



Den principielt rigtige opbygning af en ydervæg

Korsgaard, Vagn

Publication date:
1961

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Korsgaard, V. (1961). *Den principielt rigtige opbygning af en ydervæg*. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

~~ne ikke fjernes~~

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

MEDELELSE NR. 3.

DEN PRINCIPIELT RIGTIGE
OPBYGNING
AF EN YDERVÆG

Af

Vagn Korsgaard

SÆRTRYK AF HUSBYGNINGSTEKNIK

1961

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

DEN PRINCIPIELT RIGTIGE
OPBYGNING
AF EN YDERVÆG

Af

Vagn Korsgaard

SÆRTRYK AF HUSBYGNINGSTEKNIK

1961

INDLEDNING

Til indledning vil jeg gerne have lov til at takke kursusudvalget for den tillid, det har vist mig ved at opfordre mig til at holde et foredrag med titlen „Den principielt rigtige opbygning af en ydervæg“ for en så kompetent forsamling af byggefolk, som her er til stede. Jeg vil dog straks gøre opmærksom på, at denne noget ambitiøse titel er dikteret mig af udvalget, og man skal ikke forvente på grundlag af mit foredrag at kunne konstruere den principielt helt rigtige ydervæg.

Forholdet er jo, at hovedparten af det, jeg kan sige i dag, er sagt og skrevet af mange andre for længe siden. Jeg kan eksempelvis blot henvise til beretningerne fra de husbygningstekniske kursuser, der blev afholdt i 1940, 1946 og 1948.

Det er sørgeligt at skulle indrømme, at vor viden om de principielle spørgsmål vedrørende den rigtige opbygning af en ydervæg ikke er forøget væsentlig i de mere end ti år, der er gået, siden det sidste kursus i husbygningsteknik blev holdt.

Hovedårsagen hertil må efter min mening søges i det forhold, at de midler, som de forskellige lande har ment at kunne ofre på forskning og udvikling, fortrinsvis er gået til atomforskning og raketforskning og dermed beslægtede ting og kun i beskedent omfang til byggeforskning, på trods af at de beløb, der investeres i bygning af huse, er meget betydelige. Her i landet drejer det sig om 2 å 3 milliarder kroner om året.

På et punkt mener jeg dog, der er sket store fremskridt i de senere år, og det er med hensyn til kendskabet til og den praktiske anvendelse af den ret ufuldstændige viden, vi har om de problemer, som er af betydning for den rationelle opbygning og virkemåde af ydervægge. De publikationer, som er blevet udsendt i årene 1954-57 af Ingeniørforeningens udvalg til byggeriets rationalisering, har sikkert i væsentlig grad medvirket hertil. Hovedindholdet af mit foredrag bygger da også på arbejdsudvalg 2's rapport om facadeelementers rationelle opbygning og virkemåde. Kun på et enkelt punkt, som vedrører forskellige ydervægge termiske ækvivalens, når der tages hensyn til deres varmekapacitet, mener jeg at kunne fremsætte nye synspunkter.

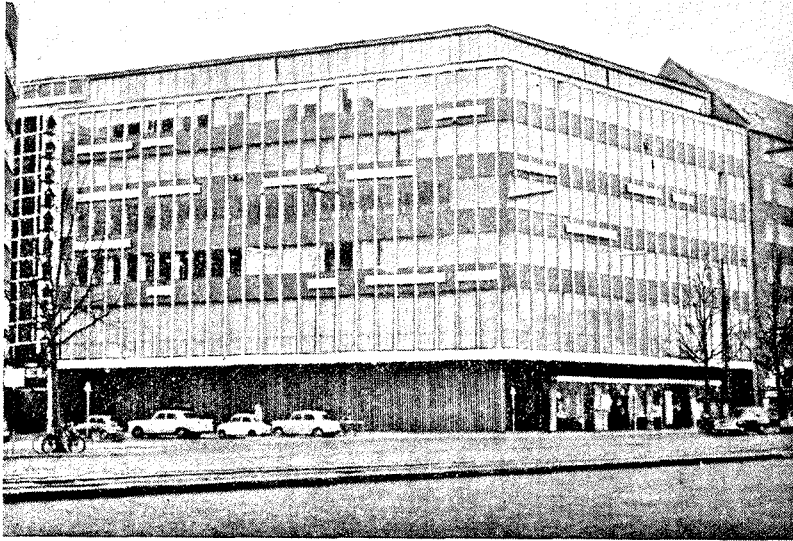


Fig. 1. Glasfacade, Byggecentrum.

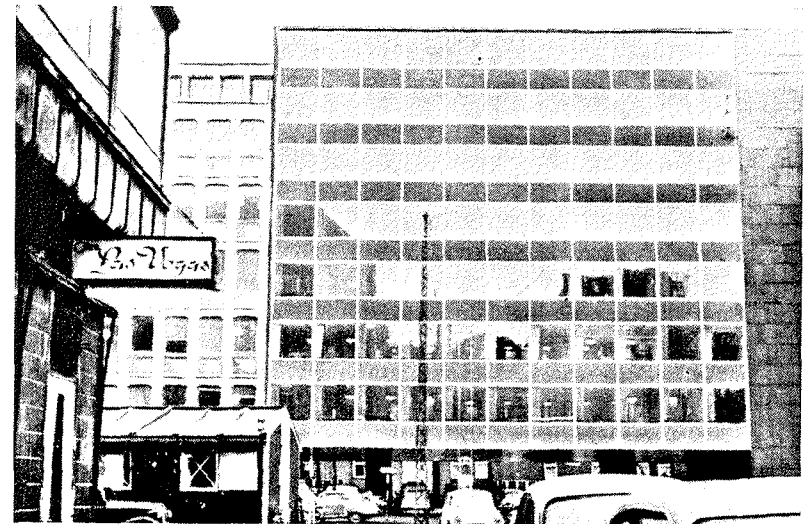


Fig. 2. Glasfacade, kontorhus i Nyropsgade.

GLASVÆGGE

Et hus' eller en bygnings ydre begrænsningsflader, der undertiden benævnes klimaskærmen, kan på naturlig måde deles i lodrette og vandrette eller skrå flader. I gamle dage før glasarkitekturen tog overhånd, kunne de lodrette flader igen opdeles i ydervæg og vinduer, hvor ydervægsarealet var betydelig større end vinduesarealet. I et moderne glashus vil der dog ofte kun være spor tilbage af ydervæggen, men da man ikke kan lide huse, der kun består af vinduer, taler man om glasvægge. Se fig. 1 og 2.

Selvom vinduer eller gennemskinnelige glasvægge ligger uden for det emne, jeg skal beskæftige mig med i dag, er de problemer, der er knyttet hertil, af så stor betydning, at jeg ikke kan lade være med at omtale dem ganske kort.

Hovedproblemet ved gennemskinnelige glasvægge er solindfaldet, ikke alene i sommertiden men vel især forår og efterår. De varmemængder, der kan tilføres et rum på denne måde, er meget store, større end mange ingeniører og især arkitekter forestiller sig. Jeg vil tro, at der er nogenlunde omvendt proportionalitet imellem en arkitekts berømmelse og hans forestilling om solindfaldets størrelse.

Sammenlignet med det varmetab, der ligger til grund for varmeanlæggets di-

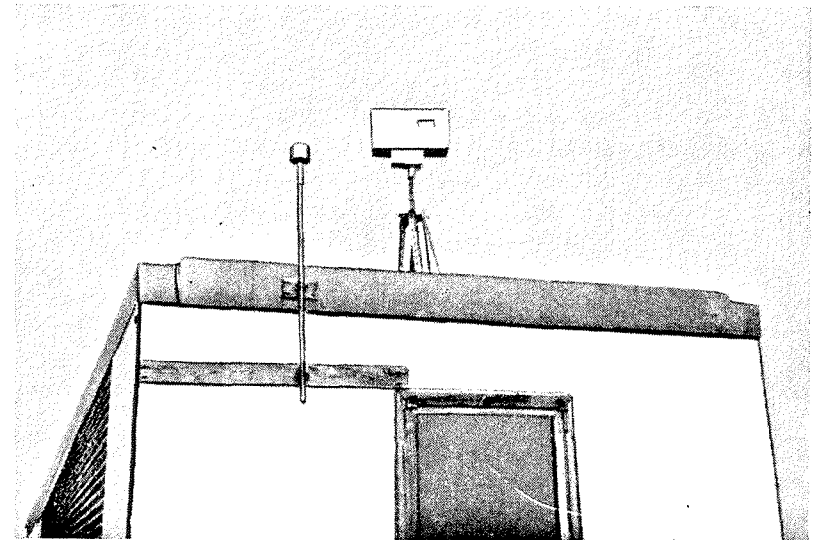


Fig. 3. Apparat til måling af solindfald gennem vinduer.

