



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



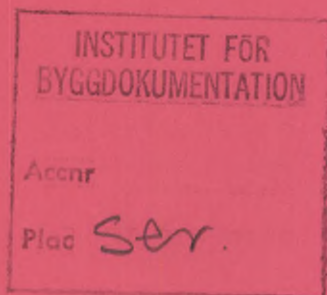
Rapport

R69:1989

**Sandwichelement av
uretancellplast**

**Ytskiktets inverkan på förändringen av
värmemotstånd med tiden**

Jan Isberg



R
A14

Bygghforskningsrådet

R69:1989

SANDWICHELEMENT AV URETANCELLPLAST

Ytskiktets inverkan på förändringen
av värmemotstånd med tiden

Jan Isberg

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 870544-3
från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen
för husbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

REFERAT

Avsikten med det aktuella projektet var att genom uppmätning av värmemotstånd på 11 år gamla väggelement, isolerade med uretancellplast, göra en bedömning av om normala byggskivor förhindrar "åldring" av cellplasten.

Mätningarna visar att elementen har samma värmemotstånd idag som när elementen tillverkades. Trots detta kan man inte dra den generella slutsatsen att elementens skivor förhindrat luftinträning i cellplasten, då en närmare analys av kärnan i ett av elementen visar att värmeledningsförmågan för denna inte överensstämmer med egenskaperna för ett nytillverkat material.

I rapporten redovisas även mätningar från uretanelement med 25 μ m tjock al-folie. Försöken visar att denna folie inte förhindrar "åldringen" av elementen.

Försök på provstycken med och utan "gjuthud", visar att denna kan påverka luftinträningen och därmed förändringen av ledningsförmågan med tiden.

I Bygghörsningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R69:1989

ISBN 91-540-5070-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1989

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
FÖRORD	
1	5
INLEDNING	
2	5
URETANCELLPLAST UTAN YTSKIKT	
2.1	5
Förändring av ledningsförmågan med tiden	
2.2	9
Utdiffusion av $CFCl_3$	
3	10
YTSKIKTENS INVERKAN PÅ URETANCELLPLASTELEMENTS FÖRÄNDRINGEN AV VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGAN MED TIDEN	
3.1	11
Inledande laboratorieförsök	
3.1.1	11
Teoretisk betraktelse	
3.1.2	16
Laboratorieförsök	
3.1.3	23
Inverkan av gjuthud	
3.2	25
Ytskikt av folier	
3.2.1	27
Laboratorieförsök med åldring av uretan- cellplast klädd med al-folie på båda sidor	
4	29
ÅLDRING AV ELEMENT UNDER VERKLIGA FÖRHÅLLANDEN	
4.1	31
Elementtyper och provningsbetingelser	
4.2	35
Mätningar	
4.2.1	37
Bestämning av värmemotstånd med värmeflödes- mätare	
4.2.2	52
Bestämning av värmemotstånd med hjälp av mätlåda	
4.3	66
Resultat från värmemotståndsmätningarna av elementen vid fältstationen	
4.4	74
Värmeledningsförmåga för uretankärnan hos elementen vid fältstationen	
4.5	80
Slutsatser från mätningarna vid fältstationen	
	85
SAMMANFATTNING	
	90
LITTERATUR	
	93
Bilaga 1	
	98
Bilaga 2	

Beteckningar

A	Area	[m ²]
a	Mätdelens längd	[m]
b	Mätdelens bredd	[m]
B ₀	Permeabilitet	[m ²]
c	Specifik värmekapacitet	[J/kg °C]
D	Diffusionskoefficient	[m ² /s]
d _φ	Celldiameter	[m]
g	Transporterad fuktmängd	[kg/m ² s]
G	" gasmängd	[m ³ /s]
k	Konstant	
l	Fria medelväglängden	[m]
ℓ	Provtjocklek	[m]
M	Molekylvikt	
p	Tryck	[Pa]
q	Värmeflödestäthet	[W/m ²]
R	Värmemotstånd	[m ² °C/W]
R	Allmänna gaskonstanten	[Nm/kmol K]
T	Temperatur	[K]
t	Tid	[s]
U	Spänning	[mV]
v	Ånghalt	[kg/m ³]
x	Lägeskoordinat	[m]
y	Molandel	
Δ	Differens	
η	Dynamisk viskositet	[Ns/m ²]
η	Temperatur	[°C]
λ	Värmeledningsförmåga	[W/m °C]
μ	Diffusionsmotståndsfaktor	
ρ	Densitet	[kg/m ³]
ν	Molekylens medelhastighet	[m/s]
Φ	Värmeflöde	[W]
φ	Läckflöde	[W]

Index

f Flödesmätare
k Kalla sidan
v Varma sidan

CFCl_3 Triklorfluormetan
 CF_2Cl_2 Diklordifluormetan
 CO_2 Koldioxid
 N_2 Kvävgas
 O_2 Syrgas
PUR Uretancellplast

FÖRORD

Föreliggande rapport har utförts vid Chalmers tekniska högskola, avdelningen för husbyggnadsteknik, som står under ledning av professor Lars-Erik Larsson. Rapporten behandlar bl a bestämning av värmotstånd vid olika tidpunkter för sandwichelement. De första av dessa mätningar, som redovisas i KAP. 4, har tidigare rapporterats i Publ. 77:14 från avd för husbyggnadsteknik.

Ett tack riktas till personalen vid avd för husbyggnadsteknik, som "ställt upp" på ett entusiastiskt sätt vid projektets genomförande. Ett tack riktas även till de företag, AB Bofors, Syntes AB och V Sally Oy, som ställt material och kunskap till förfogande.

Slutligen riktas ett tack till Sten Flodin vid Byggforskningsrådet, som genom anslag gjort detta projekt möjligt.

Jan Isberg

1 INLEDNING

Cellplaster med sluten cellstruktur, där cellerna vid tillverkningen fylls med en gas vars värmeledningsförmåga är lägre än luftens, kommer att få en successivt förhöjd värmeledningsförmåga med tiden. Hur denna förändring sker är för uretancellplast och extruderad styrencellplast med konventionella drivgaser som triklorfluormetan resp diklordifluormetan idag relativt välkänt, se exempelvis Isberg (1988). De modeller som presenteras förutsätter emellertid rena skivor utan täckande ytskikt. Ser man på hela byggelement klaras rena sandwichelement med ytskikt av helt diffusionstäta ytskikt typ stål och aluminiumplåt, men för element med ytskikt av normala byggskivor som gips- och spånskivor är kunskapen om långtidsegenskaper bristfällig.

Bland de arbeten som utförts på element med ytskikt kan nämnas Larsson (1987) och Tveit (1984). Larsson som undersökt element med al-folie resp glasfiberarmerad polyester som ytskikt, visar att en liten förhöjning av värmeledningsförmågan uppträder vid den förstnämnda typen, medan ytskikt av armerad polyester givit helt konstanta värden på elementens värmeisolerande förmåga. Slutsatsen av Tveits arbete sammanfattas: "Åldringen kan försinkes og eventuellt forhindras ved en mer eller mindre tett inkapsling av materialet. En subjektiv vurdering av effekten av forskjellige overflatebehandlinger er vanskelig, bortsett fra tette metalloverflater".

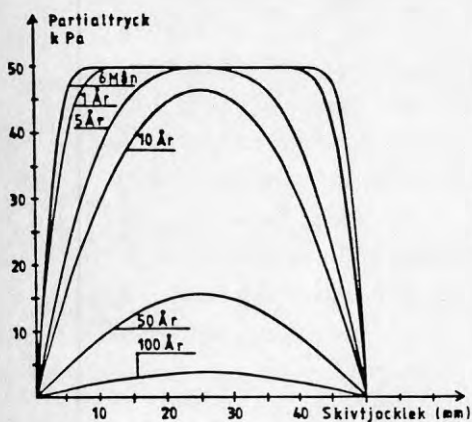
2 URETANCELLPLAST UTAN YTSKIKT

2.1 Förändring av ledningsförmågan med tiden

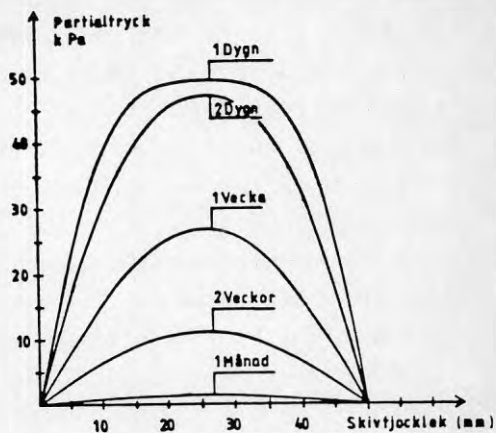
Vid tillverkning av uretancellplast används ett blåmedel, normalt CFCl_3 , som stannar kvar i cellerna om cellstrukturen är sluten. Det är denna gas som ger uretancellplasten dess goda värmeisolerande förmåga. Genom att koncentrationen av CFCl_3 är låg i luften kommer emellertid cellväggarna att utsättas för en stor partialtrycksdifferens. Risken är uppenbar att CFCl_3 -

gasen kommer att diffundera ut och luft diffundera in. Ett sådant gasutbyte skulle drastiskt försämra uretancellplastens värmeisolerande förmåga.

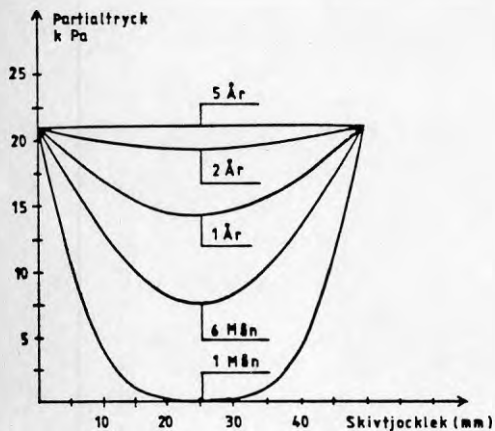
Vid betraktande av de olika aktuella gasernas möjligheter att diffundera genom cellväggarna, finner man stora skillnader i transporthastigheter. I FIG. 2.1 från Isberg (1985) visas partialtrycksfördelning vid några olika tidpunkter för en 50 mm tjock skiva av uretancellplast. I figuren har antagits viss vattentillsats vid tillverkningen, så att ursprungligt gasinnehåll i cellerna är 50% CFCl_3 och 50% CO_2 .



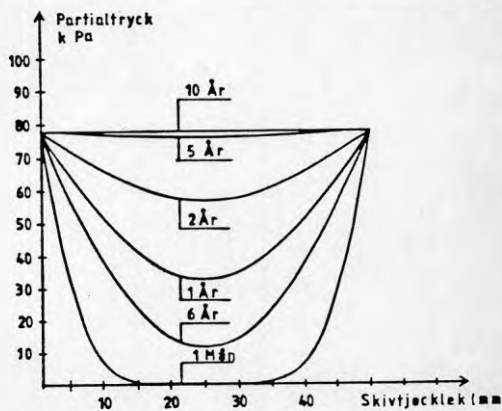
Partialtrycksfördelning CFCl_3 i en 50 mm tjock uretancellplastskiva. Ursprungligt partialtryck i cellerna är 50 kPa CFCl_3 . Koncentrationen CFCl_3 utanför cellplasten är hela tiden 0. Diffusionskoefficient $2,3 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$.



Partialtrycksfördelning CO_2 i en 50 mm tjock uretancellplastskiva. Ursprungligt partialtryck i cellerna är 50 kPa CO_2 . Koncentrationen CO_2 utanför cellplasten är hela tiden 0. Diffusionskoefficient $3,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.



Partialtrycksfördelning O_2 i en 50 mm tjock uretancellplastskiva. Ursprungligt partialtryck i cellerna är 0 kPa O_2 . Partialtrycket O_2 utanför cellplasten är hela tiden 21 kPa. Diffusionskoefficient $1,1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$.



Partialtrycksfördelning N_2 i en 50 mm tjock uretancellplastskiva. Ursprungligt partialtryck i cellerna är 0 kPa N_2 . Partialtrycket N_2 utanför cellplasten är hela tiden 78 kPa. Diffusionskoefficient $6,3 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$.

FIG. 2.1 Gasfördelning i en 50 mm tjock PUR-skiva vid olika tidpunkter. Isberg (1985).

Av figuren framgår att utdiffusionen av CFCl_3 sker mycket långsamt jämfört med indiffusion av O_2 och N_2 . Detta innebär att det vid normala skivtjocklekar och rimliga livslängder är framförallt indiffusion av luft som är av intresse, när det gäller att betrakta förändringen av värmeledningsförmågan med tiden. Utdiffusion av CFCl_3 går så långsamt att den ur värmeknisk synpunkt är försumbar. I FIG. 2.2 visas förändringen av värmeledningsförmågan med tiden för en 100 mm tjock skiva, där dels diffusionskoefficienter enligt FIG. 2.1 använts, dels där all CFCl_3 antas bibehållas i cellerna. Produkten antas vara 100% CFCl_3 -blåst och vid beräkningen av värmeledningsförmågan befinna sig i ett klimat med $+20^\circ\text{C}$ på ena sidan och $\pm 0^\circ\text{C}$ på den andra. Detta senare antagande medför en begränsning i CFCl_3 -mängden i gasfas beroende på mättnadskurvan för denna gas, se närmare Isberg (1988).

Värmeledningsförmåga

($\text{W} / \text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$)

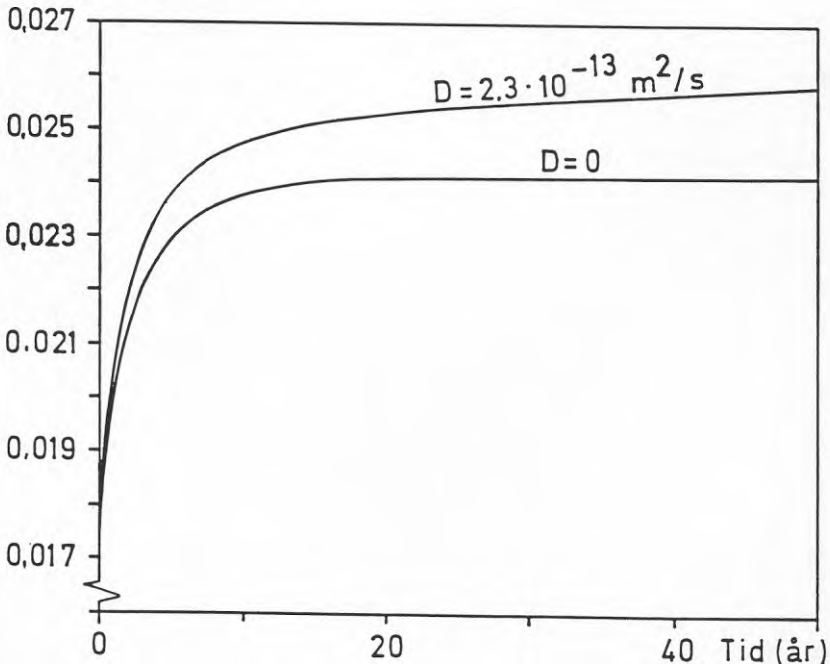


FIG. 2.2 Förändring av värmeledningsförmåg med tiden om hänsyn togs till utdiffusion av CFCl_3 resp om all CFCl_3 antages förbli kvar i cellerna under hela livstiden.

Av figuren framgår att utdiffusionen av CFCl_3 endast motsvarar ca 7% förhöjning av värmeledningsförmågan vid 50 år. Som jämförelse kan nämnas att skillnad i celldiameter mellan olika uretancellplaster kan ge upphov till grundvärden hos den färskva produkten som väl överstiger denna skillnad. Resultaten i figuren får inte användas generellt, utan kurvorna gäller endast med de angivna förutsättningarna dvs tjocklek 100 mm, 100 kPa CFCl_3 från början, diffusionskoefficient $2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ samt $\pm 0^\circ\text{C}$ resp $+20^\circ\text{C}$ på skivans ytor. Vid mindre skivtjocklekar kommer skillnaden att öka ner till skivtjocklek 30 mm för att därefter bli konstant.

2.2 Utdiffusion av CFCl_3

Även om man utgående från FIG. 2.2 kan säga att utdiffusionen av CFCl_3 , vid realistiska tjocklekar, har liten inverkan på produkten ur värmeteknisk synpunkt är det trots detta inte säkert att man helt kan bortse från denna utdiffusion. Här måste göras en bedömning om den mängd CFCl_3 som trots allt lämnar cellerna kan accepteras ur miljösynpunkt. Vid detta ställningstagande måste även hänsyn tagas till om och hur cellplasten skall tillvaratagas, då den inte längre används. I FIG. 2.3 har mängden utdiffunderad CFCl_3 uppritats som funktion av tiden för några uretancellplastskivor med olika tjocklek. Vid beräkningen har antagits 100 kPa CFCl_3 från början och $2,3 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ som diffusionskoefficient för CFCl_3 .

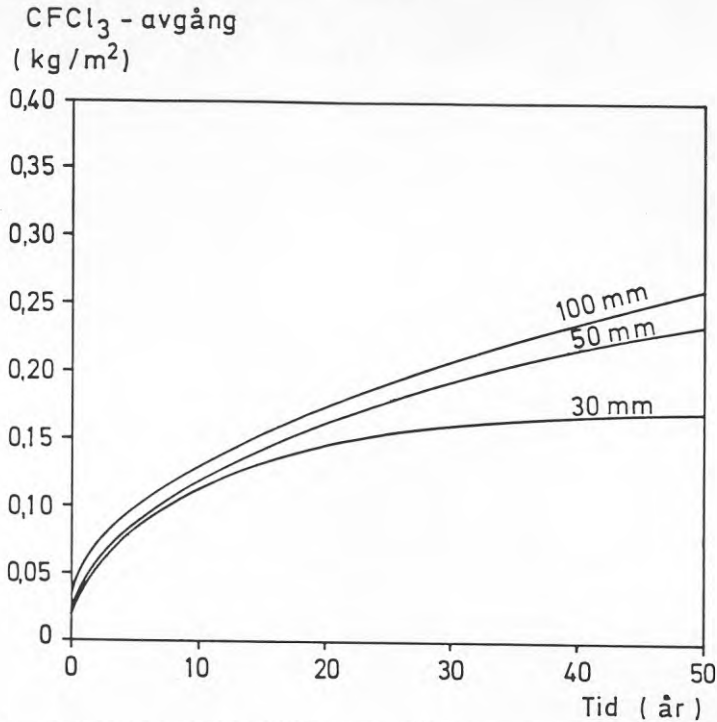


FIG. 2.3 Avgiven mängd CFCl₃ per m² för uretancellplastskivor med olika tjocklek.

3

YTSKIKTENS INVERKAN PÅ URETANCELLPLASTELEMENTS
FÖRÄNDRING AV VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA MED TIDEN

För att bibehålla den freonblåsta uretancellplastens utomordentliga värmetekniska egenskaper, måste som framgår av FIG. 2.2 luften förhindras att tränga in i cellerna. Ett sätt att åstadkomma detta är diffusionstäta ytskikt. Här avses då med diffusionstätta, att de skall vara täta för syre och kväve och inte som normalt när man använder detta begrepp inom byggnadstekniken täta för vattenånga. Diffusionstättningen kan tänkas ske enligt två skilda metoder. Antingen räcker det ytskikt som normalt ändå måste finnas på elementets ytor såsom gipsskivor och spånskivor, eller också måste man med exempelvis någon typ av folie införa en speciell diffusionstättning.

3.1 Inledande laboratorieförsök

3.1.1 Teoretisk betraktelse

För vanliga skivmaterial inom byggnadstekniken finner man i litteraturen huvudsakligen två materialparametrar direkt hänförliga till gasgenomgång, gaspermeabilitet och ånggenomsläpplighet.

Värden på gaspermeabilitet återfinns exempelvis i Kronvall (1980). Variationen i värden mellan olika källor är mycket stor, men normala skivmaterial förefaller ligga i området $B_0 = 1 \cdot 10^{-15} - 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$. Gasgenomgång utgående från värden på permeabilitet förutsätter att det finns en totaltrycksdifferens över skivan, se Ekv. 3.1.

$$G = \frac{B_0}{\ell} \cdot \frac{A}{\eta} \cdot \Delta p \quad \dots (3.1)$$

G	= volymflöde	$[\text{m}^3/\text{s}]$
B_0	= permeabilitet	$[\text{m}^2]$
A	= area	$[\text{m}^2]$
η	= dynamisk viskositet	$[\text{Ns}/\text{m}^2]$
Δp	= totaltrycksdifferens	$[\text{Pa}]$

Trots att det är tveksamt om en totaltrycksdifferens någonsin kommer att uppträda över en skiva som är ytskikt i ett sandwichelement, kan det vara intressant att jämföra storleksordningar på gasdiffusion i en uretancellplast och gasströmning i ett skivmaterial. Av Fig. 2.1 framgår att en 50 mm tjock skiva luftfylls under storleksordning 2 år. Detta innebär då att ett eventuellt ytskikt på var sida skall passeras av storleksordning $0,04 \text{ m}^3$ luft per m^2 skivmaterial under dessa år.

Beräknar man den tid ett sådant flöde tar vid det lägsta av ovan angivna B_0 värden, en ytskiktstjocklek av 10 mm och en

tryckdifferens endast 10 kPa ger detta 0,3 timmar. Resultatet borde omedelbart säga att ytskiktens genomsläpplighet är så stor att man helt kan bortse från denna typ av ytskiktets inverkan på gasutbytet. Slutsatsen är emellertid inte invändningsfri.

Studerar man i FIG. 2.1 de olika gasernas partialtryck vid olika tidpunkter, finner man att totaltrycket, dvs summan av partialtrycken kommer att variera med tiden, se FIG. 3.1.

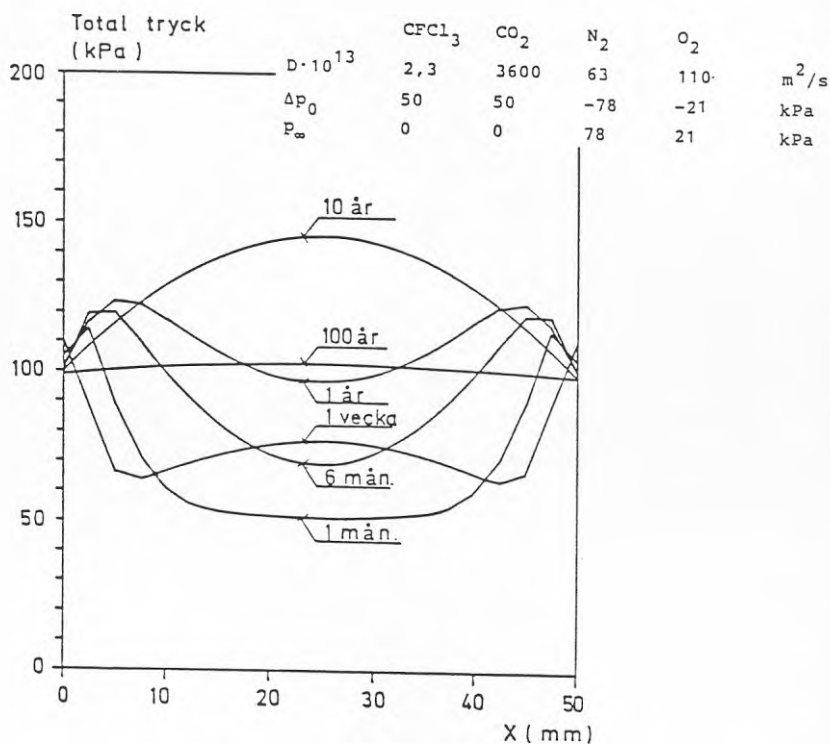


FIG. 3.1 Totaltrycksfördelning i en 50 mm tjock uretan-cellplastskiva.

En tid efter tillverkning, då CO_2 -gasen hunnit diffundera ut, men innan luften hunnit diffundera in, kommer stora delar av

cellerna att vara utsatta för ett undertryck. Då luften diffunderat in fullständigt, men innan CFCl_3 -gasen diffunderat ut kommer cellerna i stället att ha ett övertryck. Då man studerar ytskikts inverkan måste man emellertid hålla i minnet att dessa tryckvariationer beror på en diffusionsprocess, där partialtryck alternativt koncentrationer är potential. För ett relativt gasgenomsläppligt skikt, där totaltryck i stället är drivkraft, kan aldrig en sådan tryckdifferens uppstå.

