægs isolationsevne. Helt forkert vil det dog ikke være at regne med, at reduktionstallet for en dobbeltvæg kan blive omkring 8-10 db større end det, man efter fig. 35 finder for

Ind- vendige vægge Letbetonvægge

Dobbelt vægge

Indvendige vægge

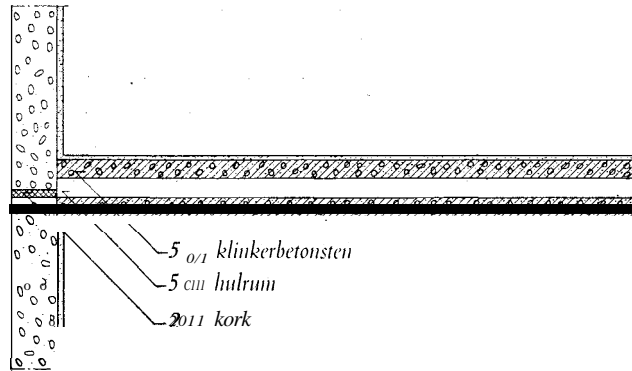


Fig. 36.

en enkeltvæg med samme vægt. Der er her tænkt på en godt udført væg uden kobling med et tomt hulrum af bredde omkring 10-12 cm og uden udpræget omløbsvirkning. En isolering i hulrummet kan give en ekstra forøgelse på måske 4 db.

Dobbelte letbetonvægge

Fig. 36 viser et vandret snit i en dobbeltvæg, som støder op til en jernbetonvæg. Til reducere af omløbsvirkningen er jernbetonvæggen skåret igennem af en lodret fugle, der er udfyldt med kork.

Efter kurven fig. 35 svarer vægten til et reduktionstal på godt 40 db for en enkeltvæg, så man kan måske for dobbeltvæggen regne 50 db, forudsat at omløbsvirkningen ikke er for stor.

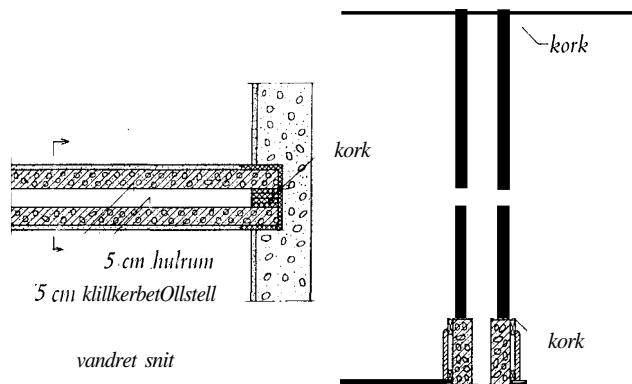


Fig. 37.

Indvendige vægge

En måtte eller andet dæmpende materiale f. eks. løse betonklinker i hulrummet vil kunne forøge reduktionstallet til lidt over 50 db.

Det er vanskeligt at få tilstrækkelig stabilitet i væggen, hvis den også skal isoleres fra dækkene. I fig. 37 hvor dobbeltvæggen er styret i betonvæggen uden dog at være direkte forbunden med den, er der ved korkindlæg sørget for en adskillelse mellem væg og dæk. Omløbsvirkningen er her reduceret til

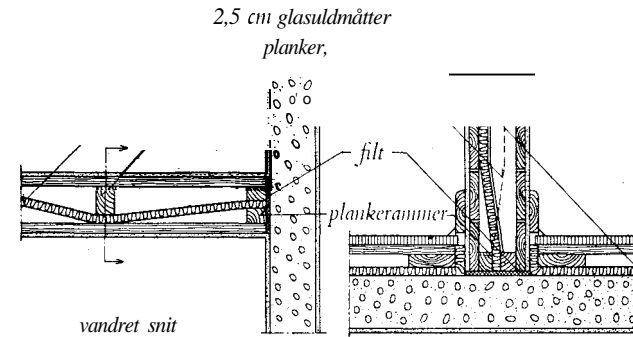


Fig. 38.

et minimum, og væggen er sikkert flere db bedre end den forannævnte.