Indstrålet solmængde gennem lodrette vinduer

Dato:	Øst		Sydøst		Syd		Sydvest		Vest	
k1.	k_g	$\cos \varphi$	k_g	$\cos \varphi$	k_g	$\cos \varphi$	k_g	$\cos \varphi$	k_g	$\cos \varphi$
00										
01										
02										
03										
04		0,824		0,182						
05		0,943		0,431						
06	9	0,997	9	0,649	6					
07	167	0,983	164	0,824	138	0,182	30			
08	420	0,903	379	0,943	396	0,431	181			
09	478	0,760	363	0,997	477	0,649	310			
10	517	0,566	294	0,983	510	0,824	425	0,182	94	
11	549	0,334	183	0,903	494	0,943	517	0,431	236	
12	540	0,078	42	0,760	410	0,997	539	0,649	350	
13	447		0,566	253	0,983	440	0,824	368	0,182	81
14	564		0,334	188	0,903	509	0,943	531	0,431	243
15	530		0,078	41	0,760	402	0,997	529	0,649	344
16	485				0,566	275	0,983	477	0,824	400
17	438				0,334	146	0,903	395	0,943	412
18	167				0,078	13	0,760	127	0,997	167
19							0,566		0,983	
20							0,334		0,903	
21							0,078		0,760	
22										
23										
24										
			1434		2913		3787		3107	1647

Fig. 4. Indstrålet solmængde gennem vinduer med to lag glas.

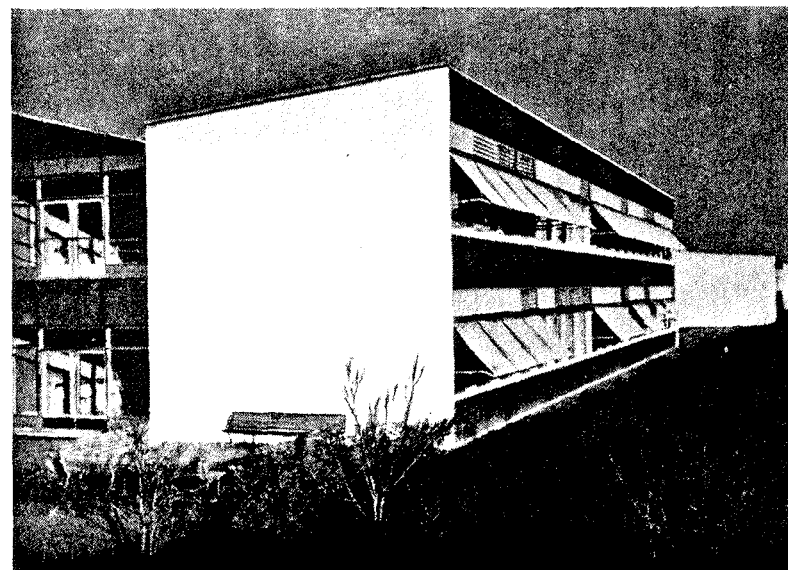


Fig. 5. Solafskærmning, Buddinge skole.

mensionering, er solindfaldet betydeligt. Transmissionstabet gennem 1 m^2 af et dobbeltvindue andrager ved $\div 15^\circ \text{ C}$ udvendig og $+ 20^\circ \text{ C}$ indvendig 110 kcal/h . Til sammenligning kan anføres, at solindfaldet igennem et sydvendt vindue med to lag glas ved middagstid i februar måned er ca. 500 kcal/h .

Udover at dette varmeindfald i rum med store glasarealer bevirker en kraftig stigning af rumtemperaturen vil selve solstrålingen igennem glasset bevirke, at overfladetemperaturen på tøj af personer, der sidder i solen, kan stige til $50-60^\circ \text{ C}$.

For at skaffe et mere pålideligt og omfattende materiale over solindfaldets størrelse igennem forskelligt orienterede vinduer her i landet har Laboratoriet for Varmeisolering bygget og opstillet apparatur til dette formål i Hjortekær, se fig. 3.

Jeg skal ikke omtale måleprincippet nærmere, men blot nævne, at det er den energimængde, der pr. time stråler ind igennem det lille vindue med to lag glas, der registreres automatisk, og at apparatet drejer så det hele tiden følger solen. Herved er det muligt at omregne til forskelligt orienterede vinduer, se fig. 4.

For at formindske ulemperne forsynes glaspartierne med alle tænkelige former for solafskærmning. De mest almindeligt anvendte er, nævnt i rækkefølge efter deres effektivitet, udvendige faste afskærmninger, jalousier eller markiser og indvendige persienner eller gardiner, se fig. 5.

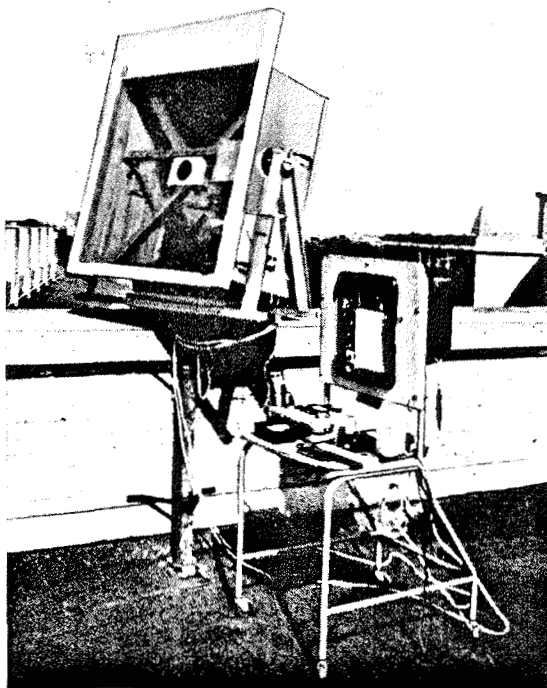


Fig. 6. Apparat til måling af forskellige glastyper varmeabsorption.

Ønsker arkitekten ikke sine facader skæmmet af sådanne foranstaltninger, tyer han til forskellige mere eller mindre kostbare typer på varmeabsorberende glas. Laboratoriet for Varmeisolering har foretaget målinger af effektiviteten for nogle af disse glastyper, se fig 6.

Karakteristikken for to typer glas med indsmeltede mikropersienner fremgår af figur 7.

YDERVÆGGE

Jeg skal nu gå over til det egentlige emne for mit foredrag, ydervægge.

En ydervæg kan opbygges og bliver i praksis opbygget på mange forskellige måder, og de fleste af disse har vel stort set fungeret tilfredsstillende.

Diagram I.

Varmegennemgang gennem Termopanerude og to mikropersienneruder ved varierende Solindfaldsvinkel. Solintensiteten = 1200 kcal/m^2

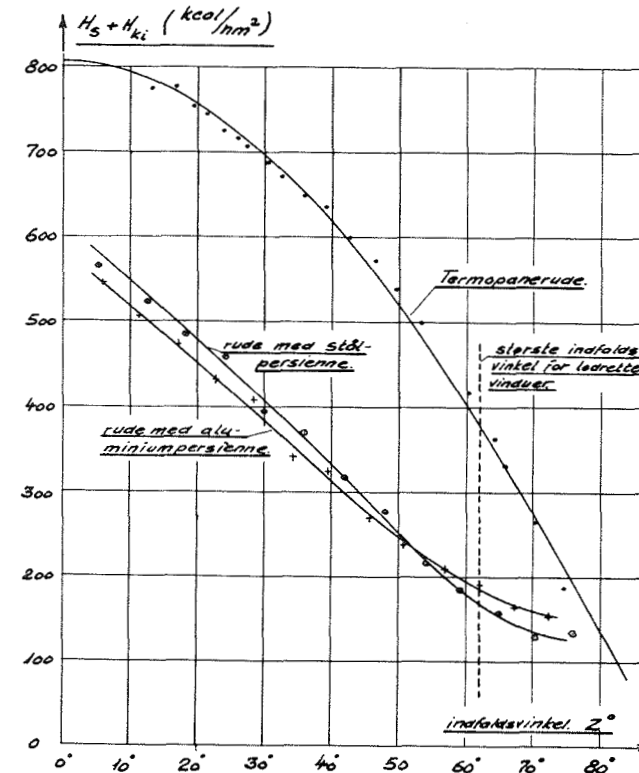


Fig. 7. Karakteristikker af varmeabsorberende glas.

