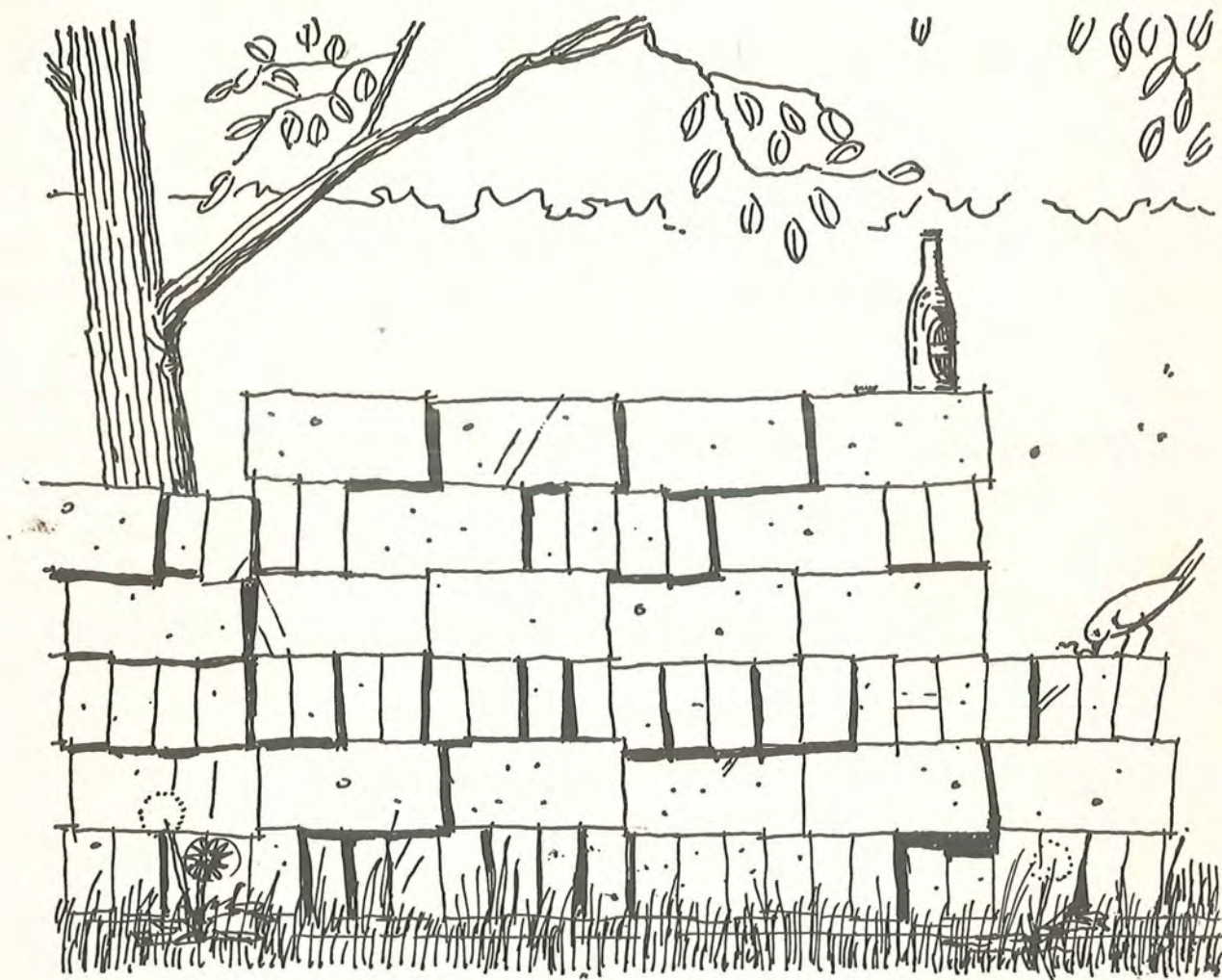


**DIAB**

**husbygning**



**Vægkonstruktioner**

Frits B. Olesen

**5**

A 623

671

Jr. professor H. Boman  
Med venlig hilsen  
F. B. Olesen

GRAFISK KOMMUNIKATION

Acc.nr. : 0623

Gruppenr. : 71.26

## 5: Vægkonstruktioner

2. udgave

Planlagte og udkomne kompendier om elementær husbygningsteknik i DIAB, HUSBYGNING's kompendie-serie:

|                                   |                |                         |                |
|-----------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| Frits B. Olesen:                  | Husbygning 1:  | Fundamenter             |                |
| Frits B. Olesen:                  | Husbygning 2:  | Terrændæk               |                |
| Frits B. Olesen:                  | Husbygning 3:  | Kælderkonstruktioner    |                |
| Frits B. Olesen:                  | Husbygning 4:  | Dækkonstruktioner       | 1969           |
| Frits B. Olesen:                  | Husbygning 5:  | Vægkonstruktioner       | 2. udgave 1970 |
| Bent-Erik Carlsen & Axel Nielsen: | Husbygning 6:  | Tagkonstruktioner       | 2. udgave 1970 |
| Bent-Erik Carlsen & Axel Nielsen: | Husbygning 7:  | Trapper og altaner      |                |
| Bent-Erik Carlsen & Axel Nielsen: | Husbygning 8:  | Gulve og lofter         |                |
| Bent-Erik Carlsen & Axel Nielsen: | Husbygning 9:  | Døre og vinduer         |                |
| Frits B. Olesen:                  | Husbygning 10: | Elementær bygningsfysik | 1969           |
| Frits B. Olesen:                  | Husbygning 11: | Opgaver                 | 1969           |

#### FORORD

Nærværende kompendium om vægkonstruktioner udgør kapitel 5 af en samlet serie på ialt 9 kapitler om elementær husbygningsteknik, udarbejdet som grundbog for 1. dels kursus i bygningslære ved Danmarks Ingeniørakademis Bygningsafdelinger i København og Aalborg samt for undervisningen i husbygning ved Danmarks tekniske Højskoles 1. og 2. dels studium i Aalborg.

Fremstillingen af stoffet er baseret på en analyse af funktionskravene, som må være det centrale i emnet udfra et ingeniørmæssigt synspunkt, og må ses i sammenhæng med HB 10: Elementær bygningsfysik, som forudsættes doceret forud for det her behandlede stof. Eksemplerne tjener kun til at illustrere det principielle i emnet og er alene udvalgt med henblik på at belyse, hvorledes funktionskravene er opfyldt ved et bredt udsnit af gængse vægkonstruktioner. Kompendiet er altså i første række en lærebog, men indeholder desuden en del håndbogsstof (dimensioneringsdiagrammer, lovbestemmelser, konstruktionsdetaljer etc.), som selvfølgelig ikke doceres i fuldt omfang, men tjener til at give en sammenfattende fremstilling af emnet og dermed et vist overblik.

Den foreliggende 2. udgave er gennemrevideret og tildels omarbejdet i forhold til 1. udgaven (1968), hovedsageligt på grundlag af de erfaringer, der er indhøstet ved 2 års anvendelse af denne i undervisningen. Der er dog intet til hinder for samtidig anvendelse af de 2 udgaver, idet de begge bygger på samme grundide: først analysen (funktionskravene), derefter syntesen (konstruktionseksemplerne).

Forsidetegningen er udført af arkitekt m.a.a. Axel Nielsen, Bygningsafdelingen, København, de øvrige tegninger af teknisk assistent, fru Ingrid Christensen, og maskinskrivningen af fru Birte Tors-tveit, begge Bygningsafdelingen, Aalborg.

Aalborg i juli 1970

Frits B. Olesen

## INDHOLD

|   |    |   |    |
|---|----|---|----|
| <u>5.1. GRUNDBEGREBER</u> .....           | 7  | <u>5.4. VÆGOVERFLADER</u> .....                   | 61 |
| 5.1.1. DEFINITION, VÆGTYPEN .....         | 7  | 5.4.1. BLANK MUR .....                            | 61 |
| <u>5.2. FUNKTIONSKRAV</u> .....           | 10 | 5.4.2. PUDSNING .....                             | 62 |
| 5.2.1. STATISKE FUNKTIONSKRAV .....       | 10 | Pudslagets opbygning og underlag .....            | 62 |
| Statisk system .....                      | 10 | Grundning .....                                   | 62 |
| Belastninger .....                        | 12 | Grovpuds .....                                    | 63 |
| 5.2.2. AKUSTISKE FUNKTIONSKRAV .....      | 14 | Slutpuds .....                                    | 63 |
| Rumisolation og reduktionstal .....       | 14 | Valg af puds .....                                | 64 |
| Massive vægges luftlydisolation .....     | 16 | 5.4.3. MALING .....                               | 65 |
| Dobbeltvægges luftlydisolation .....      | 18 | 5.4.4. BETONOVERFLADER .....                      | 66 |
| Lydregulering og lyddæmpning .....        | 23 | Frilagte betonoverflader .....                    | 66 |
| 5.2.3. HYGROTERMISKE FUNKTIONSKRAV .....  | 25 | Ikke-frilagte betonoverflader .....               | 68 |
| Varmeisolering og varmekapacitet .....    | 25 | 5.4.5. NATURSTEN OG KERAMISKE VÆGOVERFLADER ..... | 69 |
| Vindtæthed og vandtæthed .....            | 28 | Indvendige overflader .....                       | 69 |
| Fugttransport i ydervægge .....           | 30 | Udvendige overflader .....                        | 70 |
| Facadefugers tæthed .....                 | 32 | 5.4.6. GLAS .....                                 | 71 |
| Solafskærmning .....                      | 34 | Glasmaterialer .....                              | 71 |
| 5.2.4. BRANDTEKNISKE FUNKTIONSKRAV .....  | 38 | Tekniske egenskaber .....                         | 72 |
| Funktionskrav .....                       | 38 | 5.4.7. METALLISKE OVERFLADER .....                | 74 |
| Bærende vægge .....                       | 39 | 5.4.8. TRÆBEKLÆDNINGER .....                      | 75 |
| Ikke-bærende vægge .....                  | 40 | Brædebeklædninger .....                           | 75 |
| Vægbeklædninger .....                     | 40 | Pladebeklædninger .....                           | 75 |
| 5.2.5. ANDRE FUNKTIONSKRAV .....          | 42 | 5.4.9. ANDRE MATERIALER .....                     | 77 |
| Indervægge .....                          | 42 | Asbestcement og asbestsilikat .....               | 77 |
| Ydervægge .....                           | 42 | Gips .....  | 77 |
| Plast .....                               | 77 | Plast .....                                       | 77 |
| <u>5.3. MURVÆRKS KONSTRUKTIONER</u> ..... | 44 | <u>5.5. KONSTRUKTIONSEKSEMPLER</u> .....          | 78 |
| 5.3.1. MURSTEN .....                      | 44 | 5.5.1. TEGLSTENSHULMUR .....                      | 78 |
| Stentyper .....                           | 44 | 5.5.2. SKALMURET BINDINGSVÆRK .....               | 80 |
| Stenformater .....                        | 46 | 5.5.3. BETONELEMENT-YDERVÆG .....                 | 82 |
| Stenklasser .....                         | 47 | 5.5.4. TRÆSKELET-YDERVÆG .....                    | 84 |
| 5.3.2. MØRTEL .....                       | 49 | 5.5.5. MASSIV TEGLSTENSVÆG .....                  | 86 |
| Mørteltyper .....                         | 49 | 5.5.6. BETONELEMENT-INDERVÆG .....                | 87 |
| Mørtelfremstilling .....                  | 50 | 5.5.7. LETBETONSKILLEVÆG .....                    | 89 |
| 5.3.3. MURING .....                       | 51 | 5.5.8. TRÆSKELET-DOBBELTVÆG .....                 | 90 |
| Målforhold .....                          | 51 | <u>5.6. LITTERATUR</u> .....                      | 92 |
| Fuger .....                               | 51 |   |    |
| Forbandt .....                            | 52 |   |    |
| 5.3.4. STYRKEFORHOLD .....                | 54 |   |    |
| Murværks styrke .....                     | 54 |   |    |
| Centralt belastet murværk .....           | 54 |   |    |
| Ekscentrisk belastet murværk .....        | 56 |   |    |
| Horisontalt belastet murværk .....        | 57 |   |    |
| 5.3.5. ARMERET MURVÆRK .....              | 58 |   |    |
| Svenske forskrifter .....                 | 58 |   |    |
| Spændtegl .....                           | 59 |   |    |
| 5.3.6. LIMET MURVÆRK .....                | 60 |   |    |

## 5.1. Grundbegreber

### 5.1.1. Definition, vægtyper

Ved vægkonstruktioner forstås i husbygningsteknikken de bygningsdele, som sammen med gulv- og loftkonstruktionerne udgør de enkelte rum eller rumafsnits begrænsning. Betegnelsen omfatter såvel indervægge som ydervægge, såvel lette som tunge (f.eks. murede eller støbte) vægge, og såvel bærende som ikke-bærende vægge, d.v.s. vægge, som indgår, henholdsvis ikke indgår, i det bærende hovedsystem.

Definition

Karakteristisk for en vægkonstruktion er dens adskillende funktion, visuelt, akustisk, klimatisk eller i anden henseende, selv om det ikke altid er det adskillende, der er det primære; i visse tilfælde, f.eks. en bærende indervæg, der alene har statiske funktioner, kan de adskillende funktioner tilmed være bifunktioner, hvis ulemper man nødtvungen må affinde sig med. Et typisk eksempel herpå er etageboligbyggeri og kontorhuse med indvendige bærende vægge af murværk; i stueetagen kan væggene være til stor ulempe for indretning af større, sammenhængende butikks- eller ekspeditionslokaler, men er nødvendige af statiske grunde, da de skal optage belastninger fra de øvrige etagers vægge, der foruden bærende også har adskillende funktioner, nemlig akustiske og brandtekniske.

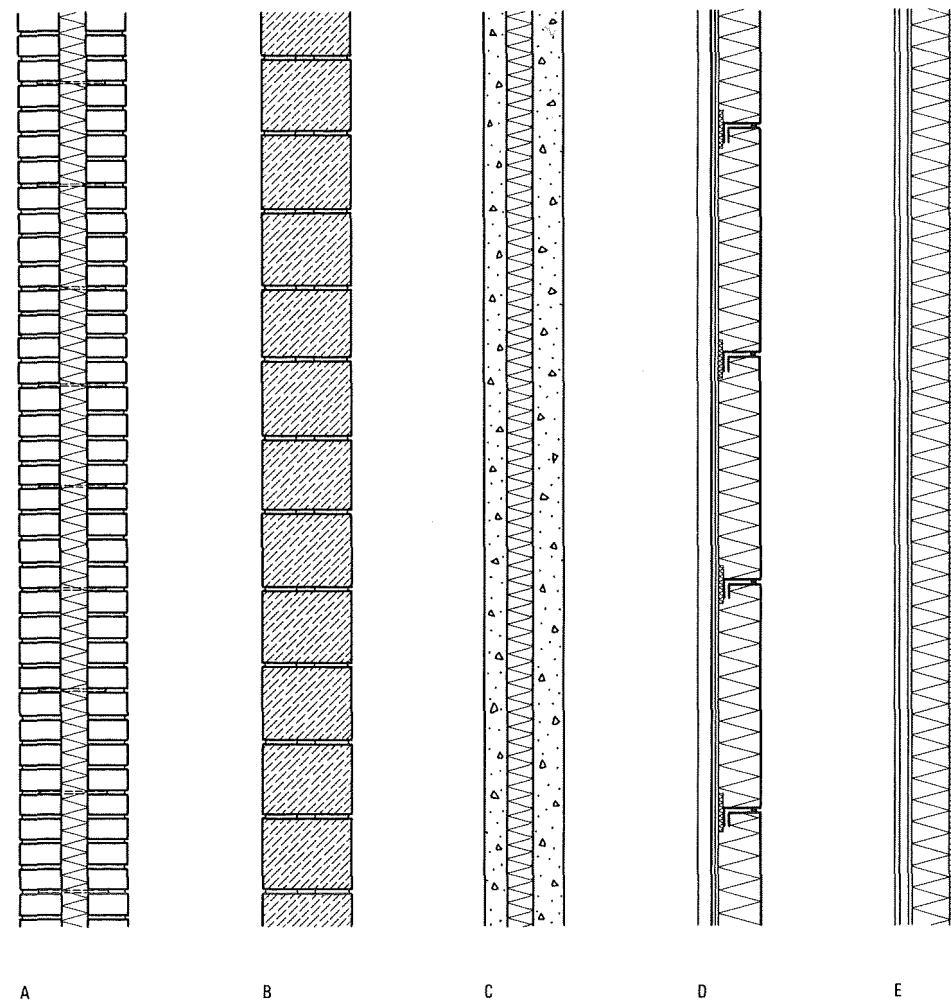
En vægs adskillende funktion er ikke altid det primære, men kan tværtimod være uønsket

På figur 5.01 og 5.02 er vist en række gængse vægkonstruktioner, opdelt i indervægge og ydervægge. De vidt forskellige konstruktive udformninger afspejler de vidt forskellige funktionskrav, de enkelte vægge opfylder. Som det fremgår af funktionsanalysen i afsnit 5.2., udgør funktionskravene i almindelighed et omfattende kompleks, så vurderingen af, hvilken vægtype der i en given sammenhæng er at foretrække, kan blive et ganske kompliceret spørgsmål, hvor mange hensyn - i visse tilfælde modstridende - skal forenes. Mest afgørende for, hvilke vægtyper der kan komme på tale, er selvfølgelig hovedprincippet i den konstruktive opbygning (muret byggeri, montagebyggeri, stål- eller jernbetonskeletkonstruktion, bærende tværvægge eller længdevægge etc., etc.), men når disse hovedlinier er fastlagt, vil det i høj grad være funktionskravene, der bestemmer de enkelte vægges detaljerede udformning.

Vægtyper

Valg af vægtype

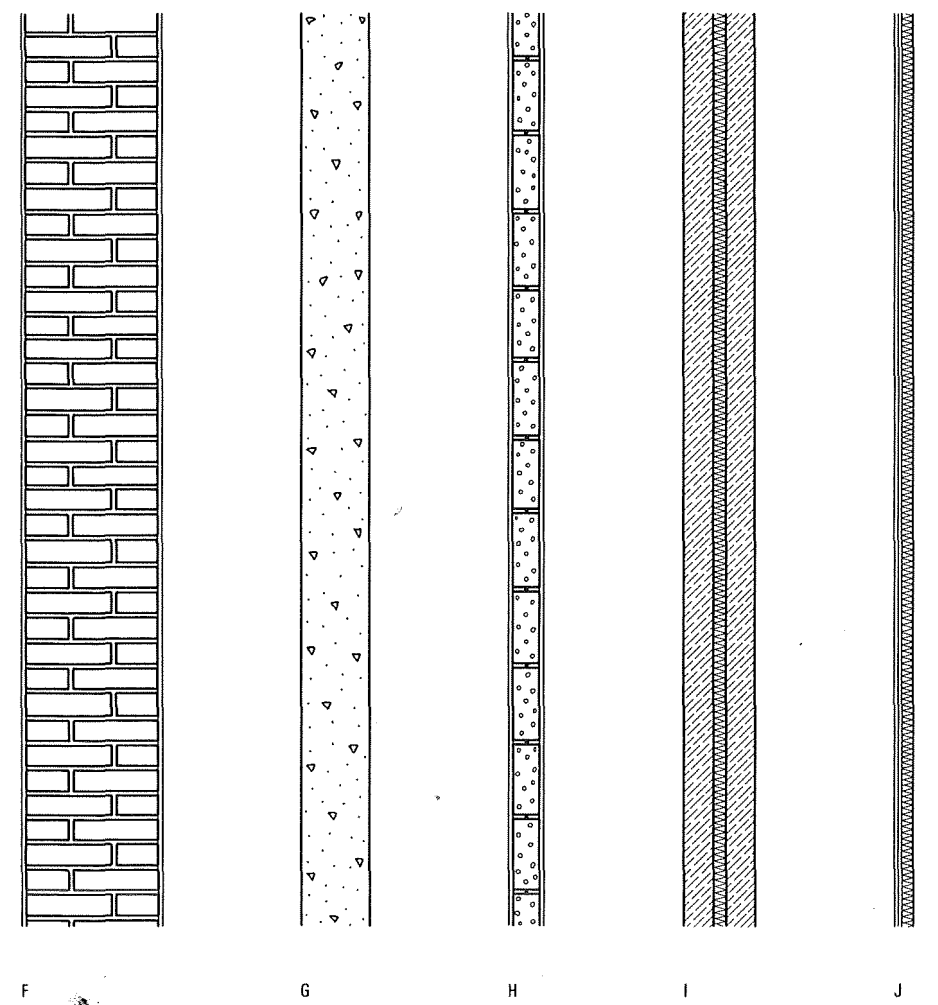
I afsnit 5.5. er vist en række eksempler på udformning af vægkonstruktioner til forskellige formål.



Figur 5.01:

Ydervægge, snit 1:20

- A. Teglstenshulmur
- B. Massiv porebetonmur
- C. Beton-sandwich-element-væg
- D. Stålelementydervæg
- E. Træskeletydervæg



Figur 5.02:

Indervægge, snit 1:20

- F. Massiv teglstensmur
- G. Betonelementvæg
- H. Klinkerbetonblokmur
- I. Dobbelt porebetonelementvæg
- J. Dobbelt træskeletvæg

## 5.2. Funktionskrav

### 5.2.1. Statiske funktionskrav

Til enhver vægkonstruktion, hvadenten den indgår eller ikke indgår i det bærende hovedsystem, d.v.s. om den er bærende eller ikke-bærende, må der stilles statiske funktionskrav, altså krav til dens styrke- og stivhedsegenskaber. Men selvfølgelig er de krav, der må stilles i de to tilfælde, vidt forskellige - og dermed også den indflydelse, de statiske funktionskrav har på konstruktionens udformning.

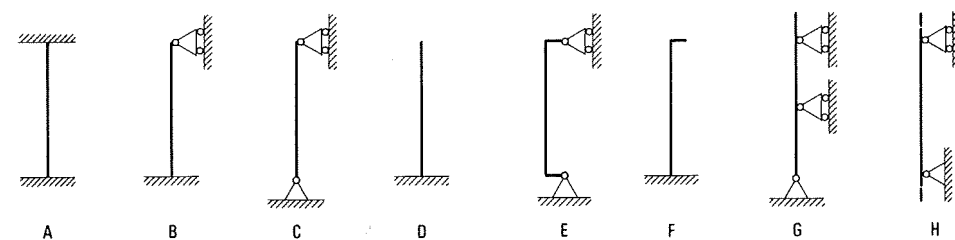
Behandlingen af de statiske funktionskrav foregår som sædvanlig i tre tempi:

- formulering af konstruktionens statiske virkemåde
- belastningsansættelse
- dimensionering (intuitivt, eksperimentelt eller beregningsmæssigt).

I det følgende skal omtales de to første punkter; vedrørende dimensioneringen henvises dels til konstruktionseksemplerne i afsnit 5.5., dels til den almindelige litteratur om bærende konstruktioners teori.

#### STATISK SYSTEM

Opstillingen af den mekaniske model af en vægkonstruktion som bærende konstruktion må nødvendigvis baseres på en række ret grove forenklinger. I langt de fleste tilfælde må nemlig en vægkonstruktion af andre årsager gives sådanne dimensioner, at den rigeligt kan opfylde de aktuelle statiske funktionskrav, således at dimensioneringen kan indskrænkes til en eftervisning af en stærkt forenklet models bæreevne. I sådanne tilfælde betragtes konstruktionen almindeligvis som en plan konstruktion, hvis model - alt efter understøtningsforholdene - kan se ud som vist på figur 5.03.

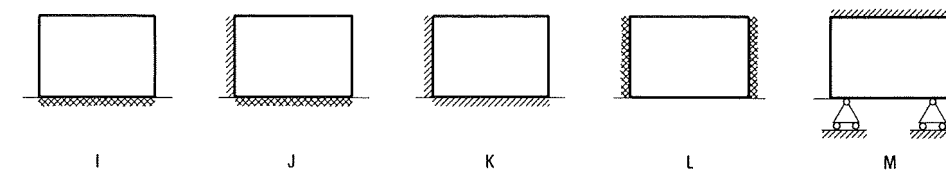


Figur 5.03:  
Mekanisk model af vægkonstruktioner, betragtet som bjælker og søjler

Almindeligvis anordnes det statiske system af bygningen som helhed på en sådan måde, at etagedækkene repræsenterer sideværts understøtninger, således at væggen i statisk henseende kan betragtes som en bærende konstruktion med spændvidde = etagehøjden, (om denne forudsætning er opfyldt, må naturligvis nøje klarlægges i hvert enkelt tilfælde). Alt efter belastningens art er der tale om en centralt eller ekscentrisk belastet søjle (f.eks. bærende indervæg), en bjælke (f.eks. ikke-bærende ydervæg) eller tværbelastet søjle (f.eks. bærende ydervæg).

I tilfælde, hvor det alene eller overvejende er bæreevnen, der er bestemmende for dimensionerne, vil det - specielt for beton- og mur-

værkskonstruktioner - ofte være for grov en forenkling at betragte væggen som en plan konstruktion, idet den for denne model fundne bæreevne meget vel kan være flere gange mindre end den virkelige og dermed selvfølgelig give en uøkonomisk dimensionering. I sådanne tilfælde må væggen betragtes som en plade- eller skivekonstruktion, som eksempelvis de på figur 5.04 i opstalt viste vægge.



Plader og skiver

Figur 5.04:  
Mekanisk model af vægkonstruktioner, betragtet som plader og skiver

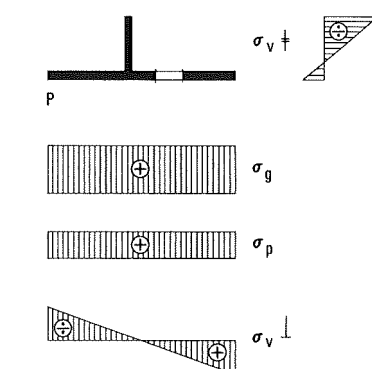
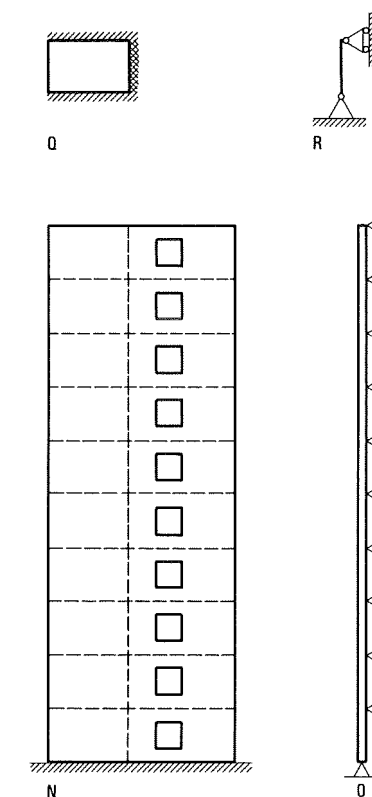
Væggen I - fast indspændt forneden, fri langs de øvrige rande - er identisk med modellen D, så længe der er tale om belastninger, der er ensartet i væggen længderetning. For en enkeltkraft derimod (f.eks. lodret) må væggen betragtes som en skivekonstruktion. Som en passende forenklet model kunne også regnes med en indspændt, plan søjle med tværsnitsbredde varierende fra "nul" til f.eks. to gange væggen højde.

Væggen J adskiller sig fra I ved at være simpelt understøttet langs den ene lodrette rand. Dens bæreevne for såvel lodrette som vandrette kræfter er flere gange større end I's, afhængigt af konstruktionens slankhed og kræfternes angrebepunkter. For murværkskonstruktioner spiller det en særlig rolle, at murværk styrkemæssigt er anisotrop, jvf. artikel 5.3.4.

Væggen M er et eksempel på, hvordan særlige understøtningsforhold kan gøre det påkrævet at betragte en ellers "normal" væg som en skivekonstruktion, som det f.eks. er tilfældet, hvor væggene i en pælefunderet kælder udnyttes som "bjælker", der spænder mellem pælene.

En vægkonstruktion kan imidlertid - som andre bygningsdele - indgå som led i det samlede statiske hovedsystem på en sådan måde, at den i statisk henseende ikke lader sig isolere fra denne sammenhæng og altså ikke kan behandles beregningsmæssigt ved opstilling af en simpel model af den enkelte bygningsdel. Som eksempel herpå er i figur 5.05 vist en gavlvæg i en 10-etagers bygning med bærende tværskillevægge; den er tillige et eksempel på, hvorledes den samme bygningsdel kan varetage forskellige statiske funktioner og alt efter disse indgå i flere forskellige mekaniske modeller.

For lodret, hvilende og bevægelig, belastning,  $g$  og  $p$ , indgår den enkelte etagehøjde væg i systemet O og får normalspændingerne  $\sigma_p$  og  $\sigma_g$ . For vindbelastning  $\perp$  facaden indgår væggen i N, der for denne belastning må betragtes som en skivekonstruktion med bøjningsnormalspændingerne  $\sigma_v \perp$ . For vindbelastning  $\parallel$  facaderne indgår hver enkelt vægdel i gavlen sammen med en længdeskillevæg i en sammenhængende bjælke- eller skivekonstruktion med tværnittet P og bøjningsspændingerne  $\sigma_v \parallel$ . Endelig skal hver enkelt vægdel optage den direkte vindbelastning (eller jordtryksbelastning)  $\perp$  gavlen og kan - afhængigt af den konstruktive udformning - i den forbindelse virke enten som tværbelastet søjle



Figur 5.05:  
Statiske systemer for sammensat 10-etagers gavlvæg

Den betragtede model er stærkt forenklet

R eller som plade Q.

De skitserede spændingsfordelinger er skematiske; der er således ikke taget hensyn til vinduesåbningerne; disse er medtaget for at illustrere, hvorledes man ville få et helt forkert resultat, hvis man betragtede hver enkelt væg isoleret og blot regnede vinduesoverliggerne som bjælker for lodret belastning. Netop vinduesoverliggerne spiller i kraft af deres større eller mindre stivhed en helt afgørende rolle for den samlede vægkonstruktions virkemåde som skive og kan i den egenskab få spændinger, der er langt betydeligere end spændingerne hidrørende fra den lodrette last.

Stabilitetsfænomener

Ved beregningen af en sådan vægkonstruktion er det af fundamental vigtighed at notere sig, at det som regel drejer sig om konstruktioner af ret stor slankhed; på grund af stabilitetsfænomenerne kan spændingsbidragene fra de enkelte statiske funktioner ikke ukritisk adderes. Konstruktionen er en helhed og må naturligvis i sidste instans behandles som sådan, selv om der undervejs benyttes forskellige modeller efter de forskellige statiske funktioner.

#### BELASTNINGER

Belastninger på bærende vægge

For bærende vægge frembyder belastningsansættelsen ikke specielle forhold. Om belastningernes art og størrelse og om kombinationer af samtidigt virkende belastninger henvises til HB 10.1.4.

For ikke-bærende vægge er det kun ydervægge, der frembyder sikkerhedsmæssige problemer, så kun for disse er der normmæssigt fastsat belastninger; udover egenvægten skal konstruktionen dimensioneres for vindbelastningen.

Brækage-last på ikke-bærende vægge

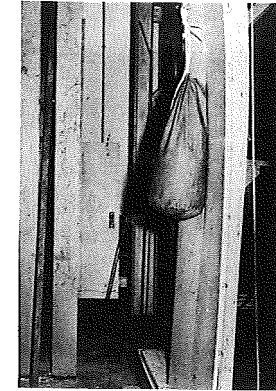
En ikke-bærende indervæg vil - medmindre den specielt beregnes for belastning fra ophængte reoler el.lign. regningsmæssigt være ubelastet. Den bør dog altid - for at undgå brækage som følge af tilfældige, mindre stødpåvirkninger - beregnes for en vis minimumbelastning, som passende kan sættes til 50 kp vandret, henholdsvis 150 kp lodret, anbragt i farligste stilling.

De senere års hyppigere anvendelse af lette, spinkle konstruktioner som indervægge har imidlertid gjort det ønskeligt at tilvejebringe et mere nuanceret bedømmelsesgrundlag for skillevægges statiske egenskaber, baseret på funktionsbetingede prøvninger. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) har således (litt. [1967.1]) foreslået følgende prøvningsmetode:

SBI's funktionsprøvning af ikke-bærende vægge

En etagehøj vægdel af 120 - 180 cm bredde opstilles i laboratoriet på tilsvarende måde som i praksis og udsættes dels for en vandret statisk linielast svarende til 50 kp/m under samtidig registrering af deformationer, dels for en dynamisk områdebelastning på de svageste dele af væggen. Den dynamiske påvirkning består i, at en sandsæk (diameter 40 cm, vægt 40 kg) føres i en pendulbevægelse vinkelret mod vægdelen således, at denne rammes med en vandret stødenergi på 12 kpm; denne påvirkning foretages 3 gange, og eventuelle revner eller andre skader registreres, og endelig udsættes væggen for et enkelt stød på 24 kpm, og eventuelle skader eller blivende deformationer registreres. Herudfra formuleres funktionskravene til væggen således, at den statiske

linielast skal kunne overføres til de tilstødende bygningsdele, uden at forskydning og udbøjning af væggen tilsammen overskrider  $1/250$  af væggenes højde, samt at væggen skal kunne modstå den 3 gange gentagne dynamiske områdebelastning på 12 kpm, uden at der opstår påviselige skader, og modstå områdebelastningen 24 kpm, uden at der konstateres brud eller blivende deformationer. Figur 5.06 viser forsøgsopstillingen ved den dynamiske påvirkning.



Figur 5.06:

Funktionsprøvning af vægges evne til at modstå dynamisk påvirkning (SBI). Den 40 kg tunge sandsæk er fotograferet i det øjeblik, den i en pendulbevægelse rammer væggen

På Norges byggforskningsinstitut (NBI) er det tilsvarende problem behandlet (litt. [1965.1]). Her er de statiske funktionskrav formuleret på grundlag af måling af styrke- og stivhedsegenskaberne hos de svageste af de pladematerialer, som erfaringsmæssigt har vist sig tilfredsstillende. Undersøgelsen konkluderer i følgende krav:

NBI's funktionsprøvning af vægbeklædninger

1. Beklædningsmaterialets styrke, prøvet med enkeltkraft, skal være  $\geq 55$  kp. Højst 10% af prøverne må udvise styrke  $< 50$  kp.
2. For beklædningsmaterialer til vindafstivning må sømfastheden beregnes.
3. Beklædningsmaterialer med skruefasthed 60 kp til udtræk, henholdsvis 150 kp til sidetræk, kan regnes skruefaste.
4. Nedbøjning for 20 kp last skal være  $\leq 7$  mm.
5. Beklædningsmaterialers hårdhed skal være større end svarende til en varig indtrykning på 0,5 mm.

Vedrørende de nærmere forsøgsomstændigheder henvises til litt. [1965.1].

Et særligt problem ved vægkonstruktioner knytter sig til den omstændighed, at vægge på grund af deres geometriske form almindeligvis er konstruktioner af overordentlig stor stivhed overfor påvirkninger i deres plan; dette gælder i udpræget grad ikke-bærende skillevægge af murværk eller letbeton, hvor den ringe deformerbarhed og den beskedne styrke ofte giver problemer med revnedannelser, fordi disse vægge vanskeligt kan deformeres i samme grad som de omgivende bærende konstruktioner og således dels påtvinges belastninger som følge af ovenfor liggende konstruktioners deformationer, dels får ekstrapåvirkninger på grund af understøtningernes eftergivelighed. For sådanne vægkonstruktioner er det således ikke de direkte belastninger, men i langt højere grad belastningerne på de omgivende bærende konstruktioner, der er afgørende.

De omgivende konstruktioners styrke og stivhed er af stor betydning for ikke-bærende vægges statiske forhold



## 5.2.2. Akustiske funktionskrav

For de akustiske forhold i et rum spiller de omgivende vægges egenskaber en rolle på to punkter, nemlig dels med hensyn til luftlydisolationen mod de omgivende rum (eller det fri), dels med hensyn til de rumakustiske forhold.

### RUMISOLATION OG REDUKTIONSTAL

Rumisolation og reduktionstal

I HB 10.2.6. er udledt sammenhængen mellem den korrigerede rumisolation  $D_{0,5}$  (dB) og konstruktionens reduktionstal  $R$  (dB)

$$D_{0,5} = R + 10 \cdot \log 0,32 \frac{V}{S} - C_1 - C_2,$$

hvor  $V$  ( $m^3$ ) er modtagerummets volumen,

$S$  ( $m^2$ ) er skillevæggens areal,

$C_1$  (dB) er rumisolationstabet hidrørende fra utætheder,

$C_2$  (dB) er rumisolationstabet hidrørende fra flanketransmission

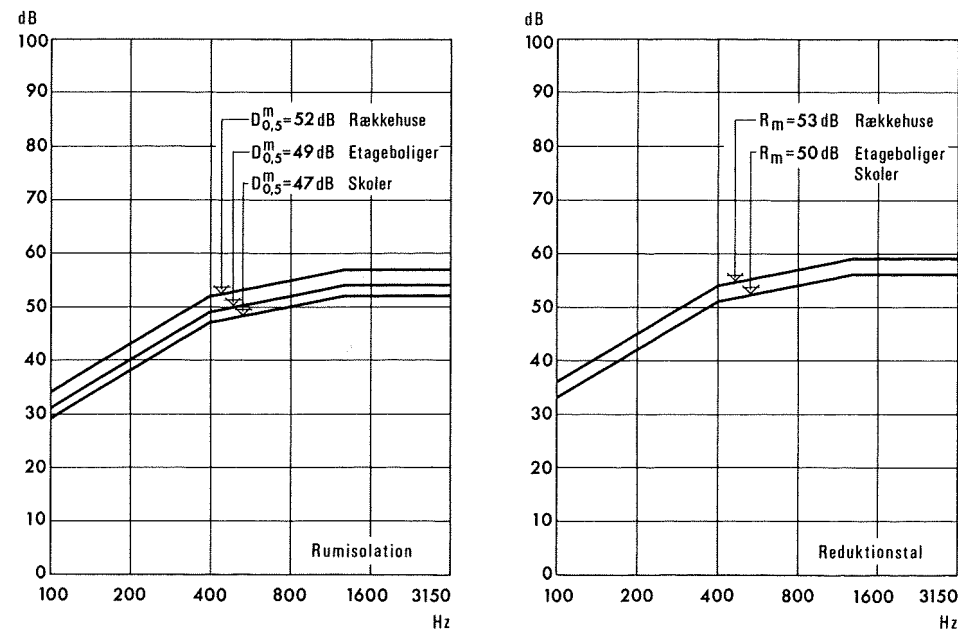
Kun for skoler, boligbyggeri og tilsvarende er der lovmæssigt fastsat krav om lydisolations

Som det fremgår af HB 10.2.6., er det overordentlig problematisk at fastsætte talstørrelser for  $D_{0,5}$  og  $R$ , som sikrer tilfredsstillende luftlydisolation under forskellige omstændigheder. Lovmæssigt er det herhjemme kun til boligbyggeri og enkelte andre kategorier (kollegier, skoler m.v.), der stilles krav om luftlydisolation, men selvfølgelig må det også ved enhver anden form for byggeri overvejes, hvilke akustiske funktionskrav der skal stilles.

