



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

R83:1978

**Varmvattenberedning med hjälp av solenergi
— förutsättningar och kostnader**

Folke Peterson

Lennart Ringblom

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Byggforskningen

R83:1978

VARMVATTENBEREDNING MED HJÄLP AV SOLENERGI
- FÖRUTSÄTTNINGAR OCH KOSTNADER

Folke Peterson
Lennart Ringblom

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750359-4 från Statens råd för byggnadsforskning till Inst. för uppvärmning och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.

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

Nyckelord:

varmvatten
solvärme
vattencisterner
cirkulationssystem
pumpar
tillsatsvärme
korrosion
kostnader

UDK 696.4
697.7
69.003

R83:1978

ISBN 91-540-2916-3
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Förord

Med ekonomiskt stöd från BFR har föreliggande studie av kostnaderna för varmvattenberedning utförts under åren 1975 - 76. Arbetet har ompänt en förhållandevis lång tidrymd och blivit - se sammanfattningen nedan - väsentligt större än det från början varit avsikten.

En viss prövning av arbetets användbarhet har skett i olika omgångar då - med tillstånd från BFR - delar av utredning använts som kursmaterial.

Sammanfattning

Föreliggande arbete startades under våren 1975. Syftet var att undersöka de ekonomiska betingelserna för användning av solfångare för varmvattenberedning. Arbetet fick dock redan från början en väsentligt större omfattning än vad det ursprungliga målet varit.

Skälen härtill är flera. För det första skall kanske nämnas att vid tiden för arbetets igångsättande många frågor rörande solfångare i Sverige återstod att lösa. Vissa tabellvärden - se t ex avsnitt 5 - måste tagas fram för att uppgiften skulle kunna lösas på ett tillfredsställande sätt och i vissa andra stycken har också egna resultat tagits fram.

Bland "nya avsnitt" dvs avsnitt rörande områden där litteraturen avseende solenergianvändning icke ger svar på driftsfrågor m m kan nämnas

- o avsnitt 3.11 i vilket driftsproblem i samband med luftutfällning tas upp
- o avsnitt 1.2 och Appendix IV, inverkan av vind på solfångares verkningsgrad
- o avsnitt 1.2 där instrålning mot lutande ytor behandlas
- o avsnitt 5 med för svenska förhållanden tillämpbara kostnader

Innehållsförteckning

<u>Kapitel 1</u>		Sid.	<u>Kapitel 3</u>	Sid.	
1.	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SOLENERGI	1:1	3.	VARMVATTEN	3:1
1.1	<u>Några inledande synpunkter</u>	1:1	3.1.	<u>Varmvattenanvändning</u>	3:1
1.1.1.	Omhändertagande av solenergi	1:1	3.2.	<u>Varmvattnets temperatur</u>	3:3
1.1.2.	Människans omhändertagande av solenergi	1:2	3.3.	<u>Energibehoven</u>	3:4
1.1.3.	Kostnader	1:2	3.4.	<u>Användning av varmvatten i fritidshus</u>	3:6
1.2	Meteorologiska förutsättningar	1:4	3.5.	<u>Variation i varmvattenanvändningen</u>	3:7
1.2.1.	Några exempel på fördelningar	1:5	3.6.	<u>Sammanlagringseffekter</u>	3:8
1.2.2.	Solstrålning	1:7	3.7.	<u>Solfångare för varmvatten</u>	3:9
<u>Kapitel 2</u>			3.8.	<u>Tillsatsvärme</u>	3:11
2.	VARMVATTENBEREDARE	2:1	3.9.	<u>Pump</u>	3:12
2.1.	<u>Varmvattenberedarens uppbyggnad och funktion</u>	2:2	3.9.1.	Energi från pumpen	3:13
2.1.1.	Olika typer av solfångare	2:3	3.9.2.	Själv-cirkulationskrafter i solfångar-installation med pump	3:14
2.1.2.	Plana solfångare	2:4	3.10.	<u>Erosionskorrosion</u>	3:15
2.1.3.	Glasningen	2:5	3.11.	<u>Lämpliga hastigheter i vattenledningar med hänsyn till utfälld luft</u>	3:16
2.1.3.1	Försmutsning av glas	2:8	3.11.1.	Problem med luftutfällning	3:19
2.1.3.2	Försmutsning-en förenklad modell	2:8	3.11.2.	Placering av solfångare	3:19
2.2	<u>Ingående komponenter</u>	2:9	3.11.3.	Tryckförhållanden i ventiler	3:19
2.2.1.	Glasningen	2:9	3.11.4	Pumpens inverkan	3:20
2.2.2.	Absorbatoren	2:12	3.11.5.	Avluftning	3:20
2.2.3.	Isoleringen	2:13	3.11.6.	Indirekta system	3:20
2.3	<u>Ingående granskning av komponenterna</u>	2:14	3.12.	<u>Inverkan av själv-cirkulationskrafter m m på flödet</u>	3:20
2.3.1.	Glasningen	2:14	3.13.	<u>Utfällning av luftblåsor i pumpen</u>	3:21
2.4	<u>Absorbatoren</u>	2:22	3.14.	<u>Rekommenderade flöden</u>	3:21
2.4.1.	Värmeupptagning hos absorbatoren	2:22	3.15.	<u>Medium</u>	3:23
2.4.2.	Nyttig värmeupptagning och flöde	2:31	3.15.1.	Skydd mot frysning	3:24
2.4.3.	Selektiva ytor	2:35	3.15.2.	Frysrisiker och åtgärder mot frysning	3:24
2.4.4.	Material i absorbatorytan	2:42	3.15.3.	Fryspunktsnedsättande ämnen	3:26
2.5.	<u>Isolering</u>	2:44	<u>Kapitel 4</u>		
2.5.1.	Temperatur i solfångare för varmvattenberedning	2:44	4.	LAGRING AV SOLENERGI	4:1
2.5.2.	Förluster genom isolering	2:45	4.1	<u>Lagring i vätska</u>	4:1
2.5.3.	Maximal temperatur i en solfångare	2:46	4.2	<u>Skiktning</u>	4:2
2.5.4.	Isoleringsmaterial och isoleringsutförande - allmänt	2:49	4.3	<u>Beräkning av cisterntemperatur vid välblandat vatten</u>	4:2
2.5.5.	Värmeledningstalet för isoleringsmaterial	2:51	4.4	<u>Tappning</u>	4:3
2.5.6.	Isoleringsmaterial för solfångare	2:53	4.5	<u>Tappning vid själv-cirkulationssystem med kraftig skiktning</u>	4:4
2.5.7.	Mineralull	2:54	<u>Kapitel 5</u>		
2.5.8.	Isolering av plastmaterial	2:54	5.	KOSTNADER	5:1
2.5.9.	Andra möjliga isoleringsmaterial	2:55	5.1.	<u>Materialkostnader för absorbatorytor</u>	5:1
2.6.	<u>Vattencistern</u>	2:57	5.2.	<u>Materialkostnad för absorbatoryta av koppar</u>	5:1
2.6.1.	Isolering av vattencistern	2:58	5.3.	<u>Materialkostnad för absorbatoren av Al-plåt och rör av koppar</u>	5:14
2.6.2.	Utformning av in- och utlopp för anslutande ledningar	2:61	5.4.	<u>Materialkostnaden för absorbatoryta bestående av Al-plåtar med kanaler mellan plåtarna</u>	5:17
2.6.3.	Värmeförluster från vattencistern	2:62			
2.7.	<u>System</u>	2:64			
2.7.1.	Principer	2:64			
2.7.2.	Reglering av vattenflödet i systemet	2:68			
2.7.3.	Korrosion	2:69			

	Sid.		
5.5.	<u>Materialkostnad för absorbatoryta av rostfri plåt</u>	5:21	III.6 <u>Förhållandena vid flera genomgångsmotstånd efter varandra</u> III:5
5.6.	<u>Materialkostnad för absorbatoryta av stålplåt</u>	5:24	III.7 <u>Överslagsvärden</u> III:6
5.7.	<u>Sammanställning av materialkostnader för absorbatorytor av olika material</u>	5:24	APPENDIX IV IV:1
5.8.	<u>Materialkostnad för isolering</u>	5:24	IV.1 <u>Kontroll av solfångares prestanda</u> IV:1
5.9.	<u>Materialkostnad för hölje</u>	5:25	IV.2 <u>Utomhustemperaturen</u> IV:1
5.10.	<u>Materialkostnad för glas</u>	5:25	IV.3 <u>Strålningsintensitet</u> IV:2
5.11.	<u>Kostnaden för ytskydd till absorbatoryta och hölje</u>	5:25	IV.4 <u>Data för bedömningar</u> IV:2
5.12.	<u>Sammanställning av materialkostnader för solfångare</u>	5:25	IV.5 <u>Vindförhållanden och dessas betydelse</u> IV:2
5.13.	<u>Arbetskostnad vid tillverkning av solfångare med absorbatoryta av koppar</u>	5:27	IV.6 <u>Vindens dagliga gång</u> IV:2
5.13.1	Arbetskostnad för absorbatoryta	5:27	IV.7 <u>Inflytande på glasningens k-värde</u> IV:5
5.13.2	Arbets- och materialkostnad för absorbatör av koppar	5:28	
5.14.	<u>Arbetskostnad för hölje, glasning, isolering, målning m m</u>	5:28	
5.15.	<u>Övriga kostnader</u>	5:29	
5.16.	<u>Försäljningspris för absorbatoryta av stålplåt</u>	5:30	
5.17.	<u>Kostnader för cisterner</u>	5:31	
5.18.	<u>Installationskostnader för solvärmeanläggning för värmning av tappvatten med hjälp av solenergi</u>	5:33	
5.19.	<u>Direktsystem för värmning av tappvatten i enfamiljshus</u>	5:36	
5.20.	<u>Indirekt system för värmning av tappvatten i enfamiljshus</u>	5:38	
5.21.	<u>Utföranden som kan ge lönsamhet vid lägre energipris för enfamiljshus</u>	5:41	
5.22.	<u>Indirekt system för flerfamiljshus</u>	5:42	
5.23.	<u>Omständigheter av betydelse vid installation av solvärmeanläggningar</u>	5:43	
 <u>Kapitel 6</u>			
6	LITTERATUR	6:1	
	APPENDIX I	I:1	
I.2	<u>Skiktningens betydelse vid själv-cirkulation</u>	I:1	
I.3	<u>Exempel</u>	I:2	
I.4	<u>Variationer i strömning</u>	I:3	
	APPENDIX II	II:1	
	APPENDIX III	III:1	
III.1	<u>Tryckfall i ledningar</u>	III:1	
III.2	<u>Motståndskoefficienter för böjar</u>	III:2	
III.3	<u>Motståndskoefficienter för korsrör och T-stycken</u>	III:3	
III.4	<u>Motståndskoefficienter för korsrör och T-stycken</u>	III:4	
III:5	<u>Motståndskoefficienter för knärör</u>	III:5	

1 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SOLENERGI

1.1 Några inledande synpunkter

Solenergin till jorden är förutsättningen för de former av liv, som vi känner. Energin härstammar från de kärnreaktioner vilka försiggår i solen vid en temperatur mellan 6000 K och ca 40 000 000 K, d v s mellan ytans och kärnans temperaturer, se bild 1/1. Största delen av energin härstammar från området närmast kärnan - ca 90% av energin beräknas komma från processer med temperaturen över ca 8 000 000 K.

Den strålningseffekt solen ger är ca $4 \cdot 10^{26}$ W. Härav träffar endast en bråkdel jorden, vilken dock emottar $17 \cdot 10^{16}$ W.

Jämför vi detta värde med den energiproduktion från kol, olja m m som f n sker finner vi, att dessa "artificiella" energikällor svarar för en ojämförligt liten del. För den från dessa energikällor härstammande effekten är endast $7 \cdot 10^{12}$ W.

1.1.1 Omhändertagande av solenergi

Solenergin som tillförs jorden i form av (huvudsakligen) kortvågig strålning, se bild 1/2, absorberas till största delen. Visserligen ger vissa mineral och också växter en viss reflexion men denna är, se tabell 1-1, relativt liten.

Även om således en viss reflexion finns kommer den infallande strålningen att till största delen absorberas i marken och i vattnet eller upptas i växterna. Den temperatur detta ger upphov till ligger över himmelstemperaturen och man får således en utstrålning från jorden.

Instrålningen per månad till olika orter i Sverige framgår av bild 1/3. I bilden anges globalstrålningen, d v s summan av den direkta solstrålningens storlek och den diffusa. I bild 1/4 ges även den direkta solinstrålningen I_{DN} normalt mot en yta under klara dagar.

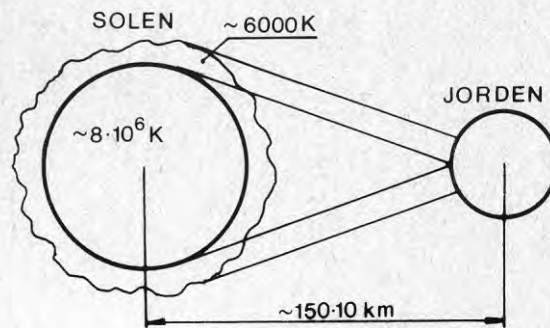


Bild 1/1

Tabell 1-1 Reflexionskoefficienten för några ämnen

Ämne	Reflexionskoefficient
Gräs	0,25-0,3
Skog	0,15-0,25
Jord	0,10
Sten	0,20
Vatten	0,02-1,0
Snö	0,70-0,85

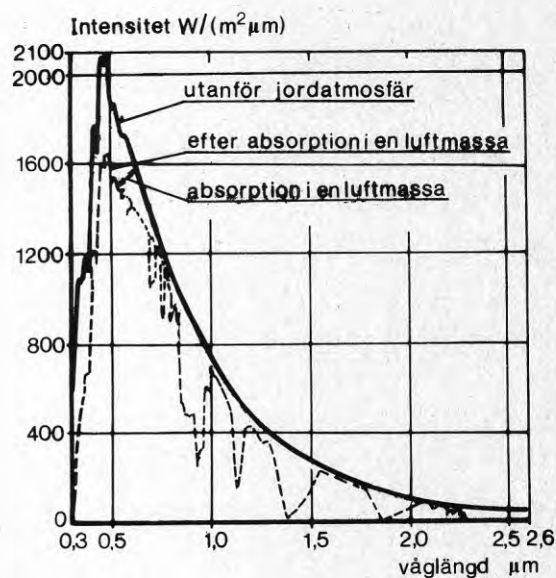


Bild 1/2

1.1.2 Människans omhändertagande av solenergi

Människan omhändertar solenergi - förutom i form av växter för näring m m - som

- o ved, vilken som bränsle dock spelat ut sin roll.
- o vindkraft, vilken spelar en förhållandevis liten roll men som haft stor betydelse för bondesamhället och för transporter till havs.
- o energi från vattenfall - tidigare i kvarnar, sågar m m, nu i form av vattenkraft.

För Sveriges del är vattenkraften av stor betydelse - till ca 70% försörjs vårt land med elenergi från solens nuvarande instrålning¹⁾.

Självfallet kan stora mängder av den instrålade solenergin tillvaratas ytterligare. Till de anordningar eller metoder med vilket detta låter sig göras hör jordvärme, upptagning av solenergi i alger jämte omvandling till bränsle. Här skall endast direkt värmeupptagning från solenergi diskuteras.

1.1.3 Kostnader

Vad kostar gratis solenergi att använda? Tyvärr speglas i den allmänna energidebatten en tro på att solenergi "är gratis". Tvärtom kan en av de största orsakerna till att solenergin ej i våra dagar kommit till större användning vara att kostnaderna för användning (tillvaratagande, lagring och utnyttjande) av solenergi är för stora.

Ett exempel må belysa det sagda: för en villa kan solenergi för hela värmebehovet uppsamlas med hjälp av en solfångare vars storlek är ungefär lika med villans takyta. Den upptagna energin kan lagras i vatten - cisternerna härför får ungefär samma volym som villan, d v s ca 300 m³. F n sker sådan lagring vanligen i stål- eller plastcisterner, vilka isolerats för att undvika energiförluster under lagringsperioden.

1) Kol och olja jämte vissa andra fossila bränslen är att anse som lagrad solenergi.



Bild 1/3

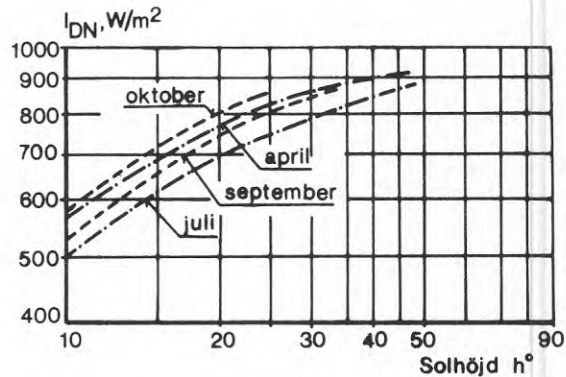


Bild 1/4 Direkt solinstrålning mot en yta vinkelrätt mot solstrålningen vid olika solhöjd. Data efter Lunelund (1936).

