



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**

**R98:1984**

**Dubbla plåttak**

**Germund Johansson**

**Byggnadsforskningsrådet**

R98:1984

DUBBLA PLÅTTAK

Germund Johansson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810016-7  
från Statens råd för byggnadsforskning till Chalmers  
Tekniska Högskola, Avd. Stål- träbyggnad, Göteborg

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

R98:1984

ISBN 91-540-4194-5  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm  
Liber Tryck Stockholm 1984

## Förord

Kraven på ökande isolertjocklekar har bl.a. inneburit att tak uppbyggda efter principen plåt-isolering-plåt tagit större och större marknadsdelar. Som alltid när en konstruktionstyp får ökad användning uppstår även en del problem. För att man på ett så tidigt stadium som möjligt skulle komma tillrätta med eventuella svårigheter tog industrin initiativet till undersökningen "Dubbla plåttak med lätt isolering". Efter vissa diskussioner bildades en referensgrupp med representanter från industrin. Förutom referensgruppen har Ernst Kero, Plannja och Hans Viberg, Korrugal deltagit i arbetets förplanering. Referensgruppen har bestått av

Gunnar Anderlind, Gullfiber (representerar Swedisol)

Bertil Eriksson, Dobel (t o m 83-01-24)

Lars Gustavsson, Dobel

Evert Välimaa, Plannja

Arbetet är planerat att genomföras i flera etapper. Den nu föreliggande rapporten avser den första etappen och delar av den andra etappen.

Projektet har till största delen bekostats av Statens Råd för Byggnadsforskning, anslag 810016-7.

Göteborg sept 1983

Germund Johansson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	Sid
Förord	I
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	II
1. ALLMÄNT	1
2. INOMHUSKLIMAT	9
2.1 Allmänt	9
2.2 Mätningar av Rockwool	9
2.3 Mätningar av Samuelsson	10
3. VÄRMEISOLERING	12
4. EKONOMISKA ÖVERVÄGANDEN	19
4.1 Allmänt	19
4.2 Nuvärde av energibesparingar	19
4.2.1 Exempel	20
4.3 Avskrivningar	22
4.3.1 Exempel	24
4.3.1.1 Utan primäravdrag	24
4.3.1.2 Med primäravdrag	25
4.4 Jämförelser	25
4.5 Tabeller	26
5. LUFTLÄCKAGE INIFRÅN	29
5.1 Allmänt	29
5.2 Provningar	29
5.2.1 Täthet hos plåtskarvar	29
5.2.2 Täthet hos plastfolie	32
5.2.3 Sprickor i betongelement	38
6. FUKT	39
6.1 Fukt - vattenpåverkan	39
6.1.1 Allmänt	39
6.1.2 Regn	39
6.1.3 Snö	40
6.1.4 Vind	40
6.2 Faktorer som påverkar takets täthet	42
6.3 Täthetsprovning	44

6.4	Fuktkonvektion - tryckdifferenser	45
6.4.1	Temperaturdifferenser	46
6.4.2	Vindbelastning	46
6.4.3	Fläktar	48
6.4.4	Kondens - avkyld plåt	48
6.4.5	Kondens - fukt inifrån	48
6.4.6	Kondens - lokal nedkylning	50
6.4.7	Läckande varmluft	50
6.5	Något om takets fuktfunktioner vid olika väderlekstyper	51
6.5.1	Regn	51
6.5.2	Snö	52
6.5.3	Klara nätter	52
6.6	Fuktmängder (6 exempel)	52
6.7	Olika konstruktionsfilosofier	61
7.	FÄLTUNDERSÖKNINGAR	66
7.1	Fuktmätningar	66
7.2	Mätningar av Plannja	66
7.3	Mätningar av Dobel	70
7.4	Besiktningar	72
8.	FÖRMÅGA HOS MINERALULL ATT BINDA VATTEN	77
8.1	Allmänt	77
8.2	Provning	77
8.3	Resultat	78
9.	FORTSATTÄ UNDERSÖKNINGAR	85
10.	SAMMANFATTNING	86
11.	LITTERATUR	87



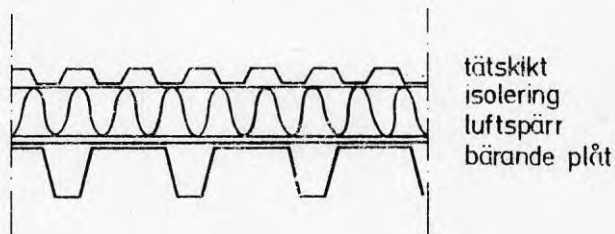


## 1. ALLMÄNT

Det dubbla plåttaket med mellanliggande lätt isolering har i Sverige använts sedan 1960-talet, men i ganska begränsad omfattning. Det är först under slutet av 1970-talet och i anslutning till stigande energipriser och ökande isoleringskrav som taktypen har fått en mer utbredd användning. Det finns flera olika plåttakssystem på den svenska marknaden. De skiljer sig från varandra bl a vad gäller graden av ventilation under ytterplåten.

Totalt har det sedan 1960-talet byggts 2-2,5 milj m<sup>2</sup> dubbla plåttak.

Dubbla plåttak består i princip av en bärande trapetsprofilerad plåt upplagd på huvudbärare eller åsar. Ovanpå den bärande plåten läggs en luftspärr (plastfolie) och isolering. Ytterst läggs det vattenavledande plåtskiktet, placerat på någon typ av distansreglar. I figur 1.1 visas en principutformning av ett dubbelt plåttak med ytterplåten bestående av en lågprofil och den bärande innerplåten av en högprofil. Konstruktionen i fig.1.1 skall endast ses som en principkonstruktion - variationerna i utförandet är många och skiljer sig mellan olika tillverkare.



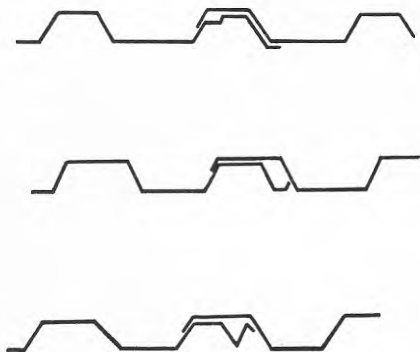
Figur 1.1 Tvärsektion genom dubbelt plåttak. Figuren visar en principutformning.

Det bärande skiktet utgörs av konventionell bärande plåt - det finns inga speciella utformningar avsedda just för det dubbla plåttaket. Däremot kan den bärande plåtens lägningsriktning i förhållande till taklutningen påverka det fortsatta montaget, d v s om ytterplåten monteras med profilriktningen parallellt med eller vinkelrätt mot den bärande plåtens profilriktning. Vissa system, exempelvis Plannja TOP 7, kräver att stegreglarna placeras i takfallets riktning.

En av de egenskaper som skiljer taktypen från andra taktyper, exempelvis tak av betong eller lättbetong, är att den bärande plåtytan inte utan

vissa svårigheter kan ges en tillfredsställande lufttätethet. Man måste därför lägga in ett lufttätande skikt i taket. Detta skikt placeras vanligen direkt ovanpå den bärande plåten men kan även placeras i isoleringen mellan två isoleringslager.

Utformningen av det vattenavledande plåtskiktet skiljer sig i vissa fall betydligt mellan olika tillverkare. Plannja har utvecklat en speciell profil, TOP 7, i första hand avsedd att fungera som vattenavledande skikt medan andra företag använt standardprofiler, ev med viss modifiering i sidöverlappet. De plåtprofiler som används i dag har samtliga framtagits med speciell hänsyn till vattentätningseffekten genom att sidöverlappen givits en speciell utformning. Exempel på dylika sidöverlappsutformningar visas i figur 1.2.



Figur 1.2 Exempel på utformning av sidöverlapp.

Distansorganen mellan plåtskivorna utgörs av regler av skilda utformningar. Dessa regler har utformats för att minska värmeläckaget genom de köldbryggor som bildas. Reglarnas utformning varierar från Z-reglar med helt liv till regler med stora hål, stegreglar resp sparreglar. På marknaden finns också regler av massivt trä resp "reglar" av kantställd mineralull med delvis plåtinklädd över- och undersida.

Det dubbla plåttaket kan monteras med taklutning ner till 1:10, i vissa fall ner till 1:16. Om takplåten monteras utan ändöverlapp mellannock och takfot, dvs hellånga plåtar, kan, för de tak där lutningen 1:10 anges som lägsta taklutning, en minskning av lutningen accepteras. Takgenomföringar bör i möjligaste mån placeras nära taknock.

Nedan redovisas några exempel på minsta rekommenderade taklutningar

Dobel	1:10
Korrugal	1:16
Plannja	1:16

På den svenska marknaden finns ett flertal system med dubbla plåttak. De plåttillverkare och/eller montörer av lite större omfattning som marknadsför och säljer taktypen är

Dobel  
Gavle verken  
Korrugal  
Plannja  
Västanfors

Taken marknadsförs många gånger med begreppet "energitak" inblandat - indikerande den tjocka isoleringen.

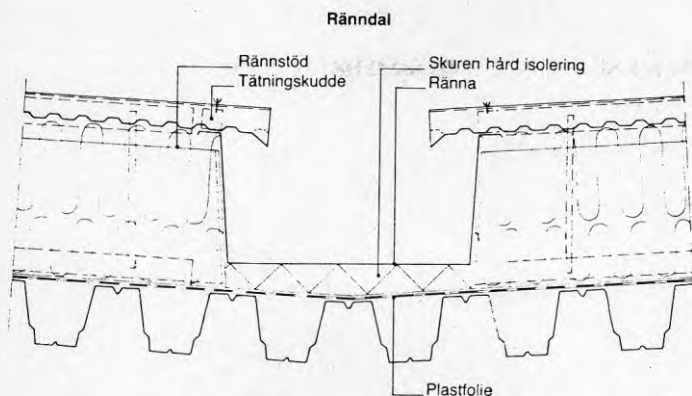
Plannja använder sig av en specialprofil (TOP7) som vattenavledande skikt, se fig.1.3, medan övriga tillverkare använder sig av mer konventionella trapetsprofilerade plåtar. Under 1983 har Plannja lanserat en ny konstruktion utan distansreglar, industritak TOR, där ytterplåten (TRP40) placeras direkt på värmeisoleringen.



Figur 1.3 Utläggning av Plannjas TOP7-plåt.

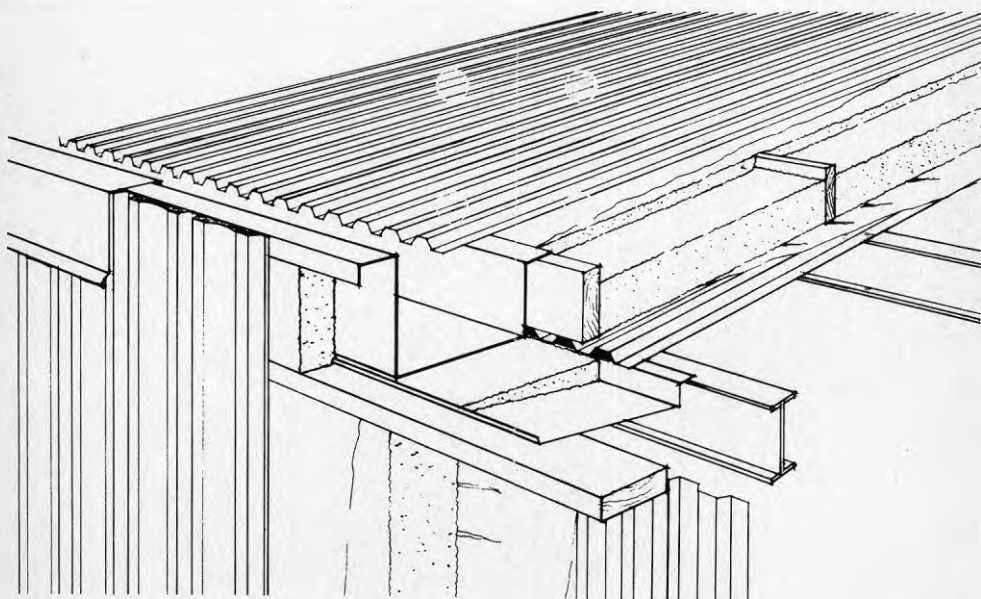


Figur 1.4 Plannjas nya takprofiler, TRP40, ingår i Industritak TOR.



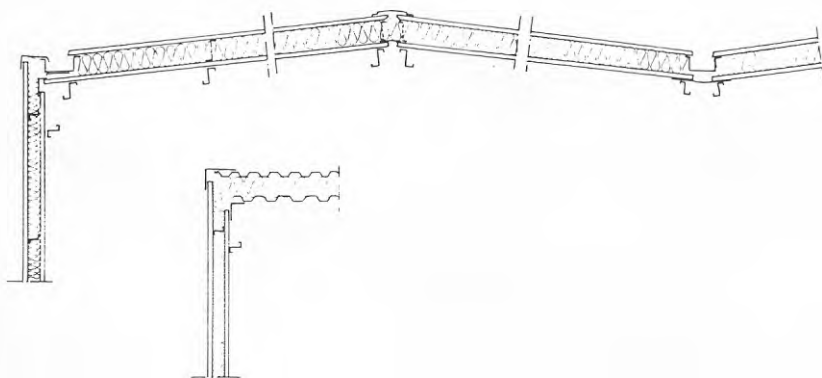
Figur 1.5 Invändig rännal, TOP7 tak |25|.

Västanfors Industrier har sedan mitten av 1960-talet monterat över 1000 byggnader med dubbelt plåttak. I dessa tak används träreglar som distanser mellan plåtskikten.

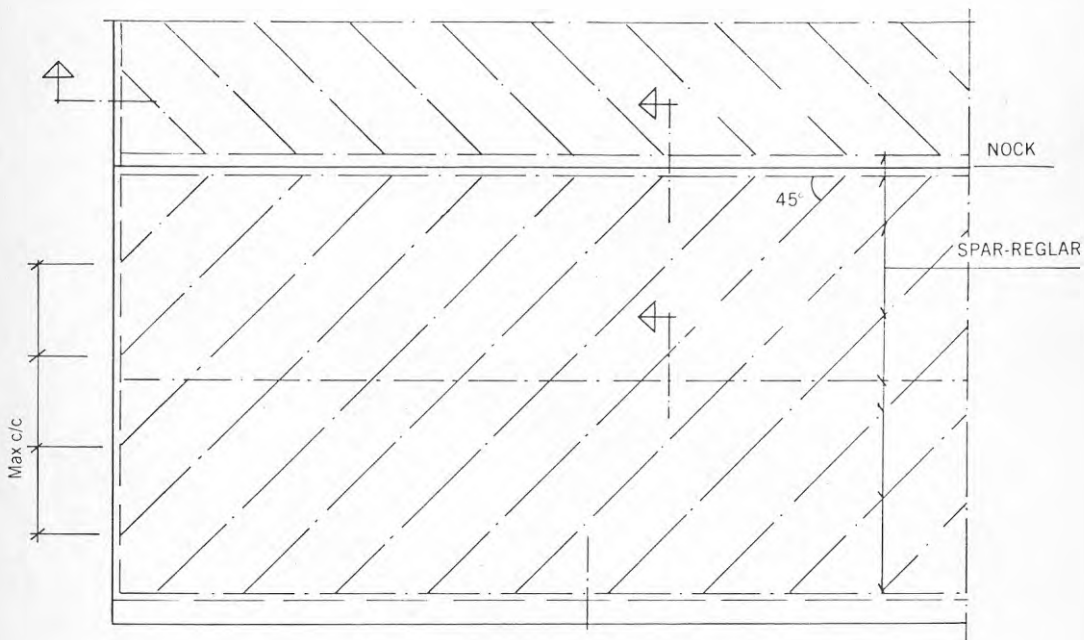


Figur 1.6 Dubbelt plåttak. Västanfors Industriens konstruktion.

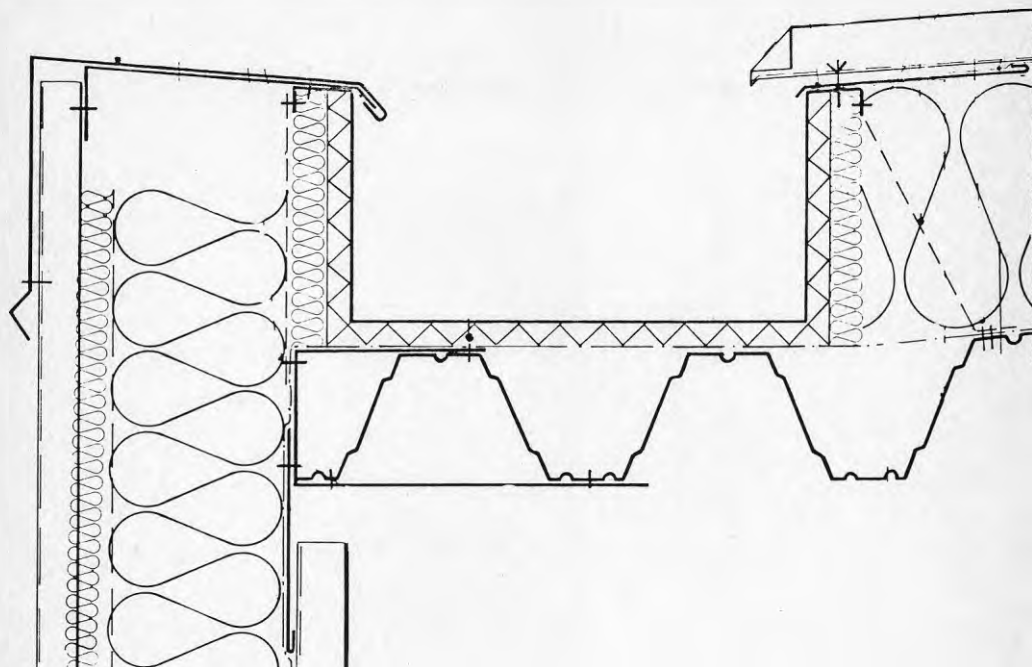
I fig.1.7 visas tvärsektion genom Dobels konstruktion med den bärande plåten upplagd på Z-åsar. I de fall att den bärande plåten ligger direkt på huvudbalkarna måste distansreglarna läggas diagonalt över takytan för att ytterplåten skall kunna monteras, fig.1.8.



Figur 1.7 Tvärsektion av Dobels dubbla plåttak.



Figur 1.8 Takplan med distansreglar lagda diagonalt.

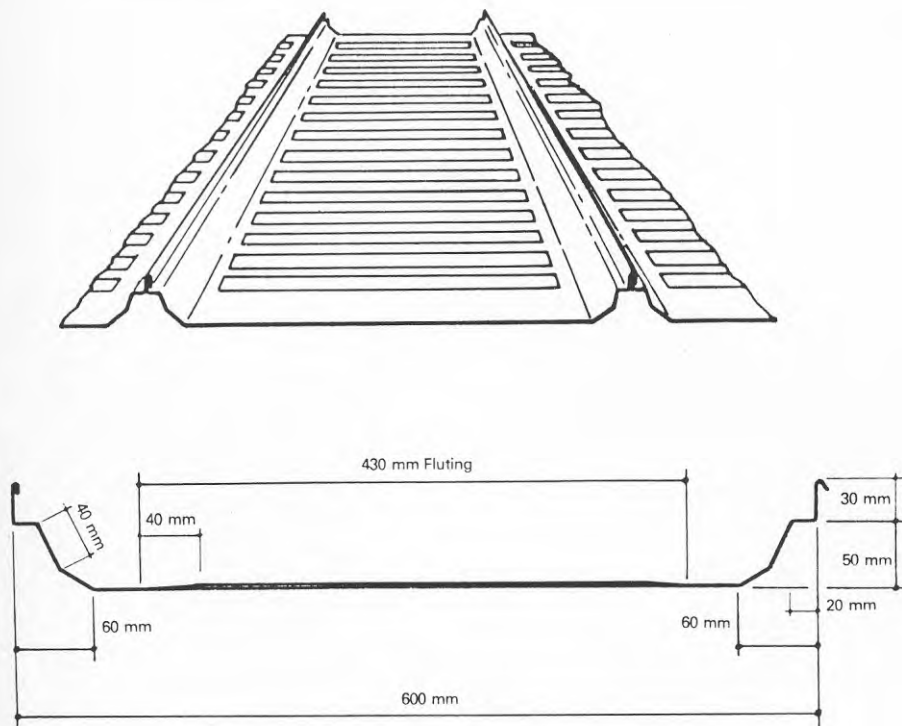


Figur 1.9 Rännidal vid takfot, Dobel.



Figur 1.10 Takmontage. Dobel.

Även utomlands finns konstruktioner av typen dubbelt plåttak. En av de mer välkända yttäckningarna är Butler MR24, fig.1.11. Taket kan läggas i lutningar ner till 1:50. Det läggs på de flesta underlag (stål-, trä-, betong). Längsskarvarna mellan plåtarna falsas. Butlers MR24 och Plannjas TOP7 liknar varandra.



Figur 1.11 Plåtskiva i Butlers MR24-tak.



## 2. INOMHUSKLIMAT

### 2.1 Allmänt

Det finns förhållandevis många mätningar av utomhusklimatet - SMHI har mätstationer utplacerade ganska jämnt fördelad över landet. Ett omfattande statistiskt material gör det möjligt att beskriva hur temperatur, luftfuktighet, lufttryck etc varierar med tid och plats. Mycket av materialet finns bearbetat och redovisat i Taeslers "Klimatdata" [35].

Klimat och klimatvariationer inomhus och inne i konstruktionen är däremot inte alls lika välkända. Dessutom har utvecklingen på isoleringsområdet, med de avsevärt ökade isoleringstjocklekarna och bättre tätningarna inneburit att de äldre undersökningar som finns inte är fullt giltiga för dagens moderna högisolerade byggnader. Vidare påverkas inomhusklimatet av en medveten minskning av antalet luftomsättningar vilket bl a kan innebära att redan fuktig luft blir ännu fuktigare. Dessutom är undersökningarna många gånger inte fullständiga — för få data har registrerats eller data har registrerats under en för kort tidsperiod. Nedan redovisas några svenska undersökningar genomförda under slutet av 1960-talet och början av 1970-talet.

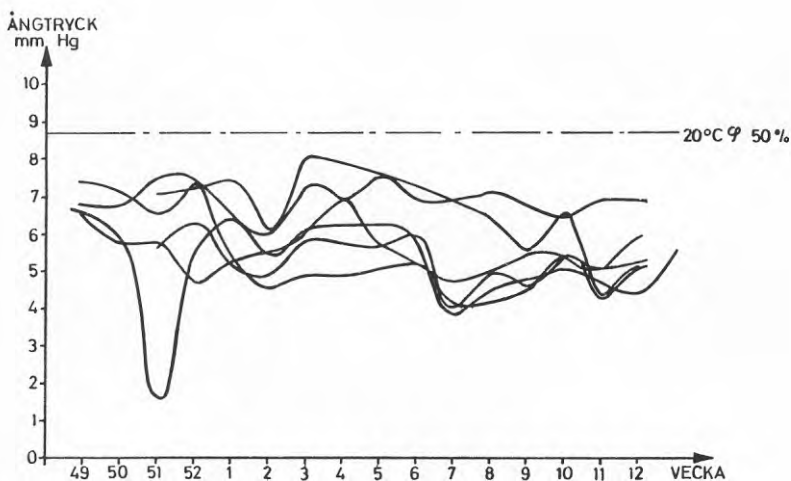
### 2.2 Mätningar av Rockwool

Under vintern 1968-69 mätte Rockwool AB den relativa luftfuktigheten i sex olika industrilokaler, två belägna i norra och fyra belägna i södra Sverige. Mätningarna pågick under drygt tre månaders tid. Resultaten av mätningarna publicerades i ett internt isolertekniskt meddelande [27]. Undersökningens syfte var att ge svar på frågan om ångspärr (placerad mellan isolering och bärande plåt) skulle behövas i papptäckta tak isolerade med styva mineralullsskivor, typ 341.

Mätresultaten har jämförts med utomhusvärden från någon närbelägen SMHI-mätstation. Resultaten har angivits i form av ångtryck men motsvarande temperatur redovisas inte. Under antagandet att temperaturen inomhus är +20°C är för samtliga mätobjekt den relativa luftfuktigheten lägre än +45%. Genomsnittligt under mätperioden är för samtliga mätobjekt den relativa luftfuktigheten cirka 35%. Det saknas uppgifter om fuktillskotten i lokalerna.

Tabell 2.1. Industrilokaler i vilka mätningar har gjorts under åren 1968-1969.

Geografiskt läge	Taktyp	Storlek	Verksamhet
Sydsverige	plåt + 5 cm RW + papp	5 000 m <sup>2</sup>	Kolonialvarulager
-"-	plåt + 5 cm RW + papp	2 800 m <sup>2</sup>	Lagerlokal
Nordsverige	lättbetong + papp	10 000 m <sup>2</sup>	Verkstadsbyggnad
-"-	lättbetong + papp	3 000 m <sup>2</sup>	Livsmedelslager
Sydsverige	plåt + kork + papp	2 600 m <sup>2</sup>	Partihandel
-"-	lättbetong + papp	600 m <sup>2</sup>	Lagerlokal



Figur 2.1. Uppmätta ångtryck. |27|.