For boligbyggeri og skoler formuleres kravene til luftlydisolationen ved at forlange et vist middelreduktionstal  $R_m$  af vægkonstruktionen og en vis middelrumisolation  $D_{0,5}^m$ , samt at  $R$ 's og  $D_{0,5}$ 's afvigelser mod for

Figur 5.07:

Normkurver for rumisolation og skillevægges reduktionstal i henhold til BR 1966



lave værdier i forhold til normkurverne på figur 5.07 ikke overstiger 1,0 dB i gennemsnit over hele frekvensområdet (de 16 standardfrekvenser fra 100 - 3150 Hz).

Denne måde at formulere funktionskravene på er ikke helt i overensstemmelse med den, der benyttes i f.eks. Sverige, hvor det ikke er det i laboratoriet målte reduktionstal  $R$ , der lægges til grund, men derimod det "tilsyneladende" reduktionstal  $R'$ , der måles i den færdige bygning. De to størrelser har følgende sammenhæng:

$$R' = R - C_1 - C_2 = D - 10 \cdot \log \frac{A}{S} = D_{0,5} - 10 \cdot \log \frac{A}{S} - 10 \cdot \log \frac{t}{0,5} \\ = D_{0,5} - 10 \cdot \log 0,32 \frac{V}{S}$$

hvor  $D$  (dB) er den målte rumisolation,

$A$  ( $m^2$ -sabin) er modtagerummets lydabsorption,

$t$  (sec) er modtagerummets efterklangstid.

I Sverige korrigeres rumisolationen iøvrigt ikke til efterklangstiden 0,5 sec, men til en lydabsorption 10  $m^2$ -sabin i modtagerummet; den korrigerede rumisolation benævnes  $D_{10}$  og defineres altså

$$D_{10} = D - 10 \cdot \log \frac{A}{10} = R' - 10 \cdot \log \frac{S}{10}$$

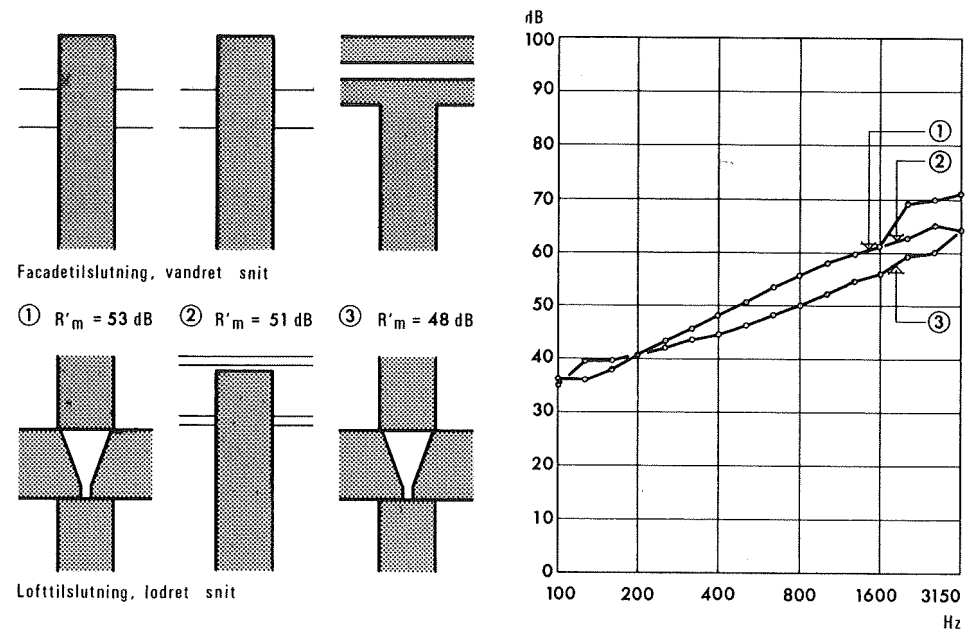
Af udtrykkene ses umiddelbart, at  $D_{0,5}$  og  $D_{10}$  antager samme værdi, når  $0,32V = 10$ , altså  $V = \text{ca. } 31 \text{ m}^3$ . Den internationale standardiseringsorganisation ISO rekommanderer anvendelse af  $R'$  og  $D_{10}$ .

Hvor store tabene i rumisolation på grund af utætheder og flanketransmissionen er, kan man vanskeligt bedømme på forhånd. Det viser sig ved praktiske målinger, at der ved tilsyneladende ens konstruktionsudformning kan være betydelige forskelle i den målte rumisolation; det beror i høj grad på ukontrollable forskelle i arbejdets udførelse. Dette forhold illustreres på figur 5.08 og 5.09, der er gengivet efter litt.

"Tilsyneladende" reduktionstal

$D_{10}$  og  $D_{0,5}$

Flanketransmission og transmission gennem utætheder

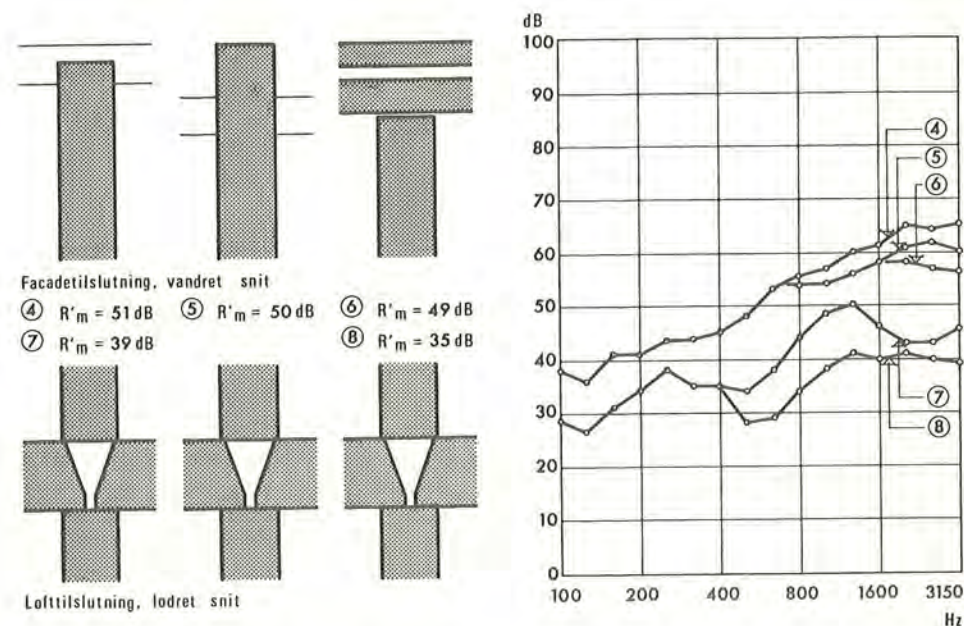


Figur 5.08:

Tilsyneladende reduktionstal  $R'$  for 15 cm betonvæg, målt ved forskellige tilslutninger til flankerende bygningsdele

[1970.1], hvori en lang række målinger på færdige bygninger er refereret. Kurverne viser det tilsyneladende reduktionstal  $R'$  for en 15 cm betonvæg, sammenbygget med forskellige flankerende bygningsdele.

Kurve 1 og 2 falder meget nær sammen med kurven for væggenes reduktionstal ( $R_m = 55$  dB) og viser altså, at flanketransmissionen er ringe; forskellen mellem 1 og 2 skyldes de forskellige lofttilslutninger. Den ringere lydisolations ved løsning 3 må tilskrives flanketransmission gennem facaden; den indvendige skive i facaden er ikke afbrudt



Figur 5.09:

Tilsyneladende reduktions-tal  $R'$  for 15 cm betonvæg, målt ved forskellige tilslutninger til flankerende bygningsdele

udfor tværvæggen. Kurverne 4-6 udviser ligeledes relativt god overensstemmelse med kurven for reduktionstallet, altså ringe flanketransmission og transmission gennem utætheder. I løsning 7 og 8 er der, trods tilsyneladende ringe forskel fra løsning 4 og 6, et meget væsentligt tab i lydisolationen; det må formentlig tilskrives utætheder og andre forskelle i den konstruktive udformning.

Skønt det således i høj grad kunne se ud til at bero på tilfældigheder, om lydisolationen bliver god eller ej, er det dog næppe uberettiget at konkludere i nogle hovedretningslinier for, hvordan tabet i lydisolationen kan holdes nede:

For det første må utætheder af enhver art (revner og sprækker, utætte samlinger og fuger, rørgennemføringer etc.) undgås. For det andet er tunge flankerende bygningsdele - alt andet lige - bedre end lette. For det tredje må de flankerende bygningsdeles bøjningsstivhed såvidt muligt afbrydes udfor de adskillende vægge eller dæk.

Udover den betydning, en ydervægskonstruktion har for flanketransmissionen, har dens akustiske egenskaber ikke nogen væsentlig betydning, idet dens lydisoleringsevne i praksis altid vil være bedre end vinduernes, således at det er disse, der bliver afgørende for den samlede ydervægs reduktionstal.

#### MASSIVE VÆGGES LUFTLYDISOLATION

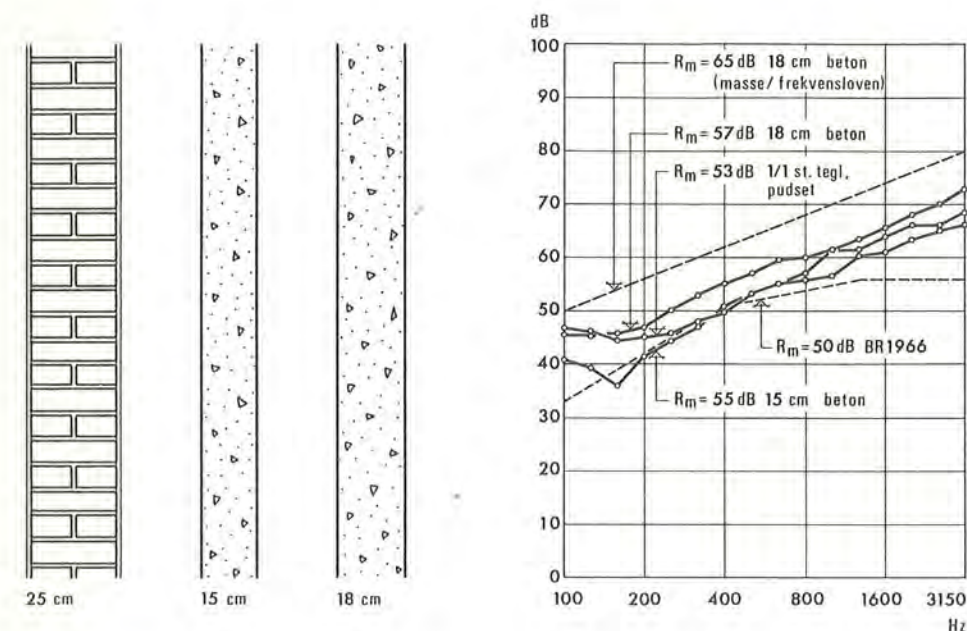
I HB 10.2.6. er under idealiserede forudsætninger udledt masse/fre-

Masse/frekvens-loven

kvensloven, der udtrykker reduktionstallet  $R$ 's afhængighed af væggenes masse  $m$  ( $\text{kg/m}^2$ ) og frekvensen  $f$  ( $\text{sec}^{-1}$ ):

$$R = 20 \cdot \log m + 20 \cdot \log f - C,$$

hvor  $C$  er en konstant; (med de anførte enheder er  $C = 43$  dB).



Figur 5.10:

Reduktionstallets frekvensafhængighed for massive vægge

For en 18 cm betonvæg (vægt  $425 \text{ kg/m}^2$ ) er denne sammenhæng mellem  $R$  og frekvensen optegnet på figur 5.10. Som det ses, er det virkelige reduktionstal noget mindre (5-10 dB), så middelreduktionstallet ikke er det teoretisk beregnede 65 dB, men kun 57 dB. Det skyldes selvfølgelig, at forudsætningerne for den teoretiske beregning ikke er opfyldt i praksis; for det første falder lyden ikke overalt vinkelret ind på væggen, for det andet giver væggenes begrænsede bøjningsstivhed anledning til koincidenseffekt, så der ved grænsefrekvensen sker en reduktion af isoleringsevnen. På figur 5.10, der tillige viser reduktionstallene for en 15 cm betonvæg og en pudset 1/1-stens teglvæg, antyder kurveforløbet, at dette dyk sker i området 100-200 Hz, hvilket stemmer udmærket med det teoretiske udtryk for grænsefrekvensen

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}}$$

Eksempelvis er for en 15 cm betonvæg massen  $m = 350 \text{ kg/m}^2$ , bøjningsstivheden  $B = EI = 2 \cdot 10^9 \cdot 1/12 \cdot 0,15^3 = 56 \cdot 10^4 \text{ kpm}$ , hvoraf

$$f_c = \frac{340^2}{2\pi} \sqrt{\frac{350}{56 \cdot 10^4 \cdot 9,81}} = 147 \text{ sec}^{-1}$$

Masse/frekvens-loven giver således - trods sine idealiserede forudsætninger - et vist begreb om massive vægges fysiske virkemåde med hensyn til lydtransmission.

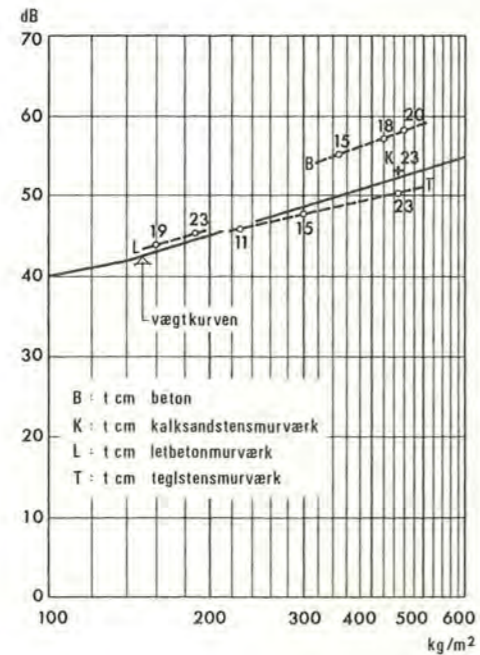
Figur 5.11 viser en række gængse vægkonstruktioners eksperimentelt bestemte middelreduktionstal, gengivet efter litt. [1969.1]. Som det ses, ligger betonvægges reduktionstal et godt stykke (ca. 5 dB) over

I praksis er reduktionstallet mindre end svarende til masse/frekvens-loven

Ved koincidens-grænsefrekvensen reduceres lydisoleringsevnen

Porøse vægge isolerer dårligere end ikke-porøse med samme vægt

den empirisk bestemte vægtkurve, medens murede vægge ligger et stykke under. Grunden til, at de murede vægge har ringere isoleringsevne end de vægtmæssigt tilsvarende betonvægge, ligger i væggenes porøsitet. En porøs væg har ringere reduktionstal end en tilsvarende uporøs, fordi der tillige sker en transmission gennem porerne, et forhold, der bliver mere udpræget, jo højere frekvensen er. En upudset porebetonvæg



Figur 5.11:

Vægkonstruktioners middelreduktionstal i forhold til vægtkurven. Alle de murede vægge har puds på begge sider

har således et reduktionstal, der er praktisk taget konstant i hele måleområdet, og middelreduktionstallet ligger langt (omkring 20 dB) under det, vægtkurven udviser; lukkes porerne, f.eks. ved pudsning på begge sider, bringes middelreduktionstallet op på det til vægtkurven svarende.

#### DOBBELTVÆGGES LUFTLYDISOLATION

Medens det for en enkeltvæg normalt i alt væsentligt er vægten, der betyder noget for luftlydisoleringsevnen, spiller også andre forhold en rolle for dobbeltvægge. Det omtalte dyk i reduktionstallet (som funktion af frekvensen) på grund af koincidens-effekten spiller ikke så stor rolle ved de tunge konstruktioner, hvor det normalt er muligt at holde den kritiske frekvens uden for det aktuelle frekvensområde, d.v.s. under 100 Hz, men for dobbeltvægge, der jo som oftest opbygges enten af to lette, tynde delvægge eller af en relativt tung og en let delvæg, drejer det sig om at få de lette delvægges kritiske frekvens så høj som muligt, altså over 3200 Hz.

Indledningsvis gøres de samme forenkende forudsætninger som ved udledelsen af masse/frekvens-loven for en enkeltvæg (HB 10 side 70):

1. delvæggene (homogene og uporøse) betragtes som uendeligt store,
2. delvæggenes tykkelse regnes = 0,

3. den indfaldende lyd er en plan, harmonisk lydbølge  $\perp$  væggen,
4. modtagerområdet regnes fuldstændigt absorberende.

Herudover gøres ved beregningen den forudsætning, at

5. de mod hulrummet (bredden  $d$ ) vendende vægoverflader er fuldstændigt reflekterende.

Med disse forudsætninger udtrykkes ligevægten af vægdel 1 og 2 ved

$$P_i + P_R + P'_t - P'_r \cdot e^{-jd\omega/c} = j \cdot m_1 \cdot \omega \cdot u_1 \quad (1)$$

$$P_t + P'_R - P'_t \cdot e^{-jd\omega/c} = j \cdot m_2 \cdot \omega \cdot u_2 \quad (2)$$

hvor  $P_i, P_R, \dots$  er lydtrykkene (se figur 5.12),  $m_1$  og  $m_2$  er vægdelenes masser pr. arealenhed,  $u_1$  og  $u_2$  er vægdelenes øjeblikkelige hastigheder,  $\omega$  er den indfaldende lyds vinkelfrekvens ( $= 2\pi f$ ),  $c$  er lydens hastighed i luft,  $j = \sqrt{-1}$

Mellem lydtrykkene og de øjeblikkelige partikelhastigheder  $u$  gælder følgende relationer

$$P_i = u_i \cdot \rho_0 \cdot c$$

$$P_R = -u_R \cdot \rho_0 \cdot c$$

$$P'_t = -u'_t \cdot \rho_0 \cdot c$$

$$P'_R = -u'_R \cdot \rho_0 \cdot c$$

$$P_t = -u_t \cdot \rho_0 \cdot c = -u_1 \cdot \rho_0 \cdot c,$$

hvor  $\rho_0$  er luftens rumvægt.

Udtrykkes de resulterende partikelhastigheder ved væg 1 og 2 ( $u_1$  og  $u_2$ ) ved lydtrykkene, fås

$$P_i - P_R = u_1 \cdot \rho_0 \cdot c \quad (3)$$

$$-P'_t - P'_R \cdot e^{-jd\omega/c} = u_1 \cdot \rho_0 \cdot c \quad (4)$$

$$-P'_R - P'_t \cdot e^{-jd\omega/c} = -P_t \quad (= u_2 \cdot \rho_0 \cdot c) \quad (5)$$

Af ligningerne (1) - (5) fås ved elimination det fuldstændige udtryk for reduktionstallet

$$R = 10 \cdot \log \left| \frac{P_i}{P_t} \right|^2 = 10 \cdot \log \left[ m_1 \cdot m_2 \cdot \left( \frac{\omega}{\rho_0 c} \right)^2 \cdot \left( \frac{m_1 \cdot m_2 \cdot \omega^2}{4 \cdot \rho_0^2 \cdot c^2} - 1 \right) \cdot \sin^2 d\omega/c - \frac{m_1 \cdot m_2}{4} \cdot (m_1 + m_2) \cdot \left( \frac{\omega}{\rho_0 c} \right)^3 \cdot \sin 2d\omega/c + 1 + \left( \frac{m_1 + m_2}{2} \right)^2 \cdot \left( \frac{\omega}{\rho_0 c} \right)^2 \right] \quad (6)$$

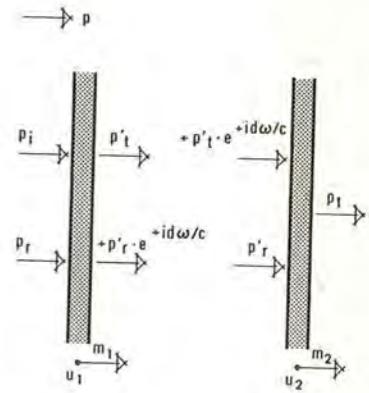
For værdier af  $\omega$ , der er så små, at  $\sin \frac{d\omega}{c} \approx 0$ , d.v.s.  $e^{-jd\omega/c} \approx 1$ , er sidste led i parentesen i (6) dominerende og  $R$  altså

$$R = 10 \cdot \log \left[ \frac{(m_1 + m_2)^2 \cdot \omega^2}{4 \cdot \rho_0^2 \cdot c^2} + 1 \right]$$

d.v.s. det samme som for en enkeltvæg med massen ( $m_1 + m_2$ ):

$$R \approx 20 \cdot \log(m_1 + m_2) + 20 \cdot \log f - 43 \text{ dB}, \quad (7)$$

idet  $m_1$  og  $m_2$  indsættes i  $\text{kg/m}^2$  og  $f$  i Hz.



Figur 5.12:

Lydbølgernes tryk ved transmission gennem idealiseret dobbeltvæg

Ved grænsefrekvensen  $\omega_g = \rho_0 \cdot c \cdot \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2 \cdot d \cdot \rho_0}}$  er parentesens i (6) = 1, og reduktionstallet altså = 0.

Ved højere frekvenser end  $\omega_g$  bliver (idet  $\sin \omega/c \approx d\omega/c$ ) første led i parentesens i (6) dominerende og R altså

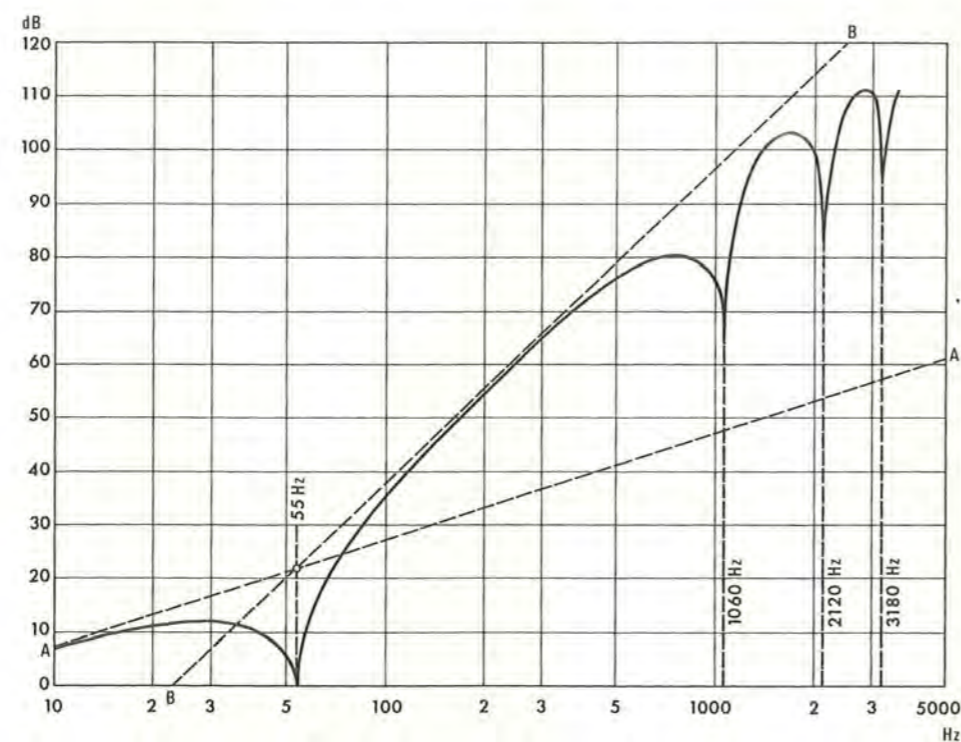
$$R \approx 10 \log \frac{m_1^2 \cdot m_2^2 \cdot d^2 \cdot \omega^6}{4 \cdot \rho_0^4 \cdot c^6}$$

$$\text{d.v.s. } R \approx 20 \cdot \log(m_1 \cdot m_2) + 20 \cdot \log d + 60 \cdot \log f - 114 \text{ dB} \quad (8)$$

Ved stadigt stigende frekvenser fjerner R sig mere og mere fra dette forløb ( $\cos d\omega/c < 1$ ); ved frekvenser bestemt af

$$\text{tg} \frac{d\omega}{c} = \frac{2(m_1 + m_2) \cdot \rho_0 \cdot c}{m_1 \cdot m_2 \cdot \omega} \quad (\approx 0)$$

er de to første led tilsammen nul, og R altså bestemt af (7). Disse frekvenser er altså  $f = n \cdot c/2d$ , hvor n antager værdierne 1.2..... og bestemmes således alene af d.



Figur 5.13:

Reduktionstallets frekvensafhængighed under idealiserede forhold (ingen ko incidenseffekt) for dobbeltvæg af 22 mm spånplader med 16 cm afstand

Eksempelvis er på figur 5.13 vist det teoretiske forløb af R for en dobbeltvæg bestående af to 22 mm spånplader med afstand  $d = 16$  cm. I det  $m_1 = m_2 = 15 \text{ kg/m}^2$ , fås

$$\omega_g = 1,25 \cdot 340 \cdot \sqrt{\frac{2}{15 \cdot 1,25 \cdot 0,16}} = 348 \text{ sec}^{-1} \quad (f_g = 55 \text{ Hz})$$

Under denne frekvens nærmer R sig for faldende frekvenser til

$$R = 20 \cdot \log f + 20 \cdot \log(2 \cdot 15) - 43 = 20 \cdot \log f + 7 \text{ dB,}$$

der er afbildet som linie A - A.

Over grænsefrekvensen nærmer R sig for stigende frekvenser til

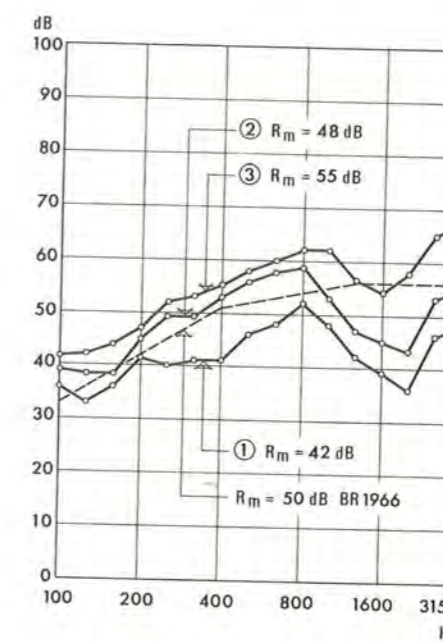
$$R = 60 \cdot \log f + 20 \cdot \log(15 \cdot 15) + 20 \cdot \log 0,16 - 114 = 60 \cdot \log f - 83 \text{ dB,}$$

der er afbildet som linie B - B. For de øvrige resonansfrekvenser ( $\omega_r \cdot d/c \approx n \cdot \pi$ )  $\approx n \cdot 1060$  Hz falder R dog atter til linie A - A.

Eksemplet viser altså, at man ved at udføre væggen som to helt adskilte enkeltvægge i princippet kan opnå reduktionstal, der for de højere frekvenser langt overstiger reduktionstallet for en enkeltvæg med samme vægt. Imidlertid er de opstillede forudsætninger kun tildels opfyldt i praksis. Vægdelene udfører ikke blot transversalsvingninger, men også longitudinalsvingninger, således at der på grund af ko incidenseffekten sker en reduktion af isoleringsevnen ved frekvenser, der er bestemt af vægdelenes bøjningsstivhed. Da denne almindeligvis er meget ringe ved dobbeltvægge, kan ko incidensgrænsefrekvensen meget vel komme til at ligge et kritisk sted; for en 22 mm spånplade fås således

$$f_k = \frac{c^2}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{m}{B}} \approx \frac{340^2}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{15 \cdot 12}{0,022^3 \cdot 3 \cdot 10^8}} = 1.400 \text{ Hz,}$$

idet pladens elasticitetsmodul E er regnet  $\approx 30.000 \text{ kp/cm}^2$  (ved langvarige belastninger er E væsentlig mindre).



Figur 5.14:

Reduktionstal for dobbeltvægge af 22 mm spånplader på lægter med adskilte remme; totaltykkelse 20 cm

1. Udæmpet mellemrum
2. Mellemrummet dæmpet langs kanterne
3. Mellemrummet dæmpet overalt

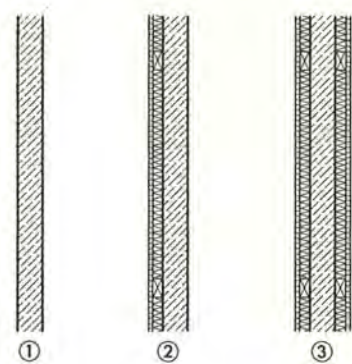
Transmissionen på grund af bøjningssvingninger kan formindskes ganske væsentligt ved dæmpning af hulrummet mellem delvæggene, først og fremmest langs kanterne, således som det fremgår af figur 5.14, der (efter litt. [1969.2]) viser reduktionstallet for den i det foregående behandlede dobbeltvæg, når

- 1) mellemrummet er uden lydabsorberende materiale,
- 2) mellemrummet er dæmpet med 10 cm mineraluld i 50 cm bredde langs alle kanter
- 3) mellemrummet er overalt dæmpet med 10 cm mineraluld.

Kurverne afviger selvfølgelig en hel del fra det idealiserede forløb på figur 5.13, men viser dog tydeligt dobbeltvæggens gode egenskaber ved de høje frekvenser samt koincidens-effektens indflydelse. På grundlag af det anførte kan konkluderes følgende om udformningen af dobbeltvægge med høj luftlydisolation:

- 1) Delvæggene må være helt uden mekanisk stive forbindelser; specielt ved tilslutninger til gulve, lofter og sidevægge må det iagttages, at vægdelene er frigjort af hinanden, f.eks. ved adskilte remme på elastisk underlag.
- 2) Dimensionerne (godstykkelse, mellemrumsbredde) tilpasses såvidt muligt således, at hverken dobbeltvæggens resonansfrekvenser eller koincidens-grænsefrekvensen falder inden for området 100 - 3000 Hz.
- 3) Mellemrummet mellem delvæggene dæmpes med lydabsorberende materiale; virkningen af dæmpningen er større, jo lettere konstruktionen er.

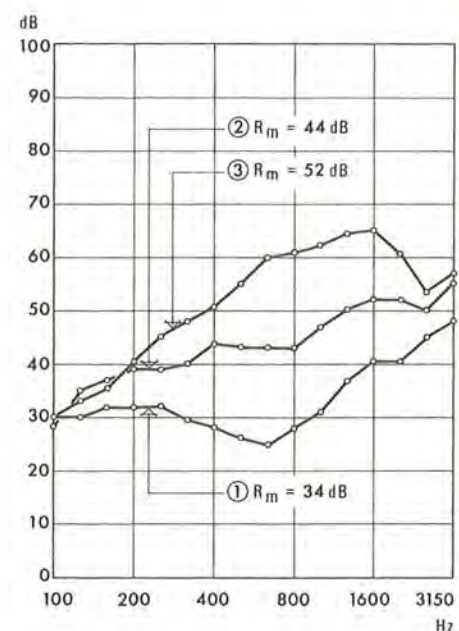
Principperne for dobbeltvægge af lette delvægge kan også udnyttes ved konstruktioner, der er opbygget af en "tung" delvæg og en let beklædning, således som det f.eks. forekommer, hvor en eksisterende mur eller betonvæg ønskes bibragt større isoleringsevne. Princippet i en sådan væg virkemåde er, at den "tunge" væg i kraft af sin masse formindsker amplituderne (jvf. en almindelig massiv væg), medens beklædningen i kraft af sin elasticitet formindsker lydudstrålingen fra væggen. Beklædningen (f.eks. træfiber- eller gipsplader) må selvfølgelig kunne svinge frit og må derfor monteres med størst mulig lægteafstand. For selve beklædningsmaterialet drejer det sig om, at koincidens-grænsefrekvensen bliver så høj, at den ligger uden for det aktuelle frekvensområde, d.v.s. man må tilstræbe størst mulig masse og samtidig mindst mulig bøjningsstivhed (jvf. udtrykket side 21); dette kan i nogen grad opnås ved at foretage opslidsning på beklædningens bagside. De akustiske egenskaber ved sådanne konstruktioner er udførligt behandlet i litt. [1958.1], hvorfra de på figur 5.15 viste kurver er gengivet.



- ① 68 mm porebeton, upudset
- ② 68 mm porebeton  
25 mm mineraluld  
13 mm gipsplade  
1" lægter pr. 60 cm
- ③ Som ②, men med dobbeltsidig beklædning

Figur 5.15:

Reduktionstal for 68 mm porebetonvæg henholdsvis med og uden ensidig eller dobbeltsidig strålingsmindskende beklædning

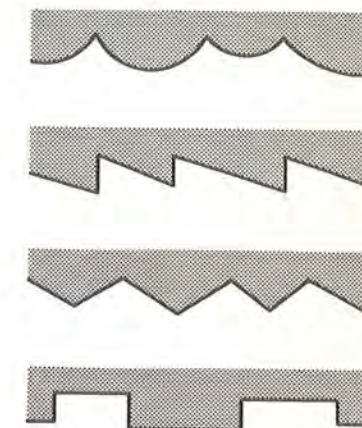


#### LYDREGULERING OG LYDDÆMPNING

På grund af den store andel, væggene almindeligvis udgør af et rums samlede begrænsningsareal, spiller vægoverfladernes lydabsorberende egenskaber en ikke uvæsentlig rolle for rummets efterklangstid og dermed for de rumakustiske forhold. Det er dog sjældent, at valg af vægkonstruktion baseres specielt på rumakustiske hensyn, da man almindeligvis af andre hensyn (renholdelse, modstandsdygtighed, sømfasthed etc.) er nødt til at vælge materialer med temmelig lydhårde overflader. Som omtalt i artikel 4.2.2. er det væsentligst gennem valg af loftkonstruktionen, der er mulighed for at foretage akustisk regulering.

På side 24 er i tabelform angivet absorptionskoefficienterne for en række gængse vægkonstruktioner. Som det fremgår, har de tunge konstruktioner gennemgående meget ringe absorptionskoefficienter, bortset fra de kantstillede mangelhulsten, der for de høje frekvenser er meget effektive som resonatorabsorbenter. De lettere konstruktioner har derimod en ikke helt ringe lydabsorptionsevne, fortrinsvis ved de lave og mellemhøje frekvenser, hvor de virker som membranabsorbenter.

Ved specielle akustiske opgaver (auditorier, koncertlokaler etc.) kan der blive tale om at udforme vægoverfladerne med henblik på at opnå tilstrækkelig diffusitet, så der ikke forekommer akustisk spejling. Figur 5.16 viser nogle eksempler på, hvordan vægflader ved en passende profilering kan fungere som diffusorer. Det er afgørende for diffusorerens virkemåde, at de geometriske uregelmæssigheder er store i forhold til lydens bølgelængde.



Figur 5.16:

Eksempler på vægge udformet som diffusorer ved profilering. Vandret snit 1:100

| Absorptionskoefficienter  |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Frekvens (Hz):  | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 |
| Natursten, klinker, fliser<br>glat beton  | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Blank teglmur med skrabe-fuge   | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,07 |
| Blank teglmur med tilbage-<br>liggende fuge   | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,08 | 0,10 |
| Tegl eller beton, pudset  | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| Tegl eller beton, pudset<br>og tapetseret   | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,08 |
| Kantstillet mangehultegl,<br>skalmuret  | 0,05 | 0,15 | 0,33 | 0,85 | 0,45 | 0,55 |
| Kantstillet mangehultegl,<br>50 mm mineraluld på<br>bagsiden                        | 0,48 | 0,77 | 0,38 | 0,27 | 0,65 | 0,35 |
| Akustikpuds, 12 mm, med<br>granuleret pimpsten                                      | 0,22 | 0,21 | 0,35 | 0,48 | 0,43 | 0,37 |
| Massivt træ   | 0,10 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 |
| Lameltræ, 16 mm, på lægter  | 0,18 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,07 |
| Krydsfiner, 8 mm, på lægter   | 0,28 | 0,22 | 0,17 | 0,09 | 0,10 | 0,11 |
| Krydsfiner, 3 mm, på lægter   | 0,20 | 0,28 | 0,26 | 0,09 | 0,12 | 0,11 |
| Trælister, 13·45 mm, 5 mm mel-<br>lemrum, på 5/4" lægter,<br>25 mm mineraluldindlæg | 0,19 | 0,28 | 0,89 | 0,64 | 0,53 | 0,36 |
| Træfiberplade, 13 mm, porøs,<br>perforeret, på 1" lægter                            | 0,14 | 0,42 | 0,36 | 0,47 | 0,53 | 0,68 |
| Træfiberplade, 19 mm, porøs,<br>opslidset, på 1" lægter                             | 0,15 | 0,42 | 0,39 | 0,60 | 0,78 | 0,73 |
| Gipsplade, 13 mm, på 1" læg-<br>ter pr. 60 cm                                       | 0,17 | 0,15 | 0,07 | 0,08 | 0,05 | 0,06 |
| Gipsplade, 13 mm, på 1" læg-<br>ter pr. 60 cm, 25 mm mi-<br>neraluldindlæg          | 0,27 | 0,20 | 0,10 | 0,07 | 0,03 | 0,05 |
| Vinduesglas   | 0,35 | 0,25 | 0,18 | 0,12 | 0,07 | 0,04 |

### 5.2.3. Hygrotermiske funktionskrav

Medens der til en indervæg kun i ganske specielle tilfælde bliver tale om at stille hygrotermiske funktionskrav, må en ydervæg for at kunne fungere som klimaskærm almindeligvis opfylde funktionskrav med hensyn til såvel varmetransmissionsmodstand og varmekapacitet som vindtæthed, vandtæthed, diffusionstæthed og fugtkapacitet; hertil kommer for glasvægge de særlige termiske problemer i forbindelse med solindfald.

I HB 10.3. er gennemgået det almindelige bygningsfysiske grundlag for disse funktionskrav. Her skal kort omtales de specielle hygrotermiske problemer ved ydervægge. Et særligt tæthedspøblem knytter sig til samlingerne mellem ydervægselementer, hvorfor principperne for fugekonstruktioner specielt skal omtales. I afsnit 5.5. er givet en række praktiske eksempler på, hvordan de hygrotermiske funktionskrav kan opfyldes.