Det tidligere nævnte arbejdsudvalg 2 har i sin rapport opregnet følg. punkter:

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| a) Varmetransmissionsmodstand | g) Varmekapacitet |
| b) Vindtæthed | h) Vejrligets indflydelse |
| c) Vandtæthed | j) Brandsikkerhed |
| d) Fugttransport | k) Dekorative virkemåder |
| e) Kuldebroer | l) Temperaturbevægelser |
| f) Fugtkapacitet | |

Jeg skal kort omtale de syv første punkter og helt udelade de fire sidste punkter.

a) Varmetransmissionsmodstand.

I forslaget til det nye landsbygningsreglement forlanges, at en ydervæg, der er tungere end 100 kg/m², højst må have en k-værdi på $0,85 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h C}}$ svarende til et modstandstal på $1,18 \frac{\text{m}^2\text{h C}}{\text{kcal}}$. Ydervægge, der er lettere end 100 kg/m² må højst have en k-værdi på 0,50 svarende til et modstandstal på 2,0.

Denne lov gælder ikke for teglstensvægge i etageejendomme, for hvilke der kun forlanges, at k-værdien skal være mindre end 1,1.

Disse krav er efter min opfattelse for små, især for teglmurens vedkommende, idet jeg anser en ydervæg med en k-værdi på 1,1 for såvel varmeøkonomisk som hygiejnisk uforsvarlig. Jeg vil derfor gå stærkt ind for, at man frivilligt i sine ydervægskonstruktioner indlægger isoleringslag af en sådan tykkelse, at væggen får den i varmeøkonomisk henseende optimale k-værdi beregnet således, at de årlige driftsudgifter omfattende brændselsforbrug, forrentning og afskrivning af byggeudgift og varmeanlæg samt pladslejen bliver mindst mulig, vel at mærke under forudsætning af, at man i hvert enkelt tilfælde bruger det isoleringsmateriale, som er billigst pr. isoleringsenhed, når dette iøvrigt har de til det pågældende tilfælde nødvendige materialeegenskaber.

For at den teoretisk beregnede k-værdi skal holde i praksis må man være opmærksom på følgende ting:

1. Vinden må ikke kunne blæse igennem isoleringslaget.
2. Kuldebroer må ikke nedsætte transmissionsmodstanden væsentligt.
3. Konstruktionen skal være således opbygget, at der ikke sker ophobning af vand i isoleringen.

Blandt andet med det formål at konstatere hvor god overensstemmelsen er

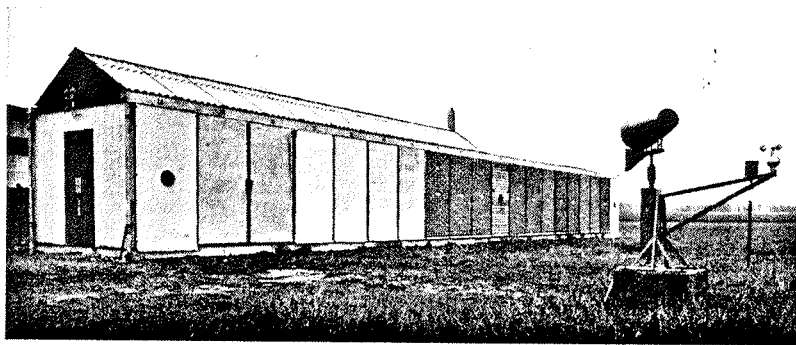


Fig. 8. Prøvehus i Hjortekær.

Ydervægge 1,2 x 2,5 m ² prøvefelter i Hjortekær				16-9-60
tykkelse om		rum vægt kg		
2				
11		1800	11	teglsten 1800
8		1700	8	teglsten 1800
11		1700	11	glasuldfilt 1800
1			1	teglsten 1700
3				
11		1800	11	teglsten 1800
	almindelig opmuret		3	luftrum
			5	Batts
			11	teglsten 1700
			1	kalkpuds
4				
11		1800	11	teglsten 1800
	muret med fyldte fuger		7	Batts
			11	Gasbeton
			1	kalkpuds
5				
11		1800	7,5	Gasbeton
8		1700	12	Batts
11		1700	11	Gasbetonelement
1				
6				
11		1800	23	ubehandlet Gasbeton
8		1700	1	kalkpuds
11				
1				
7				
11		1800	23	2 x Mirapuds
8		1700	1	Gasbeton
11				kalkpuds
1				
8				
11		1800	23	1 x Mirapuds
8		1700	1	Gasbeton
11				kalkpuds
1				
9				
11		1800	10	jernbeton
8		1700	5	Rockwool
11			3	jernbeton
1				
10				
2,5			10	jernbeton
3			5	Piaterm
7			3	jernbeton
2,5				
1				

Fig. 9. Ydervægge, prøvefelter.

imellem de efter Dansk Ingeniørforenings Regler for beregning af varmetab fra bygninger beregnede transmissionsmodstande og de faktiske transmissionsmodstande for en række typiske ydervægskonstruktioner udsat for det naturlige klima, har Laboratoriet for Varmeisolering bygget et prøvehus i Hjortekær, se fig. 8

Prøvevæggene, der måler $1,2 \times 2,5$ m er indsat som felter i husets vest- og østfacade. Hver konstruktion forekommer både i øst- og vestfacaden. Opbygningen af de ialt 18 forskellige prøvevægge fremgår af fig. 9.

Temperaturen i prøvehuset har været holdt på 20°C og fugtigheden på 50 %. Resultatet af sidste vinters målinger har i korthed været, at den hule teglstensmur uden fyld svarer til reglernes, såfremt man benytter λ -værdien svarende til laboratorietør tilstand. Dette resultat må ses på baggrund af, at vi sidste vinter praktisk taget ingen slagregn havde. Målinger fra i vinter tyder dog ikke på, at den slagregn, vi hidtil har fået, har nedsat modstanden væsentlig.

Den målte varmemodstand af de tre letbetonvægge er nogenlunde ens og svarer ret godt til reglerne. Imod forventning er modstanden dog lidt større for væggen med ubehandlet yderside. På forhånd ville man tro, den var størst for den pudsede væg. En bestemmelse af fugtindholdet i væggene stemmer dog godt overens med de målte varmemodstande.

Forklaringen er antagelig, at pudslaget i nogen grad forhindrer udtørringen af den vanddamp, som indefra diffunderer ind i væggen, hvor den kondenserer. Ved større slagregnmængder må pudslaget dog antages at have en gunstig virkning på fugtindholdet.

Varmemodstandene af de 2×2 betonsandwich-elementer svarer ligeledes nogenlunde til de beregnede.

For de hule teglstensmure med fyld gælder, såfremt selve teglmuren regnes at have en varmemodstand som målt for den tomme hulmur, følgende: λ -værdien for stenuld og glasuld stemmer godt nok overens med reglernes tørre λ -værdi på 0,033 for disse materialer. Det gælder også de vægge, hvor hulrummet ikke er helt udfyldt, men hvor der er en gennemgående spalte på et par cm imellem isoleringen og ydervæggen. Det tyder altså ikke på, at der af denne grund opstår konvektionsstrømme i isoleringen, som nedsætter varmemodstanden, således som det undertiden hævdes. λ -værdien for hulmursfyld af ekspanderet glimmer og løse betonklinker stemmer ret godt overens med reglernes værdier, når det anvendes som hulmursfyld, nemlig henholdsvis $\lambda = 0,06$ og $0,09$.

For hulmursfyld af karbamidskum giver varmetabsreglerne ingen værdier, da disse materialer ikke var kendt, da reglerne blev udgivet. De teoretiske λ -værdier i laboratorietør tilstand er $0,028$ ved $+10^{\circ}\text{C}$. Vi har fundet $0,05$. Den procentvis store forskel imellem den teoretiske og praktiske værdi kan for karbamidskumens vedkommende forklares ved det ret store svind ca. 10 %, som giver anledning til revnedannelser, se fig 10.