Enda möjligheten för en totaltrycksdifferens över ett ytskikt är att ytskiktet i sig har stor skillnad mellan diffusions-egenskaper för olika gaser och samtidigt låg permeabilitet. Eftersom det därför är osannolikt att en totaltrycksdifferens över skivorna någonsin kommer att uppträda, är det förmodligen snarare diffusionsegenskaperna för de olika gaserna i de aktuella skivorna som kommer att vara styrande för skivornas inverkan på gasutbytet.

Värden på diffusion av olika gaser genom vanliga skivor inom husbyggnadsverksamheten saknas emellertid idag nästan fullständigt.

Eventuellt skulle en uppfattning om gastransporter erhållas genom en jämförelse med diffusion av vattenånga genom ett material. Denna transport brukar tecknas

$$g = - \frac{D}{\mu} \frac{dv}{dx} \quad \dots (3.2)$$

där g = transporterad fuktmängd $[\text{kg}/\text{m}^2]$

D = diffusion av vattenånga i stillastående luft $[\text{m}^2/\text{s}]$

μ = diffusionsmotståndsfaktor

$\frac{dv}{dx}$ = ånghaltsgradient i flödets riktning $[\text{kg}/\text{m}^4]$

Diffusionstalet för en enskild gas i en gasblandning kan allmänt tecknas, Wallden (1977)

$$D = \frac{l \cdot \nu}{3} \quad \dots(3.3)$$

l = fria medelvåglängden [m]

ν = molekylens medelhastighet [m/s]

Vid normalt tryck och temperatur kan fria medelvåglängden antas vara konstant $l = 2 \cdot 10^{-7}$ m. Molekylens medelhastighet kan tecknas

$$\nu = \sqrt{\frac{8 RT}{\pi \cdot M}} \quad \dots(3.4)$$

R = allmänna gaskonstanten [Nm/kmol K]

T = temperatur [K]

M = molekylvikt

Detta innebär att diffusionen av en godtycklig gas genom ett material kan tacknas som kvoten mellan en konstant och en gasberoende och en materialberoende del.

$$g = \frac{K}{\sqrt{M \mu}} \quad \dots(3.5)$$

där

$$K = \frac{l \sqrt{\frac{8 RT}{\pi}}}{3}$$

I TAB. 3.1 har utgående från dessa förutsättningar gjorts en sammanställning av diffusionskoefficienter för några olika kombinationer gas - material. De olika materialens μ -värden har hämtats från Nevander (1981).

TABELL 3.1 Försök att beräkna diffusionskoefficienter för O_2 , N_2 och $CFCl_3$ genom några vanliga byggnads-material

Material	μ	Diffusionskoefficient $m^2/s \cdot 10^7$ ($D=K_D/\sqrt{M \cdot \mu}$)		
		O_2	N_2	$CFCl_3$
Betong K30	18-83	4-17	4-18	2-18
Lättbetong	2-15	60-150	64-160	29-72
Trä	125	2	3	1
Träfiberskiva:				
porös	3-6	50-100	54-107	24-48
halvhård	10-17	18-30	19-32	9-14
hård	83-125	2-4	3-4	1-2

Det bör observeras att jämförelsen med ångdiffusion är giltig endast om transporten sker som diffusion i genomgående luftkanaler. Om transporten sker som en lösningsdiffusion är inte diffusionsmotståndsfaktorn en specifik parameter för skivmaterialet utan beror även på den diffunderande gasens löslighetskoefficient i materialet.

Vid en jämförelse mellan de diffusionskoefficienter som beräknats i TAB. 3.1, och de diffusionskoefficienter för uretancellplaster som redovisats i FIG. 2.1 finner man att det är fråga om helt olika storleksordningar. Det tätaste materialet i TAB. 3.1 ger diffusionskoefficienten $2 \cdot 10^{-7} m^2/s$ för O_2 . Motsvarande värde för uretancellplast är enligt FIG. 2.1 $1 \cdot 10^{-11} m^2/s$. Detta skulle då innebära att 5 mm hård träfiberskiva ur diffusionssynpunkt endast skulle motsvara $0,25 \cdot 10^{-3}$ mm uretancellplast.

Med detta som utgångspunkt borde man direkt kunna säga att normala skivmaterial är helt ointressanta, när det gäller inverkan på åldringsförloppet hos PUR-element. Tyvärr är

slutsatsen inte helt invändningsfri. Som tidigare påpekats kräver övergången från vattenångdiffusion till diffusion av andra gaser att transporten sker i genomgående luftkanaler. Normalt bestäms i Sverige faktorn D/μ för vattenånga direkt genom s k skålmotstånd SS 02 15 82 "Byggmaterial - Provning - Vattenånggenomgångsmotstånd", utan att transportmekanismen närmare studeras. Det är därför stor risk att μ faktorn beräknats utgående från diffusionstalet för vattenånga i stillastående luft D , och den uppmätta kvoten D/μ . Har diffusionsmotståndsfaktorn bestämts på detta sätt, kan den mycket väl vara beroende av såväl material som gas och kombinationen av dessa båda, varför den överföring från vattenånga till O_2 , N_2 och $CFCl_3$ som gjorts i TAB. 3.1 inte är möjlig.

Vid en jämförelse mellan FIG.2.1 och TAB. 3.1 finner man ytterligare ett intressant faktum, och det är att skillnaden mellan diffusionskoefficienten för luft (O_2 och N_2) och $CFCl_3$ i FIG. 2.1 är av storleksordning 300 ggr medan motsvarande förhållande i TAB. 3.1 endast är ca 2 ggr. Detta visar med all tydlighet att uttrycket 3.5 inte är tillämpligt på uretan-cellplast. Resultatet är naturligt då värdena i FIG. 2.1 förutsätter sluten cellstruktur och inte diffusion genom kanaler i materialet.

3.1.2 Laboratorieförsök

Då det härigenom är mycket oklart om den beräkning som genomförts i TAB. 3.1 är riktig, lades en försöksserie upp för att direkt undersöka olika skivmaterials inverkan på gasutbytet i PUR. Som cellplastkärna användes bitar 450x450x70 mm sågade ur 1 år gamla skivor tillverkade enligt kontinuerlig metod av Salli Oy. Som skivmaterial valdes inom byggnadsverksamheten vanligt förekommande material, träfiberskivor, gipsskivor och plywood. Försöket inleddes med att den al-folie som cellplasten varit försedd med från tillverkningen avlägsnades och gjuthuden hyvlades ned. Därpå gjordes en första bestämning av provernas värmeledningsförmåga.

Bestämningen av värmeledningsförmågan är gjord i en ensidig kvadratisk plattapparat av skyddsringprincip. Utrustningens principiella uppbyggnad framgår av FIG. 3.2.

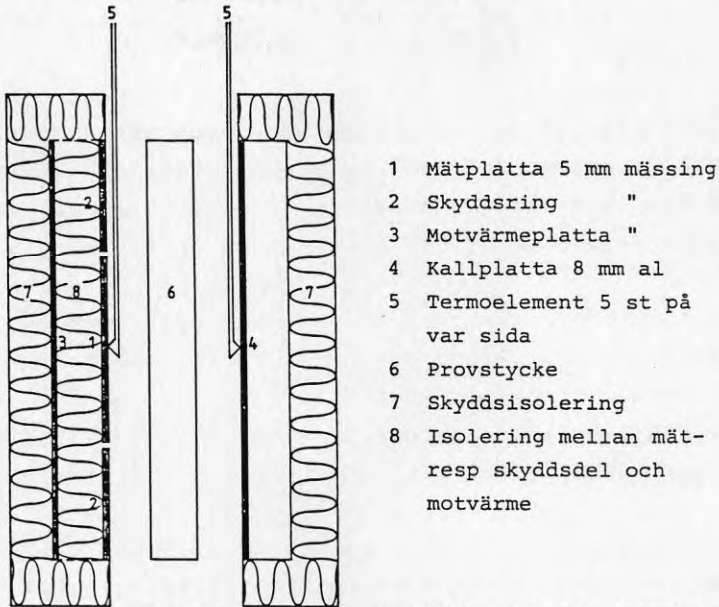


FIG. 3.2 Principskiss av den ensidiga plattapparat som använts vid mätningarna.

Mätplatta, skyddsring och motvärmeplatta består av 5 mm tjock mässingsplåt med urfrästa spår för motståndstråd.

Kallsidan består av en 8 mm tjock aluminiumplatta med kanaler på baksidan. Genom kanalerna pumpas glykolblandat vatten som hålls på en konstant låg nivå med ett konstantbad.

Hela utrustningen omsluts av en låda försedd med ett kontakttermometerstyrt kylaggregat. På detta sätt hålls provets medeltemperatur, normalt 10°C, i luften runt provutrustningen.

Temperaturen på ömse sidor om provet kan mätas med 5 st termoelement i försänkningar på varm- resp kallplattan. Termoelementen som är tillverkade av kalibrerad tråd av koppar-konstantan är anslutna till en logger typ Orion, med inbyggt nollställe. Normalt används endast 3 av termoelementen på var sida vid standardmätningar.

Tillförda effekten erhålls genom att kontinuerlig mäta ström och spänning till mätplattan, multiplicera dessa båda storheter och pulsomvandla. Pulserna summeras på dataloggern, som nollställs varje gång avläsning sker.

Genom att balansera temperaturdifferensen mellan skyddsring och mätplatta resp motvärmeplatta och mätplatta till 0°C säkerställs att all den inmatade effekten till mätplattan går rakt genom provet.

För styrning resp kontroll av temperaturdifferensen mellan mätplatta och skyddsring används 2 st termostaplar med 12 par termoelement av koppar-konstantan i vardera. Mellan motvärmeplatta och mätplatta används på samma sätt 2 st termostaplar med 9 par termoelement i vardera.

Utgående från den tillförda summerade effekten till mätplattan, mätplattans area, uppmätta temperaturer på ömse sidor och provets tjocklek kan, då stationära förhållanden uppnåtts, materialets värmeledningsförmåga beräknas enligt

$$\lambda = \frac{\Phi \cdot \ell}{A \cdot (\theta_v - \theta_k)} \quad \dots (3.6)$$

där	λ	= värmeledningsförmåga	[W/m°C]
	Φ	= tillförd effekt till mätplattan	[W]
	ℓ	= provtjocklek	[m]
	A	= mätplattans area	[m ²]
	θ_v	= yttemperatur varma sidan	[°C]
	θ_k	= "- kalla "-	[°C]

För att en mätning skall betraktas som korrekt krävs att den uppmätta balansen mellan mätplatta och skyddsring resp mätplatta och motvärmeplatta inte överstiger 0,02°C. Vidare får avvikelserna mellan beräknade värmeledningstal för tre på varandra följande mätningar med 20 min mellanrum inte över-

stiga 2% eller uppvisa någon stigande eller sjunkande tendens.

En felanalys på den använda utrustningen visar att maximalt systematiskt fel är i storleksordning 2-3%, Isberg (1988).

Efter den inledande bestämningen av värmeledningsförmåga limmades ytskikten till cellplasten med en ca 50 mm limsträng runt hela provet och kanterna förseglades med 3 lager al-folie med mellanliggande lager av lim. På detta sätt erhöles kontakt men ingen direkt förbindning mellan PUR-skivans mittre del ca 350x350 mm och ytskikten, samtidigt som gastransport längs ytskiktet förhindrades i elementets yttre del.

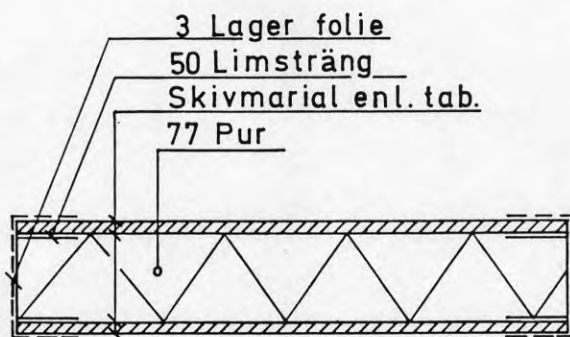


FIG. 3.3 Principiell uppbyggnad av element med ytskikt avsedda för snabbåldring.

I serien ingick förutom element med ytskikt av byggskivor även två prover, där aluminiumfolien avlägsnades på samma sätt som för övriga prov, men där det ena provet lämnades utan ytskikt och det andra åter försågs med den al-folie som borttagits. Folien fästes härvid med lim på samma sätt som gjorts med övriga ytskikt. Även på det prov som lagrades utan ytskikt lades på en limsträng för att utesluta risken att en eventuell framtida skillnad mellan proverna skulle kunna vara att hänföra till påverkan av lim.

Som framgår av FIG.2.1 är indiffusion av luft, även om den är mycket snabbare än utdiffusion av CFCl_3 , en långsam process. Gasvandringen kan påskyndas något genom förhöjd temperatur. I TAB. 3.2 visas diffusionskoefficienter för vid tre olika temperaturer enligt Norton (1967). Av tabellen framgår att en förhöjning av temperaturen från 25°C till 90°C innebär en förhöjning av diffusionskoefficienterna ca 10 ggr och därmed även en förkortning av konditioneringstiden med 10 ggr för att nå en önskad ålder.

TABELL 3.2 Diffusionskoefficienter vid olika temperaturer, Norton (1967)

Diffusionskoefficient	Temperatur	Densitet
m^2/s		
CFCl_3 $2,25 \cdot 10^{-13}$	25	35
N_2 $6,27 \cdot 10^{-12}$		
O_2 $1,12 \cdot 10^{-11}$		
CFCl_3 $1,2 \cdot 10^{-12}$	60	35
N_2 $2,1 \cdot 10^{-11}$		
O_2 $5,0 \cdot 10^{-11}$		
CFCl_3 $3,7 \cdot 10^{-12}$	90	35
N_2 $5,0 \cdot 10^{-11}$		
O_2 $1,4 \cdot 10^{-10}$		

"Snabbåldring" genom förhöjd temperatur kan vara en vanskelig metod. Den förhöjda temperaturen påverkar såväl permeabiliteten för resp gas genom cellväggarna, som lösningskoefficienten för resp gas, varför risken är uppenbar att den förhöjda temperaturen påverkar diffusionskoefficienterna för de olika gaserna i olika omfattning. Man skulle på detta sätt kunna erhålla en gassammansättning, som aldrig uppträder vid

naturlig åldring.

Man kan även befara att den förhöjda temperaturen, om den ligger över den temperatur som konstruktionen maximalt kommer att utsättas för vid verkliga förhållanden, inte bara förhöjer diffusionskoefficienten, utan även i viss omfattning förstör cellväggarna. Risken är att cellplasten kommer att innehålla mer öppna celler än före snabbåldringen, och därmed ha en högre värmeledningsförmåga än vad det rena gasutbytet genom diffusion skulle ha gett upphov till.

Cellplast av den använda typen har vid ett annat tillfälle utsatts för snabbåldring vid 100°C. Då denna provning inte gav upphov till större dimensionsförändringar eller drastiska förändringar av värmeledningsförmågan, tål den använda cellplasten uppenbarligen denna höga temperatur. Då dessutom det nu aktuella försöket var upplagt som ett rent jämförande försök mellan de olika ytskikten och då mindre skador i cellstrukturen som inte skulle uppträda vid verklig åldring därigenom inte ansågs vara kritiska, valdes temperaturen 100°C för att påskynda försöken så långt som någonsin ansetts vara möjligt.

Efter 5 månader i ventilerat torrskåp med denna temperatur och samtliga sidor exponerade mot luften flyttades proverna över i laboratorieatmosfär, ytskikten avlägsnades och en förnyad provning i plattapparaten genomfördes. Vid borttagandet av ytskikten visade det sig att några av proverna deformerats relativt kraftigt, framförallt gällde detta provet med plywoodytskikt. Deformationerna var hos detta element så stora att elementens kanttätningar äventyrats. Deformationerna hos elementen skulle innebära stora osäkerheter vid bestämningen av värmeledningsförmågan. För att säkerställa noggrannheten i resultaten planhyvlades därför samtliga prover före provningens genomförande. Planhyvlingen gjordes på samma sätt på samtliga prover, för att undvika att "åldringen" påverkat de nedhyvlade proverna på olika sätt. Genom att provningen därmed endast utförts på mittersta delen av elementen bör ingen

direkt koppling göras mellan åldringstid och förändringen i värmeledningsförmåga. Resultaten bör endast jämföras inbördes och framförallt med elementet utan ytskikt. Erhållna resultat framgår av TAB. 3.3.

TABELL 3.3 Förändring av värmeledningsförmåga hos element med ytskikt som "snabbåldrats" under 5 månader vid 100°C

Ytskiktstyp	VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA W/m°C	
	Före "åldring"	Efter "åldring"
Gips	0,0207	0,0223
Plywood	0,0202	0,0255
Asfalt impregnerad träfiber	0,0203	0,0235
3,2 board	0,0202	0,0227
5 board	0,0200	0,0228
Al-folie	0,0210	0,0231
Utan beläggning	0,0207	0,0252

Av tabellen framgår att ytskikten i de flesta fall haft en viss gynnsam inverkan på elementets förändring av värmeledningsförmåga med tiden. Provet med ytskikt av plywood uppvisar emellertid större förhöjning av värmeledningsförmågan än provet helt utan ytskikt. Den stora förhöjningen hos detta prov tillsammans med en relativt kraftig deformation, kan eventuellt vara att hänföra till inträngande fukt från ytskikten eller någon gasutveckling från dessa vid den förhöjda temperaturen, men har inte analyserats närmare.

Den förhöjda temperaturen ger ökad diffusionstransport för en enskild gas i en gasblandning, se Ekv. 3.4 och Ekv. 3.5, men denna effekt är liten och är inte den effekt som i huvudsak eftersträvas vid "snabbåldring" av uretancellplast. Den för-

höjda hastigheten i förändringen av värmeledningsförmågan med tiden som uppnås vid förhöjd temperatur beror huvudsakligen på förändringen av permeabilitet hos polymeren. Denna förändring av permeabiliteten med temperaturen beror såväl på förändring av diffusionsegenskaperna som löslighetskoefficienten och därmed på kombinationen diffunderande gas - material.

Att den förhöjda temperaturen verkat påskyndande på förändringen av värmeledningsförmågan hos cellplastkärnan om denna varit fri torde därmed vara helt klar. Enligt TAB. 3.2 borde de 5 månaderna i 100°C motsvara ca 4 år vid normal temperatur.

Det är däremot på intet sätt klart att den förhöjda temperaturen i särskilt stor omfattning påverkat skivmaterialens förmåga att släppa genom de aktuella gaserna. Dvs transporten genom skivmaterialen kan trots den förhöjda temperaturen motsvara transporten under 5 månader vid normalförhållanden.

Då därmed tolkningen av "snabbåldringen" är något tveksam samtidigt som provningen utförts som ett indikerande prov under relativt kort tid och med endast ett prov med resp ytskiktmaterial bör inte alltför stor vikt läggas vid de enskilda värdena. Tendensen är emellertid fullt klar, varför det kan vara motiverat att närmare undersöka ytskiktens inverkan på uretancellastelement. Detta är ytterligare motiverat då verkliga element normalt innehåller en direkt förbindning mellan cellplast och ytskikt, en förbindning som troligtvis i vissa fall kan verka fördröjande på luftinträngen.

3.1.3 Inverkan av gjuthud

Transport av gaser genom en cellplast sker genom ett antal processer. Gasen löser sig i cellväggens yta, diffunderar genom väggen, förångas från motstående cellväggyta, diffunderar genom nästa gasfyllda cell osv. Var och en av dessa fyra delar representerar ett motstånd mot gastransporten. Av dessa fyra motstånd utgör diffusionen genom den fasta polymeren

emellertid det största motståndet. Undersöker man densitetsfördelningen genom direktskummade sandwichelement finner man att densiteten normalt ökar intill ytskikten. Denna förhöjda densitet, som alldeles intill ytskikten övergår i kompakt polymer sk gjuthud, kan tänkas ha inverkan på ett elements gasutbyte och därmed förändring av värmeledningsförmåga.

För att undersöka om så är fallet tillverkade AB Syntes i december 1984 två speciella provskivor. Skivorna gjordes i en sluten form mot polyetenfolie. Måtten valdes till 1000x500x40 mm och densiteten till ca 40 kg/m³. Ca 2 dygn efter tillverkningen delades vardera skivan i två lika stora delar, ca 500x500x40 mm. På den ena delen hyvlades gjuthuden bort och värmeledningsförmågan bestämdes omedelbart i plattapparaten, se KAP. 3.1.2. Den andra delen förvarades med bibehållen gjuthud i 20 ±2°C 50 ±5 RÅ. Efter ca 280 dygn togs gjuthuden bort även på dessa delar varpå värmeledningsförmågan bestämdes på samtliga prover. Erhållna resultat framgår av TAB. 3.4.

TABELL 3.4 Uppmätt värmeledningsförmåga för prover förvarade med och utan gjuthud

Prov	VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA W/m°C		
	10-11/12-84	31/5-85	14-16/9-85
A1	0,0173	0,0191	0,0197
A2	-	-	0,0182
B1	-	-	0,0186
B2	0,0185	0,0203	0,0210

Tabellen visar att gjuthuden har en avgörande inverkan på hastigheten hos en uretancellplasts gasutbyte. Prov B, som förvarats med gjuthud, har nästan samma värmeledningsförmåga efter ca 280 dygn som omedelbart efter tillverkningen.

Att direkt försöka sätta ett mått på gjuthudens inverkan i detta avseende torde emellertid vara mycket komplicerat. Gjuthudens tjocklek är beroende på ett flertal faktorer som exempelvis tillverkningsmetod och temperatur hos ytskikten. Dessutom bör hållas i minnet att vid normal tillverkning eftersträvas så liten gjuthud som möjligt, eftersom denna

utgör förhållandevis mycket fast polymer som inte är direkt isolertekniskt aktiv.

3.2 Ytskikt av folier

Det andra möjliga sättet att ordna diffusionstätning som påtalades inledningsvis var att använda någon typ av folie eller annan tunn diffusionstät beläggning.

Foliematerialen har intresserat forskare inom förpackningsindustrin under lång tid, varför här finnes en hel del uppgifter om gasgenomgång. I TAB. 3.5 visas permeabilitet av syre, kväve och koldioxid för några material, Billing (1970).

TABELL 3.5 Permeabilitet för syre, kväve och koldioxid för några olika folier. Billing (1970)

Tabell 1. Permeabilitet av syre, kväve och koldioxid vid t°C, 0% RF enligt H. J. Huldy
Enhet: cm³ NTP, 100 my/m², 24 h, atm.

	t°C	P _{N₂}	P _{O₂}	P _{CO₂}
Polivinylidenklorid (Saran)	20	0.2	1.3	8.5
Polyester (Melinex, Mylar) ..	20	2.6—4	14—25	60—125
Styv PVC	23	13—26	33—79	66—660
Polyamid 6	20	6.5—16	20—60	66—400
Polyamid 11 (Rilsan)	20	20	130	600
Epoxiharts	25	—	30—100	60—900
Polyeten, HD	20	120—180	440—600	2.000-2.800
Polyeten, LD	20	530—790	2.000-3.600	5.200-11.000
Polypropen	20	200—330	650—1.000	2.000-6.000
Polyisobuten	25	200	720	330
Polytetrafluoreten (Teflon) ..	20	220	460	850
Polycarbonat	20	200	1.300	5.600
Polystyren	20	200—5.000	1000-16000	5.000-26.000
Naturgummi	25	4.300	16.000	85.000
Silikon gummi	25	1,7 · 10 ⁵	4 · 10 ⁵	14 · 10 ⁵

Görs en omräkning av sorterna i TAB. 3.5 och därefter en jämförelse med angivna diffusionskoefficienter i FIG. 2.1

finner man emellertid att en 0,2 mm tjock folie ur gasvandringsynpunkt endast motsvarar ca 3 mm material dvs är i det närmaste verkningslös.

Aluminiumfolierna utgör i detta sammanhang en speciell grupp. Man kan få en känsla av att dessa är helt täta, men alltför tunna al-folier innehåller genomgående hål s k "pin holes". En 9 μm tjock folie kan i ogynnsamma fall ha upp till 200 porer/ m^2 . Uppgifterna om hur tjock en al-folie måste vara för att räknas som diffusionstät skiljer mellan olika källor. Billing (1970) anger 12-15 μm som minsta tjocklek för att porfriheten ska erhållas. Tyska normen DIN 18164 anger 50 μm som en minsta tjocklek för att folier av metall ska få räknas som diffusionstäta vid inklädnad av polyuretan.

Ett tredje alternativ som kan förefalla tilltalande framförallt på takkonstruktioner är någon typ av asfaltbelagd papp.