Sådana cisterner drar för en kostnad av ca 1:- per liter, eventuellt kan priset drivas ned mot 0,7 kr/liter. Hela cisternkostnaden blir följaktligen mellan 200 000 och 300 000 kr, vilket är ett orimligt högt belopp.

Kostnaden kan nu minskas genom att man ej behöver lagra *hela* energibehovet. Låt oss anta att lagringsvolymen härigenom nedbringas till hälften - fortfarande är investeringskostnaden av storleksordningen 100 000 kr enbart för cisternen.

Sker lagringen i ett annat medium än vatten kan kostnaden för lagringen nedbringas väsentligt. Sker lagringen genom att ett ämne får smälta (vilket dock förutsätter att solenergin "förs upp" till en högre temperatur än den man normalt räknar med vid plana solfångare) kan volymen nedbringas till ca 1/5 av den ovannämnda, vilket motsvarar en cisternkostnad av omkring 50 000 kr. Denna kostnadsnivå får anses acceptabel - även om man naturligtvis skall sträva mot lägre - trots att man vid en annuitet av 10% får en årlig kostnad enbart för cisternen med *ca det dubbla av vad olja nu kostar för uppvärmning av samma byggnad.*

Gynnsamt för användningen av solenergi för uppvärmning från kostnadssynpunkt är således

- o den *ökning av olje- och kolpriserna* som skett under senare tid
- o *minskningen i värmebehov* till följd av ökad isolering m m

Ogynnsamt för en snar framtida användning av solenergi är

- o *det äldre bostadsbeståndets dåliga isolering* - vissa av våra bostäder kommer till följd av ökade värmekostnader få höga driftskostnader. Det gäller framför allt de bostäder vilka nu har sämst standard.
- o *ökning i material och arbetskostnader* - anordningarna för solenergin tillgodogörande ökar i pris.

1.2 Meteorologiska förutsättningar

En föreställning om klimatet och väderleksförhållandena på en ort kan matematiskt beskrivas med en flerparametrisk sannolikhetsfördelning. Många av de sammanhang som spelar roll för klimatet har ej heller funktionell karaktär utan stokastisk och kan således endast framställas medelst mer eller mindre komplicerade sannolikhetsfördelningar.

Exempel på sådana fördelningar ges i Klimathandboken, varvid dock vanligtvis antalet parametrar är kraftigt nedsåkrat. Så t ex ges sammanhang mellan lufttemperatur och vindstyrka eller mellan dessa båda och nederbörden. Självfallet kan sannolikhetsfördelningarna - som antytts ovan - utsträckas till att omfatta än fler parametrar. För bedömningen av solenergiupptagning i plana solfångare är t ex samband mellan

- molnighet
- vindstyrka
- lufttemperatur
- solinstrålning

av betydelse.

Den ovannämnda sannolikhetsrepresentationen, se bild 1/5, har nackdelen att lämna tidsberoendet helt ur spel. Ett sådant beroende, exemplifierat av bild 1/6, är givetvis av stor betydelse då man vill räknevässigt bedöma en solfångares verkningsgrad e d. Tidsberoendet är emellertid stokastiskt - liksom i viss mån användningen av den uppsamlade energin - och man beräknar därför solfångare på ett något konservativt sätt. Vi skall återkomma till dessa frågor senare.

De tidsberoende variationer som klimatet uppvisar kan indelas i ett spektrum. Vissa av dem har frekvensen 1 år - de är de naturligaste och mest välkända. Andra har en frekvens av några tiotal år eller mer. Som exempel härpå kan medeltemperaturen olika år nämnas, se bild 1/7. Bilderna 1/6 och 1/7 visar på några av de svårigheter man står inför då man skall finna beräkningsunderlag för bedömning av anordningar för upptagande av solenergi - de tidsmässiga variationerna kan ha kort period, som i bild 1/6, där inverkan av molnighet m m stokastiskt påverkar solinstrålningen. De kan även ha

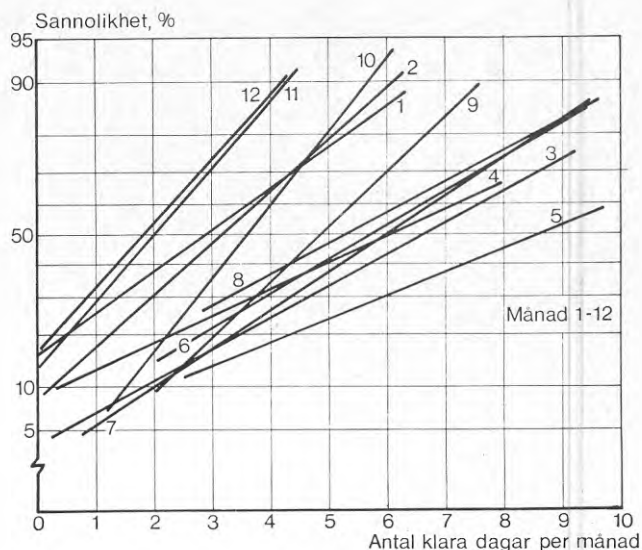


Bild 1/5

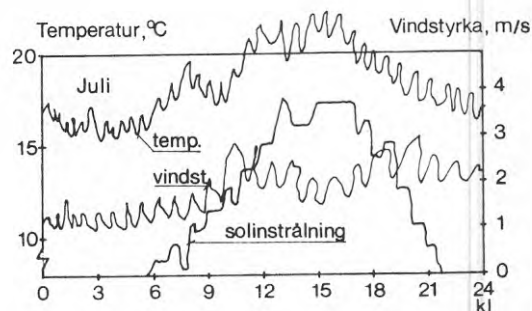


Bild 1/6

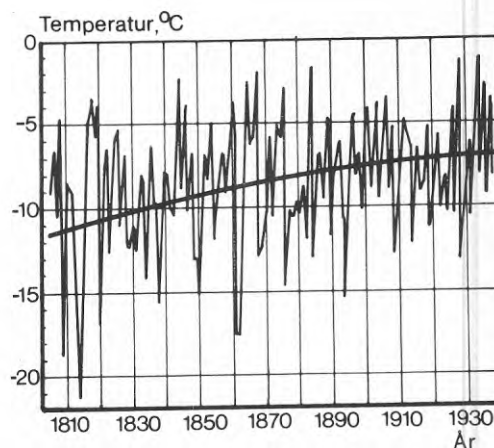


Bild 1/7 Medeltemperatur i Leningrad 1805-1935.

lång varaktighet, som i bild 1/7, eller de kan slutligen vara av förblivande karaktär. Bland de senare kan nämnas ökande CO_2 -halt och stofthalt i luften vilka faktorer båda påverkar strålningsbalansen för jorden. Även om således vissa variationer i likhet med de i bild 1/7 förekommer, kan man dock notera att man - i varje fall för överslagsberäkningar och för normala tekniska bedömningar - kan använda sig av värden (typvärden av olika slag eller fördelningar) framtagna för 10-årsperioder. Helst bör dock perioden från vilka värdena hämtas vara längre. I allmänhet kräver man 30 års eller i vissa fall 50 årsperioder.

1.2.1 Några exempel på fördelningar

Vi skall här se på några exempel av betydelse för bedömning av plana solfångares verkningsgrad. Hit hör sambandet mellan vindhastighet och lufttemperatur.

I bild 1/8 visas för Stockholm sannolikheten för att en viss vindstyrka skall underskridas. Som framgår av bilden är sannolikheten för att vindstyrkan skall understiga 3 m/s ca 45% (vilket medför att man kan sätta 3 m/s till en ungefärligt vindstyrka).

Bildens uppgifter gäller dock hela året. Det förefaller inte ens en lekman otroligt att fördelningen är en annan för sommaren och vintern eftersom man erfarenhetsmässigt vet, att man under vintern har betydligt lugnare väder. För mars, juni och september månader har motsvarande sannolikhet angivits i bild 1/9.

Skillnader föreligger uppenbarligen mellan olika månader, men de synes inte stora. Man kan dock konstatera, att man för vindstyrkor lägre än t ex 3 m/s under mars månad har en sannolikhet på ca 50% och under september har en sannolikhet på ca 45%.

Använder vi i stället lufttemperaturen utomhus som parameter får vi de kurvförlopp som visas i bild 1/10. Härav framgår att låga temperaturer är förenade med låga vindstyrkor och vice versa.

Vi skall slutligen konstatera att de tre kurvorna i bild 1/10 kan karaktäriseras av

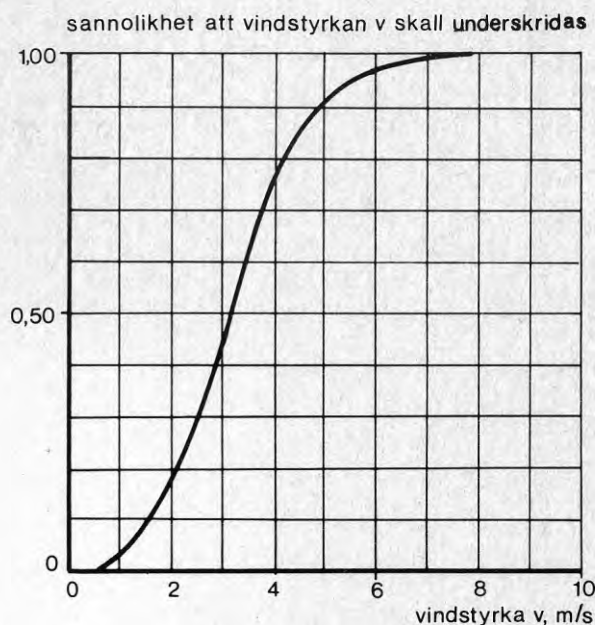


Bild 1/8 Sannolikheten för att en viss vindstyrka skall underskridas

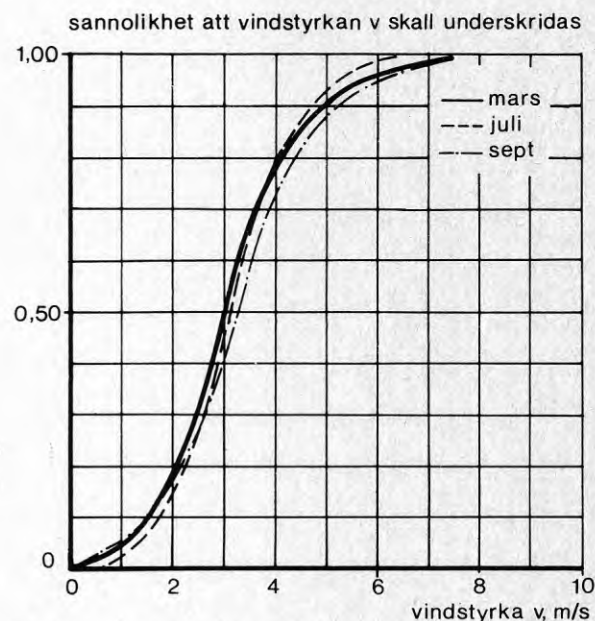


Bild 1/9 Sannolikheten för att en viss vindstyrka skall underskridas

- o kurva —————
ett kraftigt stigande förlopp från 0 till 1 för ett relativt lågt värde på den aktuella parametern (vindstyrka)
- o kurva - - - - -
ett mindre accentuerat förlopp vid låga vindstyrkor, vilket avslutas i en utplaning. En S-kurva.
- o kurva - - - - -
ett förlopp i enlighet med S-kurvan, men startande från ett ändligt värde - ej alltid 0. Kan eventuellt avslutas utan utplaning.

Vindhastighetens betydelse för solfångares funktion

Förlusterna från en plan solfångare enligt bild(2/14) kan beskrivas av

$$P_f = k A (\theta_i - \theta_u) \quad (1:1)$$

där k är glasningens eller isoleringens s k -värde

A är respektive ytas area

θ_i är temperaturen i solfångarcellen

θ_u är lufttemperaturen utanför solfångaren

I huvudsak spelar endast förlusterna genom den relativt dåligt isolerande glasningen störst roll. Försummas övriga förluster och sätter vi instrålningen proportionell mot arean får vi de relativa förlusterna till

$$P_f = \frac{k (\theta_i - \theta_u)}{I} \quad (1:2)$$

där I är instrålningen.

Storleken av k beräknas av

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_u} + m_k \quad (1:3)$$

där α är värmeövergångstalet på utsidan och m_k är isolansen för glaset med luftspalter. De relativa förlusterna kan därmed skrivas

$$P_f = \left(\frac{1}{\alpha_u} + m_k \right) \frac{(\theta_i - \theta_u)}{I} \quad (1:4)$$

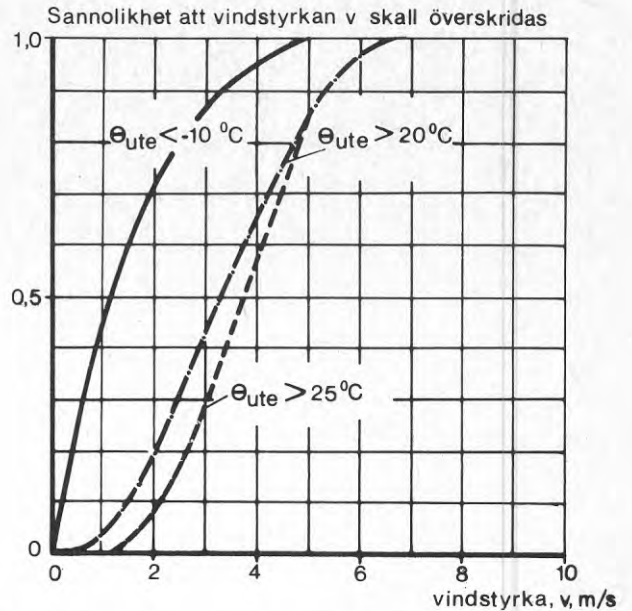


Bild 1/10 Sannolikheten för att en viss vindstyrka skall underskridas

Kurvorna i bild 1/10 kan *approximeras* med en ekvation av typen

$$\text{sannolikheten} = 1 - \exp(-k) \quad (1:5)$$

där k är en faktor, vilken varierar med ett klimatelement (i bilden temperaturvärden) eller flera sådana element.

Approximativt gäller

$$\alpha_{\mu} = 11\sqrt{v} \quad (1:6)$$

där v är vindhastigheten.

För bestämning av de relativa förlusterna eller 1 minus dessa, d v s verkningsgraden, måste man således känna värdet på tre samtidigt uppträdande klimatement, vindstyrka, v , solinstrålning, I , och lufttemperatur, θ_{μ} .

1.2.2 Solstrålning

Data för direkt solinstrålning mot en yta vinkelrätt mot strålningen har, se bild 1/4, givits av Lunelund.

Värdena har bearbetats av Brown et al (1974), vilka med användande av egna värden för sommarhalvåret anger instrålningen mot horisontella ytor till de i tabell 1-2 angivna värdena.

I bild 1/11 återges värdena för tre månader och avseende en yta belägen i Stockholmstrakten. Sambandet mellan solhöjd och tidpunkt under dagen har hämtats från Brown et al (1962). Värdena avser den 15:e respektive månad. I bilden har också uppmätta data - för en "klar" dag aug. 1976 - inlagts. Som framgår av bilden uppträder vissa smärre avvikelser till följd av moln m m.

Den luftfuktighet som alltid finnes ger upphov (tillsammans med koldioxid m fl gaser i luften) till en viss absorption och spridning av den direkta solinstrålningen. Man har även vid klar himmel därför alltid att göra med en viss indirekt strålning. Storleken av denna beror också på solhöjden, se t ex Brown et al (1974), vilket framgår av tabell 1-3.

Vid kraftigt molnbetäckt himmel försvagas den totala solstrålningen väsentligt. Man kan räkna med att en minskning ned till 1/3 normalt kan uppträda, i vissa fall dock mer.

Enligt Ångström gäller

$$I_{tH} = (I_{dH} + I_{DH})(a + b \frac{n}{N}) \quad (1:7)$$

där a och b är "statistiskt" bestämda faktorer; a är av storleksordningen 0,3 och b av storleksordningen 0,6. n är antalet soltimmar och N är det maximala anta-

Tabell 1-2 Direkt solinstrålning sommardag vid klar himmel mot horisontell yta

Solhöjd h°	Direkt solinstrålning, I_{DH} , mot horisontell yta W/m^2
2	174
6	391
10	514
14	605
20	713
30	811
40	863
50	893
60	912

Tabell 1-3 Diffus strålning vid klar himmel

Solhöjd h°	Diffus strålning I_{DH} mot horisontal yta under sommaren W/m^2
2	8
6	27
10	44
14	57
20	72
30	88
40	98
50	103
60	107

let soltimmar under den betraktade perioden.¹⁾
 En kontroll av Ångströms formel visar att den endast ger förhållandevis noggranna värden på den totala instrålningen, I_{tH} . I stället kan andra vägar användas; Page (1964) har pekat på en möjlighet, Norris (1968) på en annan. Här skall ytterligare en metod presenteras.

Ångströms metod

Ångströms ekvation (1:3) baserar sig på att den totala instrålningen mot en horisontell yta står i relation till antalet soltimmar, n , i förhållande till det maximalt möjliga antalet soltimmar, N , under perioden. Vid ett bestämt förhållande n/N skall detta enligt Ångströms ekvation leda till ett bestämt värde mellan den totala instrålningen I_{tH} mot en horisontell yta och den maximalt möjliga totala instrålningen, d v s instrålningen under klara dagar.