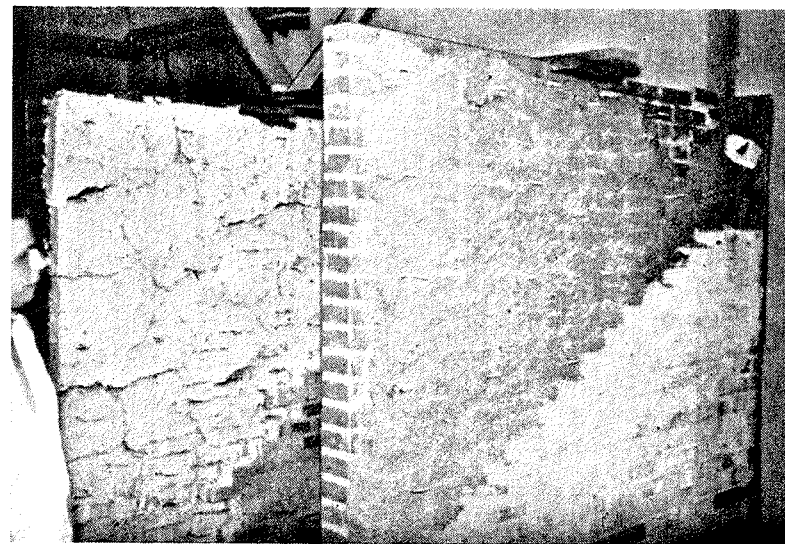


Fig. 10. Karbamidskum og stenuld i hulmur.

λ -værdien er altså noget ringere end for stenuldsfyld, hvor der ikke opstår svind og revnedannelser.

Det næste punkt, jeg skal omtale, er

b) Vindtæthed.

En betingelse for at en ydervæg er brugelig er, at den er yderst vindtæt. Er ydervæggen bygget af elementer, må fugerne naturligvis også være vindtætte. Fugeproblemet vil iøvrigt blive behandlet af civilingeniør Hartmann i næste foredrag, og jeg skal derfor ikke omtale det yderligere.

Opstår der et overtryk på den ene side af en ydervæg, vil lufttrykket være faldende gennem væggen lag i relation til disses lufttæthed. Den samlede lufttæthed skal være så stor, at gennemstrømningen bliver umærkelig. Selv om dette krav tilfredsstilles, er det imidlertid ikke ligegyldigt, hvorledes lufttrykket varierer igennem ydervægskonstruktionens lag. Hensynet til slagregnstæthed og til diffusion gør, at man i mange tilfælde er nødsaget til at gøre det ydre lag ret vindutæt.

Dette vil betyde, at vindens pulsationer har mulighed for at nå ind i isoleringen hvilket kan give anledning til langsgående luftstrømninger gennem grovporøse isolationsmaterialer.

Det er indlysende, at en sådan påvirkning kan nedsætte isoleringsevnen bety-

deligt. Ligeledes vil en såkaldt „pumpeeffekt“ uden egentlig gennemstrømning kunne erstatte den varme luft i isolationsmaterialets porer med kold luft i en sådan grad, at transmissionen påvirkes væsentligt.

Under hensyn hertil kan der være tale om at indskyde et mere vindtæt, men diffusionsutæt lag til beskyttelse af isoleringen. For at modvirke en pumpeeffekt bør laget enten være stiv i sig selv eller afstives ved at klemmes mellem to stive lag, f. eks. en bræddebeklædning og en stiv isoleringsmåtte.

Det næste punkt, jeg skal omtale, er
c) Vandtæthed.

Af en ydervæg kræves ikke egentlig vandtæthed over for hydrostatisk vandtryk; derimod skal den være således opbygget, at slagregn ikke kan trænge ind i konstruktionen, hvor den kan skade isoleringen. Den må naturligvis heller ikke kunne trænge helt igennem væggen og give fugtskader indvendig.

Slagregnen virker dels ved vanddråbernes vandrette bevægelse imod facadens yderside og dels derved, at den vind, der er årsag til slagregnen, fremkalder et overtryk.

Forløbet af lufttrykket igennem facaden er af stor betydning, fordi kun en lufttrykforskel er i stand til at drive større vandmængder igennem fuger eller andre utætheder.

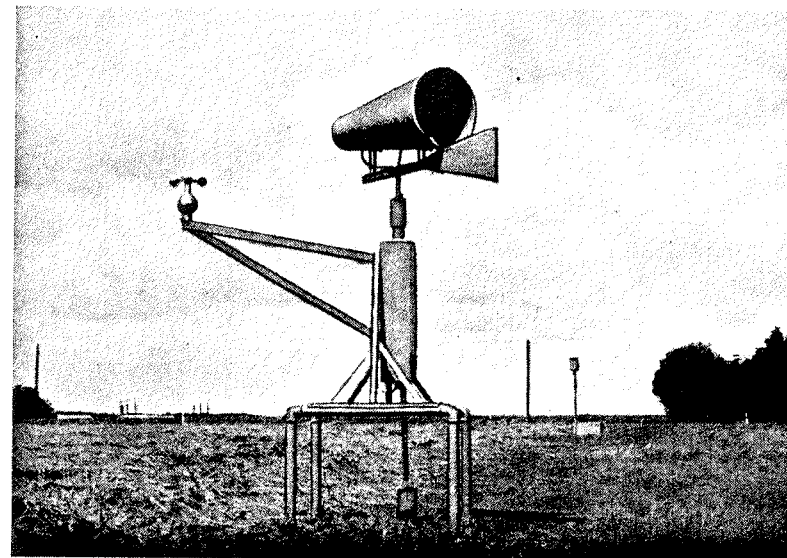


Fig. 12. Måling af slagregn i fri luftstrøm.

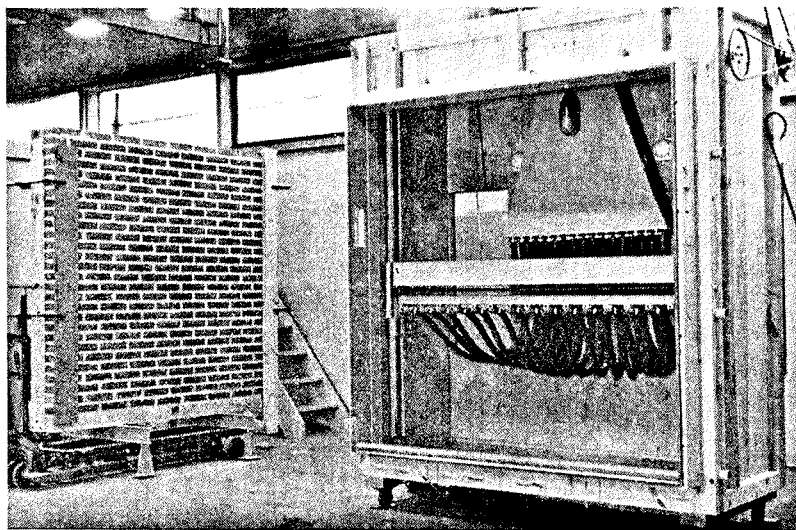


Fig. 11. Slagregnsapparat.

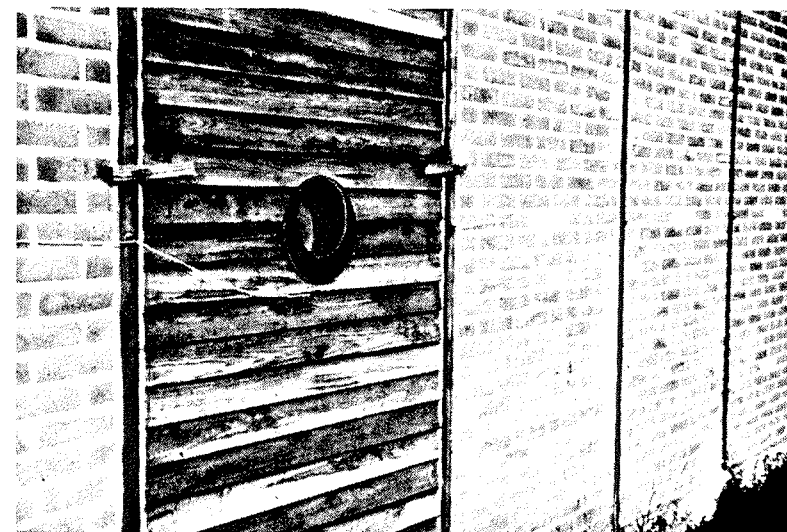


Fig. 13. Måling af slagregn mod facade.