För samtliga dessa alternativ säger Booth (1980): "Within the first 50 days from manufacture, asphalt impregnated felt, aluminium/kraft and polyurethane coted Kraft facings retard R-value aging, but after this time they have no effect upon aging".

Det bör hela tiden hållas i minnet att det tidigare genomförda resonemanget angående gjuthudens inverkan naturligtvis gäller även vid skumning mot folier, men att inverkan förmodligen är mindre här, då denna typ av element i de flesta fall tillverkas enligt kontinuerlig metod som normalt ger jämnare densitet och mindre gjuthud. Eftersom Booths uttalande förefaller något generellt, och exempelvis Billings krav på tjocklek på al-folie för diffusionstäthet är relativt lågt, lades ett försök upp för att närmare undersöka "aluminium/kraft"-alternativet.

3.2.1 Laboratorieförsök med åldring av uretancellplast klädd med al-folie på båda sidor

Det är anmärkningsvärt att variationen mellan tjocklek för al-folie som anges som helt tät är relativt stor. Det är också ett faktum att det idag tillverkas element med ytskikt som ligger inom det angivna området. Det kan därför vara intressant att undersöka hur en folie i detta tjockleksområde, i samverkan med en normal gjuthud, påverkar förändringen i värmeledningsförmåga.

Provskivorna till försöksserien levererades från V Sally Oy i Finland den 2/4-82. Skivorna var tillverkade enligt kontinuerlig metod, med måtten 2500x1200x80 mm och med 25 μ m tjock pappersburen aluminiumfolie på båda sidor.

Bestämning av värmetekniska egenskaper för element med ledande ytskikt är komplicerat antingen man väljer en utrustning enligt skyddsringmetod dvs den typ som beskrivits i KAP. 3.1.2 eller den alternativa metod som finns, utrustning med värme-flödesmätare. Används den förstnämnda metoden riskerar det ledande ytskiktet att "kortslyta" skyddsringens verkningsätt. Används flödesmätare riskeras att ett värme flöde i tvärled till omgivningen registreras av flödesmätaren. Om inte detta flöde, beroende på en felaktig omgivningstemperatur, balanseras av ett motsvarande motriktat flöde på skivans andra sida kommer ett felaktigt värde att registreras.

På grund av dessa svårigheter med båda metoderna valdes att använda den utrustning som beskrivits i KAP. 3.1.2 och att i samtliga provningar avlägsna al-folien innan bestämningen av värmeledningsförmågan gjordes. Borttagandet ansågs nödvändigt för att säkerställa den noggrannhet hos mätningarna som krävs för att kunna påvisa en eventuell åldring hos skivorna. Detta faktum gjorde att proven som lagrats med bibehållen folie endast kunnat användas vid en enda provning. Så snart al-folien avlägsnats och provningen genomförts räkandes provet som förbrukat. Tyvärr innebär detta att åldringen för proven

med folie inte kunnat bestämmas på ett genomgående prov, där värdena direkt kunnat jämföras, utan att mätningarna hela tiden gjorts på nya prover. Ett sådant förfarande kräver emellertid mycket stor jämnhet hos egenskaperna mellan de olika skivorna om ett åldringsförlopp ska kunna fastställas. Stor omsorg måste dessutom ägnas åt uttagande av prover för att undvika att systematiska olikheter mellan olika delar av skivan påverkar resultatet och så att likheten i begynnelsevärde mellan de olika skivorna klart bevisas.

Varje skiva sågades upp i 10 delprover med area ca 450x450x80 mm. Ur skivorna provades två av delproverna omgående efter sågning, på tre förseglades kanterna runt om med tre lager aluminiumfolie med mellanliggande vax, på tre förseglades endast två kanter och två lämnades med oförseglade kanter. Med de olika förseglingarna var avsikten att undersöka påverkan av luft-inträngning från elementens sidor. Prover för de olika förseglingstyperna valdes på skilda ställen ur elementen, så att delar för omedelbar provning erhöles på samtliga platser ur elementen.

I TAB. 3.6 visas uppmätt värmeledningsförmåga för 10 st prover. 5 av proverna har förvarats i laboratorieatmosfär utan folie i ca 2300 dygn, medan 5 st har förvarats på exakt samma sätt men med bibehållen folie.

TABELL 3.6 Jämförelse mellan prover förvarade med och utan al-folie

VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA				
	Prover utan folie		Prover med folie	
	19-23/4-82	5-9/9-88		5-9/9-88
1A	0,0177	0,0225	1G	0,0225
2E	0,0174	0,0224	2G	0,0223
4C	0,0180	0,0223	4I	0,0221
5I	0,0173	0,0226	5E	0,0226
7G	0,0173	0,0224	7D	0,0228

Resultaten i TAB. 3.6 får inte tolkas generellt. Förmodligen skiljer det mellan mängden "pin holes" mellan olika folier, dessutom kan papperet som folien var laminerat med ha verkat negativt. Man kan inte utesluta att de aktuella gaserna diffunderat i tvärled i detta pappersskikt mellan plast och al-folie, och därmed ökat effekten av hålen i den direkta al-folien. Konstateras kan emellertid att folien med den aktuella utformningen, haft mycket liten inverkan på förändringen av värmeledningsförmågan med tiden.

De inledande försöken har givit en ganska förvirrad bild av hur ytskiktet påverkar luftinträngning och därmed förändring av värmeledningsförmåga för ett element av uretancellplast. De teoretiska betraktelserna tyder på att normalt byggskivor och plastfolier är ointressanta ur gasvandringssynpunkt. Likaså visar provningar att även en ganska tjock al-folie har mycket liten inverkan på mängden indiffunderad luft. Däremot indikerar "snabbåldringsförsöket" att vanliga byggskivor framförallt om de kombineras med en gjuthud kan ha inverkan på gasvandringen och därmed förändringen av värmeledningsförmågan med tiden. Detta resultat är så intressant att det motiverat ett närmare studium av denna typ av skivor. Vid detta försök har dessutom eftersträvat att utsätta elementen för mer realistiska förhållanden för en byggnadsdel i en klimatskärm.

4

ÅLDRING AV ELEMENT UNDER VERKLIGA FÖRHÅLLANDEN

I TAB. 3.2 visades att temperaturen i hög grad påverkar hur värmeledningsförmågan hos uretancellplast förändras med tiden. Temperaturen påverkar förändringen genom såväl förändrade diffusionsegenskaper hos polymeren som förändrat partialtryck hos gasen CFCl_3 i cellerna. Vid praktisk användning av polyuretanelement i husbyggnation kommer cellplasten ständigt att befinna sig i växlande temperatur. Dessutom kommer elementets olika delar, genom temperaturgradienter, att utsättas för olika förhållanden. Elementets inre del kommer vanligtvis att ha en relativt konstant temperatur mellan ca $+18 - +25^\circ\text{C}$, medan elementets yttre del, vid vissa utformningar, kommer att

utsättas för variation mellan +70°C soliga sommardagar och -30°C kalla vinterdagar. Att försöka analysera förändring i värmeledningsförmåga teoretiskt under sådana verkliga förhållanden torde vara mycket komplicerat.

Svårigheten att analysera verkliga element teoretiskt ökar dessutom genom att dessa normalt är försedda med någon typ av ytskikt. Ytskikt vars egenskaper när det gäller gasgenomgång för olika gaser och därmed inverkan på värmeledningsförmågan är mycket dåligt kända, se KAP. 3.

Som en ytterligare komplikation uppträder vid verkliga förhållanden en variation i vattenånginnehåll i omgivande luft och normalt även en gradient över elementen. Vattenånga är liksom tidigare behandlat CO₂ en polär gas och diffunderar därför jämfört med N₂, O₂ och CFCl₃ mycket lätt genom uretancellplasten. Larsson (1981) anger exempelvis ånggenomsläppligheten till $2,8 \cdot 10^{-7} - 11,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Variationerna beroende på densitet och skumningsriktning och därmed förmodligen hänförligt till cellväggstjocklek och cellstorlek i diffusionsriktningen. Jämförs dessa värden med diffusionskoefficienter för N₂, O₂ och CFCl₃ från FIG. 2.1 erhålls skillnader av storleksordningen 10.000 ggr. Den direkta inverkan av stillastående vattenånga på cellgasens ledningsförmåga är mycket liten. Dels beroende på att ånginnehållen är förhållandevis små, 50% RÅ vid 20°C innebär ett partialtryck av 1,2 kPa vattenånga, jämfört med ett totaltryck i cellerna av mellan 50 kPa och 200 kPa beroende på ålder och sammansättning. Dels beroende på att vattenångans ledningsförmåga inte skiljer sig nämnvärt från övriga ingående gasers ledningsförmåga. Det som eventuellt kan påverka vattenångans inverkan på uretancellplastens ledningsförmåga är om större vattenmängder förekommer i löst form i själva polymeren och detta vatten i samband med temperaturväxlingar vandrar i cellstrukturen eller direkt påverkar polymeren. Cervenka (1981) anger jämviktsfuktkvoten för en polyuretan med densiteten 85 kg/m³ till 3 kg/m³ vid 25 C och 90% RÅ. Motsvarande vatteninnehåll i luft är 0,02 kg/m³ varför slutsatsen blir:

"This implies that all water absorbed by a PU foam is that dissolved in the solid polymer, the amount in the cellular spaces being negligible".

För att direkt få en uppfattning om hur praktiska förhållanden vad avser temperatur och fuktighetsförhållanden, påverkar uretanelement med vanliga ytskiktmaterial, placerades åtta element med sådana ytskikt in i CTH:s fältstation i Fiskebäck hösten 1976.

4.1 Elementtyper och provningsbetingelser

Fältstationen i Fiskebäck är avsedd för byggnadsteknisk forskning i full skala och under normala klimatbetingelser. På grundplintar av betong har monterats en stålstomme av pelare och balkar så att vägg- och bjälklagselement lätt kan lyftas bort, se FIG. 4.1.

Platsen för byggnaden är så vald att byggnaden skall utsättas för västkustklimat samtidigt som störningar från terräng och byggnader undviks så långt som möjligt.

För att utsätta de aktuella PUR-elementen för maximala temperaturvariationer valdes att placera dem i fältstationens söder- och västerväggar. Dessa väderstreck ger även i övrigt hårda betingelser, då byggnaden vänder båda dessa väggar mot havet.

Fältstationen är utrustad med dator för automatisk datainsamling och instrument för registrering av meteorologiska variabler. Dessa delar är bekostade av Statens råd för byggnadsforskning. Vid stationen mäts, projektberoende, lufttemperatur, vindriktning, vindhastighet, nederbörd, luftfuktighet, lufttryck, totalinstrålning och antal soltimmar. Utrustningen ger vidare varje projekt möjlighet att registrera temperatur, värmeflöden och deformationer med individuellt valda tidsintervall.

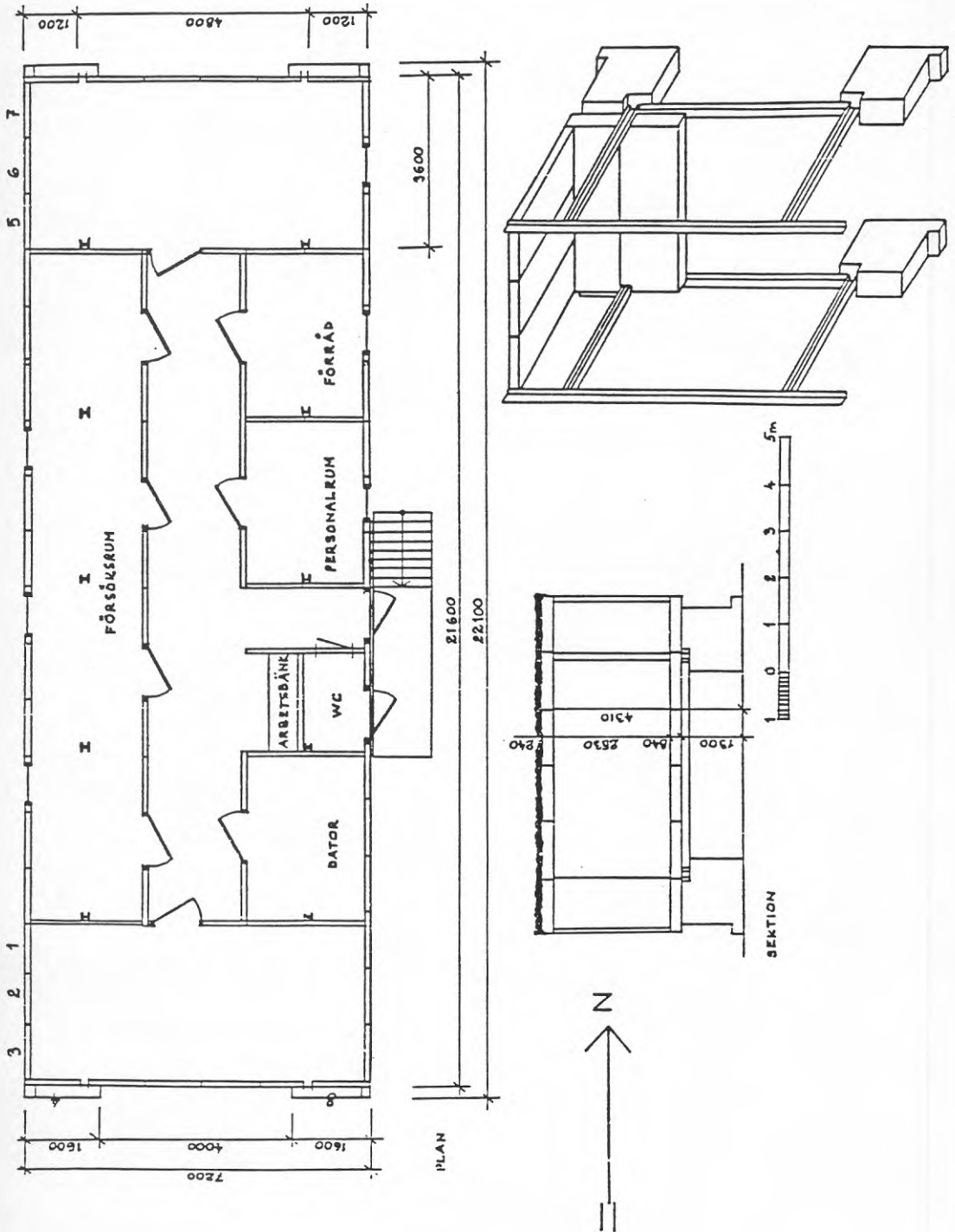


FIG. 4.1 Fältstationen i Fiskebäck.

De 8 provelementen tillverkades vid AB Bofors i Karlskoga i juli 1976. Då föresatsen var att uppfylla SBN 75:s krav på värmeomgångskoefficienter, valdes en tjocklek på uretancellplasten av 80 mm. Som ytskikt valdes inom byggnadstekniken vanligt förekommande skivmaterial, gips, träfiber och plywood. Hälften av elementen försågs med en luftad profilerad al-plåt medan den yttre skivan på de övriga exponerades direkt mot nederbörd och solinstrålning. Samtliga element byggdes upp med en ram av 80x50 mm hyvlad furu. Gemensamma mått och material framgår av FIG. 4.2.

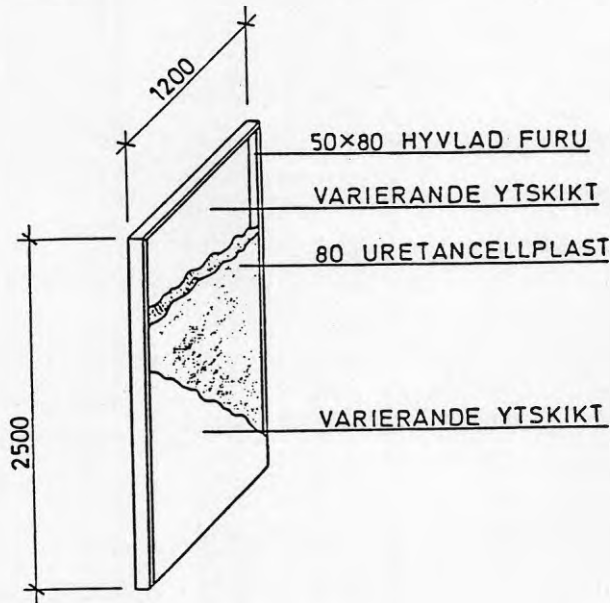


FIG. 4.2 Utformning av provelement.

Uretancellplasten i elementen består av en polyisocyanat benämnd Bonat C, och en fosforhaltig polyol, Bonol 1107, vilken även innehåller drivgasen CFCl_3 . Data för ingående komponenter tillsammans med angivna egenskaper för den färdiga cellplasten finns redovisade i BIL 1. Av bilagan framgår att friskumdensitet för den använda formuleringen är $26 - 28 \text{ kg/m}^3$. Vid tillverkningen användes överpackningsförfarande och en tillsatt mängd som är avsedd att ge fylld densitet 41 kg/m^3 . En uppmätning av verklig densitetsfördelning över tjockleken i ett av elementen från fältstationen framgår av FIG. 4.3.

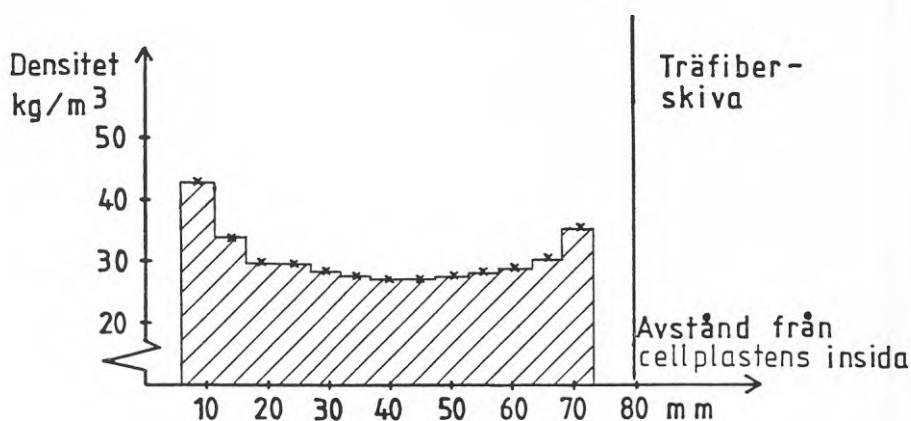


FIG. 4.3 Densitetsfördelning i element nr 4. Bestämningen är gjord sedan elementet under 7 år varit placerad i fältstationens söderfasad och därpå förvarats under 1 år i laboratorieatmosfär.

Elementen är tillverkade liggande och insprutning med en maskin av högtryckstyp i elementens ena långsida. För att säkerställa luftavgången och därmed jämn cellstruktur utan större håligheter försågs elementen i samtliga fyra hörn med små luftningshål. I dessa hål kontrollerades även att elementen blev helt utfyllda.

Elementen förvarades liggande, i normalt rumsklimat fram till monteringen, som gjordes 1 månad efter tillverkningen.

TABELL 4.1 Använda ytskikt ut- och invändigt på elementen i fältstationen

Element	Ytskikt		Beklädnad
	Inside	Utsida	
1	13 gips	9 halvhård träfiber	} Profilerad al-plåt på läkt 25x50 mm
2	13 gips	13 asfalt-impr porös träfiber	
3	13 plast-folierad gips	9 gips	
4	12 spånskiva	12 spånskiva	
5	13 gips	12 plywood	2 strykningar med Exponyl Pl 50 trä-lasyr
6	12 spånskiva	12 plywood	
7	13 gips	0,7 slät stålplåt	
8	12 spånskiva	0,7 slät stålplåt	

4.2 Mätningar

För att kunna bestämma en byggnadsdels värmemotstånd måste man känna såväl värmeflödet genom, som temperaturdifferensen över konstruktionen, jfr KAP. 3.1.2. Vid stationära förhållanden, då både värmeflöde och temperaturdifferens är oberoende av tiden är bestämningen av värmemotstånd relativt problemfri.

Då såväl värmeflöde som temperaturdifferens är konstanter kan mätningen utföras på kort tid och värmemotståndet direkt beräknas enligt

$$R = \frac{\Delta\theta}{q} \quad \dots (4.1)$$

där	R = värmemotstånd	[m ² °C/W]
	Δθ = temperaturdifferens	[°C]
	q = värmeflödestäthet	[W/m ²]

Vid instationära förhållanden då både värmeflöde och temperaturdifferens varierar med tiden och då det uppträder en fasförskjutning mellan dessa variabler kan bestämningen av värmemotståndet bli relativt komplicerad.

Variationerna i värmeflöde och temperaturdifferens elimineras genom att integrera dessa över en lämplig tid. Integrations-tiden skall då väljas så att temperaturen i början och slutet är densamma och temperaturdifferensens derivata har samma tecken i start och slutpunkt. Dessutom måste naturligtvis tiden vara längre än fasförskjutningen mellan flöde och temperaturdifferens. Storleken på denna fasförskjutning beror på konstruktionens värmekapacitet.

Med dessa villkor på integrationstiden kan värmemotståndet för konstruktionen beräknas enligt

$$R = \frac{\int \Delta\theta(t) dt}{\int q(t) dt} \quad \dots (4.2)$$

där	R = värmemotstånd	[m ² °C/W]
	Δθ = temperaturdifferens	[°C]
	q = värmeflödestäthet	[W/m ²]

Genom att integrera över långa tider, minskar inverkan av skillnad i begynnelse- och sluttemperatur, vilket i praktiken innebär att ett godtyckligt, dock ej extremvärde, kan väljas som startvärde varpå summering får fortgå tills värmemotståndet stabiliserats.

Vid mätningar i fältstationen är temperaturdifferenser och absoluttemperatur registrerade med termoelement av koppar-konstantan. Termoelementen är fästa med tejp direkt mot resp yta. Dessutom ligger termoelementtråden an mot den yta den mäter minst 200 mm. På de element som innehåller plåt är en tejpbit lagd som skydd mellan plåt och termoelement. För att kunna separera ytskiktens och cellplastens värmemotstånd samt för att kunna följa den instationära temperaturutvecklingen i elementen, finns även termoelement inmonterade mellan cellplast och ytskikt. Dessa fästes mot ytskikten redan före skumningen av elementen.

Värmeflödet genom elementen är bestämd enligt två metoder, dels med värmeflödesmätare, dels med en mätlåda.

4.2.1 Bestämningen av värmemotstånd med värme-flödesmätare

Värmeflödet är i denna metod bestämt genom den s k hjälpväggsprincipen. Detta innebär att man genom att montera ytterligare ett skikt, en s k flödesmätare, på den konstruktion man vill undersöka och mäta temperaturdifferensen över detta skikt, som har känt värmemotståndet, kan beräkna värmeflödestätheten enligt

$$q = \frac{\Delta\theta_f}{R_f} \quad \dots (4.3)$$

där

q	= värmeflödestäthet	[W/m ²]
$\Delta\theta_f$	= temperaturdifferens över flödesmätaren	[°C]
$\Delta\theta_f$	= $k_{\Delta\theta} \cdot U$	
R_f	= värmemotstånd för flödes- mätaren	[m ² °C/W]

$k_{\Delta\theta}$	= konstant för att överföra termoelementens uppmätta spänning till temperatur- differens	[°C/mV]
U	= uppmätt spänning från termoelement	[mV]

Denna metod har utvecklats så att speciella värmeflödesmätare tillverkats genom att ett stort antal termoelement seriekopplats och gjutits in i stabila material. Med stabila menas i detta sammanhang att materialet inte ändrar sin värmeledningsförmåga eller tjocklek med tiden. Vid denna typ av flödesmätare sammanförs normalt flödesmätarens värmemotstånd och konstanten från temperaturdifferensmätningen till en gemensam konstant och värmeflödet kan beräknas enligt

$$q = k_q \cdot U \quad \dots (4.4)$$

där	q = värmeflödestäthet	[W/m ²]
	k_q = flödesmätarkonstant	[W/m ² mV]
	U = avläst spänning från flödesmätaren	[mV]

Vid mätningarna av de åtta elementen vid fältstationen har använts flödesmätare tillverkade vid Technisch Physische Dienst i Delft. Dessa flödesmätare är uppbyggda av en konstantanspiral som till hälften förkopprats och därpå gjutits in i en PVC-plast, se FIG. 4.4.