En let og dog isolationsmæssigt ikke dårlig væg er vist på fig. 38. De to udvendige beklædninger af forskalling med puds er anbragt på to af hinanden uafhængige konstruktioner bestående af to systemer af lodrette lægter, affasede foroven og forneden. Her er de fastgjort til lægterammer, som ligger langs væggen kanter, og som er adskilt fra den omgivende konstruktion med filt. En sådan væg kan isolere 45 db eller måske lidt flere med særlig omhyggelig udførelse, forudsat at der er en dæmpning f. eks. bestående af en glasuldsmåtte i hulrummet. Uden måtte vil reduktionstallet være måske 4 db mindre.

Dobbelte lægtevægge

Gipsplader, eternitplader og lignende stive plader af tungt materiale kan også udmærket anvendes til beklædning. Lettere træfiberplader, krydsfiner m. m. som eneste beklædning vil på grund af ringe vægt og stivhed give mindre db-værdier. Især for dybe toner kan forskellen være stor. Man har her

Indvendige vægge

målt indtil 20 db's forskel på træfiberplader med og uden puds.

I den på fig. 39 viste dobbeltvæg med kun eet lægtesystem er koblingen svækket ved filtindlæg. Dæmpning i hulrummet

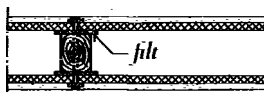


Fig. 39.

Dobbelte bræddevægge

er naturligvis heldigt. Men isolationen er flere db dårligere end for den lige nævnte væg med to lægtesystemer.

En dobbelt bræddevæg uden lægter med puds, en overordentlig almindelig konstruktion, er naturligvis ikke forbilledlig. Isolationen ligger omkring 35 db, men kan være mindre med dårlig, ikke ualmindelig udførelse. Ved indlæg af en måtte f. eks. af glasuld som på fig. 41 kan reduktions-

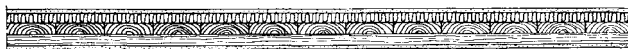


Fig. 40.

Jernbetonvæg med forøget Isolation

tallet bringes op over 40 db, med to måtter, en på hver side af bræddevæggen, måske op på 45 db.

Den på fig. 41 viste konstruktion egner sig især til en væg, der oprindeligt blot består af en jernbetonvæg med et for ringe reduktionstal. Isolationen er øget ved at anbringe en ekstra beklædning, der er fastgjort på lægter, som er opsat i metalholdere foret med filt. Den rene betonvægs isolation er om-

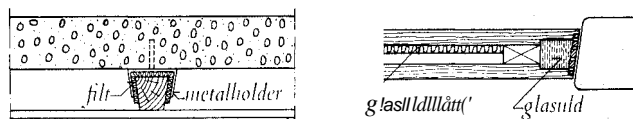


Fig. 41-42.

kring 45 db, dobbeltvæggens måske 50 db, mere eller mindre, afhængig af beklædningens art. Gipsplader, forskallingsbrædder med puds o. lign. relativt tunge og stive beklædninger er naturligvis de bedste.

Ydervægge

Ydervægge, som skal isolere mod trafikstøj, er i reglen af statiske grunde så solide, at deres lydisolerende evne af sig selv er tilfredsstillende. Normalt er der derfor ikke her grund til nogen særlig lydisolering.

Ydervægge

Vinduer

Et svagt punkt ved ydervægge er vinduerne. Et enkeltvindue isolerer dårligt, 20-25 db. Et dobbeltvindue 25-35 db.