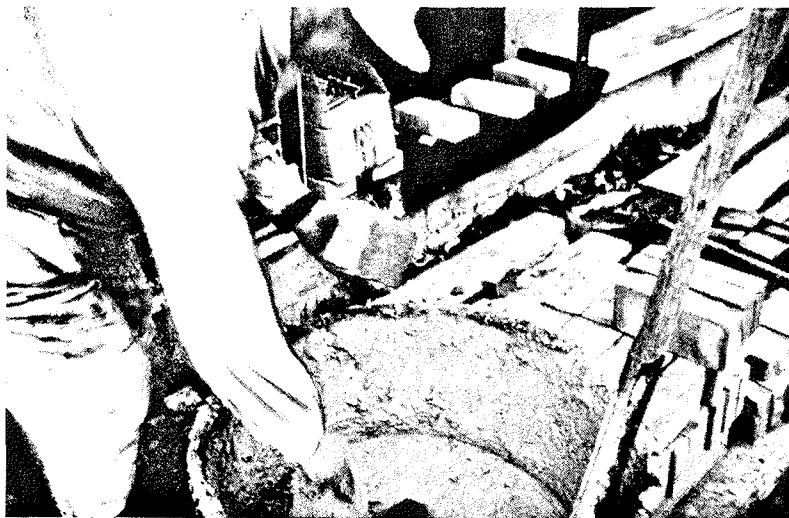


Fig. 14. Opmuring med fyldte fuger.

Beton og de fleste andre moderne facadebeklædningsmaterialer bliver ved slagregnspåvirkning meget hurtigt mættet med vand på overfladen, hvorefter vandet driver ned ad denne som en sammenhængende vandfilm. På de steder, hvor vandfilmen får forbindelse med en utæthed, vil vandet drives igennem med en kraft svarende til lufttrykforskellen. Findes der større åbninger i beklædningen, er en lufttrykforskel udelukket, og da vil der ikke være betingelser for, at vand drives ind i konstruktionen. Har man ikke en betydelig sikkerhed for at kunne opbygge en elementvæg helt vandtæt også i fugerne, bør man af hensyn til slagsregntæthed overveje et konstruktionsprincip bestående af: en ydre, vindutæt „regnskærm“ og mellem denne og isolationen en „vindskærm“, som hindrer pulsationer i isolationslaget.

Ved prøvning af en ydervægskonstruktions tæthed over for slagregn bør man derfor benytte et specielt slagregnsapparat, se fig. 11, hvormed man kan variere såvel regnintensiteten som det overtryk på facaden, som vinden bevirker. Laboratoriet for Varmeisolering har netop taget et sådant apparat i brug.

Apparatet er bygget efter tegninger, som velvilligst er stillet til rådighed af Norges Byggeforskningsinstitut.

Nogle indledende forsøg med $\frac{1}{2}$ -stens vanger viser tydeligt, at vand trænger igennem selv usynlige revner f. eks. de, der opstår, når mureren under opmuringen ved lette slag af murskeen flytter en sten, der har ligget et øjeblik for længe, så den har nået at suge vandet fra mørtelen, der da ikke længere er plastisk.

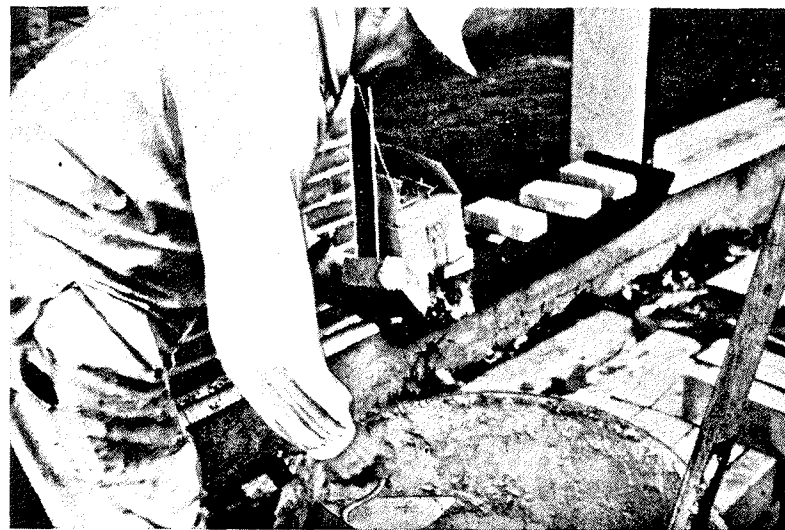


Fig. 15. Normal opmuring.

Derimod trænger der ikke vand igennem selve murstenene eller fugemørtelen.

Der har hidtil ikke været målt slagregn her i landet. Man har derfor været nødt til ud fra nedbørsmålinger og vindstyrkemålinger at beregne sig til de sandsynlige slagregnmængder. Denne metode kan dog næppe anses for at give særlig pålidelige resultater.

Laboratoriet for Varmeisolering har derfor påbegyndt systematiske målinger af slagregn i Hjortekær, dels i en fri luftstrøm, se fig. 12, dels imod en facade, se fig. 13, men kun ca. $1\frac{1}{2}$ m over terrain. Af hensyn til højhusbyggeriet ville det være ønskeligt også at måle slagregnsintensiteten i større højder.

I de godt to år, prøvehuset har eksisteret, er der ikke konstateret regngennemslag på nogle af de 2×18 prøvevægge. Heller ikke i de 2×2 felter, hvor væggen kun består af $\frac{1}{2}$ -sten, muret henholdsvis med fyldte fuger og på normal måde, se fig. 14, 15 og 16.

Det næste punkt, jeg skal omtale, er

d) Frugttransport

De problemer, der knytter sig til fugttransport i bygningselementer, er meget komplicerede og endnu langt fra klarlagt. Da tiden ikke tillader, at jeg går i dybden, må jeg nøjes med en summarisk gennemgang og iøvrigt henvise til civilingeniør Egeskjolds afsnit om fugttransport i Ingeniørforeningens Byggerationaliseringsudvalgs publikation nr. 8.

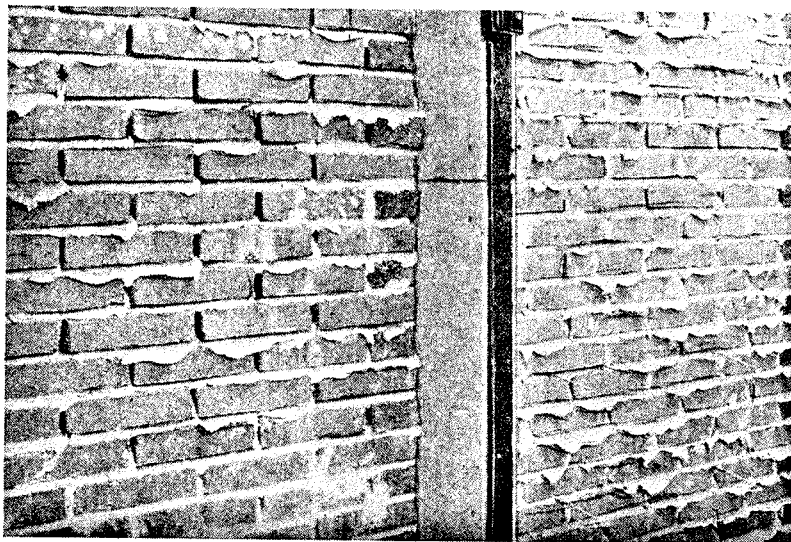


Fig. 16. 1/2 stens vanger med fyldte, henholdsvis ikke fyldte studsfluger.

Fugtbevægelser i byggematerialer kan ske på følgende måde:

A. Transport af vanddamp.

- 1) under påvirkning af forskelle i vanddampens partialtryk (diffusion)
- 2) under påvirkning af forskelle i det totale lufttryk og deraf følgende luftstrømninger.

B. Transport af frit vand.

- 3) under påvirkning af kapillære kræfter
- 4) under påvirkning af forskelle i lufttryk og deraf følgende luftstrømninger.
- 5) under påvirkning af tyngdekraften.

De i praksis forekommende vandbevægelser kan ske under samtlige ovennævnte påvirkninger på een gang.

Opgaven er imidlertid at finde frem til et materialekendskab, der gør det muligt at overse konsekvenserne af vandbevægelserne, så man kan træffe de nødvendige og rigtige foranstaltninger derimod.

Punkt 2 og punkt 4 og 5 har jeg omtalt under vindtæthed og slagregnstæthed. Jeg skal derfor blot nævne, at man skal være forsigtig med at overse punkt 2, vanddamptransport med luftstrømme, da den kan give anledning til betydelige fugtskader, se fig. 17.