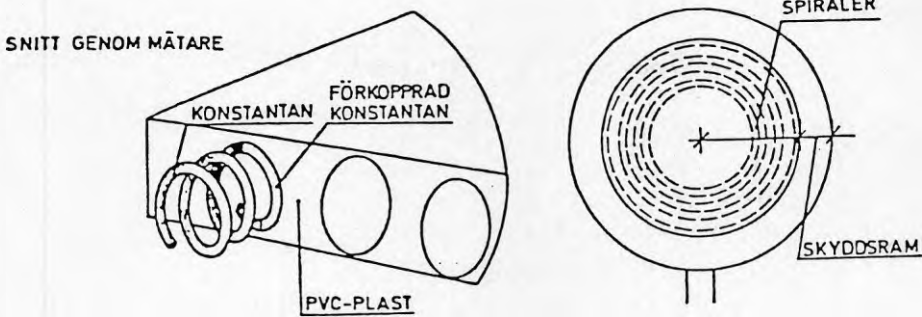


FIG. 4.4 Principiell uppbyggnad av värme-flödesmätare.

Genom denna uppbyggnad får flödesmätaren ett mycket stort antal termoelement på var sida och därmed en stor säkerhet i uppmätningen av temperaturdifferensen över den relativt tunna flödesmätaren. Kalibreringskonstanten k_q är angiven på flödesmätaren vid inköp. Då tidigare undersökningar emellertid visat en viss förändring av denna konstant med tiden för värme-flödesmätare av liknande typ har före samtliga provserier varje flödesmätares konstant bestämts i den plattapparat som beskrivits i KAP. 3.

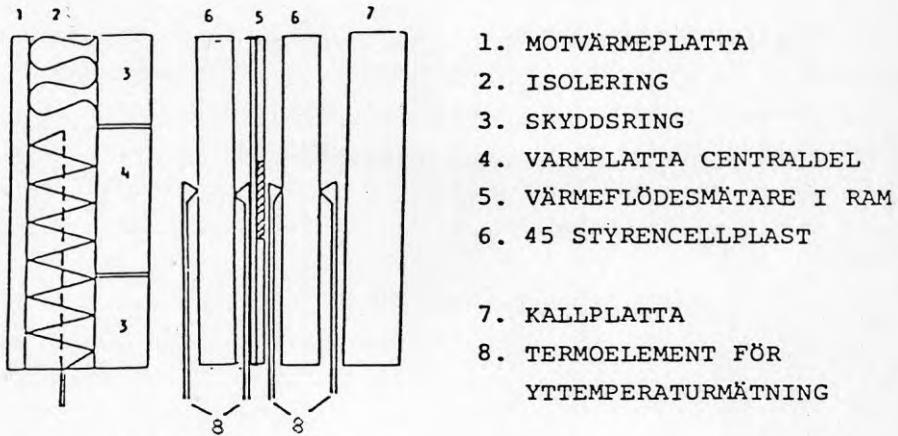


FIG. 4.5 Uppkoppling för bestämning av flödesmätarkonstant.

Då en flödesmätare placeras i en plattapparat enligt FIG. 4.5 kan, när stationära förhållanden uppnåtts, flödesmätarens konstant beräknas enligt

$$k_q = \frac{\Phi}{A \cdot U} \quad \dots (4.5)$$

där

Φ = tillförd effekt till platt-	
apparatens centraldel	[W]
A = centraldelens area	[m ²]
U = avläst spänning från	
flödesmätaren	[mV]

Vid kalibrering av flödesmätarna har varmsidan av plattapparatens hållits vid ca +25°C och kallsidan vid ca +5°.

Då flödesmätarkonstantan är temperaturberoende, 0,1%/°C enligt tillverkaren, innebär detta att konstanten endast är helt korrekt då flödesmätaren befinner sig i +15°C.

Det fel som kan tänkas ha uppkommit vid mätningarna i fältstationen på grund av detta temperaturberoende är mindre än 1%. Exempel på flödesmätarspecifikation framgår av BIL. 2.

Då värmeflödet genom konstruktionen på detta sätt representeras av temperaturdifferensen över den relativt tunna flödesmätaren är det en fördel om denna kan placeras så att den inte påverkas av onödiga temperaturvariationer. Detta uppnås normalt genom att göra mätningen på konstruktionens insida, där temperaturen i de flesta fall varierar avsevärt mindre än på utsidan. För att ytterligare minska risken för störningar genom små temperaturdifferenser har vid mätningarna i fältstationen flödesmätaren försetts med en skyddsplatta av 3,2 mm träfiberskiva. Denna skyddsplatta gör flödesmätaren trögare och plötsliga vinddrag över konstruktionens insida klaras utan att mätserien spolieras.

Genom att flödesmätaren och skyddsplattan i sig själva representerar ett visst värmemotstånd kommer det endimensionella värmeflödet genom flödesmätaren och element i viss mån att störas. Vid här provade element utgör flödesmätarens värmemotstånd endast en dryg hundradel av elementens värmemotstånd, varför påverkan blir ytterst liten. Trots detta har flödesmätaren vid mätningarna på fältstationen försetts med en skyddsram av träfiberskiva, se FIG. 4.6.

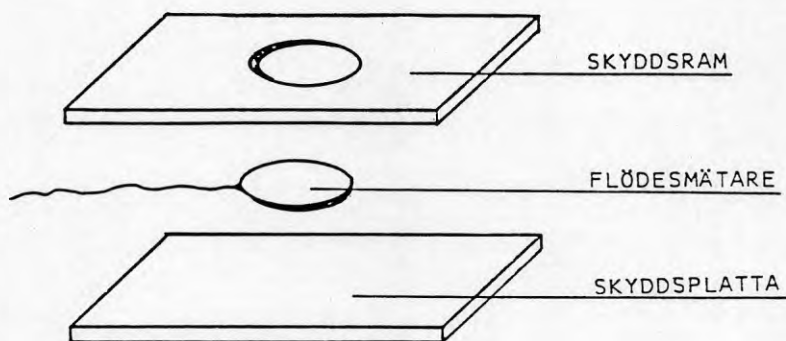


FIG. 4.6 Monteringsanordning för flödesmätare.

Den använda träfiberskivan har exakt samma tjocklek som värme-flödesmätaren och även värmeledningsförmågan överensstämmer väl, varför den påmonterade skyddsramen kan ses som en fortsättning på flödesmätarens inbyggda skyddskant. För att närmare undersöka risken för flerdimensionella flöden genom flödesmätarens yttre delar har en analys av dessa värme-flöden genomförts med ett tvådimensionellt datorprogram, Wiberg (1979).

I FIG. 4.7 visas värme-flödet genom kanten av skyddsramen samt yttersta delen av flödesmätaren. Flödet är räknat tvådimensionellt, dvs längden i den tredje riktningen är oändlig. Beräkningen är gjord på bredden 300 mm där ena begränsningslinjen utgörs av värme-flödesmätarens centrum och den andra en linje så långt från flödesmätaren att värme-flödet här inte bedöms vara påverkat av denna. Vid dessa begränsningslinjer är värme-flödet i tvärled noll. Beräkningen är genomförd på hela det 123,6x300 mm stora elementet, men som resultat redovisas i

FIG. 4.7 endast flödet i de två intressanta punkterna.

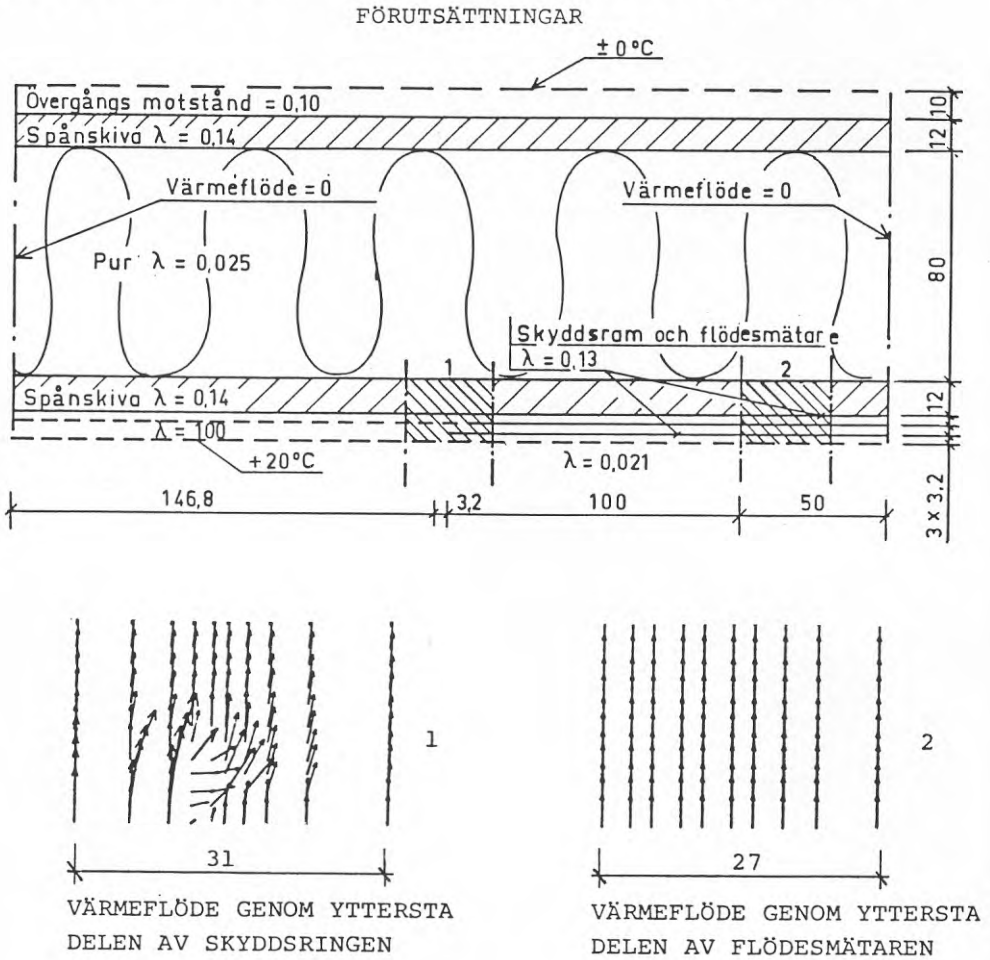


FIG. 4.7 Riktning av värme flödet dels genom skyddsramens yttre del, dels genom flödesmätarens yttre del.

Av figuren framgår att värme flödet är helt 1-dimensionellt genom flödesmätaren. Vidare ser man att ett 1-dimensionellt flöde uppnåtts redan ca 10 mm från skyddsringens kant. Detta innebär att flödesmätarens inbyggda skyddsdel i detta fall varit tillräckligt för att säkerställa det 1-dimensionella flödet genom flödesmätaren.

Insamlingen och lagringen av data har skett med två olika utrustningar. Den första mätperioden som omfattar tiden januari till maj 1977, dvs vid en ålder hos elementen av 6 - 11 månader, gjordes med fältstationens Compulog. Datorn programmerades att i detta fall var 10:e minut registrera allmänna meteorologiska data, samtliga flödesmätare och temperaturdifferenser, absoluttemperatur på ytterytan av samtliga element samt absoluttemperatur i olika nivåer på två element. Samtliga dessa värden samlades på magnetband vid fältstationen och fördes sedan över till Göteborgs Datacentral för vidare bearbetning. Vid datacentralen beräknades medelvärden av uppmätta spänningar från flödesmätare och parallellkopplade termoelement dygn för dygn enligt

$$\bar{U}_q = \sum_{i=1}^{144} \frac{1}{6} \cdot \frac{U_{qi}}{24} \quad \dots (4.6)$$

$$\bar{U}_{\Delta\theta} = \sum_{i=1}^{144} \frac{1}{6} \cdot \frac{U_{\Delta\theta i}}{24} \quad \dots (4.7)$$

Vid utskriften av dessa medelvärden listades även max.- och min.värden varje dygn för att kontrollera rimligheten i avläsningarna.

Utgående från dygnsmedelvärden på avlästa spänningar från flödesmätare och parallellkopplade termoelement har sedan det summerade värmemotståndet beräknats med hjälp av en programmerbar bordskalkylator med uttrycket

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{U}_{\Delta\theta i} \cdot k_{\Delta\theta}}{\sum_{i=1}^n \bar{U}_{qi} \cdot k_q} \quad \dots (4.8)$$

där

$k_{\Delta\theta}$ = termoelementtrådkonstant som
överför spänningen mellan termo-
elementen till en temperatur [$^{\circ}\text{C}/\text{mV}$]

k_q = flödesmätarekonstant bestämd i
plattapparaturat [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{mV}$]

n = antal dagar i mätperioden

Vid denna beräkning har en plotter varit ansluten till bordskalkylatorn så att det summerade motståndet hela tiden uppträds som funktion av tiden. I FIG. 4.8 visas som ett exempel perioden 23/12 1976 - 21/1 1977. Genom att på detta sätt följa utvecklingen hos det summerade motståndet får man en kontroll på att mättiden är så lång att färförskjutningen mellan temperatur och värmefflöde är eliminerad samt att eventuell temperaturskillnad mellan begynnelse och slut i summeringsperioden blir försumbar på det beräknade motståndet.

VÄRMEMOTSTÅND $m = \frac{\sum \Delta T}{\sum Q}$
 $m^2 \cdot C/W$

Slutvärdet av värmemotståndet $m = \frac{\sum \Delta T}{\sum Q}$
 över period 358 - 21

Element nr	1	2	3	4	5	6	7	8
Värme- motstånd	4.4	4.0	4.2	4.0	4.0	3.9	4.0	3.8

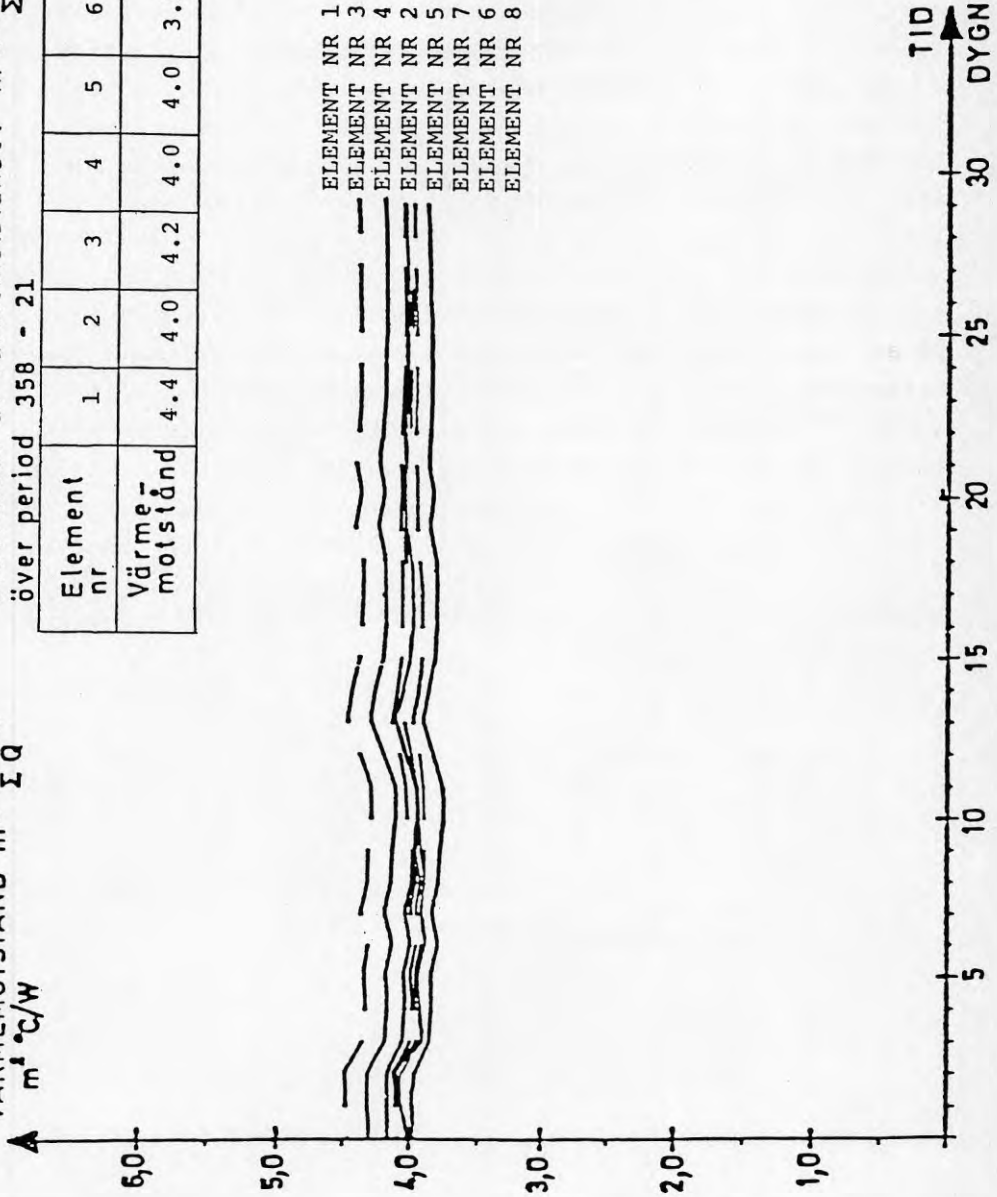


FIG. 4.8

Värmemotståndet för elementen över perioden
 761223 - 770121.

Vid senare utförda mätningar, då eventuell förändring i värmemotstånd inte längre är en snabb process, se FIG.2.2, har mätningar utförts på ett element i taget. Vid dessa mätningar har istället för fältstationens centrala insamlingssystem använts en transportabel logger typ Doric. I övrigt har exakt samma typ av flödesmätare med samma skyddsring och skyddsplatta som vid tidigare mätningar använts. Skillnaden vid användandet av den transportabla loggern är att mätintervallet har höjts till 30 minuter. Vidare har mätvärdena samlats på disc till en Apple II bordsdator istället för på fältstationens bandstation.

Vid utvärderingen av dessa mätningar har temperaturer, och värmeflöden uppritats med en plotter ansluten till en bordsdator. Härvid har konstanter för termoelementtrådan och flödesmätaren direkt lagts in i bearbetningsprogrammet till datorn. Genom att temperaturerna på detta sätt enkelt kunnat studeras grafiskt, har lämpliga perioder för värmemotståndsberäkningar kunnat väljas med stor säkerhet. Därmed har även erforderliga mättider kunnat förkortas högst avsevärt. Som exempel visas i FIG. 4.9 perioden 15 -16 mars 1983 för element nr 4.

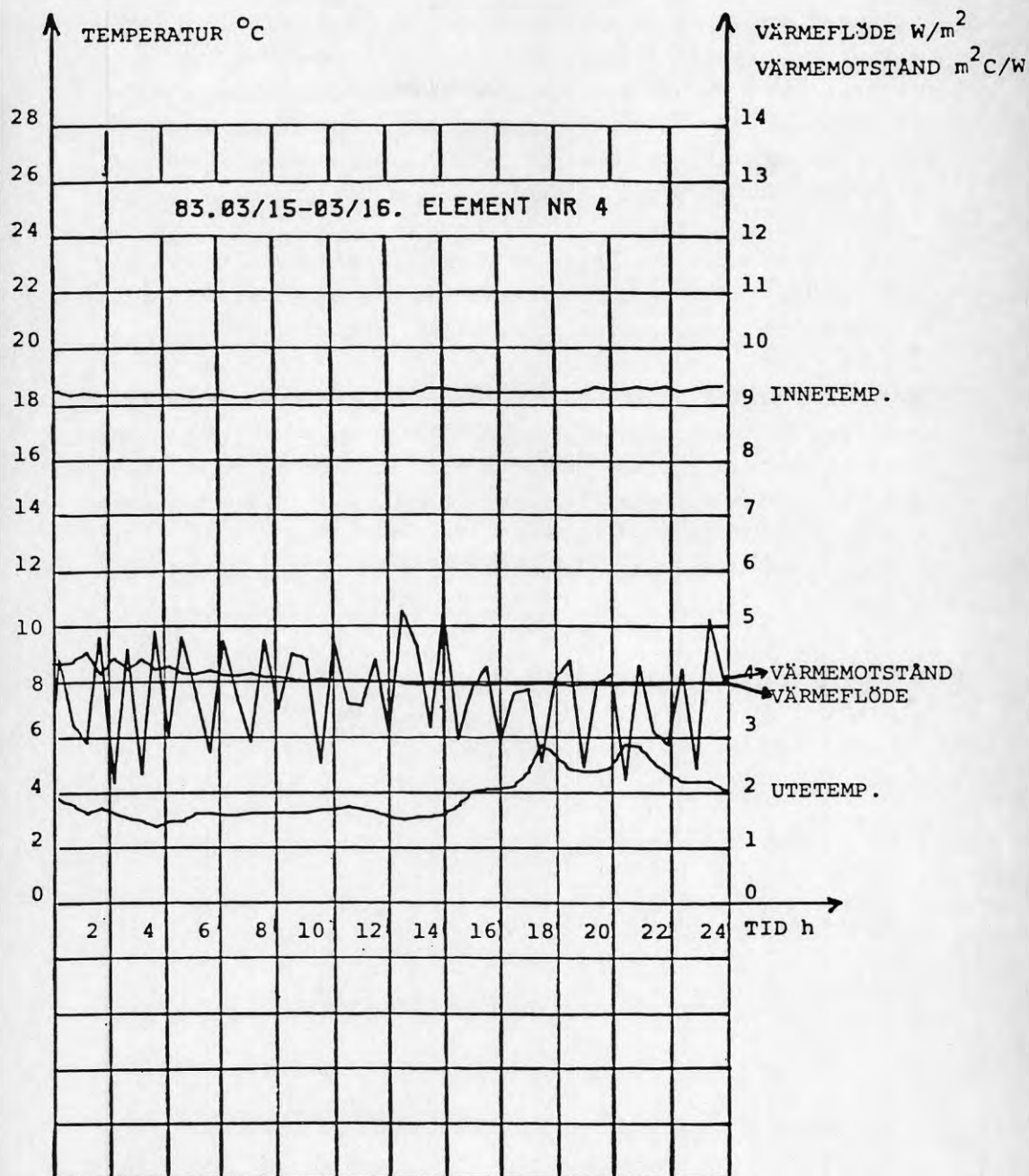


FIG. 4.9 Uppmätt värmefflöde och temperatur ute och inne samt beräknat värmemotstånd.

Det bör observeras att så korta perioder som den som redovisas i figuren normalt inte använts i utvärderingen. Figuren bör närmast ses som ett exempel på vilket gott resultat som kan nås även med korta summeringstider vid riktigt val av start- och sluttid. Vid val av utvärderingsperiod har använts absoluta temperaturer, medan direkt uppmätta temperatur-differenser använts vid beräkning av motståndet.

I FIG. 4.9 visades att korrekta värden är möjliga att erhålla även med en kort utvärderingsperiod om omsorg ägnas åt valet av period. Den andra ytterlighetsvägen, att låta värmemotståndet "stabilisera" sig utan att ta hänsyn till temperatur i början och slutet av utvärderingsperioden kan vara vanskelig. Användes så långa perioder som i FIG. 4.8 uppstår normalt inga problem, men vid kortare perioder kan det vara svårt att avgöra vad som är ett stabilt värde. I FIG. 4.10 visas utvärdering av element nr 6 perioden 17-21/11-87.

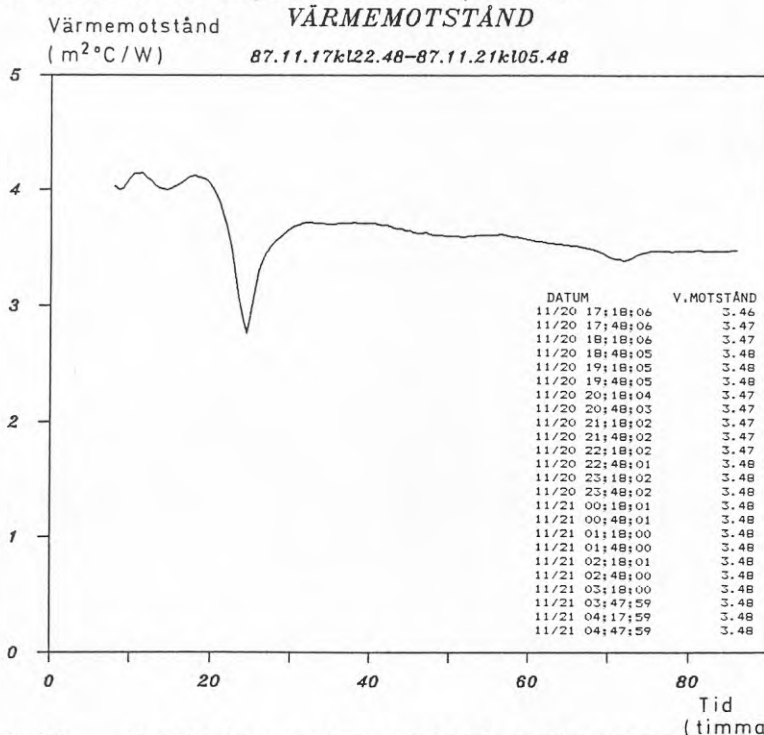


FIG. 4.10 Beräkning av värmemotstånd för perioden 17-21/11-87. Trots att värmemotståndet förefaller vara "stabilt" ligger värdet relativt långt från korrekt värde.