### 2.3 Mätningar av Samuelsson

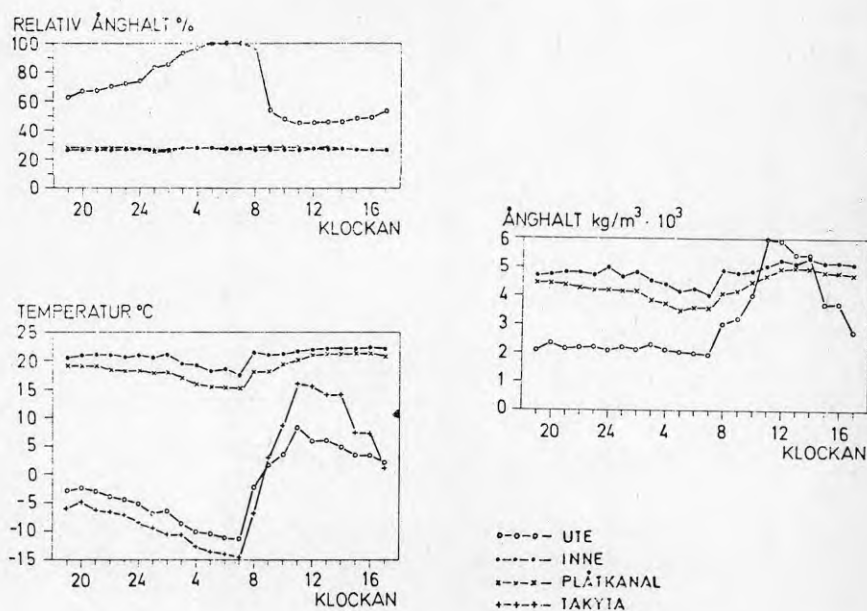
Ingemar Samuelsson |29| redovisar ånghalts- och temperaturmätningar för 17 stycken utvändigt isolerade plåttak. Merparten av taken hade täckning med papp medan tre stycken var täckta med bandtäckt rostfri plåt. Isoleringen bestod av kork, cellplast eller mineralull och isolertjocklekarna varierade mellan 50 och 100 mm.

Taken har i genomsnitt tjockare isolering än vad de av Rockwool provade taken hade. Isoleringstjockleken är dock långt ifrån vad som i dag normalt används i dubbla plåttak.

De provade taken ligger i Skåne, 5 st, runt Mälaren, 4 st, och i nivå med Östersund-Sundsvall, 8 st. Bland de provade byggnaderna fanns både sådana med hög luftfuktighet, exempelvis tryckeri, och med låg luftfuktighet.

Mätningarna har pågått under ett eller ett par dygn - en i sammanhanget kanske alltför kort tidsperiod. Mätningar har gjorts på tre ställen - utomhus, inomhus samt i plåtkanalerna i taket mellan den profilerade plåten och isoleringen.

I några av taken har man även tagit ut provbitar ur värmeisoleringen och vägt dem före och efter torkning. De gjorda provtagningarna gav fuktmängder varierande mellan 2,35 och 0 kg vatten per m<sup>2</sup> takyta. Fuktmängden 2,35 kg/m<sup>2</sup> motsvarar för det aktuella taket ett fuktinnehåll om ca 15 viktsprocent. Fuktmätningar i tak behandlas utförligare i kapitel 7.



Figur 2.2 Resultat från mätningar 73-03-07--08. Butikslokal. Takkonstruktionen består av rostfri bandtäckt plåt, 80 mm mineralull, TRP 45. Taket saknar fuktspärr [29].

## 3. VÄRMEISOLERING

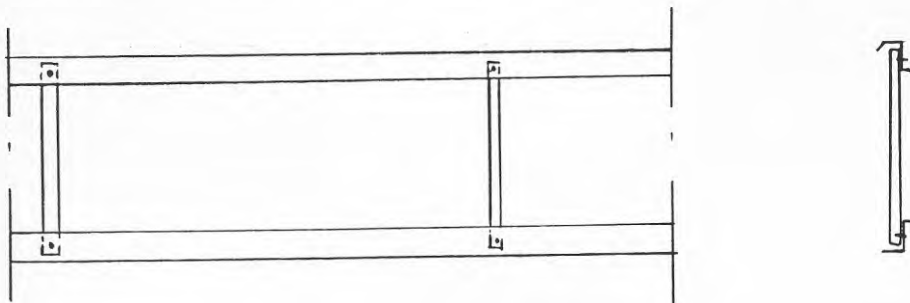
För ett plåttak utan några värmeledande förbindningar mellan den bärande och den vattenavledande plåten kan k-värdet bestämmas ur ekv.(3.1).

$$k = \frac{1}{m_i + m_u + d/\lambda} \quad (3.1)$$

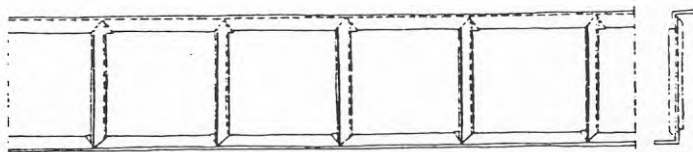
där  $m_i, m_u$  = inre resp yttre övergångsmotstånd  
 $d$  = isoleringstjockleken  
 $\lambda$  = värmeledningsförmågan

I en verklig konstruktion finns emellertid en mängd köldbryggor som ökar värmeläcket och försämrar k-värdet.

De taklösningar som förekommer på den svenska marknaden använder sig av olika utformade regler som distansorgan och hållare av ytterplåten. Grundprincipen för reglarnas utformning kan sägas ha varit att "ta bort så mycket material som möjligt". I fig 3.1 visas en stegregel som används i Plannjas TOP7-tak och i fig 3.2 visas den regeltyp som Dobel använder sig av.



Figur 3.1 Stegregel tillverkad av två Z-profiler som flänsar och U-bockade profiler som balkliv. U- och Z-profilerna har nitats samman. (Plannja).



Figur 3.2 Stegregel tillverkad av ett enda stycke som slitsas och formas (Dobel).

Att teoretiskt beräkna k-värdet för ett tak (eller vägg) med stålreglar är förhållandevis tidskrävande och kräver en betydande räkneinsats. Datorprogram är härvid utmärkta hjälpmedel.

Värmeledningkoefficienten (k-värdet) bestäms därför antingen genom provning eller genom någon förenklad beräkningsmetod. Mats Persson [24] har genomfört både beräkningar och mätningar av stegreglarna till TOP7-taket. Bertil Eriksson [9] redovisar uppmätta k-värden med användande av Dobels stegregel i några olika utformningar. Utgående från uppmätta värden redovisas en praktiskt användbar beräkningsmetod.

Johannesson och Åberg [16] har systematiskt gripit sig an problemet att ta fram en beräkningsmetod för tak (och väggar) med köldbryggor. Den utarbetade beräkningsmetoden ger resultat som stämmer väl överens med resultat från datorberäkningar. Man har däremot inte mer än i något enstaka fall jämfört beräkningsresultaten med uppmätta värden på värmemotstånd eller värmeledningkoefficient.

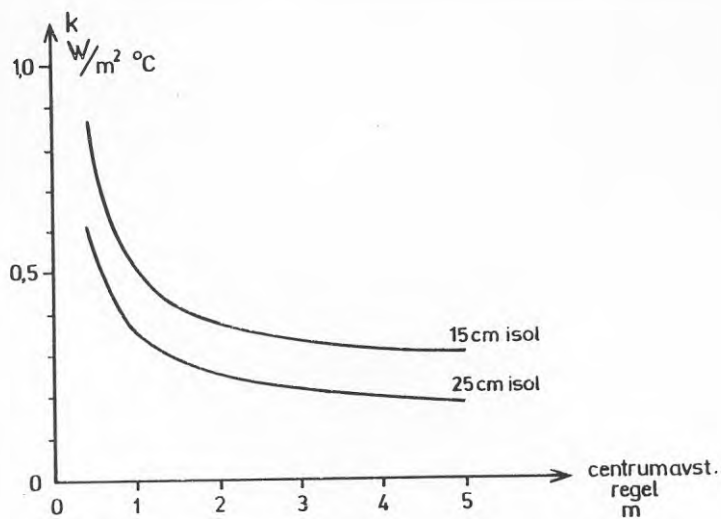
Beräkningsmetoden bygger på att man jämför värmetransport med elektrisk ledning. Man bygger upp modeller med serie- resp parallellkopplade motstånd. Varje enskilt värmemotstånd beräknas med hjälp av elementarfall. Jämfört med datorberäkningar ger metoden utomordentligt bra resultat.

I samarbete med Swedisols tekniska kommitté [34] har metoden presenterats på ett för den praktiskt verksamme konstruktören lämpligt sätt. I rapporterna illustreras beräkningsmetoden med ett flertal beräkningsexempel.

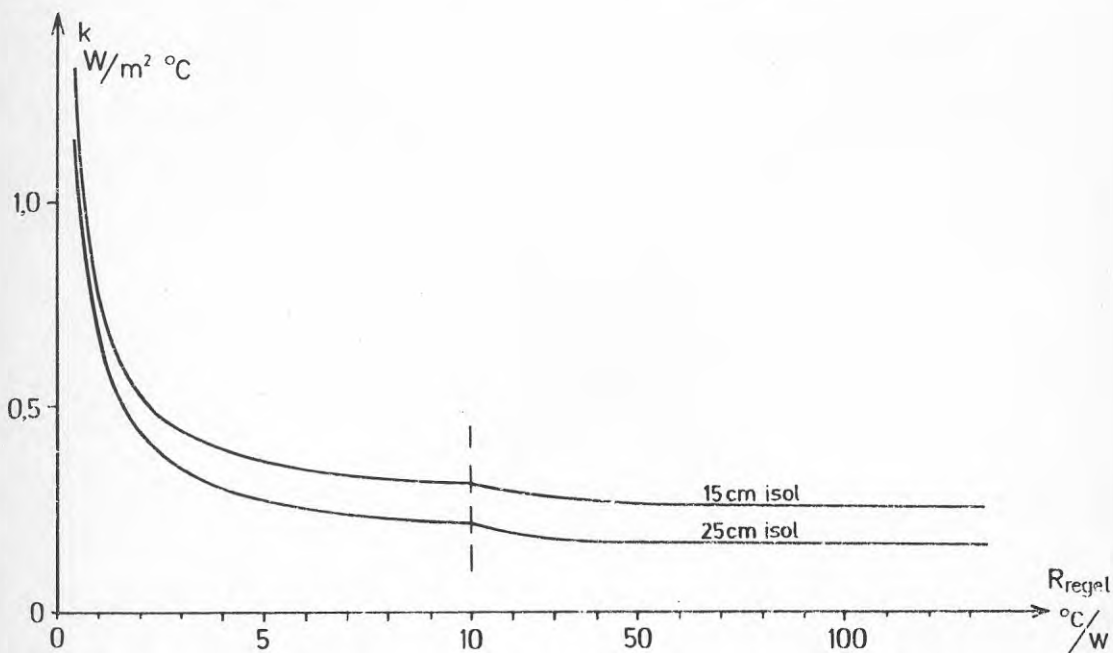
Johannesson - Åbergs beräkningsmetod har använts<sup>\*)</sup> för att studera hur takets k-värde beror av centrumavståndet mellan takreglarna. I exemplet har antagits att reglarna har helt liv av 1,5 mm tjock plåt. Både 15 och 25 cm tjock isolering har studerats. Resultaten redovisas i fig.3.3.

Som framgår av fig.3.3 påverkas k-värdet i hög grad vid små centrumavstånd. När regelavståndet blir mycket stort närmar sig k-värdet gränserna 0,250 W/m<sup>2</sup> °C och 0,154 W/m<sup>2</sup> °C för isolertjocklekarna 150 och 250 mm respektive.

\*) I beräkningarna har använts  $m_1 = 0,20 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$  och  $m_u = 0,05 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ .



Figur 3.3 Beräknat samband mellan regelavstånd och k-värde. Beräkningarna avser Z-reglar med helt liv,  $t = 1,5$  mm.



Figur 3.4 Beräknad variation i k-värde med regelns "värmemotstånd". Beräkningarna avser ett tak med 1,5 m mellan reglarna och 150 resp 250 mm isolering ( $\lambda = 0,04$ ).

I figur 3.4 redovisas hur beräknade k-värden beror av regelns värmemotstånd för tak med 150 resp 250 mm isolering. Det redovisade exemplet avser regler med centrumavståndet 1500 mm. En regel med helt liv har motståndet  $R \approx 3^{\circ}\text{C}/\text{W}$  och en "isolerregel" (stegregel eller dylik) har motståndet  $R \approx 20-30^{\circ}\text{C}/\text{W}$ , d v s cirka en 10-potens i skillnad. Av fig.3.4 framgår klart hur viktigt det är att inte använda genomgående regler, vilket för hela taket ger  $k = 0,35-0,45 \text{ W}/\text{m}^2^{\circ}\text{C}$ . Användning av stegreglar ger däremot  $k = 0,2-0,3 \text{ W}/\text{m}^2^{\circ}\text{C}$ .

Tyvär är antalet utförda mätningar på värmegenomgångskoefficienter ganska få. Merparten av de mätningar som finns är uppdragsprovningar och en samlad redovisning saknas.

I tabell 3.1 redovisas uppmätta värmegenomgångskoefficienter ( $\text{W}/\text{m}^2^{\circ}\text{C}$ ) för några olika konstruktioner. Utgående från de i tabell 3.1 angivna k-värdena har försök gjorts att med hjälp av Johannesson - Åbergs metod beräkna reglarnas motstånd. Beräkningarna ger stor spridning i resultaten, 20-200  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ , beroende på att en liten skillnad i k-värdet ger stort utslag i regelns resistans.

Tabell 3.1 Sammanställning av uppmätta k-värden för konstruktioner med stålreglar.

Ytbeklädnad	Typ av regel	Centrumavst regel mm	Isolerings- tjocklek mm	k $\text{W}/\text{m}^2^{\circ}\text{C}$
gipsskivor	Z-regel med slitsar i livet	600	120	0,348
"-	"-	600	120	0,347
"-	"-	600	150	0,273
"-	"-	600	200	0,199
"-	"-	300	200	0,322
plåt	"termobalk"	1425	150	0,268
"-	stegregel	950	150	0,303
"-	"-	950	150+träfiberskiva över regeln	0,300
"-	"-	950	150+30 genomgående	0,235
"-	"-	950	270	0,176
"-	"-	950	270	0,172
"-	"-	950	270+30 genomgående	0,144
			270+30 genomgående	0,139

Provningarna har för samtliga prov med plåtinklädnad genomförts med vertikal provkropp och horisontell regel. Vidare har provkropparna utformats med slät plåt på varma sidan i stället för med profilerad plåt.

I fig.3.6 redovisas uppmätt temperaturfördelning på en vägg med olika typer av stålreglar och med insidan klädd med gips. Av figuren framgår att den lokala temperatursänkningen kan bli betydande när ordinära regler används.

I tabell 3.2 redovisas jämförande beräkningar av tak- och väggkonstruktioner med Dobels sparregel. Uppgifterna i kolumnen "Swedisol" har beräknats utgående från |10| medan uppgifterna i kolumnen "Dobel" har hämtats dels ur broschyrmaterial och dels ur |9| .

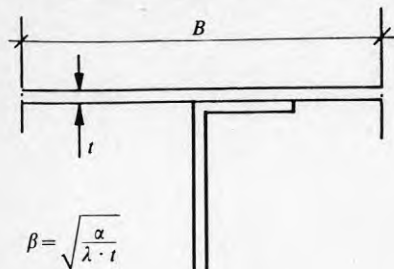
Ett tak med stegreglar och 15 cm isolering motsvaras ur värmeisolerings-synpunkt ungefär av ett tak med vanliga Z-reglar och 25 cm isolering.

Tabell 3.2 k-värden för vägg/tak med DOBEL sparregel

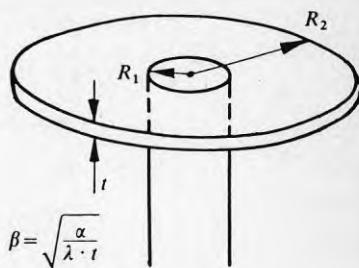
Höjd	Gods- tjocklek	Regel- avstånd	Beräknat k-värde		Anm
			W/m <sup>0</sup> C		
h	t	B	SWEDISOL	DOBEL	
mm	mm	m			
145	0,8	0,9	0,311		
"	1,2	0,9	0,334	0,32	
"	0,8	1,2	0,298		
"	1,2	1,2	0,315	0,31	
"	0,8	1,8	0,285		
"	1,2	1,8	0,296	0,29	
"	0,8	2,4	0,278		
"	1,2	2,4	0,287	0,28	
220	1,2	0,9	0,212	0,22	
"	"	1,2	0,202	0,21	
"	"	1,8	0,193	0,20	
"	"	2,4	0,188	0,19	
"	"	3,0	0,185	0,19	
270	1,5	1,8	0,159	0,16	
"	"	2,4	0,155	0,15	
"	"	3,0	0,153	0,15	
145	0,8*	2,0	0,282		
"	1,2*	2,0	0,292	0,288	
270	1,5*	3,0	0,153	0,153	
150	0,8*	0,95	0,304		
	1,2*	0,95	0,327	0,311	Uppmätt 0,303
270	1,5*	0,95	0,176	0,175	Uppmätt 0,172

\* Antagna värden, uppgift saknas.

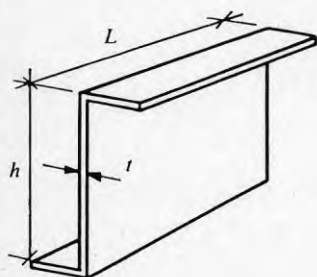




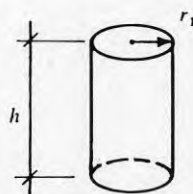
① Flänsverkan mot linjär regel



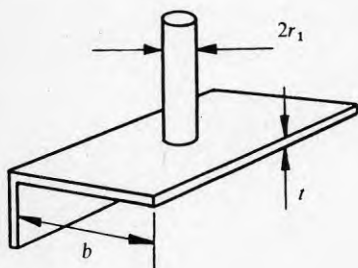
② Flänsverkan mot stift/skruv



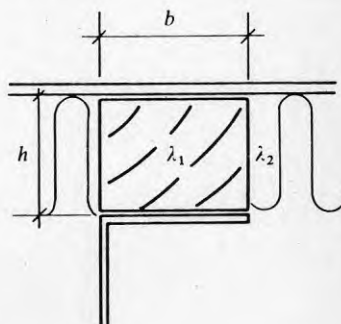
③ Ledning i regelliv



④ Ledning genom stift/skruv

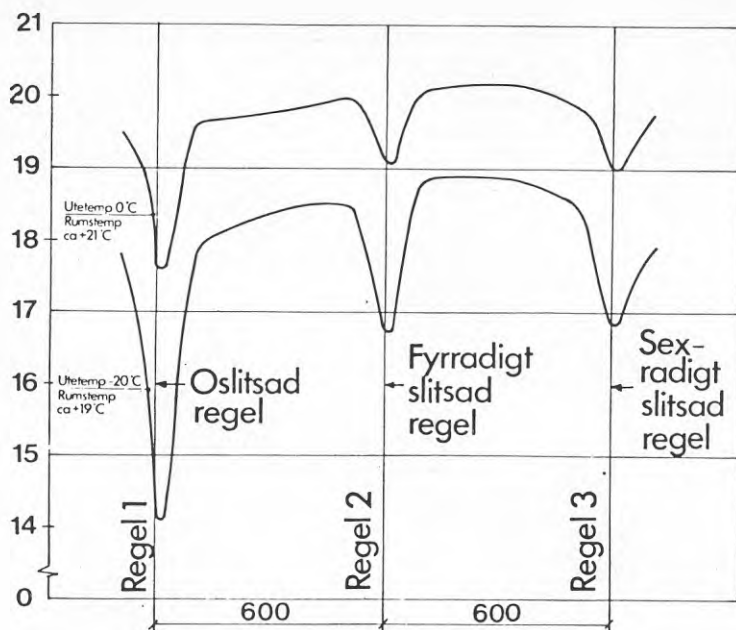


⑤ Ledning i regelfläns



⑥ Köldbryggebrytning

Figur 3.5 Exempel på använda elementarfall | 34 |.



Figur 3.6 Uppmätt temperaturfördelning på insida vägg med olika typer av stålreglar. Väggisolering består av 120 mm mineralull och insidan av 13 mm gipsskiva [11].

#### 4. EKONOMISKA ÖVERVÄGANDEN

##### 4.1 Allmänt

Det är många faktorer som styr valet av takkonstruktion. Vi skall nedan undersöka i vad mån en dyrare och mer högisolerad konstruktion kan motiveras. Vid jämförelsen måste hänsyn tas till inflationen, oljeprishöjningar (eller sänkningar), företagets krav på förräntning av investerat kapital samt till skatteeffekten. Diskussionen i det följande avser företag och andra rörelseidkare - för egnehemsägaren är skatteeffekten neutral.

Jämförelseproblemet uppstår genom att investeringen normalt skall göras med beskattade medel medan en ökad oljeförbrukning betalas med obeskattade medel. Den investering som görs får visserligen skrivas av under ett visst antal år men på grund av förräntningskrav och inflation är avskrivningarnas nuvärde avsevärt mindre än investeringen.

##### 4.2 Nuvärdet av energibesparingar

Storleken på tilläggsinvesteringen är  $I$  kronor. Genom denna tilläggsinvestering antas man kunna göra en årlig energibesparing på  $k$  kWh. Värdet av den totala energibesparingen under första året antas vara  $a$  kronor.

Med den skatteskala som i dag gäller för aktiebolag är kommunalskatten avdragsgill vid beräkning av statsskatten. Om den kommunala utdebiteringen är 30 kr per skattekrona blir vid ett fortvarighetstillstånd den totala bolagsskatten  $30 + 40(1-0,3) = 58 \%$ .

Då den kommunala utdebiteringen verkar fortsätta att öka använder vi oss av skattesatsen 60% vilken motsvarar en kommunal utdebitering på 33,33%. En liten ändring, uppåt eller neråt, påverkar emellertid inte resultatet i någon större utsträckning.

Vi betecknar

$i$  = allmän årlig inflation

$i_0$  = årlig energiprisökning

$p$  = den ränta som företaget vill ha på sina investeringar, kalkylräntan

$a$  = inbesparad energikostnad (före skatt) år 1

Energikostnadsbesparingen under  $n$ :te året, räknat före skatt, blir  $a(1+i_0)^n$ . Motsvarande besparing efter skatt är  $0,4a(1+i_0)^n$ .

Nuvärdet av besparingen är, diskonterad med  $p\%$

$$\frac{0,4a(1+i_0)^n}{(1+p)^n}$$

Detta uttryck kan skrivas som

$$0,4a \frac{(1+i_0)^n}{(1+p)^n} = \frac{0,4a}{\left(1 + \frac{p-i_0}{1+i_0}\right)^n}$$

Nuvärdet efter skatt av alla dessa insparade energikostnader är

$$N_u = 0,4a \frac{\left(1 + \frac{p-i_0}{1+i_0}\right)^n - 1}{\left(1 + \frac{p-i_0}{1+i_0}\right)^n \cdot \frac{p-i_0}{1+i_0}} \quad (4.1)$$

vilket blir detsamma som att diskontera alla årliga besparingar efter räntesatsen  $\frac{p-i_0}{1+i_0}$ .

#### 4.2.1 Exempel

Vi skall nu studera ett exempel. Frågan är hur stor årlig inbesparad uppvärmningskostnad som krävs för att motivera en merinvestering av storleken 25 kr per  $m^2$  takyta. Prisökningen på olja/elkraft antas vara 10% per år medan företaget anser sig vilja ha 15% förräntning av investerat kapital. Nyttjandetiden förutsätts till 10 resp 25 år.

Nuvärdet av energibesparingarna fås genom att diskontera efter räntesatsen

$$\frac{p-i_0}{1+i_0} = \frac{15-10}{1,10} = 4,545... \%$$

Diskonteringsfaktorn blir för

$$\begin{aligned} n = 10 \text{ år} & \quad 7,895 \\ n = 25 \text{ år} & \quad 14,759 \end{aligned}$$

Nuvärdet av energibesparingarna blir efter skatt

$$n = 10 \text{ år} \quad a \cdot 3,158$$

$$n = 25 \text{ år} \quad a \cdot 5,904$$

För att investeringen skall vara lönsam krävs alltså en inbesparad energikutgift på  $25/3,158 = 7,92 \text{ kr/m}^2 \text{ år}$  vid 10 års nyttjandetid och på  $25/5,904 = 4,23 \text{ kr/m}^2 \text{ år}$  vid 25 års nyttjandetid.