#### VARMEISOLERING OG VARMEKAPACITET

De termiske funktionskrav udtrykkes normalt blot ved at kræve et vist maksimalt varmetransmissionstal,  $k$  kcal/m<sup>2</sup>h°C. Hvilken værdi af  $k$  man skal lægge til grund for dimensioneringen, afhænger først og fremmest af det udvendige og indvendige klima, d.v.s. bygningens geografiske beliggenhed og dens anvendelse; men også væggenes andel af det samlede varmetab må tages i betragtning (for en ydervæg med store glaspartier og oplukkelige vinduer er selve væggenes isoleringsevne selvfølgelig ret underordnet), og endelig må eventuelle lovmæssige bestemmelser om isoleringsevnen naturligvis overholdes. For visse kategorier af bygninger (fortrinsvis boliger og hvad der kan sidestilles hermed) fastsætter byggelovgivningen herhjemme (BR 1966) således følgende maksimalværdier af vægkonstruktioners transmissionstal:

|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| Ydervægge af teglsten i bygninger med<br>2 etager og derunder, bortset fra<br>kælder | $k \leq 0,85$ kcal/m <sup>2</sup> h°C |
| Ydervægge af teglsten i andre bygninger  | $k \leq 1,10$ "                       |
| Andre ydervægge med vægt over 100 kg/m <sup>2</sup>                                  | $k \leq 0,85$ "                       |
| Ydervægge med vægt under 100 kg/m <sup>2</sup>                                       | $k \leq 0,50$ "                       |
| Ydervægge af glas  | $k \leq 2,70$ "                       |
| Skillevægge mod uopvarmede rum   | $k \leq 1,70$ "                       |
| Skillevægge mod tagrum   | som ydervægge                         |

Hvorvidt man vil basere dimensioneringen på disse minimumskrav, må i det enkelte tilfælde bero på en vurdering af isoleringsevnenes betydning, opvarmningsmåden og af, hvor bekostelig en større varmeisoleringssevne er; eksempelvis er en mineraluldisoleret, let ydervæg med  $k = 0,30$  kcal/m<sup>2</sup>h°C næppe mange procent dyrere end en tilsvarende med  $k = 0,50$  kcal/m<sup>2</sup>h°C, medens en lignende forbedring af f.eks. en massiv porebetonvæg betyder en ganske betragtelig merudgift. Generelt gælder, at jo mere differentieret en konstruktion er opbygget, jo lettere er det at forbedre dens enkelte egenskaber.

Endelig kan der være grund til at overveje, om en bygning som følge af en mulig ændret anvendelse bør varmeisoleres bedre end svarende til, hvad der er nødvendigt og rimeligt ud fra formålet i opførelsesøjeblik-

Varmetransmissionstallet  $k$

Byggelovgivningens krav  
til vægges varmeisolering

Ved lette ydervægge kan  
det ofte betale sig at i-  
solere bedre end svarende  
til lovens minimumskrav

Uisolerede eller moderat isolerede ydervægge bør såvidt muligt forberedes på en forbedring af isoleringen

ket. Det gælder navnlig lager- og værkstedsbygninger etc., hvor der ikke primært er behov for nogen væsentlig varmeisolering; ofte betaler det sig fra starten at varmeisolere bygningen med henblik på mulig anvendelse til andre formål fremfor senere at skulle foretage ombygning; under alle omstændigheder bør man ved den konstruktive udformning af uisolerede eller svagt isolerede ydervægge gennemtænke, hvordan en supplering af varmeisoleringen kan foretages.

Transmissionstallet giver kun et udtryk for varmetransporten gennem væggen under stationære forhold. Imidlertid er jo hverken de udvendige eller indvendige temperaturforhold konstante, men svinger i en døgnrytme. Det betyder, at en ydervægs indvendige overfladetemperatur tilsvarende undergår variationer, der afhænger både af væggenes transmissionstal og af dens varmekapacitet; da en for lav overfladetemperatur dels vil kunne medføre ubehagelig "strålekulde" og trækfornemmelser, dels under ugunstige omstændigheder kunne give fugtnedslag på væggen, burde de termiske funktionskrav egentlig omfatte både transmissionstal og varmekapacitet. Spørgsmålet er dog endnu ikke tilstrækkeligt udforsket til, at konkrete krav kan opstilles, men det er bl.a. det nævnte forhold, der er baggrunden for at stille større krav til transmissionstallet for lette vægge end til tunge vægge (jvf. omstående). Når der for højere byggeri tillades et transmissionstal  $k = 1,10$  kcal/m<sup>2</sup>h°C for ydervægge af tegl, bør dette betragtes som en nødløsning; den indvendige overgangsmodstand udgør omkring en sjettedel af den samlede modstand, så i længere frostperioder vil væggenes indvendige overfladetemperatur meget vel kunne komme ned på 15°C eller lavere, hvilket næppe er hygiejnisk forsvarligt for beboelses- og arbejdsrum.

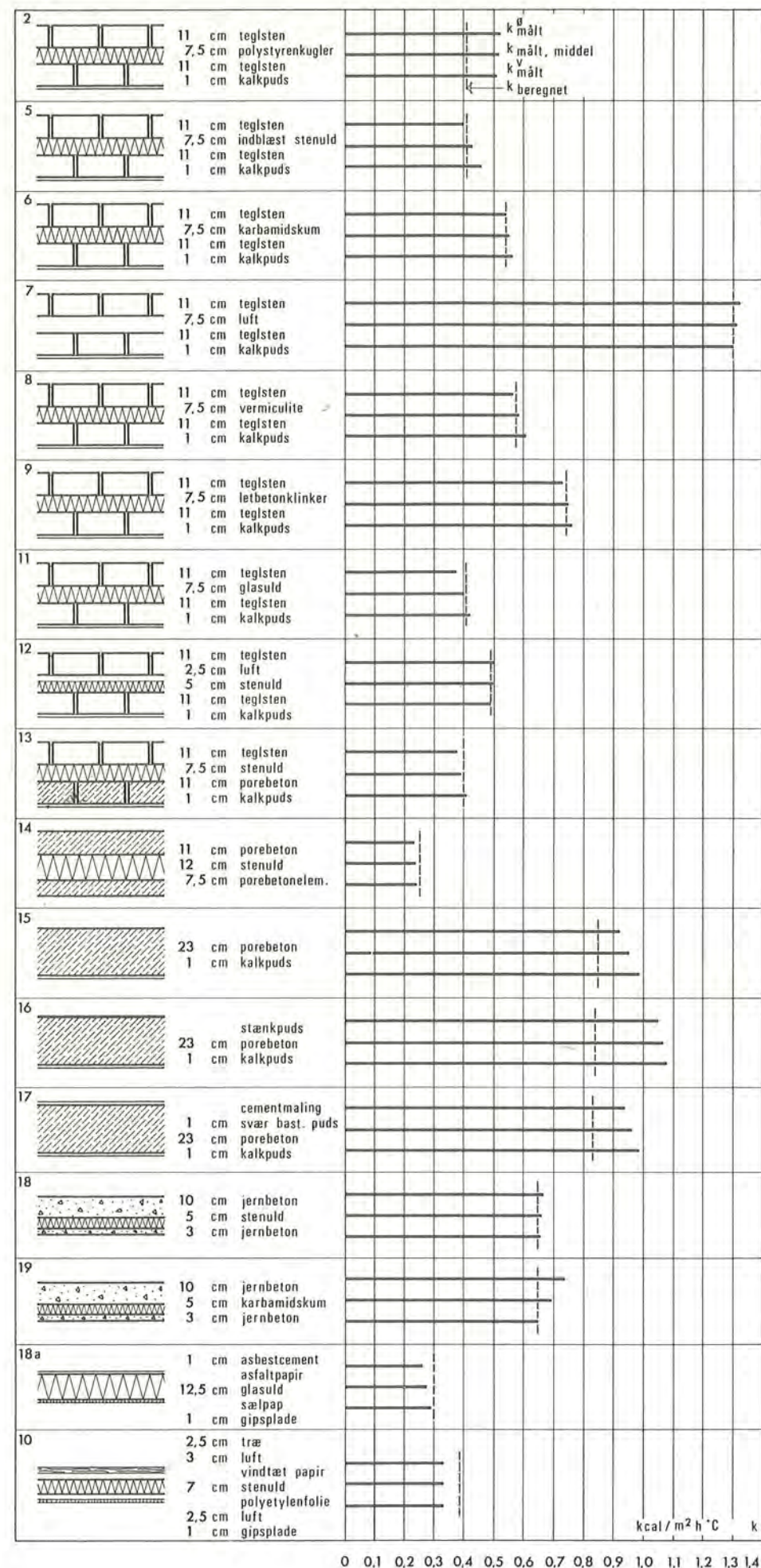
Transmissionstallet bestemmes sædvanligvis ved beregning. Herhjemme er beregningsgrundlaget DIF's "Regler for beregning af bygningers varmetab", 3. udgave 1968 (DIF norm nr. 55). I forhold til 1. udgave (1953) er 1968-udgaven på en række punkter korrigeret, bl.a. i overensstemmelse med de måleresultater, der blev indhøstet gennem 3 års (1959-1962) kontinuerlige målinger af varmemodstanden i en række ydervægs-konstruktioner i et prøvehus, opført i forbindelse med laboratoriet for varmeisolering ved Danmarks tekniske Højskole. Forsøgsomstændighederne og måleresultaterne er refereret i litt. [1964.1]. Til illustration af korrelationen mellem de målte transmissionstal (angivet særskilt for østvæg og vestvæg) og transmissionstallene beregnet efter DIF-norm 55 er de gennemsnitlige måleværdier og de beregnede skematisk angivet på figur 5.17, hvor tillige væggenes konstruktive opbygning er vist. Som det ses, er overensstemmelsen mellem de målte og de beregnede værdier ganske god. Kun for porebetonvæggene (15, 16 og 17) og teglstensvæggen med indhældte polystyrenkugler (2) er beregningen mere end 10% på den usikre side; for træskeletvæggene (10 og 18 a) er beregningen ca. 10% på den sikre side. Slagregnsmængden, som også blev målt under forsøget, har kun for porebetonvæggene en signifikant indflydelse på transmissionstallet.

Alt ialt er altså overensstemmelsen mellem de målte og de beregnede værdier så god, at beregningsreglerne er fuldtud dækkende til almindelig praktisk brug. Imidlertid kan der meget vel forekomme tilfælde, som ikke er omfattet af reglernes anvendelsesområde; i så fald må - hvis der er tale om større projekter eller massefremstilling af elementer - transmissionstallet bestemmes på anden måde, enten eksperimentelt ved varmestrømsmåling i fuld skala eller ved numerisk bereg-

#### Vægges varmekapacitet

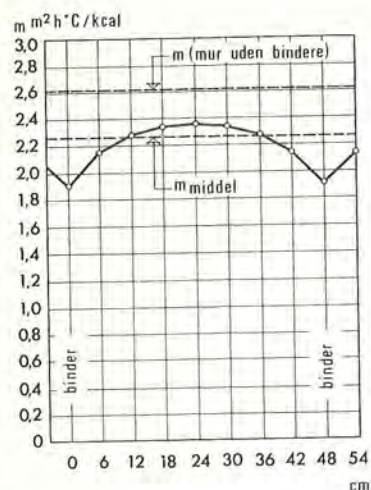
Dansk Ingeniørforenings "Regler for beregning af bygningers varmetab", DIF-norm 55

Varmestrømsmåling, numerisk beregning og analogimetoder



Figur 5.17:

Ydervægges varmetransmissionstal, målte og beregnede værdier. Målingerne blev udført i 1959-1962 på prøvehuset ved DtH's laboratorium for varmeisolering. Beregningerne er udført efter Dansk Ingeniørforenings "Regler for beregning af bygningers varmetab", 3. udgave 1968



Figur 5.18:

Ståltrådsbinderes indflydelse på modstandstallet for mineraluld isoleret 5/4-stens teglmur



Figur 5.19:

Kuldebroisolering; jernbetonbjælke med 10 mm polystyrenplasts-kum. Man undgår dog næppe aftegning langs isoleringens kanter

I murede konstruktioner er det næppe muligt helt at undgå kuldebroer, da der ved murafslutninger, false etc. i reglen mures kompakt; i sådanne tilfælde er det dog sjældent, man gør noget ved kuldebroproblemet. Indgår der jernbetonbjælker i murværket, vil det være formålstjenligt at anordne en kuldebroisolering. Ved den på figur 5.19 viste udformning undgår man dog næppe en aftegning langs isoleringens kanter.

#### VINDTÆTHED OG VANDTÆTHED

En ydervægs vindtæthed og vandtæthed er af afgørende betydning for, om den kan fungere effektivt som klimaskærm. Funktionskravene i så henseende lader sig imidlertid ikke formulere på en sådan måde, at det beregningsmæssigt kan eftervises, at en given ydervægskonstruktion er tilfredsstillende; man er her henvist til at bygge på erfaringer fra udførte konstruktioner og på laboratorieprøvninger i fuld skala. Van-

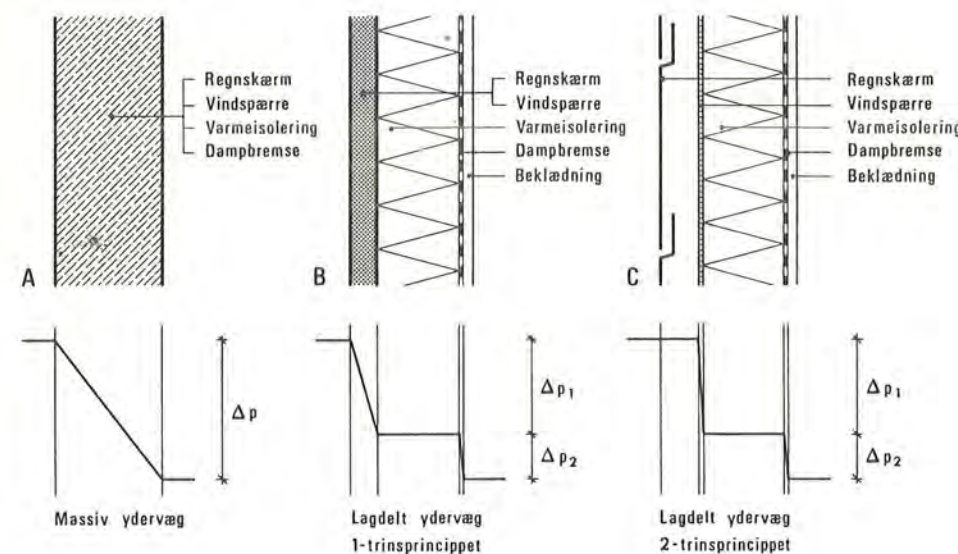
Vindtæthed og vandtæthed må fastlægges empirisk

ning, f.eks. relaksationsmetoden (se f.eks. litt. [1960.1]). Endelig kan transmissionstallet bestemmes ved elektriske analogimetoder, der i princippet bygger på analogien mellem temperatur og elektrisk potential og mellem varmeledningsmodstand og elektrisk modstand. En sådan analogiregnemaskine er udviklet og bygget på DtH's laboratorium for varmeisolering. Figur 5.18 viser et eksempel på beregning af modstandstallet ( $m^2h^{\circ}C/kcal$ ) for en mineraluld isoleret 5/4-stens teglmur med ståltrådsbindere pr. 2 sten.

Som det fremgår af oversigten figur 5.17, kan et givet funktionskrav med hensyn til varmeisolering opfyldes på mange måder. Det vil således sjældent være varmeisoleringstekniske hensyn, der lægges til grund for valg af vægkonstruktion; langt væsentligere i så henseende er - som tidligere nævnt - spørgsmålet om det konstruktive hovedsystem (muret byggeri, montagebyggeri, stål- eller jernbetonskeletkonstruktion, bærende tværvægge eller længdevægge etc., etc.); når disse hovedlinier er afklaret, kan der vælges en egnet vægkonstruktion, og tilbage står så at dimensionere den, så de termiske - og andre - funktionskrav er opfyldt. I den forbindelse er det værd at notere sig, at bærende ydervægge så vidt muligt bør isoleres på ydersiden, dels for at undgå at skulle tage hensyn til spændinger og deformationer fra temperaturdifferencer, dels for at undgå kuldebroer.

skeligheden ved sådanne prøvninger består i at fastlægge forsøgsbetingelser, der i rimelig grad svarer til de påvirkninger, konstruktionen bliver udsat for i praksis. I HB 10.3.7. er omtalt principperne i den af Nordisk komité for bygningsbestemmelser foreslåede metodik til prøvning af vindtæthed og slagregnstæthed samt det hertil hørende forslag til formulering af funktionskrav. Da disse må baseres på, hvad der erfaringsmæssigt har vist sig tilfredsstillende, må de blive af temmelig arbitrær karakter. I det følgende skal kort refereres hovedtrækkene i de erfaringer, der indtil nu er indhøstet.

Kravet om "vindtæthed" må stilles til så at sige enhver ydervæg; kun for ydervægge i rum, hvori der ikke skal opretholdes et egentligt indeklima, f.eks. skure, primitive pakhuse og lagerbygninger etc., er vindtætheden af underordnet betydning. Vindtætheden er nødvendig af mange grunde, først og fremmest hygiejniske, men også for bygningens varmeøkonomi spiller vindtætheden en stor rolle, dels fordi den utilsigtede og ukontrollable ventilation hidrørende fra utætheder giver forøget varmetab, dels fordi konvektionsstrømme i varmeisoleringsmaterialet nedsætter dets effektivitet, og endelig medfører vindutæthe-



Figur 5.20:

Principper for udformning af ydervægge

der risiko for fugtindtrængen i forbindelse med slagregn.

Navnlig dette sidste problem spiller en rolle for den konstruktive udformning af en effektivt virkende ydervæg. Fugtindtrængen i ydervæggen sker dels ved kapillarsugning, dels ved at vindtrykket driver vandfilmen ind i revner, utætheder og fuger. Figur 5.20 viser skematisk tre principper for udformning af ydervægge. I den massive væg A sker der fugtindtrængen på begge måder, men da der almindeligvis ved sådanne vægge alene i kraft af deres tykkelse (det drejer sig i reglen om massivt murværk af tegl eller letbeton) er stor luftmodstand, drives vandet kun nogle få cm ind i væggen og afgives igen ved fordampning; erfaringsmæssigt giver omhyggeligt udført murværk med fyldte fuger sjældent problemer med hensyn til vind- og vandtæthed. I den lagdelte ydervæg B udgør det yderste lag både regnskærm og vindspærre (1-trinsprincippet), d.v.s. at størstedelen af trykfaldet sker i dette lag, til hvilket der altså må stilles meget store krav om vandtæthed. Da

Omhyggeligt udført murværk er normalt tilstrækkelig vind- og vandtæt

1-trins princippet

NKB's funktionsprøvning

Vindtæthed er både et hygiejnisk og et økonomisk problem



## 2-trins-princippet

det ofte drejer sig om ganske tynde lag, kan kravet være vanskeligt at opfylde, uden at der samtidig fås en stor diffusionsmodstand, hvilket er yderst uheldigt på dette sted. I den lagdelte ydervæg C er der rådet bod på dette forhold, idet funktionerne som regnskærm og vindspærre varetages af hvert sit lag (2-trins-princippet). Ved at gøre spalterne i regnskærmen tilstrækkeligt store elimineres trykforskellen mellem regnskærmens forside og bagside og dermed trykgradienten, der ville kunne drive vandet ind i væggen. Vindspærren har herefter kun en funktion og kan derfor udføres uden væsentlig diffusionsmodstand. De mest almindelige materialer til dette formål er specielle (diffusionsåbne) papper med lavt luftgennemgangstal (litt. [1969.3] angiver  $\mu \leq 0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{hmmVS}$  som minimumskrav) samt pladematerialer (asbestcementplader, hårde og halvhårde træfiberplader etc.). Langt mere afgørende end selve materialets tæthed er imidlertid, hvordan samlinger og overlapninger udføres; paplag må have klemte overlappings- eller faldede stød, og pladematerialer må sømmes tæt langs kanterne, hvis der skal opnås tilstrækkelig vindtæthed.

Arbejdets udførelse er af afgørende betydning for et vindspærende lags effektivitet

DtH's laboratorium for varmeisolering har undersøgt egnetheden af forskellige materialer til isolering af hule mure (litt. [1965.2]). På grundlag af forsøgene, der blev udført i laboratoriets slagregnskærm (jvf. HB 10.3.7.) synes det rimeligt at fastslå, at materialer som polystyrenkugler, glasuld, stenuldsmåtter eller -granulat og polyurethanskum er velegnede til hulmursisolering, medens ekslerklinker og vermiculite opsuger så meget vand og leder det til bagmuren, at de næppe er særlig velegnede til formålet.

Kun visse materialer er velegnede til hulmursisolering

## FUGTTRANSPORT I YDERVÆGGE

Den direkte nedbør er imidlertid ikke den eneste fugtkilde, der kan give problemer i en vægkonstruktion. Også grundfugten må forhindres i at trænge op i konstruktionen; murede vægge må således altid isoleres fra fundamentene ved en effektiv fugtspærre (jvf. eksempel 5.5.1), og ved træskeletvægge må specielt fodremmene sikres mod fugt (isolering, udluftning og trykimprægning).

Endelig kan den omstændighed, at der normalt er en forskel i vanddamptrykket på en ydervægs to sider, give anledning til fugtproblemer. For det første må det sikres, at overgangsmodstanden ved væggen inderside ikke er så stor, at der sker overfladekondensation; normale, velisoleerede ydervægge giver sjældent problemer af den art ved almindelige fugtighedsforhold, men ved ekstremt høje luftfugtigheder (badeanstalter, vaskerier o.s.v.) må vægoverfladerne være sådan beskafne, at de tåler den næsten uundgåelige overfladekondensdannelsen. De hyppigste problemer med overfladekondensation skyldes, at varmeisoleringen lokalt er lavere end normalt, altså tilstedeværelsen af kuldebroer.

Medens overfladekondensdannelsen således er et sjældent forekommende problem, er kondensdannelsen i konstruktionens indre et problem, man må være opmærksom på ved enhver ydervæg. Damptrykforskellen bevirker en stadig diffusion gennem væggen, og spørgsmålet er så, om vanddamptrykket noget sted når op på mætningstrykket svarende til temperaturen på det pågældende sted, samt hvor meget vand der i så fald kondenserer. I HB 10.3.3. er gennemgået den almindelige teori for fugttransport i byggematerialer, og i HB 10.3.5. er vist, hvorledes man ved at gøre en række simplificerende forudsætninger kan foretage en beregning af

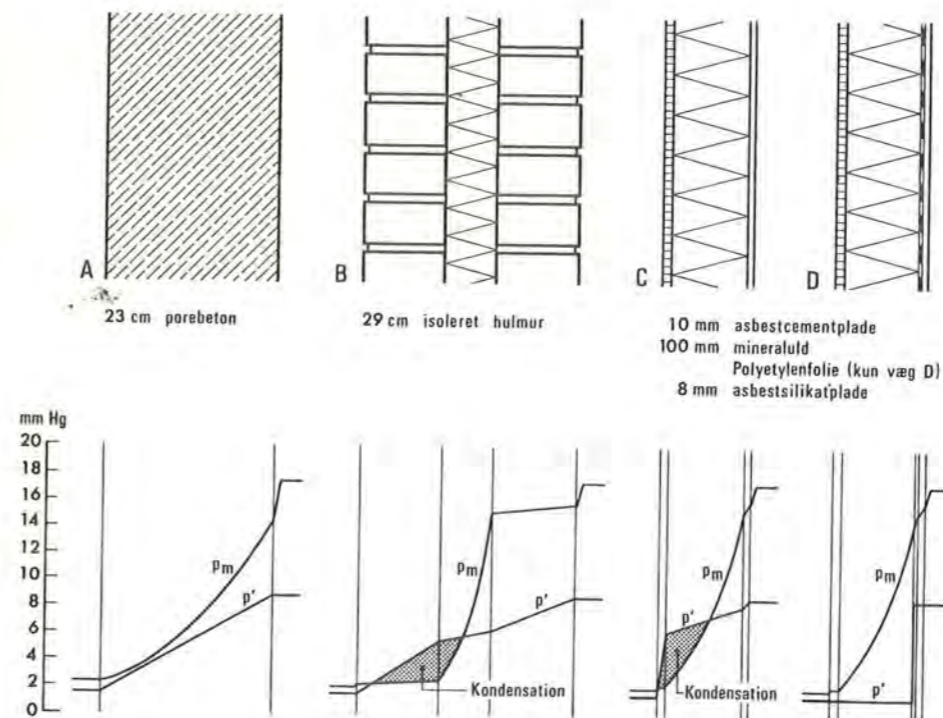
Overfladekondensation

Indvendig kondensation

damptrykkets forløb gennem væggen og altså konstatere, om der sker indvendig kondensation, samt beregne, hvor store mængder vand der udskilles ved kondensation.

Som klimabetingelser kan man i mangel af skandinaviske bestemmelser f.eks. gå ud fra de tyske, ifølge hvilke der regnes med en 60 dages fugtophobningsperiode med  $t_i = +20^\circ\text{C}$ , 50% RF, og  $t_u = -10^\circ\text{C}$ , 80% RF, samt en 90 dages udtørningsperiode med  $t_i = t_u = +12^\circ\text{C}$ , 70% RF. Hvis beregningen viser, at de udskilte fugtmængder er for store - enten med hensyn til nedsættelse af varmeisoleringssevnen eller med hensyn til konstruktionens holdbarhed - eller at de ikke kan afgives helt i udtørningsperioden, må der træffes særlige foranstaltninger, sædvanligvis en dampbremse på den varme side af væggen. Figur 5.21 viser for fire ydervægge forløbet af mætningstrykket  $p_m$  og af damptrykket  $p'$ , hvis der ikke var kondensation. Overstiger  $p'$  mætningstrykket, sker der kondensation, og det virkelige damptrykforløb er et andet (jvf. HB 10.3.5.).

Klimabetingelser ved beregning af damptrykforløbet i en ydervæg



Figur 5.21:

Mætningstrykkets og damptrykkets forløb i 4 ydervægge under stationære forhold:  $t_i = +20^\circ\text{C}$ , 50% RF,  $t_u = -10^\circ\text{C}$ , 80% RF.  $p'$  betegner damptrykket, såfremt der ikke sker kondensation

I den massive porebetonvæg (A) sker der ifølge beregningen ingen indvendig kondensation ved de givne klimabetingelser. Ved lidt større relativ fugtighed på den varme side ville damptrykket  $p'$  nå mætningstrykket, og der ville ske kondensation. Erfaringsmæssigt er der ingen problemer med sådanne porøse konstruktioner, når fugtudskillelsen regningsmæssigt kan holdes nede på 1-2  $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , hvilket i høj grad skyldes, at der ved kapillær tilbagesugning sker en fugttransport i modsat retning (fra høj mod lav relativ luftfugtighed). Heller ikke den isolerede hulmur (B) er følsom overfor små mængder kondenseret fugt. Derimod er træskeletkonstruktionen (C) uacceptabel, da den ret kraftige fugtophobning 2,5  $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  (i 90 dage bliver det til  $\sim 5,5 \text{ kg vand}/\text{m}^2$ ) betyder en meget væsentlig forringelse af isoleringsevnen samt ødelægger træet. Fejlen i konstruktionen er den relativt diffusionstætte

I en lagdelt, let konstruktion skal diffusions-tætheden være størst på indersiden (evt. en særlig dampbremse) og være mindre og mindre udefter

yderbeklædning. Med en kraftig dampbremse på isoleringens indvendige side (D) forhindres kondensationen fuldstændigt, idet næsten hele trykfaldet sker over denne, således at damptrykket overalt holdes under mætningstrykket. En hovedregel for sådanne lette ydervægskonstruktioner er altså, at damp-tætheden af de enkelte lag bør falde indefra udefter, om fornødent ved, at der på indersiden anordnes et specielt lag med høj diffusionsmodstand (100-200 pam). Dette kan være et problem ved konstruktioner efter 1-trins-princippet, hvor yderbeklædningen for at være regntæt også er ret diffusionstæt.

En mere udførlig behandling af de hygrotermiske problemer i ydervægge er givet i litt. [1967.2].

#### FACADEFUGERS TÆTHED

Af afgørende betydning for en ydervægs vind- og vandtæthed er tætheden af samlingerne mellem dens enkelte bestanddele. Ved muret byggeri er det almindeligvis kun fuger mellem murværket og karme for vinduer og døre, der giver anledning til særlige problemer; ved elementbyggede vægge derimod er netop fugernes tæthed et spørgsmål, der øver afgørende indflydelse på den konstruktive udformning. Fugekonstruktioner er i det hele taget et yderst omfattende problemkompleks, som ikke kan behandles inden for rammerne af denne fremstilling; her skal blot gives en summarisk oversigt over problemet.

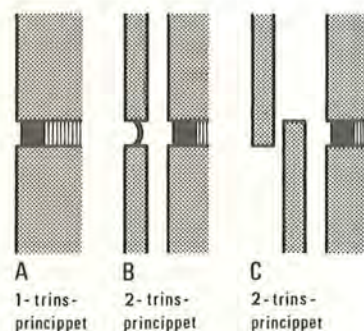
#### Prinsipper for udformning af facadefuger

Fuger må opfylde samme funktionskrav som facaden iøvrigt

Til en facadefuge må der i princippet stilles de samme funktionskrav som til facadekonstruktionen iøvrigt, altså statiske, akustiske, brandtekniske etc., men hertil kommer en række særlige hensyn, som må tages ved udformningen af fuger, såsom holdbarhed, reparationsmulighed og de specielle arbejdstekniske vilkår for udførelse, inspektion og vedligeholdelse. Fremstillingen i det følgende indskrænkes til kun at omfatte tætheden af monteringsfuger uden kraftoverførende funktion.

Ganske analogt til udformningen af ydervægge kan fuger udføres efter 1-trins-princippet eller 2-trins-princippet; fugeprincippet behøver ikke at være det samme som princippet for væggen. Ved fugning efter 1-trins-princippet stilles der overordentlig store krav til fugematerialet, der jo må have fornøden deformerbarhed på grund af vægdelenes temperaturdeformationer og samtidig have fornøden vindtæthed og tæthed overfor slagregns påvirkning, se figur 5.22. Ved 2-trins-princippet er disse to funktioner adskilt på en ydre regntætning og en indre vindtætning. Hulrummet bag regnskærmen står i forbindelse med det fri, så der ikke over denne oparbejdes nogen trykforskel, som kan drive vandet ind. Fugen kan enten være afdækket med et elastisk bånd (B) eller være helt åben (C) med en overlappning; ved begge løsninger må der drages omsorg for, at eventuelt indtrængende vand ledes sikkert ud igen. Det kan f.eks. gøres ved at anordne en lodret vanddrille i elementernes sidekanter eller ved at forsyne disse med en skrå profilering (vaskebræt), som leder vandet ned til de vandrette fuger og derfra ud. Princippet er benyttet i eksemplet figur 5.23, hvor den lodrette fuge er afdækket med et fugebånd, der foroven føres ind i udstøbningsen mellem elementerne. De vandrette fuger er åbne overlappingsfuger.

2-trins-princippet frembyder visse fordele frem for 1-trins-princippet og benyttes som sagt ofte ved fuger mellem facadeelementer, der iøv-



Figur 5.22:

Principper for udformning af facadefuger, 1-trinstætning (A) og 2-trinstætning (B og C)

rigt er udformet efter 1-trins-princippet. Hulrummet bag regntætningen må udformes under hensyntagen til mulige andre former for fugttransport (kapillarsugning etc.).

Principperne for facadefugers udformning og virkemåde er mere dybtgående behandlet i litt. [1962.1] og [1968.1].

#### Fugematerialer

Til vind- og vandtætning af fuger anvendes - alt efter fugens udformning - en række fugematerialer, der groft kan inddeles i

- stopningsmaterialer
- afdækningsmaterialer
- forseglingsmaterialer
- tætningslister.

Stopningsmaterialerne (værk, mineraluld etc.) benyttes til vindtætning og er kun egnet til dybe, relativt smalle fuger. Om fornødent må de suppleres ved lukning af fugen med mørtel eller forseglingsmasse.

Afdækningsmaterialerne (plastfolie, pap, tape etc.) benyttes ligeledes til vindtætning; tætheden sikres enten ved, at pappet eller folien klemmes mod de elementer, fugen adskiller, eller ved klæbning, eventuelt selvklæbende tape.

Forseglingsmaterialerne er i praksis de eneste, der kan give en effektiv fugetætning efter 1-trins-princippet; de anvendes desuden til indvendig forsegling af stoppede vindtætningsfuger. Forseglingsmaterialerne (fugemasser) er sejge, gummilignende materialer, der - almindeligvis med sprøjtepistol - føres ind i fugen, hvor de klæber til fugens sider og undergår en vis hårdning, til de får en egnet konsistens. Figur 5.24 viser et eksempel på fugeforsegling. Fugemasserne forekommer i talrige forskellige former, af vidt forskellig kemisk struktur og med vidt forskellige egenskaber. De mest almindelige er

#### Kit

(hurtighærdende eller plastisk; baseret på tørrende olier og kridt; ringe eller ingen deformerbarhed)

#### Plastiske fugemasser

(hindedannende eller ikke-hindedannende; baseret på ikke-tørrende olier, polymere, asbest; tilladelig træk/tryk-deformation ~ 10%; 5-20 års levetid)

#### Sejge plastiske fugemasser

(butyl og andre polymere; tilladelig træk/tryk-deformation ~ 15%; 15-20 års levetid)

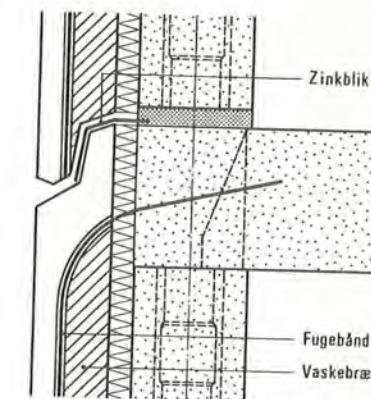
#### Termoplastiske fugemasser

(baseret på gummi eller bitumen; tilladelig træk/tryk-deformation ~ 25%; 5-15 års levetid)

#### Elastiske fugemasser

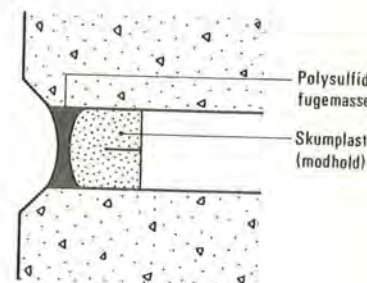
(polysulfider, polyurethener, siliconer; tilladelig træk/tryk-deformation ~ 25%; 20-50 års levetid)

Valg af egnet fugemasse er altså et kompliceret spørgsmål. De elastiske fugemasser er egnede til næsten ethvert formål, men er også de dyreste. De termoplastiske fugemasser er ligeledes velegnede til mange formål, men udelukket til andre, bl.a. da de skal påføres varme. De



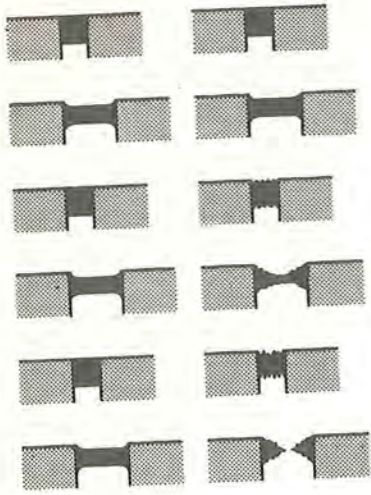
Figur 5.23:

Vandrette og lodrette fuger mellem bærende jernbetonsandwich-elementer, snit 1:10. 2-trins-princippet



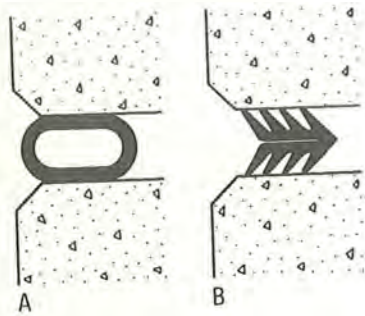
Figur 5.24:

Vandret eller lodret fuge forseglet med elastisk fugemasse, snit 1:2. 1-trins-princippet



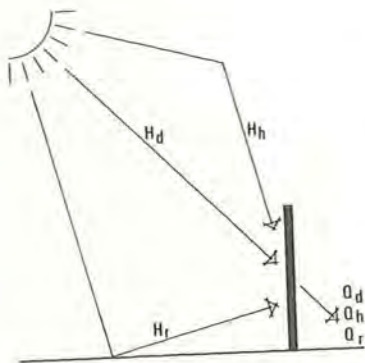
Figur 5.25:

Elastisk og plastisk fugeforsegling efter gentagne udvidelser og sammentrykninger



Figur 5.26:

Fuger mellem betonelementer, tætnet med fugebånd. 1-trins-princippet



Figur 5.27:

Direkte stråling (d), diffus himmelstråling (h) og reflekteret stråling (r)

plastiske fugemasser er kun anvendelige til formål med ringe fugebevægelser; figur 5.25 viser, hvorledes der i en plastisk fugemasse efter gentagne deformationer indtræder brud, medens en tilsvarende elastisk fugemasse bevarer sin styrke. Kit kan kun anvendes til formål uden fuge deformationer.

Tætningslister (kunstgummi eller PVC), der anvendes i så stor udstrækning i skibsbygningen, fly- og bilindustrien, har hidtil kun fundet begrænset anvendelse inden for byggeriet. De anvendes fortrinsvis til tætning mellem lette elementer (glas og letmetal), men efterhånden også i nogen udstrækning til tætning af fuger mellem betonelementer (figur 5.23 er et eksempel herpå). Princippet i fugebåndets virkemåde er, at de på grund af deres elasticitet klemmer tæt mod elementernes kanter og derved lukker fugen. Een af de hyppigst anvendte metoder er at underkaste hule profiler et vacuum ved monteringen; ved trykkudligning ekspanderer profilet og klemmer sig fast (figur 5.26 A).

En udførlig behandling af de talrige fugematerialer og deres teknologi er givet i litt. [1967.3].

#### SOLAFSKÆRMNING

Glasfacader rummer et specielt termisk problem, solindstrålingen. De varmemængder, der kan tilføres et rum gennem glaspartier, er under visse omstændigheder så betydelige, at de fuldstændig dominerer varmebalancen. Det er derfor absolut nødvendigt ved projekteringen af bygninger med større glaspartier at have kontrol over, hvor store varmemængder det drejer sig om, for på grundlag heraf at kunne træffe de nødvendige foranstaltninger. Problemet er for omfattende til at kunne rummes inden for rammerne af denne fremstilling, hvorfor der henvises til litt. [1966.1], hvor det er systematisk behandlet. Den heri opstillede beregningsmetode skal dog kort refereres til illustration af, hvor store varmemængder det drejer sig om, samt de muligheder, der foreligger for at klare problemerne ad konstruktiv vej.

Den strålingsenergi, der rammer en facade, hidrører dels fra den direkte solstråling (karakteriseres i det følgende med index d), dels fra den diffuse himmelstråling (h) og endelig fra den fra jorden og genstande herpå reflekterede stråling (r), der i almindelighed ligeledes kan regnes diffus, jvf. figur 5.27.

Den direkte strålings intensitet  $H_d$  afhænger i første række af vejrliget og er selvfølgelig størst på klare dage. Men mange andre forhold, såsom luftens renhed og fugtighed og navnlig solhøjden, spiller en rolle. Som brugeligt beregningsgrundlag kan regnes med den på figur 5.28 viste sammenhæng mellem solhøjden  $h_s$  og den direkte strålings intensitet vinkelret på strålingsretningen  $H_d^n$ . Intensiteten  $H_d$  på en flade, som rammes af strålingen med indfaldsvinklen  $i$ , er

$$H_d = H_d^n \cdot \cos i$$

$\cos i$  bestemmes af

$$\cos i = \cosh_s \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma + \sinh_s \cdot \sin \gamma,$$

hvor  $\beta$  er væg/sol-azimuthvinklen  
 $\gamma$  er væggenes hældning med lodret

For en lodret væg er  $\gamma = 0$ , og  $\cos i$  altså  $\cosh_s \cdot \cos \beta$ , og står solen specielt i væggenes lodrette normalplan, er  $\beta = 0$ , og  $i$  altså lig med  $h_s$ .