Da det alene af varmetekniske grunde altid, i hvert fald i beboelseshuse, må fastslås, at dobbeltvinduer bør anvendes, er

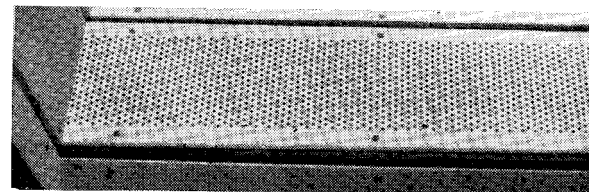


Fig. 43.

det de sidstnævnte isolationstal, der er gældende for en gennemtænkt bebyggelse. Godt 30 db, som refererer til et omhyggeligt udført dobbeltvindue, er ganske vist ikke nogen stor isolation. Men det er sikkert kun, hvis det drejer sig om vinduer i krævende rum mod støjende gader, at der vil være grund til at træffe særlige foranstaltninger. Tætningslister vil være heldige. Og en absorberende karnibeklædning, som dæmper lyden på sin vej mellem de to ruder, kan give gode resultater. På fig. 43 er vist en sådan beklædning bestående af en perforeret blød fiberplade. En glasuldsmåtte eller lignende bag pladen øger virkningen. Indvendige vinduer eller glasvægge, som forekommer i kontorer, kan, nledmindre de omgivende rum er nleget rolige, næppe komme på højde med de krav, der bør stilles til en indvendig væg i et rum, hvor der skal udføres åndeligt arbejde, uden at de udføres af dobbelte glas med karmdæmpning.

Per V. Brüel: Lydisolation og rumakustik. København 1946

Døre

Døre

En vægs isolation skal være meget dårlig, hvis den ikke skades af en i væggen anbragt dør af normal standard. Hvis der stilles nogenlunde store krav til lydisoleringen mellem to værelser, bør man så vidt muligt undgå en dør i skillevæggen. Er den nødvendig, kan en enkeltdør af den på fig. 42 viste konstruktion muligvis være rationel. Lyden, der transmitteres gennem spalten mellem døren og karmen, dæmpes af beklædningen af glasuld bag den perforerede plade langs dørens yderkant. En dør, som den her viste, isolerer i heldigste fald op mod 30 db. Isolationen kan bedres ved en endnu sværere udførelse, men mere hensigtsmæssigt vil det i almindelighed være at benytte to døre, hvorved isolationen kan øges måske til henimod 40 db.

Men det bliver dyre døre. Almindelige døre vil stadig være almindelige. Disse må da i det mindste udføres håndværksmæssigt solidt, være tætte og så tunge som muligt, hvis isolationen ikke skal være helt dårlig. En dårligt udført dør holder måske kun godt og vel 10 db. Med en god dør af en normal ikke for let konstruktion, kan middelreduktionstallet komme noget over 20 db.

Etageadskillelser

For støbte etageadskillelser vil det så at sige altid være trinlyden, der er afgørende. Hvis isolationen mod trinlyd er tilfredsstillende, villuftlyden i almindelighed ingen rolle spille. Trinlydsproblemet er senere behandlet.

Lydabsorbenter

Som foran nævnt vil den lyd, der opstår i et rum, såvel som den lyd, der trænger ind i rummet, kunne dæmpes ved hjælp af lydabsorberendemateriale opsat på rummets begrænsningsflader. Rummet bliver behageligere at opholde sig i, og det udsender mindre lyd til naborummene. Det er især i kontorer, fabrikslokaler og lignende steder, hvor mange mennesker færdes, at en dæmpning fordelagtigt kan foretages. Om mere end

10 db's reduktion i støjniveauet er der sjældent tale, i de fleste tilfælde er effekten mindre.

Til dæmpning kan benyttes resonansabsorbenter som vist på fig. 43. Princippet er det samme som i den velkendte Helmholtz resonator, hvor luften f. eks. i en hul kugle ned en lille åbning for en bestemt lydfrekvens, alt efter kuglens og åbningens dimensioner, sættes i svingninger. Ganske analogt med en spiralfjer, som påvirket i en bestemt takt i overensstemmelse med egenfrekvensen, bringes i svingning.