I FIG. 4.10 visas även siffervärden för beräknat motstånd under slutet av denna tid. Utgående från värdena är det lätt att få en uppfattning att korrekt värde är $3,48 \text{ m}^2\text{C/W}$, då detta värde förefaller att vara relativt stabilt och svängningar såväl över som under detta värde förekommer. När man gör en bedömning av om "stabilt" värde uppnåtts får man emellertid inte göra någon sammanblandning med stabila värden vid mätningar under stationära förhållanden typ plattapparat SS 02 42 11 eller "Guarded Hot Box" SS 02 42 12. I SS 02 42 12 sägs exempelvis: "När värmemotståndet för två på varandra följande mätperioder (en mätperiod > 3 tim) inte skiljer sig mer än 2% och värmemotståndet inte ändras monotont avslutas mätningarna". Detta förhållande kan mycket väl vara uppfyllt vid instationära mätningar trots att nivån ligger långt från den korrekta.

I det nordiska förslaget till bestämning av värmemotstånd i fält, INSTA B58.4 F3 "Värmeisolering - Byggnadsdelar - Bestämning av värmemotstånd" definieras mätperiod enligt

5.3 Mättid

Mättiden bör omfatta ett antal hela dygn. Mätningen påbörjas och avslutas vid samma tid på dygnet. När en integrator används skall provningstiden vara så lång att det erhållna värmemotståndet integrerat över n dygn inte avviker mer än $\pm 5\%$ från det värde som erhöles vid integration över $(n - 1)$ dygn.

Mättidens längd bestäms på motsvarande sätt vid diskret mätvärdesinsamling. I detta fall används framräknade dygnsmedelvärden för värmemotståndet.

Mättiden skall vara minst två dygn för lätta konstruktioner (t ex regelkonstruktioner) och minst tre dygn för tunga konstruktioner (t ex betong- eller lättbetongkonstruktioner). Vid välisolerade konstruktioner med små temperaturgradienter eller vid stora och regelbundna temperaturvariationer förlängs mättiden.

Dessa villkor är faktiskt uppfyllda vid utvärderingen i FIG. 4.10, trots att det erhållna värmemotståndet ligger 10-15% under korrekt värde.

Liksom vid utvärderingen av element nr 6 hösten 1987 har utvärderingen vid samtliga provningar utförts på en hel period, innefattande både natt och dag, lämpligt vald ur mätintervall. I förslaget till ISO-standard inom området föreslås i

stället att mätningarna endast utförs nattetid och kravet på korrekt mätperiod beskrivs som:

When the estimate is computed after each measurement, a convergence to an asymptotical value is observed. This asymptotical value is close to the real value if the following conditions are met:

- 1) the heat content of the element is the same at the end and the beginning of the measurement,
- 2) the HFM is not exposed to solar radiation. It should be noted that a false result can be obtained when there is solar radiation on the exterior surface. For R- or Λ -value measurement, the emittance of the surface temperature sensor will generally be different to that of the undisturbed surface, giving a false reading; and the external ambient temperature in U-value measurement generally takes no account of the solar flux to the exterior surface of the element.
- 3) The thermal conductance of the element is constant during the test.

If these conditions are not fulfilled, misleading results may be obtained.

For light elements, which have a specific heat per unit area of less than $20 \text{ kJ/m}^2 \text{ K}$, it is recommended that the analysis is carried out only on data acquired at night (from 1 hour after sunset till sunrise), to avoid the effects of solar radiation. The test may be stopped when the results after three subsequent nights does not differ with more than $\pm 5\%$. Otherwise, it shall be continued.

Dessa krav överensstämmer, med undantag för kravet på tre mätperioder kombinerat med mätningar endast nattetid, med de krav som ställts på utvärderingsperiod i KAP. 4.1. ISO-kravet på att utvärdering sker endast från mätningar nattetid beror på att detta förslag innefattar även direkt uppmätning av värmegenomgångskoefficienter, dvs uppmätning av totala värmemotstånd. Denna mätning blir emellertid mycket komplicerad om fasaden på den konstruktion man undersöker blir solbelyst. Vid utvärderingen vid fältstationen har motstånden bestämts endast för själva elementen - temperaturdifferensen yta-yta har använts i Ekv. 4.2 - varför det i detta fall skulle vara möjligt att använda även perioder med solinstrålning mot elementen. Vid den praktiska utvärderingen har sådana perioder undvikits, däremot har som nämnts ovan hela dygnet använts vid utvärderingen.

De två standardförslagen bör förmodligen snarast ses som varningar för hur komplicerat det är att bestämma värme-

motstånd i fält. Försöker man dessutom bestämma värmegenomgångskoefficienter direkt uppstår som nämnts ovan ytterligare svårigheter. Elementen vid fältstationen förefaller, utgående från standförslagen, vara enkla specialfall, utan komplicerade tvådimensionella flöden och utan någon större värmekapacitet. Trots detta kan som framgår av FIG. 4.10 utvärderingen ge upphov till betydande osäkerheter.

I FIG. 4.11 visas en korrekt utvärdering av element nr 6, innefattande även den del som tidigare redovisats i FIG. 4.10.

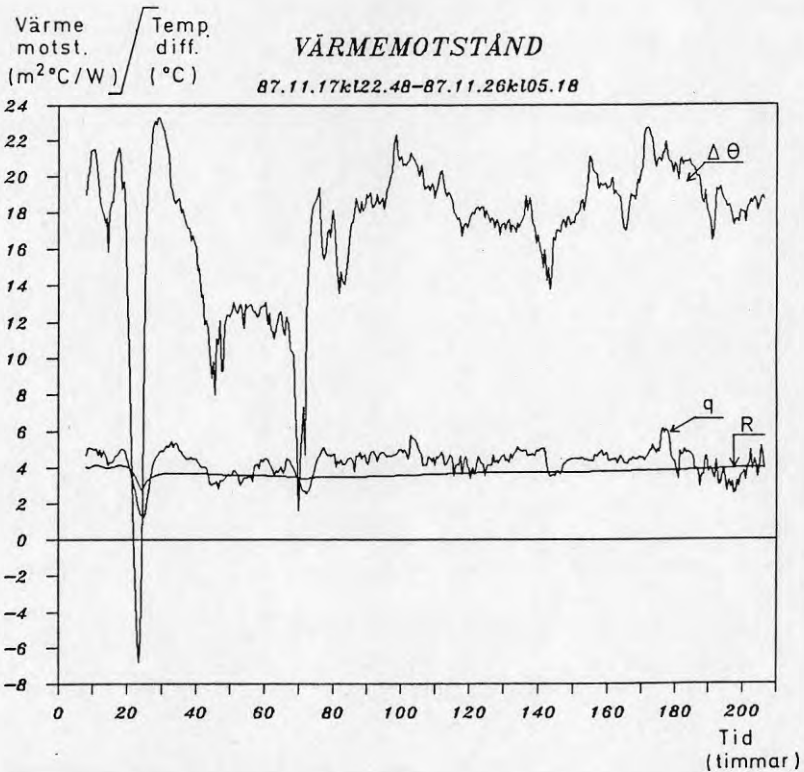
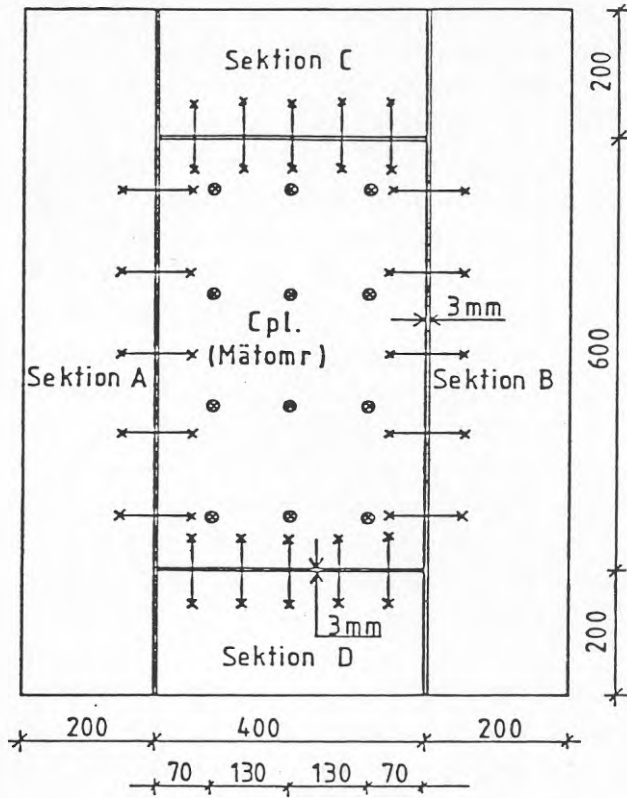


FIG. 4.11 Korrekt utvärdering av element nr 6.

Då temperaturen i rummet sjunker minskar temperaturgradienten över elementets insida och därmed även över flödesmätaren varvid ett lågt värmefflöde uppmäts. Då stationära förhållanden uppnåtts med den nya temperaturen T_{12} , uppmäts ett värmefflöde som är mindre än q_1 , på grund av den minskade totala temperaturdifferensen, men som är större än flödet q_2 som uppträder under den instationära perioden. Det låga värmefflöde som uppmätts under den instationära perioden kommer att påverka det summerade värmemotståndet, om än i minskande omfattning, ända tills en förhöjning av innetemperaturen ger upphov till en instationär temperaturbild med ett förhöjt registrerat värmefflöde. Om temperaturrörelserna i rummet är snabba och oregelbundna, och avläsningsintervallet av flödet är stort, samtidigt som utvärderingsperioden är kort, är risken att effekterna av temperatursänkning och temperaturhöjning i rummet inte utjämnar varandra utan ett felaktigt slutligt värmemotstånd erhålls.

För att allmänt förkorta mätperioderna och för att enkelt klara konstruktioner där även temperaturen på varmsidan varierar, har byggts upp en speciell mätlåda för fältbruk. Mätlådan är uppbyggd som varmsidan i en "guarded hot plate", med centralplatta - skyddsring och motvärmeplatta, se KAP. 3.1.2. Mått och ingående delar visas i FIG. 4.13.



x — x Termostapel Cpl - skyddssektioner.
 o — " — Cpl - motvärmepatta .

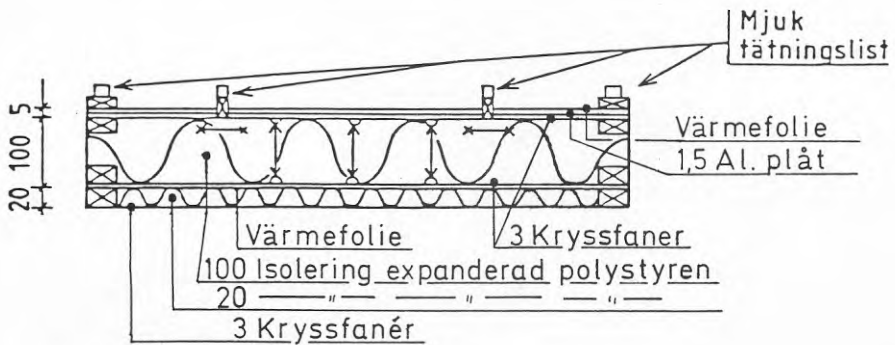


FIG. 4.13 Mätlådans uppbyggnad.

Genom att balansera in temperaturdifferensen mellan centraldel och skyddsring resp motvärmepatta till exakt noll, säkerställs att all tillförd effekt till centraldelen går rakt genom den konstruktion som skall undersökas, jfr KAP. 3.1.2. Denna effekt, summerad över mätperioderna, ger då direkt energitransporten genom konstruktionen. Temperaturdifferensen över konstruktionen mäts med seriekopplade termoelement, på samma sätt som vid användande av värmeflödesmätare.

Då temperatur på centraldelen väljs till något högre temperatur än den högsta rumstemperatur, som beräknas förekomma under mätperioden, kommer provobjektets varmsida inom lådans mätområde alltid att befinna sig i en konstant temperatur. Detta förhållande minskar, vid rimliga variationer i utetemperaturen, mättiderna markant.

Vid mätningarna på fältstationen användes samma insamlings-, lagrings- och bearbetningsrutiner som beskrivits under mätningarna med flödesmätare, dvs en Doric datalogger och en Apple II bordsdator med floppy-disc och plotterbord. I FIG. 4.14 visas ett exempel på utvärdering av en mätning med mätlådan.

I FIG. 4.15 visas fördelen med mätlådan jämfört med flödesmätaren. Här visas uppmätta värmemotstånd med flödesmätare och mätlåda vid en variation av innetemperaturen.

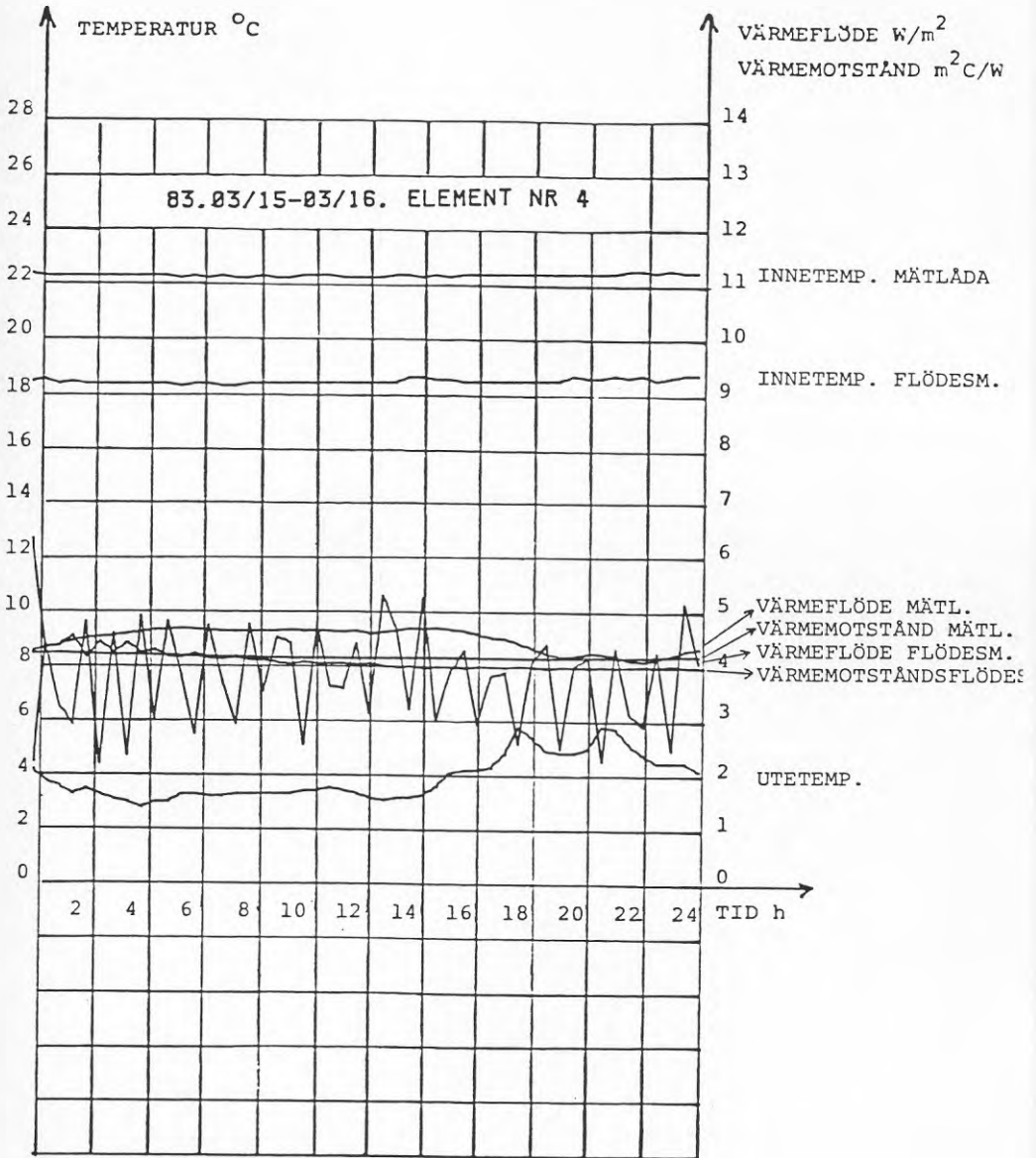


FIG. 4.14 Utveckling av värmemotstånd beräknade utgående från uppmätta värden på värmeflödet med såväl värmeflödesmätare som mätlåda.

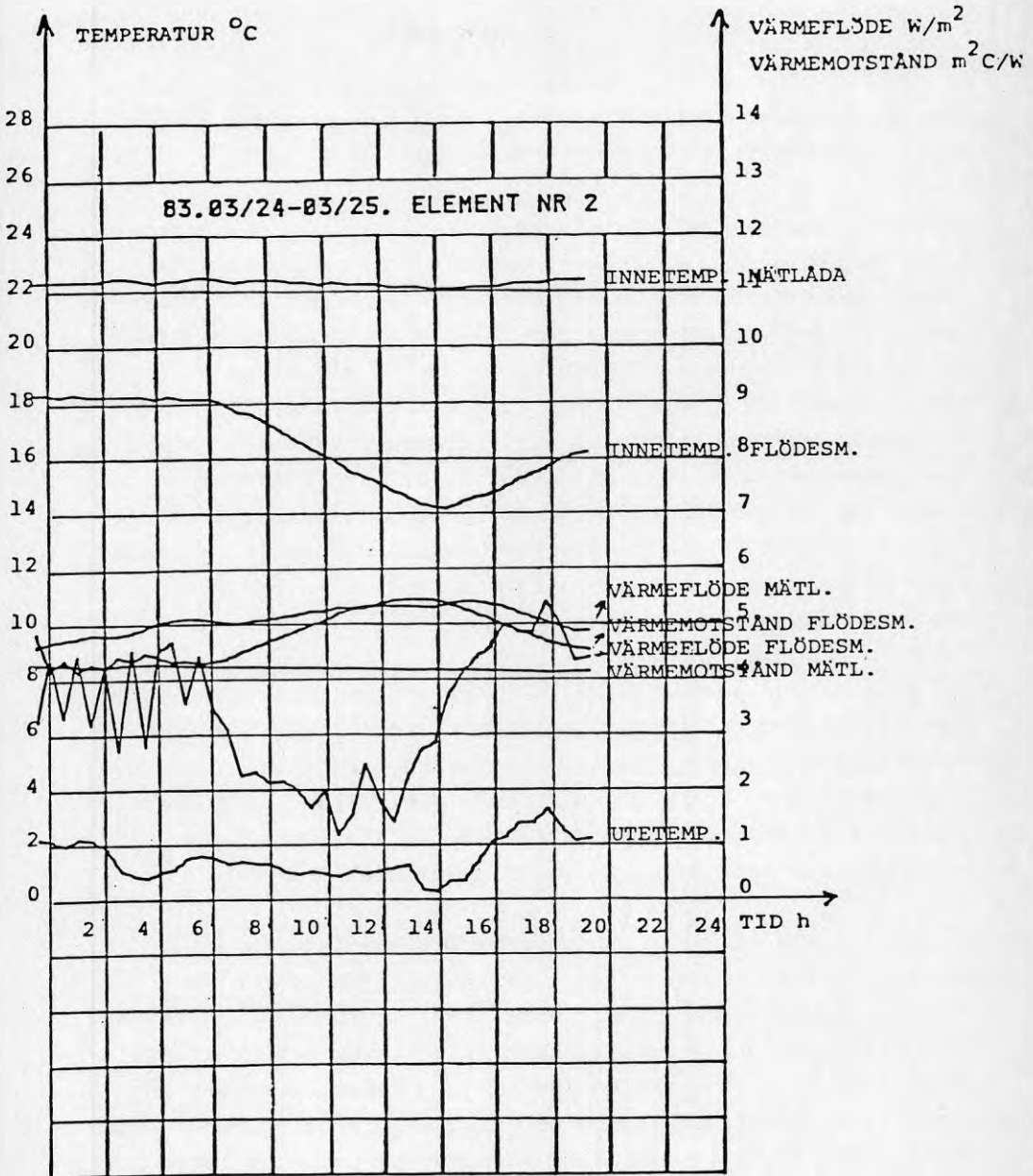


FIG. 4.15 Beräkning av värmemotstånd under en period där innetemperaturen varierar.

Från kl 0 till kl 6 ligger innetemperaturen relativt konstant på ca $18,5^{\circ}\text{C}$. Värmeflödesmätaren pendlar mellan ca $3 - 4,5 \text{ W/m}^2$ och ger ett värmemotstånd ca $4,3 \text{ m}^2\text{/W}$. Mätlådan ger med innetemperaturen ca 22° ett värme flöde $4,5 - 5,5 \text{ W/m}^2$. Värme flödet är något ökande med den sjunkande utetemperatur. En beräkning av värmemotståndet med värden från mätlådan ger även detta till resultat ca $4,3 \text{ m}^2\text{C/W}$.

Klockan 6 sänks innetemperaturen. Den sjunkande innetemperaturen avspeglar sig omedelbart i ett sjunkande utslag från värme flödesmätaren och därmed även ett högre beräknat värmemotstånd. Det bör noteras att det lägre uppmätta värme flödet har mycket lite med förändringen av den totala temperaturdifferensen över elementet att göra utan den kraftiga förändringen beror på ändringen av innetemperaturen och därmed även på värme flödet in i elementet omedelbart efter sänkningen. Klockan 14 höjs åter temperaturen i rummet. Höjningen resulterar i ett värme flöde som överskrider värme flödet under den stationära perioden, kl 0-6, och innebär en reducering av det summerade värmemotståndet.

Vid mätningarna med mätlådan, där temperaturen på elementets varmsida ligger konstant på ca $22,5^{\circ}\text{C}$, syns ingen inverkan av den sjunkande rumstemperaturen på varken värme flöde eller beräknat motstånd. En viss variation i värme flödet är noterbar, men denna är förorsakad av variationer i utetemperatur och har inget med sänkningen av rumstemperaturen att göra.

En nackdel med mätlådan gentemot värme flödesmätarna är svårigheter vid perioder med inåtriktat flöde. Värme flödesmätaren registrerar flöden i båda riktningarna medan mätlådan inte kan föra bort effekt, utan alltid kräver ett utåtriktat flöde. I FIG. 4.16 visas en period där utetemperatur, på grund av stor solinstrålning mot fasaden, antagit mycket höga värden. Med väl vald period är värmemotståndet, med lågt ställda krav på mätnoggrannhet, beräkningsbart med värden från flödesmätaren, medan mätlådan i detta fall inte ger några användbara resultat.