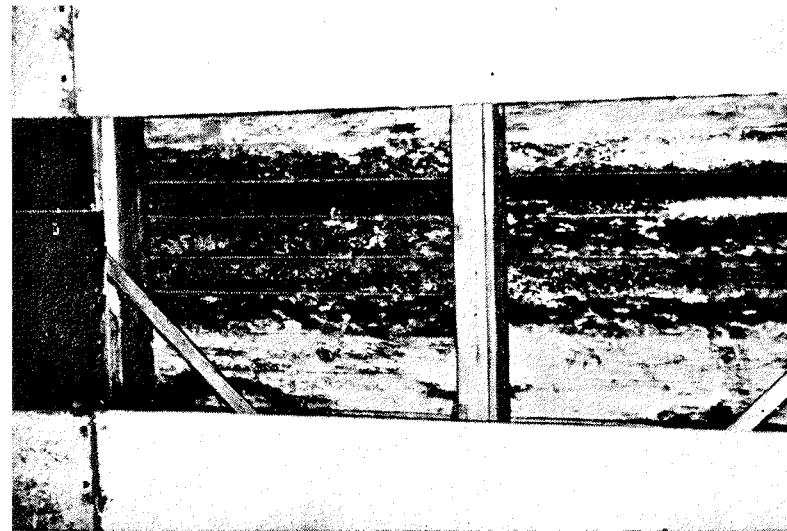


Fig. 17. Fugtskade på grund af kondensation.

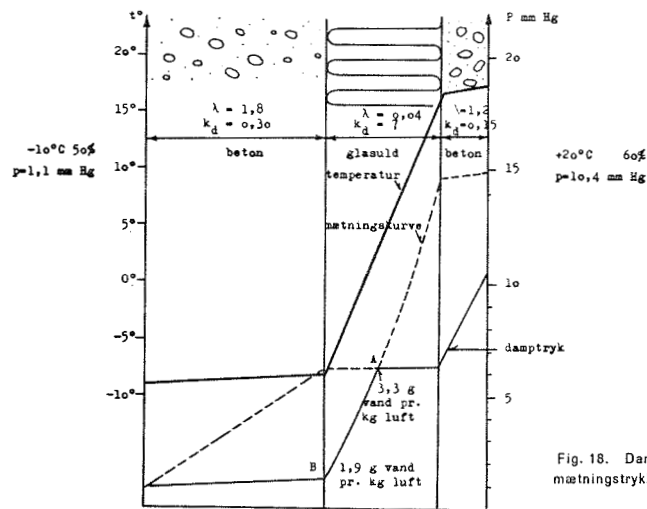
Man må dog gøre sig klart, at disse virkninger kan have betydning for fugttransport ved diffusion og kapillarsugning. F. eks. vil ændringer i fugtighedsindhold og relativt damptryk have en ofte ganske væsentlig indflydelse på diffusionskonstanterne samt på temperatur- og trykforløbet og dermed på forudsætningerne for en idealiseret teoretisk beregning.

For at få hul på problemerne er det imidlertid nødvendigt at udføre en sådan beregning. Denne må derefter suppleres med en bedømmelse af materialer og konstruktion med samtlige 5 virkninger for øje. Jo bedre forudsætninger for beregningen kan fastlægges, med desto større sikkerhed kan man i hvert enkelt tilfælde nå frem til den konstruktion, der er tilstrækkelig god og billigst mulig.

Foreløbig må vi nøjes med den velkendte, men ret grove beregningsmåde, som går ud på at optegne de teoretiske mætningstrykkurver og damptrykkurver for den givne konstruktion, se fig. 18.

På grundlag af disse kurvers beliggenhed i forhold til hinanden må man vurdere, hvor stor risikoen er for, at der vil ske en kondensation inde i konstruktionen, og hvor store vandmængder det drejer sig om. Man må da skønne over, om disse vandmængder vil kunne transporteres ud til overfladerne ved kapillarsugning eller om det vil være nødvendigt at ventilere isoleringen, eventuelt at gøre den indvendige overflade mere damptæt.

I det foreliggende tilfælde (fig. 18) skulle der på strækningen A-B udfældes



På strækningen A-B afgives ca. 0,1 g/m² pr. time

Fig. 18. Damptrykkurve og mætningsstrykkurve for ydervæg

ialt 0,1 g vand pr. time pr. m². I hulrum, der er helt eller delvis fyldt med et isoleringsmateriale med åbne porer, vil denne vand- eller rimmængde slå sig ned på den indvendige side af det ydervægslag.

Det samme forhold kender vi fra et køleskab, hvor rimmen slår sig ned på køleelementet, der er det koldeste sted og ikke på det øvrige indhold, selvom dets temperatur er lavere end dugpunktet i køkkenet. Når man åbner køleskabet vil der ganske vist slå dug ned på indholdet. Men når man igen lukker skabet, vil denne dug hurtigt flytte over på køleelementet.

Når de ikke-stationære forhold tages i betragtning, hvorunder et vægelement fungerer i praksis, er der grund til at formode, at den i eksemplet fundne beskedne vandmængde ved diffusion og kapillarsugning vil kunne forsvinde til det fri igennem den ydre betonskal.

I prøvehuset i Hjortekær er der indsat 2 × 2 vægfelter af den på fig. 18 viste konstruktion, blot med forskellige isoleringsmaterialer, fig. 19.

Efter en længere frostperiode sidste vinter blev de betonpropper, som var monteret i inderskallen, fjernet for om muligt at konstatere rimaflejringer i isoleringen, hvilket viste sig ikke at være tilfældet.

Det næste punkt, jeg skal omtale, er

e) Kuldebroer.

Ved enhver bygningsisolering vil der i praksis fremkomme lokaliteter, hvor varmetransmissionen er væsentlig afvigende fra gennemsnittet. Det kan f. eks. i



Fig. 19. Betonsandwichelementer.

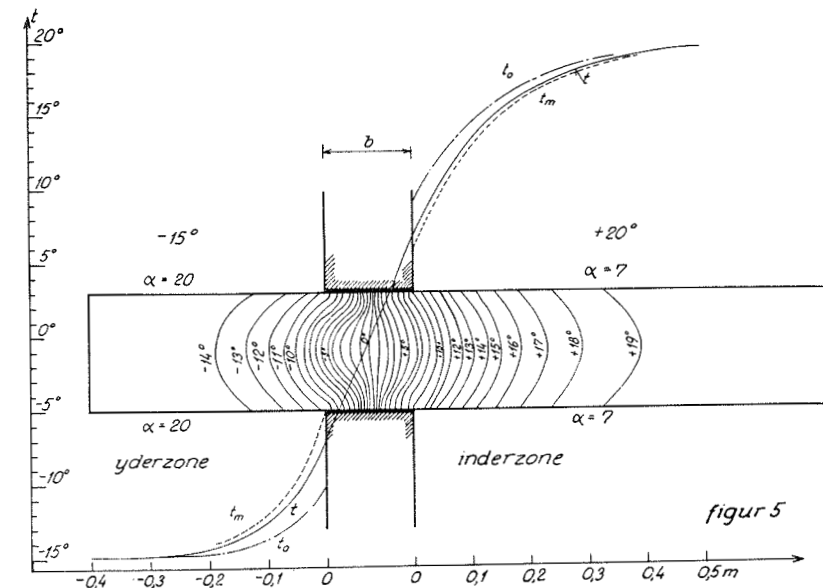


Fig. 20. Kuldebro, jernbetondæk gennem ydervæg.

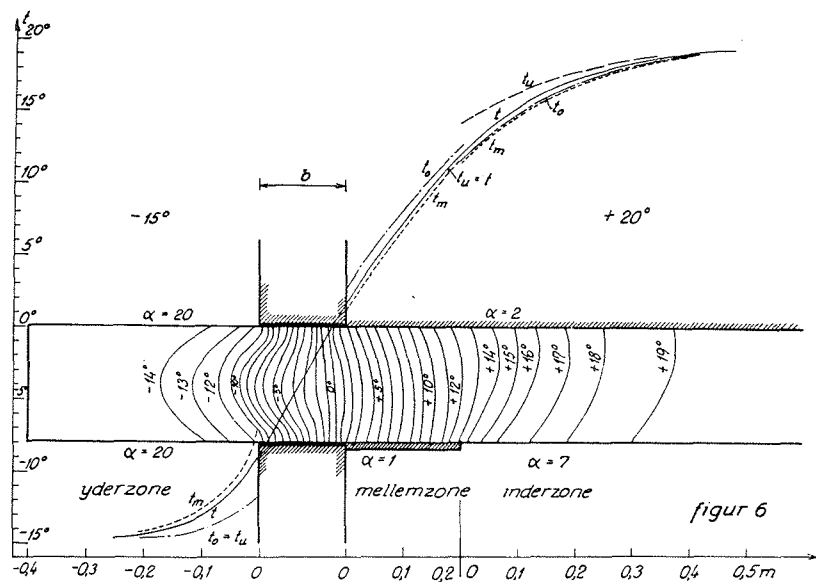


Fig. 21. Kuldebro, jernbetondæk gennem ydervæg. Isolation opsat på dækkets underside.

murede konstruktioner være de små områder udfor fuger, ståltrådsbindere eller lignende. De praktiske følger af sådanne små inhomogeniteter er som regel ringe. Ved transmissionsberegningen kan der foretages en korrektion, og de tværgående varmestrømninger vil almindeligvis resultere i en udjævning af overfladernes temperaturer.