Den antagna merinvesteringen ( $25 \text{ kr/m}^2$ ) kan vara skillnaden mellan kostnaden för ett "undantagstak" med  $k$ -värdet  $0,42 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  och kostnaden för att "normtak" i zon III med  $k = 0,20 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Skälet till att just dessa värden valts är att dessa taktyper många gånger ställs mot varandra. En objektiv bedömning av byggnadens funktion leder till att byggnaden kommer att uppvärmas till mer än  $+18^\circ\text{C}$  vilket i sin tur innebär att kravet  $k < 0,2 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  skall uppfyllas enl SBN 80. Å andra sidan kan en lite krystad bedömning leda till att byggnaden bara antas komma att uppvärmas till mellan  $+18^\circ\text{C}$  och  $10^\circ\text{C}$  vilket i sin tur innebär att man kan tillämpa undantagsregeln i SBN 80 med minimikravet  $k = 0,42 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

För exempelvis Örebro är årets medeltemperatur  $5,9^\circ\text{C}$ , se |35|, vilket enligt |4| ger 112500 gradtimmar vid uppvärmning till  $+20^\circ\text{C}$ . De årliga energiförlusterna per  $\text{m}^2$  takyta blir

$$k = 0,42 \quad \Delta E = 0,42 \cdot 112500/1000 = 47,3 \text{ kWh/m}^2$$

$$k = 0,20 \quad \Delta E = 0,20 \cdot 112500/1000 = 22,5 \text{ kWh/m}^2$$

Den årligen inbesparade energimängden är  $24,8 \text{ kWh/m}^2$ .

Den lägsta kostnad per kWh som skulle kunna motivera en merinvestering av storleken  $25 \text{ kr/m}^2$  takyta är vid nyttjandetiden

$$10 \text{ år} \quad 7,92/24,8 = 0,32 \text{ kr/kWh}$$

och vid nyttjandetiden

$$25 \text{ år} \quad 4,23/24,8 = 0,17 \text{ kr/kWh}$$

Som framgår av ovanstående exempel krävs en betydande energibesparing för att investeringen skall bli lönsam. Med nyttjandetiden 10 år och räntekravet = inflationen krävs ändå en energikostnad på  $0,25 \text{ kr/kWh}$  för att göra investeringen företagsekonomiskt lönsam.

### 4.3 Avskrivningar

När nettoeffekten efter skatt studeras måste även hänsyn tas till avskrivningarna. Avskrivningarna, som skall utgöra en kostnad för resursförbrukning, påverkar den beskattningsbara inkomsten. I ett läge utan inflation och utan något krav på förräntning av det satsade kapitalet kommer man vid avskrivningsperiodens slut ha återskapat det satsade kapitalet. Genom inflationen och förräntningskrav kommer emellertid avskrivningarnas betydelse att minska.

Avskrivningar är i princip av två olika typer - dels kalkylmässiga och dels bokföringsmässiga. De kalkylmässiga avskrivningarna kan sägas i första hand användas för prissättningen av den produkt som avskrivningen avser. Den bokföringsmässiga avskrivningen är i stor utsträckning styrd av de skatteregler som gäller. I tabell 4.1 redovisas de procentsatser som enligt Riksskatteverket bör tillämpas för olika slag av rörelsebyggnader. Den kortaste avskrivningstiden blir enligt tabellen 20 år (1/0,05). Om en byggnad har större värdeminskning än normalt kan högre avdrag medges. Genom att utnyttja investeringskonto kan företaget även använda obeskattade medel till investeringen. Hänsyn härtill tas emellertid inte i denna redovisning. För att dessa investeringsmedel skall få tas i bruk krävs myndigheternas tillstånd.

Slag av byggnad	Procentsats	Slag av byggnad	Procentsats
1. Kontorsbyggnad	2	6. Butiksbyggnader:	
2. Fabriksbyggnader:		a) på orter med normal hyresmarknad	2,5
a) i allmänhet	4	b) på orter utan egentlig hyresmarknad, såsom inom brukssamhällen och liknande samhällen	3
b) cellulosa, kemisk och grafisk industri	5	7. Byggnader med hantverkslokaler	3
3. Lagerbyggnader:		8. Varuhus:	
a) i allmänhet	3	a) huvudkontorsbyggnader	2
b) kallager	4	b) egentliga varuhusbyggnader	2,5
4. Forskningslaboratorier	4	c) centrallagerbyggnader	3
5. Bostadsbyggnader för personal		9. Hotell- och/eller restaurangbyggnader	2,5
På orter med normal hyresmarknad:		10. Mejeri- och slakteribyggnader	5
a) byggnader av sten, tegel, betong eller annat jämförligt material	1,5	11. Byggnader för serviceverkstäder och servicestationer	4
b) byggnader av trä	1,75	12. Parkeringshus	3
På orter utan egentlig hyresmarknad såsom inom brukssamhällen och liknande samhällen:		13. Kyl- och fryshus	5
a) byggnader av sten, tegel, betong eller annat jämförligt material	2	14. Växthus	5
b) byggnader av trä	2,25	15. Sjuk- och vårdhem	3
		16. Vattenkraftbyggnader	2,5

Tabell 4.1

Riksskatteverkets anvisningar om procentsatser för avskrivning av byggnader |26|

Förutom den normala avskrivningen ger skattelagstiftningen även möjlighet att göra sk primäravdrag. Primäravdraget är en extra avskrivning med 2% per år under de fem första åren. Detta innebär att avskrivningstiden för en byggnad med 5% avskrivning sänks från 20 år till 18 år.

Sambandet mellan energibesparing, inflation, förräntningskrav och avskrivning framgår kanske enklast om vi studerar år  $j$ .

Energibesparingen	är	$a(1+i_0)^j$
avskrivningen	är	$I/n = b$
beskattningsbart belopp	är	$a(1+i_0)^j - I/n$
skatten blir		$0,6(a(1+i_0)^j - I/n)$
Efter skatt blir		
besparingen		$a(1+i_0)^j - 0,6(a(1+i_0)^j - I/n)$ $= 0,4a(1+i_0)^j + 0,6 I/n$
besparingens nuvärde	är	$\frac{0,4a(1+i_0)^j}{(1+p)^j} + \frac{0,6 I/n}{(1+p)^j}$

Den årliga avskrivningen  $b$  kr/år görs i slutet av varje år. Genom avskrivningen  $b$  kr/år minskar skatten med  $0,6 b$  kronor per år. Förräntningskravet antas vara  $p$  %. Nuvärdet av avskrivningen år  $n$  är då  $b/(1+p)^n$ . Summan av nuvärdet av alla avskrivningar under  $n$  år kan beräknas ur uttrycket

$$\Delta I = b \cdot \frac{(1+p)^n - 1}{(1+p)^n \cdot p} \quad (4.2)$$

där  $b = I/n$  och  $I =$  investeringsbeloppet

$p =$  diskonteringsprocenten

$\Delta I =$  det belopp som företaget "får tillbaka" genom avskrivningarna.

För att få värdet efter skatt skall  $\Delta I$  i uttrycket ovan multipliceras med  $0,6$ .

### 4.3.1 Exempel

#### 4.3.1.1 Utan primärvdrag

För att vi skall få en uppfattning av storleken på det belopp som företaget får tillbaka genom avskrivningar beräknas värdet under samma förutsättningar som tidigare. Den första beräkningen görs utan hänsyn till det s k primärvdraget.

Vi får med  $p = 15\%$  diskonteringsfaktorerna (ekv 4.2) för 10 resp 25 år 5,019 resp 6,464.

Med  $b = I/n$  fås (före skatt)

$$\Delta I = 0,502 \cdot I \quad (10 \text{ år})$$

$$\Delta I = 0,259 \cdot I \quad (25 \text{ år})$$

samt (efter skatt)

$$\Delta I = 0,301 \cdot I \quad (10 \text{ år})$$

$$\Delta I = 0,155 \cdot I \quad (25 \text{ år})$$

Härav torde klart framgå hur viktigt det är att avskrivningstiden är så kort som möjligt.

Vid en bedömning av en investerings lämplighet skall man alltså inte bara ta hänsyn till nuvärdet av energibesparingen utan även till den nettoeffekt som avskrivningarna innebär.

Den tidigare använda prisskillnaden  $25 \text{ kr/m}^2$  minskas till  $25(1-0,301)$  resp  $25(1-0,155)$  kronor för 10 resp 25 års avskrivningstid. Detta motsvarar inbesparade energikostnader av storleken

$$25(1-0,301)/3,158 = 5,53 \text{ kr/m}^2 \text{ år}$$

samt

$$25(1-0,155)/5,904 = 3,58 \text{ kr/m}^2 \text{ år}$$

Med samma förutsättningar som i tidigare exempel skulle investeringen bli lönsam om energipriserna överstiger

$$5,53/24,8 = 0,22 \text{ kr/kWh}$$

samt



$$3,58/24,8 = 0,144 \text{ kr/kWh}$$

vid 10 års resp 25 års avskrivningstid (användnings- och avskrivningstid samma). Detta är som synes betydligt gynnsammare än i exempel 4.2.1.

#### 4.3.1.2 Med primäravdrag

Jämförelsen blir ännu gynnsammare om man tar hänsyn till primäravdraget. Nuvärdet av primäravdraget 2% är med  $p = 15\%$  före skatt

$$\Delta I = 3,352 \cdot I / 50 = 0,067 \cdot I$$

och efter skatt

$$\Delta I = 0,040 \cdot I$$

Med primäravdraget tillämpat endast för fallet med 25 års avskrivningstid (d v s 22,5 år vid utnyttjat primäravdrag) blir det totala nuvärdet av samtliga avskrivningar före resp efter skatt

$$\Delta I = (0,067 + 0,255)I = 0,322 \cdot I \quad (\text{före skatt})$$

$$\Delta I = 0,6 \cdot 0,322 \cdot I = 0,193 \cdot I \quad (\text{efter skatt})$$

Primäravdraget innebär en gynnsammare situation ur energikostnadssynpunkt. Det lägsta energipris vid vilket investeringen skulle bli lönsam är

$$25(1 - 0,193) / 5,904 / 24,8 = 0,138 \text{ kr/kWh}$$

#### 4.4 Jämförelser

Vid jämförelse mellan olika investeringsalternativ måste man även ta hänsyn till livslängden. Om vi förutsätter att det billigare alternativet med papptäckning har kortare livslängd än vad en plåttäckning har så kommer även en underhållspost in i bilden vid jämförelsen.

Om underhåll ( $c$  kronor/m<sup>2</sup>) krävs efter  $n_1$  år är nuvärdet av underhållskostnaden  $c/(1+p)^{n_1}$ . Inflationens storlek påverkar inte detta belopp om vi förutsätter att underhållskostnaden  $c$  år  $n_1$  motsvaras av kostnaden  $c/(1+i)^{n_1}$  i dag d v s att omläggingskostnaden antas öka med inflationen. Eftersom underhållsåtgärder är skattemässigt avdragsgilla blir kostnaden efter skatt endast

$$0,4c/(1+p)^{n_1}$$

Med räntekravet  $p = 15\%$  och  $n_1 = 10$  år blir omläggningskostnadens nuvärde

0,099·c

Detta belopp skall dras ifrån den använda prisdifferensen vid bedömning om genomförda åtgärder är företagsekonomiskt berättigade.

I de använda sifferexemplen har inte tagits någon hänsyn till möjligheten att göra energibesparingar även efter det att byggnaden är avskriven. Nuvärdet av dessa besparingar är emellertid litet. Med diskonteringsprocenten 15% blir nuvärdet av 1 krona per år under 25 år 6,46 kronor och nuvärdet av 1 krona per år under obegränsat antal år  $1/0,15 = 6,67$  kronor.

Det är av yttersta vikt att konstatera att det val som är företagsekonomiskt mest lönsamt inte nödvändigtvis också behöver vara samhällsekonomiskt mest lönsamt. Vid en samhällsekonomisk bedömning är skatteeffekten neutral d v s jämförelsen måste göras före skatt. Då kommer ett så stort kilowatt-timpris som 40 öre att sjunka till cirka 20 öre !

Om inte hänsyn tas till skatteeffekterna kommer en "merinvestering" nästan alltid att kunna ekonomiskt motiveras. Skattehänsynen gör emellertid att merinvesteringen inte alltid är försvarbar från företagsekonomisk synpunkt. Ju större andel av investeringsfondmedel som kan användas, desto gynnsammare blir förutsättningarna för "merinvesteringen".

Redovisade sifferexempel torde med all tydlighet visa att det är ekonomiskt lönsamt att satsa på ett "högisolerat" dubbelt plåttak jämfört med ett tak med sämre värmeisolering. En "tilläggsinvestering" av storleken 25 kr/m<sup>2</sup> takyta blir lönsam redan vid så lågt energipris som 0,138 kr/kWh.

#### 4.5 Tabeller

Beräkningarna kan underlättas betydligt med användning av tabeller. I tabell 4.2 redovisas jämförelsetalen "nettodiskonteringsfaktorn"

$$N_{us} = \alpha / (1 - \beta) \quad (4.3)$$

där

$$\alpha = 0,4 \frac{\left(1 + \frac{p-i_o}{1+i_o}\right)^n - 1}{\left(1 + \frac{p-i_o}{1+i_o}\right)^n \cdot \frac{p-i_o}{1+i_o}} \quad | \text{jfr ekv 4.1} |$$

$$\beta = \frac{0,6}{n} \frac{(1+p)^n - 1}{(1+p)^n \cdot p} \quad | \text{jfr ekv 4.2} |$$

I jämförelsetalet  $N_{us}$  (ekv 4.3) har hänsyn tagits till räntefot, energiprisökning, avskrivningstid, avskrivningar och skatter.

De i tabell 4.2 redovisade talen blir desamma som minsta erforderliga pay-off tid  $d$  v s den tid som en investering skall tjänas in på (utan hänsyn till ränta, inflation, skatter etc.).

För att en investering skall vara lönsam krävs att villkoret (4.4) är uppfyllt

$$I < N_{us} \cdot a \quad (4.4)$$

där

$I$  = investeringsbeloppet

$N_{us}$  = "diskonteringsfaktorn" enligt ekv (4.3)

$a$  = inbesparad energikostnad (före skatt) under första året

Användningen av tabellen är mycket enkel. Antar vi 5% energiprisökning, räntefoten 15% och 25 års avskrivningstid blir nettodiskonteringsfaktorn

$$N_{us} = 4,460$$

För att en investering på 100 kr skall vara lönsam krävs att den inbesparade energikostnaden år 1 är minst  $100/4,46 = 22,4$  kronor.

Tabell 4.2

NETTODISKONTERINGSFAKTORER FÖR AVSKRIVNINGSTIDEN 15 ÅR (EFTER SKATT)								
ENERGIPRIS ÖKNING/ÅR (%)	RÄNTEFOT (%)							
	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
2.5	11.887	8.506	6.471	5.133	4.199	3.519	3.007	2.611
5.0	14.493	10.260	7.723	6.065	4.914	4.082	3.458	2.979
7.5	17.771	12.449	9.275	7.210	5.787	4.762	4.001	3.419
10.0	21.900	15.188	11.203	8.624	6.855	5.590	4.655	3.945
12.5	27.106	18.619	13.602	10.371	8.167	6.598	5.446	4.577
15.0	33.671	22.921	16.592	12.535	9.781	7.832	6.408	5.340
17.5	41.947	28.315	20.321	15.218	11.770	9.342	7.578	6.262
20.0	52.373	35.080	24.972	18.547	14.224	11.196	9.005	7.380

NETTODISKONTERINGSFAKTORER FÖR AVSKRIVNINGSTIDEN 20 ÅR (EFTER SKATT)								
ENERGIPRIS ÖKNING/ÅR (%)	RÄNTEFOT (%)							
	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
2.5	15.028	10.016	7.256	5.654	4.424	3.634	3.059	2.626
5.0	19.542	12.777	9.085	6.832	5.354	4.333	3.598	3.052
7.5	25.725	16.509	11.525	8.514	6.561	5.227	4.278	3.582
10.0	34.226	21.581	14.800	10.744	8.140	6.381	5.145	4.246
12.5	45.947	28.502	19.220	13.718	10.220	7.882	6.259	5.094
15.0	62.134	37.970	25.207	17.703	12.977	9.850	7.699	6.174
17.5	84.500	50.944	33.337	23.063	16.647	12.440	9.576	7.566
20.0	113.397	68.734	44.394	30.290	21.549	15.867	12.034	9.369

NETTODISKONTERINGSFAKTORER FÖR AVSKRIVNINGSTIDEN 25 ÅR (EFTER SKATT)								
ENERGIPRIS ÖKNING/ÅR (%)	RÄNTEFOT (%)							
	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
2.5	17.927	11.215	7.792	5.793	4.523	3.664	3.055	2.607
5.0	24.894	15.111	10.200	7.383	5.625	4.460	3.650	3.064
7.5	35.296	20.316	13.652	9.613	7.138	5.529	4.432	3.654
10.0	50.946	29.249	18.662	12.785	9.247	6.988	5.476	4.426
12.5	74.619	41.812	26.000	17.349	12.223	9.006	6.894	5.452
15.0	110.542	60.623	36.327	23.975	16.471	11.836	8.843	6.837
17.5	165.133	88.878	52.882	33.663	22.586	15.843	11.557	8.730
20.0	248.095	131.389	76.766	47.897	31.450	21.566	15.371	11.347

NETTODISKONTERINGSFAKTORER FÖR AVSKRIVNINGSTIDEN 30 ÅR (EFTER SKATT)								
ENERGIPRIS ÖKNING/ÅR (%)	RÄNTEFOT (%)							
	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
2.5	20.640	12.187	8.164	5.927	4.557	3.656	3.032	2.579
5.0	30.643	17.327	11.137	7.788	5.793	4.519	3.660	3.053
7.5	46.947	25.474	15.711	10.561	7.578	5.727	4.513	3.680
10.0	73.852	38.595	22.884	14.788	10.219	7.461	5.702	4.527
12.5	118.616	59.979	34.305	21.349	14.207	10.004	7.397	5.702
15.0	193.468	95.114	52.700	31.683	20.336	13.814	9.867	7.367
17.5	318.914	153.130	82.563	48.140	29.892	19.615	13.535	9.777
20.0	529.168	249.158	131.296	74.554	44.947	28.569	19.070	13.327

## 5. LUFTLÄCKAGE INIFRÅN

### 5.1 Allmänt

Yttertaket bör vara "lufttätt" - det får i varje fall inte släppa genom några större mängder luft. Luftgenomströmning kan förorsaka problem med kondens på ytterplåten. Luftläckage innebär vidare att värmeförlusterna ökar. Förutom tätheten påverkas luftstömningen av tryckskillnaden ut-  
inne. Ventilationssystemet bör justeras så att man inte får något invändigt luftövertryck.

Det vanligaste sättet, för att inte säga enda sättet, som idag används för att få konstruktionen lufttät är att använda en luftspärr av plastfolie. Folien kan placeras antingen på den bärande plåten, ovanpå isoleringen eller mellan isoleringsskivor. Skarvning av plastfolien kan utföras antingen genom överlapp, genom svetsning eller genom att tejpa skarvarna. Det är med nuvarande teknik inte praktiskt (ekonomiskt) möjligt att utnyttja den bärande plåten som luftspärr. För att den bärande plåten skall bli lufttät måste montaget ske bl a med användning av tätningband eller tätningssmassa. Vidare måste kontrollen på arbetsutförandet vara större än normalt. Skruv- och nitinfästningar skall utföras så att även förbindningarna blir lufttäta.

För att man skall uppnå önskad effekt vad gäller lufttätheten krävs ett noggrant arbetsutförande både vad gäller plåt och plastfolie. Vidare är det viktigt att detaljlösningarna görs på ett sådant sätt att det är praktiskt möjligt att få ett fullgott arbetsutförande. Om den konstruktiva lösningen är "omöjlig" är det svårt att på platsen göra en fullgod luftspärr.

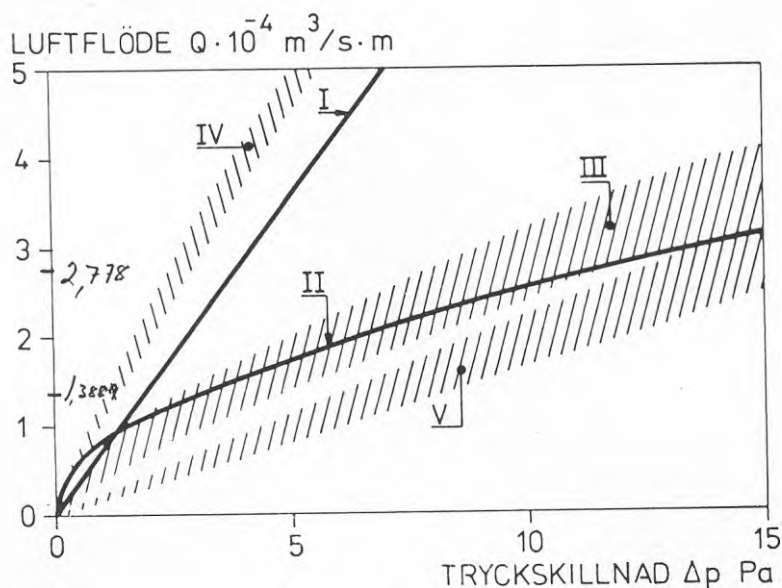
### 5.2 Provningar

#### 5.2.1 Täthet hos plåtskarvar

Det finns ett antal, mer eller mindre omfattande undersökningar av lufttätheten hos plåtskarvar. Merparten av undersökningarna har gjorts av industrin och dessa undersökningar är ej offentliga. Vissa av dessa resultat har emellertid publicerats i annat sammanhang.

Ingemar Samuelsson, |30|, sid 41, redovisar uppmätta och teoretiskt beräk-

nade samband mellan luftflöde och tryckdifferens för ett sidöverlapp. Redovisade tryckdifferenser är mycket små. Som framgår av fig.5.1 visas endast området 0-15 Pa (motsvarar 0-1,5 mm vp), vilket är alltför litet för i praktiken vid normal ventilation förekommande tryckskillnader. Som medelvärde är emellertid 15 Pa "högt tryck".



Figur 5.1 Samband mellan tryckskillnad och flöde genom ett plåtöverlapp vid olika yttre förutsättningar [30].

Kurva I anger beräkning enligt ekv (5.1).

Kurva II anger beräkning enligt ekv (5.3).

Området III anger mätvärden enligt Sarapik 1964.

Området IV anger egna mätningar på 1 mm ideal skarv.

Området V anger egna mätningar på verklig skarv ca 0,1 mm.

I fig.5.1 har Samuelsson även lagt in teoretiskt beräknade samband. För laminär strömning gäller

$$Q = \frac{t^3 \ell}{12 \cdot \eta \cdot d} \cdot \Delta p \quad (5.1)$$

där

$Q$  = luftflödet ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$t$  = spaltvidd (avstånd mellan plåtarna) (m)

$\ell$  = spaltlängd (m)

$d$  = spaltdjupet (sidöverlappets längd) (m)

$\eta$  = luftens dynamiska viskositet ( $18 \cdot 10^{-6} \text{Ns}/\text{m}^2$ )

$\Delta p$  = skillnad i lufttryck (Pa)

Sambandet mellan luftflödet och tryckskillnaden är linjärt.

För turbulent strömning har Samuelsson använt sambandet (5.2) enligt Dick [6].

$$Q = \mu \cdot t \cdot \ell \sqrt{\frac{2\Delta p}{\gamma}} \quad (5.2)$$

där

$\mu$  = reduktionsfaktor (av Dick angiven till 0,65)

$\gamma$  = luftens volymvikt ( $\approx 1,25 \text{ kg/m}^3$ )

Med insatta värden på  $\mu$  och  $\gamma$  fås

$$Q = 0,822 \cdot t \cdot \ell \sqrt{\Delta p} \quad (5.3)$$

Som framgår av fig.5.1 stämmer ekv (5.1) bra för skarven med relativt grov springa, område IV med 1 mm avstånd mellan plåtarna. Område IV har registrerats för en skarv där sidöverlappet var 50 mm.

För "verkliga sidöverlapp" stämmer ekv (5.3) bra. Resultaten av de två mätningar som redovisas i fig.5.1 ligger ganska väl samlade runt omkring kurvan II.

De uppmätta luftläckagen är mycket stora. Vid tryckskillnaden 10 Pa (1 mm vp) har luftflödet 0,5 - 1,1 m<sup>3</sup>/hm registrerats för "verkliga" överlapp med cirka 0,1 mm mellan plåtarna.

Det finns emellertid även andra mätningar utförda vilka ger betydligt lägre värden på luftläckaget. I tabell 5.1 nedan redovisas utdrag ur en sådan mätning av luftgenomsläppligheten genom ett sidöverlapp. Den provade plåten är en 45-profil, 0,7 mm tjock. Sidöverlappet har nitats med trycktät nit med centrumavstånd, 600-300-150 mm. Sidöverlappets totala längd (läckagesträckans längd) är cirka 100 mm.