Himmelstrålingens intensitet  $H_h$  hænger nøje sammen med  $H_d^n$ . Som brugeligt beregningsgrundlag kan regnes med den på figur 5.28 viste sammenhæng mellem solhøjden  $h_s$  og himmelstrålingens intensitet på en vandret flade  $H_h^v$ . Intensiteten  $H_h$  på en lodret flade er

$$H_h = H_h^v \cdot \alpha$$

hvor  $\alpha$  er en faktor, der udtrykker den diffuse himmelstrålings intensitet på en flade i forhold til intensiteten på en vandret flade; den afhænger af den direkte strålings indfaldsvinkel, og er for en lodret flade vist på figur 5.29. Negative værdier af  $\alpha$  betyder, at væggen ligger i skyggesiden.

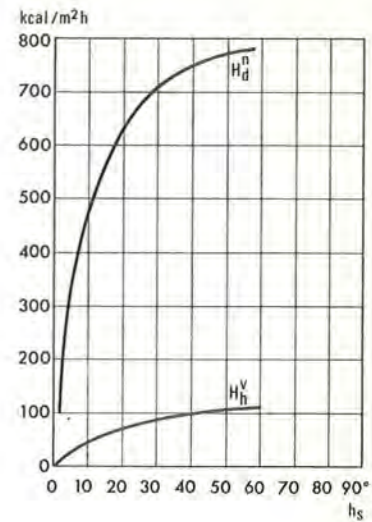
Den reflekterede strålings intensitet  $H_r$  bestemmes ved at multiplicere den (direkte og diffuse) stråling, der rammer jordoverfladen, med en empirisk bestemt reflektionskoefficient  $r$  og vinkelforholdet  $\phi$ , altså

$$H_r = (H_d^n \cdot \sinh_s + H_h^v) \cdot \phi \cdot r$$

Er den reflekterende vandrette flades udstrækning stor, er  $\phi = 0,5$ . Som beregningsgrundlag angiver litt. [1966.1] for reflektionskoefficienten

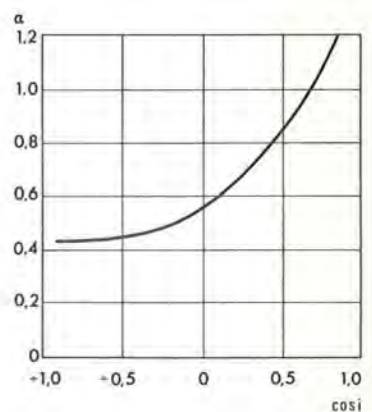
|   |         |
|---|---------|
| Ny sne  | 0,85    |
| Gammel sne                                    | 0,4-0,7 |
| Lys farver, gult og lyst rødt tegl            | 0,50    |
| Beton, mørkt rødt tegl, vissent græs og buske | 0,30    |
| Græs, buske og løvskov, lyst sand             | 0,25    |
| Sand, makadam, lys skifer                     | 0,20    |
| Nåleskov                                      | 0,15    |
| Asfalt, skifer, fugtig ubevokset mark         | 0,10    |

Til bestemmelse af de varmemængder, der transmitteres gennem konstruktionen, må hvert af de fundne led  $H_d$ ,  $H_h$  og  $H_r$  multipliceres med en transmissionsfaktor  $t$ . Denne er imidlertid forskellig for de tre led og i meget høj grad afhængig af konstruktionens udformning. Rammes en glasrude af en stråling med intensiteten  $l$ , vil en del af strålingen reflekteres ( $r'$ ), en del vil transmitteres ( $t'$ ), og den resterende del ( $a = 1 - r' - t'$ ) vil absorberes i ruden. Herved ændres rudens temperatur, indtil der indtræffer en tilstand, hvor  $a$  ved stråling og konvektion afgives til rummet indenfor og udenfor i forholdet  $m_u/m_i$ , hvor  $m_u$  og  $m_i$  er den udvendige og den indvendige varmeovergangsmodstand (jvf. figur 5.30). Den således til rummet afgivne del af den absorberede stråling  $a \cdot m_u/m_i + m_u$  benævnes den sekundære transmitterede stråling i modsætning til  $t'$ , den primære transmitterede stråling. Tilsammen er de to led den totale transmission  $t (= t' + a \cdot m_u/m_i + m_u)$ , der altså udtrykker, hvor stor en del af en indfaldende stråling der transmitteres. Skønt  $t$  således ikke er konstant for en bestemt konstruktion, men afhænger af overgangsmodstandene og dermed af vindhastighed etc., er den primære transmission almindeligvis så dominerende, at man som brugelig tilnærmelse kan regne  $t$  konstant. For den direkte stråling er  $t_d$  afhængig af indfaldsvinklen; for himmelstrålingen og den reflekterede stråling kan  $t_h$  og  $t_r$  regnes konstante.



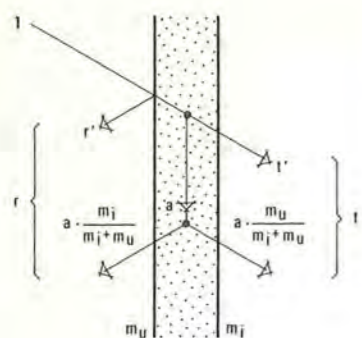
Figur 5.28:

Solhøjdens indflydelse på den direkte solstrålings intensitet  $H_d^n$  vinkelret på strålingsretningen og på den diffuse himmelstrålings intensitet  $H_h^v$  på en vandret flade på  $56^\circ$  n.b.



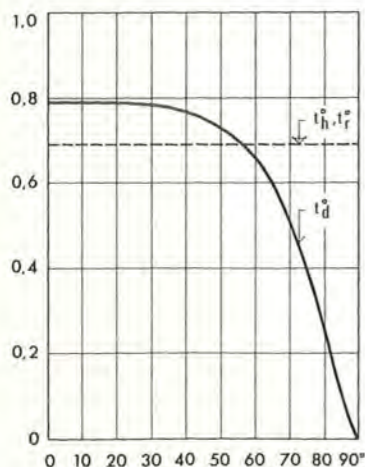
Figur 5.29:

Forholdet  $\alpha$  mellem den diffuse himmelstråling på en lodret og på en vandret flade som funktion af den direkte strålings indfaldsvinkel  $i$



Figur 5.30:

Indfaldende strålingsenergis opløsning i reflekteret, transmitteret og absorberet energi



Figur 5.31:

Transmissionskoefficienter for stråling gennem almindelig termorude af to lag glas og 12 mm mellemrum

For en almindelig termorude (2,4 mm glas, 12 mm mellemrum) er på figur 5.31 vist afhængigheden mellem indfaldsvinklen og transmissionsfaktoren for direkte stråling,  $t_d^0$ . For denne rude kan regnes  $t_h^0 = t_r^0 = 0,69$ . Index 0 betegner, at denne rude benyttes som referencekonstruktion, udfra hvilken  $t_d$ ,  $t_h$  og  $t_r$  for en vilkårlig konstruktion bestemmes ved angivelse af en afskærmningsfaktor  $f$ , der defineres

$$f = \frac{Q}{Q^0},$$

hvor  $Q$  er den gennem konstruktionen transmitterede solstråling (primær og sekundær) og  $Q^0$  er den tilsvarende for referenceruden. En høj afskærmningsfaktor er altså udtryk for ringe afskærmningseffekt og omvendt. Det bemærkes, at der foruden denne definition af  $f$  benyttes andre i litteraturen om emnet.

Skønt  $f$  strengt taget ikke er ens for direkte og diffus stråling, kan som brugelig tilnærmelse regnes  $f = f_d = f_h = f_r$ . Til illustration af de forskellige foranstaltningers effektivitet skal anføres nogle karakteristiske værdier for afskærmningsfaktoren:

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Persienne bag enkelt rude          | 0,55 - 0,80 |
| Persienne bag dobbelt rude         | 0,60 - 0,85 |
| Persienne mellem to lag glas       | 0,35 - 0,50 |
| Persienne foran enkelt rude        | 0,15 - 0,20 |
| Persienne foran dobbelt rude       | 0,10 - 0,15 |
| Gardin bag enkelt rude             | 0,45 - 0,75 |
| Gardin bag dobbelt rude            | 0,50 - 0,85 |
| Gardin mellem to lag glas          | 0,25 - 0,55 |
| Markise                            | 0,25 - 0,50 |
| Reflekterende og absorberende glas | 0,30 - 0,70 |

Mere detaljerede værdier af  $f$  er refereret i litt. [1966.1].

På grundlag af kendskab til transmissionskoefficienten og afskærmningsfaktoren kan den gennem konstruktionen transmitterede energi bestemmes som  $Q = H \cdot t \cdot f$ , altså ialt

$$Q_{\text{trans}} = \begin{cases} Q_d & (= H_d^n \cdot \cos i \cdot t_d \cdot f_d) & \text{(Direkte stråling)} \\ +Q_h & (= H_h^v \cdot a \cdot t_h \cdot f_h) & \text{(Himmelstråling)} \\ +Q_r & (= (H_d^n \cdot \sin h_s + H_h^v) \cdot \phi \cdot r \cdot t_r \cdot f_r) & \text{(Reflekteret stråling)} \end{cases}$$

Er eksempelvis  $h_s = 30^\circ$  (en efterårsdag ved middagstid), fås for en sydvendt facade ( $\beta = 0$ ,  $\gamma = 0$ )  $i = h_s = 30^\circ$ .  $r$  regnes = 0,25.

Figur 5.28:  $H_d^n = 710 \text{ kcal/m}^2\text{h}$   
 $H_h^v = 88 \text{ kcal/m}^2\text{h}$

Figur 5.29:  $a = 1,2$

Figur 5.31:  $t_d = 0,785$

Gennem en almindelig termorude transmitteres altså i klart vejr

$$Q_{\text{trans}} = \begin{cases} 710 \cdot 0,87 \cdot 0,785 \cdot 1 & 485 \text{ (Direkte stråling)} \\ 88 \cdot 1,2 \cdot 0,69 \cdot 1 & 73 \text{ (Himmelstråling)} \\ (710 \cdot 0,5 + 88) \cdot 0,5 \cdot 0,25 \cdot 1 = 56 & \text{(Reflekteret stråling)} \end{cases} = 614 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

Til sammenligning er den almindelige varmetransmission ved en temperaturforskelle  $t_i - t_u = 10^\circ\text{C}$  for den samme rude ( $k \approx 2,7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )  $27 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ , altså en forsvindende brøkdel af den solenergi, der transmitteres ind. Selvom denne transmission kun foregår i en vis periode på dagen, er det i rum, hvor store dele af facaden er af glas, en varmemængde, der normalt ikke vil kunne accepteres, men må skaffes bort ved mekanisk ventilation. Som det fremgår af oversigten over afskærmningsfaktorer, er der dog visse muligheder for at reducere solindfaldet betydeligt ved en egnet afskærmning. Mest effektiv er selvfølgelig udvendig afskærmning (persiener, jalousier, markiser etc.), men også persiener eller gardiner mellem dobbeltvinduer er ret effektive, og det samme gælder visse specielle glas med reflekterende belægning (se artikel 5.4.6.). Indvendig afskærmning har kun ringe effekt, størst for lyse, uigennemskinnelige gardiner og persiener.

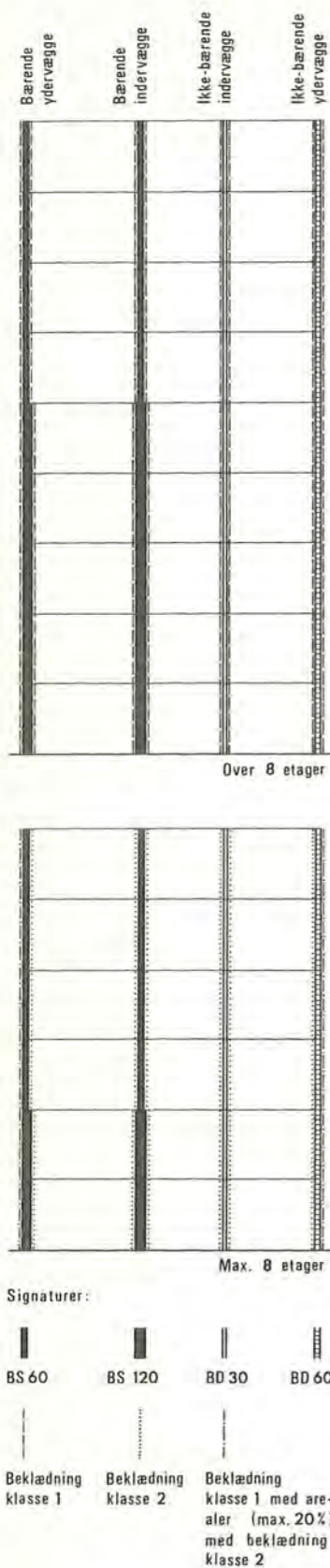
Varmetransporten ved solstråling er i visse perioder langt større end den almindelige varmetransmission



Figur 5.32:

Udvendig solafskærmning

Figur 5.32 viser et eksempel på en ret effektiv udvendig solafskærmning, der samtidig ikke i for høj grad svækker lysindfaldet.



Figur 5.33:

Brandtekniske funktionskrav til vægge i boligbyggeri i henhold til BR 1966

## 5.2.4. Brandtekniske funktionskrav

De brandtekniske funktionskrav til vægkonstruktioner må fastsættes ud fra en brandteknisk bedømmelse (jvf. HB 10.4.5.), hvor de konstruktive brandtekniske foranstaltninger ses i sammenhæng med bygningens og de enkelte rums beliggenheds- og adgangsforhold, brandcellestørrelser, brandbelastning og mulige brandbekæmpelsesforanstaltninger. Alene på grund af disse sidstes lokale karakter kan der ikke opstilles generelle retningslinier for, hvilke funktionskrav der skal stilles.

### FUNKTIONSKRAV

For boligbyggeri og andet byggeri, der i brandmæssig henseende kan sidestilles hermed, fastsætter lovgivningen herhjemme dog ret detaljerede krav med hensyn til vægkonstruktioners og andre bygningsdeles brandtekniske egenskaber. Kravene omfatter såvel bærende som ikke-bærende (i byggelovgivningen benævnt "adskillende") vægge samt vægbeklædninger.

De strengeste krav stilles til vægge, hvis primære funktion er brandteknisk, brandvægge. De fordres at være brandsikre og at kunne hindre brands udbredelse i 2 timer og må altså kunne klassificeres som BS-bygningsdel 120. BR 1966 fordrer brandvægge ført igennem taget med brandkam, subsidiært ført op til tagfladens underside, der i så fald må forsynes med en beklædning f.eks. BS-bygningsdel 60 i 50 cm bredde. Brandvægge fordres overalt, hvor der bygges nærmere naboskel end 2,5 m (småhuse dog undtaget), samt indvendig for hver 50 m eller 600 m<sup>2</sup> i beboelsesbygninger på 2 etager og derover. For rækkehuse etc. er kravet til brandvægge dog kun BS 60.

Til brandcelle-afgrænsende vægge er kravet i almindelighed BS 60 (for bygninger i indtil 2 etager dog subsidiært BD 90); undtaget fra BS 60-kravet er ikke-bærende ydervægge (BD 60) samt for bygninger i indtil 8 etager ikke-bærende indervægge, der subsidiært kan udføres som BD 90-vægge. For bygninger over 4 etager gælder dog generelt, at bærende vægge udover de 4 øverste etager skal være BS 120-vægge.

Til vægge, der ikke er brandcelleafgrænsende, er kravene de samme for bærende vægge (BS 60 hhv. BS 120), men for ikke-bærende indervægge er kravet kun BD 30.

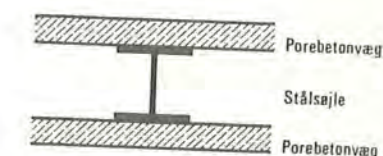
Udover disse krav til vægges brandmodstandsevne stilles der visse krav til udvendige og indvendige vægbeklædningers brandtekniske egenskaber (klasse 1 eller klasse 2 i henhold til BR 1966, tillæg 6). Figur 5.33 viser skematisk de brandtekniske krav (vægkonstruktion og beklædninger) til bærende og ikke-bærende yder- og indervægge i beboelsesbygninger på over 8 etager, henholdsvis indtil 8 etager.

En særlig brandteknisk funktion kan skillevægge have, hvor de benyttes til brandbeskyttelse af bygningsdele, der indgår i den bærende hovedkonstruktion, fortrinsvis stålsøjler, således som vist i eksemplet figur 5.34. Denne teknik er endnu ikke særlig anvendt herhjemme og er ikke omfattet af de i BR 1966 givne godkendelser. Brandstabiliteten kan eftervises ved beregning efter de i HB 10.4.4. givne retningslinier.

### BÆRENDE VÆGGE

Det primære krav til bærende vægges brandmodstandsevne er ifølge klassifikationsreglerne (DS 1052), at konstruktionen under en normeret brandprøvning (DS 1051) kan bære den dimensionsgivende last, og at den efter branden har en restbæreevne på 1,5 gange denne last, idet det iøvrigt forudsættes, at prøvelegemet under prøvningen er statisk anordnet (understøttet, indspændt etc.) som under praktiske forhold.

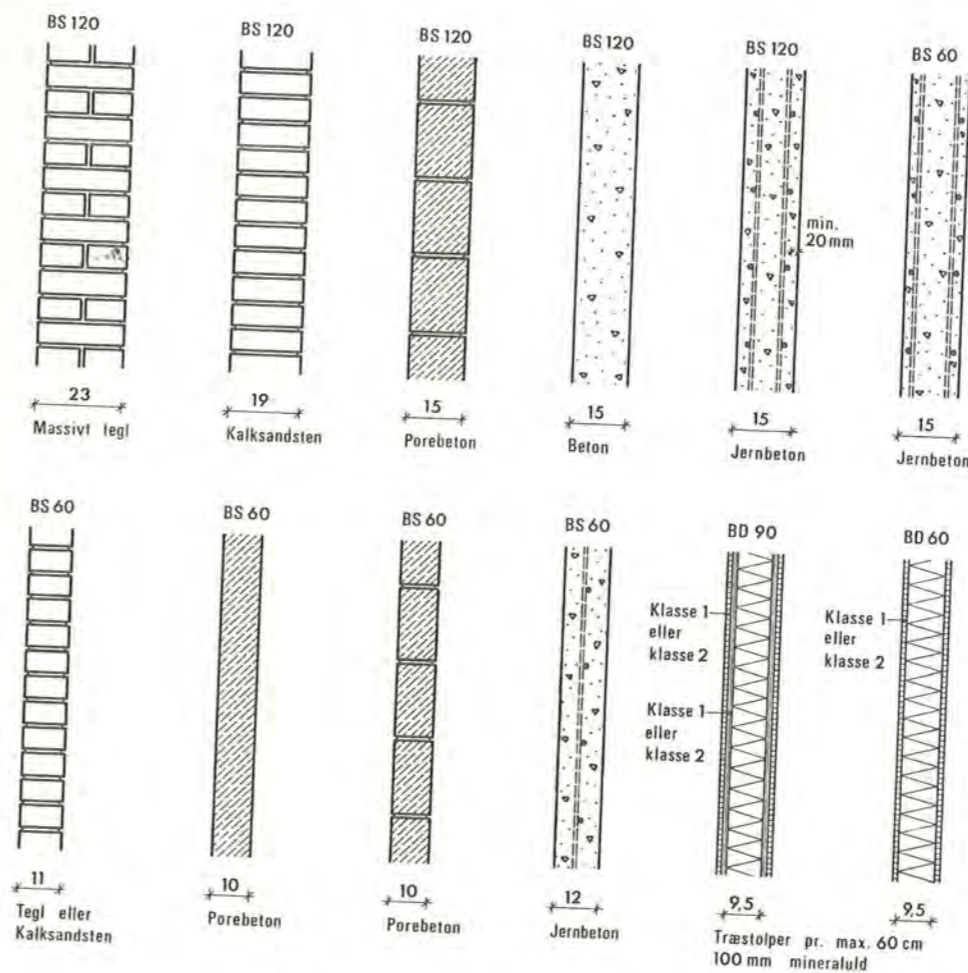
Denne forudsætning er selvfølgelig af fundamental betydning, og det er derfor i det hele taget problematisk generelt at karakterisere en bygningsdel som brandstabil i et vist tidsrum; om den er det under virkelige forhold, afhænger fuldstændigt af, hvordan konstruktionen statisk er anordnet. Det afgørende er nemlig i mange tilfælde, om de temperaturdeformationer, bygningsdelen får under brandpåvirkningen, kan foregå frit. For murede og støbte vægge er dette forhold sjældent kritisk (på grund af deres store tværsnit og varmekapacitet), og det er næppe uforsvarligt generelt at regne med de i BR 1966 godkendte konstruktioner, hvoraf nogle karakteristiske er vist på figur 5.35. For slanke



Figur 5.34:

Vægge, der fungerer som brandisolering af stålsøjle.

Vandret snit 1:20



Figur 5.35:

Eksempler på brandteknisk klassifikation af bærende vægge i henhold til BR 1966.

Lodret snit 1:20

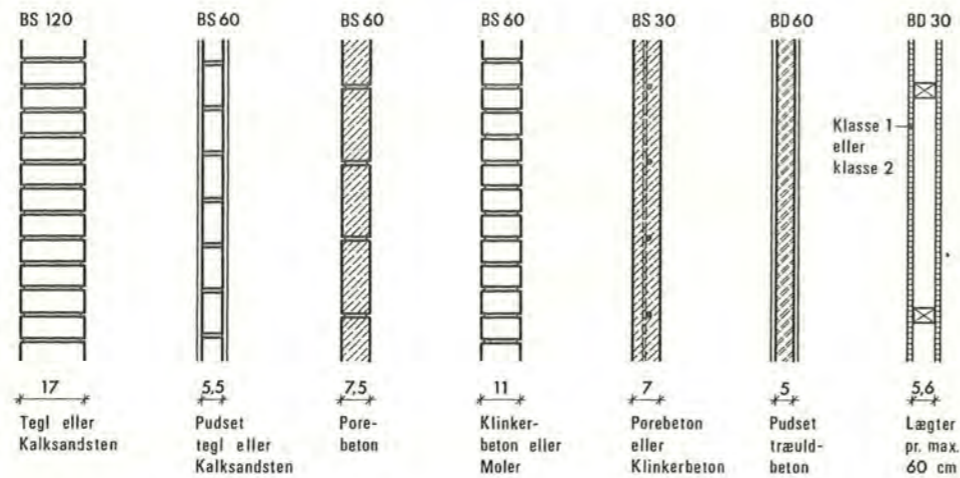
stålsøjler derimod kan forholdene meget vel blive kritiske ved nogle få hundrede graders opvarmning, hvis de er fastholdt mod længdeværts udvidelse (for en geometrisk fastholdt stålstang betyder en opvarmning på 100°C en spænding  $\sigma = E \cdot \beta \cdot \Delta t \approx 2 \cdot 10^6 \cdot 10^{-5} \cdot 100 \approx 2000 \text{ kp/cm}^2$ ). I meget høje stålbygninger kan dækkenes stivhed meget vel betyde en

Spinkle stålkonstruktioners brandstabilitet afhænger fuldstændigt af den statiske anordning og kan derfor ikke karakteriseres generelt

så væsentlig modstand mod de nederste stålsøjlers længdeudvidelse, at disses bæreevne er udtømt allerede ved 150-200°C. Da denne temperatur i stålet nås allerede efter ca. en halv times standardbrand, hvis søjlen blot er beskyttet med f.eks. 40 mm armeret beton, er det altså ganske meget på den usikre side, når BR 1966 angiver en sådan søjles brandmodstandsevne til 2 timer. For en stålsøjle, der kan dilatere frit, er situationen selvfølgelig en helt anden. Fremfor at følge BR 1966's unuancerede forskrifter bør man altså i sådanne tilfælde foretage en brandteknisk dimensionering, jvf. HB 10.4.4., selvom grundlaget herfor på mange punkter endnu er usikkert. Ved en sådan må man selvfølgelig også undersøge tilfældet een-sidig brand, en påvirkning, der i mange tilfælde er farligere end den ved brandprøvningen forudsatte alsidige brand - og iøvrigt ofte langt mere sandsynlig.

#### IKKE-BÆRENDE VÆGGE

Det primære krav til ikke-bærende vægges brandmodstandsevne er en vis normeret begrænsning af temperaturstigningen på den fra ilden vendende side af væggen; herudover skal væggen selvfølgelig bevare sin fysiske



Figur 5.36:

Eksempler på brandteknisk klassifikation af ikke-bærende vægge i henhold til BR 1966.

Lodret snit 1:20

sammenhæng, jvf. HB 10.4.3.

Figur 5.36 viser nogle karakteristiske eksempler på ikke-bærende vægges brandmodstandsevne i henhold til BR 1966.

#### VÆGBEKLÆDNINGER

Vægbeklædningers brandtekniske klassifikation

Som angivet i HB 10.4.3. klassificeres vægbeklædninger i henhold til BR 1966 i beklædninger af klasse 1 og klasse 2, der er beklædninger, der yder en vis brandmæssig beskyttelse af bagved liggende brændbart materiale, henholdsvis beklædninger, som yder et vist begrænset tilskud til en brand.

BR 1966, tillæg 6, giver en række praktiske eksempler på beklædninger, der kan klassificeres i klasse 1 og klasse 2. For beklædninger af klasse 2 skelnes mellem beklædninger med og uden bagved liggende hulrum, idet disse sidste er mindre farlige. Endvidere indeholder tillæg

6 en række bestemmelser om lagdelte og profilerede beklædninger, ligesom det er præciseret, hvordan f.eks. mineraluld skal befæstes for at være "forsvarligt fastholdt".

I bemærkningerne til tillægget er givet en række anvisninger m.h.t. ikke-prøvede konstruktioner, godkendelsespraksis etc.

### 5.2.5. Andre funktionskrav

Funktionskravene må vedblivende kunne opfyldes

Udover de i det foregående behandlede funktionskrav må der til en vægkonstruktion almindeligvis stilles yderligere en række krav, for at den kan opfylde sit formål og vedblivende være i stand til det. Alt efter konstruktionens formål kan der blive tale om at stille funktionskrav med hensyn til

søm- og skruefasthed  
hårdhed  
formbestandighed  
varmebestandighed  
frostbestandighed  
kemisk modstandsdygtighed  
bakteriologiske egenskaber  
lugt  
elektriske egenskaber  
farve- og lysægthed  
renholdelsesmulighed  
reparationsmulighed

Mange funktionskrav kan ikke formuleres kvantitativt

Disse funktionskrav frembyder ikke i samme grad som de øvrige funktionskrav sikkerhedsproblemer og er derfor ikke - eller kun ganske sporadisk - behandlet i byggelovgivningen, hverken herhjemme eller i det øvrige Skandinavien. Ikke desto mindre er netop disse egenskaber af største betydning for valg af vægkonstruktion, og når de ikke i højere grad er gjort til genstand for normeret prøvning, skyldes det simpelthen vanskelighederne ved at anstille en systematisk analyse af disse forhold, såvel med hensyn til at karakterisere materialernes egenskaber som med hensyn til at formulere kravene til dem under de forskelligartede forhold, hvorunder de anvendes. I det følgende skal kort omtales nogle enkelte af de egenskaber, en vægkonstruktion må have; disse er selvfølgelig vidt forskellige for indervægge og for ydervægge.

#### INDERVÆGGE

For indervægge (herunder ydervægges indersider) drejer det sig væsentligst om at tilgodese en bekvem rengøring; dette gælder selvfølgelig i udpræget grad sådanne rum som vaskerum, større køkkener, fødevarerforretninger, slagterier m.m., hvor de hygiejniske krav er store. For kontorer, værksteder, forretninger spiller det en rolle, at væggene egner sig til opsætning og hyppig udskiftning af beslag til hylder, reoler m.m. I lager- og fabriksbygninger må væggene normalt udføres særligt robuste og i visse tilfælde udstyres med fendere til beskyttelse mod stød og påkørsel.

#### YDERVÆGGE

For ydervægge er det navnlig de nedbrydende påvirkninger, konstruktionen bliver udsat for som følge af vejrligets indflydelse, og de hermed forbundne vedligeholdelsesproblemer, der spiller en rolle for den konstruktive udformning. I særlige tilfælde kan det ved større byggeopgaver blive nødvendigt at basere den endelige udvælgelse af konstruktionstype blandt flere mulige på en kalkulation, hvori også indgår de kapitaliserede vedligeholdelsesudgifter.



Figur 5.37:  
Facade med "smudsgardiner"

En ydervæg tilføres i tidens løb så store mængder støv og fugt, at en tilsmudsning turde være uundgåelig. Det drejer sig derfor ikke om at undgå tilsmudsning, men om at sørge for, at tilsmudsningen foregår på en acceptabel måde. Byggematerialernes egenskaber er vidt forskellige i så henseende; jo glattere overfladen er, jo mindre modtagelig er den for snavs. Glas er et af de mest "selv-rensende" materialer til ydervægge, medens en teglstensmur tilsmudsnes i betydelig grad. Det er imidlertid en karakteristisk egenskab ved tegl, at det kan tilsmudsnes uden at skæmmes; det samme kan næppe siges om beton- eller pudsede overflader. Der udfoldes store anstrengelser for at fremstille betonelementer med glatte, lyse overflader, mindst muligt modtagelige for snavs, men resultatet er oftest efter ganske kort tid nedslående, fordi der er en skærende kontrast mellem de fine, glatte flader og de "smuds-gardiner", der uundgåeligt kommer ved enhver "ujævnhed", det være sig vinduer, altaner, sålbænke, inddækninger, beslag eller simpelthen vandrette fuger. Problemet løses næppe ved at gøre materialerne mere forfinede; herved opnås egentlig kun en yderligere understregning af det utilsigtede ved tilsmudsningen. Man bør snarere gå den modsatte vej og løse det konstruktivt og give væggen en sådan geometrisk struktur, at det er den og ikke tilsmudsningen, der dominerer.

En vægoverflades karakter beror i alt væsentligt på tre faktorer:

farve  
geometrisk struktur  
materialestruktur.

I spørgsmålet om tilsmudsning spiller farven ikke nogen særlig væsentlig rolle; langt større betydning har strukturproblemerne.

I den geometriske struktur aftegner vægfladens "store linier" sig; det er den struktur, der opfattes på afstand. For en pladsstøbt betonavæg er det således - udover dens ydre konturer - fugeafstande og -dimensioner, aftegning af støbeformens opbygning, profilering, overfladens planhed eller krumning, der bestemmer fladens geometriske struktur; for murværk er det forbandt, fuger og murfeltternes proportioner, der giver strukturen. For elementbyggede vægge (beton, stål, glas etc.) kommer hertil yderligere en række variationsmuligheder, først og fremmest gennem elementernes geometriske form og dimensioner, sprossedimensioner og -afstande etc. etc.

For overfladekarakteren på nært hold er materialestrukturen afgørende; på det punkt spænder byggematerialerne vidt, lige fra de meget fine (glas, metal etc.) til de meget grove (stænkpuds, tegl, frilagte skærver etc.). Det er klart, at de groveste materialer er de mest smudsmodtagelige.

Problemet er imidlertid ikke, hvilke overflader der er mest rene, men derimod hvilke overflader der skæmmes mest af de smudsgardiner og skjolder, der uundgåeligt kommer. Figur 5.37 viser en facade, der er skæmmet ganske betydeligt af striber, skjolder og snavsansamlinger. Facaden i figur 5.38 er næppe mindre snavset, men tilsmudsningen fortoner sig fuldstændigt i den meget markante geometriske struktur, der dannes af de ens rektangulære elementer med en pyramideformet relief, adskilt af brede, skarpt aftegnede fuger. Her er det den geometriske struktur og ikke tilsmudsningen, der dominerer. Men spørgsmålet rummer selvfølgelig mange andre aspekter end tekniske.

Ingen vægoverflade er uimodtagelig for snavs



Figur 5.38:  
Facade, hvor det er den geometriske struktur og ikke tilsmudsningen, der dominerer

## 5.3. Murværkskonstruktioner

Anvendelsen af natursten og tegl til murværk har været kendt i over 3000 år. I vore dage er tegl stadig det mest anvendte materiale til mursten, men også mursten af beton, letbeton og kalksandsten bruges nu i stigende grad.

Normgrundlaget for projektering og udførelse af murværkskonstruktioner er herhjemme Dansk Ingeniørforenings "Norm for murværk" DS 414 (1. udgave 1969). I henhold hertil kan murværk udføres efter klasse A eller klasse B. Murværk i klasse B er det normale; kun ved særlig omhyggelig udførelse og kontrol kan murværk henregnes til klasse A.

I det følgende skal gives en oversigt over de forskellige forhold (mursten, mørtel, muring etc.), der spiller en rolle for det færdige murværks egenskaber.

### 5.3.1. Mursten

Mursten karakteriseres ved at angive stentype og stenklasse, efterfulgt af eventuelle oplysninger om udseende, frostbestandighed (symbol F), nettorumvægt etc., eksempelvis:

Massiv teglsten 225, gul, F, 1600,

der betyder, at stentypen er massiv teglsten, stenklassen er sten 225 (se nedenfor), farven er gul, stenen er frostbestandig, og nettorumvægten er 1600 kg/m<sup>3</sup>. (Ved nettorumvægt forstås tørvægten divideret med det rumfang, som fås efter fradrag for eventuelle huller, men uden fradrag for porer).

#### STENTYPER

DS 414 omfatter kun 5 stentyper: Teglsten, betonsten, kalksandsten, klinkerbetonsten og molersten. Andre stentyper såsom porebeton og spånbeton er ikke omfattet af normen.

#### Teglsten

Teglsten fremstilles i et meget stort antal varianter ved brænding af ler eller lerholdig masse. Farven er hyppigst rød eller gul, der hver især dækker over et bredt spektrum af nuancer; sjældnere anvendes sten med de specielle farver: brundæmpet, mocca, blådæmpet etc.

Fremgangsmåden ved formgivning spiller en stor rolle for stenens overfladekarakter; der skelnes mellem

håndstrygning  
blødstrygning  
maskinstrygning;

ved sidstnævnte, helt maskinelle fremstillingsmåde er der mulighed for at præge overfladen på forskellig måde (riflet, børstet, præget, hammerslået), og for at udspare huller i strygeretningen; betegnelsen k8/78/1750 betyder eksempelvis, at stenen, hvis nettorumvægt på 1750 kg/m<sup>3</sup>, har 78 kvadratiske huller med sidelinie 8 mm; den benævnes også mangehulsten (Ma/1750).



Figur 5.39:

Mursten af dansk normalformat. Øverst håndstrøget sten, nederst maskinstrøget sten med huller

De håndstrøgne og blødstrøgne sten anvendes udelukkende til facademurværk og indvendigt blankt murværk. Mangehulsten er specielt egnede til bagmuring på grund af deres mindre varmeledningstal.

#### Betonsten

Betonsten er mursten, der fremstilles af grus, cement og vand samt eventuelle tilsætningsstoffer. Udover normalformatet (se nedenfor) fremstilles de i forskellige blokformater, ofte med udsparinger. De anvendes mest i kelderkonstruktioner og landbrugsbyggeri, men iøvrigt bruges de herhjemme ikke i særlig stor udstrækning.

#### Kalksandsten

Kalksandsten er mursten fremstillet ved formpresning og påfølgende autoklavering af en mørtel af brændt kalk, sand og vand. Stenene, der er hvide til hvidgrå, udføres i samme formater og hennures på helt tilsvarende måde som normal-teglsten. Rumvægten er normalt 1800-2000 kg/m<sup>3</sup>, og trykstyrken er almindeligvis 150-250 kp/cm<sup>2</sup>. Stenenes trækstyrke- og stivhedsforhold er endnu uafklarede, men der synes i visse tilfælde at være en større tendens til revnedannelser ved større murfelter af kalksandsten end ved tilsvarende teglmurværk. Iøvrigt udmærker stenene sig ved stor målfasthed, der bl.a. gør det muligt at udføre 1/2- og 3/4-stens murværk med to blanke sider.

#### Letbetonsten

Murværk af letbeton har gennem den sidste menneskealder fundet stadig stigende anvendelse herhjemme, dels på grund af de fremragende varmeisoleringssegenskaber, dels på grund af bekvem arbejdsteknik. Endelig må det nævnes, at visse letbetonprodukters særprægede overfladekarakter på værdifuld måde har bidraget det murede byggeri en række nye arkitektoniske muligheder.

Klinkerbeton (ekslerbeton) er beton med tilslagsmaterialer af specielle betonklinker, fremstillet af plastisk ler ved opbløring under høj temperatur. Rumvægten er for elementer til murværk normalt 600-800 kg/m<sup>3</sup>. Der fremstilles mursten i samme formater som normalsten af tegl og beregnet til sammenmuring med disse, murblokke af større formater, ligeledes beregnet til kombinationsmuring med bl.a. tegl, samt skillevægspalader i forskellig tykkelse, beregnet til opmuring af indervægge.

Autoklavret porebeton er som nævnt ikke omfattet af DS 414. Det fremstilles i murblokke, normalt i formatet h·l = 19·47 cm, svarende til 3·2 sten, og bredder på 11, 15, 19, 23 og 30 cm, beregnet til specielt porebetonmurværk eller til kombinationsmurværk med andre mursten. Rumvægten er normalt 700 kg/m<sup>3</sup>. Desuden fremstilles modulblokke i særlige dimensioner, beregnet til limet murværk, jvf. artikel 5.3.6.

Begge typer porebetonmursten egner sig fortrinligt til blankt murværk.

Ved murværk af spånbetonblokke, der heller ikke er omfattet af DS 414, er det væsentligst materialets udmærkede varmeisolerende og akustiske egenskaber, der udnyttes. Spånbetonblokke udføres som hulblokke, der efter opsætningen udstøbes med beton. De egner sig udmærket til at kombineres med andre materialer, f.eks. skalmuring af tegl eller pudning.

Trældbeton anvendes til opmuring af lette indervægge på tilsvarende

Håndstrøgne og blødstrøgne sten til blankt murværk



Figur 5.40:

Klinkerbeton-murblok. Blokken vejer det samme som 3 almindelige mursten



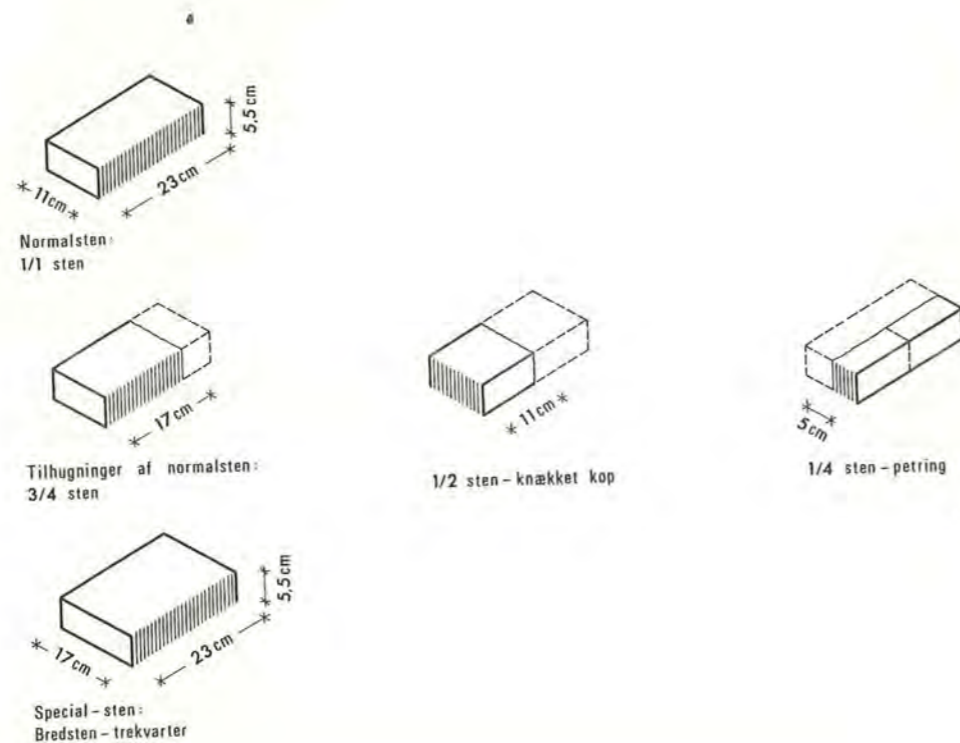
måde som klinkerbetonblokke. Ved anvendelserne må man være opmærksom på, at materialet er ret påvirkeligt af fugtvatiationer. Materialet er velegnet til pudsning.