En perforeret plade anbragt i en bestemt afstand fra bagvæggen vil danne et system af helmholtzske resonatorer. Den lydbølge, som svarer til resonansfrekvensen, vil sætte resonatorens luftsystem i bevægelse. Til overvindelse af gnidningsmodstanden mellem luften og resonatorens begrænsninger kræves energi, som tappes ud af lydbølgen. Gnidningsmodstanden d.v.s. energitabet kan forøges ved at anbringe et porøst stof i hulrummet. Ved at ændre pladens tykkelse og dens afstand fra væggen, hullernes dimension og deres indbyrdes afstand, kan enhver lydbølge svækkes.

I rum, hvor en god akustik kræves, kan et system af forskellige plader opsættes, afpasset sådan, at der for enhver frekvens skabes netop den efterklangstid, der ønskes. Nærmere enkeltheder om akustisk regulering kan findes i de tidligere citerede lydtekniske håndbøger.

Men også i rum, hvor det blot gælder om at nedsætte støjniveauet, kan resonansabsorbenter udnyttes, især når der er tale om støj f. eks. fra maskiner med en eller flere bestemte frekvenser.

Når der anbringes f. eks. en glasuld- eller rockwoolnåtte i hulrummet, bliver dæmpningen ikke så udpræget for en bestemt frekvens, men der absorberes til gengæld lyd over et større frekvensområde. Der findes i handelen visse perforerede standardplader, og i tilfælde, hvor der blot i almindelighed er tale om nedsættelse af støjniveauet, foregår størstedelen af absorptionen i en porøs nåtte bag pladen. Pladen virker som en beskyttende overflade, som dog øger absorptionen for lyd svarende til resonansfrekvensen, men som til gengæld ned-

Lydabsorbenter

Resonansabsorbente."

Lydabsorbenter

sætter den porøse luåttens virkning overfor lyd af anden frekvens.

Det er især høje toner (med små bølgelængder, der ved gnidningsmodstanden i det porøse materiale får lejlighed til at afgive energi. At de dybe toner absorberes mindre er ikke så væsentligt, det er de høje toner, som generer mest, og som det gælder om at dæmpe.

Beregning af dæmpningen

Absorptionen er proportional med $\Sigma a \delta$, hvor a er absorptionskoefficienten, og δ materialets areal.

En dæmpning på 10 db, der jo svarer til en decilnering af lydenergien, kræver altså en 10-dobling af absorptionsenhederne $\Sigma a \delta$.

Se f. eks. i de side 53 og 65 anførte afhandlinger.

Tabeller over a findes i så at sige alle akustiske håndbøger.

Forskellige lydabsorbenter

Letbeton, træuldbeton og lignende materialer med stærkt porøst overflade virker også som lydabsorbenter, især virksomme over for høje toner. Anvendt som indvendig varmeisolerings i et støjfyldt rum vil sådanne materialer med held tillige kunne fungere som lyd dæmpning.

Lyddæmpning i trapperum

Støjniveauet i et trapperum med hårdt slidlag som terazzo er ubehageligt. Forholdene kan ikke blive tilfredsstillende uden en lyd dæmpning.

Er trappevæggen af beton, bør den alene af tekniske grunde isoleres. En beklædning af væggen med f. eks. klinkerbeton eller træbeton uden puds vil såvel i varme- som i lydteknisk henseende være heldigt (fig. 45, 46).

Resonansabsorbenter anbragt på underside af reposer og trappeløb kan sænke støjniveauet endnu mere effektivt.

Skønt sjældent udført, bør det dog overvejes, om en sådan regulering ikke er udgiften værd.

BYGNINGSLYD

Etageadskillelser

Trinlyd måles efter international aftale ved registrering af styrken af lyd, der går igennem en etageadskillelse, når et særligt bankeapparat med hamre af bestemt vægt og med bestemt faldhøjde i en given takt sættes i funktion oven på dækket. For at opnå eentydige resultater er lydtryksmåleren normeret, og der foretages korrektion for absorptionen i modtagerrummet under etageadskillelsen. Et middeltal for frekvensområdet 125-1600 Hz benyttes som mål for dæmpningen.