Når der er tale om stor varmestruktion på større områder, taler man om egentlige kuldebroer.

Det er som regel konstruktive krav, der er skyld i disse kuldebroer – f. eks. krav om forsvarlig sammenhæng mellem jernbetondæk og facadedragere eller mellem betonvægge og facadesøjler.

Det er således et problem, der i særlig grad er dukket frem sammen med de senere års byggeri med dæk og vægge af jernbeton, men problemet er også til stede i murede huse med jernbetondæk – f. eks. overalt hvor dækkene bryder ind i den isolerende bagmur, samt bag altanplader.

Ulemperne ved kuldebroerne er bekendte: – dels tappes der direkte en vis varmemængde ud af bygningen, og dels sænkes den indvendige overfladetemperatur så meget, at der kan opstå kondensation og støvaflejring med deraf følgende dannelse af skjolder og vedligeholdelsesmæssige besværligheder.

Dugproblemet har en særlig betydning i det moderne elementbyggeri, hvor

udeladelsen af den utvivlsomt fugtighedsakkumulerende puds kan tænkes at frembyde fare for, at der kan blive tale om direkte dråbedannelser – et fænomen, som under ingen omstændigheder vil kunne tolereres.

Imødegåelsen af kuldebroerne ved opsætning af isolering på de mest udsatte steder er – på grund af de modstridende konstruktive krav – ofte både besværlig og bekostelig. Det vil derfor være af betydning, at man gør sig klart, i hvilket omfang man bør træffe modforanstaltninger, samt hvor stor effektivitet disse har.

Civilingeniør Egeskjold har i den tidligere omtalte rapport nr. 8 foretaget nogle teoretiske beregninger over nogle almindeligt forekommende typer af kuldebroer.

Det første tilfælde svarer til et jernbetondæk, som bryder igennem ydervæggen, se fig. 20.

Det ses, at den kritiske zone med temperatur lavere end 12°C , der svarer til dugpunktet for luft af 20°C og relativ fugtighed 60 %, strækker sig ca. 6 cm ind på loftet.

I det andet tilfælde er der anbragt en 20 cm bred og $\frac{1}{2}$ " tyk isoleringsplade langs med ydervæggen, se fig. 21.

Dette ses at have bevirket, at den kritiske zone nu strækker sig 20 cm ind på loftet.

Af de udførte beregninger kan man drage følgende konklusioner.

1. at såfremt et jernbetondæk eller -væg bryder helt igennem den ydre isolering, er fremspringet i størrelse foran facaden uden væsentlig betydning.
2. at det almindelige middel mod kuldebroer – opsætning af en isolering eller et panel på langs – ikke nedsætter varmetabet i særlig høj grad.
3. at disse foranstaltninger medfører en væsentlig lavere temperatur under isoleringen og dermed en forøget fare for kondensation i denne tillige med at overfladetemperaturen bliver lavere der hvor isoleringsbræmmen afslutter.

Ved kuldebroer af den her omhandlede type bør man sikkert koncentrere sig om at træffe forholdsregler ud fra eet af følgende to principper:

- 1) Fremskaffelse af en overflade, der tåler de lave temperaturer med eventuelle deraf følgende fugtdannelser, uden at der sker skade eller misfarvninger, og som kan tåle afvaskning.
Ved pudsfri betonflader vil det være nærliggende at benytte denne metode.
- 2) Opsætning af et materiale, der besidder evnen til i ekstreme tilfælde at suge fugtigheden fra overfladen som derved skånes for misfarvninger.

Dette materiale må kun have en moderat isolerende virkning, idet en for kraftig isolering vil øge kondensationen inde i materialet og tillige bevirke, at temperaturovergangen på overfladen vil blive for brat, hvor isoleringen holder op.

En anden type kuldebroer er de såkaldte punktformige kuldebroer, som især

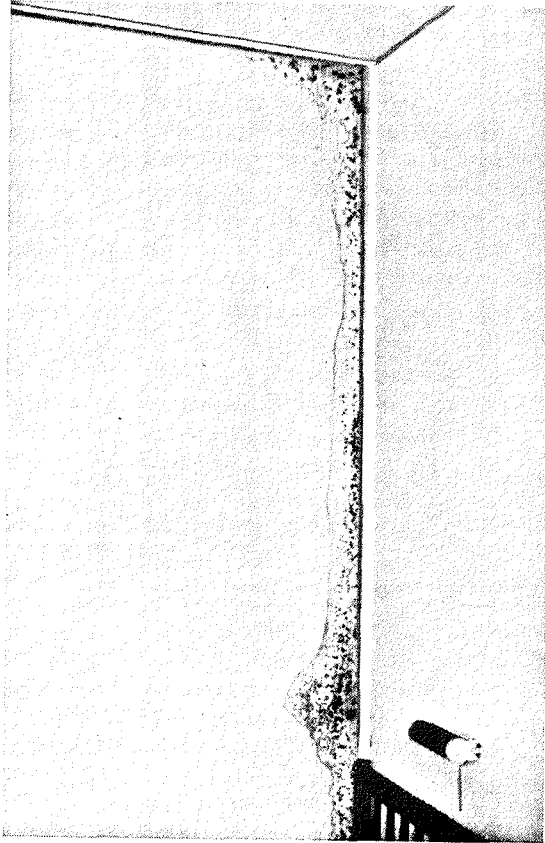


Fig. 22. Virkninger af kuldebroer.

forekommer ved de tredelte sandwichkonstruktioner bestående af et højisolerende materiale imellem et indre og ydre jernbetonlag.

For at bevare sammenhængen og stabiliteten i en sådan konstruktion er det nødvendigt at forbinde de to støbte lag på en eller anden måde. For at undgå en egentlig kuldebro ved en sammenstøbning langs kanten af de to betonplader, forbinder man dem i stedet med et system af ret tætsiddende ståltrådsbindere, der går tværs igennem isoleringslaget.

Disse bindere eller stritter giver ofte anledning til ulemper i form af mørke aftegninger eller pletter.

Civilingeniør Egeskjold har ligeledes regnet på denne form for kuldebroer og har konkluderet, at såfremt det er nødvendigt at forbinde en varm og en kold



Fig. 23. Virkninger af kuldebroer.

plade med stritter, og man vil formindske risikoen for „temperaturpletter“ i den ene af pladerne, skal man sørge for, at strittens indstøbningslængde i den pågældende plade gøres stor, mens den i den anden plade gøres så lille, som det udfra konstruktive krav er muligt.

Sammenfattende må man kunne sige, at kuldebroer af enhver art må undgås, såfremt det overhovedet er teknisk muligt, da de kan give anledning til alvorlige ulemper i de tilfælde, hvor beboervaner medfører unormale høje rumfugtigheder, se fig. 22 og 23.

f) Fugtkapacitet.

Jeg skal ganske kort omtale betydningen af en ydervægs fugtkapacitet.

I almindelighed vil det være ønskeligt med nogen fugtkapacitet af de dele af konstruktionen, hvor der er risiko for kondensation, idet der herved er mulighed for, at de vanddampe, der kondenserer i vinterens løb, kan accumuleres uden at give anledning til synlige ulemper og igen fordampe i sommerens løb.

Af hensyn til nedsættelsen af risikoen for regngennemslag er det også ønskeligt, at den ydre overflade af en væg har nogen fugtkapacitet, således at der ikke straks ved slagregn danner sig en sammenhængende vandfilm på overfladen, fig. 24, som kan trænge ind i revner og fuger.

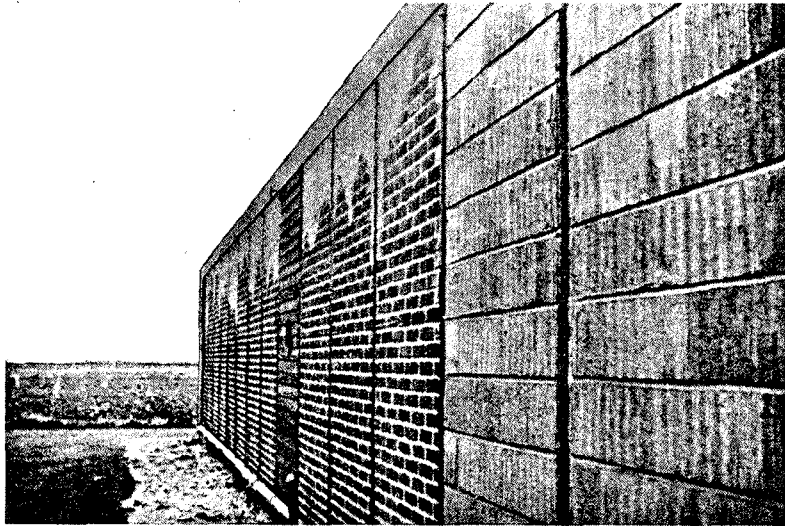


Fig. 24. Vandfilm på ydervægge.