En närmare granskning av påståendet visar emellertid att det knappast är relevant. Under vintermånaderna är lufthavets vatteninnehåll väsentligt lägre än under sommarmånaderna. Härigenom - och genom att temperaturen också är lägre - kommer luftens absorption av solenergi att variera och likaså dess utstrålning. Konstanterna a och b i ekvation (1:3) blir därför beroende på luftens vatteninnehåll och då naturligtvis ej på luftfuktigheten vid den ort till vilken instrålningen skall bestämmas utan en *genomsnittlig luftfuktighet i den del av atmosfären den aktuella solstrålningen passerar*. Man kan därför förvänta sig stora avvikelser i konstanterna a och b mellan vinter- och sommarfallen. Detta visas exempelvis i bild 1/12 avseende förhållanden för Stockholm respektive Lund. För vintermånaderna, framförallt januari, mars och december avviker kvoten $I_{tH}/(I_{dH} + I_{DH})$ väsentligt från motsvarande värden för andra månader. svarande värden för andra månader.

1) Vanligen används ekvationen för bedömning av instrålningen under en lång tid, t ex en månad varvid I_{dH} och I_{DH} då avser summor för månaden.

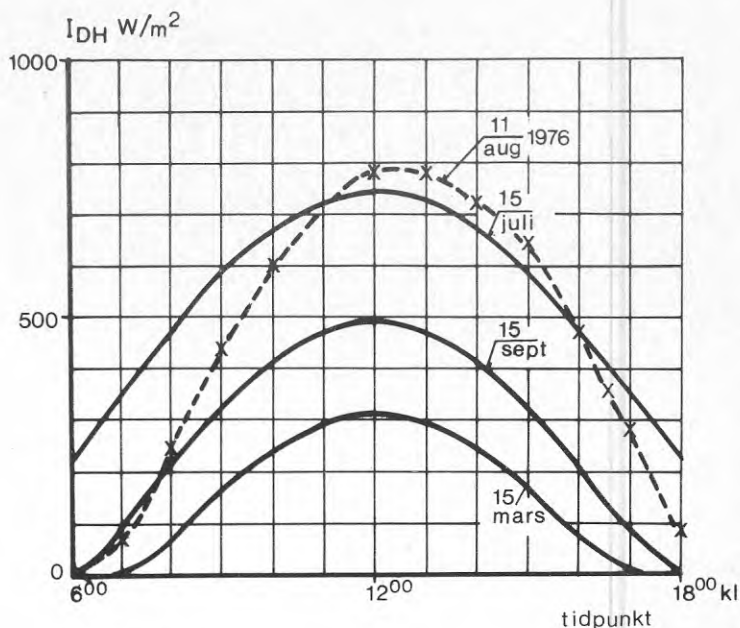


Bild 1/11

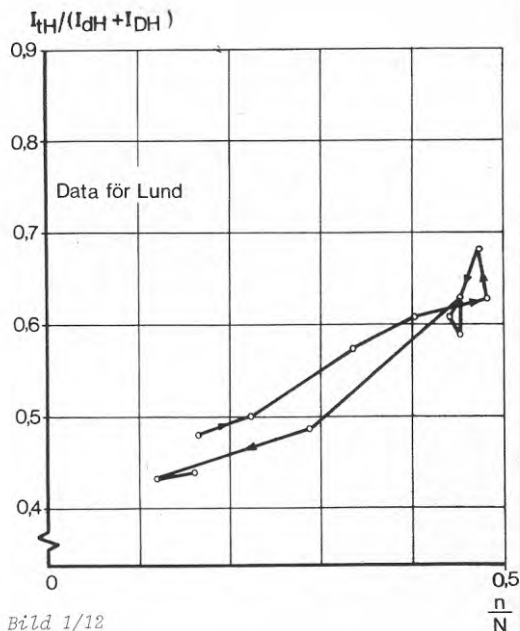
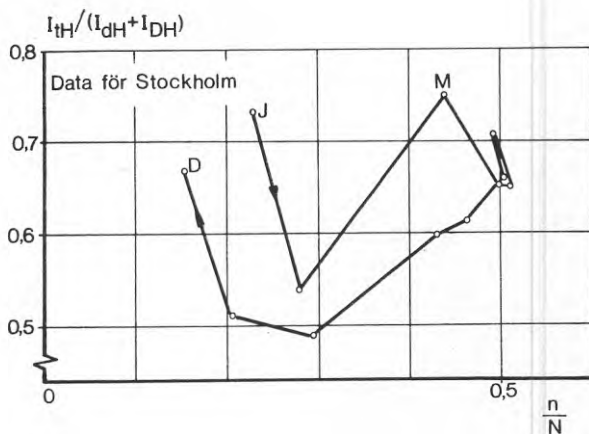


Bild 1/12

Pages metod

Page (1966) anger att den totala instrålningen kan beräknas av

$$I_{th} = I_0 (a' + b' \frac{n}{N}) \quad (1:8)$$

där a' och b' är andra konstanter än i Ångströms ekvation. I_0 är solstrålningen för den betraktade perioden men utanför atmosfären. Genom att välja den infallande maximala solstrålningen utanför atmosfären som referenseffekt kan man komma ur en svårighet, nämligen att bestämma vad som avses med en *klar dag*. Medan man i Ångströms formel är hänvisad till mer eller mindre oklara definitioner av detta begrepp undviker man problem helt i Pages ekvation. Fortfarande kvarstår dock att konstanterna a' och b' kommer att variera med atmosfärens temperatur och fuktighet. För olika orter får man värden på a' mellan 0,15 och 0,55 medan b' ligger mellan 0,1 och 0,7. Även här får man således stora variationer, främst beroende på de ovannämnda faktorerna och dessas värden för olika orter (nära kuster respektive inlands-klimat) m m.

Norris metod

Norris (1968) - liksom Lumb (1964) och Sharma et al (1965) - har försökt finna sammanhang mellan solinstrålningen I_{tH} och molnigheten. För den senare används de inom meteorologin vanliga angivelserna där molnighet uttrycks i åttondelar av himmelen.

Sambandet gavs en linjär form

$$I_{tH} = I_0 (a'' + b'' x) \quad (1:9)$$

där x är molnigheten (enhet åttondelar)

a'' och b'' är konstanter (den förra negativ).

Liksom de tidigare angivna ekvationerna kommer inflytandet av luftfuktighet och lufttemperatur att ge stora variationer mellan a och b för olika årstider. Den angivna metoden är dessutom osäker av ytterligare ett skäl nämligen att molnigheten är uttryckt som andel av hela himmelen. Molnigheten 1/8 motsvaras t ex av att man någonstans på himmelen finner ett moln. Detta moln behöver ingalunda påverka solinstrålningen på den aktuella orten. Korrelationer mellan molnighet och instrålning blir bl a av denna anledning mycket osäkra och bör knappast användas.

Verkningsgradsmetoden

Solinstrålningen under en längre period (säg en månad) mot en horisontell yta beror på den direkta instrålningen I_{DH} och den diffusa I_{dH} . För klara dagar är dessa förhållandevis välbestämda, se t ex bild 1/4, tab. 1-2 och tab. 1-3. För "medelförhållanden" är solstrålningen även uppmätt - bild 1/3 ger värden för tre orter. Denna medelstrålning \bar{I}_H utgör en viss andel, η , av den maximalt tänkbara:

$$\eta = \frac{\bar{I}_H}{I_{DH} + I_{dH}} \quad (1:10)$$

Liksom tidigare varierar η med luftfuktigheten och lufttemperaturen och i själva verket motsvaras η av uttrycket $a + b \frac{\eta}{N}$ i Ångströms ekvation. I stället för att här ange η på denna senare linjära form kan man lämpligen ange atmosfärens "verkningsgrad", (inkluderande molnighet, vattenhalt och lufttemperatur) som funktion av $(I_{DH} + I_{dH})$, d v s av den totala instrålningen under klara dagar. I bild 1/13 visas verkningsgraden grafiskt. För nära nog samtliga undersökta fall kan verkningsgraden bestämmas som

$$\eta = \eta_{min} + C \left[\ln \left(\frac{I_{DH} + I_{dH}}{I_0} \right) \right]^2 \pm 0,05 \quad (1:11)$$

där $\eta_{min} \approx 0,48$

$C \approx 0,088$

och $I_0 \approx 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ månad})$

Värden beräknade med ekvation (1:11) anges i bilden med heldragna respektive streckade linjer.

Kurvan har två grenar - den högra omfattar i stort sett sommarförhållanden, med höga värden på $I_{DH} + I_{dH}$. Solinstrålningen kan för dessa förhållanden relativt väl approximeras med Ångströms ekvation, se bild 1/12.

Den vänstra delen av kurvan i bild 1/13 omfattar i stort sett vinterhalvåret med låga instrålningar. Verkningsgraden stiger då till följd av den lägre vattenånghalten och temperaturen hos atmosfären.

Förhållandena vid lutande ytor blir något annorlunda.

Den del av instrålningen som härstammar från den direkta solinstrålningen kan beräknas enligt sid. 1:7, där även

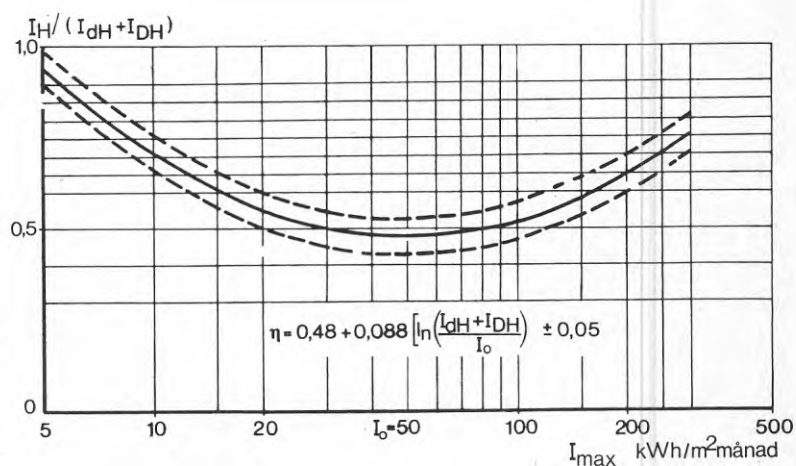


Bild 1/13

en överslagstabell för bedömning av den diffusa strålningen - himmelstrålningen - angivits.

Som framgår av detta avsnitt är beräkningarna tidsödande, speciellt då man skall genomföra dem manuellt. Enklare är därför att använda diagram över *medelinstrålningen mot lutande ytor*. Bild 1/14 visar ett sådant för Stockholm. Vid beräkningen av den maximalt instrålade effekten kan tabeller över instrålningen "klara dagar" användas. Sådana tabeller har publicerats av bl a Brown och Isfält (1969). För beräkningen av medelinstrålningen - vilken har betydelse för *energiupptagningen i en solfångare* kan diagrammet i bild 1/14 användas. Motsvarande värden för andra orter och lutningar hos solfångarna återfinnes i Isfält, Peterson och Ringblom (1977).¹⁾

Vid beräkningen av medelinstrålningen enligt ovan har hänsyn tagits till antalet soltimmar på respektive ort. Beräkningsmetoden anges i det nämnda arbetet. Självfallet är i detta sammanhang antalet klara dagar per månad en intressant storhet, se tabell 1-4. Man finner att denna storhet har *signifikant högre värde för vissa orter än för andra*. Detta är t ex fallet för Gävle där man under april - september har mellan 6 och 10 klara dagar per månad i medeltal medan man under motsvarande tid i t ex Stockholm endast har mellan 4 och 7 klara dagar. Andra städer med hög andel klara dagar är Väster-
vik och Umeå.

Som framgår av tabell 1-4, vari antalet mulna dagar för en rad orter visas, har Gävle endast få mulna dagar. Väster-
vik är något mindre gynnad och t ex Stockholm och Göteborg är städer med många mulna dagar.

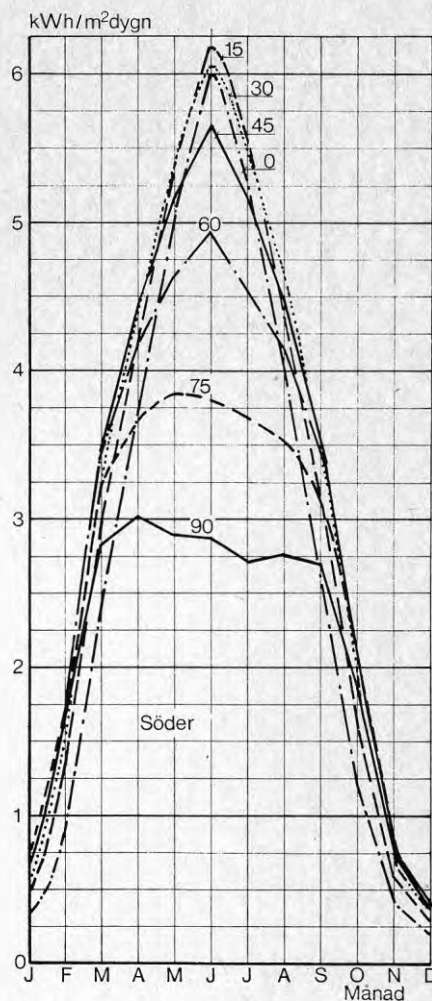


Bild 1/14 Medelinstrålningen mot en yta orienterad mot söder. Parameter är ytans lutning mot horisontalen.

¹⁾ under utgivning från Institutionen för Uppvärmnings- och ventilationsteknik

2 VARMVATTENBEREDARE

Värmning av förbrukningsvarmvatten med hjälp av solenergi är en av de ädsta tekniska användningarna solenergi fått.

Skälen till att varmvattenberedning troligen blir ett av de första kommersiella användningsområdena i Sverige är

- o varmvattenbehovet är relativt lika oavsett årstid, varför stora energibehov uppträder samtidigt som soltillgång.
- o apparaterna för varmvattenberedningen kan göras enkla, se bild 2/1
- o varmvattnet svarar för en förhållandevis stor del av energibehovet. För t ex ett radhus kan man anse att ca 25% av använd energi faller på varmvattenberedningen.

Sommartid är förlusterna från små oljeeldade anläggningar relativt stora. Detta beror på att de långa stilleståndsperioderna ökar genomströmningsförlusterna och därvid försämras pannans verkningsgrad. Detta medför att energikostnaderna för vattenvärmningar sommartid blir stora, vilket på ett gynnsamt sätt påverkar räntabiliteten för en varmvattenberedareinstallation som utnyttjar solenergi för värmning.

Som vi senare ska se blir investeringskostnaden för varmvattenberedare lägre per nyttjare vid flerfamiljshus än vid småhus. Orsaken härtill är främst att kostnaden för rördragning m m slås ut på få nyttjare vid småhustillämpningar.

Trots detta kan man förmoda att användningen av solenergi för varmvattenberedning i första hand slår igenom för villor, radhus och sommarhus, men även lantbruken kan få en snar användning av solvärt vatten. Skälen till att solenergi för varmvattenberedning i första hand kan komma att användas för småhus är

- o de ekonomiska konsekvenserna av eventuell energibesparing synes för den enskilde bättre vid egen värmecentral än annars.
- o tillgången på sol, lämpligt läge m m är större vid småhus än vid flerfamiljshus.
- o små system för enstaka hus kommer i varje fall under ett uppbyggnadsskede att vara enklare än större både vad gäller anpassningen till byggnad och utnyttjningen.
- o vissa användningar av solenergi är ännu ej ekonomiskt försvarbara. Sådana kan - trots detta - få tillämpning i enskilda fall.

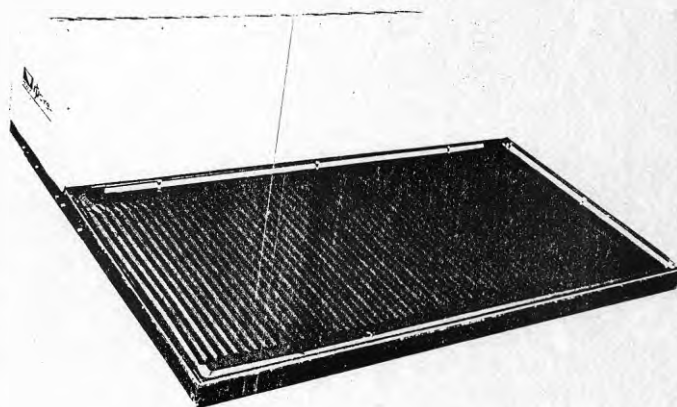


Bild 2/1 Brochyrblad från Yaaki cooperation, Japan.