Måling af t.-inlyd

Det er først for ganske nylig, at målemetoden er lagt fast. Hvis man i litteraturen støder på resultater, der er i modstrid med hinanden, må årsagen sandsynligvis søges i uens måleapparatur.

En gulvbelægnings lyd dæmpende virkning kan findes ved måling af dæmpningen først i det rå dæk - referencegulvet - og dernæst i det færdige dæk.

Når trinlydsdæmpningen f. eks. for et gulv med wilton-tæppe angives til 24 db, betyder det, at forskellen i dæmpningen med og uden tæppe er 24 db. De i det følgende anførte db-værdier refererer derfor til den relative trinlydsdæmpning. Da der ikke er stor forskel i dæmpningen af de rå dæk, enten de er af lidt tykkere eller tyndere jernbeton- eller hulstensplader, kan de relative trinlydsdæmpninger godt sammenlignes indbyrdes, selvom referencegulvet ikke er nøjagtigt det samme.

Når kravene til lyd isolation er store f. eks. i radiostudier i skoler o. s. v., kan en tangmåtte eller måtte af f. eks. rockwool eller glasuld anbringes under slidlaget. Et jernbeton- eller hulstendæk med en 25 mm rockwoolmåtte overdækket med

Svømmende gulv

Etageadskilleiser

en 4 cm armeret betonplade med en expanko- eller linoleumsbelægning har dæmpning på 24-28 db. Et parketgulv udlagt på en glasuldmåtte giver omtrent samme resultat. Under brugen, hvor måtterne fra nyttebelastningen efterhånden sammentrykkes, vil dette tal utvivlsomt synke.

Slidlaget over måtten må ikke have forbindelse med væggene, men måtterne bør i kanten bøjes op som vist på fig. 15.

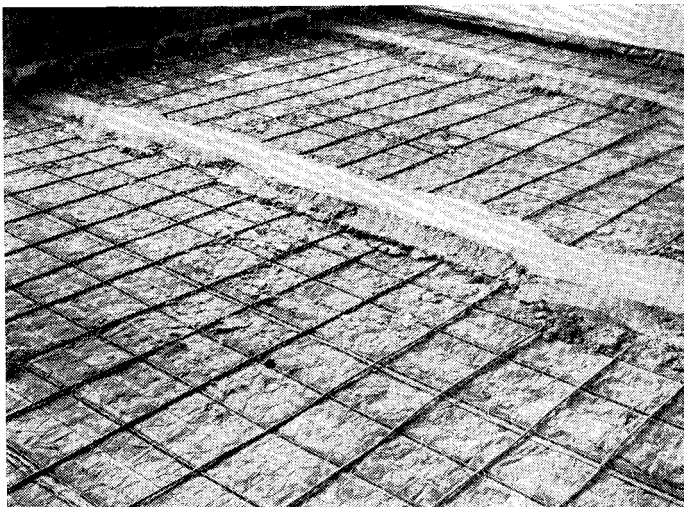


Fig. 44.

Trægulv på strøer
Strøer på strimler.
Strøer på måtter.

På fig. 44 er vist et gulv, som det her nævnte, et såkaldt svøulende gulv, under udførelse.

Et trægulv på strøer kan isoleres fra betondækket med strimler af blødt materiale anbragt under strøerne. En måtte mellem strøerne har ingen særlig virkning over for trinlyd. På grund af det mere koncentrerede tryk med kraftigere sammentrykning af strimlerne, er isoleringen mindre end for det lige nævnte gulv. Med en trinstøjsdæmpning på mere end 15 db kan man næppe regne.