Det sidste punkt, jeg skal omtale, er varmekapaciteten.

Som nævnt i indledningen mener jeg her at kunne fremsætte nye synspunkter.

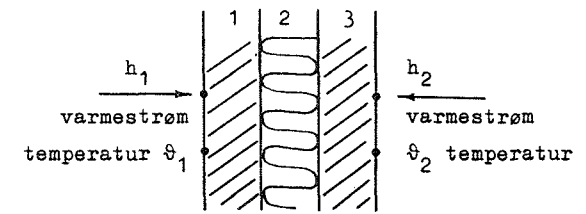
Det er velkendt, at under stationære indvendige og udvendige temperaturforhold spiller en bygnings varmekapacitet ingen rolle. Imidlertid er temperaturforholdene i praksis aldrig stationære, dels fordi vejret ændrer sig, dels fordi varmetilførslen til bygningen almindeligvis nedsættes om natten.

Den indvendige overfladetemperatur på en ydervæg vil derfor svinge op og ned med en døgnrytme. Hvor store udsvingene bliver, afhænger især af væggenes varmekapacitet og varmemodstand, men på en yderst kompliceret måde.

Bliver overfladetemperaturen for lav, kan det dels medføre ubehagelig strålekulde og træk ved ophold i nærheden af væggen, dels under særlig uheldige omstændigheder give anledning til fugtnedslag på overfladen.

Hidtil har man fra myndighedernes side kun stillet krav til ydervæggens varmemodstand eller k -værdi, men ikke til deres varmekapacitet. I det nye landsbygningsreglement stilles der imidlertid, som jeg har nævnt tidligere, større krav til lette vægges varmemodstand end til tunge. Kravene er dog ikke særlig differentierede, idet der kun skelnes imellem vægge tungere og lettere end 100 kg/m^2 .

Efter min opfattelse vil det i mange tilfælde være ønskeligt at kunne angive en ydervægs termiske egenskaber mere præcist end ved dens varmemodstand og varmekapacitet. Især vil det have betydning at kunne afgøre om to forskellige væg-



$$\begin{Bmatrix} \vartheta_2 \\ h_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} A_3 & B_3 \\ C_3 & D_3 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \vartheta_1 \\ h_1 \end{Bmatrix}$$

Transmissionsmatrix for hulmur med fyld
 $k = 0,85$, harmonisk døgnsvingning

Fig. 25. Transmissionsmatrix for ydervæg.

$$\begin{Bmatrix} 12,00 \angle 138^\circ & 1,33 \angle 79^\circ \\ 108,10 \angle -162^\circ & 12,00 \angle 138^\circ \end{Bmatrix}$$

konstruktioner er termisk ækvivalente, altså ikke alene om de er modstandsækvivalente.

Termisk ækvivalente ydervægge vil jeg definere som ydervægge, hvis indvendige overfladetemperatur varierer på samme måde, når de udsættes for de samme ydre termiske påvirkninger.

En vægs termiske egenskaber er entydig fastlagt ved dens transmissionsmatrix, se fig. 25, som bestemmer sammenhængen mellem varmestrøm og temperatur på væggenes to overflader.

Elementerne i matricen er komplekse tal, og den til matricen hørende determinant har værdien 1.

For en hulmur med fyld har jeg beregnet de på figuren viste værdier, hvilket tager ca. 8 timer.

Betingelsen for at to ydervægge er termisk ækvivalente er, at deres transmissionsmatrixer er ens. På grund af at et byggematerials isoleringsevne er på det nærmeste omvendt proportional med dets varmekapacitet viser det sig, at det i praksis ikke er muligt at angive to termisk ækvivalente ydervægskonstruktioner, uden at de bliver identisk ens.

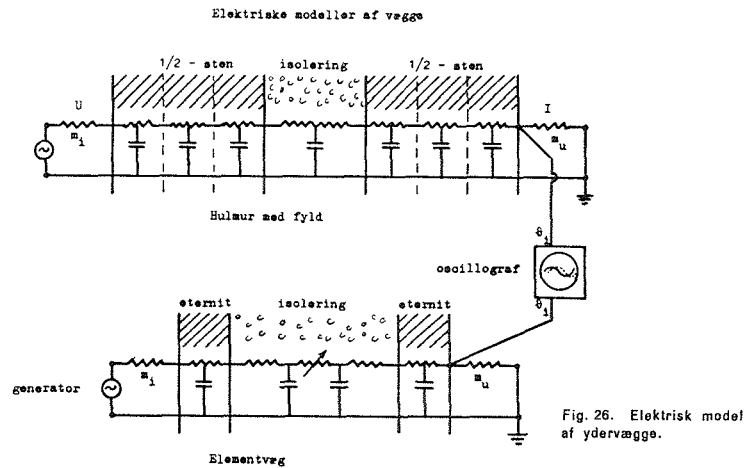


Fig. 26. Elektrisk model af ydervægge.

Tvunget heraf har jeg set mig nødsaget til at indføre begrebet „næsten termisk ækvivalente“ vægge.

To vægge defineres som næsten termisk ækvivalente, når de indvendige overfladetemperaturer når ned på samme værdi, når væggen udsættes for de samme ydre termiske påvirkninger.

Da materialekonstanter og lagtykkelser indgår implicite i transmissionsmatrixens elementer, er det ikke muligt at beregne sig til en væg, der er næsten termisk ækvivalent med en anden.

Der er, såvidt jeg kan se, ingen anden udvej end at benytte sig af analogien mellem varmestrømme og elektriske strømme og ved hjælp heraf at lave elektriske modeller af ydervæggene og så prøve sig frem med disse.

Det lyder måske ret kompliceret, men er i virkeligheden forholdsvis simpelt.

En elektrisk model fremstilles på den måde, at man inddeler de enkelte lag i væggen i et passende antal sektioner afhængig af den nøjagtighed, man ønsker. Hver sektion bliver i modellen repræsenteret af en modstand og en kapacitet. En model af en hulmur med fyld kan f. eks. se ud som på fig. 26, hvor der også er vist modellen af en elementvæg. Foruden at det er meget nemmere og billigere at arbejde med el-modeller end med termiske modeller, opnår man den fordel at kunne ændre tidsskalaen f. eks. gøre den 360.000 gange hurtigere svarende til, at 1 time i det termiske system svarer til 1/100 sek i det elektriske system.

Ønsker vi nu at bestemme den tykkelse, som isoleringen i elementvæggen skal have, for at væggen skal være næsten termisk ækvivalent med hulumuren, påtrykker vi spændingsvariationer, for hvilke væggene skal være ækvivalente. Samtidig måles spændingsvariationerne på det sted i modellen, der svarer til den

indvendige overflade. Den søgte isoleringstykkelse bestemmes da ved at dreje på den modstand i modellen, som repræsenterer isoleringslaget, hvis varmekapacitet man med god tilnærmelse vil kunne se bort fra, indtil spændingen på elementvæggens overflade svinger imellem de samme værdier som på hulumurens overflade.

For simpelhedens skyld er her påtrykt rene sinussvingninger, hvilket ikke indebærer nogen principiel indskrænkning i resultatets gyldighed, idet jo som bekendt enhver i praksis forekommende variation kan sammensættes af rene sinussvingninger ved harmonisk analyse. Blot må man så erindre, at to vægge, der er termisk ækvivalente ved en frekvens, ikke er det ved andre frekvenser. Indenfor husbygningsteknikken vil det være naturligt at vælge den frekvens, der svarer til en døgnrytme.

Under disse forudsætninger finder vi, at den til hulumuren ækvivalente elementvæg skal have en isoleringstykkelse af 14 cm mineraluld.

Medens k -værdien for hulumuren er 0,85, bliver k -værdien for elementvæggen 0,28.

Til afslutning vil jeg gerne fremhæve, at selvom vor viden om varme- og især fugttransport i ydervægge endnu er meget begrænset, er der alligevel ingen undskyldning for ikke at kunne konstruere ydervægge, der i praksis vil kunne fungere fuldt tilfredsstillende.