Murværk af slaggebeton anvendes til indervægge på tilsvarende måde som klinkerbetonblokke.

#### Molersten

Molersten er mursten fremstillet ved brænding af moler eller molerholdig masse, eventuelt med egnede tilsætningsstoffer. De udmærker sig ved meget lav rumvægt (ca. 800 kg/m<sup>3</sup>) og deraf følgende lavt varmeledningstal ( $\lambda \sim 0,25$  kcal/mh<sup>0</sup>C). De anvendes kun til formål, hvor man kan gøre brug af deres varmeisoleringssevne.

Molersten anvendes kun til isoleringsformål



Figur 5.41:

Murstensformater. Danske normalsten (4"-sten) og bredsten

Dansk normalformat

Mursten i dansk normalformat (4"-sten) har basismålene

$$h \cdot b \cdot l = 55 \cdot 108 \cdot 228 \text{ mm}$$

I daglig tale angives målene dog i cm (5,5·11·23 cm). Bredsten (der tidligere svarede til 6"-sten) har basismålene

$$h \cdot b \cdot l = 55 \cdot 168 \cdot 228 \text{ mm}$$

Af normalsten tilhugges efter behov trekvarter, halv, kvarter (petring) og mesterpetring, jvf. figur 5.41.

Basismålene kan selvfølgelig ikke overholdes uden målafvigelser. DS 414 angiver detaljerede tolerancekrav og forskrifter for prøveudtagning og prøvemåling.

Tolerancer

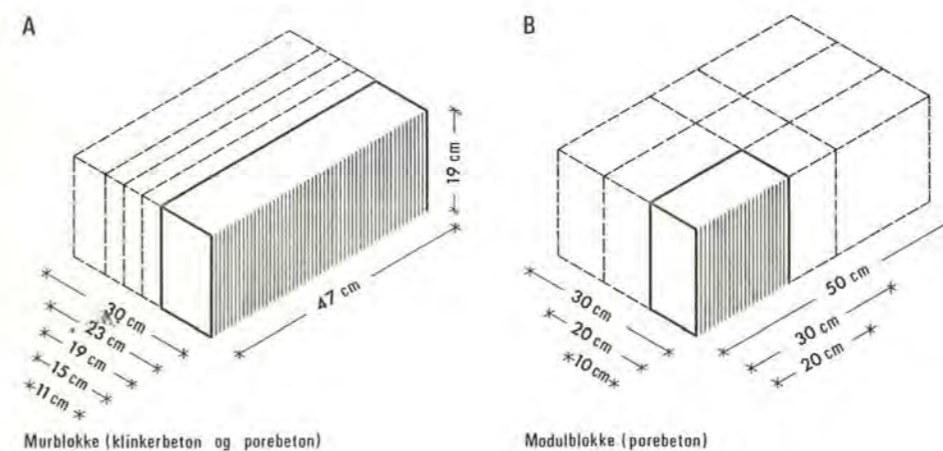
Disse stenformater er de eneste, der kan anvendes i det af DS 414 om-

fattede murværk. En hel del andre formater anvendes dog fortsat, således 6"-stenen (der tidligere benævntes bredsten) med højde og længde som for 4"-sten, mens bredden varierer fra 13-16,5 cm, alt efter teglværket.

Herudover anvendes herhjemme i sjældne tilfælde flensborgsten (h = 4-4,5 cm) og munkesten eller til specielle formål radialsten, silosten, længdehulsten, kanalsten, buesten m.m.

Letbetonsten (klinkerbeton og porebeton) fremstilles i større enheder (blokke), der målmæssigt passer med normalformatet, jvf. figur 5.42 A. Porebeton fremstilles desuden i et særligt format, modulblokke, beregnet til limet murværk, figur 5.42 B.

Det bemærkes, at der ikke findes nogen international standardisering af formaterne; selv i Skandinavien arbejder hvert land med sine specielle formater.



Flensborgsten, munkesten og andre formater

Murblokke og modulblokke

Ingen standardiserede formater

Figur 5.42:

Murstensformater. Murblokke og modulblokke

#### STENKLASSER

Skønt brud i normalt belastet murværk almindeligvis er spaltningsbrud, og det således egentlig er stenens trækstyrke, der er bestemmende for murværkets styrke, benyttes sædvanligvis trykbrudstyrken til at karakterisere stenmaterialets styrkeegenskaber. DS 414 inddeler mursten i 8 stenklasser

|          |
|----------|
| Sten 40  |
| Sten 70  |
| Sten 100 |
| Sten 150 |
| Sten 225 |
| Sten 300 |
| Sten 375 |
| Sten 450 |

hvor tallene er stenenes trykbrudstyrke  $\sigma_k$  (kp/cm<sup>2</sup>). DS 414 angiver detaljerede retningslinier for udtagning og prøvning af stenene.

Teglsten til murværk er almindeligvis af klasse 150 (helbrændte sten) eller 225 (hårdbrændte sten). Teglsten af lavere klasser kan ikke regnes vejrbestandige. Til specielle formål anvendes teglsten af klasse

Trykbrudstyrken karakteriserer stenklassen

Fuldbrændte sten

Klinkbrændte sten

300 eller 375 (klinkbrændte sten), og specielt til muret højhusbyggeri anvendes sten af klasse 450 (højhussten).

Betonsten og kalksandsten er ligeledes normalt af klasserne 150 eller 225, betonhulbloksten dog almindeligvis af lavere klasse.

Letbetonstenene (klinkerbeton, porebeton, slaggebeton etc.) er sædvanligvis af de lavere klasser (40-70), medens molersten normalt er af klasse 150.

Minutsugningen benyttes ikke i DS 414's klassifikation

I DS 414's klassifikation indgår ikke stenmaterialernes vandopsugningsevne (karakteriseret ved minutsugningen  $g/dm^2$ ), skønt den ikke er ganske uvæsentlig for murværkets styrke.

### 5.3.2. Mørtel

For murværkets styrke og kvalitet iøvrigt er det af afgørende betydning, at der vælges en egnet mørtel, og at denne fremstilles rigtigt. Mørtelens egenskaber, anvendelse og fremstilling rummer et meget stort kompleks af problemer, som falder uden for rammerne for denne gennemgang. Spørgsmålet er udførligt behandlet i litt. [1966.2], hvortil der henvises. Her skal kort gennemgås de grundlæggende begreber.

#### MØRTELTYPER

En mørtel til muring karakteriseres ved at angive blandemetode, blandingsforhold og udmålingsmetode, efterfulgt af eventuelle oplysninger om tørre- og tilsætningsstoffer, eksempelvis

Maskinblandet KC 35/65/650, vægtmåling,

der betyder, at det er en maskinblandet mørtel, der for hver 100 vægtenheder bindemiddel (35 vægtenheder kalk, 65 vægtenheder cement) indeholder 650 vægtenheder sand.

I henhold til DS 414 skal mørtel til murværk af klasse A angives ved blandingsforholdet efter vægt; til murværk af klasse B kan mørtelens blandingsforhold angives efter rumfang. Tidligere angav man altid blandingsforholdet efter rumfang, jvf. f.eks. Danske Arkitekters Landsforbunds generalbeskrivelse (GB4).

Valg af mørteltype beror på, hvilken styrke der kræves af det færdige murværk, jvf. artikel 5.3.4. Som hovedregel bør der ikke anvendes stærkere mørtel end højst nødvendigt, dels af hensyn til god bearbejdelighed, der betyder god fugefyldning, dels for at begrænse svindet. Inden for samme etage skal der anvendes samme mørteltype; lokale forstærkninger kan dog udføres med anden mørtel, og det samme gælder senere opført, ikke-bærende murværk, jvf. DS 414.

#### K-mørtel

Kalk-mørtel (K 100) er efter definitionen en mørtel med kalk som eneste bindemiddel. Den har en beskeden trykstyrke, som dog er tilstrækkelig til langt det meste murværk; den er bekvem at arbejde med og er derfor den mest anvendte muremørtel herhjemme. Mørtelens svind sker hovedsageligt i den indledende fase af hærdningen, endnu medens den er plastisk, og giver derved en porøsitet, der fremmer karbonatiseringen og derved hurtigt bibringer murværket en vis styrke.

#### C-mørtel

Cement-mørtel (C 100) har efter definitionen cement som eneste bindemiddel. Dets styrke er langt større end K-mørtels, hvad der selvfølgelig gør den egnet til formål med store styrkekrav. Ellers anvendes ren C-mørtel sjældent til muring, dels på grund af den ringe smidighed, dels på grund af den udprægede tendens til svindrevnedannelse.

#### KC-mørtel

I kalk-cement-mørtel (også kaldet bastardmørtel) foregår de to vidt forskellige hærdningsprocesser samtidigt; kalkens karbonatisering og cementens hydratisering følges fortrinligt ad. Styrken er stigende med stigende cement-andel, og det samme gælder frostbestandigheden og tæt-

Karakteristik af mørtel

Valg af mørteltype

Kalk-mørtel

Cement-mørtel

KC-mørtel, bastardmørtel

heden; omvendt forholder det sig med bearbejdeligheden. Til de fleste formål vil man kunne finde en egnet KC-mørtel; normalt udgør cementen 50% eller mere af bindemidlet.

#### M-mørtel

Murcement-mørtel (M 100) har murcement (cement, der er sammenmalet med kalksten eller kvarts og tilsat luftindblandingsmiddel) som eneste bindemiddel. Den har en fortrinlig bearbejdelighed, relativt god styrke, men skal, da hårdningen er en hydratiseringsproces, ligesom for C- og KC-mørtler, være opbrugt 3-4 timer efter vandtilsætningen, og skal ligesom disse holdes fugtig et par døgn. Skal styrken øges ud over det normale, kan der tilsættes cement (MC-mørtel).

#### Andre mørtler

Ud over de nævnte mørtler anvendes til særlige mure- og pudseformål en lang række special-mørtler med forskellige egenskaber, eksempelvis

G-mørtel (gips-mørtel)  
GK-mørtel  
ildfast mørtel  
akustisk mørtel  
syrefast mørtel  
savsmuldmørtel  
plastic-mørtel.

#### MØRTELFREMSTILLING

Mørtelens - og dermed murværkets - kvalitet afhænger af mange forhold: delmaterialernes kvalitet og behandling, blandingen, transporten og håndteringen af den færdige mørtel.

Kravene til delmaterialernes kvalitet er specificeret i DS 414. Specielt for bindemidlerne er det vigtigt, at de oplagres på byggepladsen på en sådan måde, at deres egenskaber ikke forringes; men også tilslagsmaterialerne må behandles med omhu.

Udtagning af materialerne er et af de mest kritiske punkter i mørtelfremstillingen. DS 414 og den tilhørende vejledning giver udførlige forskrifter herfor. I litt. [1966.2] er omtalt en lang række af de måleanordninger, der idag står til rådighed.

Blanding af mørtel til murværk af såvel klasse A som klasse B skal ske i blandemaskine, f.eks. fritfaldsblandere eller tvangsblandere. En særlig effektiv blanding fås i såkaldte aktivatorer, d.v.s. blandemaskiner med piskningseffekt; aktiveret mørtel er mere ensartet og smidig end almindelig maskinblandet mørtel og giver derfor både en lettere muring og et tættere murværk.

DS 414 giver ingen generelle retningslinier for kontrol med mørtelfremstillingen, bortset fra fabriksfremstilling af kalkmørtel.

### 5.3.3. Muring

Ved muring forstås den proces, ved hvilken en væg opbygges ved at føje sten til sten. I de senere år er der fremstillet "murværk" ved en helt mekaniseret proces, men ved murværk skal her udelukkende forstås håndværksmæssigt udført murværk.

#### MÅLFORHOLD

Grundlaget for projektering og udførelse af murværk er normalstenens mål, der giver et vandret byggemål, der herhjemme er fastsat til 12 cm (= normalstenens bredde, 108 mm, plus en normal fugebredde, 12 mm). Dette mål, planlægningsmodulen for murværk, er den vandrette grundenhed i målsætningen af alt murværk. Desværre er det ikke identisk med den siden 1965 gældende byggemodul (M = 10 cm), men de to enheder lader sig i praksis udmærket forene (jvf. litt. [1970.2]); i den henseende er visse andre lande væsentlig ringere stillet.

Den hidtidige praksis, at målsætte murværk i cm, kan forventes afløst af målsætning i mm (jvf. DS/R 1012), da det er upraktisk at have visse mål i cm og andre (f.eks. beton- eller træelementer) i mm. For oversigtens skyld benyttes dog i det følgende den gængse cm-angivelse, hvor de lodrette fugers bredde regnes = 1 cm.

Med 12 cm som enhed for vandrette mål fås murtykkelserne som angivet på figur 5.43. Hertil kommer nogle varianter, nemlig 3/4-stens muren, der er  $3/4 \cdot 24 - 1 = 17$  cm; sådanne sten (ifølge DS 414 benævnt bredsten) fremstilles herhjemme ikke i særlig stor udstrækning, men derimod 6"sten (ca. 15 cm), der hidtil har været betegnelsen for 3/4-sten (bredsten). Endelig anvendes i stor udstrækning 5/4-stens mure ( $5/4 \cdot 24 - 1 = 29$  cm) til hulmure med og uden isolering.

Målenheden i murens længderetning afhænger af forbandtet (jvf. nedenfor); for 1/4-stens forbandter (d.v.s. fugerne i to naboskifter er forskudt 1/4 sten = 6 cm i forhold til hinanden) er enheden 6 cm. Dette indebærer, at ethvert murfelt får en bredde, der er et multiplum heraf minus to halve fugeandele, medens åbninger tilsvarende bliver et multiplum af 6 cm plus to halve fugeandele, altså

murfelte: bredde =  $n \cdot 6 - 1$  cm  
åbninger: bredde =  $n \cdot 6 + 1$  cm.

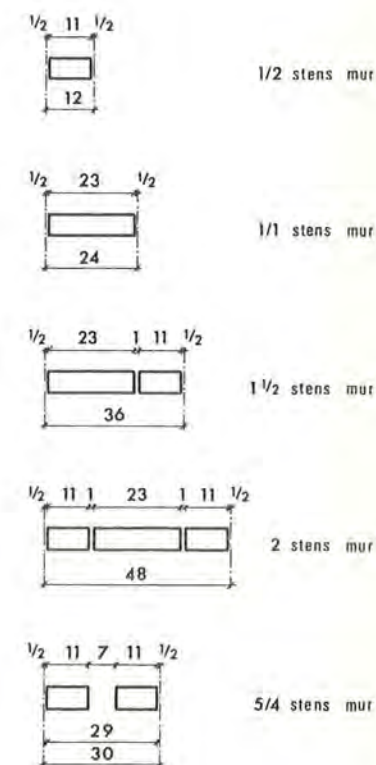
I specielle tilfælde, hvor der mures i halvstensforbandt, fås tilsvarende

murfelte: bredde =  $n \cdot 12 - 1$  cm  
åbninger: bredde =  $n \cdot 12 + 1$  cm.

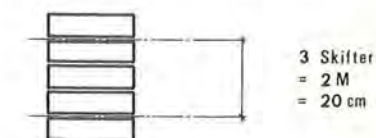
Hvad angår de lodrette mål, giver normalstenens højde, 5,5 cm, med en fugehøjde på  $\sim 1$  cm (egentlig 7/6 cm), at der går 3 skifter på 20 cm (1 skifte er 1 lag mursten), hvilket netop er den standardiserede planlægningsmodul for lodrette mål (2M).

#### FUGER

Mørtelfugerne mellem skifterne benævnes liggefuger, lejefuger eller langfuger. Tykkelsen afpasses efter stenenes tykkelse, således at der går 3 skifter på 20 cm.



Figur 5.43:  
Murtykkelser, dansk normalmurværk, 1:20



Figur 5.44:  
Skiftehøjder, dansk normalmurværk, 1:20

Murcement-mørtel

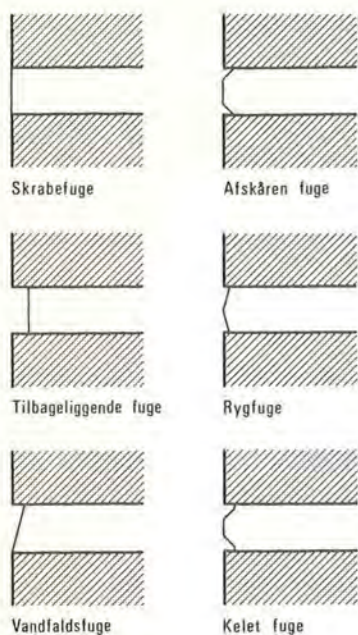
Specielle mørtler

Materialekrav

Udtagning af materialer

Blanding

Kontrol



Figur 5.45:  
Pugetyper i murværk, 1:2

De lodrette fuger benævnes stød-fuger eller studs-fuger; med stenlængde og -bredde på henholdsvis 228 og 108 mm bliver fugebredden 12 mm, men afpasses iøvrigt, så murværket svarer til byggemodulen 12 cm.

For både lejefuger og studs-fuger gælder, at en god håndværksmæssig udførelse er ensbetydende med fyldte fuger, både af styrkemæssige årsager og - for ydermures vedkommende - af hensyn til vandtæthed. DS 414 angiver detaljerede forskrifter for udførelse af fuger i murværk af klasse A og B.

For blank murværk spiller den synlige afslutning af fugerne en stor rolle for murens karakter. De mest almindelige typer er vist på figur 5.45.

Fugernes synsflade kan formes enten i murmørtelen samtidig med opmuringen eller i en særlig fugemørtel. Dannes fuger i muremørtelen, sker det enten ved et særligt fugejern eller ved en simpel udkradsning. Skal der efterfuges, foretages først en udkradsning til ca. 1,5 cm's dybde, og fugen renses grundigt; normalt anvendes en federe mørtel til efterfugningen, ofte tilsat farvestoffer.

Om murens videre behandling henvises til afsnit 5.4.

#### FORBANDT

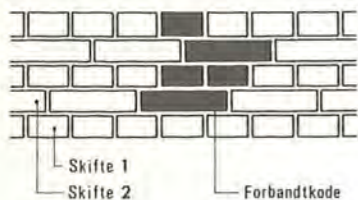
For at bibringe murværket fornøden styrke er det nødvendigt at hennure stenene med en vis overlappning, så de tilsammen udgør et "fletværk". Det mønster, hvorefter hennuringen sker, aftegner sig i murens overflade og benævnes forbandtet, karakteriseret ved forbandtkoden.

Medens lejefugerne er gennemgående i hele murens tykkelse og længde, ja, hele bygningen rundt, er det karakteristisk, at studs-fugerne aldrig er mere end eet skifte høje, bortset fra helt specielle fuger som dilatationsfuger. En sten, der fremtræder i facaden med sin lange side (1/1-sten), benævnes en løber, medens en kop fremtræder med den korte side (1/2-sten). Udføres koppen af en hel normalsten, benævnes den også en binder.

Et skifte, der består af lutter løbere eller lutter kopper, benævnes løberskifte, henholdsvis kopskifte eller binderskifte. Ofte begrænses en mur forneden eller foroven af et særligt skifte, der fremtræder som kopper eller løbere på højkant; sådanne skifter benævnes ruls-kifte, henholdsvis standerskifte.

Der arbejdes i praksis med et anseligt antal forskellige forbandter. Her skal kort omtales nogle af de hyppigst anvendte. Figur 5.46 viser i opstalt og snit en 1½-stens massiv mur opmuret i krydsforbandt, der er et 1/4-stens forbandt. Hvert andet skifte er binderskifte, hvert andet løberskifte; løberskifterne er indbyrdes forskudt en halv sten. Et skifte, der fremtræder som binderskifte på den ene side, fremtræder som løberskifte på den anden side af muren. Forbandtkoden er 4 skifter høj.

Et beslægtet 1/4-stens forbandt er blokforbandtet, figur 5.47, der kun adskiller sig fra krydsforbandtet ved, at også løberne er i lod. Forbandtkoden er således to skifter høj.



Krydsforbandt



Skifte 2 - Løberskifte



Skifte 1 - Binderskifte

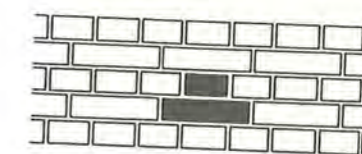
Figur 5.46  
Krydsforbandt, 1:20

Figur 5.48 viser et forbandt, der er særlig egnet til opmuring af kanalvægge med faste bindere, i dette tilfælde en 1½-stens hulmur med 20% udmuring. Hvert andet skifte består af 2 løbere og 1 kop i lod, de øvrige er løberskifter, indbyrdes fortsat 1/2 sten. Herved fås ud for kopperne gennemgående binderkolonner med 2 stens afstand. Forbandtkoden er 4 skifter høj.

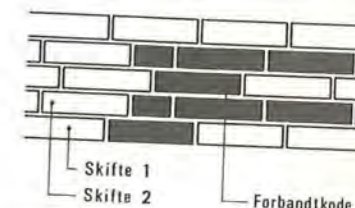
Et beslægtet forbandt er munkestensforbandtet, der - anvendt på tilsvarende måde - giver 40% udmuring. Forbandtkoden er 2 skifter høj, figur 5.49.

Figur 5.50 viser et eksempel på et løberforbandt; samtlige skifter er løberskifter, indbyrdes forsat som vist på forbandtkoden, der er 4 skifter høj. Forbandtet egner sig fortrinligt til skalmuring og til opmuring af hulmure; i sådanne mure sammenholdes formur og bagmur af ståltrådsbindere (galvaniseret R5) eller plasticbindere, normalt ca. 10 stk. pr. m<sup>2</sup>.

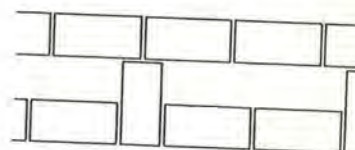
Udover disse grundtyper findes der en række andre forbandter. Endelig knytter der sig en række særlige detaljer til afslutninger ved hjørner og åbninger, specielt ved hulmure, hvor der almindeligvis må mures kompakt, hvad der ofte kan give anledning til kuldebroproblemer.



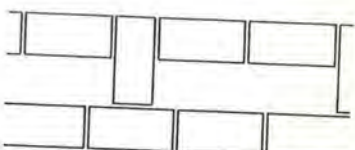
Figur 5.47:  
Blokforbandt, 1:20



Hulmur med faste bindere

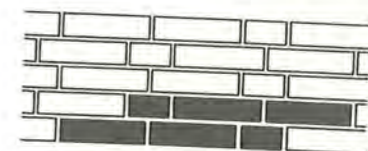


Skifte 2

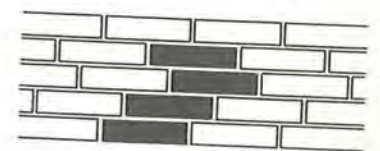


Skifte 1

Figur 5.48:  
Hulmur med faste bindere,  
1:20



Figur 5.49:  
Munkestensforbandt, 1:20



Figur 5.50:  
Løberforbandt, 1:20

### 5.3.4. Styrkeforhold

Styrkeberegning af murværk er overordentlig kompliceret og må ifølge sagens natur være forbundet med stor usikkerhed. Murværk er i sig selv et meget inhomogent byggemateriale, men navnlig bestemmelsen af, hvilke kræfter der i det hele taget påvirker den enkelte bygningsdel, er yderst usikker. Forskningen af disse problemer har af gode grunde ikke tilnærmelsesvis ført til den viden, som man idag har på andre områder vedrørende konstruktionsmaterialers styrkeforhold. Dette har selvfølgelig givet sig udslag i normalarbejdet; de beregningsregler, der er nedfældet i den herhjemme gældende norm, DS 414, er nødvendigvis baseret på betydelige forenklinger i forhold til, hvad der virkelig sker i en murværkskonstruktion statistisk set. Fremstillingen skal her indskrænke sig til en kort gennemgang af principperne for styrkeberegning af murværk; vedrørende de detaljerede bestemmelser henvises til DS 414.

Styrkeberegning af murværk er efter DS 414 baseret på partialsikkerhedssystemet, d.v.s. med sikkerhedskoefficienter på såvel belastninger som materialestyrker. Ved beregning skal det påvises, at både den samlede konstruktion og de enkelte bygningsdele er i ligevægt, når de påvirkes af de nominelle belastninger (d.v.s. brugslasterne multipliceret med partialsikkerhedskoefficienter) og dette, uden at de nominelle brudstyrker overstiges.

#### MURVÆRKS STYRKE

Murværks styrke er i første række baseret på trykstyrken. Fugerne må normalt anses for revnede og altså ude af stand til at repræsentere nogen trækstyrke. I visse tilfælde må man dog tage den i regning alligevel, jvf. nedenfor.

Murværkets trykstyrke beror først og fremmest på stenenes og mørtelens trykstyrke. Men også forhold som fugetykkelsen, forbandtet, vedhæftningen mellem sten og mørtel, alderen samt - ikke mindst - arbejdets kvalitet spiller en rolle.

I DS 414 er brudstyrker og partialkoefficienter for materialer samarbejdede til nominelle brudstyrker. Figur 5.51 viser trykbrudstyrkerne  $\sigma_0$  for murværk af forskellige stenklasser og mørteltyper.

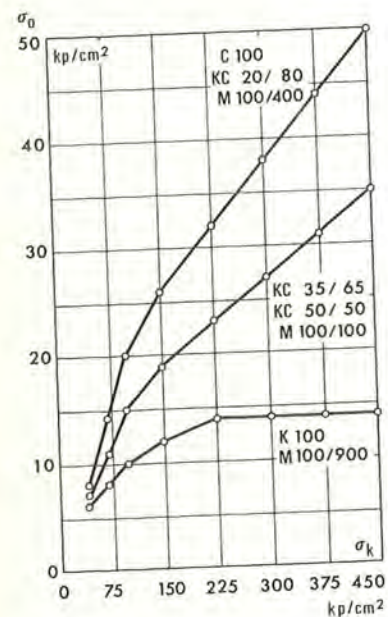
Forskydningsspændinger i murværkets liggefuger må ikke overskride  $\sigma \cdot \mu$ , hvor  $\sigma$  er normalspændingen i fuger, og  $\mu$  er den nominelle friktionskoefficient, der for de tre på figur 5.51 angivne mørtelklasser er henholdsvis  $\mu = 0,5$ ,  $\mu = 0,4$  og  $\mu = 0,3$ . Stenenes nominelle forskydningsstyrke sættes  $= \sigma_k \cdot 1/35$ , dog maksimalt  $8 \text{ kp/cm}^2$ .

#### CENTRALT BELASTET MURVÆRK

For centralt belastet murværk skal det eftervises, at de nominelle spændinger  $\sigma$  ikke overskrider de nominelle brudstyrker,  $\sigma_{nom}$ , altså

$$\sigma = \frac{P_{nom}}{d_e \cdot l_e} \leq \sigma_{nom} = \alpha \cdot \rho \cdot \beta \cdot \sigma_0,$$

hvor  $P_{nom}$  er den nominelle trykkraft (se nedenfor),  $d_e \cdot l_e$  er det effektive tværsnitsareal (se nedenfor),  $\beta$  er en slankhedsfaktor (se nedenfor)



Figur 5.51:

Trykbrudstyrker  $\sigma_0$  for murværk, i henhold til DS 414

$\alpha$  er 1,25 for murværk i klasse A,  
1,00 for murværk i klasse B,  
 $\rho$  er 0,8 for halvstensmure  
0,9 for bredstensmure,  
0,9 for 29 cm hule mure med trådbindere,  
1,0 for alle andre mure.

For murværk umiddelbart under lejeflader sættes  $\beta$  og  $\rho$  til 1.

#### Nominel belastning

Den nominelle trykkraft beregnes af brugslasterne ved multiplikation med partialkoefficienterne:

|  |             |
|--|-------------|
| Hvilende belastning  | $f_g = 1,0$ |
| Bevægelig belastning, medmindre andet er anført nedenfor   | $f_p = 1,5$ |
| Slidlag, lette skille vægge samt masser og gods i siloer   | $f_p = 1,3$ |
| For bevægelig belastning, der kan fastsættes med særlig nøjagtighed, f.eks. væske i beholdere, kan der foretages en reduktion af partialkoefficienten. $f_p$ må dog ikke sættes lavere end | $f_p = 1,2$ |

Ingen konstruktion må beregnes for mindre nominel belastning end 15% af den hvilende last.

#### Effektivt tværsnit

DS 414 angiver detaljerede regler for udregning af det effektive tværsnitsareal,  $d_e \cdot l_e$ , således som skematisk vist på figur 5.52. Udover de viste fradrag skal der foretages fradrag af større udsparinger og riller, for murværk i klasse A dog alle udsparinger og riller.

Et muret tværsnit må kun regnes bærende, såfremt produktet  $l \cdot d^2$  er mindst  $11.600 \text{ cm}^3$ .

#### Slankhedsforhold

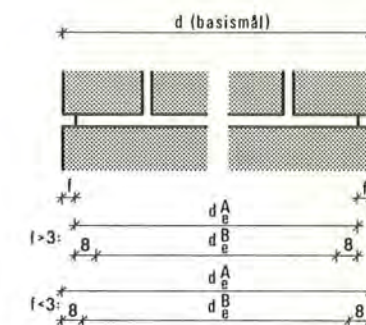
Reduktionsfaktoren  $\beta$  i udtrykket for den nominelle brudstyrke er en faktor, der skal korrigerer for stabilitetsfænomener, og den afhænger derfor af murens slankhedsforhold  $h_s/t_s$ , hvor  $t_s$  er murtykkelsen og  $h_s$  er søjlelængden.  $\beta$ 's afhængighed af  $h_s/t_s$  samt af mørteltypen fremgår af figur 5.53; (for murcementmørtel M100/900 benyttes den nederste, for M100/400 og M100/600 den øverste kurve).

Murtykkelsen  $t_s$  regnes for en massiv mur lig med basismålet, for en hul mur med stenbindere lig med basismålet for en lige så tyk massiv mur og for en hul mur med trådbindere lig med

$$\sqrt[3]{d_i^3 + d_y^3},$$

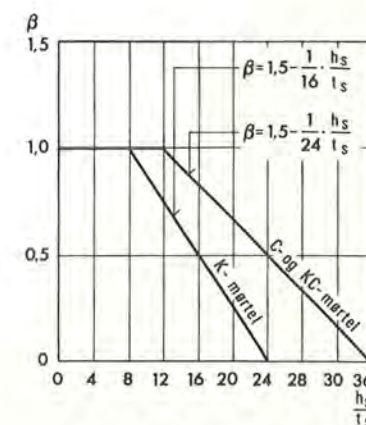
hvor  $d_i$  og  $d_y$  er henholdsvis indre og ydre vanges basismål.

Søjlelængden  $h_s$  regnes lig med afstanden mellem de understøtningspunkter, hvori udbøjning er hindret. For en væg, der kun er understøttet foroven og forneden (af dækkonstruktionerne) sættes  $h_s$  lig med e-



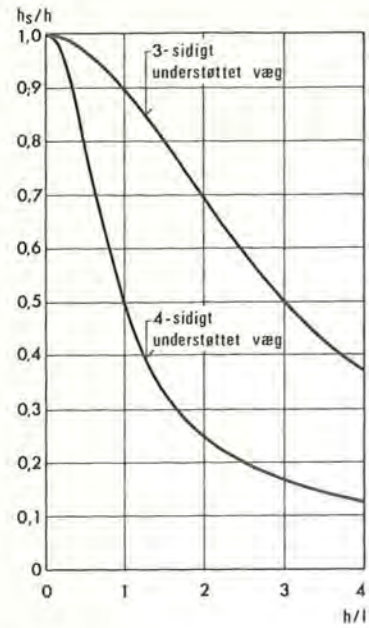
Figur 5.52:

Regler for beregning af murværks effektive tværsnit



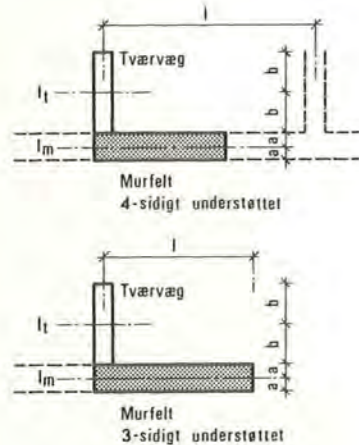
Figur 5.53:

Reduktionsfaktoren  $\beta$  som funktion af slankhedsforholdet  $h_s/t_s$



Figur 5.54:

Den fri søjlelængde  $h_s$  i afhængighed af murfeltets understøtningsforhold



Figur 5.55:

En tværvæg må have  $I_t \geq 3 \cdot I_m$  for at kunne regnes afstivende

tagehøjden. Ofte er murede vægge imidlertid tillige understøttet sideværts, så der er tale om 3-sidigt eller 4-sidigt understøttede murfelter. Sådanne felter frembyder store beregningsmæssige problemer, da murværket jo ikke er isotropt. DS 414 angiver for sådanne felter halvempiriske analytiske udtryk til bestemmelse af søjlelængden  $h_s$ . I grafisk form er disse udtryk gengivet på figur 5.54, hvor  $h_s/h$  er afbildet som funktion af  $h/l$ .  $h$  betegner den frie højde mellem etageadskillelserne,  $l$  er murfeltets længde, jvf. figur 5.55. En forudsætning for at regne med tværafstivningen er, at murfeltet er muret i forbandt med tværvæggene, samt at  $I_t \geq 3I_m$ , hvor  $I_t$  og  $I_m$  er murfeltets, henholdsvis tværvæggens inertimoment om midtlinjerne, jvf. figur 5.55.

I artikel 5.5.5. er givet et eksempel på beregningsreglernes anvendelse.

Er der tale om koncentrerede belastninger (f.eks. bjælkevederlag), mures der normalt under dette en "vederlagspude" af stærkere sten i et passende antal skifter. Ved beregningen af spændingen længere nede i muren regnes belastningen fordelt inden for et område, der begrænses af linier 2:1 fra vederlagets kanter. Om vederlagstryk iøvrigt henvises til DS 414.

Specielle vederlagsproblemer knytter sig til anvendelsen af præfabrikerede dækelementer i forbindelse med murværk. Disse problemer er undersøgt ved DIAB, København ved omfattende forsøg med murede etagekryds (litt. [1967.4], [1968.2] og [1970.2]).

For porebeton-murværk i KC-mørtel regnes herhjemme normalt med en tilladelig spænding på  $3 \text{ kp/cm}^2$ , lokalt (vederlag m.m.) dog  $5 \text{ kp/cm}^2$ , uanset materialernes styrke egentlig berettiger til væsentlig mere.

#### EKSCENTRISK BELASTET MURVÆRK

I praksis er selvfølgelig intet murværk centralt belastet; der vil af mange grunde altid være en større eller mindre ekscentricitet; men ved almindeligt forekommende vægge og piller er det normalt en brugelig tilnærmelse at regne med central belastning. Er ekscentriciteten imidlertid så stor, at den kan føres i regning, gøres dette ved at regne med en til ekscentriciteten  $e$  svarende reduktion af det effektive areal på  $2 \cdot e$  og derefter iøvrigt regne som for centralt belastet murværk. Spændingsfordelingen i muren regnes altså rektangulær, uanset hvilken metode der anvendes til bestemmelse af snitkraftens beliggenhed, jvf. figur 5.56.

Ekscentriciteten kan hidrøre fra, at der foruden normalkraften (evt. blot murens egenvægt) forekommer en momentpåvirkning med vandret akse, enten i murens plan eller vinkelret derpå. Hidrører momentpåvirkningen fra en vindbelastning, indføres denne i beregningen med partialsikkerhedskoefficienterne

|  |             |
|--|-------------|
| Vindbelastning som eneste belastning ud over hvilende belastning   | $f_v = 1,5$ |
| Vindbelastning virkende sammen med anden bevægelig belastning, som kan antage maksimalværdier uafhængigt af vindbelastningen | $f_v = 1,0$ |

Et eksempel på beregning af sådant belastet murværk er givet i artikel 5.5.1.

#### HORISONTALT BELASTET MURVÆRK

De horisontalbelastninger, der kan optages svarende til et ekscentricitetsmoment (altså vandret momentakse), er ifølge sagens natur små, da tværsnittet må regnes revnet til nullinien. Specielt ved mure med små eller ingen vertikalbelastninger, f.eks. udfyldningsmurværk, er dette forhold mærkbart. Det er imidlertid indlysende, at murværkets evne til at optage momenter med lodret akse er ganske betydelig på grund af stenenes trækstyrke og liggefugernes forskydningsstyrke, så den horisontalbelastning, der kan optages, er i praksis væsentlig større end den, en beregning som ovenfor anført udviser, hvis murværket vel at mærke er sideværts understøttet. Problemet er imidlertid, at der ikke er udviklet nogen brudteori for murværk som pladekonstruktion, så det er overordentlig vanskeligt at sige, hvor stor bæreevnen er, og hvad det er, der bestemmer den. Hverken danske eller de øvrige skandinaviske normer behandler disse problemer; BR 1966 angiver dog nogle - forsigtigt ansatte - maksimale feltstørrelser for udfyldningsmurværk af forskellige murværkstyper, men nævner iøvrigt intet om felternes form og understøtningsforhold, der dog ellers turde være af væsentlig betydning.

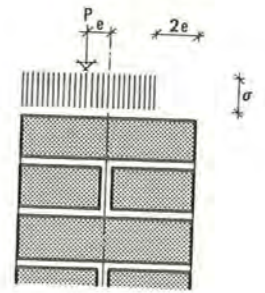
I litt. [1969.4] er refereret en forsøgsrække med horisontalt belastet murværk, udført ved Norges byggforskningsinstitut. På grundlag af forsøgene konkluderes, at det er rimeligt at dimensionere sådanne konstruktioner efter elasticitetsteorien for tynde, ortotrope plader; for murværk med 1/2-stens vanger af 19-huls tegl af stenklasse 600 og mørtel af klasse KC 35/65 foreslås de tilladelige bøjningstrækspændinger vinkelret på og parallelt med liggefugerne,  $\sigma_{\perp} = 2,7 \text{ kp/cm}^2$ ,  $\sigma_{\parallel} = 10 \text{ kp/cm}^2$ . Det er dog nok for tidligt endnu at basere beregningerne på tilladelige spændinger af denne størrelse.