2.1 Varmvattenberedarens uppbyggnad och funktion

En anläggning för varmvattenberedning, se bild 2/1, med hjälp av solenergi kan vara uppbyggd på en rad olika sätt. I bild 2/2 visas en anläggning byggd för själv-cirkulation. Från vattencisternens botten strömmar vatten med temperaturen θ_1 in i solfångarens nedre del. Vattnet värms i solfångaren till temperaturen θ_2 och förs in i cisternens övre del. I cisternen skiktas vattnet på ett sätt som antyds i bild 2/3 så att vattentemperaturen faller nära nog linjärt utefter cisternens höjd. Vid tappning av varmvatten, vilket sker från cisternens överdel, tillförs också kallvatten i underdelen. Systemet är enkelt och har följande fördelar:

- o Självreglering, dvs cirkulation i systemet, fås endast då vattnet värms i solfångaren. Nattetid eller då instrålningen av olika skäl är låg, avstannar eller minskar cirkulationen.
- o Systemet består av få komponenter med hög driftssäkerhet och lämpar sig därför för *tillämpningar* inom fritidssektorn.

Till systemets nackdelar hör att fångare och rör-system måste vara uppbyggda av material som icke påverkas så att vattenkvaliteten försämras. Lämpliga material är plast, aluminium, rostfritt stål och koppar, vilkas användningsområden dock begränsas av materialens livslängd och pris.

En annan nackdel är att systemet p g a frysrisk måste tömmas vintertid.

I bild 2/4 visas ett direkt system för pumpcirkulation. Detta system, där vattenflödet genom fångaren varierar betydligt mindre än vid det föregående systemet har fördelen att man blir oberoende av cisternens placering. För tillämpning i en villa kan således cisternen placeras i källaren och solfångaren på husets tak. Estetiskt mer tilltalande lösningar kan därför åstadkommas med detta system än med det föregående då även cisternen måste placeras på taket. Självfallet är placeringen av solfångaren på mark och cisternen i byggnaden eller direkt ovanför fångarelementet, se bild 2/1, också tänkbar.

Nackdelar med pumpsystemet är att pumpen måste styras m h t solinstrålningen. I bild 2/4 visas, som exempel på sådan styrning, en anordning där pumpen arbetar intermitternt som funktion av solinstrålningen, men självfallet kan man också låta temperaturdifferensen

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 \quad (2:1)$$

styra pumpen.

I bild 2/5 och 2/6 visas indirekta system. Här är den cirkulerande vätskan normalt ej vatten utan istället en vätskeblandning (t ex glykolvatten) med bättre frysegenskaper. Dessa system behöver därför inte tömmas vintertid och inte heller behöver solfångare och rörledningar utföras av tidigare nämnda material. Man kan

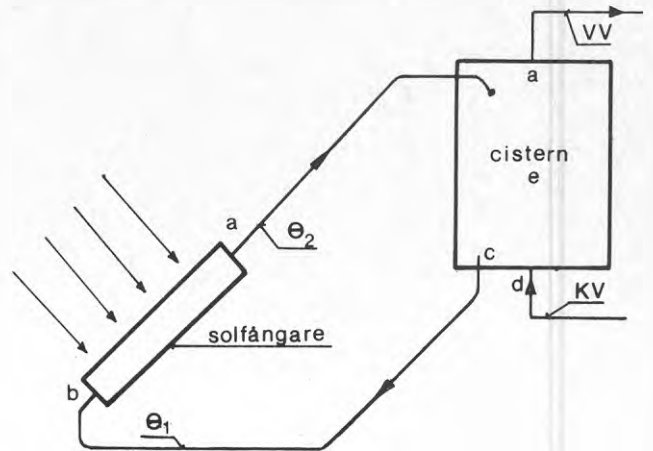


Bild 2/2

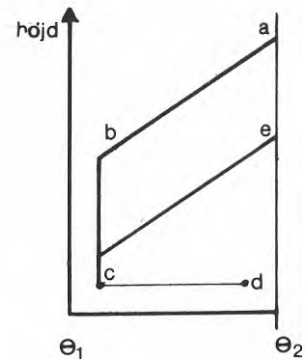


Bild 2/3

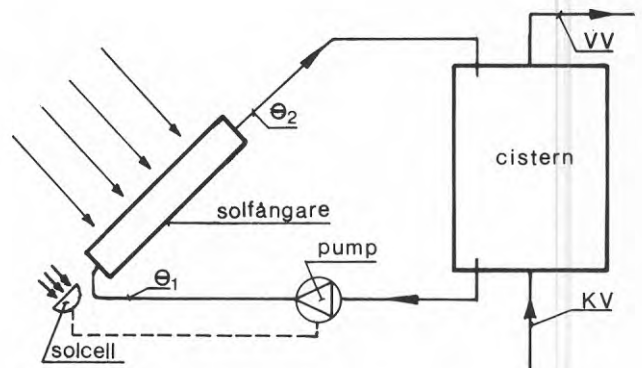


Bild 2/4

istället använda enklare stål eftersom en smärre korrosion ej påverkar vattenkvaliteten. Vidare är indirekta system ej påverkade på samma sätt av färskvattenpåfyllning som det direkta systemet. Som framgår av bild 2/5 och 2/6 innehåller de indirekta systemen en värmeväxlare. Temperaturökning

$$\Delta\theta = \theta_4 - \theta_3 \quad (2:2)$$

blir därför mindre än $\Delta\theta$.

En fördel hos de indirekta är att vattentrycket hos förbrukningsvattnet ej påverkar trycket i primärkretsen (solfångarkretsen). Denna kan därför utföras för väsentligt lägre tryck vid sådana system än vid direkta system där kallvattentrycket direkt blir avgörande för dimensioneringen av fångarelement och rörsystem.

2.1.1 Olika typer av solfångare

Solfångare kan utföras som koncentrerande solfångare eller plana solfångare, se bild 2/7 och 2/9. De koncentrerande solfångarna i bild 2/7 och 2/8 kan ge högre temperaturökning

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 \quad (2:3)$$

än vad som erhålls vid samma flöde per m^2 fångaryta vid de plana typerna enligt bild 2/1. De kan därför användas, då man snabbt vill höja vattnets temperatur eller om man vill höja vattnets temperatur förhållandevis högt.

I de plana typerna, bild 2/9 och 2/10 får man vanligen en måttlig temperaturökning - som vi senare skall få se normalt ca 40°C för svenska förhållanden - men naturligtvis bestäms den av vattenflödet och instrålningsförhållandena till fångarytan liksom dennas optiska egenskaper.

Den koncentrerande solfångaren i bild 2/7, i vilken visas ett enda segment av flera vilka tillsammans bildar hela solfångaren, består av ett rör genom vilket vatten strömmar samt en reflektor vilken koncentrerar den infallande strålningen mot röret. Det är ej nödvändigt att reflektorn är helt parabolisk eftersom röret har ändlig utsträckning. Fångaren bör täckas med ett glas för att förhindra att "damm" avsätts på polerade reflektorytan, vilket skulle sprida strålningen och minska den önskade energikoncentrationen.

Dammavsättningar på glasets minskar endast transmissionen med några få procent, se sidan 2:9. Solfångaren placeras som antytts i bilden med axeln horisontell och med glasningen i önskad lutning t ex $40-70^\circ$ mot horisontalen. Rören blir följaktligen horisontellt förlagda och vattencirkulationen måste därför ske med hjälp av pump.

Solfångaren i bild 2/8 består av en plan solfångare kompletterad med reflektoren (vilka kan vara utfällbara och nattetid tjäna som "fönsterluckor"). Effektiviteten räknad som upptagen värmeeffekt blir självfallet lägre än om man utfört fångarytan med en storlek motsvarande

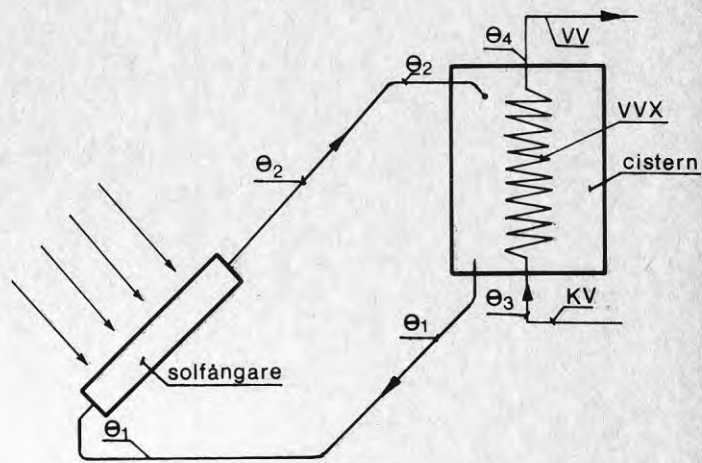


Bild 2/5

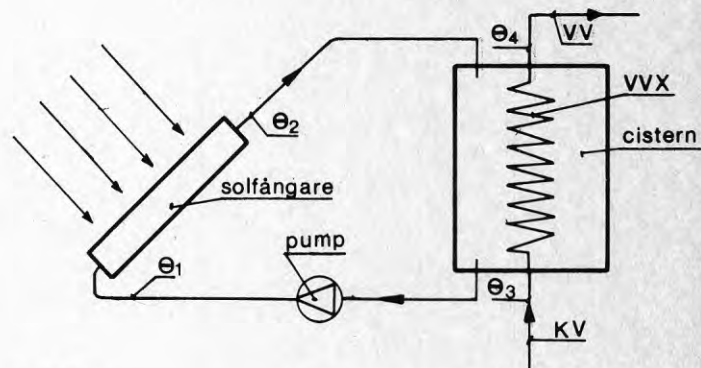


Bild 2/6

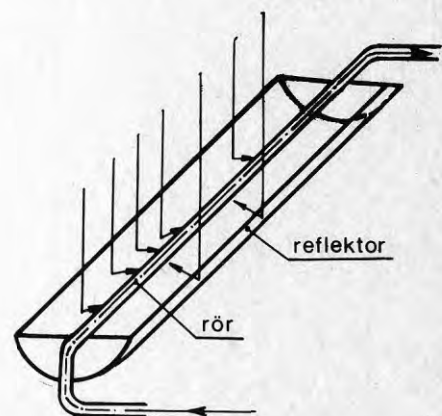


Bild 2/7

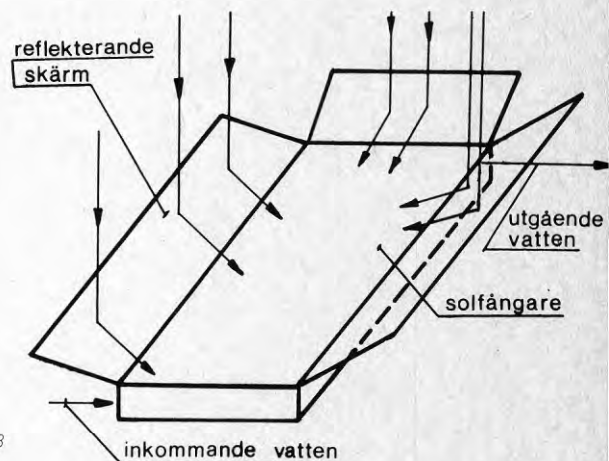


Bild 2/8

den med reflektorerna i utfällt läge. Materialkostnaden blir emellertid lägre och som nämnts vattentemperaturen högre.

2.1.2 Plana solfångare

Störst betydelse vid varmvattenberedning har den plana solfångaren.

- o Den plana solfångaren arbetar bra både vid direkt och diffus instrålning.
- o Den skiljer sig således här radikalt från koncentrerande solfångare, vilkas funktion bygger på att infallande solstrålning sker från klar himmel, dvs att man har direkt solstrålning.
- o Den plana solfångaren arbetar förhållandevis bra utan att solfångarytan riktas vinkelrätt mot solstrålningen. Koncentrerande solfångare däremot måste för att effektiviteten skall bli hög helst "följa solen", vilket drastiskt fördyrar konstruktioner och minskar driftssäkerheten. (Ett exempel på en solfångare där man ej följer solen men ändå kan få relativt god funktion visades i bild 2/7)
- o Den plana solfångaren är som senare skall visas enkel till sin konstruktion och därmed driftssäker och servicevänlig. Den ringa försämringen av värmeupptagningen, som en dammavstötning på glaset ger, skall jämföras med den fördömande inverkan på reflektions-egenskaperna som damm på en reflektor kan åstadkomma.

I bild 2/12 visas i vy en plan solfångare. Den består av

- o ett solfångarelement (1), vilket består av kanaler för vattnet, vilka förbinds med flänsar, se bild 2/12. Eventuellt är kanalerna (i form av rör) lödda mot en plåt, se bild 2/13a (flänsen) eller pressade fast i spår i plåten, se bild 2/13b. De kan också utgöra en del av plåten som i bild 2/13c eller 2/13d.
- o solfångarelementet är tillsammans med en isolering (3) förlagt i en låda (2). Isoleringen sträcker sig runt om elementet, se bild 2/12 och täcker dessutom solfångarelementets baksida. Isoleringens tjocklek och termiska egenskaper är avpassad till utomhusförhållanden och anläggningens ekonomi se avsnitt 2.5
- o lådan (2) tjänar till att skydda solfångaren mot mekanisk åverkan, men också till att skydda mot regn och annan väderlekspåverkan. För vissa tillämpningar kan lådan lämpligen utföras som en del av en byggnad (väggar,

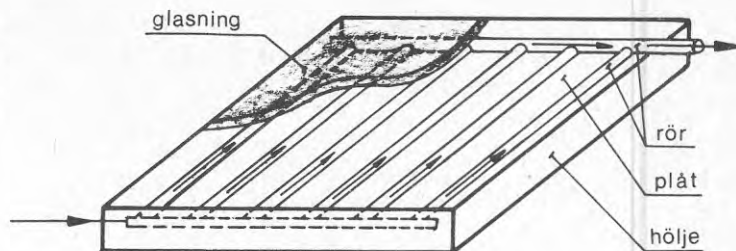


Bild 2/9

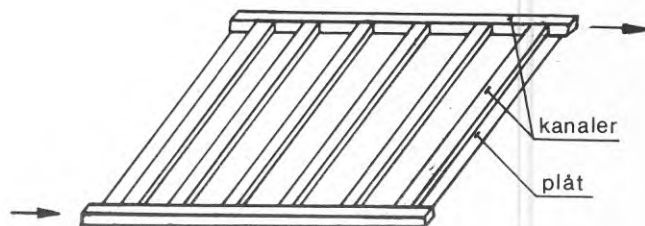


Bild 2/10

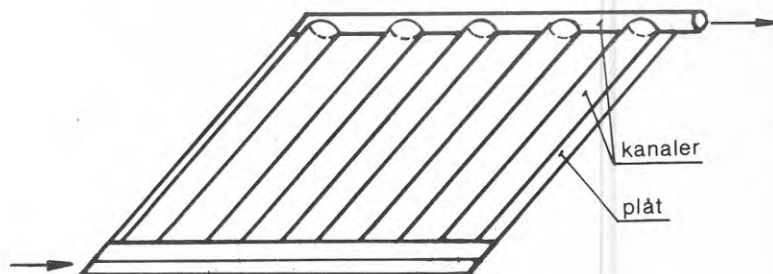


Bild 2/11

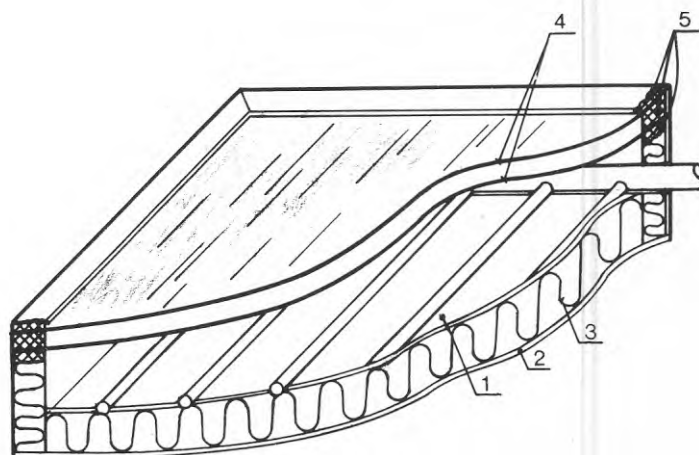


Bild 2/12

- 1 = absorbator
- 2 = hölje
- 3 = isolering
- 4 = glasrutor
- 5 = elastiska packningar

tak) och solfångarelementet med isoleringen som utbytbara kassetter, vilka läggs in i konstruktionen.

- o glasningen (4) består av en eller två skivor maskinglas (i vissa fall med ytbehandling). Normalt för Sverige är att glasningen utförs som tvåglasskikt med 10-20 mm glasavstånd. Man väljer i ett sådant fall ofta 3 mm glas, men ett glasutförande med 6 mm glas kan också förekomma. I avsnitt 2.1.3 skall vi se närmare på den beräkningsmässiga grunden till glasval och dimensionering av glasningen.
- o glasen hålls på plats (på ett sätt som tillåter termiska rörelser) av distansstyckena (5). Dessa skall utföras av elastiskt material (t ex skumgummi) med goda termiska åldringsegenskaper.