En ensartet fordeling af belastningen både på hele gulvfladen og under strøer forudsætter et jævnt gulv, som kun nås ved afretning af det støbte dæk. Anbringes strimler eller måtter under strøerne direkte på det støbte dæk, må strøerne kiles

op, så de hviler i enkelte punkter. Hvis man vil spare en afretning, kan man næsten lige så godt oplægge strøer på brikker af rockwool, kork el. lign. anbragt f. eks. med 50 cm mellemrum.

Selvom denne konstruktion ikke ved forsøg viser væsentlig mindre dæmpning end en afrettet strimmelkonstruktion, må det befrygtes, at brikker, med det større lokale tryk, i længden vil miste måske adskillige db i sin isoleringsevne, i hvert fald flere end strimmelkonstruktionen, som måske heller ikke vil vise sig helt stabil.

Det er ikke usandsynligt, at man vil komme til det resultat, at en brikisolation normalt er utilstrækkelig.

I alle tilfælde er det en ubehagelig kendsgerning, at man faktisk ikke ved, hvor meget en langtidsbelastning influerer på dæmpningsgraden.

Når trinstøjsdæmpningen kommer under 15 db, vil den ikke under normale forhold, f. eks. i lejligheder være helt tilfredsstillende. De fleste belægningsdirekte på betongulv uden noget blødt mellemlag vil ikke kunne honorere de krav, illan almindeligvis stiller. Asfalt, dafoleum, expanko, linoleum o. lign. dæmper kun 4-6 db.

På fig. 3, 4, 6, 8, 11, 13, 14, 15 og 17 er vist nogle eksempler på nogle mere eller mindre dæmpende gulvkonstruktioner.

Trapper

Trapper, der næsten altid i et betonhus har en hård belægning som terazzo, vil befordre trinlyd kraftigt, hvis de er støbt salmen med trappevæggene, og hvis man da ikke som i specielle bygninger, hoteller o. lign. har en tæppebelægning.

Det er ikke almindeligt at træffe nogen forholdsregel, og luan har ringe erfaring på dette område, luen det er nødvendigt at foretage noget, hvis forholdene skal blive nogenlunde tilfredsstillende.

Det er effektivt, omend lidt besværligt, at indlægge kork el. lign. i alle berøringsflader mellem trappevægge og trappens reposer og løb, som vist på fig. 45. I reglen kan man undgå at

Etageadskilleiser

Strøer på brikker.

K.-av til
t.ainlydsisolation

Trapper

sammenstøbe væggene lued trappeløbene, som da bærer fra repos til repos. og for løbenes vedkommende blot indlægge en blød adskillende isolation som i fig. 46, så det kun er repospladen der udføres som på fig. 45.

På fig. 47 er snittet lagt i forkanten af reposen. Kun skjulte bjælker i for- og bagkant er ført ind i væggen, til gengæld helt

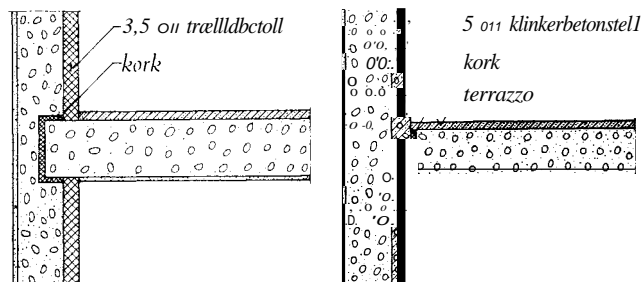


Fig. 45, 46.

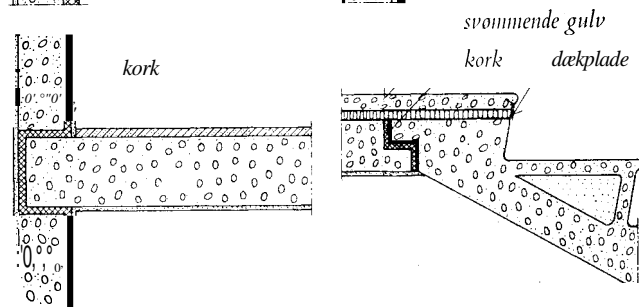


Fig. 47, 48.

igennem, medens reposen langs sin øvrige begrænsning ligesom løbene isoleres fra væggene, som i fig. 45.