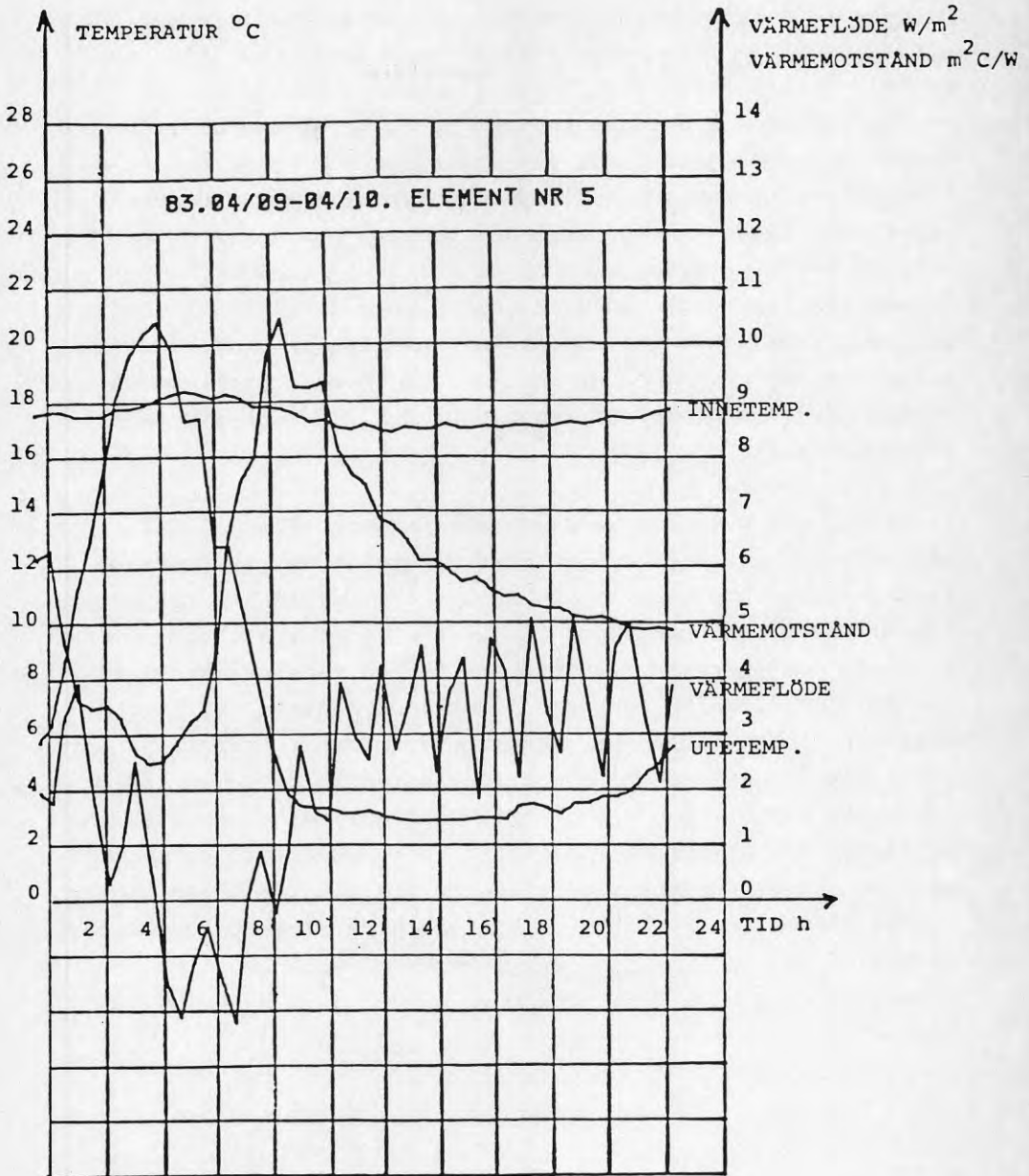


FIG. 4.16 Beräkning av värmemotståndet för ett element under en period med inåtriktat värme flöde.

Beräkning av värmemotstånd under sådana perioder som visas i FIG. 4.16 är mycket osäkra. Då värmemotståndet hela tiden beräknas som kvoten mellan summan av temperaturdifferens och summan av värmeflödet och då båda dessa summor kan bli lika med eller nära noll blir fluktuationerna i det beräknade värmemotståndet mycket stora. Trots att villkoren om integrationstiden dvs samma temperaturdifferens och samma tecken på temperaturdifferensens derivata i begynnelse och slutpunkt är uppfyllda, ligger värmemotståndet så högt som $4,9 \text{ m}^2\text{C/W}$. Ett korrekt värde på detta element är $4,1 \text{ m}^2\text{C/W}$. Detta innebär att de ställda kraven på integrationstid inte är tillräckliga vid extrema förhållanden. I sådana fall måste även temperaturerna på ömse sidor om elementet en tid före summeringsperiodens början, överensstämma med temperaturerna vid summeringsperiodens slut.

Problemet med övertemperatur i mätlådan kan alltid lösas genom att temperaturen på mätdelen ökas så mycket att inåtriktade flöden aldrig uppstår. Detta innebär emellertid att temperaturen i mätlådan under vissa tidpunkter kommer att vara mycket högre än temperaturen i rummet och därmed uppstår istället risk för tvärledning av värmeflödet i elementets ytskikt. Avsikten är att mätlådans skyddssektioner ska säkerställa det endimensionella flödet inom mätlådans centraldel, men med stor temperaturdifferens och hög värmeledningsförmåga hos ytskiktet är risken att skyddsdelarnas bredd inte kommer att räcka till, utan en del av den inmatade effekten till centraldelen kommer att gå genom inre ytskiktet till luften på elementets insida, se FIG. 4.17.

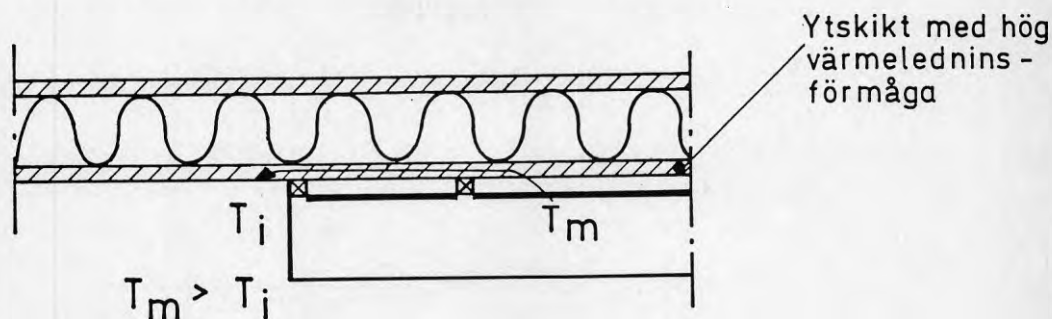
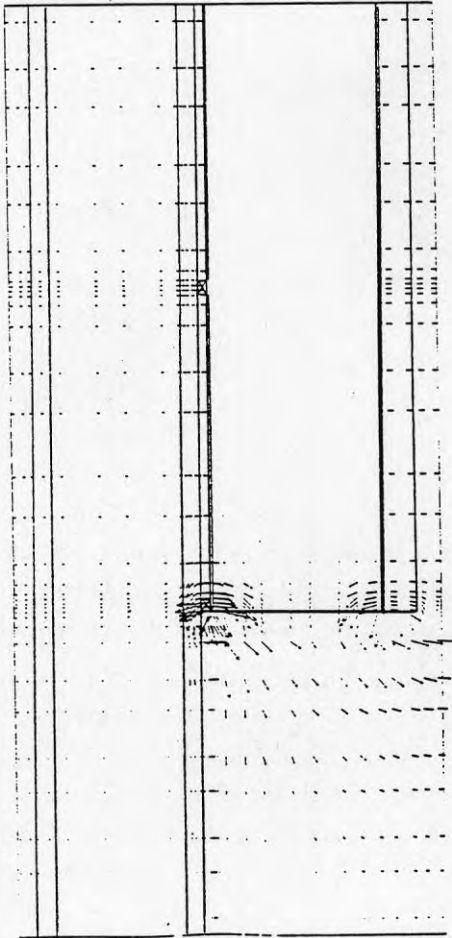


FIG. 4.17 Vid stor skillnad mellan mätlådans temperatur och rummets temperatur finns risk för värmetransport från mätdel till rummet genom ledning i ytskiktet.

Detta läckflöde har här valts att analysera genom en teoretisk beräkning av värmeflöden och temperaturfördelningar vid en antagen konstant temperaturdifferens mellan mätdel och omgivande luft. Som förutsättningar har valts fullständig balans mellan mätfält, skyddsring och motvärmefolie, en temperatur på dessa enheter av $+20^{\circ}\text{C}$ och en temperatur på utsidan av elementet av $+0^{\circ}\text{C}$. Rummets temperatur har valts till $+10^{\circ}\text{C}$, vilket följaktligen innebär en temperaturdifferens mellan mätlåda och omgivningen av $+10^{\circ}\text{C}$. Den högsta temperaturdifferens som praktiskt förekommit under en mätperiod är $+8^{\circ}\text{C}$. Även om denna stora temperaturskillnad på intet sätt är normal, utan är styrd för att nå detta värde, se FIG. 4.13, kan det vara intressant att genomföra en felanalys för ett värde på denna nivå. Som materialförutsättningar har använts typiska värden från elementen i fältstationen. I FIG. 4.18 visas i såväl grafisk som numerisk form resultatet av en genomförd temperaturfördelningsberäkning med dessa förutsättningar. Beräknade värmeflöden framgår tillsammans med nödvändiga effekter för att hålla de föreskrivna randvillkoren av FIG. 4.19.

1001 004
 1001 004
 1001 004
 1001 004



REACTIVE RECHAPPEL IN THE MODELS

MULTIPLY PRINTED VALUES BY 10 RAISED TO -3 - DENOTES FREE VARIABLE

-04	-140	-150	-157	-100	-55	-22	-54	-147	-315	-527	-108	-42	-168	-315	-315	-140
					701	528	590	607	479	554	175	52	165	521	315	141
					1123	513	502	658	869	825	418	107	478	700	700	547
-104	-456	-757	-1291	-890	-47	-18	-08	-382	-811	-815	-416	-107	-418	-780	-780	-547

FIG. 4.19 Värmeflöden kring mätlådans kant vid temperatordifferens mellan mätadel och rumsluft.

Då skyddsdelens bredd runt om är även läckflödet, under förutsättning att värmeväxlingen är endimensionellt 200 mm in i mätområdet, detsamma oberoende av vilken del av skyddsringen som studeras. Om de lokala fenomen i mätlådans hörn försummas kan totala läckflödet beräknas som

$$\phi = \frac{(\Phi_{2\text{-dim}} - q_{1\text{-dim}} \cdot b) 2(b + a)}{2 \cdot l} \quad \dots (4.9)$$

ϕ	= läckflöde	[W]
$\Phi_{2\text{-dim}}$	= nödvändig effekt till mätmedel med måtten $b \times l$ m för att hålla föreskrivna randvillkor	[W]
$q_{1\text{-dim}}$	= värmeväxlingsintensitet genom konstruktion vid endimensionellt flöde = $\Delta\theta/R$	[W/m ²]
$\Delta\theta$	= föreskriven temperaturredifferens mellan mätmedel och uteluft	[°C]
R	= föreskrivet värmemotstånd från mätmedel till uteluft	[m ² °C/W]
b	= mätmedelens bredd	[m]
a	= mätmedelens längd	[m]

Med de förutsättningar som valts blir det endimensionella flödet $q_{1\text{-dim}} = 5,60 \text{ W/m}^2$. Nödvändig effekt till mätmedel erhålls genom summering av "reactive recharge" för mätmedel i FIG. 4.19 $\Phi_{2\text{-dim}} = 1,98 \text{ W}$. Insatt i Ekv. 4.9 ger detta

$$\Delta\Phi_{\text{tot}} = (1,98 - 5,60 \cdot 0,35) \cdot \frac{2(0,4 + 0,6)}{2 \cdot 1,0} = 0,02 \quad [\text{W}] \quad \dots (4.10)$$

dvs ett fel i storleksordning 1%.

Då mätlådan har samma principiella utformning som varmsidan på en guarded hot plate kan en felanalys på en mätning med mätlådan i huvudsak genomföras på samma sätt som för en sådan, se exempelvis Bankvall (1972). Mätningarna har i huvudsak använts för att beräkna värmemotstånd varför eventuella osäkerheter i tjocklek bortfaller och relativa felet kan tecknas

$$\frac{R_{\max}}{R} = \frac{1}{\Phi} \delta\Phi + \frac{1}{A} \delta A + \frac{1}{\theta_V - \theta_K} \delta\Delta\theta \quad \dots(4.11)$$

Det relativa felet i den tillförda effekten kan liksom för en plattapparat separeras i direkt felregistrering, fel på grund av balansfel och fel på grund av randförluster. Till dessa fel kommer vid instationära förhållanden en osäkerhet som beror på förhållanden i början och slutet av utvärderingsperioden och som är beroende av periodens längd, jfr KAP. 4.2.1.

Den summerade tillförda effekten till mätdelens centraldel bestäms genom uppmätning av ström och spänning. Utrustningen för effektmätning har före fältmätningarna kontrollerats genom påläggande av en given konstant effekt. Då mätutrustningen vid fältmätningen befinner sig i något varierande temperatur uppnås inte riktigt den noggrannhet som vid laboriemätningar, varför maximala felet på grund av direkt felregistrering uppskattas till 1%.

Fel på grund av balansfel kan behandlas på samma sätt som för en plattapparat, Woodside (1957). Det maximala balansfel som förekommit vid mätningarna är 0,2°C mellan mätdel och skyddsdel och 0,1°C mellan mätdel och motvärmefolie. Med insatta värden på mätlådans geometri och materialegenskaper erhålls då ett maximalt fel i värmeflödet av 0,07 W.

Felet i uppmätt värmefflöde på grund av randförluster är vid mätlådan av någon annorlunda karaktär än vid en plattapparat. Den konstruktion man vill undersöka befinner sig i en temperaturgradient som, om mätlådans folie befinner sig i samma

temperatur som rummet, gör randförlusterna obefintliga. Men då man för att säkerställa mätlådans funktion, som tidigare påpekats, måste välja en temperatur inne i lådan som är högre än den högsta förekommande temperaturen i omgivande rum, uppstår ett tvådimensionellt flöde intill mätlådans kanter. Detta fel uppskattas enligt tidigare till maximalt ca 0,02 W.

Felet i mätarean uppskattas till ca 4%. Detta fel är då ansatt till 5 mm felaktigt längdmått i båda riktningarna samt arean av halva den trälist som skiljer mätområdet och skyddsdelarna. Denna senare ansats kan förefalla onödigt stor, men har gjorts då värmeförhållandena intill denna list är otillfredsställande kända.

Som tidigare beskrivits är temperaturdifferensen direkt uppmätt med seriekopplade termoelement. Detta gör att felet i temperaturdifferens uppskattas till mindre än 0,5°C.

Totalt innebär detta vid en temperaturdifferens av 20°C, vilket är ett vanligt temperaturförhållande vid mätningarna, ett maximalt fel av storleksordning 10-15%.

Vid användande av flödesmätare blir felet i direkt uppmätt värmeflöde förmodligen mindre, främst beroende på att osäkerhet i area bortfaller. De osäkerheter som förekommer är den tidigare behandlade variationen i flödesmätarkonstant med temperaturen samt en direkt osäkerhet i denna konstant. Däremot innebär utvärderingen större osäkerheter vid alternativet med flödesmätare, se ISO-kravet i KAP. 4.2.1, varför felet även i detta fall uppskattas till storleksordning 10-15%

4.3 Resultat från värmemotståndsmätningarna av elementen vid fältstationen

Första uppmätningen av värmemotstånden gjordes vintern 1976-77. Vid denna mätning användes endast värmeflödesmätare för registrering av värmeflöden. Den första mätningen med mätlådan utfördes våren 1981. Den senast utförda mätningen gjordes

vintern 1987-88. Vid denna mätning användes såväl värme-flödesmätare som mätlådan. Resultaten från den första och den senaste mätningen framgår av TAB. 4.3.

TABELL 4.3 Uppmätta värmemotstånd för elementen vid fältstationen

Element	VÄRMEMOTSTÅND $m^2 \cdot C/W$		
	Vintern 76/77 flödesmätare	Vintern 87/88 flödesmätare mätlåda	
1	4,4	4,5	4,1
2	3,9	4,5	4,1
3	4,1	4,4	4,6
4	4,1	4,0 ^{x)}	4,2 ^{x)}
5	4,0	4,0	4,1
6	4,1	4,0	4,1
7	3,9	4,0	4,2
8	3,9	4,1	4,1

x) Avser våren 1983

Medeltemperaturen vid mätningarna under vintern 76/77 var ca 10°C. Vintern 87/88 låg medeltemperaturen vid mätningarna med flödesmätare mellan 9°C och 11°C. Vid mätningarna med mätlådan var motsvarande värde 10°C till 13°C.

Av TAB. 4.3 framgår att ingen försämring av den värmeisolerande förmågan kan konstateras under de 11 år provningarna fortgått. Den skillnad mellan värdena som kan noteras vid de olika mättidpunkterna är förmodligen helt att hänföra till mätonoggrannhet.

Den relativt stora mätonoggrannhet 10-15%, som redovisas i KAP. 4.2, kan förefalla oroande vid jämförelsen av värden mellan de olika perioderna. Man måste emellertid då observera att beräknat fel för mätlådan utgör maximalt fel på absolut-

värdet. Felet i mätarean, 4%, förändras exempelvis inte mellan olika mätningar, utan bortfaller om man endast ska använda uppmätta värmemotstånd för jämförelse med erhållna värden vid andra tidpunkter. Det har visat sig att variationer mellan uppmätta värden under olika perioder hela tiden ligger i den storleksordning som redovisas i TAB. 4.3. Det högsta uppmätta värdet, $4,6 \text{ m}^2\text{C/W}$, återfinns i denna tabell och erhöles vid mätning med mätlådan på element nr 3 vintern 87/88. Lägsta uppmätta värdet, $3,8 \text{ m}^2\text{C/W}$, erhöles även detta med mätlådan, men nu på element nr 7 våren 1982. Man torde därmed kunna säga att ett slumpmässigt fel snarare ligger i storleksordning 5-10%, är ovan redovisade 10-15%. Även om man väljer den högre nivån för osäkerhet i mätningarna bör man emellertid hålla i minnet att en normal förändring av motståndet under 11 år för en 80 mm tjock skiva utan ytskikt är av en helt annan storleksordning. I FIG. 4.20 visas beräknad motståndsförändring för en sådan skiva. Som utgångsvärden vid tiden noll har använts värmemotstånd $3,9 \text{ m}^2\text{C/W}$. Vidare har antagits att cellerna vid denna tidpunkt innehåller 100 kPa CFCl_3 och är helt fria från luft.

VÄRMEMOTSTÅND R ($\text{m}^2\text{C/W}$)

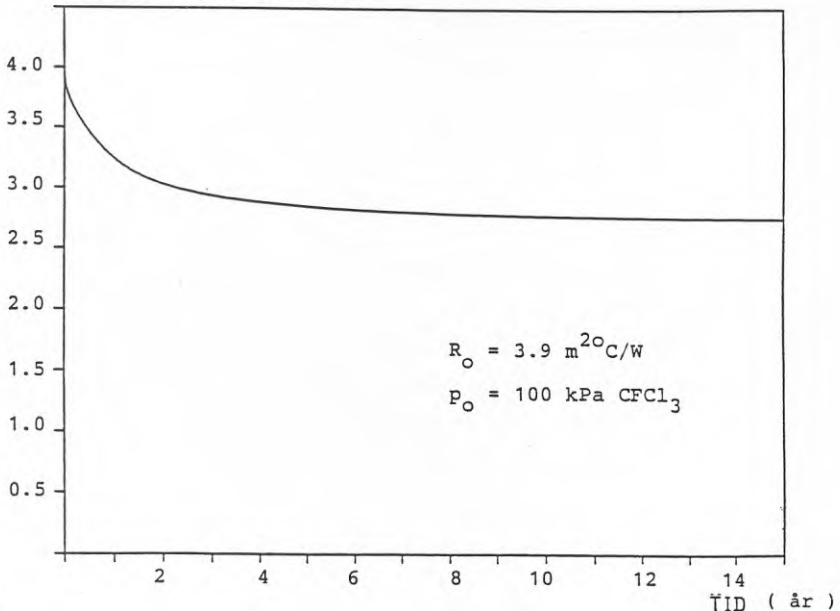


FIG. 4.20 Beräknad förändring av värmemotstånd för en 80 mm tjock uretanskiva utan ytskikt.

Av figuren framgår att förändringen i värmemotstånd under 11 år för en helt färsk 80 mm tjock PUR-skiva utan ytskikt borde vara ca $1,2 \text{ m}^2\text{C/W}$ dvs, som nämnts ovan, en annan storleksordning än variationerna i TAB. 4.3. Detta tyder på att de aktuella ytskikten, tillsammans med gjuthuden förhindrat luftinträngningen och därmed även tillsett att det ursprungliga värmemotståndet bibehållits.

Av "åldringskurvan" i FIG. 4.20 framgår emellertid att huvuddelen av λ -värdesförändringen sker relativt omgående efter tillverkningen. De första mätningarna vid fältstationen genomfördes först ca 1/2 år efter tillverkningen.

För att säkert kunna följa utvecklingen från relativt färskt skum tillverkades därför samtidigt som elementen till fältstationen även 2 st mindre element av var typ. Dessa element vars mått framgår av FIG. 4.21 är vad avser ytskikt och formulering av uretancellplasten identiska med de element som monterades vid fältstationen.

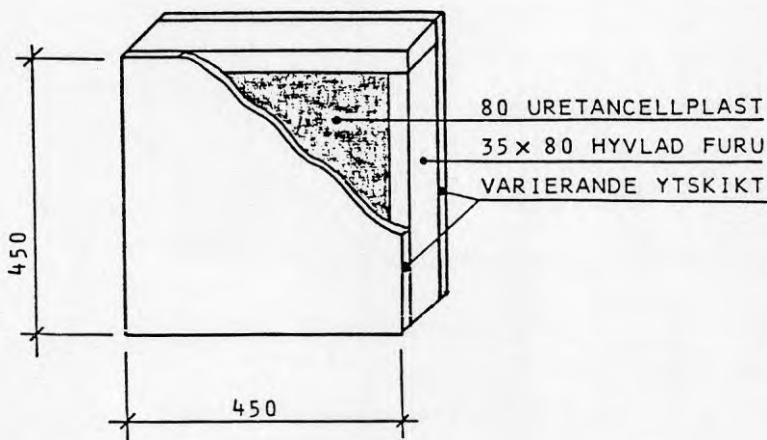


FIG. 4.21 Provelement för bestämning av värmemotstånd i laboratorium.

Genom att elementen försetts med en ram 35 x 80 mm av hyvlad furu runt om har kunnat bortses helt från randförluster, dvs risken för luftinträngning i cellplasten från kanterna under den tid provningen omfattar.

Bestämningen av elementens värmemotstånd är gjord i den plattapparat som beskrivits i KAP.3.1.2. Vid provningarna har valts att istället för att direkt använda varmplattans centraldel, för att bestämma flödet, använda en värmefflödesmätare inlagd mellan prov och varmplatta. Orsaken är den relativt höga ledningsförmågan i ytskikten. Denna höga värmeledningsförmåga ger risk för värmetransport mellan centraldel och skyddsdel på plattapparatens varmsida, jfr KAP. 4.2.2. Med den använda flödesmätaren mäts flödet dessutom endast i den centrala delen av skivan, ϕ 80 mm, varför även fel på grund av tvärströmning i ytskikten ut till omgivande luft eller genom ytskikt och kantregel minskar.

Utrustningen i den form den använts i dessa försök framgår av FIG. 4.22.

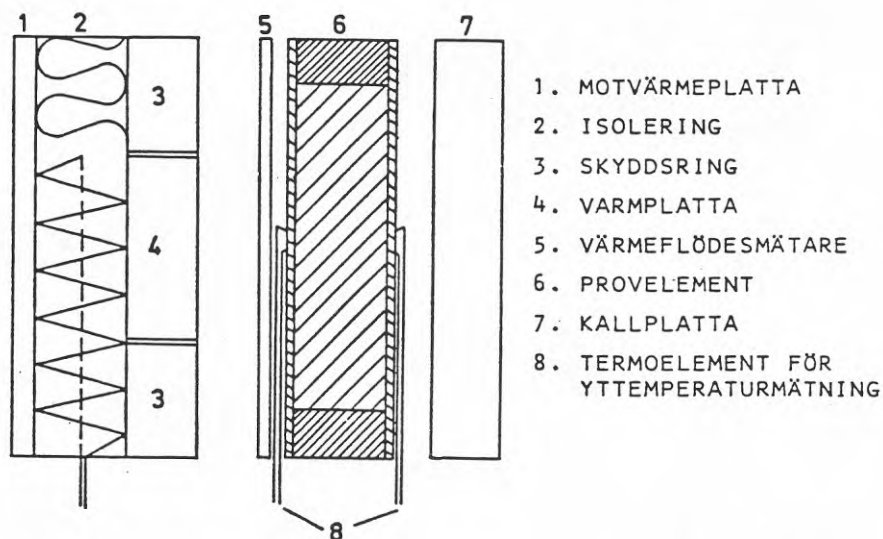


FIG. 4.22 Principfigur över plattapparat med flödesmätare.

I FIG. 4.23 och FIG. 4.24 visas resultatet från en teoretisk beräkning av temperaturfördelning och värmefflöde vid provning av element av den aktuella typen i en plattapparat.