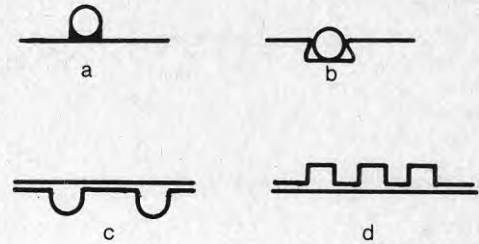


Bild 2/13

2.1.3 Glasningen

I det följande skall vi se närmare på de termiska egenskaperna för glasningen och också ge ett beräkningsunderlag lämpligt för solfångarens glasning.

I bild 2/14 visas schematiskt en glasningskonstruktion med två glas. Infallande strålning absorberas och reflekteras i de båda glasen och reduceras härigenom innan den når solfångarelementet. Solfångarelementet har en temperatur θ_f , vars storlek bestäms förutom av instrålningen av elementets konstruktion, vattentemperatur, vattenflöde m m. Mellan solfångarelementet och den inre glasrutan har luften temperaturen θ_i . De båda glasens temperatur är θ_1 resp. θ_2 . Luften mellan glasen har temperaturen θ'' och för fångaren är lufttemperaturen θ_u .

Nettotillförseln, q'_f , av energi till solfångaren bestäms som skillnaden mellan den reducerade infallande strålningen q' och förlusterna q_f genom glasningen (varvid bortses från förluster genom isolering och värmelagring i fångaren)

$$q'_f = q' - q_f \quad (2:4)$$

Förlusten q_f kan vid fortvarighet beskrivas antingen som förlusten av energi från fångarelementet till innersglaset eller som förlusten av energi mellan inre och yttre glaset och omgivningen, dvs

$$q_f = \frac{\theta_f - \theta_1}{m_f} \quad (2:5)$$

$$q_f = \frac{\theta_1 - \theta_2}{m_g} \quad (2:6)$$

$$q_f = \frac{\theta_2 - \theta_u}{m_u} \quad (2:7)$$

där m_f är det sammanlagda värmemotståndet (strålning och konvektion) mellan fångarelement och inre glasyta

m_g är värmemotståndet mellan glasen

m_u är värmemotståndet mellan yttre glaset

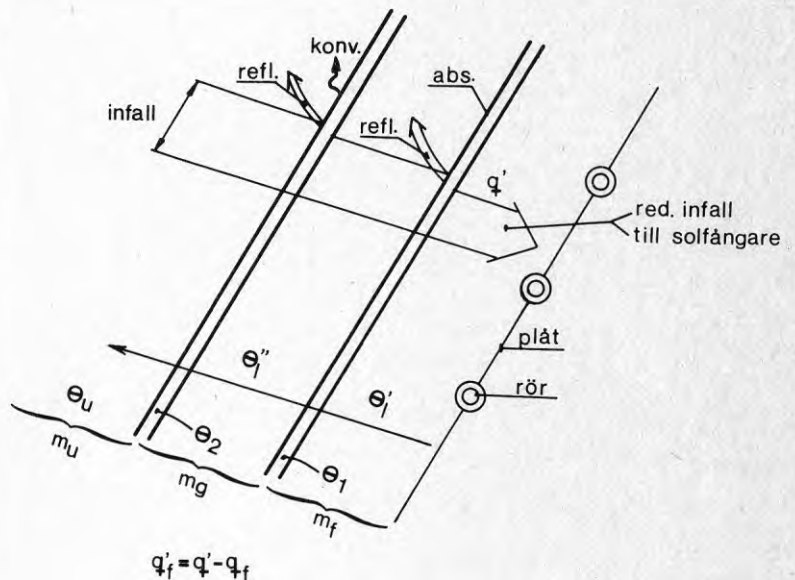


Bild 2/14

och omgivningen.

Storleken av dessa värmemotstånd visas i nedanstående sammanställningar.

Yttre värmemotståndet

Det yttre värmemotståndet m_u beror på vindhastighet m m. I bild (a) ges grafiskt storleken av m_u som funktion av vindstyrkan.

Spaltens värmemotstånd m_s

Spaltens värmemotstånd beror, som vi ser, på luftens värmemotstånd $\frac{\delta}{\lambda_f}$ och på värmeövergångstalet mellan de båda (glas)ytorna. För en beräkning av det måste man således känna den fiktiva värmeledningsförmågan λ_f och strålningskonstanten C för ytmaterialen.

Fiktiva värmeledningsförmågan

För det fiktiva värmeövergångstalet λ_f skall vi här använda uttrycket

$$\lambda_f = \text{största av} \begin{cases} \lambda \cdot 0,065 \cdot Gr^{1/3} \left(\frac{h}{\delta}\right)^{-1/9} \\ \lambda \end{cases}$$

För lodrät spalt, se Mull et al (1930).

Då solfångare utförs med lutning, se bild (b) gäller en korrektionskoefficient, k , bestående av

$$k_1 = 1 - 0,28 \frac{Y}{90}$$

se Dropkin et al (1965).

Av de i Gr ingående storheterna är v temperaturberoende, se bild (c).

Man kan härvid sätta

$$v = v_{20} \cdot \left(\frac{T}{293}\right)^{1,80}$$

där

$$T = (T_1 + T_2)/2$$

och

$$v_{20} = 15,11 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Vidare gäller för λ , se bild (d)

$$\lambda = \lambda_{20} \left(\frac{T}{293}\right)^{0,90}$$

där

$$\lambda_{20} = 0,026 \text{ W/m}^2\text{C}$$

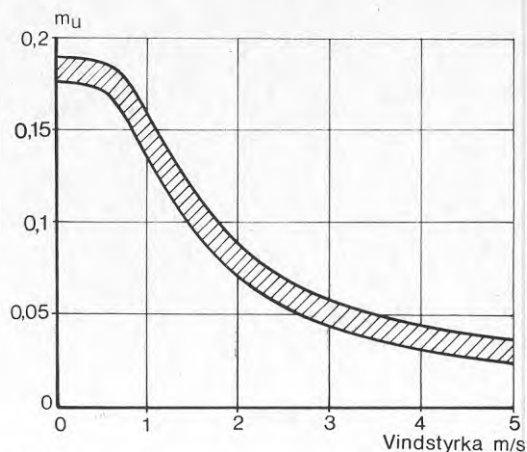


Bild a

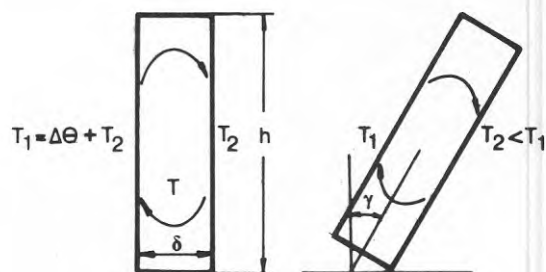


Bild b

Insättning i ekv ger

$$\frac{\lambda_f}{\delta} = 0,026 \left(\frac{T_1 + T_2}{2 \cdot 293}\right)^{0,90} \cdot 0,065 \cdot \left(\frac{9,81 \cdot (T_1 - T_2) \cdot 2 \cdot (2 \cdot 293)^{3,5}}{(T_1 + T_2)^{4,5} \cdot 15,11 \cdot 10^{-12}}\right)^{0,333} \left(\frac{h}{\delta}\right)^{-0,11}$$

eller

$$\frac{\lambda_f}{\delta} = 40 \left(\frac{h}{\delta}\right)^{-0,11} \frac{(T_1 - T_2)^{0,333}}{(T_1 + T_2)^{0,86}}$$

För de flesta plana solfångare kan man sätta

$$\frac{h}{\delta} = 25 - 75$$

vilket ger

$$\left(\frac{h}{\delta}\right)^{-0,11} = 0,70 - 0,62 = 0,65$$

och därmed

$$\frac{\lambda_f}{\delta} = \text{största av} \begin{cases} 26 \frac{(T_1 - T_2)^{0,33}}{(T_1 + T_2)^{0,86}} \\ \lambda/\delta \end{cases} \quad (2:8)$$

Värmemotståndet hos luftskikt

Värmemotståndet för ett "luftskikt" är

$$m_s = \frac{1}{\frac{\lambda_f}{\delta} + \alpha_s} \quad (2:9)$$

som med ekv (2:8) och annat uttryck för α_s ger

$$m_s = \frac{1}{0,333 + \frac{26}{(T_1+T_2)^{0,86}} + C^1 \left(\frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2} \right)} \quad (2:10)$$

eller

$$m_s = \frac{1}{\frac{\lambda_f}{\delta} + C^1 \left(\frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2} \right)} \quad (2:10a)$$

Värmemotståndet hos glasningen

Värmeflödet P genom glasningen kan beräknas från

$$P = \frac{\lambda_f}{\delta} (\theta_1 - \theta_2) + C^1 (T_1^4 - T_2^4) \quad \text{W/m}^2 \quad (2:11)$$

där P är värmeflödet per m^2 glasning

λ_f är värmeledningstalet för skiktet (oftast luft)
mellan glasen

δ är avståndet (m) mellan glasen

θ_1 och θ_2 är resp glasytas temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

T_1 och T_2 är resp ytas temperatur (K)

C^1 är gemensam konstant strålning för glasytorna

givet av

$$\frac{1}{C^1} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_s}$$

där C_1 och C_2 är resp ytas strålningskonstant¹⁾
 C_s är strålningskonstanten för en svart kropp

λ_f är luftskiktets fiktiva värmemotstånd.

Inför vi

$$\frac{C^1 (T_1^4 - T_2^4)}{T_1 - T_2} = \alpha_s$$

får vi

$$P = \left(\frac{\lambda_f}{\delta} + \alpha_s \right) (\theta_1 - \theta_2) = \frac{\theta_1 - \theta_2}{m_s} \quad (2:12)$$

där

$$m_s = \frac{1}{\frac{\lambda_f}{\delta} + \alpha_s}$$

är värmemotståndet för luftskiktet inklusive strålning.

För värmemotståndet, m_g , i glasen gäller

$$m_g = \frac{\delta}{\lambda_g}$$

där δ_g är glastjockleken (m), vanligen $3 \cdot 10^{-3}$ m

och λ_g är värmeledningstal för glas ($\sim 0,9$ W/m $^{\circ}\text{C}$).

1) Enhet 10^8 W/(m^2K^4)

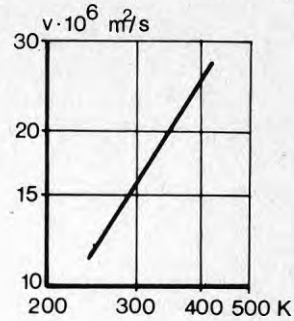


Bild c

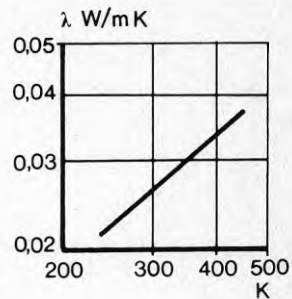


Bild d

Slutligen får vi med gränsskiktets värmemotstånd m_i och m_u på båda sidor om glasningen det totala värmemotståndet m_{tot} till

$$m_{tot} = m_u + \sum_{i=1}^i m_g + \sum_i m_g \quad (2:12a)$$

där i är antalet spalter¹⁾

1) Vid 2 glas fås 2 spalter!

2.1.3.1 Försmutsning av glas

Atmosfärens innehåll av damm medför att solfångarens yttre glasyta successivt försmutsas. Avbrott i försmutsningen, och i vissa fall en naturlig rengöring av ytan, får man vid regn, daggutfällning m m. Hur snabbt försmutsningen sker beror på en rad faktorer

- o uteluftens dammhalt, vilken varierar från ort till ort och under olika årstider.
- o dammens vidhäftningsförmåga liksom glasets vidhäftningsegenskaper.
- o vindriktning i förhållande till solfångarens yta.
- o glasets lutning mot horisontalen; ju mer glaset lutar desto mindre av sedimenterande damm avsätts (partiklarnas storleksfördelning har således betydelse).

Härav framgår att en beräkning av försmutsningens inverkan på solfångarens egenskaper endast är meningsfull i det fall inverkan är liten. Skulle inverkan vara stor måste - eftersom flera av ovan nämnda faktorer är av stokastisk natur - prov göras från fall till fall. Hittills gjorda undersökningar pekar lyckligtvis på att inverkan av försmutsningen är liten:

- o Hottel et al 1942 fann en minskning av solfångarens medelverkningsgrad med 1%.
- o Dietz 1963 fann värdet 5%.
- o Makovski et al anger värdet 7%.
- o Duffie et al 1975 anser värdet 2% lämpligt för beräkningar.

Garg, 1974, har närmare undersökt effekten av smuts på den yttre glasytan och anger sina resultat i grafisk form, se bild 2/17. I bilden visas transmissionen¹⁾ genom en glasyta, som funktion av tiden under vilket glaset utsatts för naturlig försmutsning. Parametern i bilden är glasets lutning mot horisontalen. För den rena glasytan var transmissionen 90%, och som framgår av bilden ändras knappast inte detta värde till följd av försmutsning om glaset är vertikalt. Är däremot glasytan horisontell (0° mot horisontalen) sjunker transmissionen för glas och smutslager tillsammans ner mot 30% efter en månad utan rengöring.

Från bild 2/17 och nedanstående tabell kan försmutsningens inverkan approximativt bestämmas. Det bör dock påpekas att värdena delvis erhållits från prov i atmosfär med annan dammhalt än vad som gäller för Sverige samt också att lokala fenomen - höga stofthalter i städer och industriområden - ej beaktats.

1) Transmissionen mätt vinkelrätt mot glasrutan.

2.1.3.2 Försmutsning - en förenklad modell

En förenklad teori som kan användas för att ge en kvalitativ beskrivning av smutsens inverkan har angivits av Peterson (1969).

Under en tidsrymd dt utfälls smuts på glasrutan i en sådan omfattning att smutsen kan täcka ytan dA av glasets ursprungliga yta A_0 . En del av smutspartiklarna fälls ut på andra, men en del fälls ut på rent glas. Utfällningen på rent glas, motsvarande ytan dS står i proportion till den rena glasytans storlek, $A_0 - S$, där S är den redan försmutsade glasytan. Antags sannolikheten för utfällning lika stor både för den rena och den smutsiga glasdelen gäller

$$\frac{dA}{A_0} = \frac{dS}{A_0 - S} \quad (2:13)$$

vidare kan man, i varje fall som en första appr., sätta

$$dA = A_0 k \cdot dt \quad (2:14)$$

där k är en konstant. Denna ekv. förutsätter att förändringar i avsättningen till följd av variationer i vindriktning eller luftens innehåll av stoft ej varierar inom den betraktade perioden. Införes (2:13) i (2:14) får vi efter integration

$$1 - \frac{S}{A_0} = \exp(-kt) \quad (2:15)$$

$\frac{S}{A_0}$ är som framgår av ovanstående den försmutsade glasandelen. Förutsätts dammet helt ogenomsläppligt för strålningen och bortser man dessutom från spridningsfenomen på dammpartiklarna vilket kan leda till att en viss del av den strålning som träffar damm kan föras in i solfångaren, är uttrycket

$$\tau_s = 1 - \frac{S}{A_0}$$

ett uttryck för transmissionen efter försmutsningen. Tillsammans med transmissionen τ_g för glaset ger den den resulterande transmissionen, τ_{res} , för solfångaren

$$\tau_{res} = \tau_g \cdot \tau_s = \tau_g \exp(-kt) \quad (2:16)$$

Denna förenklade teori gäller - som framgår av de ovan redan refererade försöksvärdena - ej för stora värden på τ . Orsaken härtill är som nämnts den självrengöring solfångaren är utsatt för till följd av regn och vind. För kortare perioder mellan sådana självrengöringar är emellertid uttrycket (2:16) användbart för en uppskattning av försmutsningens inverkan. I brist på data för Sverige skall vi här använda Gargs experimentella resultat för bestämning av konstanten k . Som redan inledningsvis antydde är k vid vertikal solfångaryta praktiskt taget noll. k kan bestämmas från ekvation (2:16) som

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{\tau_g}{\tau_{res, \tau}} \quad (2:17)$$

där $\tau_{res, \tau}$ är transmissionen efter tiden t och τ_g är glasets transmission = 0,9

För olika lutningsvinklar hos glaset och för $t = 20$

2.2 Ingående komponenter

En plan solfångare för värmning av tappvatten kan vara uppbyggd enligt bild 2/18. Den består av följande komponenter

- o *glasning*, som kan bestå av ett eller flera "glas" avsedda att minska värmeförlusterna genom transmission från den varma absorbdatorytan.
- o *absorbatorn*, vars uppgift är att absorbera så mycket som möjligt av den instrålade energin och avge denna till det värmeupptagande mediet.
- o *isoleringen*, som skyddar mot stora värmeförluster från solfångaren till omgivningen bakom absorbatorn.
- o *höljet*, vilket skyddar solfångaren mot väder och vind så att ej skador t. ex. i form av korrosion. Höljet ger också ett skydd mot att värmeförlusterna ökar orimligt vid blåst.
- o *stativ*, som ger solfångaren önskad lutning, vanligen med en vinkel lika med latituden $\pm 10^\circ$. Lutningen vägs i avsikt att fånga så mycket energi som möjligt. Fristående fångare måste oftast utföras med rörligt stativ. Ställningen bör tillverkas så att justering av lutningen kan ske beroende av årstid.