Tabell 5.1. Uppmätt luftläckage i m<sup>3</sup>/hm för sidöverlapp. Nitning med trycktät nit. Nitarnas centrumavstånd har varierats.

tryckskillnad	nitarnas centrumavstånd (mm)		
	600	300	150
10 Pa	0,14	0,17	0,15
40 Pa	0,51	0,58	0,56

Med tätningsband inlagda i sidöverlappet reducerades den läckande luftmängden till cirka 10% av i tabell 5.1 redovisade luftmängder. Med nitavståndet 300 mm uppmättes följande luftläckage

tryckskillnad	luftläckage
10 Pa	0,01 m <sup>3</sup> /hm
40 Pa	0,04 m <sup>3</sup> /hm

Dessa värden är avsevärt mycket bättre än vad man uppnår vid konventionellt skarvad plastfolie. Maximal tryckdifferens som använts vid den refererade plåtprovningen är 50 Pa.

Utgående från resultaten i den senare redovisade försöksserien kan det kanske trots allt vara intressant att närmare studera plåttätheten.

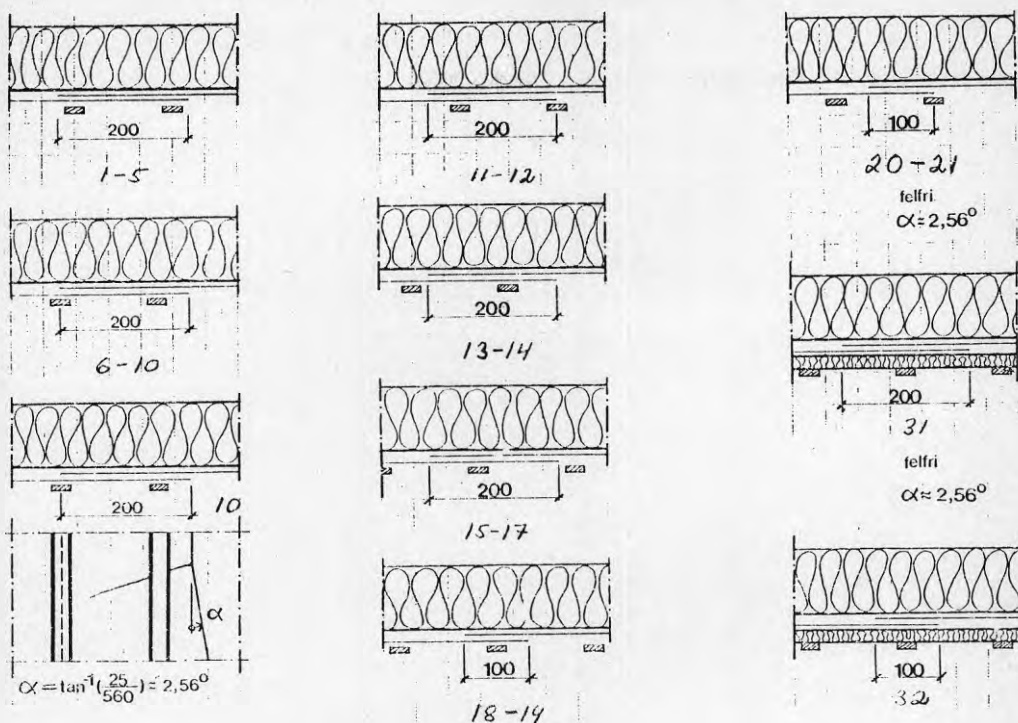
#### 5.2.2 Täthet hos plastfolie

Lars J E Andersson [2] har i sin rapport redovisat provning av lufttäthet hos överlappsskarvar i plastfolie. Totalt har 25 st prov med icke tejgade överlappsskarvar provats. Vid provningen har plåtens profiltoppar ersatts av två stycken 30 mm breda plywoodstrimlor med 150 mm centrumavstånd. Skarven mellan folierna har placerats på olika sätt över profiltopparna för provning av olika utföranden. I figur 5.2 visas de olika alternativ som har provats.

Plastfolien var 0,1 mm tjock. Ovanpå folien lades isolering bestående av 100 mm glasullsskivor, Gullfiber 3024. Anliggningstrycket mot folien var cirka 23 N/m<sup>2</sup> vid obelastade prov. Både plåtflänsarnas läge i förhållande till skarven och omlottskarvens bredd (200 resp 100 mm) varierades. För merparten av proven lades plastfolien på plats (med normal ansträckning) utan att några extra åtgärder vidtogs. I ett fall (prov 5) sträcktes folien vid utläggningen. Ett av proven (prov 7) provades först cirka 15 timmar efter montaget medan övriga prov genomfördes i direkt anslutning till montaget. De 15 timmarna innebar att överlappsskarven vid provningen hölls samman av adhesionskrafter. Slutligen simulerades i tre prov felaktigheter i montaget. Man skapade ett veck i skarven genom att den ena folien vinkeländrades cirka 2,5<sup>o</sup> i förhållande till den andra.

Provningen genomfördes med övertryck direkt mot plastfolien. I allmänhet genomfördes provningarna med en maximal tryckdifferens på 150 Pa.





Figur 5.2 Provade utformningar. Siffrorna under figurerna anger provnr |2|.

Mätresultaten uppvisar väldigt stor spridning. Dessutom är antalet prov för litet för att några mer omfattande slutsatser skall kunna dras av provningsresultaten. I tabell 5.2 visas en sammanställning av utförda prov och i tabell 5.3 redovisas största resp minsta uppmätta läckagemängd vid tryckdifferensen 100 Pa.

Undersökningen kan inte sägas ge några mer bestämda och slutliga svar på frågan hur tät en folieskarv är. Anledningen är den stora spridningen i mätresultaten och de relativt få prov som gjorts. Vissa antydningar och vissa tendenser kan emellertid spåras.

Felaktigheter vid montaget behöver inte nödvändigtvis försämra skarvens lufttätethet. Hos proven 31 och 32, där plasten placerats mellan två skivor har ett veck i folien mycket stor - för att inte säga förödande - inverkan på lufttätetheten. Hos prov nr 10 visade sig vecket inte i nämnvärd grad påverka skarvens täthet.

Vidare är resultaten av prov 7 väldigt lovande. De antyder att en vanlig omlottlagd folieskarv "självläker" d v s lufttätheten förbättras med tiden genom att adhesionskrafterna utbildas.

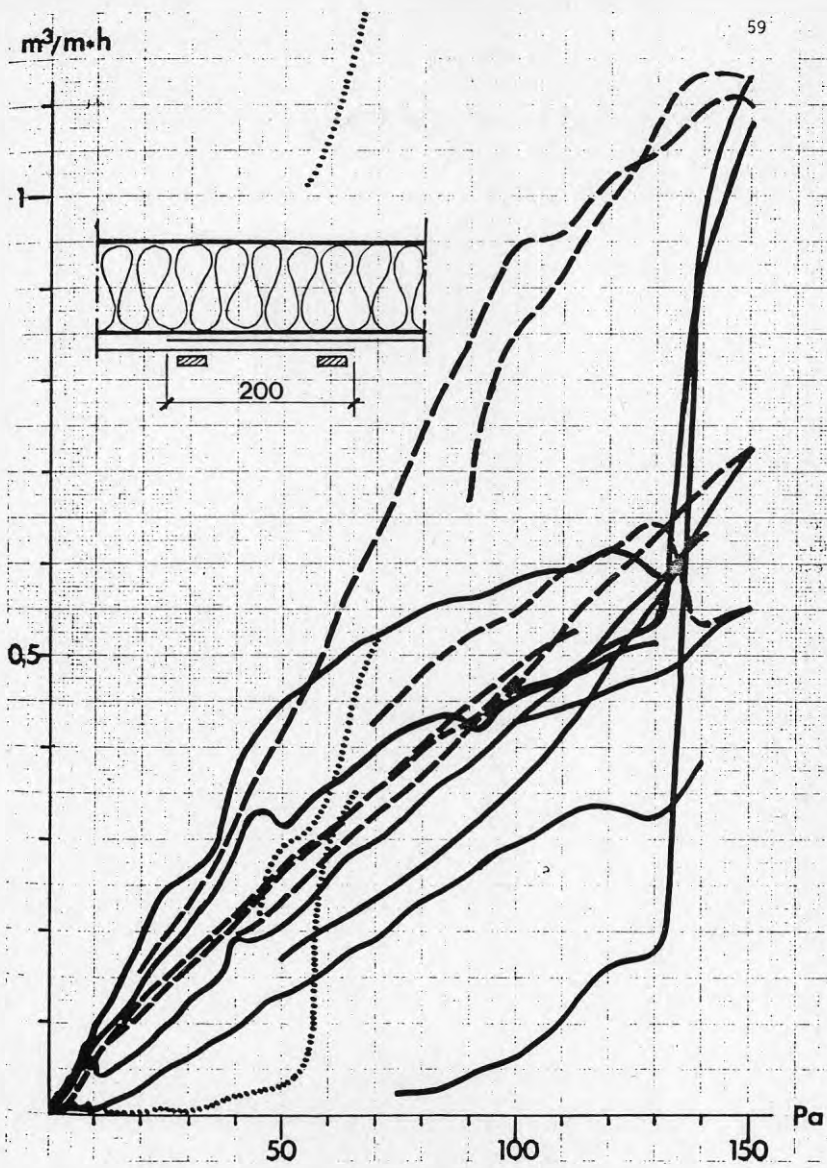
Tabell 5.2 Sammanställning av utförda prov |2|.

Prov nr	Antal prov	Skarvlängd	Antal hela profil-toppar	Veck	Folieplacering i förhållande till profiltoppar	Anm
1-5	5	200	2	-		
6-9	4	200	1 1/2	-		
10	1	200	1 1/2	ja		
11-12	2	200	1 1/2	-		
13-14	2	200	1	-		
15-17	3	200	1	-		
18-19	2	100	1	-		
20-21	2	100	1/2	-		
31,A,B	2	200	-	ja/nej		
32,A,B	2	100	-	ja/nej		

prov 7 hölls samman av adhesion

Tabell 5.3 Uppmätt läckage vid tryckskillnaden 100 Pa [2].

Provgrupp	Uppmätt läckage (m <sup>3</sup> /hm)		Kommentar
	min	max	
1- 5	0,06	- 0,58	
6,8,9	0,19	- 0,42	
7	0,06		Adhesion höll samman skarven. Provning 15 timmar efter montaget.
10	0,20		Veck i folien
11-12	0,18	- 0,36	
13-14	0,08	- 0,59	
15-17	0,55	- 0,83	
18-19	0,29	- 0,45	
20-21	0,53	- 0,53	Maximalt läckage 0,8 m <sup>3</sup> /hm vid 5 Pa
31A	0,76		Veck i folien
B	0,00		
32A	>> 1,3		Veck i folien
B	0,05		



Figur 5.3 Sammanställning av mätningar för prov 1-5 |2|.

### 5.2.3 Sprickor i betongelement

Jergling |15| behandlar luftläckage genom sprickor i betongelement. I tabell 5.4 visas några exempel på uppmätta luftläckage hos 100 och 150 tjocka betongelement för sprickvidderna 0,3; 0,5 resp 0,7 mm. En jämförelse mellan resultaten för folieskarvar (tab.5.3) och betongsprickor (tab.5.4) visar att tätheten hos en normal folieskarv är lika stor som tätheten hos en 0,3-0,5 mm bred spricka i ett betongelement. Vidare finner vi ur tab.5.1 och 5.4 att tätheten hos ett normalt sidoöverlapp mellan trapetsprofilerade plåtar morsvarar tätheten hos en ca 0,7 mm bred spricka i ett 150 mm tjockt betongelement.

Tabell 5.4 Uppmätt luftläckage i m<sup>3</sup>/hm genom sprickor i betongelement |15|.

Tryck- skillnad	Sprickvidd	100 mm tjockt element	150 mm tjockt element
0-40 Pa	0,3	0,05	0,02
	0,5	0,25	0,15
	0,7	0,75	0,45
0-100 Pa	0,3	0,15	0,10
	0,5	0,65	0,40
	0,7	1,65	1,10

## 6. FUKT

### 6.1 Fukt - vattenpåverkan

#### 6.1.1 Allmänt

Ett tak skall vara tätt mot bl a regn och mot ev uppdämt vatten. Vidare får inte fukt inifrån leda till kondens som i sin tur kan droppa ned i den underliggande lokalen och då upplevas som "taket läcker".

Det regnvatten som faller på taket kan vid olyckliga konstruktionsutformningar läcka in. Vid regn i kombination med vindpåverkan förstärks vatteninträngningsrisken. Den blåst som uppträder förorsakar olika tryckförhållanden över takytan och den påverkar tryckförhållandena under den vattenavledande plåten. Vid ogynnsamma förhållanden kan vinden trycka in regnvattnet i takets "täthetssvaga zoner" varefter vatten transporteras genom tätskiktet av kapillärkrafter, av luftströmmar orsakade av tryckskillnader mellan plåtens ut- och insida eller av tyngdkraften.

Statiskt vattentryck kan uppstå vid uppdämningar orsakade av isvallar. Klimat- och byggnadstekniska förutsättningar för att sådana isvallar skall bildas finns ibland - om inte alltid. Uppdämningen kan exempelvis ske vid takfot (vid utvändiga hängrännor), vid genomföringar, takluckor etc. Vidare kan lägre liggande skuggade områden påverkas av isbildning. Ytterligare exempel är köldbryggor i konstruktioner enligt varmtaksprincipen.

Ytterligare en läckageorsak - tyvärr inte helt ovanlig - är ett felaktigt montage. Borrade hål utan nitar, utelämnade tätningar, felaktiga beslag är några exempel på läckorsaker.

#### 6.1.2 Regn

Dimensionerande regnintensitet varierar med byggnadens geografiska läge. Genom att det dubbla plåttaket inte tål stående vatten i någon större omfattning är det viktigt att avvattningssystemet inte blir underdimensionerat. Enligt SBN-80 kan det sk 5-årsregnet med 10 minuters varaktighet användas som dimensioneringsvärde. Vidare anges att man kan acceptera  $0,013 \text{ l/s m}^2$ , vilket motsvarar  $0,013 \cdot 60 \cdot 10 = 7,8 \text{ l/m}^2$  under 10 minuter dvs 8 mm nederbörd. Plannja har - med hänsyn till rännornas utformning och med hänsyn till risken för igensatta avlopp - vid dimensionering av avrinning i sina rännor använt avsevärt större intensitet. Man har valt regnintensiteten  $0,042 \text{ l/s m}^2$  ( $2,5 \text{ l/min, m}^2$ ), vilket motsvarar 30-års-

regnet med 4 minuters varaktighet. Den valda intensiteten har vid 10 minuters varaktighet en återkomsttid på cirka 100 år enligt nederbördsstatistik för Stockholm.

### 6.1.3 Snö

Stora mängder vatten samlas på taket i form av snö. Vid värmeläckage (exempelvis vid genomföringar och vid genomströmmande varmluft) kommer snön att smälta och det bildas isvallar på taket.

Vid snösmältningen rinner en del smältvatten bort direkt. Resten av smältvattnet stannar kvar på taket ytterligare en tid, dels bundet i den kvarvarande snön och dels bakom isvallar. Tätskiktet, ytterplåten, kan härvid komma att påverkas av betydande vattentryck.

### 6.1.4 Vind

Vind i kombination med regn ökar som tidigare nämnts riskerna för läckage genom att vinden kan trycka in vatten eller förorsaka invändigt undertryck som suger in vatten. Nedan visas ett försök att uppskatta storleken på de tryckskillnader som vindbelastningen kan ge upphov till. Formkoefficienterna enligt SBN ger endast en viss ledning p g a att de valts som extremvärden för skilda vindriktningar.

Vindtrycket mot en yta kan beräknas ur ekv

$$p = c \cdot \frac{v^2}{1,6} \quad (6.1)$$

där

$c$  = formfaktor ( - )

$v$  = lufthastighet (m/s)

$p$  = trycket (Pa)

Storleken på formfaktorn varierar med en mängd parametrar, bl a byggnadens form, vindriktning, läge på taket och taklutning.

Nedan görs en uppskattning av tryckdifferensen över ytterplåten utgående från arbeten av Howe [12]. I fig.6.1 visas uppmätta formfaktorer, fig hämtad ur [28]. Utgående från den delfigur som anger formfaktorerna för vind mot gavel har formfaktorerna för överdelen av en långsida tagits fram, fig.6.2. Medelvärdet för formfaktorn blir 0,30 ("sug"). Formfak-

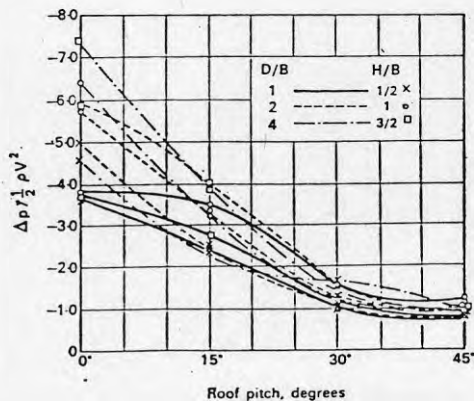
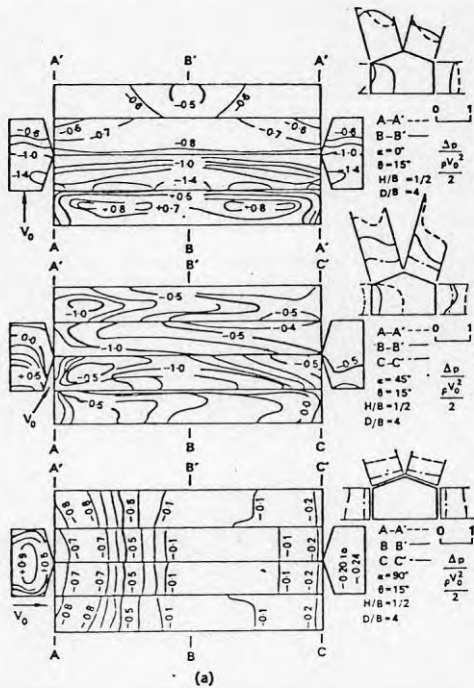


torn för undertrycket på takets utsida är cirka 0,1. Den resulterande formfaktorn för tätskiktet blir då  $c = 0,2$  och det värdet svarar mot ett resulterande inre undertryck.

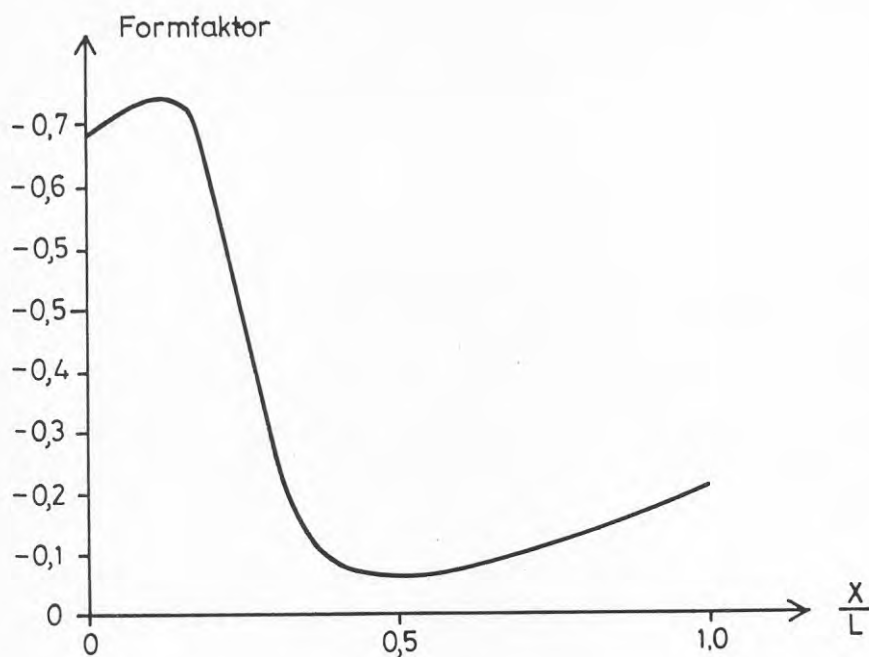
Med vindhastigheten 20 m/s fås tryckdifferensen

$$\Delta p = 0,2 \cdot \frac{20^2}{1,6} = 50 \text{ Pa (5 mm vattenpelare) } \quad | \text{inre undertryck} |$$

Detta värde kan i vissa fall överskridas - speciellt för byggnader i för vind utsatt läge.



Figur 6.1  
I vindtunnel uppmätta formfaktorer |28|.



Figur 6.2 Formfaktorns variation för den längsgående väggens överdel vid vind mot gaveln (fig.6.1).

## 6.2 Faktorer som påverkar takets täthet

Takkonstruktionens täthet påverkas av en mängd olika faktorer vilka kan inordnas i olika grupper.

### A Takkonstruktionens utformning

- a. taklutning
- b. takfallets längd

### B Konstruktiv lösning, plåtens utformning

- a. ändöverlappets längd
- b. sidöverlappets utformning
- c. profiltyp (profilhöjd, plåttjocklek, profilgeometri)
- d. fästdon, typ, läge och centrumavstånd
- e. eventuella tätningar
- f. genomföringar samt utformning vidnock och takfot
- g. plåtens uppläggning och spännvidder
- h. temperaturrörelser och dess inverkan

- C. "Skadetålighet"
  - a. montagenoggrannheten ("säkerhet")
  - b. lätthet resp svårighet att montera
  
- D. Belastning
  - a. regn, vind, snösmältning

Nedan görs ett försök att värdera ("rangordna") de faktorer som påverkar tätheten. Faktorerna i grupp 1 kan anses ha störst betydelse och faktorerna i grupp 3 minst betydelse för tätheten. Gruppindelningen kan tolkas så att risken är störst att någon faktor i grupp 1 skall förorsaka läckage och minst för faktorerna i grupp 3.

#### Grupp 1

Genomföringar samt utformning vidnock och takfot.  
Felaktigheter i tätningar (samverkar med sidöverlappets utformning).

#### Grupp 2

"Skadetåligheten", montagenoggrannhet och montagelätthet.

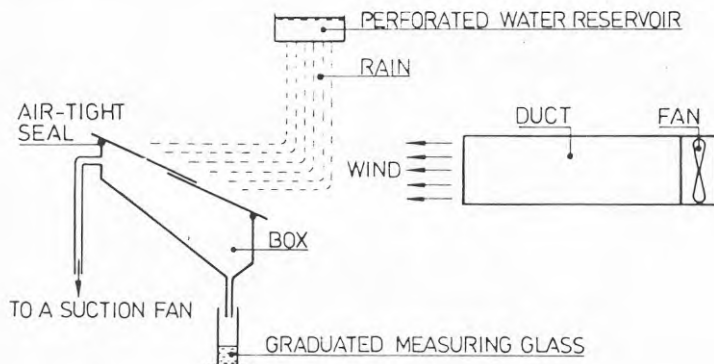
#### Grupp 3

Fästdon, typ, läge och centrumavstånd.  
Ändöverlappets utformning.  
Sidöverlappets utformning.  
Profiltyp, profilhöjd, profiltjocklek, profilgeometri.  
Plåtens uppläggningssätt och spännvidd.

Flera av faktorerna ovan samverkar. Exempelvis påverkar profiltypen möjligheten till bra detaljutformningar. Vidare påverkar sidöverlappsutformningen och plåttjockleken möjligheten till ett riktigt montage. Ett olämpligt utformat sidöverlapp leder till "tegeltakstäthet" och flyttar upp faktorn "sidöverlappets utformning" till grupp 1 ovan. En liten taklutning förstärker effekten av bristfälliga detaljlösningar.

### 6.3 Täthetsprovning

Ytskiktet skall vara tätt mot regnvatten och smältande snö. Under senare tid har provningsmetoder utvecklats bl a vid LTH, Lund och NBI, Trondheim. Provning görs med vattenbegjutning i kombination med undertryck och/eller v ndanbl sning. Provning har även gjorts med stillastående vatten. I fig. 6.3 visas den testuppställning som återfinns i Nordtest method NT BUILD 118.



Figur 6.3 Testapparat r f r täthetsprovning [23].