En simplere beregningsmåde er givet i litt. [1961.1], efter hvilken murværket regnes enkeltspændt mellem de lodrette understøtninger og med et tilladeligt moment

$$m = 0,04 \frac{l \cdot t^2}{s} \cdot \sigma,$$

hvor  $l$  er murstenenes middellængde  
 $t$  er murværkets tykkelse  
 $s$  er skiftehøjden  
 $\sigma$  er den lodrette middelspænding i muren;  
 det forudsættes, at den lodrette resultant falder inden for tværsnittets kerne;  $\sigma$  kan på grund af vedhæftningen for ubelastet murværk regnes til mindst 2 eller 6  $\text{kp/cm}^2$  for murværk i K-mørtel, henholdsvis KC-mørtel.

En anden simpel måde at regne på er at tillade en formel trækspænding og iøvrigt regne med homogent tværsnit. Tyske normer tillader en trækspænding på 1 og 2  $\text{kp/cm}^2$  for henholdsvis K-mørtel og KC-mørtel (jvf. litt. [1961.1]).



Figur 5.56:

Ved ekscentrisk belastning regnes med rektangulær spændingsfordeling

Der er ikke udviklet nogen brudteori for murværk som pladekonstruktion

NBI's forsøg med horisontalt belastet murværk

Forenklet beregningsmetode for enkeltspændt murværk

Beregning efter tyske normer

### 5.3.5. Armeret murværk

Armeret murværk er murværk med indlæg af stålstænger - armering - til erstatning for murværkets manglende trækstyrke, således at det bliver i stand til at optage bøjningspåvirkninger, på helt samme måde som jernbeton. Anvendelserne er dog i høj grad begrænset af, at armeringen må lokaliseres til lejefugerne, være retlinet og holdes i små dimensioner (maksimalt 8 mm), ligesom der ikke er mulighed for bøjleindlæg, således at murværket alene må optage forskydningskræfterne; endelig er jo selve murværkets styrke- og deformationsegenskaber ikke de bedste. Men med disse begrænsninger er der dog alligevel en række tilfælde, hvor armeret murværk er en nærliggende løsning, først og fremmest ved overdækning af større åbninger, hvor muren altså virker som skive, eller ved horisontalt belastede ydervægge, hvor muren virker som plade.

Den danske murværksnorm indeholder ingen bestemmelser om armeret murværk

Herhjemme anvendes armeret murværk i meget ringe udstrækning; den danske murværksnorm indeholder ingen retningslinier for sådanne konstruktioner. Armeret murværk kunne dog utvivlsomt med fordel anvendes i en lang række tilfælde og give en både billigere og konstruktivt klarere løsning end den gængse praksis at afstive murværket mod indmurede profilstål etc.

#### SVENSKE FORSKRIFTER

Dimensionering efter svenske normer

Til illustration af de konstruktive muligheder, der ligger i armeret murværk, skal kort omtales principperne for udførelse og dimensionering af armeret murværk, således som de fremgår af SBN (Svensk Bygg Norm 67).

#### Materialer

De svenske forskrifter for armeret murværk fordrer en trykstyrke på mindst 150 kp/cm<sup>2</sup> for massive teglsten, 6-huls tegl og 20-tegl og mindst 250 kp/cm<sup>2</sup> for mangelhulsten. Mørtelen skal være C-mørtel, hvis der er nogen som helst korrosionsrisiko, ellers KC-mørtel af mindst "kvalitet B" (KC 35/65 og tilsvarende). Til armeringen stilles samme fordringer som i jernbeton; der anvendes glat jern med trækbrudgrænse 3700-4400 kp/cm<sup>2</sup>, eller kamstål (Ks40). Opmuringen skal udføres efter klasse I (svarende til klasse A i DS 414).

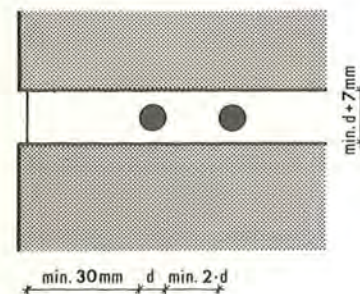
Ved valg af armeringsdimension må det iagttages, at denne ikke overstiger fugetykkelsen minus 7 mm; armeringen skal mod det fri dækkes af mindst 3 cm fugemørtel, og afstanden mellem jernene skal være mindst 2 gange jerndiametere jvf. figur 5.57, stødlængder som for jernbeton, forankringslængder mindst 25 cm.

#### Dimensionering

Armeret murværk dimensioneres i princippet på samme måde som en jernbetonkonstruktion; regnes der efter elasticitetsteorien, kan forholdet mellem elasticitetskoefficienterne ( $n = E_a/E_m$ ) sættes til 30 eller 60 for murværk i henholdsvis C-mørtel og KC-mørtel.

De svenske normer tillader eksempelvis følgende spændinger i kp/cm<sup>2</sup>:

|  | $\sigma_M$ | $\tau_M$ | $\tau_R$ | $\tau_K$ |
|--|------------|----------|----------|----------|
| Massivt tegl ( $\sigma_T = 150$ ) i C-mørtel | 20         | 2        | 6        | 10       |
| Massivt tegl ( $\sigma_T = 250$ ) i C-mørtel | 25         | 2        | 6        | 10       |



Figur 5.57:

Armeringsarrangement for armeret murværk i henhold til Svensk Bygg Norm 67. Lodret snit 1:2

|  | $\sigma_M$ | $\tau_M$ | $\tau_R$ | $\tau_K$ |
|--|------------|----------|----------|----------|
| Massivt tegl ( $\sigma_T = 350$ ) i C-mørtel   | 30         | 2        | 6        | 10       |
| Massivt tegl ( $\sigma_T = 450$ ) i C-mørtel   | 35         | 2        | 6        | 10       |
| Mangelhulsten ( $\sigma_T = 250$ ) i C-mørtel  | 15         | 2        | 6        | 10       |
| Mangelhulsten ( $\sigma_T = 350$ ) i C-mørtel  | 20         | 2        | 6        | 10       |
| Massivt tegl ( $\sigma_T = 150$ ) i KC-mørtel  | 15         | 0,8      | 3        | 5        |
| Massivt tegl ( $\sigma_T = 250$ ) i KC-mørtel  | 20         | 0,8      | 3        | 5        |
| Massivt tegl ( $\sigma_T = 350$ ) i KC-mørtel  | 25         | 0,8      | 3        | 5        |
| Massivt tegl ( $\sigma_T = 450$ ) i KC-mørtel  | 30         | 0,8      | 3        | 5        |
| Mangelhulsten ( $\sigma_T = 250$ ) i KC-mørtel | 10         | 0,8      | 3        | 5        |
| Mangelhulsten ( $\sigma_T = 350$ ) i KC-mørtel | 15         | 0,8      | 3        | 5        |

$\sigma_M$  er bøjningstrykspænding i murværket

$\tau_M$  er forskydningsspænding i murværket

$\tau_R$  og  $\tau_K$  er vedhæftningsspænding ved henholdsvis R-jern og K-jern.

Tilladelig trækspænding i armeringen:

st. 37: 1200 kp/cm<sup>2</sup>

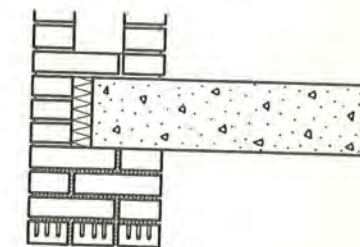
st. 44: 1300 kp/cm<sup>2</sup>

Ks 40: 1800 kp/cm<sup>2</sup>

Ved ekseptionelt belastningstilfælde forhøjes spændingerne med 20%.

#### SPÆNDETEGL

Til overdækning af muråbninger anvendes i stigende grad såkaldte spændtegl-planker, der er fremstillet på fabrik som planker af specielle teglsten (og forøvrigt også kalksandsten) med udsparede riller til indlægning af armering af høj styrke; armeringen spændes inden udstøbningen på helt tilsvarende måde som strengbeton. Plankerne indgår i murværket uden at kunne skelnes fra dette og virker dels som bjælke under opmuringen af murværket ovenover, virker dels sammen med dette som bæring for overliggende dæk- eller tagkonstruktioner. Figur 5.58 viser en døroverligger af tre 1/2-stens-planker, der virker i forbandt med de tre overliggende skifter, der er muret i C-mørtel (vist skraveret). Den viste døroverligger vil med spændvidde indtil 1 meter kunne bære et almindeligt etagedæk; for større spændvidder må der mures kompakt forbi dækket, så også dette kan indgå i den sammensatte drager.



Figur 5.58:

Spændtegl-overligger, snit 1:20

### 5.3.6. Limet murværk

I limet murværk har man forsøgt at undgå nogle af de mangler, der er ved murværk i mørtel. Fugetykkelsen er nedbragt til et minimum, hvilket selvfølgelig stiller langt større krav til stenedes målfasthed end ved almindeligt murværk. Stenene må i sig selv være målnøjagtige og må let kunne bearbejdes, så unøjagtigheder kan rettes op. Porebeton er således fortrinligt egnet til formålet, medens tegl næppe vil finde særlig anvendelse i forbindelse med denne teknik.

Fordelene ved limet murværk består i en tør byggeproces, intet varmeisoleringsstab på grund af fugerne (d.v.s. ingen kuldebroer), større styrke end almindeligt murværk samt let udførelse (fordrer ikke faguddannede murere).

Til limningen anvendes specielle lime på kasein-, cellulose- eller epoxy-basis.

Der foreligger ikke så omfattende materiale om limet murværks styrkeforhold, at der kan gives generelle retningslinier for dimensioneringen. På grundlag af belastningsforsøg udført på DtH tillader Københavns kommune et murtryk på 4 kp/cm<sup>2</sup> (6 kp/cm<sup>2</sup> ved lokale påvirkninger) i limet murværk af danske porebetonmodulblokke. Blokformaterne er vist på figur 5.42.

Om limet murværks styrke overfor horisontale belastninger foreligger ingen oplysninger. Det er dog nærliggende at antage, at det navnlig er i den forbindelse, limet murværksstyrkemæssigt udmærker sig fremfor almindeligt murværk, således at det fortrinnsvis er som udfyldningsmurværk, limet murværk frembyder fordele.

Limet murværk udføres fortrinnsvis af porebetonblokke

Limet murværks styrke overfor horisontale belastninger er ikke undersøgt, men må formodes at være betydelig

## 5.4. Vægoverflader

Valg af vægoverflade er - ligesom valg af vægkonstruktion i det hele taget - et spørgsmål med mange aspekter. I visse tilfælde er vægoverfladen givet med selve vægkonstruktionen, i andre tilfælde kan der til en given vægkonstruktion vælges overflader inden for meget vide grænser.

I det følgende skal gives en oversigt over en række af de hyppigst forekommende vægoverflader, idet hovedvægten lægges på deres bygningsfysiske egenskaber, der selvfølgelig meget vel kan komme til at spille en rolle for den samlede vægkonstruktions fysiske virkemåde, ligesom deres tekniske egenskaber jo i det hele taget er væsentlige ved vurderingen af, hvilke vægoverflader der er egnede til et givet formål. Men selvfølgelig må det stedse erindres, at valg af vægoverflade - ligesom materialevalg i det hele taget - ikke alene er et teknisk anliggende, men et spørgsmål med mange andre sider, psykologiske, æstetiske, økonomiske etc.

### 5.4.1. Blank mur

Ved blank mur forstås murværk, der efter opmuringen og eventuel fugning ikke har fået anden efterbehandling end den nødvendige afsyring (der egentlig snarere er en rengøring end en efterbehandling). Ved blank mur fremtræder altså selve byggematerialerne synligt i vægoverfladen og fortæller noget både om materialernes egenskaber og deres tilblivelse, men også om arbejdets udførelse. Det er derfor særlig ved sådanne overflader vigtigt, at stentype og -farve, forbandt og fugudformning vælges med omhu, men afgørende for et godt resultat er naturligvis i første række en god håndværksmæssig udførelse; denne forudsætter imidlertid, at arbejdet er gennemtænkt i detalier allerede under projekteringen.

Udover den blanke murs æstetiske kvaliteter, der i stigende grad gør den foretrukket også til indervægge, spiller dens robusthed over for vejrliget en stor rolle. Endnu har kalksandsten og blank letbetonmurværk af gode grunde ikke bevist deres modstandsdygtighed over for århundreders påvirkning, som tegl har det, men fælles for murværk af disse materialer er den såre vigtige egenskab, at de ikke bliver uskønne af at ældes, og at de så at sige ikke fordrer nogen vedligeholdelse.

Skader i blankt murværk skyldes aldrig alene vejrligets påvirkninger, men kan altid henføres til fejl enten i materialerne, ved projekteringen eller ved udførelsen samt naturligvis helt ekstraordinære påvirkninger som lækage og jordrystelser. Af projekteringsfejl er de hyppigste, at man overser kulde- og fugtbroer, og at man ikke gør sig murværkets deformationsegenskaber tilstrækkelig klart; revner kan kun undgås, hvis muren står på et virkelig fast underlag, og hvis man opdeler muren i passende små felter af hensyn til temperatur- og svindspændingerne.



Figur 5.59:  
Blankt porebetonmurværk



Figur 5.60:  
Blankt teglmurværk. Præget maskinsten, halvstensforbandt med vandfaldsfuger



## 5.4.2. Pudsning

Ved pudsning forstås i denne sammenhæng påføringen af et lag mørtel af større eller mindre tykkelse (fra  $\sim 0$  til  $\sim 20$  mm). Pudsning af en væg vil således normalt være ensbetydende med en helt ændret overfladekarakter, der oftest intet udsiger om væggen konstruktive opbygning; undtaget herfra er dog sådanne meget tynde "pudslag" som berapning, som i nogen grad bevarer konstruktionsmaterialernes struktur (jvf. nedenfor).

Pudsning kan have mange formål

Formålet med pudsningen kan - ud over at tilvejebringe en bestemt overfladekarakter - være af mere teknisk art som f.eks. at beskytte en vægkonstruktion mod brand, klimatiske og mekaniske påvirkninger, at gøre væggen overflade egnet som underlag for maling, tapetsering eller fliser, eller at bibringe væggen særlige lydabsorberende egenskaber.

Pudsningens teknologi er et stort og kompliceret emne, der her kun skal behandles oversigtligt. Vedrørende en mere dybtgående behandling henvises til litt. [1966.2].

### PUDSLAGETS OPBYGNING OG UNDERLAG

Pudslaget består i princippet af 3 lag

Et pudslag opbygges i princippet af 3 lag med hver sine funktioner

grundingslag  
grovpuds  
slutpuds,

der normalt udføres ved hver sin operation; i visse tilfælde udføres to eller eventuelt alle tre lag i samme operation, men for ethvert pudslag skal samtlige funktioner svarende til de tre lag opfyldes.

For udseendet og holdbarheden af et pudslag spiller forberedelsen af underlaget en afgørende rolle; underlaget må renses grundigt for alt løstsiddende materiale, jernstumper i overfladen fjernes eller svummes med cementmørtel, større huller udfyldes med en egnet mørtel, og endelig afsluttes forberedelserne med vanding, der skal regulere underlagets sugeevne så tilpas, at der bliver den bedst mulige vedhæftning mellem puds og underlag; hvad der er passende, beror i høj grad på skøn, der må baseres på murerens erfaring. Som regel skal der altid vandes; i visse tilfælde (meget tætte teglsten og meget tæt beton) er underlagets sugeevne dog så ringe, at den ikke bør nedsættes yderligere ved vanding.

Et godt resultat af en pudsning beror væsentligst på murerens erfaring

### GRUNDING

Grundingslagets opgave er at sikre vedhæftningen mellem puds og underlag. Er dette relativt jævnt, foretages tyndgrunding, d.v.s. påføring af et 1-2 mm tykt lag ret fed C-mørtel, enten ved kostning, udkastning eller sprøjtning; er underlaget ujævnt, foretages grovgrunding, ligeledes med C-mørtel (eventuelt tilsat kalk); mørtelen udkastes eller påsprøjtes i tyndest muligt lag, ikke over 5 mm, og "stødes af" med retholt.

### GROVPUDS

Grovpudslaget udgør normalt hovedbestanddelen af det samlede pudslag; i dette lag reguleres tykkelsen, så den færdige pudsflade bliver jævn og plan. Det betyder ikke, at underlaget ikke skal udføres omhyggeligt og nøjagtigt; jo mere nøjagtigt og jævnt dette er, jo mere ensartet bliver pudslagets tykkelse, og jo bedre dermed pudset. De kræfter som følge af temperatur- og fugtbevægelser og svind, hvormed pudset påvirker underlaget, er voksende med pudsets tykkelse, så alene af den grund bør denne være mindst mulig, 10-15 mm, og i hvert fald under 20 mm.

Til grovpudsningen vælges mørtelen under hensyn til de påvirkninger, pudset udsættes for, jvf. nedenfor; den påføres ved udkastning eller sprøjtning, når grundingslaget har opnået en passende styrke, normalt 1-3 døgn efter at den er påført.

### SLUTPUDS

Slutpudsningen er den afsluttende fase af pudsningen og dermed bestemmende for den færdige væg udseende. Den kan udføres på mange forskellige måder, af hvilke de hyppigste kort skal omtales.

#### Finpuds

Ved finpudsning, der vel nok er den hyppigst forekommende slutpuds på indvendige vægflader, tilstræbes en så glat overflade som overhovedet muligt. Den udføres normalt med KC-mørtel, som i ca. 1 mm tykkelse "trækkes på" med stålbrædt og til sidst glattes med et filtbetrasket brædt (fildtsning). Pudset må sikres mod for hurtig udtørring, f.eks. ved vanding.

#### Stænkpuds

Ved stænkpudsning, der næsten udelukkende anvendes til udvendige vægflader, kastes mørtelen på væggen med stor kraft og glattes ikke; herved får pudset en meget grov karakter og bliver vejrbestandig. Der anvendes samme mørtel som i grovpudset, dog oftest tilsat større korn, eventuelt særlige mineralkorn (ædelstænkpuds). Pudset må sikres mod for hurtig udtørring.

#### Berapning og svumning

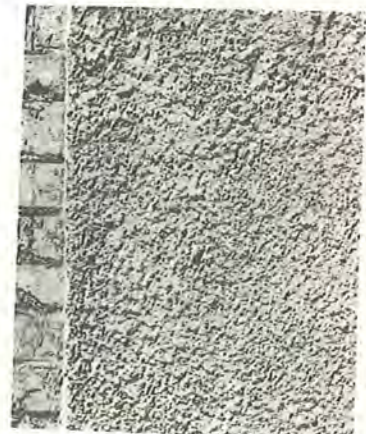
Ved berapning mangler grovpudslaget helt, ofte også grundingslaget; det er et ganske tyndt (2-3 mm) slutpuds, bag hvilket underlagets struktur (ofte murværk) aftegner sig. Mørtelen er en tyndtflydende, smidig KC-mørtel, der kastes på og trækkes af med stålbrædt eller ske, og endelig foretages afkostning. Ved svumning påføres mørtelen alene ved kostning, normalt i to omgange. Berapning og svumning anvendes både til udvendige og indvendige flader; en særlig overfladekarakter opnås ved en efterbehandling i form af skuring, enten med en våd mursten (vandskuring) eller med en sæk (sækkeskuring).

#### Plasticpuds

Anvendes plasticmørtel som slutpuds, sker det normalt i ganske tynde lag (1-4 mm), oftest direkte på underlaget. Det har den fordel fremfor de forannævnte, at det er meget lidt følsomt over for underlagets sugeevne. Et særligt - endnu ikke helt afklaret - problem ligger i pla-



Figur 5.61:  
Finpuds; sml. murstenene, der er dansk normalformat



Figur 5.62:  
Stænkpuds; sml. murstenene, der er dansk normalformat



Figur 5.63:

Puds på ydersiden af porebetonmurværk giver ofte anledning til problemer

sticpudsets meget høje dampdiffusionsmodstand, der kan give komplikationer ved anvendelser til udvendige vægflader.

#### Sandspartling

Sandspartelmasser finder meget udstrakt anvendelse til afsluttende behandling (før maling eller tapetsering) af indvendige vægge af porebeton og glat beton, ikke mindst ved elementbyggeri. Det påføres i meget tyndt lag med spartler eller sprøjtning, og der sluttet med filtsning eller tørslibning. Sandspartling kan ikke anvendes til vægge, der er udsat for fugt.

#### VALG AF PUDS

Hvilken pudstype man skal vælge til et givet formål, må i første række bero på, hvilken karakter man ønsker af den færdige vægoverflade, og på, hvad der er teknisk muligt eller rimeligt med det foreliggende underlag. Når dette valg er sket, står tilbage at finde en egnet mørteltype.

#### Indervægge

Mørtelen til indvendigt puds må vælges under hensyn til, hvilke ydre påvirkninger (stød og slag) væggen kan regnes udsat for, altså efter rummenes anvendelse. Til grovpudsning anvendes alt efter disse påvirkninger normalt KC 50/50, KC 35/65 eller KC 20/80; til finpudsning mørtel med større eller mindre cementindhold.

#### Ydervægge

For ydervægge er forholdene betydeligt mere komplicerede; for væggenes inderside gælder de samme krav som til indervægge, for ydersiderne er det væsentligst de klimatiske påvirkninger, der er afgørende, altså kravene om vandtæthed og frostbestandighed. Men hertil kommer, at væggen som helhed skal fungere rigtigt med hensyn til den stadige fugttransport, der sker i den, altså i princippet være mindre og mindre diffusionstæt udefter, hvad der imidlertid kan være vanskeligt foreneligt med kravet om en tæt yderside. Det bedste ville selvfølgelig være, at der bag pudset kunne etableres et ventileret hulrum, men dette lader sig af gode grunde sjældent praktisere. For pudset på ydersiden gør sig også gældende, at der her sker store temperatursvingninger med deraf følgende spændinger ved kontakten med underlaget; som hovedregel bør lagenes stivhed derfor aftage udefter.

Disse forhold gør det vanskeligt at give sikre retningslinier for valg af pudsemørtel til ydervægge; det må erkendes, at der altid vil være en risiko forbundet med pudsede ydervægge, specielt naturligvis i egne med hårdt klima. Vanskeligheden består i at gøre det udvendige puds tilstrækkelig vandtæt og frostsikkert samtidig med, at det ikke forhindrer den indefra kommende fugt og den slagregn, der er trængt ind, i at slippe ud. Som grovpuds anvendes normalt fra KC 50/50 under blidere klimaforhold til C 100 i hårdt klima; overfladen bør være porøs, d.v.s. afrives så groft som muligt.

Hvor underlaget ikke er tilstrækkelig stærkt eller stift til at sikre pudslaget mod revnedannelser (f.eks. ved murede eller støbte ydervægge med udvendig let isolering), kan det blive nødvendigt at indlægge armeringsnet (armeret puds).

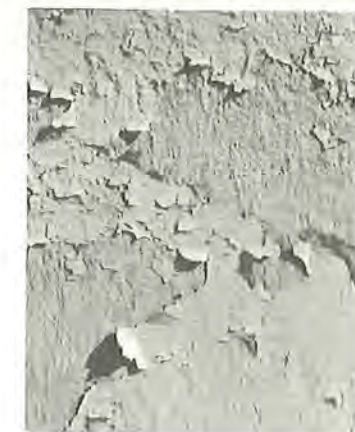
### 5.4.3. Maling

Ved maling af en væg eller en anden bygningsdel tilgodeses to formål; dels bibringes overfladen ved maling en særlig karakter, farve og glans, dels tjener malingen et beskyttelsesformål. Malingens teknologi er et stort emne, som ikke skal behandles her; men nogle forhold af bygningsfysisk betydning skal kort omtales.

Et lag maling vil altid repræsentere en større eller mindre modstand mod dampdiffusion. For den udvendige side af en ydervæg betyder dette, at et malingslag vil nedsætte dens evne til ved fordampning at afgive den fugt, der enten indefra eller udefra er trængt ind i væggen, og dermed give fare for fugtphobning med frostsprængninger og afskalninger til følge. Et udvendigt lag maling må altså, hvis ikke væggen er konstrueret med et udluftet hulrum under den ydre beklædning, udføres mindst muligt diffusionstæt.

En ydervægs inderside kan normalt uden risiko males diffusionstæt. Problemer kan dog opstå i langvarige perioder med høj udendørs og lavere indendørs temperatur, så diffusionen går i modsat retning af den sædvanlige; herved kan i uheldige tilfælde ske afskalning. Et andet - og hyppigere - problem med meget tætte indvendige vægflader er overfladekondensationen; i rum med kortvarige perioder med meget høj fugtighed, køkkener og baderum, vil kondensvandet ofte i store mængder drive ned ad væggene, hvis disse er oliemalede eller flisebeklædte; i den henseende er pudsede vægge med deres evne til at optage og senere afgive fugten, egentlig langt at foretrække. Der er dog mere tale om en ulempe - omend daglig - end om egentlig skadelig virkning.

Malingen til en væg må vælges under hensyn til disse problemer, og det er derfor væsentligt at skaffe sig korrekt teknisk information om de anvendte produkters egenskaber; det drejer sig jo ikke blot om, at malingen i sig selv skal være holdbar, men om at sikre sig mod de langt alvorligere skader, en forkert maling kan forvolde på selve den malede konstruktion. I meget grove træk gælder, at oliemaling og lak er meget diffusionstætte, medens vandholdige malinger (kalkning og cementmaling), silikatmaling og limmaling er ret diffusionsåbne. Plasticmalingers diffusionstæthed er varierende.



Figur 5.64:

De hyppigste skader på malede overflader skyldes mangelfuld oprensning af underlaget eller valg af uegnet (for diffusionstæt) maling

En uegnet maling er ikke blot uholdbar, men kan betyde alvorlige skader på konstruktionen iøvrigt

#### 5.4.4. Betonoverflader

Medens de i det foregående omtalte vægoverflader - murværk, pudsede og malede flader - er undergået en relativt jævn og rolig udvikling, er betonoverflader gennem betontechnikens eksplosionsagtige udvikling den sidste menneskealder vel nok blevet et af de - materialteknologisk set - mest karakteristiske træk i det 20. århundredes arkitektur.

Som omtalt i artikel 5.2.5. beror en vægoverflades karakter i alt væsentligt på dens farve, dens geometriske struktur og dens materialestruktur. For pladsstøbt betons vedkommende er variationsmulighederne selvfølgelig begrænset af denne tekniks særlige forhold, men for præfabrikeret beton er mulighederne for det enkelte elements udformning mangfoldige, og især giver kombinationen af forskellige elementer så at sige ubegrænsede variationsmuligheder.

I henseende til materialestrukturen kan betonoverflader deles i to hovedgrupper, nemlig overflader med frilagte stenmaterialer og overflader, hvor den hærtnede beton direkte aftegner støbeformens materialestruktur. Endelig kommer hertil selvfølgelig visse flader, der ikke er nogen af delene, nemlig de flader, der ikke støbes mod form, elementernes opside; sådanne overflader behandles enten slet ikke eller behandles som pudsede flader (jvf. artikel 5.4.2.), enten maskinelt eller manuelt.

##### FRILAGTE BETONOVERFLADER

Overflader med frilagte stenmaterialer udføres mest ved præfabrikation, væsentligst fordi man herved kan støbe med den frilagte overflade mod bundformen; det kan dog lade sig gøre at udføre frilagte overflader ved pladsstøbt beton, men ved vægge er det selvfølgelig mindre bekvemt.

Den hyppigst anvendte fremgangsmåde er at udlægge et lag af det ønskede stenmateriale, som normalt er omhyggeligt sorteret med hensyn til kornstørrelse og -form, farve og mineralstruktur, i bundformen og eventuelt op ad sideformene; inden udstøbning af betonen forhindres denne ved hjælp af en "retarder" i at binde af i det udlagte stenlag, som efter betonens hærning let kan befries for cementslam ved børstning, spuling eller på anden måde, således at kun stenmaterialet - eller væsentligst dette - er synligt i den færdige overflade. Som stenmaterialer kan anvendes stort set enhver mineralogisk forekomst, der er frostbestandig, så variationsmulighederne er utallige. Figur 5.65 og 5.66 viser en række typiske vægoverflader udført med denne teknik.

En anden måde at frilægge stenmaterialet på er at fjerne den bløde kitmasse i overfladen ved sandblæsning.

Skal en pladsstøbt betonflade frilægges, er det som nævnt noget vanskeligere end på fabrik. Enten kan stenmaterialet klæbes op på plader af passende størrelse, som indsættes i og fastholdes til støbeformen inden udstøbningen, eller hele formen kan fyldes med frilægningsmaterialet, hvorefter udstøbningen foregår ved injicering.

En særlig - sjældnere anvendt - form for frilægning af stenmaterialerne sker ved en mekanisk bearbejdning som f.eks. mejsling eller cisele-ring, se figur 5.67. Proceduren er meget tidsrøvende og kræver et be-

Frilagte og ikke-frilagte betonoverflader

Frilagte overflader udføres fortrinsvis på præfabrikerede betonelementer

Frilægning af pladsstøbt beton

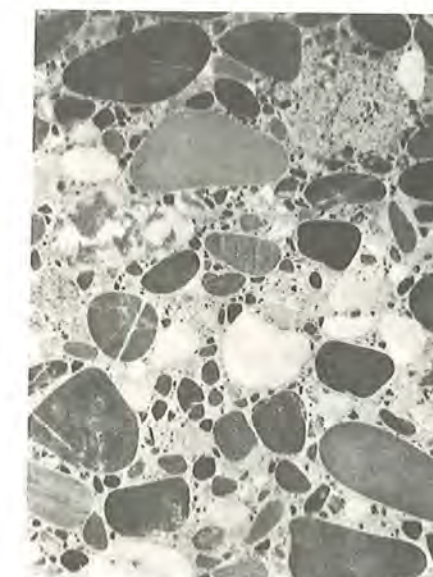
Mekanisk bearbejdning



Figur 5.65:  
Betonoverflader med frilagte stenmaterialer; fin-kornet marmor (tv) og kalcineret flint (th)



Figur 5.66:  
Betonoverflader med frilagte stenmaterialer; granitkærver (tv) og søsten (th)



Figur 5.67:  
Mekanisk bearbejdede betonoverflader; cisele-ring (tv) og slibning og polering (th)



Figur 5.68:

Betonoverflader støbt in situ mod ru forme af lodrette og vandrette brædder



Figur 5.69:

Betonflader, der skal stå ubehandlede, kræver omhyggelig udstøbning og effektiv vibrering

tydeligt håndelag, hvis strukturen skal blive ensartet.

Endelig må slibning og polering - ganske som natursten - henregnes under metoder til frilægning af stenmaterialerne, se figur 5.67. Metoden, der anvendes både til pladsstøbt og præfabrikeret beton, er ret kostbar og bruges kun ved specielle bygværker af en vis monumental karakter.

#### IKKE-FRILAGTE BETONOVERFLADER

For ikke-frilagte betonoverflader bestemmes karakteren udelukkende af formmaterialet; eventuelt kan der efter afformningen ske en vis efterbehandling, f.eks. afvaskning i syrebåd.

Oprindeligt var træ det eneste formmateriale og er vel stadig det hyppigst anvendte, hvor det drejer sig om at give betonens overflade en vis levende karakter (ganske vist er der til større elementserier for længst udviklet en særlig formteknik, hvor træformen i virkeligheden kun tjener som en matrice for plastforme). De forskellige træsorters vidt forskellige årestruktur giver sammen med den geometriske struktur af formen (notede eller limede brædder, lodrette eller vandrette brædder, bræddernes dimensioner, forsætning af stød, profilering) utallige muligheder.

En helt anden overfladekarakter opnås ved at støbe betonen mod stålform, der - alt efter vibreringens effektivitet - giver en helt glat, til tider næsten blank overflade. Stålforme anvendes i meget stor udstrækning til støbning af indervægelementer, men også til støbning af glatte udvendige flader. Et særligt problem ved glatte ubehandlede overflader skyldes formolien, der vanskeligt kan undgå at give skæmmende skjolder; ved glatte, lyse flader må der efter afformningen oftest foretages en afvaskning. En oversigt over de forskellige smøremidler, påføringsmåder og problemerne i forbindelse hermed er givet i litt. [1965.3].

Glatte overflader på pladsstøbte vægge opnås normalt ved støbning mod formelementer af finerede træplader; sådanne forme kan genanvendes i langt højere grad end almindelige træforme, men kan selvfølgelig ikke måle sig med stålforme på dette punkt.

Endelig kan der opnås snart set enhver ønsket overfladestruktur ved støbning mod gummiindlæg i formen; herved er det muligt at fremstille imitationer af overflader med frilagte stenmaterialer; men de ægte stenmaterialers mineralstruktur kan selvfølgelig ikke imiteres.

En meget udførlig fremstilling af betonoverfladers teknologi og anvendelser er givet i litt. [1964.2].

#### 5.4.5. Natursten og keramiske vægoverflader

Anvendelsen af natursten og keramiske materialer til beklædning af vægge - såvel indvendige som udvendige - er ingenlunde af nyere dato; det er dog først i den sidste menneskealder, at man i større målestok er begyndt at anvende keramiske materialer til udvendige vægflader, først og fremmest som følge af betonelementteknikkens udvikling.

Natursten og keramiske vægoverflader er forholdsvis dyre i sammenligning med overflader af andre materialer og foretrækkes først og fremmest af æstetiske grunde; de kan dog også tjene andre formål, i første række hygiejniske, på hvilket felt de keramiske materialer har været enerådende indtil de allersidste år, hvor de i nogen grad er blevet erstattet af beklædninger af plastmaterialer.

Endelig er natursten og keramiske materialer overordentlig robuste og slidstærke, ligesom det ved mange anvendelser spiller en afgørende rolle, at de - bortset fra almindelig renholdelse - er vedligeholdelsesfri.

Keramiske materialer til vægbeklædninger omfatter strengpressede, sintrede fliser, tørpressede, sintrede fliser, herunder keramiske mosaikstifter, samt tørpressede, porøse fliser (fajancefliser), almindeligvis benævnt vægfliser; disse er altid glaserede, de førstnævnte forekommer både glaserede og uglaserede.

Til vægbeklædninger af natursten og keramiske materialer knytter sig nogle bygningsfysiske problemer, som i nogen grad er analoge til problemerne ved pudset og malede overflader.

#### INDVENDIGE OVERFLADER

Til indvendige overflader kan alle de tre typer af keramiske materialer anvendes. Fliserne opsættes normalt i en egnet mørtel, opsætningsmørtelen, der svarer til grovpudset ved en pudset væg (10-15 mm); til underlaget stilles stort set de samme krav som til et underlag til pudning. Mørtelen påføres enten fliserne på bagsiden, hvorefter de trykkes på enkeltvis, eller mørtelen udkastes på væggen, før fliserne trykkes på. Mosaikstifter opsættes ikke enkeltvis, men i samlede felter opklæbet på papir, der afvaskes efter opsætningen. Ved præfabrikerede vægelementer udlægges beklædningsmaterialet almindeligvis i bundformen, hvorefter der udstøbes. I visse tilfælde opsættes beklædningsmaterialet på vægfladen ved limning, men dette kræver selvfølgelig stor nøjagtighed af underlaget.

Det væsentligste tekniske problem ved indvendige keramiske beklædninger består i, at det kan være vanskeligt at få beklædningen og underlaget til at arbejde sammen. Beklædningens svindbevægelser er normalt ikke så store som underlagets, hvad der kan give store spændinger i kontaktlaget med risiko for afsprængning. Forholdsregler herimod er først og fremmest at anvende en egnet mørtel; i særlige tilfælde må opsætningsmørtelen armeres og kun have punktvist kontakt med underlaget; endelig kan der med mellemrum anordnes fuger, der udfuges med elastisk fugemateriale. Et specielt problem forekommer ved beholdervægge og bassinvægge; ved tømning forsvinder væsketrykket på forsiden momentant, hvad det ikke gør på bagsiden, hvorved der er risiko for afskalning.



Figur 5.70:

Facadebeklædning af poleret marmor

#### UDVENDIGE OVERFLADER

Til udvendige keramiske beklædninger anvendes af hensyn til frostbestandigheden kun sintrede materialer.

Til udvendige beklædninger knytter sig de samme problemer som til indvendige, men hertil kommer problemerne med temperaturvariationer, frost- og nedbørspåvirkninger, og endelig dampdiffusionsproblemer. Det er ikke ualmindeligt, at beklædningen udføres på tilsvarende måde som indvendige beklædninger, altså enten ved opsætning på "stedet" eller for præfabrikerede elementers vedkommende - ved støbning mod beklædningsmaterialet; man må dog gøre sig klart, at der altid vil være en vis risiko forbundet hermed, fordi natursten og keramiske materialer ofte repræsenterer en betydelig dampdiffusionsmodstand, der forhindrer vandafgivelse ved fordampning. Den sikreste måde at konstruere ydervæggen på er at udføre et særligt beklædningsselement, der monteres på den øvrige del af ydervæggen og holdes adskilt fra denne gennem et ventileret mellemrum, jvf. de almindelige principper for ydervægge, artikel 5.2.3.

En mere detaljeret fremstilling af naturstens og keramiske beklædningers specielle problemer er givet i litt. [1966,2].

Figur 5.71:

Facadebeklædning af glaserede, sintrede fliser



#### 5.4.6. Glas

Medens anvendelsen af glas som byggemateriale oprindeligt beroede alene på glassets såre karakteristiske egenskaber, gennemsigtigheden, anvendes glas nutildags i stadigt stigende grad til formål, hvor det er andre egenskaber, der udnyttes, således i første række til curtainwall-facader, hvor man som beklædningsmateriale ofte anvender glas for at opnå en virkning af størst mulig ensartethed med hensyn til glathed og glans over facaden som helhed. Specielt ved meget høje facader spiller det også en væsentlig rolle, at beklædningsmaterialet tilsmudses i samme - ringe - grad som vinduesmaterialet.

Her skal kort gennemgås de hyppigst anvendte glasmaterialer i husbygningen samt deres vigtigste tekniske egenskaber.

#### GLASMATERIALER

Idet der ses bort fra specielle materialer som glasbygningssten, glasmosaik, korrugerede glaselementer m.m., skal der ved glasmaterialer her udelukkende forstås planglas.

Efter fremstillingsmåden forekommer planglas i fire former:

- støbt glas
- maskinglas
- blæst glas
- spejlglas.

Støbt glas fremstilles ved støbning og en valsning, der giver glasset en mere eller mindre ujævn overflade; det er mere eller mindre gennemskinneligt, men ikke gennemsigtigt. Det forekommer som råglas, trådråglas (armeret), ornamentglas, alt i diverse farver og tykkelser (2-25 mm).

Maskinglas (trukket glas) fremstilles ved maskinel valsning, der giver det en helt glat, plan overflade og gør det gennemsigtigt. Glasset sorteres efter kvalitet med hensyn til planhed, strukturfejl m.m., og inddeles efter tykkelse i tre grupper, tyndt maskinglas (0,6-2,2 mm), normalt maskinglas (2-7 mm) og tykt maskinglas (7-20 mm).

Blæst glas fremstilles håndværksmæssigt; det er nok gennemsigtigt, men har en mindre fejlfri struktur end maskinglas. Det fremstilles i tykkelser 2-4 mm og forskellige farver og anvendes kun til specielle dekorative formål.

Spejlglas fremstilles ved planslibning og polering af armeret eller uarmeret støbt glas eller af maskinglas. Det kvalitetssorteres og forekommer i to tykkelsesgrupper, normalt spejlglas (3,5-8 mm) og tykt spejlglas (9-32 mm).