2.2.1 Glasningen

Tappvatten för disk, tvätt och bad bör hålla en temperatur av ca $40-45^\circ\text{C}$. För att en solfångare även under kalla dagar skall kunna värma vatten från ca 5 ä 10°C till 40 ä 45°C måste den förses med en glasning som gör att värmeförlusterna från absorbdatorytan blir små relativt de som skulle fås om ingen glasning funnes.

respektive 30 dagar får man härmed

Tabell 2-1

Lutningsvinkel mot horisont	k (dygn) ⁻¹ efter		
	20 d	30 d	medel
90°			0
60	0,0065	0,0065	0,0065
30	0,018	0,014	0,016
20	0,028	0,023	0,026
0	0,05	0,037	0,044

De erhållna medelvärdena kan läggas till grund för bestämning av α_{Tg} för plana solfångare med viss bestämd lutning och med olika rengöringsfrekvens, ΔT .

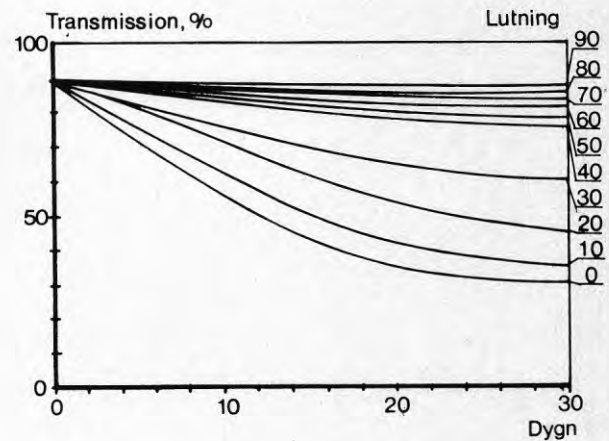


Bild 2/17 Transmissionen för glas vid vinkelrätt infall som funktion av antalet dygn glaset varit i smutsande atmosfär. Parameter är glasets lutning mot horisontalplanet.
Källa: Garg H. P. Solar Energy 15 (1974), No 4.

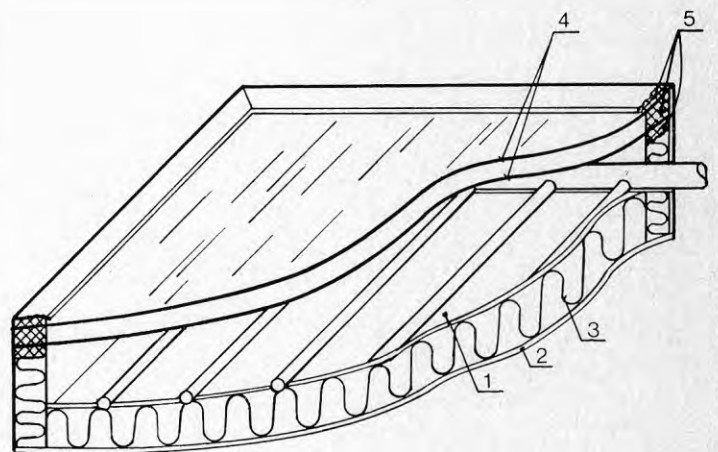


Bild 2/18
1 = absorbator
2 = hölje
3 = isolering
4 = glasrutor
5 = elastiska packningar

Samtidigt som värmeförlusterna minskar då en solfångare förses med glasning, så minskar också den strålningsenergi som träffar absorberytan. Flera rutor i en glasning ökar alltså inte automatiskt den nyttiggjorda energin hos en solfångare, utan i ogynnsamma fall kan en minskning fås. Till exempel kan ett sådant resultat fås om två rutor istället för en användes i glasningen till en solfångare med låg medeltemperatur på absorberytan.

Glasningen är den svagaste delen då det gäller värmeförluster till omgivningen och svarar för den största andelen värmeförluster i solfångaren. För att minska förlusterna används, då klimatet är kallt, två glas och ibland tre glas. Det har förut nämnts att glas ej transmittar långvågig temperaturstrålning (3-30 μm) men det sker hela tiden ett värmeutbyte mellan den inre glasytan och absorberytan. Glaset erhåller därvid en högre temperatur (vid solstrålning) än den omgivande uteluftens temperatur.

Glasningen kan utföras i olika material t.ex. glas eller plast. Kombinationer av flera material förekommer också. En glasning kan t.ex. bestå av en yttre yta bestående av glas och innaför denna en av plast i avsikt att göra glasningen billigare. Plasts lågaldensitet gör även att solfångaren blir lättare.

Fönsterglas, som med fördel kan användas för glasning till en solfångare, har en ljustransmission som är beroende av glasets halt av färgande oxider. I vanligt fönsterglas finns 0,05 - 0,15% järnoxid, Fe_2O_3 ; halten har, se bild 2/19, betydelse för transmissionen.

Som synes är transmissionen ca 80-90% inom det synliga området (0,38 - 0,78 μm) för fönsterglas med låg halt av Fe_2O_3 medan ökande halt medför en försämring av ljustransmissionen. Man kan observera att transmissionen för $\lambda \approx 0,6 \mu\text{m}$ (gult ljus) är nära lika för båda glastyperna.

Solstrålningen har en intensitet som varierar med våglängden enligt bild 2/20. Ur bilden framgår att ca 45% av energin faller inom det synliga området.

Det är således önskvärt att ha ett glas som har hög transmission inom det synliga området där solstrålningens energi är som störst, ett krav som vanligt fönsterglas väl uppfyller.

Den i bild 2/19 redovisade transmissionen gäller vid vinkelrätt infall mot glasytan. Vid annan infallsvinkel

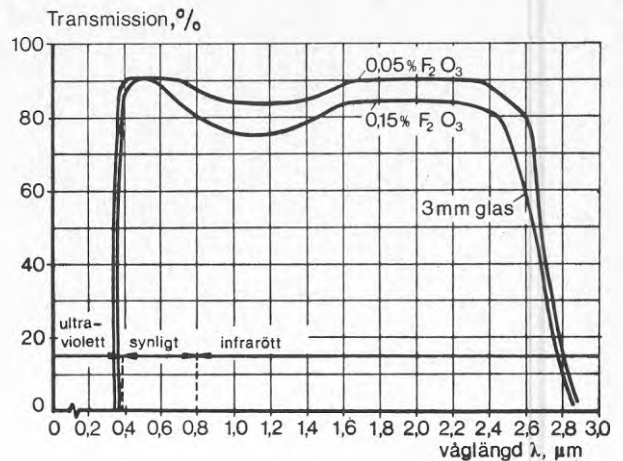


Bild 2/19 Transmissionen hos 3 mm fönsterglas med olika halt av Fe_2O_3 , vinkelrätt infall.

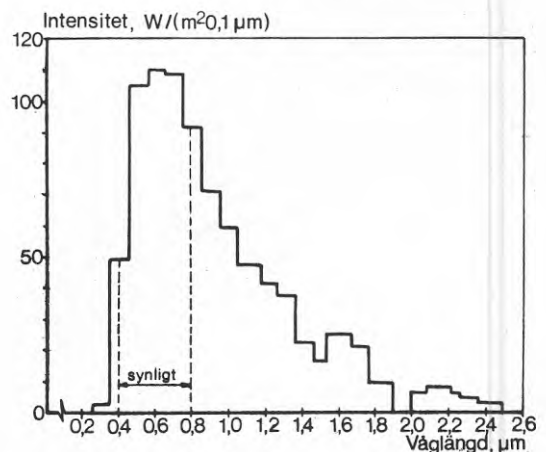


Bild 2/20 Solstrålningens intensitet som funktion av våglängden.

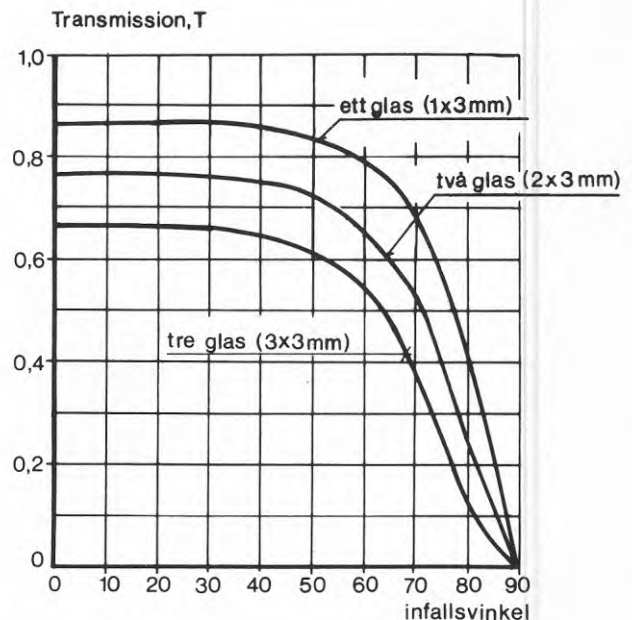


Bild 2/21 Transmissionen genom 3 mm fönsterglas som funktion av infallsvinkeln ($a \cdot s = 0,07$ för varje glas).

a = absorptionskoefficient för glasmassan m^{-1}
 s = tjocklek m

mot glaset ändras transmissionen främst till följd av ökad reflexion i glasytorna. I bild 2/21 visas ändringen med infallsvinkeln om glasningen är utförd med ett, två eller tre glas.

Av bild 2/22 framgår att transmissionen är i stort sett oberoende av infallsvinkeln om denna ej avviker alltför mycket från den vinkelräta. Det är först vid infallsvinklar av ca $40-50^\circ$ som en minskning i transmissionen börjar inträda. Vidare kan man se att kvoten T_1/T_2 där T_2 är transmissionen genom två glas och T_1 är transmissionen genom ett glas, är konstant för de visade kombinationerna inom motsvarande vinkelområde.

Inom hela området gäller

$$\frac{T_1}{T_2} > F_1$$

där F_1 är en storhet, som varierar med glasningens utförande.

Glasningen kan även utföras med plastmaterial, som har högre transmission av kortvågig strålning än glas, men också större transmission för långvågig strålning av vissa våglängden. I bild 2/23 visas transmissionen för några plastmaterial vid vinkelrätt infall.

För transmissionen till följd av långvågig strålning från absorbatoren, se avsnitt 2.3.1.

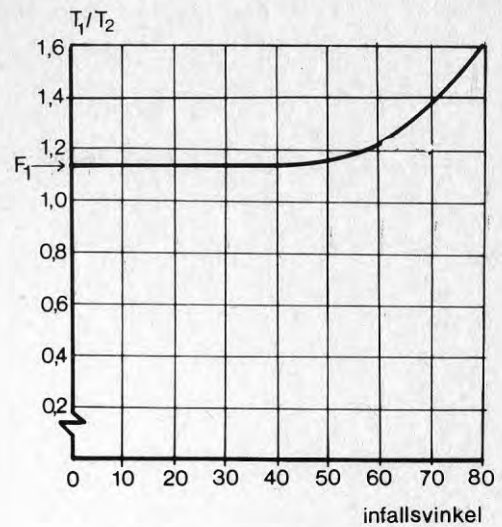


Bild 2/22

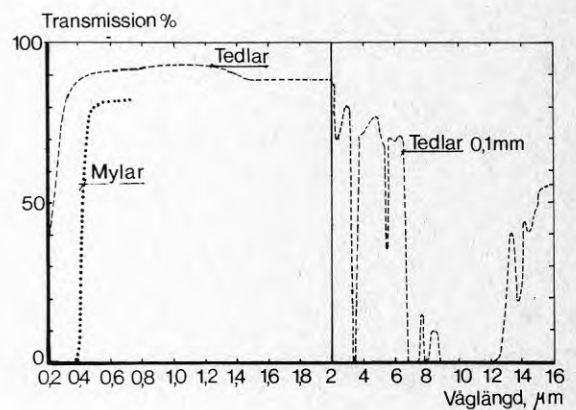


Bild 2/23

2.2 Absorbatorn

Den strålning som transmitteras av glasningen hos solfångaren träffar en absorбатыryta, där den till största delen omvandlas till värme. En mindre del av den infallande kortvågiga strålningen reflekteras dock. Absorbatorytans primära uppgift är att åstadkomma en så effektiv omvandling som möjligt och att avge lite värme genom strålning och konvektion till omgivningen samt slutligen att överföra så mycket som möjligt av den instrålade energin till det värmeupptagande mediet - i detta fall tappvattnet.

Reflektionen, i procent av infallande strålning, anges i bild 2/24 för monokromatisk strålning med vinkelrätt infall mot ytan.

I bild 2/25 visas exempel på hur en absorбатыryta kan vara uppbyggd.

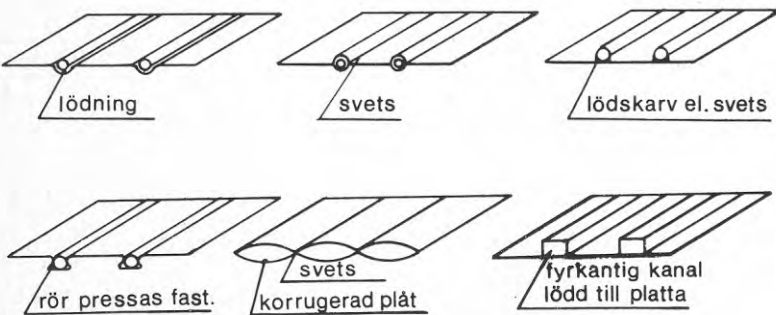


Bild 2/25. Exempel på utföranden av absorбатыrytan.

Material av olika slag kan användas i rör och plåtyta beroende på hur systemet i övrigt är uppbyggt.

För att absorptionen av den infallande strålningen skall bli så stor som möjligt behandlas plåtytan genom målning eller på annat sätt. Det vanligaste sättet att få en yta med stor absorption av kortvågig solstrålning är att måla ytan svart. I bild 2/26 visas hur absorptionen ändras med infallsvinkeln för en svartmålad yta. Som synes ändras absorptionen endast litet även vid ganska stora infallsvinklar och är också vid så stor vinkel som t.ex. 70° 0,82.

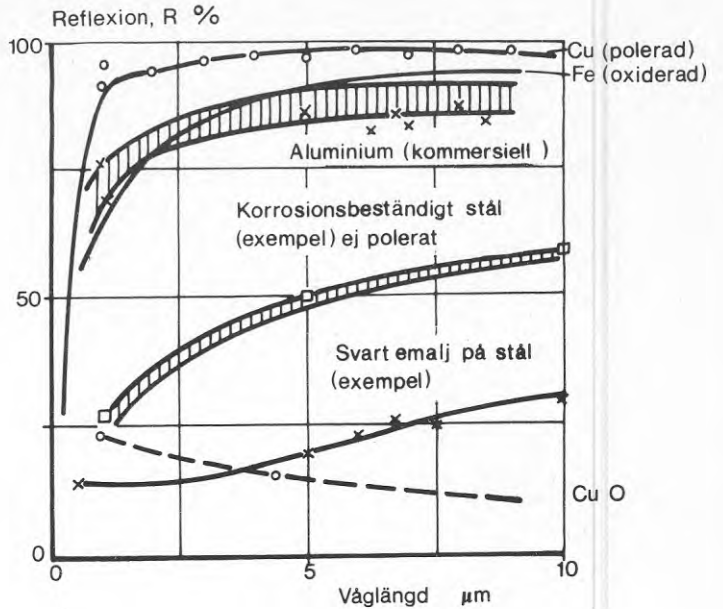


Bild 2/24. Reflektion av monokromatisk strålning med vinkelrätt infall mot ytan.

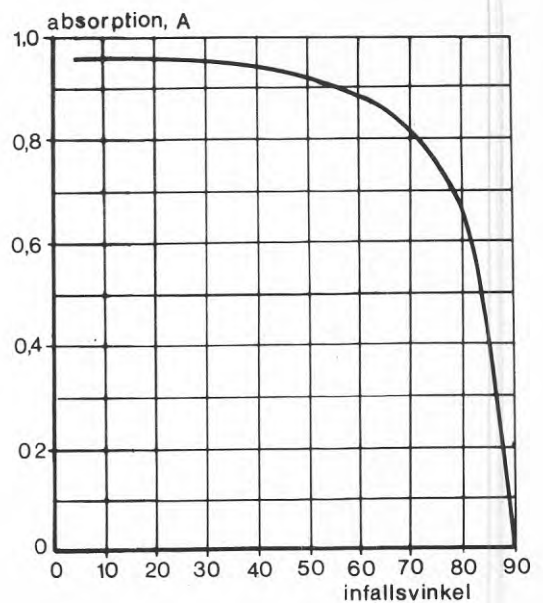


Bild 2/26. Absorptionen hos svart färg som funktion av infallsvinkeln.

2.2.3 Isoleringen

Temperaturer lämpliga för bad, tvätt och disk skulle ej kunna erhållas under dagar med utetemperatur ned mot 0°C om inte framför allt solfångarens baksida värmeisolerades.

Isoleringen består dels av den som anbringas på absorptorplåtens baksida men också isolering vid övriga ytor, kanter m m måste ske för att inte oönskade värmeförluster skall uppstå.