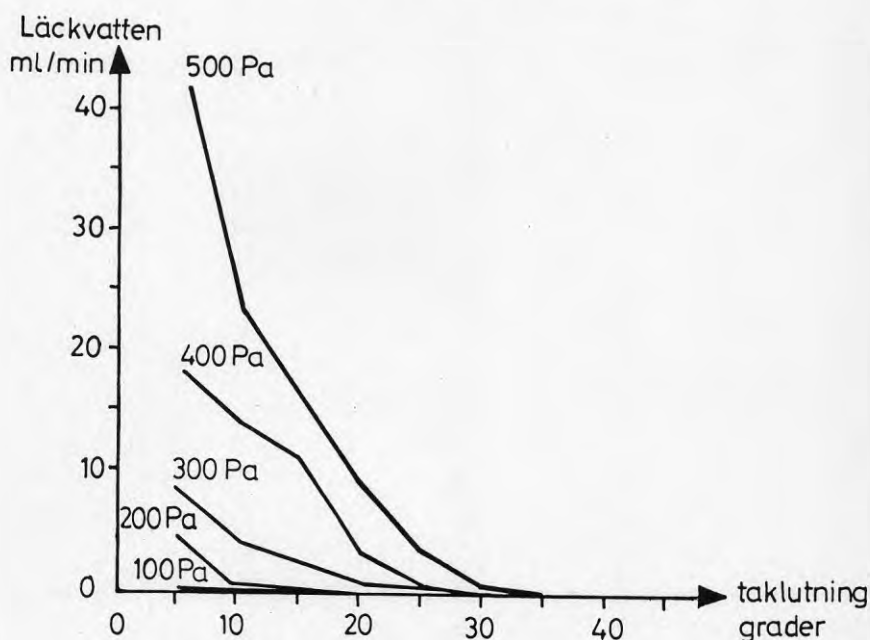
Trots att en av metoderna har antagits som Nordtest-metod är inte provningen helt invändningsfri. Med hänsyn till den stora spridning i resultaten som fås torde hittills alltför få prov ha gjorts för att en tillförlitlig tolkningsmall skall kunna skapas. Taklutningen kan varieras vid provningen. Takfallets längd kan simuleras genom att vattenmängden ökas. För att simulera området nära takfot kan man låta vattnet rinna i profilbottnarna.

Industrin har som uppdragsprovning låtit prova ett antal skilda takprofiler men många frågeställningar kvarstår.

I fig.6.4 visas exempel på en täthetsprovning utförd på "en i marknaden förekommande" profil.

Plåtens uppläggning och spännvidder påverkar tätheten genom att plåten böjer ner mer eller mindre och därigenom förorsakar glipor i sid- och  nd verlapp. Denna effekt  r svår att simulera vid provning i liten skala.

Temperaturrelser är svåra att simulera vid laboratorieprovningar. Rörelserna är förutom av material och temperaturvariationer beroende av bl a infästningssätt och underlag. Inverkan av felmontage och av bristande montagenoggrannhet kan simuleras genom att olika "standardfel" utförs vid montage av exempelvis änd- och sidöverlapp. För plåt med tätningssmassa/band är inverkan av felmontage speciellt viktigt. Att simulera inverkan av regn, vind och snösmältning torde vara den del som är svårast att lösa på ett inte alltför resurskrävande sätt. Att skapa en provningsmetod som återger verkligheten har man ännu inte helt lyckats med.



Figur 6.4 Resultat av täthetsprovning hos "en i marknaden förekommande" profil.

#### 6.4 Fuktkonvektion - tryckdifferenser

För att fuktkonvektion (transport av luftfuktighet genom luftströmning) skall uppträda måste det vara skillnad i lufttryck mellan takets in- och utsida. I normalfallet uppträder alltid en sådan tryckskillnad i större eller mindre utsträckning. Några av de faktorer som kan skapa tryckskillnader är

- temperaturdifferens
- vindbelastning
- fläktsystemet

### 6.4.1 Temperaturdifferenser

Tryckskillnaderna orsakas av att luftens densitet varierar med temperaturen. Denna densitetsskillnad ger upphov till luftströmning, s k skorstensverkan. Tryckskillnadens storlek beror bl a av temperaturförhållanden, byggnadens täthet och bygghöjden. I fig.6.5 visas hur tryckfördelningen kan vara vid olika öppningsförhållanden. Störst övertryck under taket (och därmed störst konvektion) får man med stora öppningar i byggnadens nederdel. För normala temperaturer kan tryckskillnaden skrivas

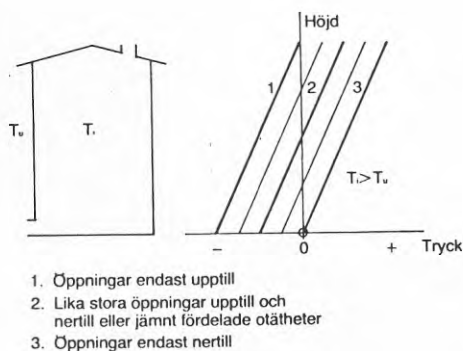
$$\Delta p = 0,043 \cdot \Delta T \cdot h \quad (6.2)$$

där

$\Delta p$  = tryckskillnaden (Pa)

$\Delta T$  = temperaturskillnaden ( $^{\circ}\text{C}$ )

$h$  = höjd från tak till "nollnivån" (m)



Figur 6.5 Tryckskillnader i byggnad, orsakade av skillnad i temperatur mellan inne- och uteluft [19].

### 6.4.2 Vindbelastning

Vid kombination av regn och vind är storleken av vindtrycket mot den yttre plåten av intresse, se kap.6.1.4. Avgörande för konvektionen genom taket är i stället det undertryck som skapas ovan taket i kombination med ett eventuellt övertryck inne i lokalen.

Vintrycket mot en yta kan beräknas ur sambandet

$$p = c \cdot \frac{v^2}{1,6} \quad (6.1)$$

Storleken på formfaktorn  $c$  varierar med en mängd parametrar, bl a byggnadens form, vindriktning, läge på taket och taklutning. Enligt SBN 80 kan, för en byggnad med bredden större än dubbla höjden, värdet på formfaktorn för yttre undertryck väljas till  $c_u = 0,5$ .

För undertrycket inne i byggnad kan formfaktorn  $c_i = 0,3$  väljas. Ekvation (6.1) ger då en uppskattning av den tryckskillnad över taket som förorsakas av vindbelastning.

$$\Delta p = (0,5-0,3) \frac{v^2}{1,6} = 0,2 \cdot \frac{v^2}{1,6} \quad | \text{inre övertryck} | \quad (6.3)$$

Vilken vindhastighet bör användas vid beräkning av  $\Delta p$ ? Eftersom konvektionen måste pågå under lång tid för att några mer omfattande fuktmängder skall transporteras bör man använda ett medelvärde av vindhastigheten under en viss tidsperiod (i motsats till vad som var fallet vid kombinationen av regn och vind). Vindhastighetsfrekvenser finns redovisade av Taesler [35] för ett stort antal platser i landet. Medelvärdet av vindhastigheten blir olika om den beräknas som

$$v_{\text{med}} = (\Sigma v)/n \quad (6.4)$$

eller som

$$v_{\text{med}} = \sqrt{(\Sigma v^2)/n} \quad (6.5)$$

Skillnaden är emellertid inte så stor. För Göteborg blir hastigheten 4,5 resp 5,7 m/sek. Medianvärdet är 3,9 m/sek. Vid tryckberäkning bör man dock använda högre värden, förslagsvis 6-8 m/s. Med  $v = 8$  m/sek fås

$$\Delta p = 0,2 \cdot \frac{8^2}{1,6} = 8 \text{ Pa}$$

### 6.4.3 Fläktar

En allmän grundregel är att man bör försöka använda undertrycksventilation i lokalen d v s frånluftsfläktarna och tilluftsfläktarna bör regleras så att man inte får övertryck i lokalen. En s k balanserad ventilation är i det märmaste omöjlig att i praktiken uppnå. Om man vill försöka använda fläktsystemet till att motverka luftrörelser av skorstensverkan måste hänsyn tas till utetemperaturen. Ju lägre utetemperatur desto större skillnad krävs mellan ut- och inblåsta luftvolymmer.

### 6.4.4 Kondens - avkyld plåt

Regn kan förorsaka läckage - men dropp invändigt behöver inte nödvändigtvis innebära att taket läcker. Det kan i stället i mycket speciella fall vara fråga om fukt som kondenserat på ytterplåtens undersida och därefter droppar ner i lokalen.

I en konstruktion där ytterplåten är luftad, d v s man har fri luftpassage mellan ytterplåt och isolering, får man ibland kondens. Förutsättningen för att kondens skall uppträda är att plåten är kallare än den omgivande luften. Detta är fallet bl a när det ligger smältande snö på taket. Luftningens omfattning beror i första hand på vindhastighet och på utförandet vid takfot ochnock. Kondens kan även uppstå vid väderomslag från kallare till varmare (och fuktigare) luft. Det är dock mycket små fuktmängder som det rör sig om.

### 6.4.5 Kondens - fukt inifrån

Det är inte bara fukt utifrån som eventuellt kan ge upphov till läckliknande dropp. Om fuktig varm inneluft strömmar genom taket kan fukt kondensera i den yttre delen av isoleringen och mot den kalla plåten. En luftström genom taket måste förhindras genom att man har en fullständig luftspärr (plastfolie) på den varma sidan. Normalt placeras plastfolien under isoleringen men den kan även med fördel placeras inne i isoleringen, dock inte så långt ut att man riskerar att diffunderande fukt kondenserar under plastfolien. I vissa fall kan även luftspärren placeras ovanpå isoleringen, jfr papptäckta utvändigt isolerade plåttak. Plastfoliens huvudsakligaste uppgift är att förhindra luftströmning medan fuktdiffusionen vanligtvis kan minskas till acceptabel nivå av den bärande plåten.

Besvärande inverkan av kondens kan man delvis komma tillrätta med genom att påföra en kondensbindande beläggning på ytterplåtens undersida. De



olika plåtfabrikanterna marknadsför skilda beläggningstyper.

Vid "självdraagsventilation" och punkterad eller utelämnad plastfolie kan under ogynnsamma omständigheter betydande fuktmängder transporteras genom taket. "Normala" otätheter i folien förekommer exempelvis vid rörgenomföringar, takfönster, brandventilationsluckor och i folieskarvarna.

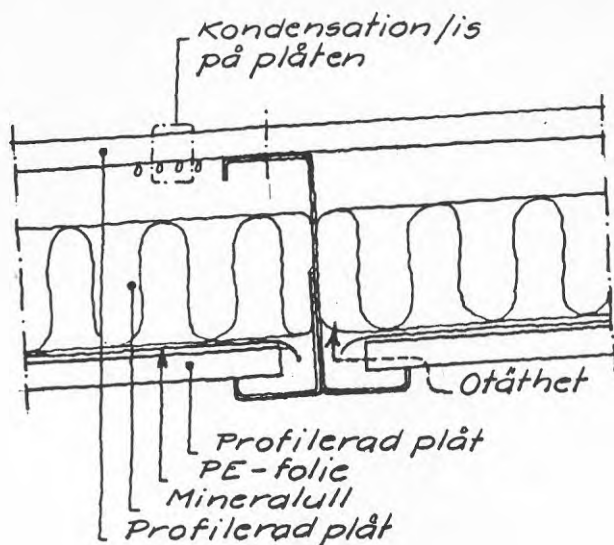
Om mekanisk ventilation finns i lokalen är det av största vikt att den inte skapar något övertryck i lokalen. Ett övertryck, som man ofta har uppe vid taket, leder till att luft trycks in i takkonstruktionen. Även en sk balanserad ventilation medför många gånger att ett oönskat övertryck skapas.

Man bör vara speciellt uppmärksam på dessa problem när man torkar ut byggfukten eller om verksamheten i lokalen är speciellt fuktalstrande.

Det finns emellertid få kända fall med fuktproblem i dubbla plåttak där problemet orsakats av att stora mängder inifrån kommande fuktig luft förorsakat kondensation på ytterplåten eller i isoleringen. Den fukt som på så sätt transporterats in i taket kommer vid töväder att upplevas som att "taket läcker".

I fig.6.6 visas en speciell konstruktion [21], där inneluft relativt obehindrat kunnat tränga in i taket och förorsaka fuktproblem. Man bör dock observera de mycket stora otätheter som finns i det undre skiktet samt den stora "utluftningskanalen" mellan isolering och ytterplåt. Kanske hade problemets omfattning kunnat reduceras om ytterplåten legat i direkt anslutning till isoleringen. Taket har åtgärdats genom en utvändigt tilläggsisolering.

Det förekommer även något fall där bristfälligheter i anslutningen mellan vägg och tak lett till att genomströmmande varm inneluft smält snön. Under natten har sedan smältvatten frusit och isvallar har succesivt kunnat byggas upp.



Figur 6.6 Exempel på fuktkonvektion p g a otätheter bl a mellan inner-takets ångspärr och bärande lättbalkar [21].

#### 6.4.6 Kondens - lokal nedkylning

Alla nerkylda områden i taket kan i ogynnsamma fall ge upphov till kondens på innerplåtens insida. Anledningen till nedkylningen kan exempelvis vara kraftiga köldbryggor eller inläckande kall uteluft. Även den minskning av isolertjockleken som görs under avvattningsrännorna kan medföra en så stor sänkning av plåttemperaturen att kondens kan uppstå. Vidare kan de invändiga rör, som ingår i avvattningssystemet, kylas ner så mycket vid ihållande regnväder att kondens uppstår.

I vanliga fall med normal luftfuktighet inne i lokalen kommer emellertid de i denna avdelning angivna "svaga punkterna" inte att innebära några problem.

#### 6.4.7 Läckande varmluft

I detta sammanhang kan även nämnas de problem som kan förorsakas av utströmmande varmluft. Om varm inneluft vintertid strömmar genom taket smälter snön lokalt. Smältvattnet rinner till lägre liggande takpartier där det fryser till is. Under en längre tidsperiod kan höga isvallar bildas som vid snösmältningen förhindrar smältvattnet att rinna bort.

## 6.5 Något om takets fuktfunktioner vid olika väderlekstyper

### 6.5.1 Regn

Regnvatten avleds normalt utan några större svårigheter om inte regnet uppträder tillsammans med kraftig vind. Kombinationen regn + vind (slagregn) kan skapa problem genom att regnvatten blåser in genom ventilationsöppningar, exempelvis vid nock och vid takfot. Vinden kan vidare ge tryck mot plåten och genom detta tryck kan vatten pressas in genom ändöverlapp eller sidöverlapp.



Figur 6.7 Två olika utförande av sidöverlapp. Utformningen till vänster löper större risk att vara otät genom att vattnet lättare kan tränga in mellan plåtarna.

Vind i kombination med kallt regn kan även ge upphov till problem med kondens under ytterplåten. Ett kallt regn kyler ner plåten samtidigt som den, i förhållande till regnvattnets temperatur, varma luften får fukttillskott. Den samtidigt som regnet verkande vinden orsakar en ökad luftström under ytterplåten. Därigenom transporteras varm fuktig luft in i taket och fukt kan kondensera mot ytterplåten.

Det krävs inte speciellt stora temperaturskillnader mellan luft och plåt för att kondensbildningen skall börja. Om lufttemperaturen förutsätts till  $15^{\circ}\text{C}$  och relativa luftfuktigheten 90% börjar kondens vid plåttemperaturen  $13,3^{\circ}\text{C}$ .

De möjliga fuktmängderna är emellertid små, vilket även följande exempel visar. Förutsättningarna är

Lufttemperatur	= $15^{\circ}\text{C}$ , rel luftfuktighet 90%
Plåttemperatur	= $10^{\circ}\text{C}$
Luftspaltens medelhöjd	= 0,05 m
Lufthastighet i taket	= 0,3 m/sek

Under 1 timma passerar  $54\text{ m}^3$  luft per breddmeter tak. Den kondenserbara mängden fukt är  $11,54 - 9,40 = 2,14\text{ g/m}^3$ . Totalt kan alltså under 1 timma

$54 \cdot 2,14 = 115$  gram fukt kondensera per breddmeter tak. Detta motsvarar  $11,59 \text{ g/m}^2$  om takfallets längd är 10 meter. Fuktmängder av denna storleksordning kommer att upptas av mineralullen. Mängden fukt är alltså inte speciellt stor och det torde kräva mycket speciella omständigheter för att denna fuktmängd skall orsaka problem.

### 6.5.2 Snö

Kondens på ytterplåtens undersida kan uppstå även i snösmältningstider. När snön smälter kommer temperaturen på ytterplåten att vara  $0^\circ\text{C}$  medan lufttemperaturen är mycket högre. Den luft som ventileras in under plåten kommer att avge sin fukt mot ytterplåten. I detta fall kan avsevärda mängder fukt kondensera. Kondensmängden påverkas förutom av temperatur och luftfuktighet bl a av snösmältningens periodens längd och av den genomströmmande luftmängden.

Denna typ av kondens kan ibland kanske förväxlas med läckvatten genom att kondensmängderna blir så stora att de inte kan absorberas av isoleringen. Man tar eventuellt kondensdropp för rent takläckage från den smältande snön.

### 6.5.3 Klara nätter

Under stjärnklara nätter kan plåten avkylas betydligt och man kan få en plåttemperatur som är  $5-10^\circ\text{C}$  lägre än den omgivande luftens temperatur. Denna temperaturskillnad kan medföra att kondens bildas på plåten - både på ovan- och undersidan. Kondensmängderna på plåtens undersida är emellertid i allmänhet försumbara. Genom att vindhastigheten under stjärnklara nätter är låg kommer luftomsättningen under plåten att vara låg. Därigenom tillförs taket endast en mycket begränsad mängd fukt.

## 6.6 Fuktmängder

Vi skall nedan undersöka hur stora fuktmängder som kan anrikas i taket vid olika takutformningar och skilda yttre betingelser. Beräkningar genomföres för ett antal "typfall" för att man skall få en grov uppfattning om storleksordningen på fuktmängderna.

Fukttransport i ett material sker bl a genom diffusion och genom konvektion (luftströmning). I en normal konstruktion med vissa "delvis täta skikt" kommer vanligtvis fuktmängden transporterad genom konvektionen att vida överskrida den mängd som transporterats genom diffusion.

Nedan redovisas ett antal exempel som behandlar olika typer av fukttransport. Exempelen är mycket förenklade så tillvida att de förutsätter stationära förhållanden, något som sällan är för handen i verkliga konstruktioner.

I tabell 6.1, hämtad ur Fukthandboken [19], redovisas mätnadsånghalten för luft i temperaturintervallet  $-20^{\circ}\text{C}$  till  $+25^{\circ}\text{C}$ . Även många av de numeriska data som använts i exemplen har hämtats ur Fukthandboken [19].

Tabell 6.1 Mättnadsånghalt för luft ( $\text{g}/\text{m}^3$ ), tabellen ger värden för var tiondels grad inom temperaturintervallet  $-20 \leq T \leq 25$  [19].

Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
-20	0,87									
-19	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89
-18	1,05	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	0,99	0,98	0,98	0,97
-17	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06
-16	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18	1,17
-15	1,38	1,37	1,36	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28
-14	1,51	1,49	1,48	1,47	1,46	1,45	1,43	1,42	1,40	1,39
-13	1,65	1,63	1,62	1,61	1,59	1,58	1,56	1,54	1,53	1,52
-12	1,80	1,78	1,77	1,75	1,74	1,71	1,70	1,69	1,67	1,66
-11	1,96	1,94	1,93	1,90	1,89	1,87	1,86	1,84	1,83	1,81
-10	2,14	2,12	2,09	2,07	2,06	2,04	2,02	2,01	1,99	1,98
-9	2,31	2,30	2,28	2,26	2,24	2,22	2,21	2,19	2,17	2,15
-8	2,52	2,50	2,48	2,46	2,44	2,42	2,40	2,38	2,36	2,34
-7	2,74	2,72	2,70	2,68	2,66	2,63	2,61	2,59	2,57	2,54
-6	2,98	2,96	2,93	2,91	2,89	2,86	2,84	2,82	2,79	2,76
-5	3,24	3,21	3,19	3,16	3,14	3,10	3,08	3,05	3,03	3,00
-4	3,52	3,49	3,46	3,42	3,40	3,37	3,34	3,32	3,29	3,26
-3	3,81	3,78	3,75	3,72	3,69	3,66	3,63	3,60	3,57	3,54
-2	4,13	4,10	4,06	4,03	4,00	3,97	3,94	3,91	3,88	3,84
-1	4,48	4,44	4,41	4,36	4,33	4,29	4,26	4,23	4,19	4,16
0	4,84	4,80	4,76	4,73	4,69	4,66	4,62	4,58	4,55	4,51
0	4,84	4,87	4,91	4,94	4,97	5,01	5,04	5,08	5,11	5,15
1	5,19	5,22	5,26	5,29	5,33	5,37	5,40	5,44	5,48	5,52
2	5,55	5,59	5,63	5,67	5,71	5,75	5,78	5,82	5,86	5,90
3	5,94	5,98	6,02	6,07	6,11	6,15	6,19	6,23	6,27	6,32
4	6,36	6,40	6,45	6,48	6,52	6,57	6,61	6,66	6,70	6,75
5	6,79	6,84	6,88	6,93	6,98	7,02	7,07	7,12	7,16	7,20
6	7,25	7,30	7,35	7,40	7,45	7,50	7,55	7,60	7,64	7,69
7	7,74	7,78	7,85	7,90	7,95	8,00	8,06	8,10	8,16	8,21
8	8,26	8,32	8,37	8,43	8,48	8,53	8,59	8,65	8,70	8,76
9	8,81	8,87	8,93	8,99	9,04	9,09	9,15	9,21	9,28	9,34
10	9,40	9,45	9,51	9,57	9,64	9,69	9,75	9,82	9,88	9,95
11	10,00	10,07	10,14	10,20	10,26	10,33	10,39	10,46	10,52	10,59
12	10,66	10,72	10,79	10,86	10,93	10,99	11,06	11,13	11,19	11,27
13	11,34	11,40	11,48	11,55	11,62	11,69	11,77	11,84	11,91	11,99
14	12,06	12,13	12,20	12,28	12,36	12,43	12,51	12,59	12,66	12,75
15	12,82	12,90	12,97	13,06	13,14	13,21	13,30	13,37	13,46	13,54
16	13,62	13,70	13,79	13,87	13,96	14,04	14,13	14,21	14,30	14,38
17	14,47	14,55	14,64	14,73	14,82	14,91	14,99	15,09	15,17	15,27
18	15,36	15,44	15,54	15,63	15,73	15,82	15,91	16,01	16,10	16,19
19	16,30	16,39	16,48	16,59	16,68	16,78	16,88	16,98	17,08	17,18
20	17,28	17,38	17,48	17,58	17,69	17,79	17,90	18,00	18,10	18,22
21	18,32	18,42	18,52	18,63	18,74	18,86	18,97	19,08	19,19	19,30
22	19,41	19,52	19,63	19,74	19,85	19,97	20,08	20,20	20,32	20,44
23	20,56	20,69	20,80	20,92	21,04	21,15	21,27	21,39	21,51	21,63
24	21,76	21,89	22,00	22,13	22,26	22,38	22,51	22,64	22,77	22,90
25	23,03	23,15	23,28	23,41	23,54	23,66	23,80	23,94	24,08	24,21

Exempel 1

Bestäm hur mycket fukt som på ett dygn diffunderar genom en 20 cm tjock mineralullsskiva under förutsättning att temperaturen är +20 °C inomhus och 0 °C utomhus. Vidare antas den relativa luftfuktigheten vara 50 % inne och 80 % utomhus. För mineralullen gäller

$$\text{värmeledningsförmåga } \lambda = 0,040$$

$$\text{ånggenomsläpplighet } \delta = 24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Fukthalterna inne och ute är

$$v_i = 0,50 \cdot 17,28 = 7,87 \text{ g/m}^3$$

$$v_u = 0,80 \cdot 4,84 = 3,87 \text{ g/m}^3$$

Ånggenomgångsmotståndet  $Z = d/\delta$  blir

$$Z = 0,2/24 \cdot 10^{-6} = 8333 \text{ s/m}$$

Den mängd fukt som transporteras genom diffusion kan skrivas

$$g = \frac{v_i - v_u}{Z} = \frac{7,87 - 3,87}{8333} = 4,75 \cdot 10^{-4} \text{ g/m}^2\text{s}$$

Under 1 dygn transporteras

$$g = 4,75 \cdot 10^{-4} \cdot 3600 \cdot 24 = 41 \text{ g/m}^2$$

Finns det risk för att någon av den diffunderande fuktmängden skall kondensera i mineralullen? För att få svar på denna fråga måste man beräkna temperaturfördelningen och därefter mätnadsånghalten.

Med de i exemplet givna förutsättningarna kommer inte kondens att uppträda någonstans i skiktet.

Exempel 2

Vi har ett tak med smältande snö på ytterplåten, d v s ytterplåtens temperatur förutsätts vara  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Taket har monterats med så stora felaktigheter i plastfoliens anslutningsplåtar att i det närmaste obegränsad mängd inneluft förutsätts kunna passera genom taket. Inneluftens temperatur antas vara  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  och den relativa luftfuktigheten 50 %. Hur stora är kondensmängderna under 1 dygn? Vid beräkningen kan kondensvärmets försummas. Likaså bortses från den mängd fukt som kondenserar i isoleringen. (Förutsättningen "obegränsad mängd inneluft" är orealistisk, jft exempel 3.)