Fig. 48 viser en ordning, som må kunne anvendes. På reposen er anbragt et svømmende gulv. I lejefloden mellem repos og løb er isolation indlagt, medens løbene er adskilt fra væggene som det er vist i fig. 46.

Det er foran under afsnittet lydabsorbenter nævnt, at man bør overveje en nedsættelse af støjniveauet i et trapperum med hårdt slidlag ved en beklædning af underside af reposer og trappeløb eller af væggene. Det er naturligvis en foranstaltning, der er uafhængig af den lige nævnte isolation, der tager sigte på begrænsning af bygningslyden.

Vægge

Lad fra søm, der bankes i en væg, forplanter sig i et betonhus med sin monolitiske karakter ubehageligt voldsomt. Det må vist siges, at det normalt vil være for dyrt at afhjælpe denne ulempe. Trælister fastgjort i væggene under bygningens opførelse er et middel, der er benyttet til imødegåelse af sømstøjplagen.

Installationer

Installationer kan give anledning til nlegen støj. Problemet er langtfra klaret, men der er dog visse retningslinier at gå efter.

Rum med installationer, køkken, toilet og bad bør så vidt muligt placeres sammen og ved tunge vægge være adskilt fra beboelsesrummene.

Cisterner o. lign. bør ikke anbringes på vægge mod opholdsrum. En cisterne kan isoleres fra væggen ved f. eks. med et blødt underlag at placere den på et par knægte. Det er ikke just nogen elegant løsning, og iøvrigt er en højtsiddende skyllecisterne, der kræver en langsommelig og langtfra lydløs fyldning, en forældet genstand. Dens afløsning af de lavtsiddende udskylningsanordninger, som kun er i funktion et par sekunder under selve udskylningen, er formodentlig blot et spørgsmål om tid.

Rør bør ikke føres vandret gennem vægge, der adskiller lejligheder. Selvom to radiatorer på hver sin side af en sådan væg kan fødes af samme streng, vil to lodrette strenge være at foretrække.

I gennemlbrydningerne i etageadskillelserne kan man med forholdsvis ringe midler få tilfredsstillende forhold. Man har f. eks. for en beskeden udgift med held isoleret på følgende måde: røret omvikles på indstøbningslængden med en arkillette el. lign. Efter indstøbningen pensles isoleringen, der er rettet af i plan med det rå dæks overside, med bitunlen, hvorefter et lag støbeasfalt påføres.

Støj fra aftapningshaner er ofte generende. Der findes så-

Vægge

Cisterner

Rør

Aftapningshaner

Installationer

kaldte støjfri haner, som ned mere eller mindre godt resultat har været anvendt. Ved indskydelse af et stykke rør af blødere materiale f. eks. gummi, eller ved gummiindlæg i en flangesamling nær hanen, har man søgt at imødegå støjforplantningen. Men en billig og teknisk tilfredsstillende løsning er ikke fundet.

Maskiner

Maskinstøj kan neddæmpes ved opstilling af maskiner på specielle vibratordæmpere af stålfjedre eller gummi eller ved indlæg af isolation i fundamentet, så det er helt adskilt fra bygningen. Der findes fabrikater som antifoll, der i styrke og elasticitet er afpasset til forskellige belastninger.

Svingninger i bygninger

Også til dæmpning af svingninger eller rystelser af en hel bygning, der ligger særlig udsat, eller hvor kravene til ro er store, kan indlæg i fundamenterne benyttes. Det er dog i specielle og sjældne tilfælde, at sådanne forholdsregler må træffes.

Men man vil forstå, at selv i normale tilfælde er lydisoleringsproblemet mangeartet.