Som isoleringsmaterial kan användas de flesta i byggnadsbranschen förekommande typer av isolering för drifttemperaturer över ca 100°C . Drifttemperaturerna hos solfångare för varmvattenberedning är visserligen (eller bör inte vara) inte högre än vad som motsvarar ca 45°C hos vattnet ut från fångaren. Man får dock inte utesluta att det kan uppstå avbrott i flödet vilket kan ge temperaturer av över 100°C både i solfångare med en och två rutor i glasningen. Mineralull är ett lämpligt isoleringsmaterial som tål de temperaturer som kan uppstå i en solfångare för värmning av tappvatten.

2.3 Ingående granskning av komponenterna2.3.1 Glasningen

En solfångare för värmning av tappvatten måste som nämnts för att bli effektiv förses med en glasning. Denna kan bestå av ett eller flera glas. Även plastmaterial som ej förändras under inverkan av ultraviolettt strålning har använts.

Trots den utveckling som skett inom plastindustrin har ej något material, som har bättre egenskaper då det gäller att transmittera den kortvågiga solstrålningen och att "fånga" den långvågiga strålningen som sker från absorberytan, utvecklats. Vanligt fönsterglas anses fortfarande vara det material som är billigast och bäst då det gäller glasningen i en solfångare.

Ett eller två glas i glasningen väljs med hänsyn till de klimatförhållanden under vilka solfångaren skall arbeta, av vilken temperatur som önskas på det utgående vattnet och med hänsyn till ekonomin. En solfångare för värmning av vatten till en swimming-pool kan i många fall klara sig utan någon glasning eftersom en temperaturstegring på vattnet önskas som endast är några grader över utetemperatur. Likaså kanske en glasning bestående av ett glas räcker i en solfångare för varmvattenberedning i en sommarstuga om man ej ställer samma krav på komfort som i t. ex en installation i en permanent bostad. Dessutom är utetemperatur ofta så hög under den tid man utnyttjar installationen i sommarstugan att värmeförlusten ej blir besvärande stor. Det råder således en viss omgivningstemperatur där ett glas är bättre än två. Beaktas bör att transmissionen genom ett glas är större än genom två glas.

I bild 2/27 och 2/28 visas verkningsgraden för en solfångare med ett och två glas och där absorberatorn målats med mörk oljefärg. Beräkningen är förenklad såtillvida att endast förlusten genom glasningen har medtagits i beräkningen av verkningsgraden. Dessutom har transmissionsfaktorn, T , satts konstant. Denna varierar med strålningens infallsvinkel som framgår av bild 2/21 men är ca 0,87 för ett glas upp till infallsvinklar av 40° och ca 0,77 för två glas upp till infallsvinklar av 30° . Även absorptionsfaktorn, A , för oljefärg varierar med infallsvinkel, se bild 2/26, och är ca 0,95 upp till infallsvinklar av 30° .

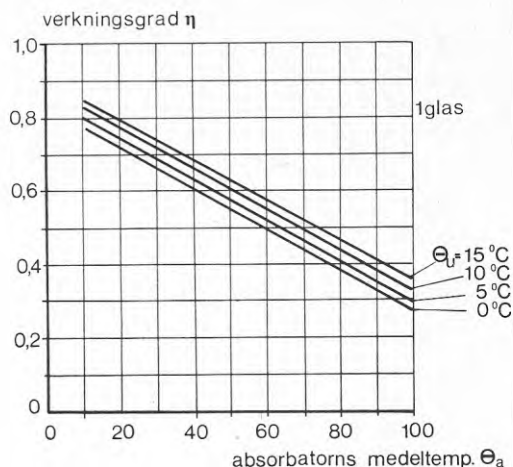


Bild 2/27 Verkningsgraden för en solfångare med en ruta i glasningen som funktion av absorbatorns medeltemperatur och med utetemperaturen som parameter.
Intensitet $I_i = 1000 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$

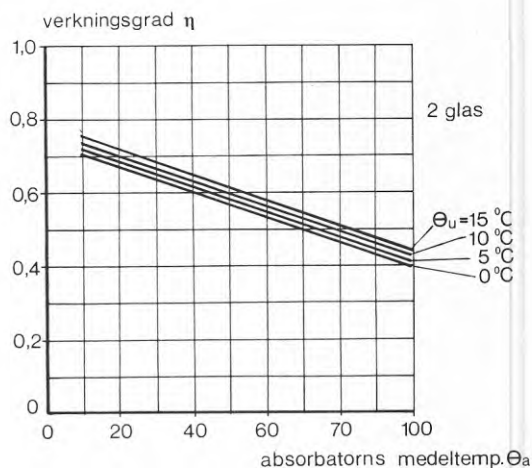


Bild 2/28 Verkningsgraden för en solfångare med två rutor i glasningen som funktion av absorbatorns medeltemperatur och med utetemperaturen som parameter.
Intensitet $I_i = 1000 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$

Verkningsgraden, η , bestäms (approximativt) av

$$\eta = \frac{T \cdot A \cdot I_i - k(\theta_a - \theta_u)}{I_i} \quad (2:20)$$

där T = glasets transmission

A = plåtens absorptionsfaktor

k = glasningens k -värde

I_i = instrålad intensitet

θ_a = absorbdatorytan medeltemperatur

θ_u = utetemperatur.

Som framgår av bild 2/27 är verkningsgraden, η , för en solfångare med 1 glas vid 20°C temperatur på absorbdatorytan ca 0,79 medan 2 glas ger $\eta = 0,71$. Vid en absorbdortemperatur $\theta_a = 40^\circ\text{C}$ är verkningsgraden fortfarande bättre för en solfångare med 1 glas ($\eta_1 \text{ glas} = 0,68$, $\eta_2 \text{ glas} = 0,65$) om utetemperaturen är $\theta_u = 15^\circ\text{C}$. Vid en utetemperatur $\theta_u = 0^\circ\text{C}$ är verkningsgraden lika med 0,60.

Det framgår av bild 2/27 och 2/28 att om solfångaren skall värma vatten även under dagar då utetemperaturen är låg är det önskvärt att man förser solfångaren med två glas. Även då högre temperatur önskas på vattnet är det lämpligt att förse solfångaren med två glas.

Med stöd av bild 2/27 och 2/28 synes det för en solfångare som endast användes under månaderna juni - augusti, då medeltemperaturen under dagen (8.00 - 18.00) är över 15°C, att endast ett glas är motiverat i glasningen. Dessutom kan man notera att 40°C är en ganska hög medeltemperatur på absorbdatorytan. Om medeltemperaturen beräknas enligt

$$\theta_{am} = \frac{\theta_{au} + \theta_{ai}}{2} \quad (2:21)$$

där θ_{au} = utgående vattnets temperatur

θ_{ai} = inkommande vattnets temperatur,

så ger $\theta_{am} = 40^\circ\text{C}$ en utgående temperatur av $\theta_{au} = 70^\circ\text{C}$ om θ_{ai} sättes till 10°C. Här har som synes ej någon hänsyn tagits till det temperaturfall som sker i rörväggarna. En temperatur av $\theta_{au} = 70^\circ\text{C}$ är hög och vid lägre temperatur hos utgående vattnet erhålles en lägre medeltemperatur på absorbdatorytan varvid ett glas ytterligare motiveras. En solfångare för varmvattenberedning med en glasning bestående av 3 glas synes ej vara motiverad vid de temperaturer, som det här rör sig om.

Glasningen i en fristående solfångare utförs med en ram. Materialet i ramen väljs beroende på materialet i höljet. Höljet utgör nämligen vid detta utförande fäste för fönsterramen. Är höljet utfört i trä ligger det nära till hands att även använda trä i glasningens ram, se bild 2/29.

En solfångare, som används för att värma vatten i ett fritidshus under sommarmånaderna, kan lämpligen utföras med ett hölje av trä eftersom den ej kan förväntas bli utsatt för samma klimatförhållanden som en använd vid en permanentbostad. Vid en installation i t.ex. en villa får man räkna med att en solfångare är i drift under tiden mars - oktober samt att den är en permanent installation, som ej monteras ned under vinterhalvåret utan även utsätts för vinterväderlek. En solfångare i ett fritidshus, som är inkopplad endast under juni till augusti kan monteras ned under vinterhalvåret. Givetvis måste en solfångare med ett hölje av trä skyddas mot röta genom målning eller annan form av impregnering.

För en permanent installerad solfångare som är tänkt att fungera under större delen av året bör man använda ett material, som är mer beständigt mot väder och vind i höljet och som ej fordrar ofta återkommande underhåll i form av målning m m. Aluminium, som dessutom har den fördelen att vara lätt, kan med fördel användas.

Denna längre utnyttjningstid som fås vid t.ex. en villa gör att väderleken, som solfångaren kan tänkas bli utsatt för, är mera skiftande och framför allt kommer det att under en stor del av tiden - solfångaren tänkes vara i drift under tiden 1 mars - 31 oktober - råda en temperatur utomhus, som motiverar en glasning med två rutor. I bild 2/30 visas hur en sådan kan utföras.

Under normala driftförhållanden råder över glasningen i en solfångare ungefär samma temperaturdifferens som vintertid över fönster. Under sådana betingelser uppstår ej några problem med glasningen men under icke ordinära omständigheter, som till exempel vid avbrott i vattencirkulationen, kan temperaturförhållanden uppstå som gör att vissa hänsyn måste tas vid utformningen av glasningen. Vid avbrott i vattencirkulationen kan temperaturer på ca 100°C uppnås på absorbatorytan och detta medför att även det närliggande glaset uppnår en hög

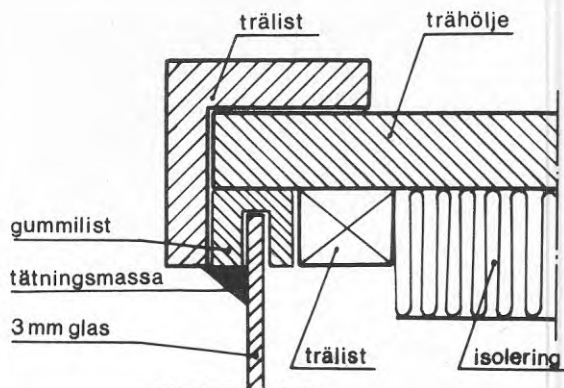


Bild 2/29 Infästning av glasning i enkel solfångare.

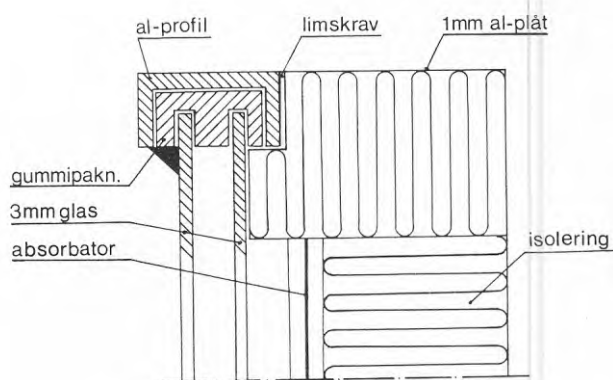


Bild 2/30 Glasning med två glas.

temperatur. I ett flertal fall har detta resulterat i att det innersta glaset - om en glasning bestående av två glas tänkes vara monterad - brustit på grund av för höga påkänningar. Vanligt glas har en längdutvidgningskoefficient som är

$$\rho_{glas} = 0,8 \cdot 10^{-5} \text{ (m/K)}$$

Vid ett glas $1 \times 1 \text{ m}^2$ och om en övertemperatur på 60 K antages blir längdutvidgningen i diagonalens riktning

$$\rho = \alpha_{glas} \cdot L \cdot \Delta\theta$$

$$\rho = 0,8 \cdot 10^{-5} \cdot 1,41 \cdot 60 = 68 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,68 \text{ mm}$$

Man får således en utvidgning på ca 0,7 mm vilket i och för sig kan tyckas vara lite, men som vid en stum infästning kan förorsaka en spricka i glaset.

I vanliga fönster används ofta så kallade isolerglas, i vilka utrymmet mellan glasen evakuerats på luft för att öka isoleringen. Glasen i isolerglasen limmas ofta till en aluminiumprofil, som tjänstgör som distansklot mellan glasen. Denna limskarv kan då olyckliga omständigheter råder utsättas för påfrestningar p g a olika temperatur hos glasrutorna. Den inre glasytan blir i en solfångare betydligt varmare än det yttre glaset och utvidgas mer. Under normala temperaturbetingelser liknande de, som råder vid fönster uppstår ej några problem.

Vid avbrott i vattencirkulationen och samtidig stark solstrålning kan problem i form av spänningar uppkomma i isolerglasrutor pga stora temperaturdifferenser.

En glasning i en solfångare bör därför utföras så att glaset eller glasen har möjlighet till att expandera. Detta innebär att vid en glasning bestående av två glas en sämre värmeisolering erhålles eftersom det under dessa betingelser ställer sig svårt att åstadkomma evakuering av utrymmet mellan glasen. Risk finns att det uppstår kondens i utrymmet mellan rutorna med försämring av glasningens förmåga att transmitta solstrålning som följd.

Kondensen, som uppstår t.ex. på glasinnerytan, utfälls från den luft som finns i solfångaren. Luften tränger in i utrymmet innanför glasning och hölje genom otäteter t.ex. vid rörgenomföringen vid inlopp och utlopp. Under dagtid värmes även luften i utrymmet mellan glas

och absorbdatoryta. Även luft i isoleringsmaterial - om nu ett sådant med hög porositet användes - värms och trycket i solfångaren stiger. Luft strömmar då ut genom otätheter i hölje och glasning. Vid avkylning av solfångaren minskar trycket i solfångaren varvid luft sugas in samma väg som den förut tryckts ut. Det sker alltså ett utbyte av luft med omgivningen och på detta sätt kan luft med hög relativ fuktighet transporteras in i solfångaren och ge upphov till kondens.

Kondens i glasningen hos en solfångare medför således att verkningsgraden hos denna blir sämre. Ett sätt att undvika att vatten fälls ut i glasningen är att placera något ämne som upptar fukt i glasningen. Selica-gel är ett sådant ämne.

Det kan vara intressant att veta hur stor energi som åtgår till att förångna en kondensutfällning. Som exempel väljes 1 m^2 fönsteryta och vidare antages att kondensfilmens tjocklek är 0,5 mm.

$$W = m \cdot r = 0,5 \cdot 2500 \text{ (kJ)} = 1250 \text{ kJ} \approx 350 \text{ Wh}$$

$$m = 0,5 \cdot 1 = 0,5 \text{ kg.}$$

$$r = \text{ångbildningsvärme för vatten}$$

Detta värde, 350 Wh, är endast den energi som fordras för att förångna vattnet. Detta motsvarar uppvärmningen av ca 8,5 l vatten från $10 - 45^\circ\text{C}$.

Totalt instrålar genom två glas med 90° lutning mot horisontalen under en klar dag i april månad då solfångaren är vänd mot söder ca $6400 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \text{ dygn})$. I en sådan solfångare skulle ca $350/6400 = 5\%$ av den energi som träffar absorbdatorytan gå åt till att förångna kondensvatten. Det är därför viktigt att åtgärder vidtages så att kondens ej uppstår i en glasning.

Energitransporten från en varm absorbdatoryta genom glasningen sker huvudsakligen genom konvektion och strålning. Den långvågiga strålningen transmitteras ej genom glas utan en uppvärmning av den inre glasytan sker. Denna värmetransport är ej beroende av avståndet mellan absorbdatorytan och den inre glasytan i lika hög grad som värmeutbytet genom konvektion. Avståndet mellan absorbdatorytan och glasytan inverkar på värmemotståndet. Allmänt gäller att då luftspalten är 20 mm och större så är värmemotståndets ändring relativt liten jämfört med den ändring som sker då spalten ändras vid mindre avstånd mellan ytorna. Från värmeteknisk synpunkt är

det således önskvärt att luftspalten mellan inre glasytan och absorbdatorytan är ca 20 mm.

Ett annat önskemål är att den ram, i vilken glasningen är fäst ej får sticka upp över absorbdatorytan mer än nödvändigt med hänsyn till skuggning av absorbdatorytan vid infallsvinklar nära 90°. I bild 2/31 visas hur skuggning av absorbdatorytan uppstår.

Av bild 2/31 framgår hur viktigt det är att avståndet mellan absorbdatorytan och glasinnerytan är så litet som praktiskt och tekniskt är försvarbart.¹⁾

Skuggningseffekten är mindre vid en glasning bestående av ett glas än en bestående av flera glas.

Det faktum att glasningen med nödvändighet måste monteras på ett visst avstånd från absorbdatorytan ger upphov till att en viss sträcka uppstår vid höljet, som måste isoleras om inte onödigt stora värmeförluster skall erhållas, se bild (2/32).

Om detta område, se bild 2/32, lämnas oisolerat och höljet består av ett material med stort värmeledningstal så kommer detta att verka som en kylfläns genom vilken värme avges till omgivningen.