Mängden fukt som kan kondensera på plåtytan kan skrivas

$$g = \beta(v_i - v_{sy}) \quad (6.6)$$

där

$$\begin{aligned} g &= \text{fuktmängden (kg/m}^2\text{s)} \\ \beta &= \text{diffusionsövergångskoefficient (m/s)} \\ v_i, v_{sy} &= \text{ånghalt i luften resp på ytan (kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Diffusionsövergångskoefficienten kan sättas till

$$\beta = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Fukthalterna blir

$$\begin{aligned} T = 20\text{ }^{\circ}\text{C} & \quad v_i = 0,5 \cdot 17,28 = 8,64 \text{ g/m}^3 \\ T = 0\text{ }^{\circ}\text{C} & \quad v_{sy} = 4,84 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

Den fuktmängd som kan kondensera på plåtytan under 1 dygn blir då

$$g = 2,4 \cdot 10^{-3} (8,64 - 4,84) \cdot 3600 \cdot 24 = 788 \text{ g/dygn}$$

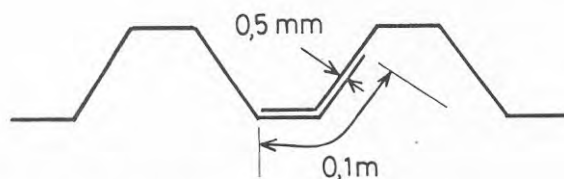
Detta motsvarar en luftmängd på  $788 / (8,64 - 4,84) = 207 \text{ m}^3$  per dygn och  $\text{m}^2$  takyta.

Kondensationspotentialen är alltså mycket hög men den luftmängd som krävs är mycket stor. I verkligheten är inte heller lufttillgången helt fri utan av olika skäl relativt begränsad.

Exempel 3

Förutsättningen i exempel 2 att obegränsad mängd inneluft passerar ytterplåten är inte realistisk. Luftmängden begränsas dels av den inre plåten och dels av plastfolien själv.

Hur stor luftmängd kan passera genom det undre plåtskiktet om tryckdifferensen över plåten antas vara 10 Pa? Lufttrycksskillnaden 10 Pa motsvarar ungefär den skillnad som uppstår mellan varm och kall luft, se ex.4. Luften förutsätts passera genom plåtarnas sidöverlapp, se fig.6.8. Plåtens täckande bredd antas vara 0,6 m, springbredden 0,5 mm och överlappets längd 100 mm. Ytterplåtens temperatur förutsätts vara 0 °C. Inneluftens temperatur antas vara 20 °C och den relativa luftfuktigheten 50 %.



Figur 6.8 Plåtskarv för beräkning av luftmängd.

Beräkningarna genomföres med hjälp av diagrammet i fig.6.9. I uttrycket  $b^2/12\eta \ell$  anger

- $b$  = springbredden (m)  
 $\ell$  = överlappets längd (m)  
 $\eta$  = viskositeten (Ns/m<sup>2</sup>)

Viskositeten för luft är

$$\eta = (17,1 + 0,049 \cdot T) \cdot 10^{-6}$$

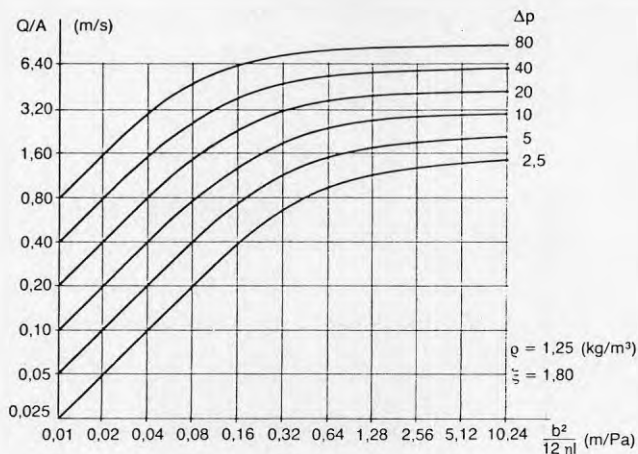
med  $T$  i °C

Med insatta värden får vi

$$\eta = (17,1 + 0,049 \cdot 20) \cdot 10^{-6} = 18,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

$$\frac{b^2}{12\eta \ell} = \frac{0,0005^2}{12 \cdot 18,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1} = 0,01$$





Figur 6.9 Samband mellan luftflöde i en springa (spalt) och springans dimensioner [19].

Ur diagrammet fås  $Q/A = 0,1$  m/s. Luftmängden per meter sidöverlapp blir

$$Q = 0,1 \cdot 1 \cdot 0,0005 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sek}$$

Angivet per dygn och  $\text{m}^2$  takyta blir luftflödet

$$Q = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 3600 \cdot 24 / 0,6 = 7,2 \text{ m}^3/\text{dygn}, \text{ m}^2$$

Den transporterade fuktmängden och som kan kondensera mot ytterplåten blir

$$g = 7,2(8,64 - 4,84) = 27,4 \text{ g/dygn}, \text{ m}^2$$

Om vi bortser från den i detta exempel angivna springvidden 0,5 mm och i stället utgår från mätningar på en verklig skarv får vi med tryckskillnaden 10 Pa uppmätt luftflöde (jfr fig.5.1)

$$Q \approx 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}, \text{ m}$$

vilket motsvarar

$$Q = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 3600 \cdot 24 / 0,6 = 28,8 \text{ m}^3/\text{dygn}, \text{ m}^2$$

Detta motsvarar en kondenserbar fuktmängd per dygn och  $\text{m}^2$  takyta

$$g = 28,8(8,64 - 4,84) = 109 \text{ g/dygn m}^2$$

Som synes fås stora skillnader mellan beräknade och uppmätta luftmängder. Skillnaden kan delvis förklaras med olika förutsättningar. Om sidöverlappets längd halveras (från 0,1 m till 0,05 m) i det första alternativet kommer den transporterade fukt mängden att fördubblas.

#### Exempel 4

På grund av att varm och kall luft har olika densitet kommer det att uppstå en tryckskillnad mellan inne- och uteluften, s k skorstensverkan. Denna tryckdifferens uppträder oberoende av både ventilationssystemet och av yttre vindlast. Under förutsättning att utetemperaturen är  $0^{\circ}\text{C}$ , innetemperaturen  $+20^{\circ}\text{C}$  (samma i hela lokalen) kommer tryckskillnaden  $p_i - p_u$  att i princip variera enligt fig.6.10.

Tryckdifferensen uppe vid taket,  $\Delta p$ , kan skrivas

$$\Delta p = h(\rho_{0^{\circ}} - \rho_{20^{\circ}}) \cdot g \quad (6.8)$$

där

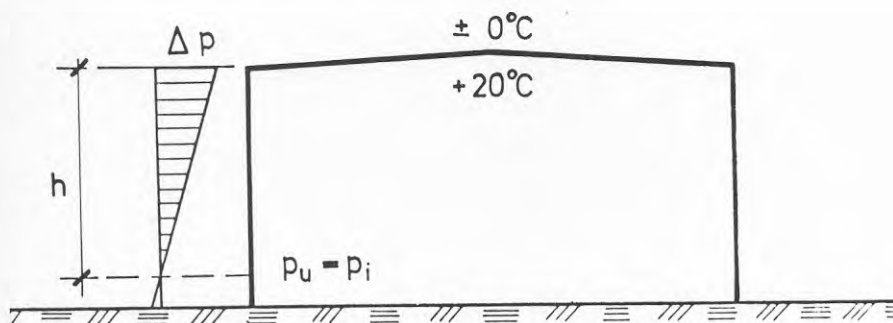
$h$  = höjden mellan tak och den nivå nära mark där de yttre och inre trycken är lika

$\rho$  = luftens densitet

$g$  = tyngdaccelerationen

Uttrycket på  $\Delta p$  blir med  $h = 10$  m och luftens densitet ur tabell 6.2

$$\Delta p = 10(1,29 - 1,20) \cdot 9,81 = 8,8 \text{ Pa.}$$



Figur 6.10 Skillnader i lufttryck p g a temperaturdifferenser.

Tabell 6.2 Luftens densitet ( $\rho$ ) [19].

Densitet $\rho$ vid olika relativ ånghalt			
$^{\circ}\text{C}$	Torr luft $\varphi = 0$	$\varphi = 50 \%$	$\varphi = 100 \%$
-20	1.3950	1.3947	1.3944
-10	1.3419	1.3413	1.3944
0	1.2928	1.2913	1.2898
+10	1.2471	1.2442	1.2413
+20	1.2045	1.1993	1.1940

Tryckdifferensen kan även skrivas

$$\Delta p = h \cdot \frac{\rho g}{T} \cdot \Delta T$$

där kvoten  $\rho g/T$  anger skillnaden i luftens tunghet vid temperaturskillnaden  $1^{\circ}\text{C}$ . För normala temperaturer kan kvoten  $\rho g/T$  sättas till 0,043. Uttrycket ovan kan då skrivas

$$\Delta p = 0,043 \cdot h \cdot \Delta T \quad (6.2)$$

Med insatta värden fås

$$\Delta p = 0,043 \cdot 10 \cdot 20 = 8,6 \text{ Pa}$$

#### Exempel 5

Isoleringen under avvattningsrännan har utförts med 30 mm mineralull. Bestäm den relativa fuktigheten hos inneluften uppe vid taket för att risk för kondens på plåtens insida skall föreligga om inneluftens temperatur är  $+22^{\circ}\text{C}$  och uteluftens temperatur just över rännan är  $-10^{\circ}\text{C}$ . Det inre resp yttre värmeövergångsmotståndet antas vara  $0,20 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$  resp  $0,05 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$ .

Det totala värmemotståndet under rännan blir

$$M = m_i + m_u + \frac{d}{\lambda} = 0,20 + 0,05 + \frac{0,03}{0,04} = 1,0 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

Temperaturfallen i de olika skikten och den totala temperaturen beräknas i tabellen nedan.

Tabell 6.3 Beräkning av temperaturfördelning i taket under rännan.

Skikt	m (m <sup>2</sup> C/W)	Δt (°C)	t (°C)
Uteluft	0,05	1,6	-10
Mineralull	0,75	24	- 8,4
Inneluft	0,20	6,4	+15,6
			+22

Temperaturen på plåtens insida blir alltså +15,6 °C. Luftens mättnadsånghalt vid +15,6 °C är 13,30 g/m<sup>3</sup> och vid +22 °C är den 19,41 g/m<sup>3</sup>. Om inneluften innehåller mer fuktighet än 13,3 g/m<sup>3</sup> börjar kondens att uppträda på plåtens insida om inneluftens relativa luftfuktighet är

$$\varphi = \frac{13,30}{19,41} \cdot 100 = 68 \%$$

Den relativa luftfuktigheten måste alltså vara stor för att kondens skall inträffa under de givna förutsättningarna. Om utetemperaturen i stället är -20 °C kommer plåttemperaturen att bli +13,6 °C. Den relativa luftfuktigheten vid begynnande kondensrisk blir 61 %, d v s fortfarande ett högt värde.

#### Exempel 6

Under våren (eller hösten) uppträder ett ihållande regnväder med regnvattentemperaturen 2-3 °C. Lufttemperaturen inomhus är +20 °C. Vid vilken relativ luftfuktighet hos inneluften finns risk för kondens på de invändiga rör som ingår i avvattningsystemet om regnvattnet antas kyla ner rören till +5 °C.

Luftens mättnadsånghalter är 6,79 g/m<sup>3</sup> vid temperaturen 5 °C och 17,28 g/m<sup>3</sup> vid temperaturen 20 °C.

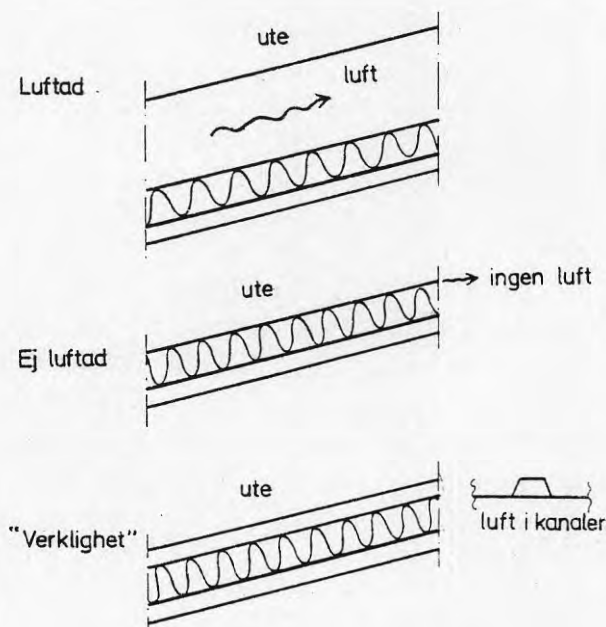
Den relativa ånghalten vid risk för kondens blir

$$\varphi = \frac{6,79}{17,28} \cdot 100 = 39 \%$$

Detta värde är inte speciellt högt varför det mycket väl kan inträffa att man får kondensutfällning på avvattningsrören vid kalla regn.

### 6.7 Olika konstruktionsfilosofier

På den svenska marknaden finns i dag tak med skilda konstruktionsprinciper. Man skiljer mellan konstruktioner med ventilerad ytterplåt och konstruktioner med icke ventilerad ytterplåt. De olika principerna kan sägas följa skilda konstruktionsfilosofier, "safe failure" resp "fail safe". I det förra fallet vill man försöka ventileras bort den fukt som till äventyrs tränger in i taket medan i det senare fallet söker man försvåra för fukten att tränga in. "Verklighetens" tak är mer eller mindre luftade, se fig.6.9.



Figur 6.11 Olika konstruktionsprinciper.

De luftade resp icke luftade taken har alla både för- och nackdelar.

#### Luftad konstruktion

Fördelen med den luftade konstruktionen är att fukt som byggs in, eller på annat sätt trängt in i konstruktionen, har möjlighet att vädras bort.

Vid vissa väderlekstyper är risken emellertid stor att vädringsluften i stället medför en ökad uppfuktning av taket. Så kan exempelvis vara fallet med smältande snö på taket och fuktig uteluft som tränger in under ytterplåten. Vidare kan man riskera kondens vid klara nätter när

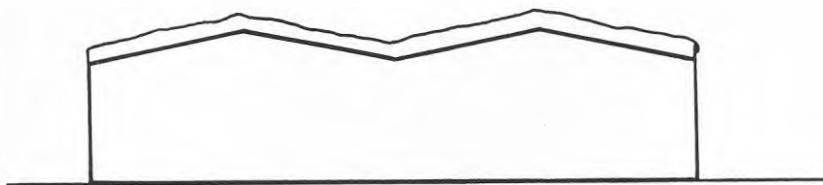
plåten kyld ner till temperaturer som är betydligt lägre än den omgivande luftens temperatur. Vid dessa tillfällen råder vanligtvis vindstilla varför luftomsättningen blir liten och fuktmängden också liten.

#### Ej luftad konstruktion

Fördelen är att fukt inte kan följa med "vädringsluft" in i konstruktionen. Riskerna för fukt utifrån minskar. Det är även lättare att utföra detaljer i yttäckningen så att även vattentätheten förbättras.

En nackdel med den icke luftade konstruktionen kan vara svårigheter att "vädra" bort byggfukten. Vidare kan det finnas risk för att fukt ansamlas under vissa längre perioder och inte vädras bort. I normalfallet kommer den fukt som ev samlas i isoleringen under vinterhalvåret att försvinna under sommarhalvåret. Konstruktionen kan ge högre plåttemperatur och därmed risk för avsmältning.

Som tidigare nämnts kommer den verkliga konstruktionen alltid att mer eller mindre fungera som "delvis luftad konstruktion". Även om ett tak görs i luftat utförande kommer det att under stora delar av vinterperioden fungera som ett icke luftat tak genom att snötäcket tätar luftningskanalerna. För en konstruktion med invändiga varma avlopp kommer en ev luftning att delvis gå via avvattningsystemet. I fig.6.13 och 6.14 visas exempel på hur de invändiga rännorna övertäckts med snö.

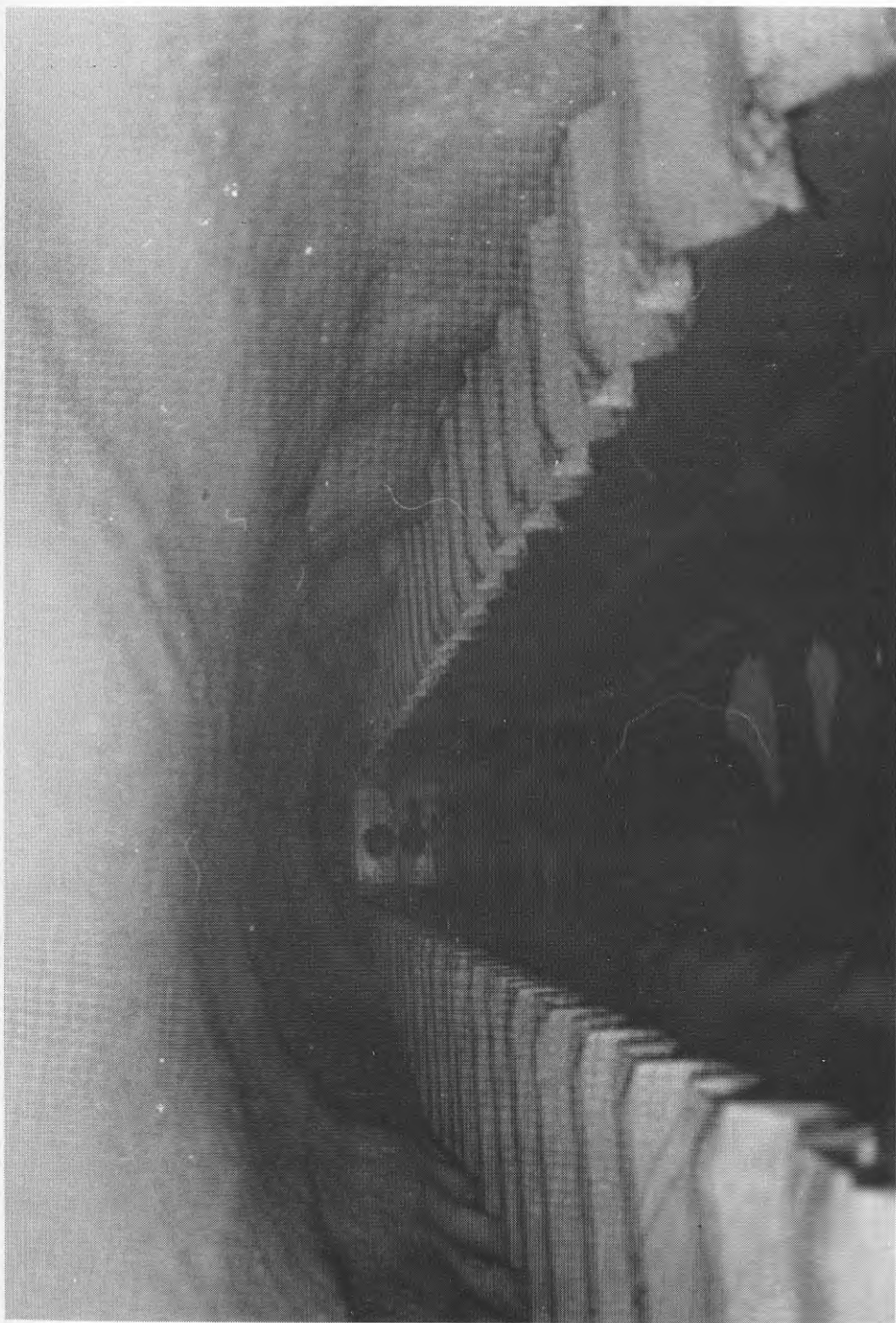


Figur 6.12 Snötäcket förhindrar luftning av ytterplåten.

#### Inbyggd fukt

Den isolering som byggs in i taket kan innehålla betydande mängder vatten - den största redovisade vattenmängden är  $1,5 - 2 \text{ kg/m}^2$  vilket motsvarar en vattenmängd på 7-9 kg per  $\text{m}^3$  isolering. Detta värde är i sig inte speciellt högt - man torde kunna hitta mycket högre värden på de tak som monteras under regniga perioder.

Mineralull kan även binda kondensvatten i viss utsträckning. När den fukt som kondenserar på ytterplåten släpper från plåten kommer merparten att sugas upp i ullen. Mineralull som "står i vatten" suger upp fukt - även om det inte går speciellt fort. Detta betyder att kondens och/eller läckvatten som finns på plastfolien kan sugas upp av mineralullen. Utförda prov visar även att avrinning från mineralull går mycket långsamt även med vertikalt stående skivor.



Figur 6.13 Smält "snötunnel" över invändig ränna.





Figur 6.14 Ränna övertäckt med snö. Snön har smält i själva rännan. |39|.

## 7. FÄLTUNDERSÖKNINGAR

### 7.1 Fuktmätningar

Alltsedan det dubbla plåttaket började hårdlanseras i mitten av 1970-talet har fukt och vattenproblem delvis funnits med i bilden. Man har gjort mätningar av temperatur i taket och av isoleringens fukthalt. Mätningar av fuktinnehållet har gjorts på i princip två skilda sätt.

Mätning av den relativa luftfuktigheten i isoleringen med elektroniska instrument.

Mätning av fuktmängden i isoleringen genom vägning. Man har tagit ut en isoleringsskiva, vägt skivan, torkat den och vägt skivan igen efter ett antal dygn.

Några av de genomförda fuktmätningarna har initierats av "takdropp" eller av andra omständigheter. Å andra sidan har en stor mängd mätningar även gjorts på tak, utan några påvisbara problem, endast för att studera hur taken fungerar från fuktsynpunkt. Man har varit intresserad av att studera hur fuktvandringen i taket sker och för att undersöka hur lång tid det tar för byggfukt att torka ut.

### 7.2 Mätningar av Plannja

De flesta mätningar som gjorts har utförts av Plannja. I |17| och |38| redovisar Kero resp Välimaa resultat från mätningar på tre olika tak, samtliga belägna i Norrbotten eller Västerbotten. Resultaten redovisas i tabellen 7.1 nedan.

Tabell 7.1 Resultat vid fuktmätningar i TOP7-tak.

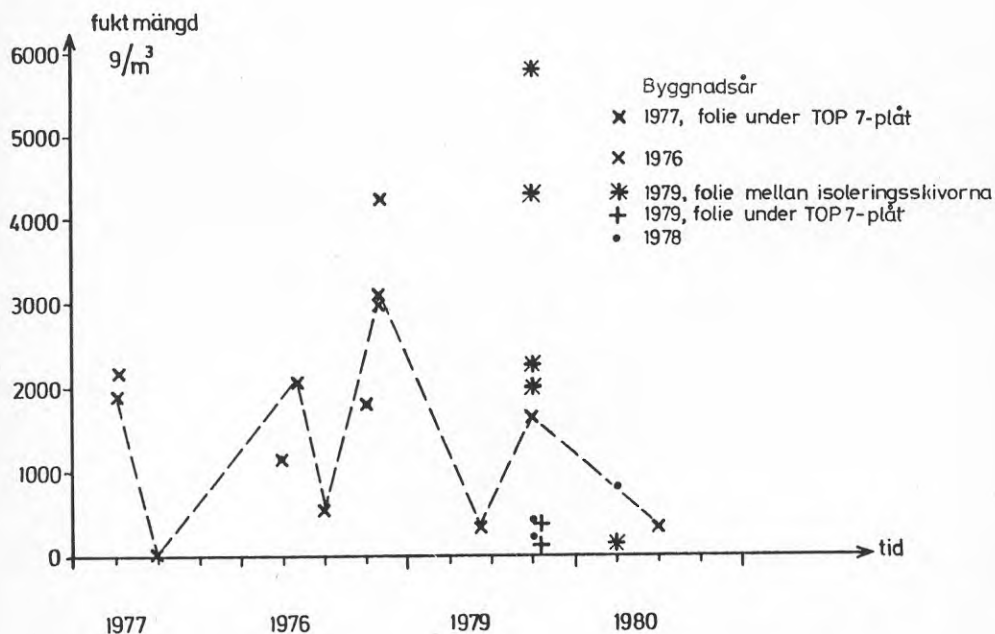
Mätningarna har gjorts genom att väga provstycken före och efter torkning.

Byggnadstyp	Byggnads- år	Isolerings- tjocklek mm	Inneluft temp °C	Luftens relativa fuktighet %	Uppmätt fuktighet i isoleringen
Industribyggnad	1976	160	20	53	300-350 g/m <sup>3</sup> över öppningar i plast- folien
Fryshus	1977	220	-5		obetydlig där plastfolien var hel Mätningarna utfördes under april 1979 3 juli 1977 och juli 1978 var taket helt torrt
Industribyggnad	1977	240		30-35	1500-2000 g/m <sup>3</sup> byggdes in i taket 600 g/m <sup>3</sup> mätning mars 1978 0 g/m <sup>3</sup> mätning sept 1978 180 g/m <sup>3</sup> vid montaget 180 g/m <sup>3</sup> mätning mars 1978 Plastfolien var monterad på utsidan av isoleringen

Plannja har vidare genomfört en större undersökning innefattande 13 olika tak. Vid undersökningarna har isoleringsmaterial tagits upp och vägts, varefter isoleringen har fått torka och ny vägning har skett. Vidare har efter borttagning av isolering plåtdetaljer som blivit synliga besiktigats okulärt för att kontrollera fuktfläckar i form av vitrost, kondens, fuktutfällningar etc. Undersökningarna har utförts vid olika tidpunkter för att ge en uppfattning om fuktvandringen i TOP 7-taken.