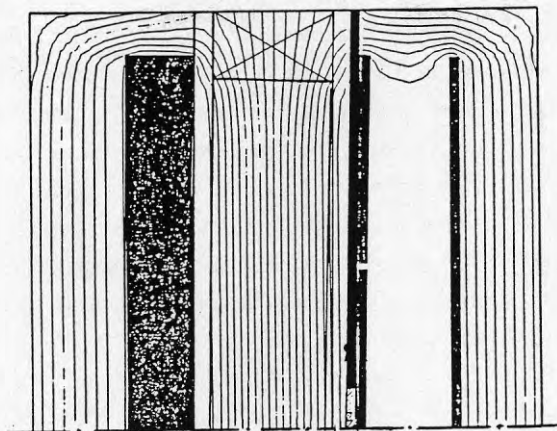


FIG. 4.23 Temperaturfördelning vid provning av element i en plattapparat med värmefflödesmätare.

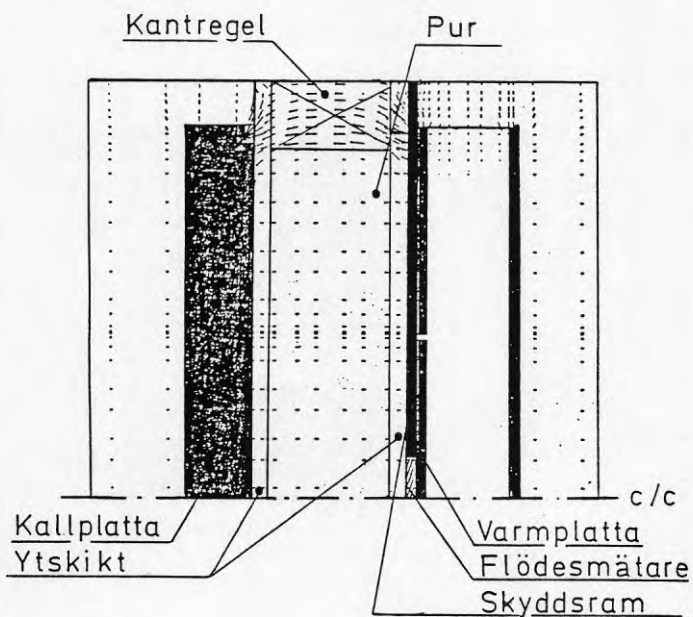


FIG. 4.24 Värmefflöden vid provning av element i en plattapparat med värmefflödesmätare.

Av figurerna framgår att värmeflödet genom flödesmätaren och mittre delen av elementet är helt endimensionellt.

Flödesmätaren, som var av samma typ som användes vid fältstationen, lades in i en ram av hård träfiberskiva varpå flödesmätare och ram kläddes in med en gummiduk på båda sidor. Temperaturdifferensen registrerades med 3 st termoelement av koppar-konstantan på vardera sidan om provelementet. På kallsidan användes de tre termoelement som finns fast monterade på kallplattan, medan temperaturen på varmsidan mättes med termoelement försänkta i gummiduken. Ur dessa värmeflöden och temperaturdifferenser beräknades sedan värmemotståndet för elementen på vanligt sätt enligt

$$R = \frac{\Delta\theta}{q} \quad \dots (4.13)$$

där	R = värmemotstånd	[m ² °C/W]
	Δθ = temperaturdifferens	[°C]
	q = värmeflödestäthet	[W/m ²]

Av varje elementtyp undersöktes två skilda provelement. I TAB. 4.4 visas resultat från dessa provningar. Här redovisas även tidpunkten för provningen samt medeltemperaturen i resp prov.

TABELL 4.4 Värmemotstånd för element bestämda i platt-
apparat med värmefflödesmätare

Element		Datum	Medel- tempera- tur °C	Värmemotstånd	
NR	Prov			m ² °C/W	Medelvärde
1	1	761007	11,0	4,0	4,0
	2	761005	11,0	4,0	
2	1	760910	11,3	4,2	4,1
	1	761008	10,9	4,0	
3	1	760914	11,5	4,1	4,1
	2	761008	10,9	4,1	
4	1	760811	12,0	4,1	4,1
	2	761130	12,0	4,1	
5	1	760915	12,0		4,0
	2	761201	12,1	4,1	
6	1	760903	12,0	4,3	4,3
	2	761203	12,0	4,2	
7	1	770323	11,5	4,3	4,0
	2	761118	12,3	4,0	
8	1	770412	12,6	4,1	4,2
	2	770413	12,5	4,2	

Av tabellen framgår att värmemotstånden är på samma nivå som de i TAB.4.3 redovisade från fältstationen. Vidare kan konstateras att ingen skillnad kan noteras mellan den första mätningen den 11/8 dvs ca 1 månad efter tillverkningen fram till december samma år, då mätningarna vid fältstationen påbörjades.

4.4 Värmeledningsförmåga för uretankärnan hos elementen vid fältstationen

Vid fältmätningarna har värmemotstånden hela tiden beräknats för den totala konstruktionen, dvs både ytskikt och isolering. För att kunna beräkna cellplastens värmeledningsförmåga måste därför värmemotståndet för ytskikten separeras från elementets motstånd. Bestämningen av ytskiktens motstånd är gjord i samma plattapparat som beskrivits tidigare. Vid denna bestämning har, av samma orsak som vid de små elementen i föregående kapitel, valts att istället för att direkt använda varmplattans centraldel för att bestämma flödet, använda en värme-flödesmätare inlagd mellan prov och varmplatta.

Vid provningen har ytskikten, ett i taget, placerats i plattapparaten tillsammans med en 50 mm tjock styrencellplastskiva med känt motstånd. Genom att mäta det totala motståndet och subtrahera det kända motståndet för cellplasten har på detta sätt skivans motstånd kunnat bestämmas. Som en kontroll har även temperaturdifferens över själva skivan bestämts, och motståndet beräknats ur denna temperaturdifferens och värme-flödet genom provet.

Genom att använda en cellplastskiva har skivmaterialet kunnat placeras på den varma resp kalla sidan om cellplasten beroende på om materialet använts som inre resp yttre ytskikt. Detta har möjliggjort att motstånden på de inre ytskikten bestämts vid +20°C och de yttre vid +1°C, dvs temperaturförhållanden som är realistiska och väl jämförbara med de förhållanden som rått vid fältstationsmätningarna.

Principen att på detta sätt erhålla det önskade värdet genom subtraktion av två stora termer kan förefalla vanskligt och dåligt övertänkt. Metoden innebär emellertid även fördelar. Genom att värmeflödet nedbringas till en rimlig nivå jämfört med om endast skivmaterialet skulle undersökts, minskas felet på grund av eventuella övergångsmotstånd mellan den styva skivan och plattapparaten termoelement. Vidare innebär detta arrangemang, som nämnts ovan, en enkel möjlighet att utföra provningarna vid realistiska medeltemperaturer.

Element 7 och 8 har en yttre beklädnad av stålplåt, varför utifrån kommande fukt här inte är av intresse. Element nr 5 och 6 har däremot ytskikt av 12 mm plywood som exponeras direkt mot uteluften och som därför tidvis har hög fuktkvot. Detta gäller även element 1 - 4, som trots att en regnavisande skärm här finns, erhåller relativt höga fuktkvoter i yttre ytskikten då dessa består av hygroskopiska material och relativa ånghalten ofta ligger nära 100%.

Överensstämmelsen mellan fuktförhållanden vid fältstation och vid laboratoriemätningarna, där skivorna förvaras i laboratorieatmosfär ca 20°C, 40% RÅ före provning, är därför vad gäller yttre ytskiktet mycket dålig, medan överensstämmelsen är relativt god för det inre ytskiktet.

I TAB. 4.5 redovisas erhållna värmemotstånd vid provningarna i plattapparaten. Som en jämförelse redovisas även praktiskt tillämpbara värden enligt SBN Kommentarsamling 1981. Värdena från SBN gäller vid medeltemperatur +10°C och vid en fuktkvot som anses vara normalt förekommande i en byggnadsdel som ej är särskilt utsatt för nedfuktning. Värmemotståndet för gips-skivorna är direkt hämtade från SBN, medan motståndet för övriga skivmaterial är beräknade ur praktisk tillämpbar värmeledningsförmåga och skivans tjocklek.

TABELL 4.5 Ytskiktens värmemotstånd

Element	Värmemotstånd $m^2 \cdot C/W$					
	Uppmätt			SBN		
	Inside	Utsida	Totalt	Inside	Utsida	Totalt
1	0,08	0,12	0,20	0,06	0,11	0,17
2	0,08	0,25	0,33	0,06	0,20	0,26
3	0,08	0,06	0,14	0,06	0,04	0,09
4	0,11	0,12	0,23	0,10	0,09	0,19
5	0,08	0,12	0,20	0,06	0,09	0,15
6	0,11	0,12	0,23	0,10	0,09	0,19
7	0,08	-	0,08	0,06	-	0,06
8	0,11	-	0,11	0,10	-	0,10

Med känt värmemotstånd för hela elementen och känt motstånd för ytskikten är det möjligt att beräkna uretancellplastens värmemotstånd, och därmed även dess värmeledningsförmåga. I TAB. 4.6 redovisas värmeledningsförmåga beräknade ur värmemotstånd för elementen från TAB. 4.3 och TAB. 4.4 samt värmemotstånd för ytskikten från TAB. 4.5. För insidans ytskikt har liksom för yttre ytskiktet vid laboratorieprovet använts uppmätta värden, medan SBN:s värden använts för yttre ytskiktet vid resultaten från fältstationen. Genom att ytskiktens värmemotstånd utgör en så liten andel av det totala motståndet påverkar en liten variation av det antagna värdet för ytskikten knappast alls beräkningen av kärnans värmeledningsförmåga.

TABELL 4.6 Värmeledningsförmåga för cellplastkärnan hos elementen vid fältstationen och laboratorieprovningarna

Element	Värmeledningsförmåga			W/m°C
	Vintern 76/77	Vintern 87/88		Lab
		flödesmätare	mätlåda	Hösten 76
1	0,019	0,019	0,020	0,021
2	0,022	0,019	0,021	0,022
3	0,020	0,019	0,018	0,020
4	0,021	0,021	0,020	0,021
5	0,021	0,021	0,020	0,021
6	0,021	0,021	0,021	0,020
7	0,021	0,021	0,019	0,020
8	0,021	0,021	0,020	0,020
Medel- värde	0,021	0,020	0,020	0,021

Av tabellen framgår att ingen skillnad kan noteras mellan värdena uppmätta i det närmaste omedelbart efter tillverkningen och efter 11 år.

Den 31 maj 1983 monterades element nr 4 ner och transporterades till laboratoriet för närmare undersökning av cellplastkärnan. Erhållen densitetsfördelning har redovisats tidigare i FIG. 4.3. Varken denna densitetsfördelning eller celldiametern, $d\phi = 0,6$ mm, som bestämdes samtidigt, skiljer från vad som kan betecknas som normalt för ett direktskummad uretancellplastelement. Däremot visade det sig att skumkärnan närmast yttskikten, ca 10 mm, innehöll vissa håligheter, se FIG. 4.25.

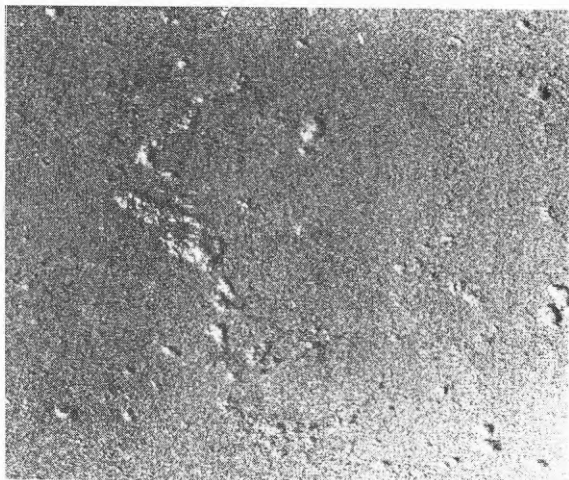


FIG. 4.25 Utsågad cellplastkärna från element nr 4.

Resultaten från TAB. 4.6 tyder på att den värmeisolerande förmågan hos uretancellplastkärnan i elementen är helt oberoende av tiden. Skall detta vara möjligt måste, som framgår av FIG. 2.2, luften förhindrats att tränga in i cellerna. Är det så att ytskikten på elementen förhindrat luftinträngningen måste emellertid ett prov sågat ur ett av dessa element åldras som ett färskt prov.

Vid uppsågningen av element nr 4 sommaren 1983 användes endast halva elementet. Resterande del förvarades med bibehållna ytskikt i laboratorieatmosfär fram till hösten 1988. I samband med sammanställningen av de senaste fältmätningarna redovisade i TAB. 4.3, togs även ut prover ur detta element för bestämning av värmeledningsförmåga i laboratorium. Vid uttagningen delades provstyckena för att påskynda åldringen så långt någonsin möjligt. Metod för uttagning framgår av FIG. 4.26.

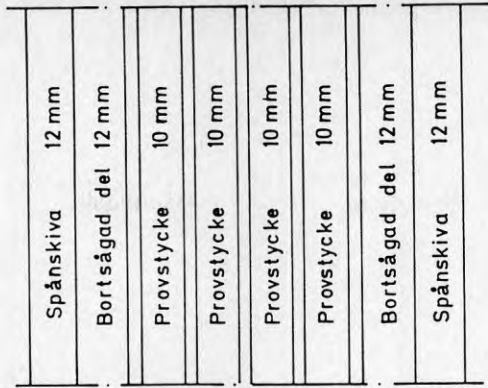


FIG. 4.26 Princip för uttagning av provstycken för laboratoriebestämning av värmeledningsförmåga.

Vid bestämning av värmeledningsförmågan lades samtliga 4 provstycken samman, medan de mellan provningarna förvarades åtskilda.

Antar man att "åldringen" sker genom en direkt diffusions-transport av gaser, kan en direkt omräkning mellan tid och provkroppstjocklek göras enligt

$$t_1 = t_2 \frac{\ell_1^2}{\ell_2^2} \quad \dots (4.14)$$

där

$$t_1 = \text{tid för skivan med tjocklek } \ell_1 \text{ att nå värmeledningsförmåga } \lambda$$

$$t_2 = \text{tid för skivan med tjocklek } \ell_2 \text{ att nå värmeledningsförmåga } \lambda$$

Detta innebär då att den månad som redovisas i FIG. 4.27 för det 10 mm tjocka provet motsvaras av drygt 5 år för ett 80 mm tjockt prov, dvs. för den tjocklek som är aktuell i fältstationen.

Värmeledningsförmåga
(W/m°C)

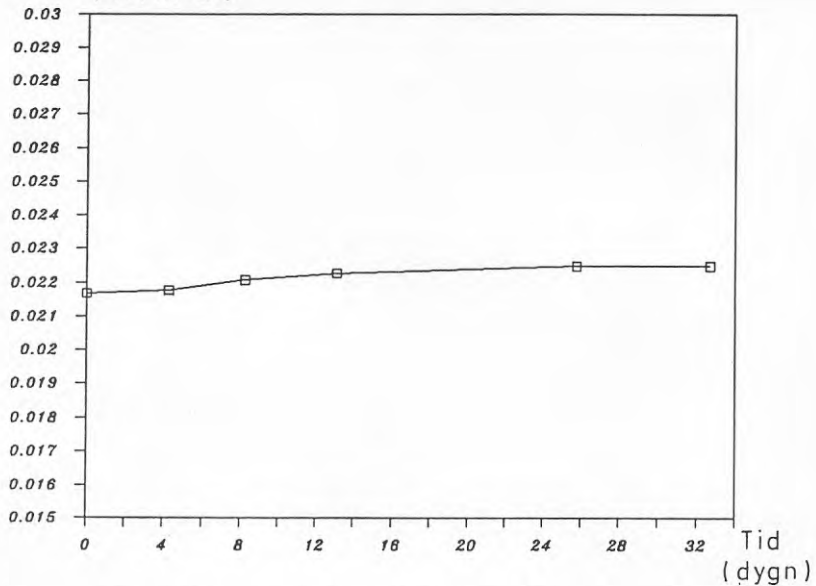


FIG. 4.27 Förändring av värmeledningsförmåga med tiden för 10 mm tjocka provstycken sågade ur ett 12 år gammalt element.

Av FIG. 4.27 framgår att "åldringen" av provet från fältstationselementet inte överensstämmer med åldringen hos ett färskt material, se FIG. 2.2. Observera vid jämförelsen att den redovisade perioden i FIG. 4.27, på grund av skillnaden i tjocklek motsvarar i det närmaste perioden 0-10 år i FIG. 2.2.

4.5 Slutsatser från mätningarna vid fältstationen

Det är svårt att dra några generella slutsatser ur mätningarna på fältstationen. Det enklaste vore om man direkt utgående från TAB. 4.3 kunde säga att eftersom det inte är någon skillnad mellan uppmätta värmemotstånd vintern 76/77 och vintern 87/88 så måste ytskikten förhindrat såväl luftinträngning som CFCl_3 avgång och kärnan är fortfarande färsk. Hade så varit fallet borde emellertid åldringskurvorna i FIG. 4.27 haft ett helt annat utseende. Den andra slutsatsen av TAB. 4.3 som ligger nära till hands är att cellerna varit helt luftfyllda redan vid den första uppmätningen av motstånden vintern 76/77. Att luft fullständigt skulle hunnit diffundera in från till-

verkningen sommaren 1976 fram till första uppmätningen vintern 1976/77 är emellertid orimligt och detta även om elementen helt saknat ytskikt, jfr luftinträngningen i den endast 50 mm tjocka skivan i FIG. 2.1. Att så inte är fallet bevisas dessutom av uppmätta värmemotstånd i laboratorium hösten 1976.

Alternativet till indiffusion av luft, är att cellerna redan vid tillverkningen erhållit relativt stora mängder luft. Att uretancellplast innehåller vissa luftfyllda celler redan från början är inte på något sätt ovanligt och en hög lufthaltsandel i de aktuella elementen skulle också kunna förklara den dåliga cellstrukturen intill ytskikt, se FIG. 4.25.

Hur ett ursprungligt, jämnt fördelat, luftinnehåll påverkar åldringsförloppet visas i FIG. 4.28 från Isberg (1988).

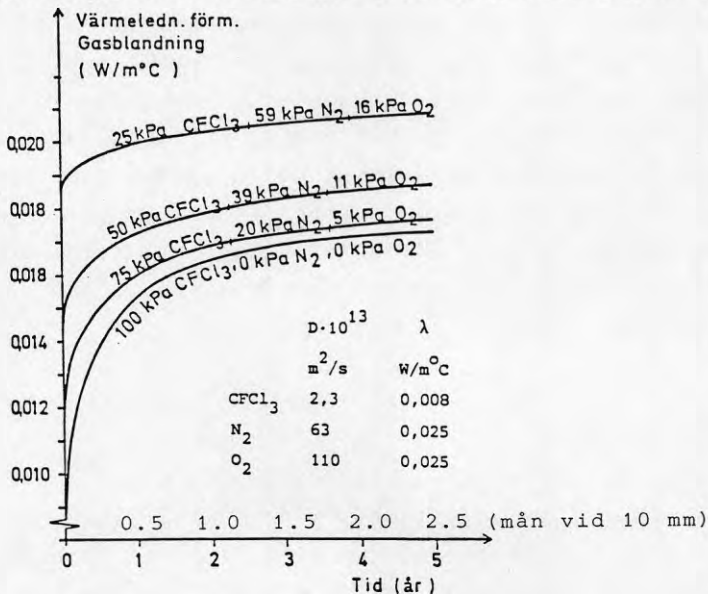


FIG. 4.28 Förändring av värmeledningsförmåga med tiden vid olika ansatser av ursprungligt gasinnehåll, Isberg (1988). I figuren har lagts in en extra tidskala för att överföra kurvorna till 10 mm tjocklek.

Av figuren framgår att åldringskurvorna vid ett antagande om ursprungligt luftinnehåll stämmer bättre med uppmätta värden i FIG. 4.27. När man studerar FIG. 4.28 måste man emellertid

observera att värden endast avser värmeledningsförmåga för själva gasdelen. Till denna adderas värmeöverföring genom strålning och ledning i den första polymeren. Dessa båda delar uppgår i en vältillverkad cellplast i det aktuella densitetsområdet till storleksordning $0,008 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Detta innebär då att den översta kurvan i FIG. 4.28 skulle få ett begynnelsevärde av ca $0,027 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, dvs långt över uppmätta värden på de aktuella elementen. Det bör emellertid noteras att förutsättningarna i FIG. 4.28 inte på något sätt är självklara. Förmodligen kan en nytillverkad uretancellplast ha ett totalt övertryck i cellerna, dvs den ökade luftmängden mellan de olika kurvorna behöver inte kompenseras med ett minskat CFCl_3 -innehåll.

I FIG. 4.29 visas uppmätning av värmeledningsförmåga vid några olika tidpunkter för två olika uretanprover. Det ena kontinuerligt tillverkat och det andra sågat ur ett block. Proverna, som är tagna ur helt nytillverkade produkter, har konditionerats på samma sätt som provet i FIG. 4.27, dvs nedsågade till 10 mm. I figuren har även lagts in värden från provet sågat ur elementet nr 4 från fältstationen. Begynnelsevärdet för detta senare prov är inlagt vid ålder 62,7 dygn som motsvarar åldern 11 år, hos ett 80 mm tjockt prov utan några ytskikt, se Ekv. 4.14.

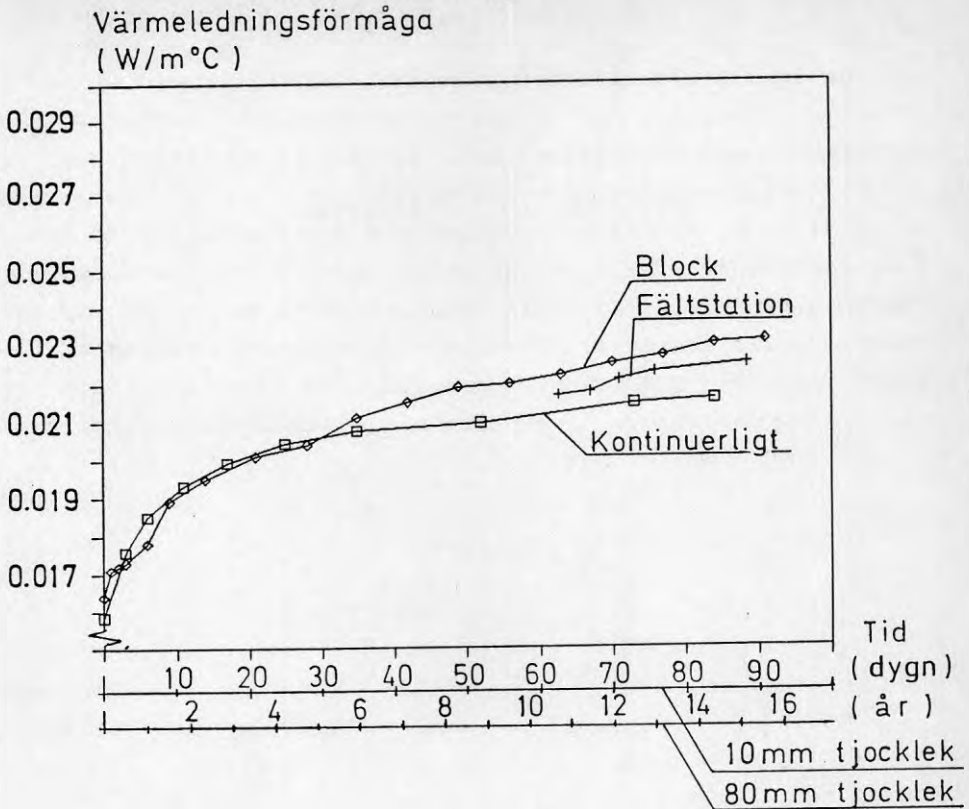


FIG. 4.29 Uppmätt värmeledningsförmåga vid några olika tidpunkter för uretancellplastprover nedsågade till 10 mm.

Överensstämmelsen mellan värdena från elementet från fältstationen och värdena från de andra 10 mm:s proverna, skulle kunna tolkas som att ytskikten varit helt verkningslösa. Hade begynnelsevärdet för fältstationselementen varit på nivå 0,016 W/m°C hade nämligen en 80 mm tjock skiva nått just nivån 0,022 W/m°C efter 11 år, se den extra skalan i FIG. 4.29. Som påpekats tidigare var emellertid värmeledningsförmågan på nivån 0,021 W/m°C redan kort tid efter tillverkningen. Detta medger endast en rimlig förklaring:

- Elementen vid fältstationen, liksom de samtidigt tillverkade elementen för laborierprovning, erhöll redan vid tillverkningen en kraftig luftinblandning.