Alle fire slags glas kan underkastes en specialbehandling (specialglas) i form af

- hærdning
- overfladebehandling (f.eks. sandblæsning)
- metalbelægning
- keramisk belægning
- laminering.



Figur 5.72:

Curtainwall-facade af glas

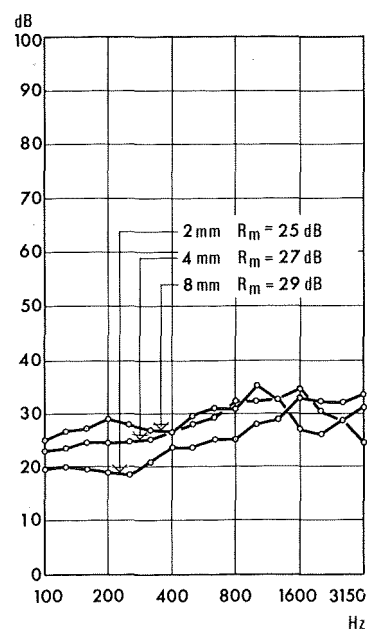
Støbt glas

Maskinglas (trukket glas)

Blæst glas

Spejlglas

Specialbehandlet glas



Figur 5.73:  
Reduktionstal for enkelt-  
glasruder

Glasvægge med flere lag  
glas virker i akustisk  
henseende som dobbeltvægge

Ved hærkning af glasset (der skal være færdig bearbejdet, tilskåret og slebet m.m.) bibringes det en forspænding, der først og fremmest forøger den beskeden bøjningstrækstyrke og slagfastheden samt bevirker, at glasset ved brud sønderdeles i et utal af småstykker, i modsætning til uhardt glas, der almindeligvis deles i store, skarpe brudstykker.

Endelig skal nævnes specielle glasarter som glas med selektiv transmission eller selektiv refleksion samt glas, der kun er gennemsigtige i een retning.

#### TEKNISKE EGENSKABER

Glassets tekniske egenskaber varierer inden for ret vide grænser; de må i hvert enkelt tilfælde søges i glasleverandørernes informationsmateriale. Til orientering om størrelsesordenen skal følgende anføres:

#### Mekaniske egenskaber

|                          |                 |                    |
|--------------------------|-----------------|--------------------|
| rumvægt                  | 2400 - 2700     | kg/m <sup>3</sup>  |
| hårdhed                  | 5 - 7           |                    |
| trykstyrke               | 5000 - 20000    | kp/cm <sup>2</sup> |
| trækstyrke (uhardt glas) | 350 - 900       | kp/cm <sup>2</sup> |
| trækstyrke (hardt glas)  | 1200 - 3000     | kp/cm <sup>2</sup> |
| elasticitetsmodul        | 500000 - 800000 | kp/cm <sup>2</sup> |

#### Akustiske egenskaber

Et enkelt lag glas har en beskeden luftlydisoleringsevne, dels på grund af den ringe vægt, dels fordi koincidensgrænsfrekvensen ofte falder inden for måleområdet, specielt for de lidt større glastykker; middelreduktionstallet kan regnes af størrelsesordenen 27 dB for 4 mm glas, 29 dB for 8 mm glas jvf. figur 5.73, der er gengivet efter litt. [1966.3]. Skal der opnås en virkelig forbedring af en glasvægs lydisoleringsevne, må det ske efter principperne for dobbeltvægge, altså ved at anordne to - eventuelt flere - lag glas med et luftmellemrum, der er så stort, at dobbeltkonstruktionens egenfrekvens er < 100 Hz, d.v.s. normalt væsentlig (5-50 gange) større end glassets tykkelse; isoleringsevnen forbedres, hvis mellemrummet dæmpes ved opsætning af absorberende materiale langs kanterne.

For glasvægge kan der regnes med følgende middelreduktionstal gengivet efter litt. [1958.1]:

| Afstand mellem glas, mm | 18 | 32 | 50 | 90 | 130 | 180 |
|-------------------------|----|----|----|----|-----|-----|
| 2 stk. 2 mm glas        | 26 | 27 | 28 | 31 | 33  |     |
| 3 stk. 2 mm glas        |    | 28 | 29 | 31 | 33  |     |
| 2 stk. 3 mm glas        | 29 | 30 | 31 | 34 | 35  | 36  |
| 2 stk. 4 mm glas        | 28 | 30 | 32 | 35 | 36  | 36  |
| 2 stk. 6 mm glas        | 28 | 31 | 33 | 33 | 34  | 36  |
| 2 stk. 8 mm glas        | 28 | 32 | 34 | 36 | 37  | 37  |

Glasvægge har en ikke helt ringe lydabsorptionsevne, specielt for de lave frekvenser, jvf. side 24.

#### Termiske egenskaber

|                            |   |                        |
|----------------------------|---|------------------------|
| varmeledningstal           | 0,6 - 0,7                                     | kcal/mh <sup>0</sup> C |
| varmeudvidelseskoefficient | 0,6 · 10 <sup>-6</sup> - 8 · 10 <sup>-6</sup> | °C <sup>-1</sup>       |

En glasvægs varmeisoleringssevne beror altså ikke så meget på selve glassets modstand som på overgangsmodstandene. For en ydervæg alene af glas opnås en rimelig varmeisoleringssevne almindeligvis kun ved dobbeltkonstruktioner, ofte udført som elementer af to eller flere lag glas med et hermetisk lukket, udtørret luftlag imellem. For sådanne kan regnes med følgende k-værdier (kcal/m<sup>2</sup>h<sup>0</sup>C):

| Glasafstand, mm | 2-glas | 3-glas |
|-----------------|--------|--------|
| 4               | 3,35   | 2,40   |
| 6               | 3,05   | 2,10   |
| 8               | 2,90   | 1,95   |
| 10              | 2,80   | 1,85   |
| 12              | 2,70   | 1,80   |
| 14              | 2,65   | 1,75   |
| 20              | 2,60   | 1,65   |

Under alle omstændigheder vil - som det ses - en glasydervæg være en kilde til ret store varmetab.

Glas kan i praksis regnes fuldstændig dampdiffusionstæt.

Glas har i brandmæssig henseende ret dårlige egenskaber; uhardt glas vil således normalt springe allerede tidligt under en brand.

#### Solafskærmende egenskaber

Almindeligt klart, ufarvet glas transmitterer ca. 90% af den indfaldende synlige og infrarøde solstråling, medens den ultraviolette stråling reflekteres, den mest højfrekvente del fuldstændigt. Denne omstændighed giver anledning til den såkaldte drivhus-effekt, idet varmeenergien, der transmitteres af hovedsagelig den infrarøde stråling, forbliver i bygningen (jvf. artikel 5.2.3.).

Glassets transmissionsegenskaber afhænger i høj grad af dets kemiske sammensætning. Såkaldt UV-glas har et meget lavt indhold af jern og titan og tillader den mest lavfrekvente del af den ultraviolette stråling at passere, i nogen grad også den biologisk virksomme del. Modsat kan man fremstille specielt UV-skærmende glas til anvendelse f.eks. i museer, hvor den ultraviolette stråling må være minimal og det synlige lys iøvrigt normalt. Varmeabsorberende glas derimod har normalt relativt stort indhold af jernoxyder, der giver glasset en grøn eller blågrøn farve; det skyldes, at foruden den infrarøde stråling absorberes en del af den røde stråling, alt ialt passerer ca. 60% af solenergien.

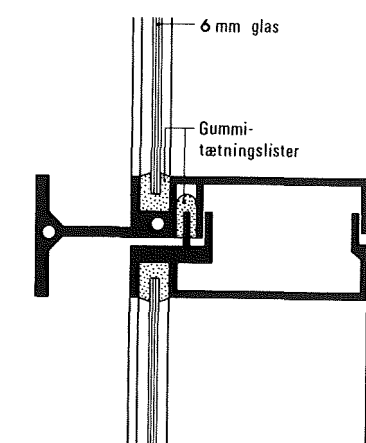
En anden måde at nedsætte transmissionen på er at påføre glasset en spejlbelægning, der forøger refleksionen af den infrarøde stråling. Den mest effektive metode er en guldbelægning på indersiden af det udvendige glas i en termorude.

En glasbeklædning eller en regulær glasvæg opbygges på helt samme måde som et fast vindue (i virkeligheden har det ingen mening at skelne), altså af en fast karm- eller sprossekonstruktion, hvori glasset indsættes og fastholdes med glaslister, samt normalt et tætningsmateriale. Figur 5.74 viser et eksempel på den konstruktive udformning af en glas/letmetal-facade.

En detaljeret fremstilling af glas som byggemateriale er givet i litt. [1964.3].

#### Glasvægges varmeisolerings

Dårlige brandtekniske  
egenskaber



Figur 5.74:

Letmetalsprossekonstruktion, vandret snit 1:5. Sådanne profiler, der ofte er meget snørklede, fremstilles almindeligvis ved ekstrudering

### 5.4.7. Metalliske overflader

Ydervægge med metalliske beklædninger finder nutildags udstrakt anvendelse inden for kontorhus-, forretnings- og hotelbyggeri, dels på grund af materialernes æstetiske og tekniske kvaliteter, dels fordi de passer fortrinligt ind i en rationaliseret byggeproces. Ved anvendelse inden for industribyggeri spiller det mange gange en afgørende rolle, at metalliske beklædninger kan udføres, så de meget let kan demonteres og genanvendes. Det samme gør sig gældende ved anvendelser til indervægge, der dog sjældnere udføres med metalliske beklædninger.

Metalliske materialer anvendes til vægkonstruktioner dels i form af plader, enten plane eller korrugerede, dels i form af stangformede emner (til sprosser og karme), der ofte kombineres med andre materialer.

En metallisk væg konstrueres enten som en sprossekonstruktion, karakteriseret ved, at der på stedet opbygges et system af lodrette og vandrette sprosser, hvis mellemrum derefter udfyldes med væg- og vinduespartier, eller som en feltkonstruktion, der består af - normalt etagehøje - vægelementer, der oftest udføres monteringsfærdige på fabrikk.

Ved metalliske beklædninger må man være opmærksom på, at metal er dampdiffusionstæt. Dette indebærer, at man ved sådanne yderbeklædninger enten må sørge for et ventileret hulrum bag beklædningen, hvilket er det almindeligste ved sprossekonstruktioner, eller også må vægelementet som helhed indkapsles diffusionstæt, så kondensation er udelukket.

Stål og aluminium er de mest anvendte metaller til vægkonstruktioner. Stangformet stål, tildannet ved valsning, smedning eller svejsning, anvendes til karm- og sprossekonstruktioner; anvendt i ydervægge må det altid korrosionsbeskyttes, enten ved maling eller varmforzinkning. Pladestål, tildannet ved valsning og eventuelt formet ved koldvalsning eller bukning, anvendes dels i form af plane plader eller korrugerede plader, tykkelser normalt ikke over 1,5 mm. Der findes i handelen et stort antal produkter med forskellige behandlinger, forzinkning, fosfatering, PVC-belægning, emaljering m.m., ofte i meget omfattende farveserier. Rustfrit stål anvendes i visse tilfælde til pladebeklædninger, plane og profilerede, men mest anvendes rustfrit stål til bukkede profiler til glaslister og til inddækning af sprossekonstruktioner m.m.

Aluminium anvendes som hovedbestanddelen i en meget lang række legeringer med vidt forskellige styrke- og korrosionsegenskaber. Under normale atmosfæriske forhold vil de fleste legeringer være modstandsdygtige, omend de bliver matte med tiden, men under meget aggressive forhold må også aluminium beskyttes, f.eks. ved eloxering, maling, lakering eller emaljering, ofte kombineret. Aluminium anvendes som stangformede emner, tildannet ved ekstrudering, til glaslister, sprosser og inddækningsprofiler. Plader, formet ved koldvalsning eller bukning, fremstilles i mange former, både ubehandlede og behandlede.

Metalliske beklædninger er i denne fremstilling kun medtaget for oversigtens skyld og skal iøvrigt ikke behandles videre her, idet der henvises til det særlige kompendium (HB 16) om metalydervægge (litt. [1970.3]).



Figur 5.75:

Facadebeklædning af aluminium-bølgeplader

Metalydervægge er behandlet specielt i HB 16

### 5.4.8. Træbeklædninger

Til træs anvendelse som byggemateriale, specielt til beklædninger, knytter sig i første række to tekniske problemer, nemlig holdbarheden og brandbarheden. Hvad brandbarheden angår, er det naturligvis navnlig ved højere byggeri, den giver anledning til problemer; for beboelsesbygninger over otte etager f.eks. kræves det således herhjemme, at beklædninger på ydervægge og indervægge skal være af klasse 1; dette er ensbetydende med, at træbeklædninger i mange tilfælde er uanvendelige. Træbeklædningsmaterialer kan dog ad kemisk vej i nogen grad beskyttes mod antændelse, brandimprægnering, der dog ikke kan forhindre, men blot forhale træets antændelse. Sådanne imprægnerede beklædninger kan i visse tilfælde klassificeres som beklædninger af klasse 1.

Hvad holdbarheden angår, afhænger træets levetid af, hvor længe det kan beskyttes mod angreb af råd og svamp. Dette kan som bekendt ske enten ved konstruktiv træbeskyttelse, hvorved der tilvejebringes sådanne fugtighedsforhold, at der ikke er livsbetingelser for nedbrydende organismer, eller ved kemisk træbeskyttelse, der gør træet uegnet som næringsmiddel. Virkelig effektiv i så henseende er kun imprægnering; overfladebehandling har ingen varig virkning, men kan selvfølgelig forhindre overfladisk skimmelangreb og virke vandafvisende, hvilket er af betydning bl.a. for træets formfasthed, men iøvrigt spiller overfladebehandling naturligvis en stor rolle i æstetisk henseende, både ved indvendige og udvendige træbeklædninger.

I det følgende skal kort omtales nogle af de almindeligst forekommende træprodukter til vægbeklædninger.

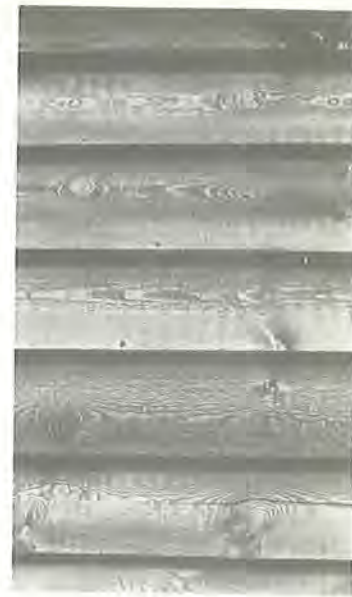
#### BRÆDDEBEKLÆDNINGER

Bræddebeklædninger udføres med enten vandrette eller lodrette brædder i tykkelser fra  $\frac{1}{2}$ " til 1" afhængigt af understøtningerne. Brædder til indvendige beklædninger er for det meste høvlede og pløjede, ofte profilerede; til udvendige beklædninger anvendes ofte ru brædder, enten pløjede eller sømmet "een på to" (lodrette brædder) eller lagt "på klink" (vandrette brædder). Til udvendig brug må træet altid beskyttes, bedst ved imprægnering eller i hvert fald ved dypning.

#### PLADEBEKLÆDNINGER

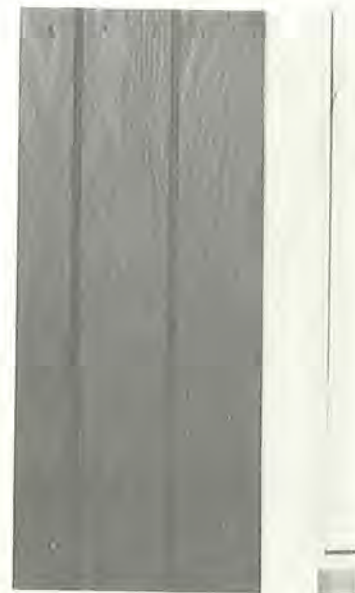
Medens brædder tidligere var næsten enerådende som beklædningsmateriale på træbasis, er der det sidste tiår sket en rivende udvikling af pladematerialer (krydsfiner, træfiberplader og spånplader), ikke blot som egentlige beklædningsmaterialer, men også som konstruktionsmaterialer i bærende elementer. På dette punkt frembyder pladematerialerne tilmed en række konstruktive fordele fremfor bræddebeklædninger (de kan således indgå som flanger i sammensatte tværsnit, stressed-skin-elementer, eller fungere som afstivende skivekonstruktioner), ligesom de i det hele taget er fortrinligt egnede til industriel produktion af lette bygningslementer.

Som konstruktionsmateriale er kun krydsfiner omfattet af den danske trænorm, men også de øvrige pladematerialer kan meget vel anvendes i bærende elementer. De teknologiske problemer (styrke- og deformations-egenskaber, hygrottermiske og brandtekniske egenskaber) ved plademate-



Figur 5.76:

Facadebeklædning af ru brædder på klink



Figur 5.77:

Profileret facadebeklædning af høvlede, pløjede brædder

rialer er analyseret i litt. [1967.5].

#### Krydsfiner

Krydsfiner udmerker sig ved stor formfasthed; den forekommer i tykkelser fra 4 til 25 mm og anvendes til både udvendige og indvendige beklædninger, ofte fineret med en ædel træsort, og anvendes i stor udstrækning som konstruktionsmateriale i stressed-skin elementer. Til udvendig brug må den altid udføres vandfast. Figur 5.78 viser en facade med beklædning af krydsfiner.

#### Lameltræ

Lameltræ er ligesom krydsfiner formfast og ligeledes ofte fineret med en ædel træsort. Det forekommer i tykkelser fra 16 til 30 mm og anvendes både indvendigt og udvendigt. Til udvendige beklædninger må det altid udføres med særlige, vejrbestandige lime.

#### Træfiberplader

Træfiberplader formes ved presning af ganske tynde træfibre, lim og vand; de fremstilles i forskellige tykkelser og med meget forskellige hårdheder; de blødeste, mest porøse, har en betydelig varmeisoleringssevne ( $\lambda = 0,045 \text{ kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ ) og blev herhjemme tidligere brugt i stor udstrækning til indvendig vægbeklædning, en anvendelse, der af brandtekniske årsager ikke længere accepteres, medmindre pladerne er genbrandimprægnerede. De halvhårde, hårde og oliehardede træfiberplader anvendes i stor udstrækning til indvendige og udvendige vægflader, både som beklædningsmateriale og som konstruktionsmateriale i bærende elementer. Figur 5.79 viser en facade (mineraluldisoleret sandwich-element) med en finish af mineralkorn limet på den ydre træfiberplade. Den hyppigst anvendte beskyttelse af udvendige træfiberplader er dog oliemaling.

#### Spånplader

Spånplader fremstilles ved presning af træspåner og plastlim; de er noget hårdere og stærkere end hårde fiberplader; de anvendes på samme måde som træfiberpladerne, såvel indvendigt som udvendigt.



Figur 5.78:  
Udvendig beklædning af  
vandfast krydsfiner



Figur 5.79:  
Sandwich-elementfacade af  
træfiberplader med  
mineralkorn-finish

## 5.4.9. Andre materialer

#### ASBESTCEMENT OG ASBESTSILIKAT

Asbestcementprodukter fremstilles af cement, asbest og vand og er egentlig en speciel form for beton, hvor asbesten fungerer som armering og derved bibringer produktet en betydelig trækstyrke (100-200 kp/cm<sup>2</sup>). De fremstilles i form af plane eller korrugerede (hel- eller plankorrugerede) plader og anvendes til vægbeklædninger (foruden til mange andre formål) både udvendigt og indvendigt, korrugerede plader dog almindeligvis kun udvendigt. Asbestcement har på næsten alle områder fremragende egenskaber, stor styrke, stivhed og formfasthed, er let forarbejdelig, er vejrbestandig og er fuldstændig ubrændbar. Da produkterne dertil er billige, finder de efterhånden udstrakt anvendelse til alle former for byggeri, ikke mindst efter at produktionen er udvidet med specielle facadeplader i forskellige farver og med forskellige overfladestrukturer.

Til indvendige vægbeklædninger anvendes fortrinsvis plane asbestcementplader eller asbestsilikatplader (med eller uden perforering alt efter de akustiske formål). En speciel anvendelse af asbestsilikatplader er brandisolering (fortrinsvis stålkonstruktioner), betinget af materialets ringe varmeledningsevne.

#### GIPS

Gips anvendes til indvendige vægbeklædninger, dels i form af armerede gipsplader, dels i form af gipskartonplader, d.v.s. gips med kartonbeklædning på begge sider. Det har fortrinlige brandtekniske egenskaber, en vis varmeisoleringssevne og er ret robust som vægbeklædning. Til særlige formål anvendes perforerede gipsplader med høje lydabsorptionskoefficienter.

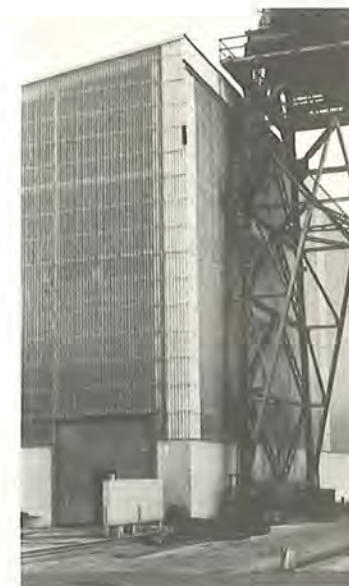
#### PLAST

Plast anvendes som vægmateriale, dels i form af beklædning, laminaer, på andre materialer, dels i form af gennemsinnelige, oftest korrugerede, plader (akryl o.lign.), der f.eks. anvendes til at tilvejebringe lysbånd i facader af andre materialer, f.eks. asbestcement- eller metalliske beklædninger. Til indvendige beklædninger er det først og fremmest de fremragende egenskaber med hensyn til rengøring, der udnyttes; plastlaminaer har således i stor udstrækning erstattet keramiske beklædninger til specielle hygiejniske formål.

Ved anvendelserne må man være opmærksom på plastmaterialernes vidt forskellige egenskaber i henseende til brandbarhed, røgudvikling og varmebestandighed. En detaljeret fremstilling af plastmaterialernes egenskaber er givet i litt. [1961.1].



Figur 5.80:  
Facadebeklædning af plane  
asbestcementplader. Fugerne  
er udført efter l-trins  
princippet



Figur 5.81:  
Facadebeklædning af korrugerede,  
gennemsigtige  
plastplader



## 5. 5. Konstruktionseksempler

### 5. 5. 1. Teglstenshulmur

#### KONSTRUKTION OG MATERIALER

Konstruktionen er opbygget af 11 cm formur og 11 cm bagmur, begge af massive teglsten (T/1800), og et 7 cm mellemrum udfyldt med mineraluldsmåtter. Muring klasse B, stenklasse 150, mørtel KC 50/50, 3 mm tilbageliggende fuger.

#### ANVENDELSER

Konstruktionen anvendes i den viste form som bærende og ikke-bærende ydervægge i næsten alle former for lavt byggeri, boliger, skoler, kontorer, forretninger etc. samt som udfyldningsmurværk i højere byggeri.

#### FUNKTIONSKRAV

##### Statiske funktioner

Konstruktionen skal kunne optage den på facaden virkende vindbelastning (iflg. DS 410, bilag:  $0,7 \cdot 36 = 25 \text{ kp/m}^2$  for ydervægge i huse af 3 meters højde og beskyttet beliggenhed). Som statisk system regnes med den på figur 5.83 viste plane, mekaniske model, idet der ses bort fra eventuelle sideværts understøtninger, og de to delvægge regnes uden forskydningsstive forbindelser.

Der undersøges 2 snit: 1) 1,7 m over fundament og 2) indspændingstværsnittet.

Idet muren vejer ialt  $1280 \text{ kg/m}$ , og  $f_g = 1,0$ ,  $f_v = 1,5$ , fås for hver af delvæggene ( $q_v = 1/2 \cdot 25 = 13 \text{ kp/m}^2$ ):

$$\text{Snit 1: } M_{\text{nom}} \approx 1,5 \cdot \frac{1}{14} \cdot 2,8^2 \cdot 13 = 11 \text{ kpm/m}, N = 295 \text{ kp/m}$$

$$\text{Snit 2: } M_{\text{nom}} = 1,5 \cdot \frac{1}{8} \cdot 2,8^2 \cdot 13 = 19 \text{ kpm/m}, N = 640 \text{ kp/m}$$

Med  $d_e = 10,8 - 2 \cdot 0,8 = 9,2 \text{ cm}$  (DS 414) fås:

$$\text{Snit 1: } e = \frac{11}{295} = 0,037 \text{ m}, \sigma = \frac{295}{100(9,2 - 2 \cdot 3,7)} = 1,6 \text{ kp/cm}^2$$

$$\text{Snit 2: } e = \frac{19}{640} = 0,030 \text{ m}, \sigma = \frac{640}{100(9,2 - 2 \cdot 3,0)} = 2,0 \text{ kp/cm}^2$$

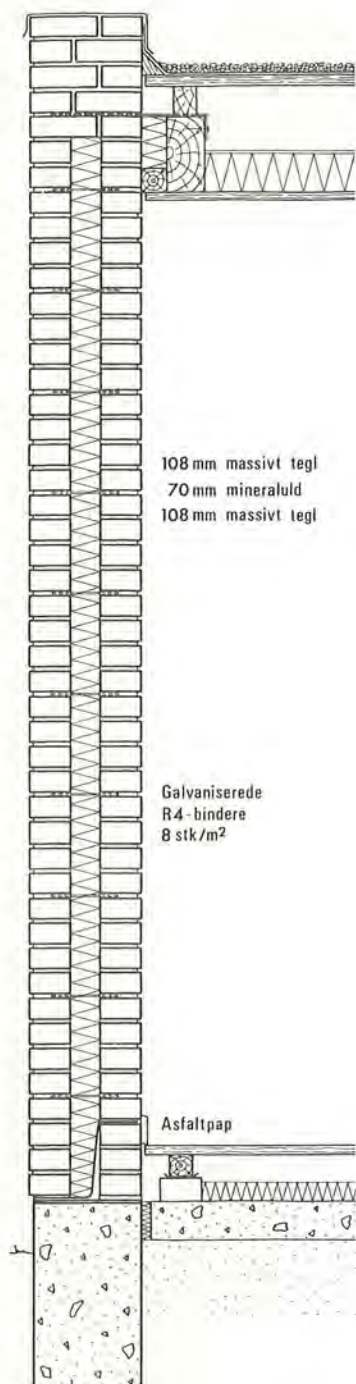
Idet  $h_s/t_s = 280/3 \sqrt{2 \cdot 10,8^3} = 20,6$ , er  $\beta = 0,64$  (figur 5.53); med  $\rho = 0,9$  og  $\sigma_o = 19 \text{ kp/cm}^2$  fås:

$$\text{Snit 1: } \sigma_{\text{nom}} = 1,00 \cdot 0,9 \cdot 0,64 \cdot 19 = 11 \text{ kp/cm}^2 > \sigma (= 1,6)$$

$$\text{Snit 2: } \sigma_{\text{nom}} = 1,00 \cdot 1,0 \cdot 1,00 \cdot 19 = 19 \text{ kp/cm}^2 > \sigma (= 2,0)$$

Væggens bæreevne er altså tilstrækkelig. En betingelse herfor er imidlertid, at der udføres en effektiv forankring til taget, så den forudsatte understøtning foroven virkelig er tilstede.

Det bemærkes, at blot en lille forøgelse af horisontalbelastningen f.eks. fra vind ved beskyttet til vind ved normal beliggenhed, vil bringe ekscentriciteterne så højt op, at konstruktionen ikke længere er stabil. Ved normal beliggenhed kan konstruktionen kun anvendes i



Figur 5.82:

Isoleret teglstenshulmur som ydervæg i et-plans byggeri; lodret snit 1:20

normal "parcelhushøjde" (lofthøjde 2,30 meter), medmindre murværkets bæreevne i horisontal retning tages i regning (men herfor angiver DS 414 ingen retningslinier).

#### Hygrotermiske funktioner

##### Varmeisolering:

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Udvendig overgangsmodsstand  | $m_u = 0,05 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$ |
| Formur: 0,11/0,70            | $m = 0,16 \text{ "}$                                       |
| Isolering: 0,07/0,033        | $m = 2,12 \text{ "}$                                       |
| Bagmur: 0,11/0,60            | $m = 0,18 \text{ "}$                                       |
| Indvendig overgangsmodsstand | $m_i = 0,15 \text{ "}$                                     |
|                              | $m = 2,66 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$   |
|                              | $k = 0,38 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$   |

Transmissionstallet gælder for mure med plastbindere; anvendes bindere af galvaniseret ståltråd (R4 mm), må  $k$  korrigeres (jvf. DIF-norm 55):

$$k = 0,38(1 + 0,2(1 - 0,38)^2) = 0,41 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}.$$

Konstruktionen er vindtæt, men kan - hvis ikke formuren mures omhyggeligt med fyldte fuger - give problemer med hensyn til regntæthed.

Som det fremgår af damptrykforløbet figur 5.21, kan indvendig kondensation næppe helt undgås, men giver erfaringsmæssigt ingen problemer i bygninger med normale fugtighedsforhold.

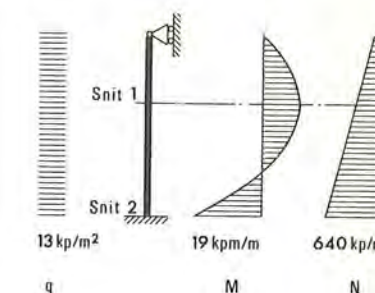
For at undgå, at grundfugt ved kapillarsugning stiger op i væggen, er der udlagt asfaltpap mellem fundament og murværk. Foroven er murkronen beskyttet med en zinkafdækning.

#### Brandtekniske funktioner

Konstruktionen er klassificeret som BS 120 og vil derfor kunne anvendes som brandmur.

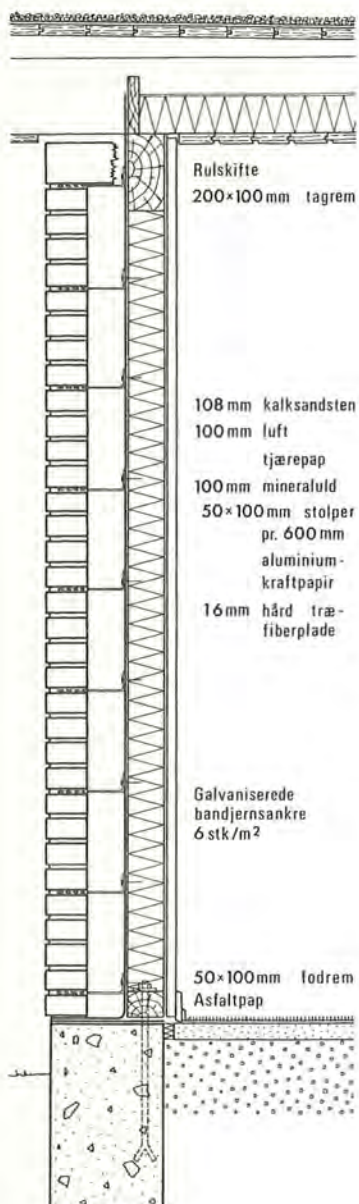
#### Andre funktioner

De akustiske funktionskrav er af underordnet betydning; lydabsorptionskoefficienterne fremgår af side 24. Konstruktionen kan betragtes som vedligeholdelsesfri.



Figur 5.83:

Statisk system, belastninger og snitkræfter for en delvæg



Figur 5.84:

Skalmuret bindingsværk,  
lodret snit 1:20

## 5.5.2. Skalmuret bindingsværk

### KONSTRUKTION OG MATERIALER

Konstruktionen er opbygget som en 11 cm skalmur af kalksandsten, befæstet til en bindingsværkssvæg i 10 cm afstand fra denne. Bindingsværket er udført af 50·100 mm stolper pr. 60 cm, med 50·100 mm fodrem og 200·100 mm tagrem, og udfyldt med 100 mm mineraluld, der på ydersiden er afdækket med tjærepap og på indersiden med aluminiumkraftpapir. Den indvendige beklædning er 16 mm hårde træfiberplader. Tømmeret i bindingsværket er grovsorteret konstruktionstræ.

### ANVENDELSER

Konstruktionen anvendes som bærende og ikke-bærende ydervægge i næsten alle former for 1-etages byggeri, boligbyggeri, skoler, kontorer, forretninger etc., i den viste udformning (lofthøjde 230 cm) dog kun til boligbyggeri.

### FUNKTIONSKRAV

#### Statiske funktioner

Konstruktionen skal kunne optage den hvilende og bevægelige belastning (snelast) på taget samt den på facaden virkende vindbelastning (iflg. DS 410, bilag:  $0,7 \cdot 54 = 38 \text{ kp/m}^2$  for ydervægge i normalt beliggende huse af 3 meters højde). Som statisk system regnes med simpelt understøttede søjler ( $h = 2,40 \text{ m}$ ), idet bindingsværket alene skal kunne optage hele belastningen. Søjlen undersøges i midtertværsnittet for to belastningstilfælde: 1) hvilende last og vind, og 2) hvilende last, snelast og vind.

Idet facaden regnes at skulle bære 4 meter tag, fås følgende brugslaster på 1 søjle:

|                |  |        |     |
|----------------|--|--------|-----|
| Hvilende last: | $N_g = 4 \cdot 0,6 \cdot 100$                      | = 240  | kp  |
| Snelast:       | $N_p = 4 \cdot 0,6 \cdot 75$                       | = 180  | kp  |
| Vindlast:      | $M_v = \frac{1}{8} \cdot 38 \cdot 0,6 \cdot 2,4^2$ | = 16,6 | kpm |

#### Nominelle belastninger:

|             |                                     |        |     |
|-------------|-------------------------------------|--------|-----|
| Tilfælde 1: | $N = 240 \cdot 1,0$                 | = 240  | kp  |
|             | $M = 16,6 \cdot 1,5$                | = 24,9 | kpm |
| Tilfælde 2: | $N = 240 \cdot 1,0 + 180 \cdot 1,5$ | = 510  | kp  |
|             | $M = 16,6 \cdot 1,0$                | = 16,6 | kpm |

#### Nominelle spændinger:

|             |                 |        |                    |
|-------------|-----------------|--------|--------------------|
| Tilfælde 1: | $S_N = 240/50$  | = 4,8  | kp/cm <sup>2</sup> |
|             | $S_M = 2490/83$ | = 30   | kp/cm <sup>2</sup> |
| Tilfælde 2: | $S_N = 510/50$  | = 10,2 | kp/cm <sup>2</sup> |
|             | $S_M = 1660/83$ | = 20   | kp/cm <sup>2</sup> |

#### Nominelle styrker (DS 413, fugtighedsklasse I):

|                 |                 |                    |
|-----------------|-----------------|--------------------|
| Bøjning ≠ fibre | $S_{Mn} = 110$  | kp/cm <sup>2</sup> |
| Tryk ≠ fibre    | $S'_{0n} = 100$ | kp/cm <sup>2</sup> |
| Tryk ⊥ fibre    | $S'_{90n} = 28$ | kp/cm <sup>2</sup> |

Korrektion af de nominelle styrker ( $S_A + 1,4S_C/S_A + S_C$ ):

$$\begin{aligned} \text{Tilfælde 1: } & (4,8 + 1,4 \cdot 30)/(4,8 + 30) = 1,34 \\ \text{Tilfælde 2: } & (10,2 + 1,4 \cdot 20)/(10,2 + 20) = 1,26 \end{aligned}$$

For tværbelastede søjler med  $l_k = 240 \text{ cm}$  og  $i = 10/\sqrt{12} = 2,9 \text{ cm}$  fås (DS 413):

$$k_E = \pi^2 \cdot E_{0n} / S'_{0n} \cdot (l_k/i)^2 = 0,40$$

Søjleens bæreevne eftervises ved udtrykket:

$$\frac{S_N}{S'_{0n}} + \frac{S_M}{S_{Mn}} \cdot \frac{k_E}{k_E - S_N/S'_{0n}} \leq 1$$

$$\text{Tilfælde 1: } \frac{4,8}{100 \cdot 1,34} + \frac{30}{110 \cdot 1,34} \cdot \frac{0,40}{0,40 - 4,8/134} = 0,26 < 1$$

$$\text{Tilfælde 2: } \frac{10,2}{100 \cdot 1,26} + \frac{20}{110 \cdot 1,26} \cdot \frac{0,40}{0,40 - 10,2/126} = 0,26 < 1$$

Vederlagstryk på fodrem:

$$\text{Tilfælde 2: } s = 10,2 \text{ kp/cm}^2 < 28 \cdot 1,26 = 35 \text{ kp/cm}^2$$

Udbøjning for vindbelastning:

$$u_{\max} = \frac{5 \cdot M \cdot h^2}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 1660 \cdot 240^2}{48 \cdot 70000 \cdot 416} \sim 0,3 \text{ cm}$$

### Hygrotermiske funktioner

Varmeisolering (idet hulrummet mellem skalmur og isolering forudsættes ventileret, ses der bort fra hulrummets og skalmurens varmemodstand):

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Udvendig overgangsmodstand         | $m_u = 0,05 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$ |
| Vindtæt pap                        | $m = 0,02 \text{ "}$                                |
| Mineraluld + træ: 0,10/0,042       | $m = 2,38 \text{ "}$                                |
| Klemt fuge ved aluminiumkraftpapir | $m = 0,03 \text{ "}$                                |
| Træfiberplade: 0,016/0,11          | $m = 0,15 \text{ "}$                                |
| Indvendig overgangsmodstand        | $m_i = 0,15 \text{ "}$                              |
|                                    | $m = 2,78 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$   |
|                                    | $k = 0,36 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$   |

Konstruktionen er vind- og vandtæt; for at sikre en effektiv trykudligning over skalmuren, tilvejebringes der ved udkradsning af nogle af de nederste studsfiger udluftningsåbninger på ialt ca.  $20 \text{ cm}^2/\text{lbm}$ . Med en indvendig dampbremse på min. 100 pam forhindres indvendig kondensation i isoleringen (jvf. beregningseksemplet i artikel 5.5.4.).

### Brandtekniske funktioner

Konstruktionen kan klassificeres som BD 90, når mineralulden er fastholdt og har en temperaturstabilitet på mindst  $750^\circ\text{C}$ .

### 5.5.3. Betonelement-ydervæg

#### KONSTRUKTION OG MATERIALER

Konstruktionen er opbygget som rumstore (28M·42M) beton-sandwich-elementer med 6 cm forplade, 7 cm polystyrenplastskum og 10 cm bagplade. Beton  $\sigma_{T,28} \geq 300 \text{ kp/cm}^2$ , armering T6/20 vandret og lodret i begge plader, skrå (45°) forankringsarmering af rustfrit R7 samt transportarmering.

#### ANVENDELSER

Konstruktionen anvendes som ikke-bærende ydervægge fortrinsvis i højt montagebyggeri såsom etageboliger, kollegier, hospitaler og kontorbygninger. Den detaljerede udformning afhænger af byggesystemet; i den viste udformning er hovedsystemet bærende tværvægge og gavle og ikke-bærende facader, ophængt på tværvæggene. Gavlene kan udformes på helt tilsvarende måde som det viste facadeelement, blot med tykkere (almindeligvis 15 cm) bagvæg. Armeringen er ikke vist på figureerne.