Fakta om taken redovisas i tabell 7.2 och resultaten av okulärbesiktningarna redovisas i tabell 7.3. Uppmätta fuktmängder redovisas i tabell 7.4 och i figur 7.1.

Undersökningsresultaten visar att genomgående har mycket små fuktmängder uppmätts. Som jämförelse kan nämnas att fuktinnehållet även uppmätts på isolering som lagrats utomhus en kort tid. Härvid kunde konstateras att fuktinnehållet i isoleringen var 3000 - 5000 g/m<sup>3</sup>, vilket motsvarar 0,3 - 0,5 volymprocent .



Figur 7.1 Uppmätt fuktmängd i isoleringen hos fyra olika TOP7-tak. Den streckade linjen har lagts in enbart för att markera samhörande mätvärden.

Tabell 7.2 Objekt som ingår i undersökningen.

	Isolering m m	Fuktmätningar 1980	Fuktmätningar 1977-79	Okulärbesiktning 1980	Byggnadsår
Industrihus, N	220	x	x	x	78/79
Verkstad, N	160	x		x	78
Fordonsverkstad, N	220	x	x	x	78
Butik, N	270	x		x	78/79
Brandstation, N	270	x		x	78
Tvätt-Fordonshall, N	270	x		x	78
Nyköping, M	160	x			75
Tvättereri, N	160	x	x		76
Ishall, M	270			x	78
Skola, No	220			x	78/79
Lager, M	220			x	77
Verkstad, lager, M	160			x	78
Tryckeri, M	270			x	78/79

N = Övre Norrland

M = Mellansverige

No= Norge

Tabell 7.3 Resultat okulärbesiktning av TOP7-tak, mars 1980.

	Antal	
	Ja	Nej
Fukt mellan TRP 200-plastfolie	0	11
Vitrost mellan TRP 200-plastfolie	0	11
Vitrost distansreglar	0	11
Kännbar fukt i isolering	0	11
Rimfrost eller kondens undersida TOP 7 *)	10	1

\*) mindre än 2 mm is.

Plannja har dessutom låtit göra mätningar av luftströmningshastigheten i kanalen mellan isoleringen och TOP-7-plåten. Mätningarna genomfördes i laboratoriet på ett monterat takprov (2,1 x 1,5 m). I tabellen nedan redovisas några av de registrerade hastigheterna. Hastigheten har registrerats både med otätade och med tätade kanaler.

Tabell 7.3. Uppmätta lufthastigheter över tak och i plåtkanaler hos TOP-7-tak. Redovisade hastigheter är medelvärden från 5 mätpunkter.

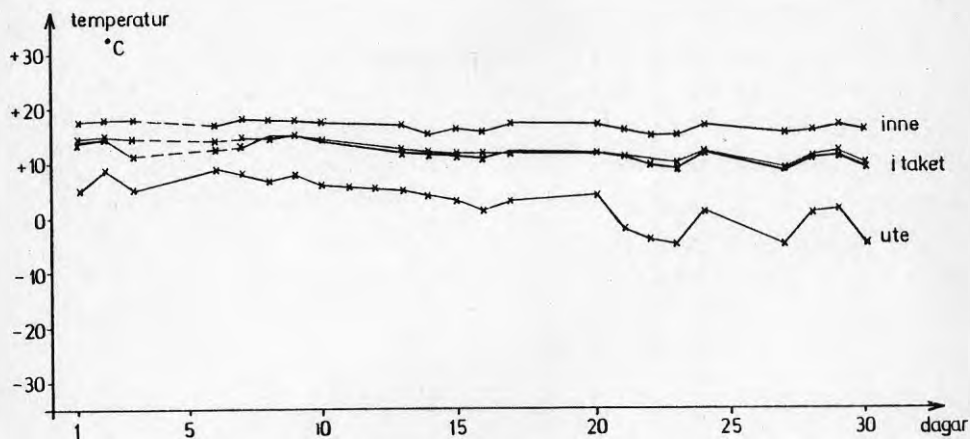
	Lufthastigheter (m/s)	
	över tak	i kanaler
Tätade kanaler	0,8	0,03
Tätade kanaler	4,8	0,07
Otätade kanaler	0,8	0,09
Otätade kanaler	4,8	0,14

Tabell 7.4 Uppmätta fuktmängder i TOP 7-Tak, mars 1980.

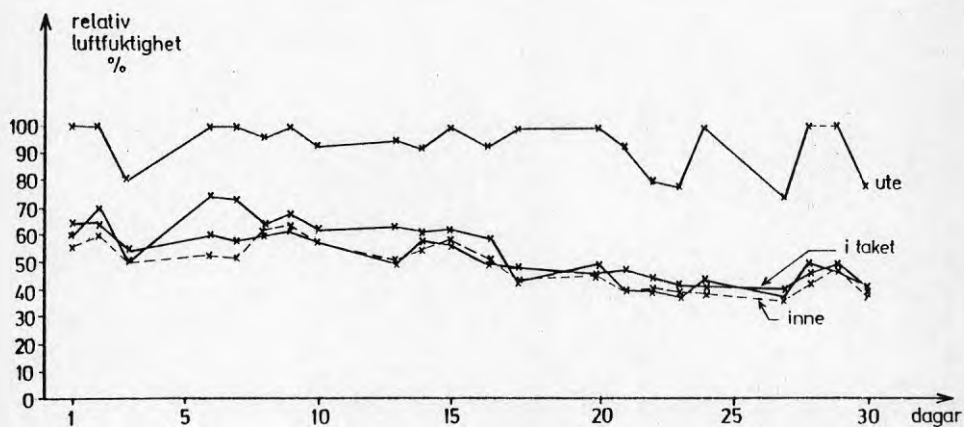
Objekt	Isolerings- tjocklek	Fukt i isolering g/m <sup>3</sup>
Industrihus	220	210
Verkstad	160	625
Fordonsverkstad	220	800
Butik	270	2655
Brandstation	270	417
Tvätt, fordonshall	270	882
Nyköping	160	381

### 7.3 Mätningar av Dobel

Dobel har mätt den relativa luftfuktigheten i ett tak byggt 1980. Man följde temperatur- och fuktighetsvariationerna under längre tid. Man hade två mätställen i taket och mätcellen var placerad ungefär mitt i isoleringen, mellan två lager. Dessutom registrerades temperatur och luftfuktighet både ute och inne. Resultaten för oktober månad 1980 visas i figur 7.2 och figur 7.3. Som framgår av figurerna är luftfuktigheten normal mitt i taket och isoleringen är helt torr.



Figur 7.2. Uppmått temperatur ute, inne och mitt i taket.



Figur 7.3. Uppmått relativ luftfuktighet ute, inne och mitt i taket.

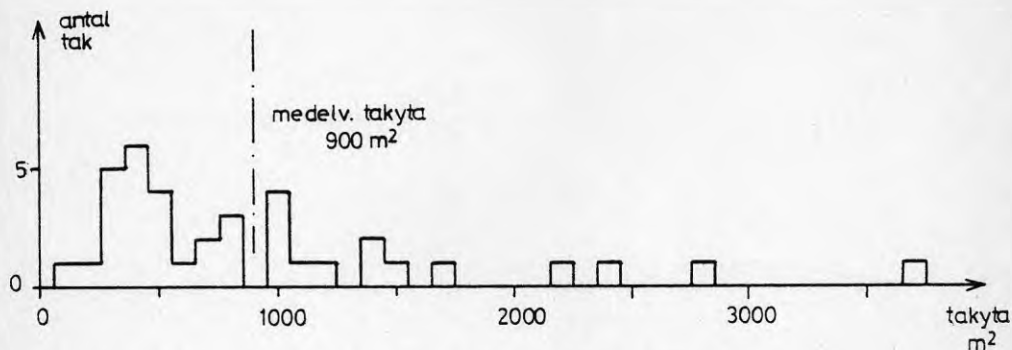
#### 7.4 Besiktningar

Under de senaste åren har dubbla plåttak studerats i fält i två olika omgångar. Totalt har 37 tak besiktigats. De besiktigade taken ligger i Syd- och Mellansverige med en koncentration till området runt Göteborg, se fig.7.4. Storleken på de besiktigade taken varierar mellan 145 m<sup>2</sup> och 3700 m<sup>2</sup>. I medeltal var takytan 900 m<sup>2</sup> medan medianvärdet var 660 m<sup>2</sup>. Storleksfördelningen visas i fig.7.5. Taken representerar tillsammans en total takyta av storleken 33.300 m<sup>2</sup>. Taklutningen hos taken varierar mellan 3,6° (1:16) och 23°, se figur 7.6. Taken har byggts under femårsperioden 1977-1982.

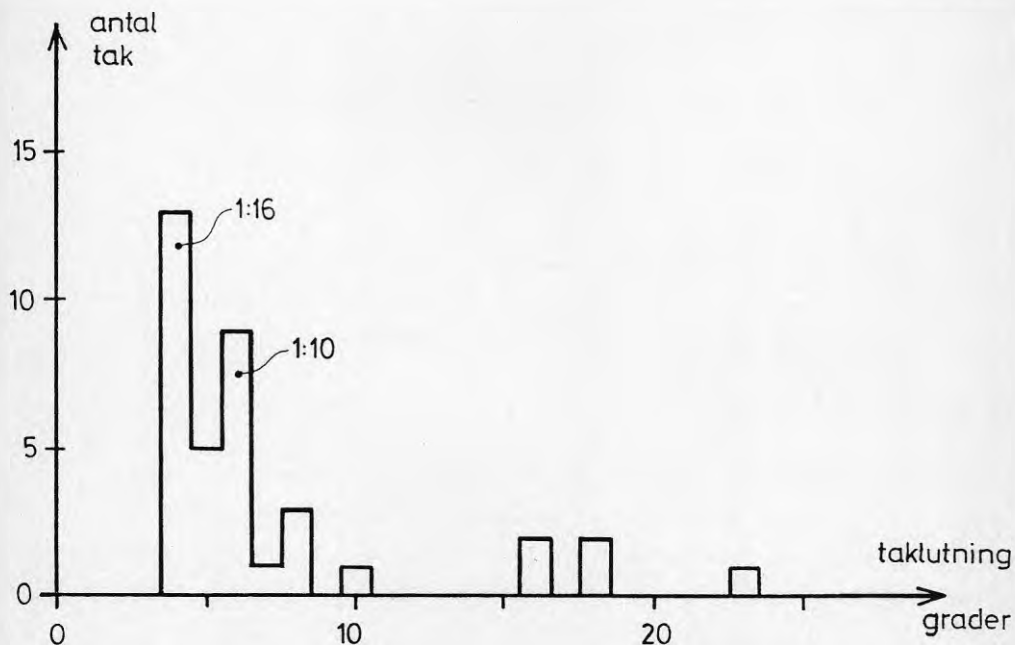


Figur 7.4. Geografiskt läge för besiktigade tak.



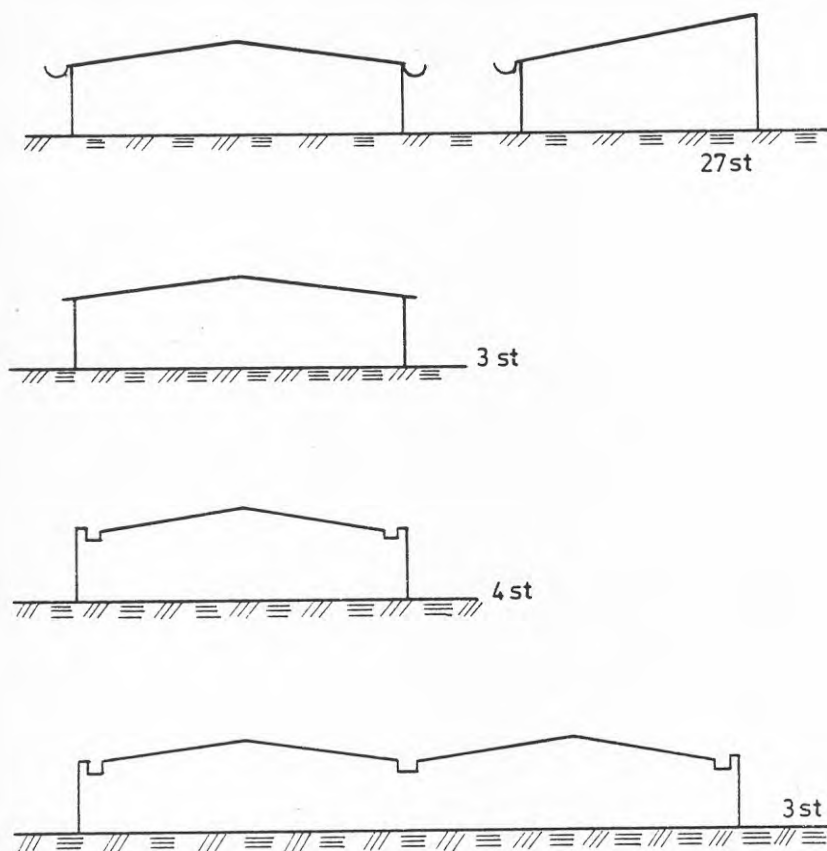


Figur 7.5. Storleksfördelning hos besiktigade tak.



Figur 7.6. Taklutning hos besiktigade tak.

Merparten av de besiktigade taken är enskeppshallar med utvändiga häng-rännor (kalla avlopp), se fig.7.7. Hallar med invändig avvattning (varma avlopp) var sparsamt förekommande - totalt fanns bland de besiktigade taken endast fyra enskepps- och tre tvåskeppshallar. I fig.7.7 visas de taktyper som förekommit samt antal tak av respektive typ.



Figur 7.7. Besiktigade taktyper samt antal tak av varje typ.

Vid besiktningarna och vid intervjuerna framkom att det inte har varit några snö eller isproblem på de besiktigade taken. Mindre än vart femte tak var försett med varma avlopp. Inom det område där de undersökta taken ligger brukar emellertid inte snö- och isförhållandena vara speciellt svåra.

Merparten av hallarna var försedda med undertrycksventilation (22 st) medan endast 5 st hade övertrycksventilation. Vidare hade 4 hallar självdragsventilation och 6 hallar hade "balanserad ventilation".

På cirka hälften av de undersökta taken har vattenläckage förekommit vid något tillfälle. Läckor har i huvudsak uppträtt vid genomföringar och vid

fästdon. Det är emellertid inte någon större skillnad i täthet mellan plåt- och papptak. De svaga punkterna är i många fall desamma, genomföringar, anslutningar etc samt arbetsutförande. Det finns inte någon tendens till att flacka tak skulle ha större läckrisk.

För att minska risken för vattenläckage i takkonstruktionen bör antalet genomföringar minimeras. Dessutom bör genomföringarna helst placeras vid taknock, för att på så sätt minimera både antalet skarvar i takplåten och det extra plåtslageriarbete som skarvarna medför. Idealet vore om man helt kunde undvika genomföringar i taket och placera dessa i byggnadens väggar, vilket man hade gjort vid några av de besiktigade taken.

De läckage som berodde på brister i takplåtens fästdon orsakades antingen av bristfällig montering, d v s man hade borrarat hål i takplåten men inte monterat fästdonet, eller av att man har slarvat vid monteringen. Exempel på fall med slarv vid monteringen är främst plåtskruv som inte dragits åt tillräckligt. Skruvarna har efter monteringen gängat ur sig i varierande grad, vilket har medfört att det bildats ett mellanrum mellan de plåtar som plåtskruvorna var avsedda att hålla ihop. På ett fåtal ställen hade dessutom plåtskruvorna skruvats snett, vilket medförde att brickan som sitter på skruven ej kunnat sluta ordentligt tätt kring hålet. För att undvika nämnda typer av skador och brister måste man vara noggrann vid montering av fästdonen. Det förekom även att fästdon har brustit (mestadels popnitar). Orsakerna härtill kan ha varit stora nedböjningar i takplåten, stora temperaturrörelser i plåten eller bristfälligt montage av fästdonet.

Mekaniska skador i form av bucklade profiltoppar förekom på de studerade taken, framför allt inom de områden på taket som ofta beträddes (t ex vid fast monterade stegar). Skadetyper är svår att undvika. Man kan placera en gång med stor bärighet från takets uppstigningsplats och en bit in på taket. Bucklade profilbottnar beroende på alltför stort avstånd mellan distansreglarna förkom också. En annan typ av inte sällan förekommande mekanisk skada, är de bucklor som har uppstått då takplåten legat i buntar. Denna typ av skada kan iakttagas som ett regelbundet mönster på taket.

Vintertid har man genomgående för de olika taken inte kunnat iakttaga någon punktvis avsmältning av det kvarliggande snötäcket. Däremot har snön smält omkring de olika genomföringarna. Av detta vågar man kanske dra den slutsatsen att de undersökta takkonstruktionerna ej uppvisar någon form av köldbryggor i själva taket.

Det allmänna intrycket av takens utförande är positivt, men även mindre väl eller olämpligt utförda plåtslageriarbeten förekommer.

## 8. FÖRMÅGA HOS MINERALULL ATT BINDA VATTEN

### 8.1 Allmänt

Om fukt i större mängder tränger in i taket under kortare perioder eller vid enstaka tillfällen kan det vara viktigt att isoleringen förmår lagra fukten och sedan åter avge den när de yttre förutsättningarna ändrats.

För att vi skall få en uppfattning om hur mycket fukt som mineralull kan binda har några försök gjorts vid CTH. Undersökningens omfattning är begränsad och den kan bara sägas vara en förstudie.

### 8.2 Provning

Provkroppar av Rockwool med storleken c:a  $0,15 \times 0,15 \times 0,1 \text{ m}^3$  ( $\gamma \approx 25 \text{ kg/m}^3$ ) blöttes mycket försiktigt genom neddoppning i en spann med kallt vattenledningsvatten. När luften hade slutat att bubbla pressades ytterligare vatten in i provet genom en mycket lätt sammanpressning av provkroppen. Härfter togs provstycket upp och fick rinna av några minuter varefter det vägdes. Vatteninnehållet var då fortfarande så stort att vågskålen blev blöt av bortgående vatten.

När vägningen var avklarad placerades proven på små träklossar för att avrinning skulle kunna ske oförhindrat. Några prov placerades stående och några placerades liggande. För att i möjligaste mån förhindra avdunstning placerades provkropparna i plastpåsar. Under den efterföljande tiden vägdes provstyckena i allmänhet två gånger dagligen. Härvid fick man vid varje vägningstillfälle en viss luftomsättning i plastpåsar. Därför gjordes för den andra provserien ett c:a 3 veckors uppehåll i vägningarna.

I ett försök, prov 3 serie A, placerades inte provet i plastpåse utan det fick torka fritt i rumsluft redan från början. Slutligen har ett försök gjorts att blöta mineralull (Rockwool) genom att placera provet (med en påhängd 385 g "vikt") flytande i en spann vatten.

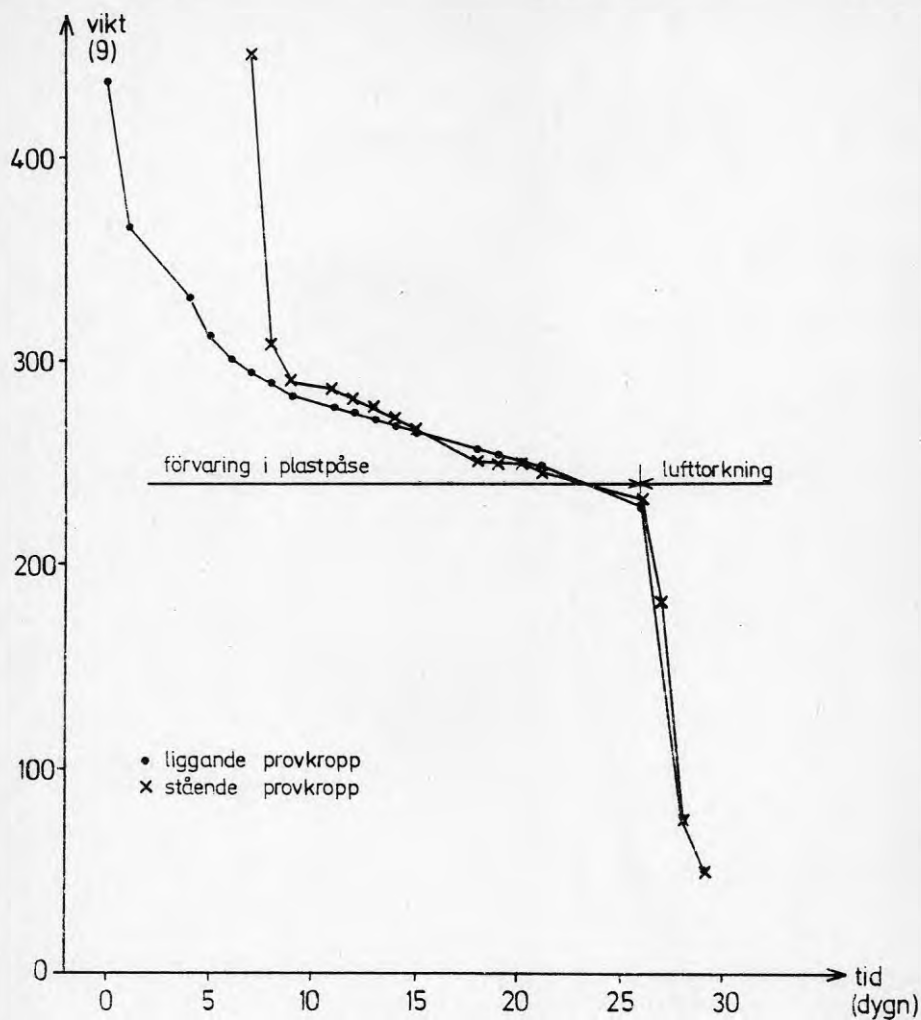
### 8.3 Resultat

Provningsresultaten redovisas i tabell 8.1 och i fig.8.1-8.5. Undersökningen visar att mineralull under lång tid kan binda och kvarhålla betydande vattenmängder. Så lång tid som en månad efter vattendränkning innehöll de vertikalt lagrade proven ca 30 kg vatten per m<sup>3</sup> ull och de horisontellt lagrade proven cirka 70 kg/m<sup>3</sup>. Bortsett från viktminskningen under de allra första 2-3 dygnen är viktminskningshastigheten ("avrinning") lika för vertikalt resp horisontellt lagrade provkroppar (ca 40 g/m<sup>3</sup> och dygn).

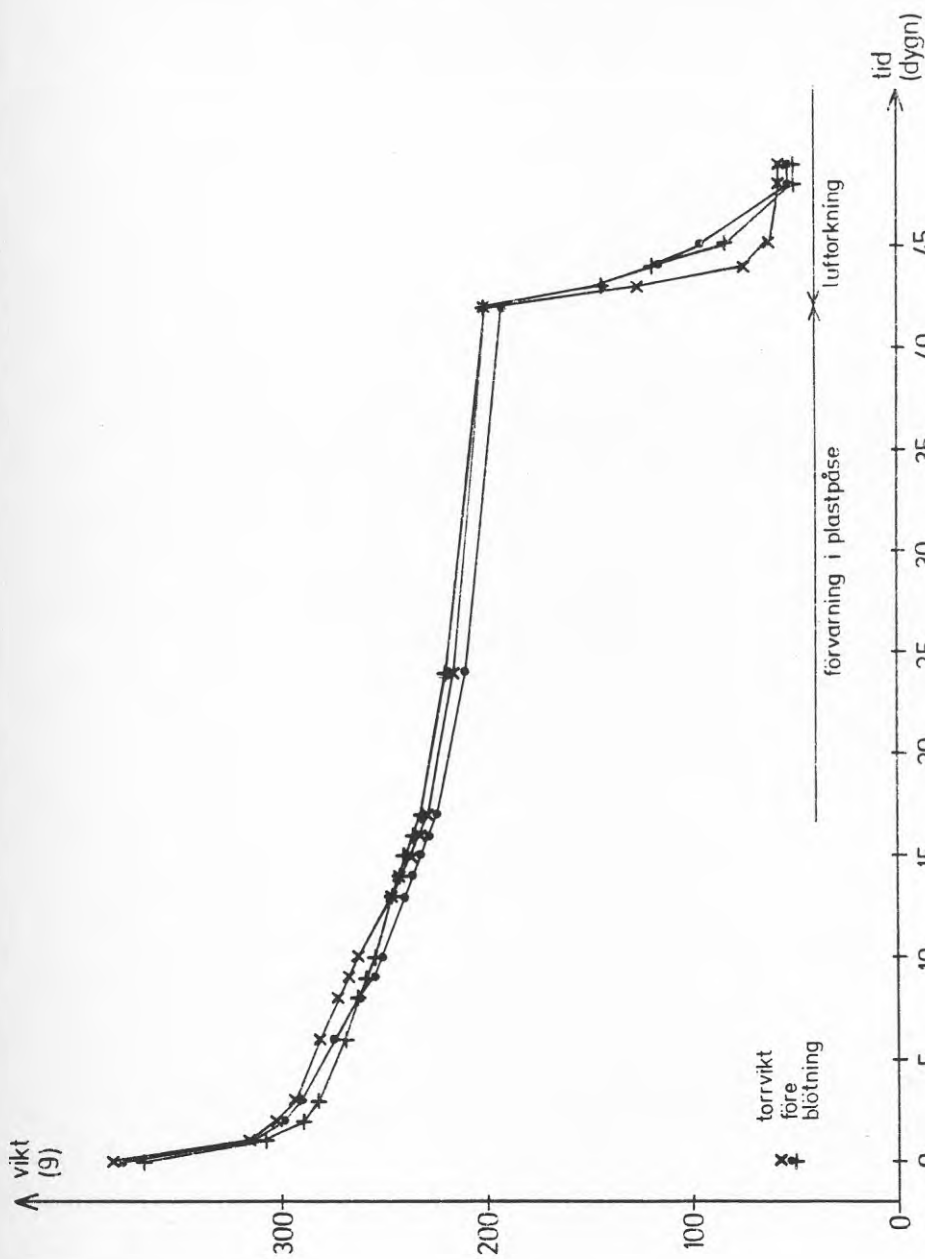
Så fort provstyckena tagits ut ur plastpåsarna och fått torka fritt, återtog proven mycket snabbt sin ursprungliga vikt. Det dröjde i allmänhet bara 2-3 dygn.