Det bör emellertid noteras att nivån $0,021 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ vid åldern ca 10 år är ett mycket bra värde. De material som redovisas tillsammans med provstycket från fältstationen i FIG. 4.29 är de två bästa uretancellplaster som undersökts vid avdelningen under de ca 20 år som man sysslat med detta material. I FIG. 4.30 från Isberg (1988) visas såväl uppmätt som teoretiskt beräknad förändring av värmeledningsförmåga med tiden för två material, där grundvärdet liksom vid fältstationselement ligger på nivån $0,020 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, men där proverna åldrats som normala 50 mm:s prover utan vare sig gjuthud eller ytskikt.

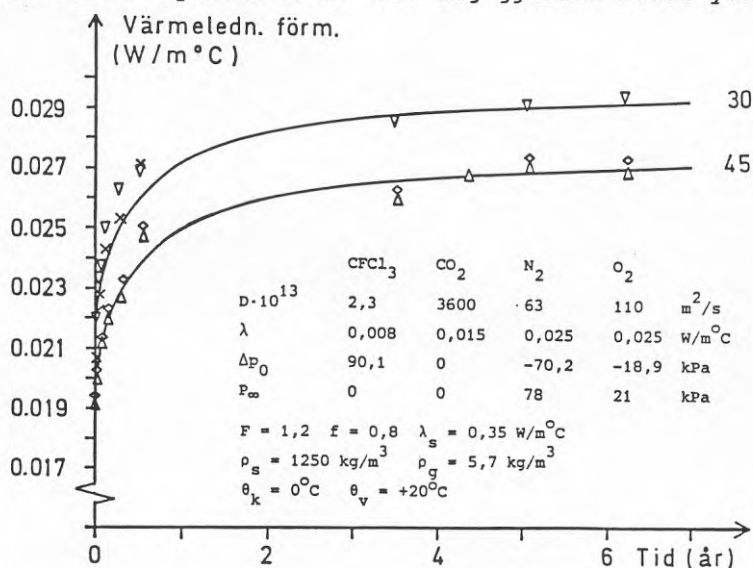


FIG. 4.30 Uppmätt och teoretiskt beräknad förändring av värmeledningsförmågan med tiden för två kvaliteter av uretancellplast, Isberg (1988).

Begynnelsevärdena är $0,0194 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ resp $0,0219 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ för de båda proven, dvs i samma nivå som elementen i fältstationen. Vid 4,3 år, vilket motsvarar ca 11 år för ett 80 mm tjockt prov, se Ekv 4.14, är värdena emellertid $0,0265 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ resp $0,0289 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ att jämföra med $0,0217 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ för fältstationselementet.

Slutsatsen av ovan sagda blir att det enda man direkt vågar säga utgående från fältmätningarna och den efterföljande analysen, är att det är möjligt att tillverka uretanelement

där värmeledningsförmågan från början är på nivå 0,020 W/m°C och att denna nivå kan komma att bibehållas under mycket lång tid, förmodligen hela elementets livslängd.

Man kan däremot inte, utgående från dessa försök, påstå att en uretancellplast med ursprunglig värmeledningsförmåga kring 0,016 W/m°C kommer att bibehålla detta värde i element där ytskikten består av normala byggsivor. Man kan naturligtvis inte heller generellt säga att element med begynnelsevärde kring 0,020 W/m°C kommer att behålla detta värde. Beror det höga begynnelsevärdet på dålig cellstruktur är risken att ett "åldrat" värde snarare kommer att ligga på nivå 0,026 - 0,028 W/m°C. Det bästa vore om en metod kunde framarbetas, där gasgenomgången genom vanliga byggsivor direkt kunde bestämmas och då under förhållanden som motsvarar förhållandet vid ytskikt i direktskummade element. Känner man denna gasgenomgång och ursprungligt gasinnehåll är det med dagens kunskapsnivå inga svårigheter att beräkna hela elements "åldringsförlopp".

SAMMANFATTNING

Vid tillverkning av uretancellplast används ett blåmedel, normalt CFCl_3 , som stannar kvar i cellerna om cellstrukturen är sluten. Det är denna gas som ger uretancellplasten dess goda värmeisolerande egenskaper. Skall denna förmåga kvarstå måste emellertid ursprungligt gasinnehåll bibehållas i cellerna. Avgång av CFCl_3 är normalt inget problem ur värmeteknisk synpunkt, utan intresset kan helt koncentreras på förhindrande av luftinträngning. I FIG. 1 visas förändringen av värmeledningsförmågan med tiden för en 100 mm tjock skiva, där dels realistiska diffusionskoefficienter för luft och CFCl_3 använts, dels där CFCl_3 -gasen antas helt bibehållen under hela "åldringsprocessen".

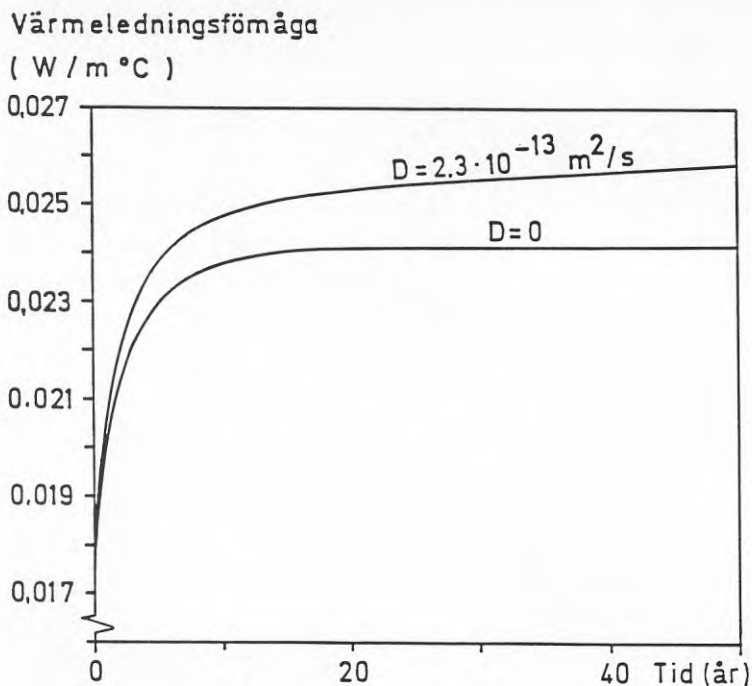


FIG. 1 Förändring av värmeledningsförmågan med tiden om hänsyn toges till utdiffusion av CFCl_3 resp om all CFCl_3 antages förbli kvar i cellerna under hela livstiden.

Laboratorieförsök på element med 25 μm tjock pappersbunden al-folie visar att denna folie inte klarar att utestänga luften, utan sådana element kommer att förändra sina värmeisolerande egenskaper med tiden, se TAB. 1.

TABELL 1 Jämförelse mellan prover förvarade med och utan al-folie

VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA			
Prover utan folie		Prover med folie	
19-23/4-82	5-9/9-88	5-9/9-88	
1A	0,0177	0,0225	1G
2E	0,0174	0,0224	2G
4C	0,0180	0,0223	4I
5I	0,0173	0,0226	5E
7G	0,0173	0,0224	7D

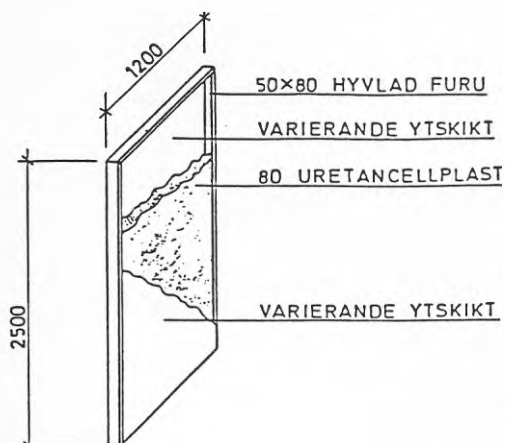
Vid insprutning av uretancellplast i element uppstår ofta en förhöjd densitet intill elementets ytskikt. Denna förhöjda densitet, ofta benämnd gjuthud, kan i vissa fall inverka på förändringen av ledningsförmågan med tiden. I TAB. 2 visas resultaten från två provskivor som specialtillverkats för bestämning av gjuthudens inverkan.

TABELL 2 Uppmätt värmeledningsförmåga för prover förvarade med och utan gjuthud

Prov	VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA W/m°C		
	10-11/12-84	31/5-85	14-16/9-85
A1	0,0173	0,0191	0,0197
A2	-	-	0,0182
B1	-	-	0,0186
B2	0,0185	0,0203	0,0210

Tabellen visar att gjuthuden har en avgörande inverkan på hastigheten hos en uretancellplasts gasutbyte. Prov B, som förvarats med gjuthud, har nästan samma värmeledningsförmåga efter ca 280 dygn som ursprungligen.

För att närmare undersöka hur vanliga byggskivor kombinerat med ovan nämnda gjuthud påverkar "åldringsförloppet", tillverkades 8 st element enligt FIG. 2.



Element	Ytskikt	
	Insida	Utsida
1	13 gips	9 halvhård träfiber
2	13 gips	13 asfalt-impr porös träfiber
3	13 plast-folierad gips	9 gips
4	12 spånskiva	12 spånskiva
5	13 gips	12 plywood
6	12 spånskiva	12 plywood
7	13 gips	0,7 slät stålplåt
8	12 spånskiva	0,7 slät stålplåt

FIG. 2 Utformning av elementen vid försöken i fältstationen.

Elementen placerades i CTH:s fältstation sommaren 1976. En första bestämning av värmemotstånd gjordes vintern 76/77, den senaste vintern 87/88. Resultaten från båda dessa provningar framgår av TAB. 3.

TABELL 3 Uppmätta värmemotstånd för elementen vid fältstationen

Element	VÄRMEMOTSTÅND $m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$		
	Vintern 76/77 flödesmätare	Vintern 87/88 flödesmätare mätlåda	
1	4,4	4,5	4,1
2	3,9	4,5	4,1
3	4,1	4,4	4,6
4	4,1	4,0 ^{x)}	4,2 ^{x)}
5	4,0	4,0	4,1
6	4,1	4,0	4,1
7	3,9	4,0	4,2
8	3,9	4,1	4,1

x) Avser våren 1983

I TAB. 4 visas dessa resultat omräknade till värmeledningsförmåga för kärnmaterialet.

TABELL 4 Värmeledningsförmåga för cellplastkärnan hos elementen vid fältstationen och laboratorieprovningarna

Element	Värmeledningsförmåga			W/m°C
	Vintern 76/77	Vintern 87/88		Lab
		flödesmätare mätlåda		Hösten 76
1	0,019	0,019	0,020	0,021
2	0,022	0,019	0,021	0,022
3	0,020	0,019	0,018	0,020
4	0,021	0,021	0,020	0,021
5	0,021	0,021	0,020	0,021
6	0,021	0,021	0,021	0,020
7	0,021	0,021	0,019	0,020
8	0,021	0,021	0,020	0,020
Medel- värde	0,021	0,020	0,020	0,021

Genom att uppmätta värmemotstånd i TAB. 3 är identiska vid de båda redovisade tidpunkterna borde man kunna säga att yt-skikten, tillsammans med gjuthuden, förhindrat luftinträningen och att kärnan fortfarande efter 11 år är helt "färsk". En närmare analys av kärnan hos ett av dessa 11 år gamla element visar emellertid inte den snabba begynnelseåldring som borde uppträda hos ett färskt skum, se FIG. 1. Då resultaten på detta sätt inte är entydiga är den direkta slutsatsen av dessa försök begränsad. Man kan säga att möjligheten finns att framställa element med ytskikt av normala byggskivor som har en kärna av uretancellplast med ursprunglig värmeledningsförmåga kring 0,020 W/m°C och som kommer att bibehålla denna ledningsförmåg under mycket lång tid, förmodligen elementets hela livlängd. Man kan däremot inte säga att ett motsvarande element med begynnelsevärde 0,016 W/m°C, kommer att bibehålla detta värde under någon längre tid.

LITTERATUR

- 1957 Woodside, W, Analysis of error due to edge heat loss in guarded hot plates. ASTM, STP217, pp. 49-64.
- WOODSIDE, W, Deviations from one-dimensional heat flow in guarded hot-plate measurements. The review of scientific instruments. Vol. 28, No 12, Dec. 1957, pp. 1033-1037.
- 1967 NORTON, F J, Thermal conductivity and life of polymer foams. Journal of cellular plastics, Januari 1967, pp. 23-77.
- 1970 BILLING, O, Permeabilitet. Packhandboken s. 223-229. Helsingborg 1970.
- 1972 BANKVALL, C G, Guarded hot plate apparatus for the investigation of thermal insulations. Document D5:1972 National Swedish Research.
- 1977 ISBERG, J, Sandwichelement av uretancellplast, värme- och fuktmekaniska egenskaper. Fältförsök. Chalmers Tekniska Högskola, Avd för Husbyggnadsteknik. Publ 77:14.
- WALLDÉN, L, Kompendium i Värmelära för V2. Chalmers Tekniska Högskola, Fysiska Institutionen.
- 1979 RUNESSON, K, TÄNGFORS, H, WIBERG, N-E, Energy, Institutionen för byggnadsstatik, Chalmers Tekniska Högskola, skrift 79:8, Göteborg.
- 1980 BOOTH, R J, R-value Aging of Rigid Urethane Foam Products. A Domtar Presentation ... 1980.

- 1980 Kronvall, J, Air flows in building components. Division of Building Technology. Lund, Institute of Technology. Report TVBH-1002.
- 1981 CERVENKA, A, Water vapour transport through polyurethane foams. Shell Chemicals. Technical notes TN-U.81.01.
- LARSSON, L-E, Sandwichelement av uretancellplast. Fuktvandringförsök på laboratoriet vid varierande klimatförhållanden. Chalmers Tekniska Högskola, Avd för Husbyggnadsteknik. Publ 81:4.
- NEVANDER, L-E, ELMARSSON, B, Fukthandboken. AB Svensk Byggtjänst, Box 7853, 103 99 Stockholm.
- 1984 TVEIT, A, Långtidsegenskaper hos skummad värmeisolering. Norges byggforskningsinstitut, Trondheim. Projekt nr E743.
- 1985 ISBERG, J, Uretancellplast för värmeisoleringsändamål. Chalmers Tekniska Högskola, Avd för Husbyggnadsteknik, nr 597.
- 1987 LARSSON, L-E, Determination in long-term tests of the thermal conductivity λ of sandwich panels. Chalmers Tekniska Högskola, Avd för Husbyggnadsteknik. Publ 87:3.
- 1988 ISBERG, J, Thermal conductivity of polyurethane foam. Chalmers Tekniska Högskola, Avd för Husbyggnadsteknik. Publ 88:1.
- 1988 ISBERG, J, Thermal Insulation - Conditioning of rigid cellular plastics containing a gas with lower thermal conductivity than air prior to determination of thermal resistance and related properties. Chalmers Tekniska Högskola, Avd för Husbyggnadsteknik. Publ 88:3.

Kommentarer till svensk byggnorm. Statens Planverk (1981).

Svensk Standard SS 02 15 82. Byggmaterial - Provning - Vattenånggenomgångsmotstånd. 1980.

Svensk Standard SS 02 42 11. Värmeisolering - Bestämning av värmemotstånd eller värmekonduktivitet (värmeledningsförmåga) med värmeinflödesmätapparat. 1980.

Svensk Standard SS 02 42 12. Värmeisolering - Bestämning av värmemotstånd med hjälp av varmlåda. 1981.

Förslag till Standard BST 02 42 14. Värmeisolering - Byggnadsdelar - Bestämning av värmemotstånd. INSTA-BYGG 58.4 F3. 1986.

ISO/TC 163/SC 1. Draft proposal ISO/DP 9869. Thermal insulation - In-situ measurement of the thermal resistance and thermal transmittance of building elements. 1987.

DIN 18164. Schaum kunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen Teil 1. 1979.

FYSIKALISKA EGENSKAPER HOS BONOFOAM 1107

Fysikaliska data hos uretanskumplast är mycket beroende av hur och under vilka förhållanden skummet är tillverkat. Följande betingelser har visat sig lämpliga vid framställning av provbitar. Provbitar för data utom lambda-värde: Längd 540 mm. Tjocklek 70 mm. Höjd 240 mm. Sluten form med luftutsläpp. Vertikal skumning. Provbitarna är tillverkade med skumningsmaskin.

Komponenternas temperatur	+ 20° C
Form	12 mm aluminium + 2 mm polypropylensskivor som släppmedel
Formtemperatur	+ 45 - 55° C
Formcykeltid	10 min
Formpackning	Ca 15% (se sid 9)

I toppen och botten bortsågas 20 mm, på övriga kanter 10 mm. Den erhållna kärnan användes för testerna.

För lambdavärdesbestämning gjordes provbitar med dimensionerna 500 x 500 x 50 mm. Skinnet bibehölls.

Provningarna är utförda vid + 23° C och efter normalt 14 dygns konditionering av provbitarna vid + 23° C och 50% R H.

DENSITET, fri skumning, stighöjd 500 mm, tjocklek 50 mm	26 - 28 g/l
DENSITET, sluten skumning enligt föregående	31 - 32 g/l

TRYCKBROTTRÄNS

Parallellt med skumningsriktningen	1,2 - 1,4 kp/cm ²
Vinkelrätt mot skumningsriktningen	1,1 - 1,3 kp/cm ²

ELASTICITETSMODUL vid tryckning

Parallellt med skumningsriktningen	35 - 45 kp/cm ²
Vinkelrätt mot skumningsriktningen	25 - 35 kp/cm ²

DRAGBROTTEGRÄNS

Parallellt med skumningsriktningen	1,5 - 1,7 kp/cm ²
Vinkelrätt mot skumningsriktningen	1,2 - 1,3 kp/cm ²

ELASTICITETSMODUL vid dragning

Parallellt med skumningsriktningen	25 - 30 kp/cm ²
Vinkelrätt mot skumningsriktningen	15 - 20 kp/cm ²

SKJUVBROTTEGRÄNS

Parallellt med skumningsriktningen	1,6 - 1,8 kp/cm ²
Vinkelrätt mot skumningsriktningen	1,6 - 1,8 kp/cm ²

SKJUVMODUL

Parallellt med skumningsriktningen	15 - 20 kp/cm ²
Vinkelrätt mot skumningsriktningen	15 - 20 kp/cm ²

BÖJBROTTEGRÄNS

Parallellt med skumningsriktningen	1,7 - 1,9 kp/cm ²
Vinkelrätt mot skumningsriktningen	1,9 - 2,1 kp/cm ²

ELASTICITETSMODUL vid böjning

Parallellt med skumningsriktningen	20 - 25 kp/cm ²
Vinkelrätt mot skumningsriktningen	20 - 25 kp/cm ²

TRYCKBROTTEGRÄNS efter åldring

Ändringen anges i % av ursprungligt värde

Provbitarna är efter åldring
konditionerade

i	3 dygn vid + 23° C och	50% R H	
	14 dygn vid + 23° C	100% R H	+ 5
	14 dygn vid + 70° C	5% R H	+ 20
	14 dygn vid + 70° C	100% R H	- 30
	14 dygn i tropikskåp		+ 5

DIMENSIONSSTABILITET

Ändringen anges i volym-%

24 h	vid - 30° C	100% R H	Ej mätbar
14 dygn	vid + 23° C	100% R H	+ 2
14 dygn	vid + 70° C	5% R H	+ 3
14 dygn	vid + 70° C	100% R H	+ 35
14 dygn	i tropikskåp		+ 12

VATTENÅNGGENOMSLÄPPNING

 $1,7 \cdot 10^{-3}$ g/m h mm Hg

LÄNGDUTVIDGNINGSKOEFFICIENT

 $5 \cdot 10^{-5}$

VATTENABSORPTION

Efter 48 h i vatten med 0,3 atö

Ökning i kg/m³ 40

VÄRMELEDNINGSTALET vid medeltemperatur + 15° C

Provbit med skinn

Ursprungligt värde 0,016 kcal/m h °C
(0,019 W/m°C)

Efter

3 mån	vid + 23° C	50% R H	0,017 kcal/m h °C
3 mån	vid + 23° C	100% R H	0,018 kcal/m h °C
3 mån	vid + 70° C	5% R H	0,019 kcal/m h °C

HALT SLUTNA CELLER

Ca 95%

FORMBESTÄNDIGHET I VÄRME VID BÖJPÅKÄNNING

Enl mod DIN 53462 Ca 110° C

ANTÄNDBARHET

Enl ASTM D 1692-59 T Självlocknande

FYSIKALISKA DATA FÖR KOMPONENTERNABonat C

Utseende	Mörkbrun till svart vätska
Benämning	Polyisocyanat
Sp vikt vid + 20° C	1,22
Viskositet, Brookfield vid + 15° C	800 cP
	vid + 25° C
Halt isocyanatgrupper	31% räknat som NCO

Bonol 1107

Utseende	Gulbrun lättrörlig vätska	
Benämning	Polyoldel	
Sp vikt vid + 20° C	1,20	
Viskositet, Brookfield vid + 10° C	400 cP	
	vid + 15° C	350 cP
	vid + 20° C	250 cP
Alkalitet beräknat som % KOH	2,1	
Flyktighet	Innehåller triklor- fluormetan (Freon 11), som kokar vid + 24° C	

ANVISNINGAR FÖR SKUMNING

Efter hopblandningen av komponenterna reagerar isocyanatets Bonatets isocyanatgrupper med Bonolens hydroxylgrupper. Ett överskott av isocyanatgrupper ger en tung och en spröd skumplast, ett överskott av hydroxylgrupper en mekaniskt svag och vattenkänslig skumplast. Blandningsförhållandet mellan komponenterna måste därför vara riktigt.

Följande blandningsförhållande gäller:

Bonat C	46 vikts-%	45,5 volym-%
Bonol 1107	54 vikts-%	54,5 volym-%

Noggrannheten bör vara $\pm 1\%$.

Bonolens temperatur bör vara + 15 - 20° C. Bonatets ca + 20° C.

Bonofeam 1107 är avsedd för maskinskumning. Lämplig maskin kan i varje särskilt fall rekommenderas av AB Bofors, Nobelkrut.

Följande tider kan tjäna som riktvärde vid maskinskumning.

Komponenternas temperatur + 20° C

Jästid	Stigtid	Klibbfrihet	Formcykeltid
(Creamtime) 500 mm			
13 s	95 s	ca 105 s	10 - 20 min

Formcykeltiden varierar starkt med den gjutna sektionens tjocklek. Tjocka sektioner fordrar längre formcykeltid.

Efter 3 - 5 timmar uppnås 95% av skumplastens mekaniska styrka. Den slutliga härdningen tar 1 - 3 dygn vid rumstemperatur beroende på sektionens tjocklek.

Skumplasten får ej utsättas för kyla, innan den är fullständigt härdad. Risk för krympning är i annat fall stor.

TECHNISCH PHYSISCHE DIENST TNO-TH

Stieltjesweg 1 Delft Postbus 155 telefoon (015) 56 93 00



Report no. 603.103-104

Chalmers Tekniska Högskola
 Avd för byggnadsteknik
 Sven Hultins Gata 8
Göteborg

Technical details of heat flow meter, type WS 31 , no. 31.1414

The heat flow meter consists of a thermopile with polyvinylchloride as a filling material and has the following technical details:

calibration value C	:	5,2	W/m ² .mV
thickness	:	3,0	mm
diameter	:	106	mm
internal electrical resistance:		545	Ohm
thermal conductivity	:	about 0,25	W/m ⁰ C

The heat flow meter generates an e.m.f. proportional to the heat flow density through the meter. The value of the heat flow density Q (W/m²) is calculated multiplying the measured voltage E (mV) by the calibration value C (W/m².mV), according to the formula:

$$Q = C.E.$$

The calibration value C corresponds with a disc temperature of 20⁰C, however, is slightly temperature dependent. For other temperatures than 20⁰C, the value should be corrected with -0.1%/⁰C.

The accuracy of the calibration value is 5%.

The heat flow meter is not to be used at temperatures higher than 70⁰C.

Delft, September 10, 1976

Institute of Applied Physics

Ing. F. van der Graaf







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 870544-3
från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen
för husbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.**

R69: 1989

ISBN 91-540-5070-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6709069

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna**

Cirka pris: 50 kr exkl moms