#### FUNKTIONSKRAV

##### Statiske funktioner

De statiske funktioner (overførsel af vindbelastning og elementets egenvægt til tværvæggene) varetages alene af bagpladen, idet forpladen for at kunne dilatere frit kun er mekanisk stift forbundet med bagpladen, til hvilken den er befæstet med skrå armering. Elementets befæstelse til tværvæggene kan enten udføres som armerede forskydningslåse eller ved konsoller, recesser el.lign. på tværvæggene (figur 5.86).

##### Akustiske funktioner

Elementvæggen har ikke i sig selv akustiske funktioner, men er udformet, så den i mindst mulig grad reducerer rumisolationen dels mellem etagerne, dels mellem rum på samme etage. Det er således netop for at reducere flanketransmissionen, at elementerne ud for etagedækket er udført uden mekanisk forbindelse indbyrdes og med dækket, ligesom dette er ført ud til sandwich-elementets midte; transmission gennem utætheder er reduceret ved effektiv fugestopning og -forsegling (figur 5.85).

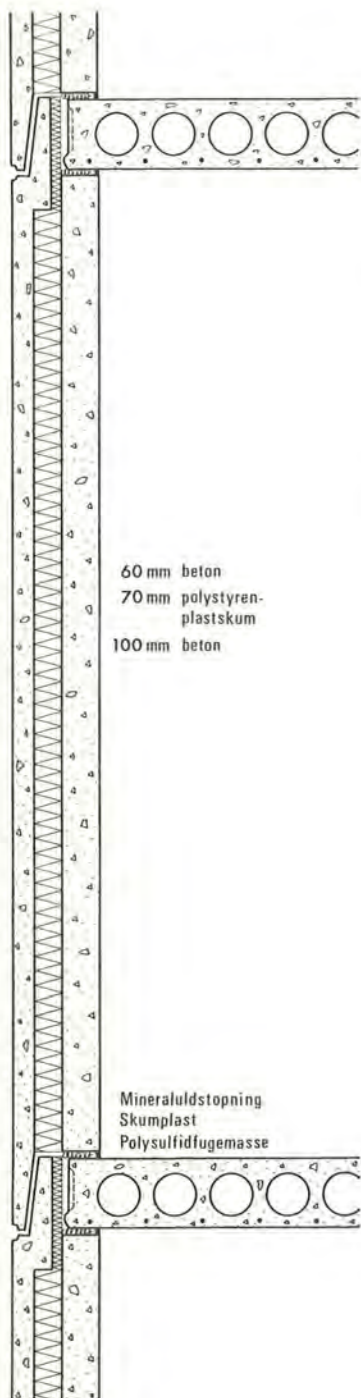
##### Hygrotermiske funktioner

###### Varmeisolering:

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Udvendig overgangsmodstand  | $m_u = 0,05 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$ |
| Forplade: 0,06/1,5          | $m = 0,04 \quad "$                                  |
| Isolering: 0,07/0,033       | $m = 2,12 \quad "$                                  |
| Bagplade: 0,10/1,5          | $m = 0,07 \quad "$                                  |
| Indvendig overgangsmodstand | $m_i = 0,15 \quad "$                                |
|                             | $m = 2,43 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$   |
|                             | $k = 0,41 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$   |

På grund af armeringen mellem forplade og bagplade må der regnes med en mindre forøgelse af  $k$  (0,01-0,02 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>°</sup>C).

Konstruktionen er vind- og vandtæt; selve elementerne er udført efter 1-trins-princippet, fugerne efter 2-trins-princippet. De lodrette fu-



Figur 5.85:  
Betonelement-ydervæg,  
lodret snit 1:20

ger er afdækket med fugebånd, og fugekanterne har vaskebrædtprofile-ring (jvf. detaillerne figur 5.23); de vandrette fuger er åbne overlappingsfuger, der er tilstrækkeligt åbne (1-2 cm) til at forhindre vandindtrængen ved kapillarsugning.

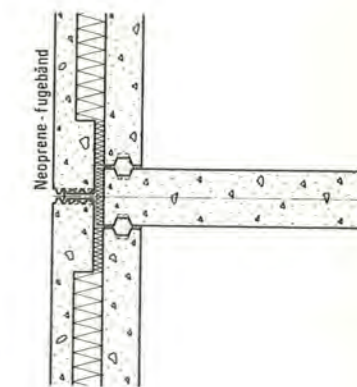
På grund af forpladens diffusionstæthed må der regnes med en vis kondensdannelse i isoleringen; den vil normalt være uskadelig for isoleringen, men betyder en risiko for korrosion af armeringen mellem forplade og bagplade, af hvilken grund denne armering er udført af rustfrit stål.

#### Brandtekniske funktioner

Konstruktionen kan regnes klassificeret som BS 60.

#### Andre funktionskrav

Af de øvrige funktionskrav, der kan blive tale om at stille, er det væsentligst vedligeholdelsesproblemet, der spiller en rolle. Det er tvivlsomt, om en glat, lys overflade vil være egnet til denne konstruktion, da de vandrette fuger og eventuelle vinduesåbninger vil give smudsgardiner, der meget let vil komme til at dominere facaden. En grovere overfladestruktur vil på det punkt nok være bedre egnet; under alle omstændigheder må man påregne, at en periodevis renholdelse næppe er praktisk gennemførlig.



Figur 5.86:  
Betonelement-ydervæg.  
Vandret snit udfor bærende  
tværvæg, 1:20

### 5.5.4. Træskelet - ydervæg

#### KONSTRUKTION OG MATERIALER

Konstruktionen er opbygget af et 6" (144 mm) træskelet med en udvendig beklædning af påskruede 10 mm asbestcementplader, 75 mm mineraluldisolering (på ydersiden afdækket med en vindtætning af 3,5 mm asbestcementplader, på indersiden med en dampbremse af aluminiumkraftpapir) samt en indvendig beklædning af 12,5 mm asbestsilikatplader. Hulrummet mellem den udvendige beklædning og vindtætningen er ventileret.

Konstruktionen udføres industrielt som fuldt monteringsfærdige, rumhøjde elementer i dimensioner tilpasset den danske modulordning, se eksempelvis litt. [1970.2].

#### ANVENDELSER

Konstruktionen anvendes som ikke-bærende ydervægge i alle former for etagebyggeri, fortrinsvis boliger, hoteller, kollegier, og kontorbygninger udført som montagebyggeri.

#### FUNKTIONSKRAV

##### Statiske funktioner

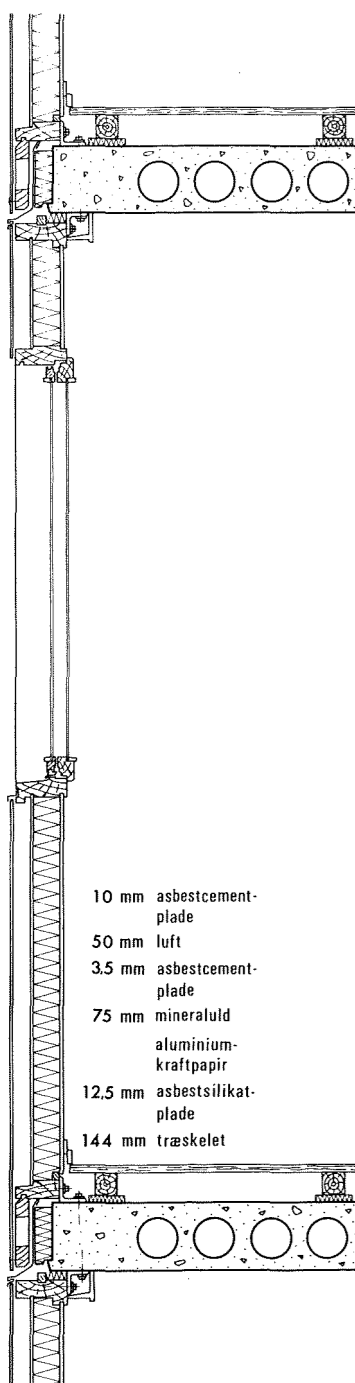
Konstruktionen er anordnet, så den understøttes af etagedækkene, hvortil elementerne er befæstet med de viste stålbeslag, og skal således blot optage den på facaden virkende vindbelastning. Med de angivne pladedimensioner må pladerne understøttes på lægter pr. maksimalt 60 cm.

##### Akustiske funktioner

På grund af de relativt store glaspartiers beskedne lydreduktionstal ( $R_m \sim 30$  dB) spiller det øvrige facadepartis lydisolations rolle. Derimod kan det give anledning til en betydelig flanketransmission; af den grund er såvel etagedæk som tværvægge ført ud i facadekonstruktionen, ligesom der er sørget for afbrydelse af mekanisk stive forbindelser mellem facadeelementerne udførte dæk og tværvægge. Men selv med disse forholdsregler er konstruktionens akustiske forsvarlighed problematisk.

##### Hygrotermiske funktioner

Idet hulrummet mellem yderbeklædningen og vindtætningen forudsættes ventileret, ses der bort fra yderbeklædningens og luftlagets varmemodstand. Temperaturforløb og damptrykforløb gennem den øvrige del af konstruktionen undersøges for de stationære klimabetingelser  $t_i = +20^\circ\text{C}$ , RF = 50%, og  $t_u = -10^\circ\text{C}$ , RF = 80%:



Figur 5.87:  
Træskelet-ydervæg,  
lodret snit 1:20

| Pkt. | e      | $\lambda$                                     | m  | $\frac{m}{\Sigma m}$ | $\Delta t$       | t                | $p_m$ | d                                | $m_d$                                     | $\frac{m_d}{\Sigma m_d}$ | $\Delta p$ | P     |
|------|--------|---|--|----------------------|------------------|------------------|-------|----------------------------------|---|--------------------------|------------|-------|
|      | m      | $\frac{\text{kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$ | $\frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$ |                      | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | mmHg  | $\frac{\text{g}}{\text{mhmmHg}}$ | $\frac{\text{m}^2\text{hmmHg}}{\text{g}}$ |                          | mmHg       | mmHg  |
| 1    |        |   | 0,05   | 0,02                 | 1                | -10              | 2,0   |                                  |   |                          |            | 1,6   |
| 2    | 0,0035 | 0,35  | 0,01   | -                    | -                | -9               | 2,1   | 0,002                            | 1,5                                       | 0,01                     | 0,1        | 1,6   |
| 3    | 0,075  | 0,033   | 2,25   | 0,87                 | 26               | -9               | 2,1   | 0,07                             | 1,0                                       | 0,01                     | 0,1        | 1,7   |
| 4    |        |   | 0,03   | 0,01                 | -                | +17              | 14,6  |                                  | 100                                       | 0,92                     | 6,6        | 1,8   |
| 5    | 0,0125 | 0,13  | 0,10   | 0,04                 | 1                | +17              | 14,6  | 0,002                            | 6,5                                       | 0,06                     | 0,4        | 8,4   |
| 6    |        |   | 0,15   | 0,06                 | 2                | +18              | 15,5  |                                  |   |                          |            | 8,8   |
| 7    |        |   |  |                      |                  | +20              | 17,5  |                                  |   |                          |            |       |
|      |        | $\Sigma m = 2,59$                             |  | $1,00/30$            |                  |                  |       | $\Sigma m_d = 109$               |   | $1,00$                   |            | $7,2$ |

Konstruktionens transmissionstal er  $k = 1/2,59 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  for de isolerede partier; på grund af de gennemgående trælægter forøges brystningspartiets gennemsnitlige transmissionstal til ca.  $0,45 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ . Vinduespartiet (dobbelvindue med koblede rammer) har et transmissionstal  $k = 2,50 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ; hertil kommer ventilationstabet ved naturlig ventilation.

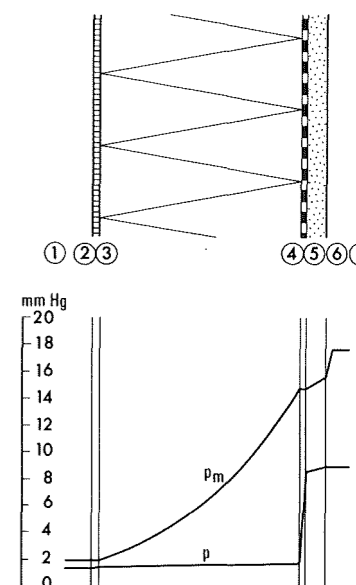
Som det fremgår af beregningsskemaet, overstiger damptrykket  $p$  intetsteds i konstruktionen mætningstrykket  $p_m$ , d.v.s. der sker ingen indvendig kondensation; det skyldes tilstedeværelsen af dampbremsen (aluminiumkraftpapir) på isoleringens inderside, jvf. damptrykforløbet figur 5.88.

Konstruktionen er vandtæt; det kritiske punkt i den henseende er de oplukkelige vinduer. Den er ligeledes tilstrækkelig vindtæt, forudsat vindspærren overalt sømmes tæt til træværket, og forudsat kalfatringsfugerne er stoppet og forsejlet effektivt.

Udføres facaden med gennemgående vinduesbånd, vil de store glaspartier på klare dage give anledning til et meget betydeligt solindfald (af størrelsesorden  $500 \text{ kcal/h pr. m}^2$  vindue) i de perioder, hvor solen står lige på. Nordisk komité for bygningsbestemmelser foreslår vinduesarealerne begrænset til 12% af gulvarealet.

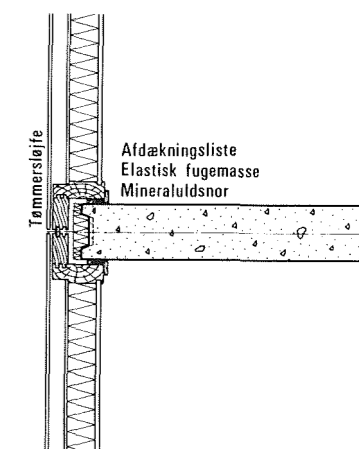
##### Brandtekniske funktioner

Konstruktionen kan klassificeres som BD 60; de udvendige og indvendige beklædninger er af klasse 1, og konstruktionen kan således anvendes som ikke-bærende ydervægge i byggeri med mere end 8 etager. Det forudsættes dog, at de lodrette spalter inden for den udvendige beklædning ikke passerer etagedækkene; dette krav opfyldes med den på figur 5.87 viste zinkafdækning.



Figur 5.88:

Damptryk  $p$  og mættede dampes tryk  $p_m$  i træskeletydervæg ved klimabetingelserne  $t_i = +20^\circ\text{C}$ , RF = 50% og  $t_u = -10^\circ\text{C}$ , RF = 80%



Figur 5.89:

Træskelet-ydervæg; vandret snit udfor tværvægge 1:20

### 5.5.5. Massiv teglstensvæg

#### KONSTRUKTION OG MATERIALER

Konstruktionen er udført som  $1\frac{1}{2}$ -stens massivt murværk af massive teglsten 150, 1600, i mørtel KC 50/50, muring klasse B, med 1 cm kalkpuds på begge sider.

#### ANVENDELSER

Konstruktionen anvendes som bærende indervægge i såvel lavt som højt etagebyggeri, nutildags fortrinsvis i boligbyggeri og tilsvarende, hvor den ringe grad af fleksibilitet kan accepteres.

#### FUNKTIONSKRAV

##### Statiske funktioner

Anvendes konstruktionen som bærende tværvægge (pr. 48M) i 8 etagers boligbyggeri, fås i snit over kælderdek belastningerne:

|                   |                                |   |                   |
|-------------------|--------------------------------|---|-------------------|
| Tagkonstruktion   | $4,8 \cdot (335 + 100)$        | = | 2100 kp/m         |
| Etagedæk          | $4,8 \cdot (335 + 25) \cdot 7$ | = | 12100 "           |
| Murværk           | $2,65 \cdot 600 \cdot 8$       | = | <u>12800 "</u>    |
|                   |                                |   | <u>27000 kp/m</u> |
| Lette skillevægge | $4,45 \cdot 150 \cdot 7$       | = | <u>4700 kp/m</u>  |
| Snebelastning     | $4,8 \cdot 75$                 | = | 360 kp/m          |
| Nyttelast         | $4,45 \cdot 50 \cdot 7$        | = | <u>1540 "</u>     |
|                   |                                |   | <u>1900 kp/m</u>  |

$$\begin{aligned} \text{Nominel belastning: } & 27000 \cdot 1 + 4700 \cdot 1,2 + 1900 \cdot 1,5 = 35500 \text{ kp/m} \\ \text{Murens effektive tværsnit: } & (34,8 - 2 \cdot 0,8) \cdot 100 = 3320 \text{ cm}^2/\text{m} \\ \text{Spænding: } \sigma & = 35500/3320 = 10,7 \text{ kp/cm}^2 \\ \sigma_{\text{nom}} & = \alpha \cdot \rho \cdot \beta \cdot \sigma_0 = 1,00 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 19 = 19,0 \text{ kp/cm}^2 \\ (h_g/t_g = 265/35 = 7,6 < 12 \rightarrow \beta = 1,0) \end{aligned}$$

Bæreevnen er altså tilstrækkelig.

##### Akustiske funktioner

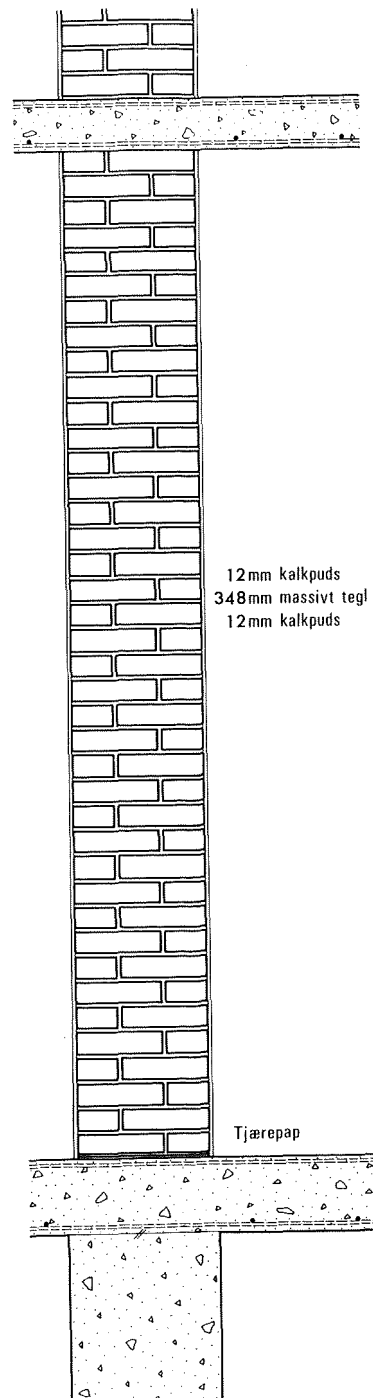
Af diagrammet figur 5.11 fås ved ekstrapolation, at væggenes middelreduktionstal er ca. 52 dB.

##### Brandtekniske funktioner

Konstruktionen er klassificeret som BS 120 og kan således fungere som brandvæg.

##### Andre funktioner

Konstruktionens termiske egenskaber er almindeligvis uden betydning; anvendt som skillevægge mod tagrum eller mod uopvarmede rum opfylder konstruktionen ( $k = 1,09 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ) kravene i BR 1966.



Figur 5.90:

Massiv teglstensvæg,  
lodret snit 1:20

### 5.5.6. Betonelement-indervæg

#### KONSTRUKTION OG MATERIALER

Konstruktionen er opbygget af etagehøje, 24M brede og 150 mm tykke elementer af uarmeret beton med  $\sigma_{T,28} \geq 300 \text{ kp/cm}^2$  (klasse A). De fremstilles fuldt monteringsfærdige ved batteristøbning på fabrik og monteres ved ophejsning i to  $\frac{1}{2}$ " montagebolte, der tillige tjener til justering af næste etages elementer. Efter fugeudstøbning udføres finish-arbejderne ved spartling, hvorefter væggen er færdig til maling eller tapetsering. Om byggesystemet iøvrigt henvises til litt. [1970.2].

#### ANVENDELSER

Konstruktionen anvendes som bærende indervægge i etagebyggeri, fortrinsvis boliger, hoteller, kollegier og kontorhuse, udført som montagebyggeri.

#### FUNKTIONSKRAV

##### Statiske funktioner

Væggen skal dels optage de lodrette belastninger fra etagedæk og tag samt egenvægten, dels indgå i det system af indspændte skiver, som skal sikre bygningens sideværts stabilitet. Forudsættes væggen eksempelvis at være bærende tværvæg (pr. 42M) i en 10-etagers bygning ( $H = 28 \text{ m}$ ), bliver det dimensionsgivende belastningstilfælde hvilende belastning og vindbelastning på tværs, hvilket giver følgende spændinger i det vandrette snit en halv etagehøjde over kælderdek:

Hvilende belastning:

|                   |                              |   |                      |
|-------------------|------------------------------|---|----------------------|
| Væggens egenvægt  | $26,6 \cdot 0,15 \cdot 2400$ | = | 9600 kp/m            |
| Etagedæk + tag    | $4,2 \cdot 325 \cdot 10$     | = | 13600 "              |
| Lette skillevægge | $4,2 \cdot 100 \cdot 9$      | = | 3800 "               |
|                   |                              |   | <u>27000 kp/m</u>    |
|                   |                              |   | <u>18,0 kp/cm}^2</u> |

Vindbelastning:

$$\begin{aligned} M_v & = \frac{1}{2} \cdot 26,6^2 \cdot 3 \cdot 4,2 \cdot 107 \cdot (0,7 + 0,5) \cdot \frac{120^3}{120^3 + 2 \cdot 63^3 + 2 \cdot 48^3} \\ & = 405000 \text{ kpm} \\ \sigma_v & = \frac{405000 \cdot 100 \cdot 6}{1200^2 \cdot 15} = 11,3 \text{ kp/cm}^2 \end{aligned}$$

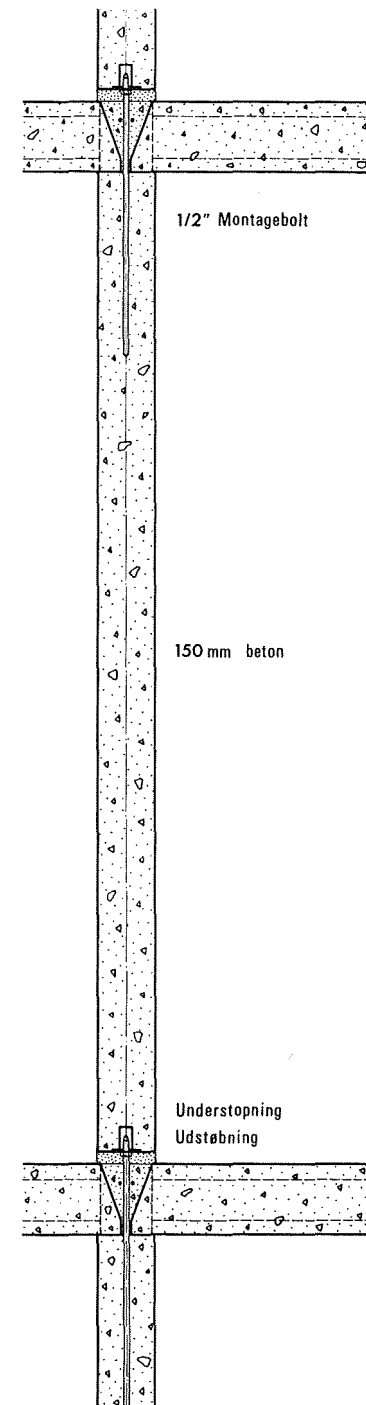
idet det forudsættes, at væggen er 120M lang, og at der pr. opgang ( $3 \cdot 42\text{M}$ ) foruden 120M-væggen er to vægge  $\bar{a}$  63M og to vægge  $\bar{a}$  48M.

Med den tilladelige trykspænding  $r_s$  for uarmerede vægge

$$r_s = \frac{\sigma_T}{6} \cdot \left(\frac{12 \cdot d}{h}\right)^2 = \frac{300}{6} \cdot \left(\frac{12 \cdot 15}{260}\right)^2 = 24,0 \text{ kp/cm}^2$$

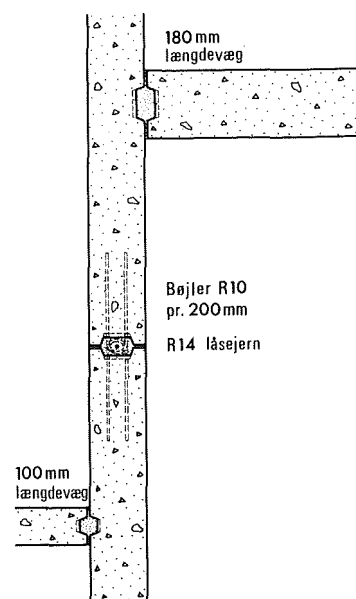
$$\text{fås } \sigma_g \cdot \frac{r_b}{r_s} + \sigma_v = 18,0 \cdot \frac{50 \cdot 1,25}{24,0} + 11,3 = 58 \text{ kp/cm}^2 < r_p,$$

idet det skønnes rimeligt at anvende det i DS 411 for armerede tværsnit angivne udtryk for sammensat bøjning og normalkraft.



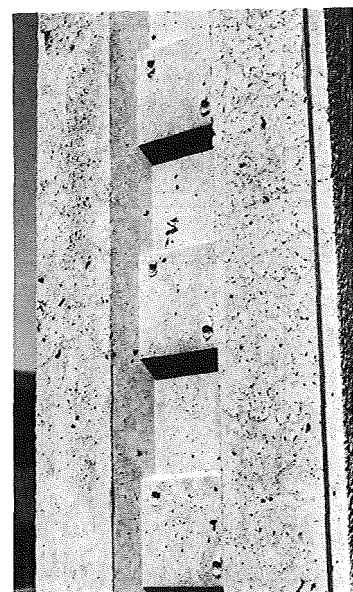
Figur 5.91:

Betonelement-indervæg,  
lodret snit 1:20



Figur 5.92:

Betonelement-indervæg samt tilslutninger til 10 cm og 18 cm længdevægge, vandret snit 1:20



Figur 5.93:

Forskydningslås i vægelement udført ved kantfor-tanding

Med den maksimale forskydningskraft

$$Q_v = 28 \cdot 3 \cdot 4,2 \cdot 107 \cdot (0,7 + 0,5) \cdot 0,70 = 32000 \text{ kp}$$

fås den maksimale forskydningsspænding

$$\tau_v = \frac{3}{2} \cdot \frac{32000}{15 \cdot 1200} = 2,7 \text{ kp/cm}^2,$$

der er acceptabel for snit i elementerne ( $\tau_{till} = r_b/10$ ), men for snit i de lodrette fuger er den over det tilladelige, der almindeligvis sættes  $\sim 2 \text{ kp/cm}^2$  af bruttotværsnittet (jvf. litt. [1970.2]). Til optagelse af forskydningskræfterne anordnes bøjler R10 pr. 20 cm. Alternativt kan der foretages forspænding af etagekrydsene. Figur 5.93 viser den normale udformning af en forskydningslås uden bøjlearmering.

I beregningen ovenfor er det forudsat, at væggenes bæreevne i etagekrydsene ikke er svækket i forhold til snit i væggen på de frie strækninger. En betingelse herfor er, at såvel udstøbningen af etagekrydset som understopningen af vægelementerne foretages med egnede materialer og den største omhu. Men endnu rummer dette problem en række uafklarede spørgsmål.

Vedrørende de specielle statiske problemer ved vægskiver med huller henvises til litt. [1961.2].

#### Akustiske funktioner

Konstruktionens middelreduktionstal er 55 dB; reduktionstallets frekvensafhængighed fremgår af figur 5.10. Et kritisk punkt i denne forbindelse er fugernes udstøbning, der sandsynligvis er ret afgørende for den samlede vægs lydisolering.

#### Brandtekniske funktioner

Konstruktionen er klassificeret som BS 120 og kan således fungere som brandvæg.

#### Andre funktioner

Konstruktionens termiske egenskaber ( $k \sim 3,30 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ) er så ringe, at den som væg mod uopvarmede rum altid må forsynes med en supplerende isolering.

## 5.5.7. Letbeton - skillevæg

### KONSTRUKTION OG MATERIALER

Konstruktionen er udført af 6M brede, 75 mm tykke, etagehøje porebetonelementer (Pb/800), sammenlimede langs de planfræste kanter. I hjørnesamlinger foretages sømlimning. Efter monteringen færdiggøres væggen ved efterfugning og renskrabning af fugerne og påfølgende sandspartling. Herefter er væggen klar til tapetsering eller - efter fuldspartling - maling (alkyd- eller plasticmaling; oliemaling bør ikke anvendes). Før eventuel fliseopsætning bør elementsamlingerne armeres med påklæbde strimler af glassilkevæv.

### ANVENDELSER

Konstruktionen anvendes som ikke-bærende skillevægge i lavt byggeri og i alle former for etagebyggeri. Ved boligbyggeri og tilsvarende kan den selvfølgelig kun bruges som "interne" skillevægge på grund af det beskedne lydreduktionstal.

### FUNKTIONSKRAV

#### Statiske funktioner

Som ikke-bærende væg skal konstruktionen blot kunne optage de tilfældige stødpåvirkninger, en indervæg kan blive udsat for; erfaringsmæssigt er der ingen problemer hermed. Derimod er det overordentlig vigtigt, at væggen anordnes, så eventuelle differenssætninger af understøtningerne ikke giver revnedannelser. Ligeledes må der sikres dilatationsmulighed mellem væggen og det overliggende dæk; sideværts er væggen styret ved stålstifter skudt op i dækket.

#### Akustiske funktioner

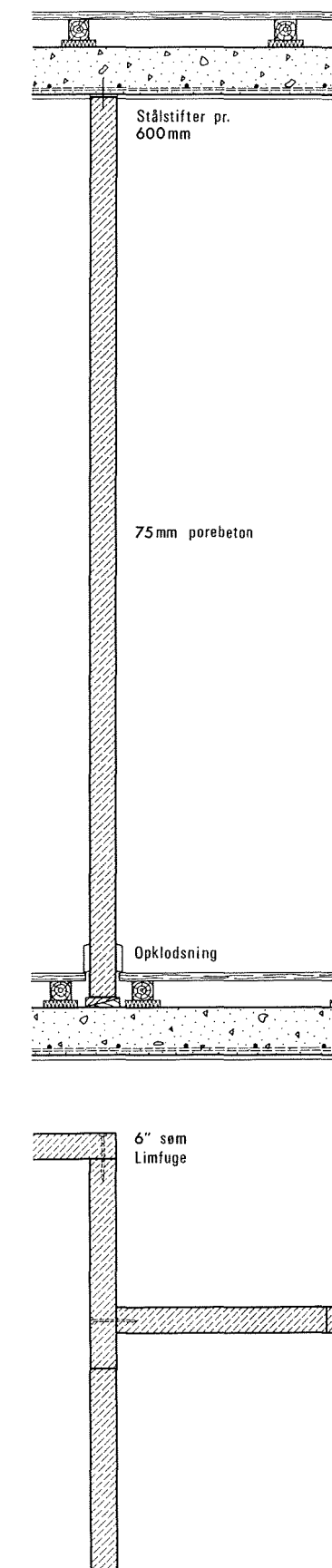
Konstruktionens middelreduktionstal er 38 dB, når den er spartlet og malet; uden behandling er det noget lavere. Lydisolationen kan forbedres meget væsentligt, navnlig ved de mellemhøje og høje frekvenser, ved f.eks. en gipspladebeklædning på lægter som vist på figur 5.15. Med dobbeltsidig beklædning kan middelreduktionstallet bringes op på 52 dB og altså - med tykkelse 15 cm og vægt  $\sim 100 \text{ kg/m}^2$  - opfylde kravene til lejlighedsskel. Det samme gælder den på figur 5.02 i viste dobbeltvæg af porebetonelementer.

#### Brandtekniske funktioner

Konstruktionen er klassificeret som BS 60.

#### Andre funktioner

Konstruktionens varmeisoleringssevne ( $k \sim 1,9 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ) er for ringe til at opfylde noget lovkrav med hensyn til varmeisolerering. Af andre egenskaber er der navnlig grund til at fremhæve let bearbejdelighed og god søm- og skruefasthed.



Figur 5.94:

Porebetonelement-skillevæg, lodret og vandret snit 1:20

### 5.5.8. Træskelet-dobbeltvæg

#### KONSTRUKTION OG MATERIALER

Konstruktionen er opbygget af to adskilte stolperækker, 50·100 mm pr. 60 cm, hver med en dobbeltbeklædning af 13 mm gipsplade (inderst) og 16 mm hård træfiberplade. I mellemrummet er i hele højden anbragt en 30 mm mineraluldsmåtte.

#### ANVENDELSER

Konstruktionen anvendes som ikke-bærende indervægge ved ethvert byggeri, hvor god lydisolering ønskes kombineret med mulighed for bekvem flytning af skillevæggene, først og fremmest til industri- og kontorbyggeri, men også i boligbyggeri.

#### FUNKTIONSKRAV

##### Statiske funktioner

Konstruktionen skal kunne optage de tilfældige stødpåvirkninger, den som indervæg bliver udsat for. Ved større højder end 4 meter må stolpedimensionen forøges.

##### Akustiske funktioner

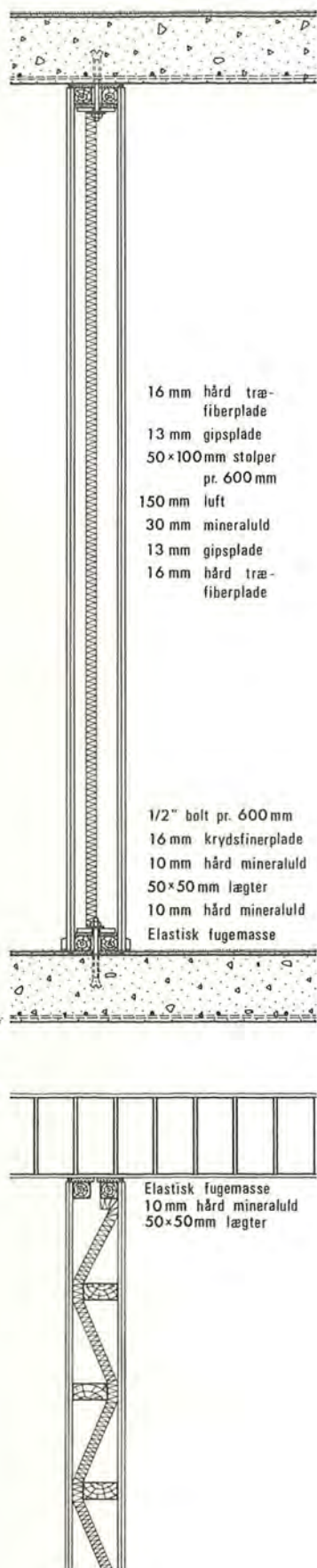
Konstruktionens middelreduktionstal er ca. 55 dB; det vil sandsynligvis kunne forbedres lidt ved fuldstændig udfyldning af mellemrummet med mineraluld. En afgørende forudsætning for det høje reduktionstal er, at stolperne står på adskilte remme, og at disse er befæstet uden bøjningsstiv forbindelse til underlaget; det samme gælder remmene ved loftet og ved sidevæggene. Fugerne er forseglet med fugemasse (elastisk eller plastisk) for at lukke utætheder.

##### Hygrotermiske funktioner

Konstruktionens varmeisolering ( $k \sim 0,70 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ) er tilstrækkelig til, at væggen kan anvendes til begrænsning mod uopvarmede rum; mod tagrum må mineraluldisoleringen forøges til 50 mm.

##### Brandtekniske funktioner

Konstruktionen kan klassificeres som BD 30, men kan sandsynligvis klassificeres som BD 90, hvis hulrummet udfyldes helt med fastholdt mineraluld, og kan således anvendes som brandcelleafgrænsende skillevæg i bygninger indtil 8 etager. I bygninger over 8 etager kan den anvendes som ikke-brandcelleafgrænsende skillevæg, da beklædningen er klasse 1 (13 cm gipsplade).



Figur 5.95:

Træskelet-dobbeltvæg, lodret og vandret snit 1:20

## 5.6. Litteratur

- [1958.1] Ove Brandt:  
Akustisk planering Stockholm 1958
- [1960.1] Poul Becher:  
Varme og ventilation, bind 1, Grundlaget København 1960
- [1961.1] BYGG, handbok för hus-, väg- och vattenbyggnad,  
Huvuddel 3, Konstruktionsteknik Stockholm 1961
- [1961.2] Owe Eriksson:  
Statisk beregning af vindafstivende vægge i højhuse  
Ingeniøren 15 København 1961
- [1962.1] Moderne husbyggingsteknikk  
NBI-særtryk 71 Oslo 1962
- [1964.1] Vagn Korsgaard & Thomas Lund Madsen:  
Isoleringsevnen af nogle typiske ydervægge  
udsat for det naturlige klima København 1964
- [1964.2] J. Gilchrist Wilson:  
Exposed Concrete Finishes London 1964
- [1964.3] John Peter:  
Design with Glass New York 1964
- [1965.1] Henry Hansen:  
Funktionskrav til innvendige kledninger  
NBI-særtryk 102 Oslo 1965
- [1965.2] Vagn Korsgaard & Mogens R. Byberg:  
Driving rain tests with cavity-filled brick walls  
København 1965
- [1965.3] Benny Dylander:  
Smøremidler til støbeforme for beton  
Byggeindustrien 2 København 1965
- [1966.1] Erwin Petersen:  
Solindfald gennem vinduer København 1966
- [1966.2] Henry Dührkop, Vitold Saretok,  
Tenho Sneck & Sven D. Svendsen:  
Mørtel, Muring, Pudsning  
SBI-anvisning 64 København 1966
- [1966.3] Jørgen Kristensen:  
Vinduers lydisolering  
Byggeindustrien 16 København 1966
- [1967.1] Georg Christensen & Klaus Blach:  
Funktionsbetingede egenskaber for ikke-bærende indervægge  
Byggeindustrien 8 København 1967
- [1967.2] P. Lund-Hansen:  
Fugttransport i byggematerialer København 1967
- [1967.3] Adolfas Damusis:  
Sealants New York 1967
- [1967.4] Bent-Erik Carlsen:  
Forsøg med muret etagekryds  
Byggeindustrien 1 København 1967
- [1967.5] S. Åke Lundgren:  
Träskivor som byggnadsmaterial, Del I Nyköping 1967

- [1968.1] Weather tight joints for walls  
CIB report no. 11, NBI-report 51C Oslo 1968
- [1968.2] Bent-Erik Carlsen:  
Forsøg med muret etagekryds (2)  
Byggeindustrien 17 København 1968
- [1969.1] Preben Ankerstjerne, Johannes Brixen &  
Jørgen Petersen:  
Støj i boliger  
SBI-anvisning 58, 2. reviderede udgave København 1969
- [1969.2] Jørgen Kristensen:  
Skillevægges luftlydisolation  
Byggeindustrien 18 København 1969
- [1969.3] H. Granum & Ø. Aschehoug:  
Byggningsfysikk Oslo 1969
- [1969.4] Åge Hallquist & Gunnar Granheim:  
Dimensjonering av murvegger for vindtrykk  
NBI-særtryk 179 Oslo 1969
- [1970.1] Jørgen Kristensen:  
Undersøgelse af lydisolation mellem boliger  
i rækkehuse og lignende bebyggelser  
SBI-rapport 64 København 1970
- [1970.2] Henrik Nissen:  
Modul og montagebyggeri København 1970
- [1970.3] Ejnar Danø:  
Metalydervægge  
DIAB, husbygning 16 København 1970