Tabell 8.1. Data för provade provkroppar.

	Torr vikt (g)	Urspr. volym m <sup>3</sup> ·10 <sup>-3</sup>	γ kg/m <sup>3</sup>	Vattendränkt vikt (g)	Provplacering vid avrinning
Provserie A					
Prov 1	57,3	2,1	27	438	Horisontellt
2	53,2	2,1	25	449	Vertikalt
3	52,5	2,1	25	606	Lufttorkning hori- sontellt
4	59,4	2,1	28	-	-
Provserie B					
Prov 1	52,2	2,10	24,9	379	Horisontellt
2	49,7	2,10	23,7	369	- " -
3	57,0	2,14	26,6	384	- " -
4	53,5	3,07	25,8	293	Vertikalt
5	52,1	2,08	25,0	234	- " -
6	58,6	2,11	27,8	383	- " -

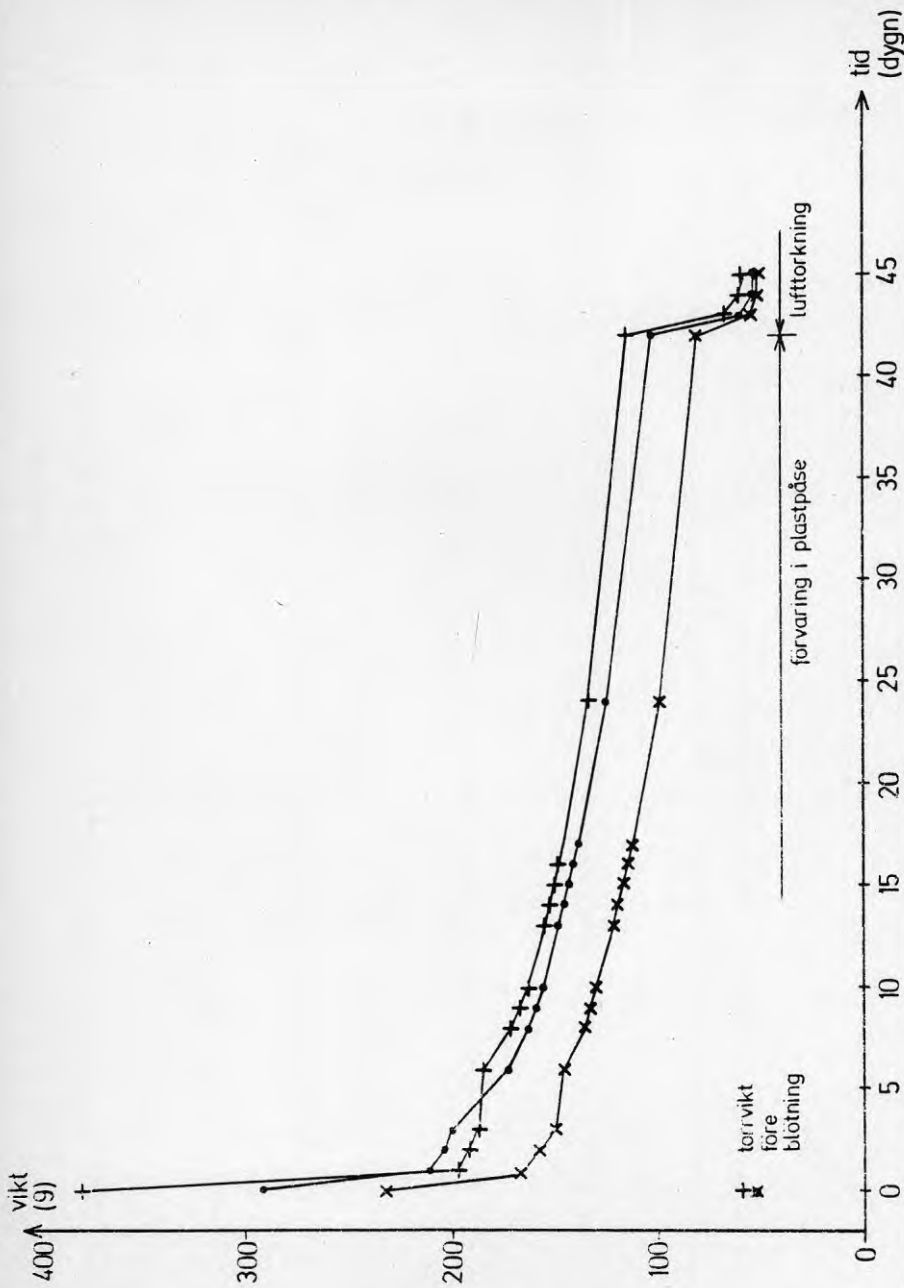


Figur 8.1. Torkningsförloppet hos provkroppar i serie A. Proven förvarades i plastpåse under de 26 första dygnen.

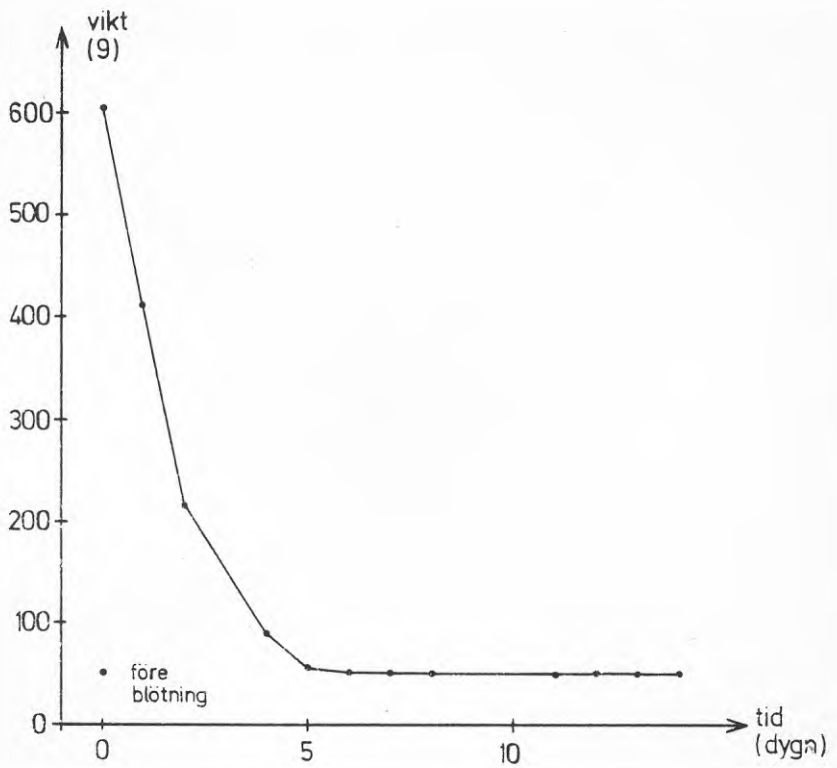


Figur 8.2. Torkningsförloppet hos provkroppar i serie B. Horisontellt liggande provkroppar. Proven förvarades i plastpåse under de 42 första dygnen.

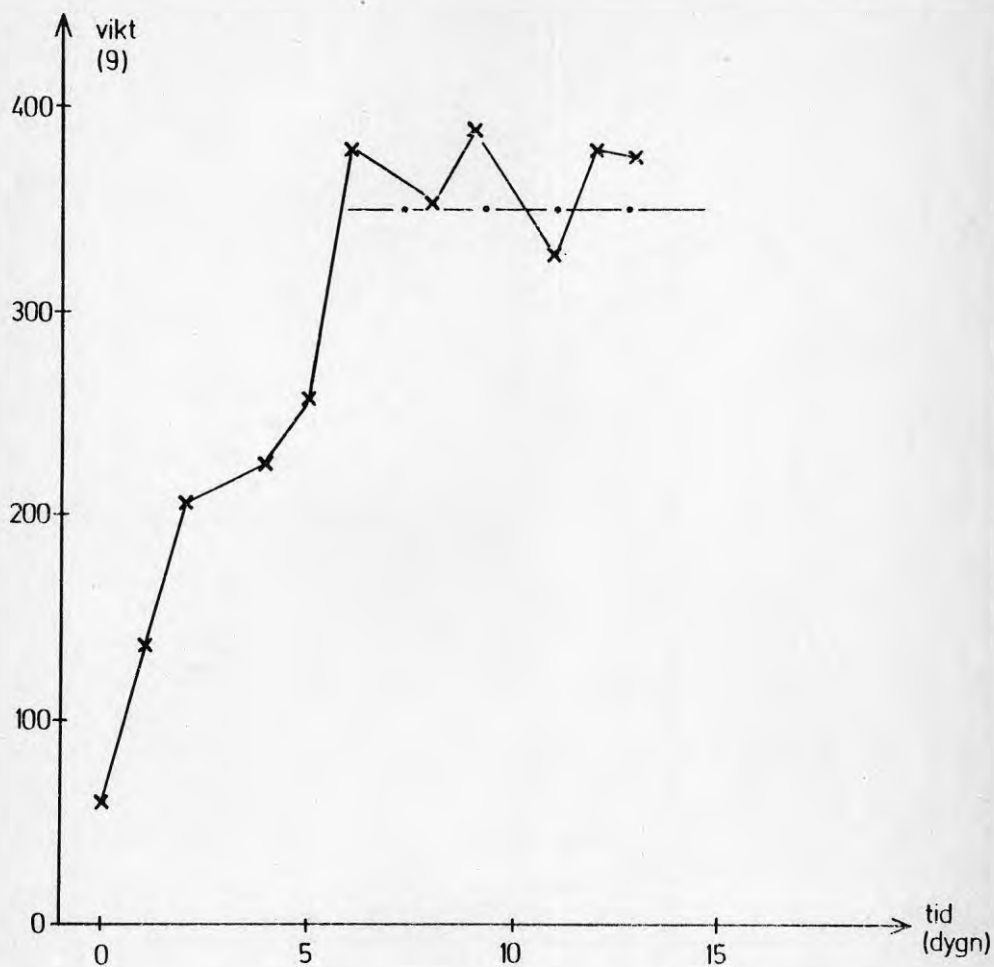




Figur 8.3. Torkningsförloppet hos provkroppar i serie B. Vertikalt stående provkroppar. Proven förvarades i plastpåse under de 42 första dygnen.

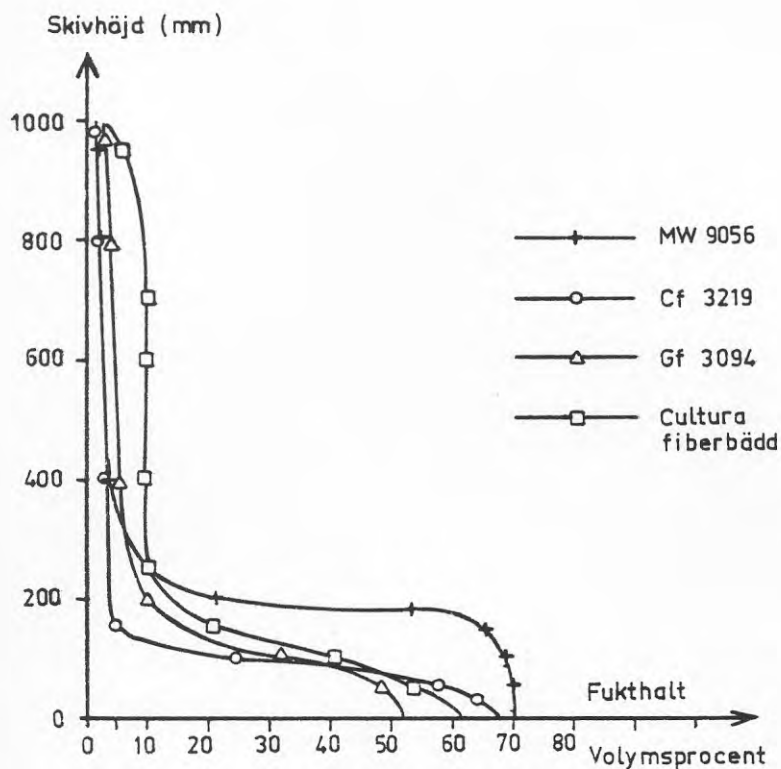


Figur 8.4. Torkningsförloppet för prov 3, serie A. Torkning i rumsluft.



Figur 8.5. Nerblötning av mineralullsprov. Taggigheten efter drygt 5 dygn beror på att provet var så blött att vattnet "skvalade" när provet lyftes. Olika mängder vatten rann bort vid varje vägning.

I fig.8.6 visas fukttinnehållet i mineralullsskivor som varit doppade i vatten under två dygn. Skivorna togs upp och placerades vertikalt för att rinna av. Efter en timma togs prover på olika nivåer för bestämning av fukttinnehållet. I den övre delen och mellandelen av skivan är fukttinnehållet cirka fem volymsprocent, vilket motsvarar  $50 \text{ kg/m}^3$ .



Figur 8.6. Fukttinnehåll i vertikalt placerade mineralullsskivor efter vattendoppning två dygn och avrinning en timma [10].

## 9. FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR

Under arbetet med "dubbla plåttak-projektet" har det visat sig att kunskapsluckorna är mer eller mindre stora inom olika områden. Exempelvis är värmeisoleringsdelen relativt genomarbetad medan fuktfrågorna många gånger är mer osäkra.

Det område inom vilket gruppen bedömer osäkerheten och kunskapsbristen vara störst är det "verkliga klimatet" - i hallen och i taket. Nedan anges några områden vilka enligt gruppens mening bör studeras ytterligare.

- A. Inomhusklimatet. Studera vilket/vilka klimat som finns i olika halltyper. Kunskapen inom området är dålig. Temperaturer, luftfuktigheter, luftryck, vindhastighet bör registreras. Uppgiften bedöms som mycket angelägen även sett i ett större sammanhang.
- B. Klimatet i taket. Intressanta mätstorheter är bl a lufthastigheten under ytterplåten, temperaturfördelningen samt fuktigheten i isoleringen. Mätningar i fullskala och i modell.
- C. Luftläckage inifrån. Orsaker, risker och åtgärder. Det invändiga skiktets täthet är av största vikt för takkonstruktionens funktion. Ytterligare täthetsprovningar bör utföras.
- D. Fuktfrågor - exempelvis uttorkning och nedfuktning av isoleringen. Risk för kondens av uteluft.
- E. Vattentäthet. Sätt att mäta täthet. Viktigt i sammanhanget är att resultat från täthetsmätningar relateras till hur utförda verkliga konstruktioner uppträder.
- F. Rännors, spec. invändiga avvattningsrännors, utformning och täthet. Risk för isbildning. Snösmältning och täthet sammanhänger delvis med punkt E ovan.

## 10. SAMMANFATTNING

I arbetet studeras olika faktorer som påverkar det dubbla plåttakets funktion. Värmeisolering, fuktvandring, täthet och ekonomi behandlas lite mera ingående. Inom vissa områden kan kunskapen sägas vara god medan inom andra områden kunskapen är mycket bristfällig. Exempel på dylika "bristfälliga områden" redovisas i kap.9.

Taken kan utföras med olika grundläggande konstruktionsprinciper. Man skiljer mellan konstruktioner med ventilerad ytterplåt och konstruktion med icke ventilerad ytterplåt. I det förra fallet ventilerar man bort den fukt som tränger in i taket medan man i det senare fallet försvårar för fukten att tränga in. Verklighetens tak är emellertid mer eller mindre luftade.

I värmeisoleringsavsnittet visas bl a hur viktigt det är att reducera reglarnas köldbryggor. Exempelvis motsvaras ett tak med stegreglar och 15 cm isolering ur värmeisolerings synpunkt av ett tak med vanliga Z-reglar och 25 cm isolering.

Resultat av fuktmätningar i ett 10-tal tak redovisas. Genomförda mätningar visar genomgående mycket små fuktmängder, i vissa fall dock upp mot 5-6 kg per m<sup>3</sup>. Vid en kort tids utomhuslagring av mineralull har emellertid uppmätta 3-5 kg per m<sup>3</sup> - d v s fuktmängder av samma storleksordning.

Mineralulls förmåga att binda vatten har studerats. Efter mer än en månads lagring på klossar i plastpåse (oförhindrad avrinning men förhindrad avdunstning) innehöll provkropparna fortfarande mer än 30 kg vatten per m<sup>3</sup>. Detta är fem gånger så mycket som registrerats i något av taken.

Resultat av en omfattande fältundersökning, 37 tak har besiktigats, visar bl a att läckor uppträtt i närmare hälften av alla undersökta tak men att läckorna i allmänhet varit enkla att åtgärda. Fältundersökningen visar även att en hel del felaktigheter berott på bristande montagenoggrannhet. Undersökningen visar att, med några få undantag, plåttaken har fungerat bra.

En ekonomisk genomgång görs där hänsyn tas till förräntningskrav, inflation, skatter och avskrivningar. De redovisade sifferexemplen visar - trots skatteeffektens negativa inverkan - att det är ekonomiskt lönsamt att satsa på ett "högisolerat" dubbelt plåttak jämfört med ett tak med sämre värmeisolering.

## 11. LITTERATURFÖRTECKNING

- [1] Aldefors,A. - Frilund.R.: Branta tak. Betongpannors täthet mot regn vid samtidig vindbelastning. Institutionen för Byggnadsteknik I. Tekniska Högskolan i Lund. Rapport X2:76. Lund 1976.
- [2] Andersson,L.J.E.: Ofrivillig ventilation. Industriväggars täthet. Statens Råd för Byggnadsforskning. Rapport R99:1978. Stockholm 1978.
- [3] Bergkvist,B. et al.: Mekaniskt ventilerad takkonstruktion som värmeväxlare och solfångare. Statens Råd för Byggnadsforskning. Rapport R111:1980. Stockholm 1980.
- [4] Bigelius,A. - Taesler,R.: Effekt och energiberäkningar för luftbehandlings- kyl- och värmeinstallationer. Statens Råd för Byggnadsforskning, Rapport R50:1975. Stockholm 1975.
- [5] Butler Manufacturing Company : Informationsmaterial.
- [6] Dick,J.: The fundamentals of natural ventilations of houses. Inst. Heat.Vent. Engineers 18, 1950.
- [7] Dobel AB : Diverse Interna Provningsrapporter. Informationsmaterial.
- [8] Eriksson,B.: Tunnbräda för industritak. Byggmästaren. Byggmästaren Nr 12, 1978.
- [9] Eriksson,B.: Energisnål regel för tunnbräda-konstruktioner. Nordiska Forskningsdagar för stålbyggnad. Köpenhamn 1979.
- [10] Gullfiber AB : Diverse Interna Provningsrapporter. Informationsmaterial.

- |11| Gyproc : Avsevärd förbättring genom slitsade reglar. Gyproc-Nytt Nr 3, 1975.
- |12| Howe, .: Wind pressure on elementary building forms evaluated by model tests. Civil Engineering (New York), May 1952, sid.42-46.
- |13| Höglund,I. et al.: Ulvsundaprojektet. Effektivare energianvändning i äldre byggnader. Etapp I.
- |14| Ingvarsson,L.: Fuktoobservationer hos yttertaksplåt med fuktabsorberande beläggning. Nordiska forskningsdagar för stålbyggnad. Köpenhamn 1979.
- |15| Jergling,A.: Luftläckage genom sprickor i betongelement. Chalmers Tekniska Högskola. Avdelningen för Byggnadskonstruktion. Publ 1981:17. Göteborg 1981.
- |16| Johannesson,G. - Åberg,O.: Köldbryggor i plåtkonstruktioner. Institutionen för Byggnadsteknik. Tekniska Högskolan i Lund. Rapport TVBH-3006. Lund 1981.
- |17| Kero,E.: Fältmätning visar : Inga fuktproblem i dubbla högisolerade plåttak. Byggmästaren Nr 12, 1978.
- |18| Lönn,H.: Lönsamhetskalkylering. Väg- och Vattenbyggaren Nr 7-8, 1981.
- |19| Nevander,L. - Elmarsson,B.: Fukthandbok. Teori, Dimensionering, Konstruktion. AB Svensk Byggtjänst. Stockholm 1981.
- |20| Nilsson,L.: Oisolerade yttertak av profilerad plåt från fuktsynpunkt. Institutionen för Konstruktionslära, Tekniska Högskolan i Stockholm. Rapport 1, 1974. Stockholm 1974.



- | 21 | Nilsson, Sune :                      Konvektionsproblem i yttertak : Slarv med ångspärr ger förödande skador. Byggmästaren Nr 3, 1983.
- | 22 | Nilsson, B. - Söderberg, J.: Tunnbräda på väggar och tak. En erfarenhetsinventering. Statens Råd för Byggnadsforskning. Rapport R 113:1982. Stockholm 1982.
- | 23 | Nordtest :                              Steep Roofs - Coverings : Tightness. Nordtest method. NT Build 118. Approved 1980-11. Nordtest. Stockholm 1980.
- | 24 | Persson, M.:                            Beräkning av värmetransport genom byggnadsdelar. Doktorsavh. vid Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg 1977.
- | 25 | Plannja AB :                            Diverse Interna Provningsrapporter. Informationsmaterial.
- | 26 | Riksskatteverket :                   Handledning för rörelse- och jordbruksbeskattning. Liber Förlag. Stockholm 1982.
- | 27 | Rockwool AB :                         Diverse Interna Provningsrapporter. Informationsmaterial.
- | 28 | Sachs, P.:                                Wind Forces in Engineering. Pergamon Press, 1972.
- | 29 | Samuelsson, I.:                        Fukt i utvändigt isolerade plåttak. Institutionen för byggnadsteknik. Tekniska Högskolan i Lund. Rapport 67. Lund 1976.
- | 30 | Samuelsson, I.:                        Fukt i tak : "Riktig" konstruktion kan bli fel. Byggmästaren Nr 12, 1978.
- | 31 | Samuelsson, I.:                        20 fuktskador. Statens Råd för Byggnadsforskning. Publikation I11:1978. Stockholm 1978.

- [32] Seiffert, K.: Richtig belüftete Flachdächer ohne Feuchtluftprobleme. Bauverlag, Wiesbaden und Berlin. 1973.
- [33] Strandberg, S.: System i branta tak. Hur dimensionera det branta takets regntäthet. Institutionen för byggnadsteknik. Tekniska Högskolan i Lund. Rapport TVBH-3004. Lund 1980.
- [34] Swedisols tekniska kommittee : Köldbryggor i Högisolerade Plåtkonstruktioner. Swedisol 1981.
- [35] Taesler, R.: Klimatdata för Sverige. Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm 1972.
- [36] Walter, A. - Woodbridge, S.: Hantering av mineralullsisolering på byggarbetsplatser. Chalmers Tekniska Högskola. Avdelningen för Husbyggnadsteknik. Publ 81:11. Göteborg 1981.
- [37] Vinberg, H.: Vad betyder köldbryggor? Alurama Nr 1, 1983.
- [38] Välimaa, E.: Dubbla plåttak. Erfarenheter. Nordiska Forskningsdagar för Stålbyggnad. Köpenhamn 1979.
- [39] Västanfors Industrier AB : Informationsmaterial.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
810016-7 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Chalmers Tekniska Högskola, Avd. Stål-  
träbyggnad, Göteborg.**

**R98: 1984**

**ISBN 91-540-4194-5**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6704098**

**Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirkapris: 35 kr exkl moms**