Storleksordningen på denna värmeförlust, om man förutsätter 1 cm oisolerad yta och försummar motståndet till följd av ledning i höljet, är:

$$P = \frac{\alpha_z \cdot \alpha_u}{\alpha_z + \alpha_u} \cdot A \cdot \Delta\theta = \frac{105}{22} \cdot (4 \cdot 0,01) \cdot 40 \approx 7 \text{ W/(m}^2\text{)}$$

solfångaryta)

$$\text{där } \alpha_z = 7 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$\alpha_u = 15 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$\Delta\theta = 40 \text{ K}$$

$$A = 4 \cdot 0,01 \text{ m}^2$$

I det föregående har glasning antagits bestå av ett eller två fönsterglas.

Sedan lång tid tillbaka har ansträngningar gjorts för att finna ett material som kan ersätta glaset i en solfångare. Ansträngningarna har först och främst gällt att få fram material, som transmitterar större del av den infallande solstrålningen men samtidigt har låg transmission av långvågig strålning. Ett annat önskemål har varit att göra solfångaren lättare samt, inte minst, billigare, men fortfarande tålig mot väder och vind.

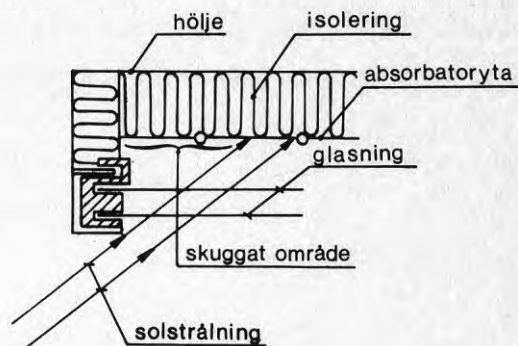


Bild 2/31

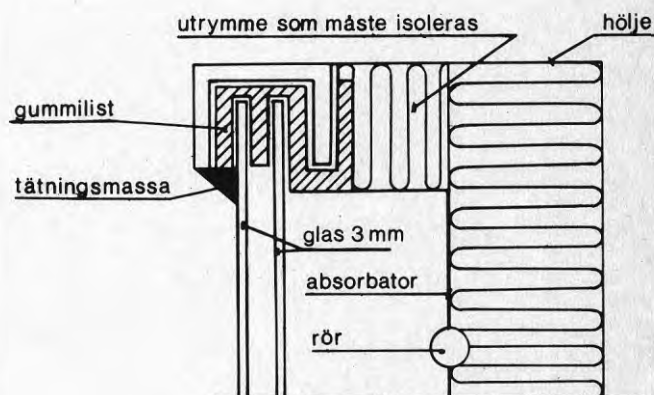


Bild 2/32

1) Obs att värmemotståndet är avståndsberoende se sid. 2:7.

Plastmaterial av olika sammansättning har provats i ett antal undersökningar; resultaten har inte enbart varit till plastmaterialens fördel.

Plasten har ofta en transmission av solstrålning som är överlägsen glasets. Det är främst mindre reflexion samt den till följd av den mindre tjockleken minskade absorptionen hos plast, som ger detta resultat. Som exempel kan nämnas att en Teflonfilm av 25 μm tjocklek har en transmissionsfaktor på 0,97 medan motsvarande värde för en lika tjock film med produktnamnet Tedlar har transmissionsfaktorn 0,94. Ett fönsterglas av 3 mm tjocklek har en transmissionskoefficient på ca 0,87. Nackdelen med plasterna är att de även transmittar långvågig strålning av viss våglängd för vilken glas är så gott som ogenomskinlig. Därigenom går den så kallade "drivhuseffekten" i stort om intet. Som exempel kan nämnas att tunn polyetylenfilm transmittar 86% av den strålning som emitteras från en kropp med 100°C temperatur. Samma värde för en 12,5 μm teflonfilm var 76%. Bild 2/33 visar hur transmissionen av långvågig strålning som funktion av absorberoytans temperatur för en 0,1 mm tjock plastfilm av märket Tedlar. I bild 2/34 visas motsvarande värden för ett 3 mm tjockt glas med låg järnhalt.

Som framgår av bild 2/33 transmittar plastfilmen ca 30% av den långvågiga strålningen vid de temperaturer som är aktuella för absorberoytan i en solfångare för varmvattenberedning. Glas däremot, se bild 2/34, har en transmission som är mindre än 1% för det aktuella temperaturintervallet.

Även sådana egenskaper som förmåga att motstå mekaniska påkänningar måste värderas vid val av material i glasningen till en solfångare. För plastmaterial gäller, att de är mer elastiska än glas och kan därför förmodas bättre tåla mekaniska påkänningar, som kan uppstå. Vidare har plastmaterialens förmåga att tåla höga temperaturer utan att undergå formförändring, samt deras tålighet att utstå ultraviolettt solljus stor betydelse vid valet av material. "Livslängden" har undersökts i ett antal experiment. Från amerikansk sida anger man den beräknade livslängden till

- 20 år för Teflon-film
- 9 år för Tedlar-film
- 4 år för Mylar-film.

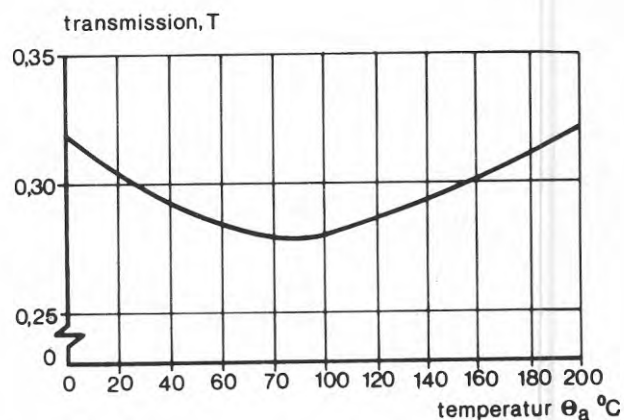


Bild 2/33 Transmissionen hos en 0,1 mm tjock plastfilm, Tedlar, som funktion av temperaturen hos den värmda ytan.

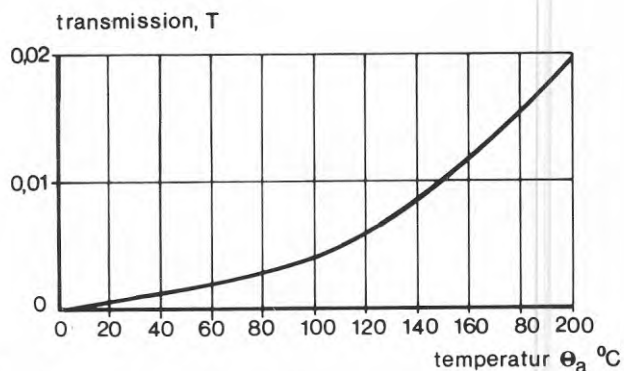


Bild 2/34 Transmissionen hos ett 3 mm tjockt glas som funktion av temperaturen hos den värmda ytan.

Dessa värden grundar sig på prov som gjorts under väderleksbetingelser motsvarande sommarfallet (juli).

Undersökningarna har också visat att plastmaterial kan bli elektriskt laddade (statisk elektricitet) varvid dammpartiklar m m kan attraheras med en större smutsning än den vid vanligt glas som följd.

Då en glasning av plastmaterial används sker, som redan nämnts, en förlust i energi genom att vissa långvågiga delar av spektrumet transmitteras från absorbatoren och ut till omgivningen.

Denna olägenhet kan man eventuellt bemästra genom en kombination av glas- och plastmaterial i glasningen. Glaset placeras då oftast ytterst med hänsyn till den större beständighet mot påkänningar av olika slag. Dessutom utestänger glaset solens ultravioletta strålar, bild 2/19, och skyddar på så sätt det känsligare plastmaterialet, selektiva ytor m m.

I bild (2/36) visas värmeförlusten genom en glasning som funktion av absorbatorytans medeltemperatur. Kurvorna i bilden gäller för olika utföranden av glasningen dvs en eller två rutor, en ruta plus plastfilm, se bild (2/35).

Värmeförlusten genom glasningen för en svart absorbatoryta och för en selektivt verkande yta visas i bilden. Det framgår av bilden att förlusten är mindre vid en ruta och selektiv yta jämfört med t ex en ruta plus plastfilm - kurva 3 i bild (2/36) - dock är differensen liten.

För de medeltemperaturer på absorbatorytan som är aktuella vid varmvattenberedning, ca 30°C, är förlusten vid svartmålad yta och en ruta jämfört med två 310 respektive 250 W/m². Minsta förlusten erhålles vid selektiv yta och en ruta plus plastfilm i glasningen. Detta utförande hos glasningen ger en förlust av ca 90 W/m² vid 30 °C på absorbatorytan (kurva 6).

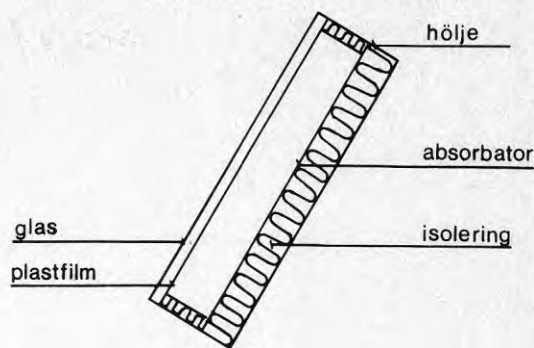


Bild 2/35

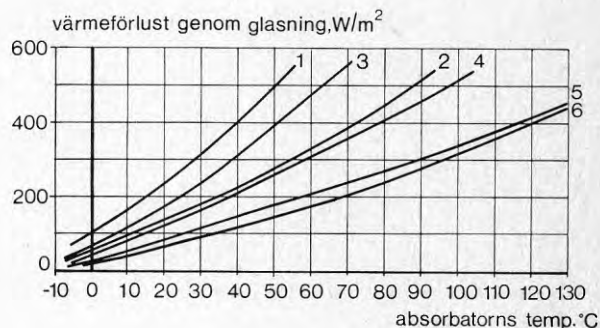


Bild 2/36 Värmeförlust från absorbatorytan genom glasningen för en solfångare med 30° lutning och med en lufttemperatur av 21°C. Värmeövergångskoefficient på glasningens utsida $\alpha_u = 22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Avståndet mellan glasrutorna vid beräkningen var 25 mm.

1 = svart absorbatoryta	$e = 0,95$ och 1 glas
2 = " "	$e = 0,95$ " 2 "
3 = " "	$e = 0,95$ " 1 " och 1 plastfilm
4 = selektiv "	$e = 0,12$ och 1 glas
5 = " "	$e = 0,12$ " 2 "
6 = " "	$e = 0,12$ " 1 " och 1 plastfilm

2.4 Absorbatorn

Absorbatorn är den del i solfångaren där solstrålningen omvandlas till värme och där värmeväxlingen med det värmetransporterande mediet sker. Denna yta kan utföras på ett flertal sätt och konstruktionerna varierar beroende på använt material, anslutningssätt till system, värmebärande medium m m. Två huvudprinciper kan dock urskiljas vad gäller konstruktioner. Den ena är att man till en plåt fäster rör eller kanaler så att en slags flänskonstruktion uppstår. Den andra går ut på att två plåtar fästes till varandra så att kanaler uppstår mellan dem. I vissa fall då trycket i systemet så tillåter kan hela utrymmet mellan plåtarna utgöra kanalen.

I bild 2/25 visas olika utföranden.

2.4.1 Värmeupptagning hos absorbatorn

De visade konstruktionerna är i stort sett uppbyggda likadant. Enda skillnaden består däruti att rören fästs till plåtytan på olika sätt. Alla sätten har både för- och nackdelar. Från värmeteknisk synpunkt är sättet på vilket rör och kanaler fäst till varandra av stor betydelse. Dålig kontakt är således i detta fall liktydigt med att värmemotståndet mellan plåt och rör blir stort. Lödning och svetsning är sammanbindningssätt som från värmeteknisk synpunkt är tillfredställande, se bild 2/37. Dessa är dock relativt kostnadskrävande utföringssätt, vars största nackdel och kostnadspost torde vara arbetet. Mindre krävande vad gäller arbete är dock den i bild 2/39 visade mekaniska sammanbindningen.

Sådana är dock från värmeteknisk synpunkt väsentligt

sämare än en noggrant utförd svetsning eller lödning.

Även om man uppnår, så som man säger, "god metallisk kontakt" mellan plåt och rör uppstår alltid ett värmemotstånd till följd av den luftspalt som bildas mellan rör och plåt. Luftspalten har även om den är tunn jämfört med lödda eller svetsade sammanbindningar stort värmemotstånd. Även små sprickor, ej synliga för blotta ögat, i svetsar eller lödningar har stor inverkan på värmeledningen mellan plåt och rör.

I en undersökning, gjord av Whieller (1964), studerades värmemotståndet hos olika sammanbindningar mellan plåt och rör. Av denna framgår det att värmemotståndet i skarven kan variera från ca 0,0006 (m K)/W vid en lödning till ca 0,3-0,5 (m K)/W vid en skarv med dålig kontakt mellan rör och plåt.

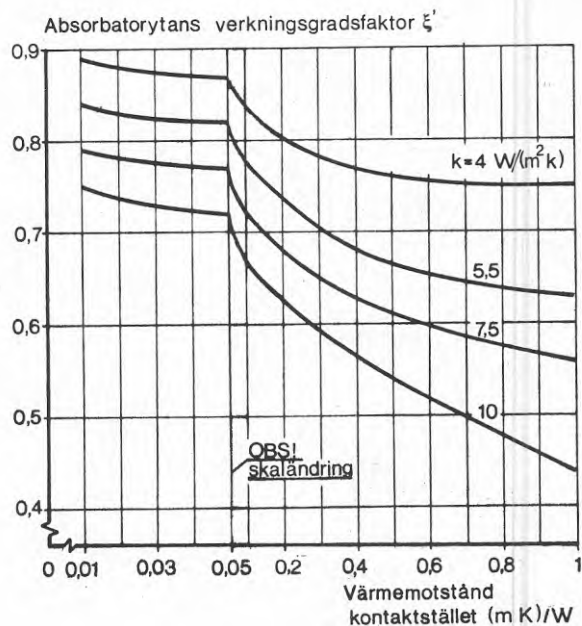


Bild 2/37

Vid absorbdatorytor konstruerade med kanaler eller rör fästade till en plåtyta används beräkningsmetoder utvecklade för flänsytor. En absorbdator kan nämligen betraktas som ett rör till vilket fästs en fläns, se bild 2/38

Bliss (1959) definierar en verkningsgradsfaktor för absorbdatorytor utförda enligt bild (2/38) och den blir i ord:

$$\xi = \frac{\text{nyttig absorberad värme i det aktuella fallet}}{\left. \begin{array}{l} \text{nyttig absorberad värme möjlig vid en yt-} \\ \text{temperatur hos absorbdatorn motsvarande medel-} \\ \text{temperaturen hos vätskan.} \end{array} \right\} \quad (2:22)$$

Inverkan av sammanbindningens värmemotstånd på denna verkningsgradsfaktor vid olika k -värden hos solfångaren framgår av bild 2/37. Vid högre värden på värmemotståndstallet, $0,1 - 1$ (m K)/W, ändras vid en relativt liten ändring i värmemotståndet, verkningsgradsfaktorn kraftigt för att vid lägre värden (mindre än $0,05$ (m K)/W) ändras mera blygsamt. Värmemotstånd av storleksordning $0,03$ (m K)/W kan anses godtagbara men önskvärt är att värden på ca $0,01$ (m K)/W uppnås.

För den i bild 2/39 visade mekaniska sammanbindningen har vissa undersökningar gjorts. Med ett utförande vid vilket röret najades fast mot plåten och då plåten omslöt röret till 75%, se bild 2/39, erhöles ett värmemotstånd för sammanbindningen av $0,01$ (m K)/W. Noteras bör dock att detta värde erhöles alldeles efter det att najningen utförts. Inverkan av oxider, som kan förmodas uppstå i sammanbidningen mellan rör och plåt, framgår ej av undersökning. Upprepade termiska expansioner och kontraktion kan även de antas verka försämrande på funktionen efter någon tid.

Som redan nämnts, kan de värmetekniska beräkningarna, som gäller absorbdatorytan och dess utformning ske efter de metoder som använts för flänsar. Flänsverkningsgraden, ξ , definieras enligt

$$\xi = \frac{Q}{Q_p} \quad (2:23)$$

där Q = värme tillförd flänsen

Q_p = värme möjlig att tillföra om hela flänsen hade temperaturen rådande vid anslutningen till röret.

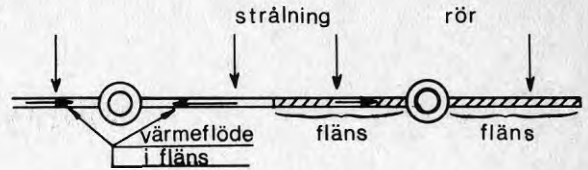


Bild 2/38

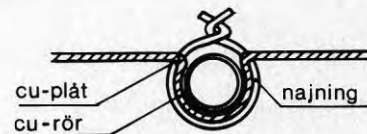


Bild 2/39

Denna verkningsgrad kan även beräknas enligt

$$\xi = \frac{\tanh m \cdot L}{m \cdot L} \quad (2:24)$$

$$\text{där } m = \sqrt{\frac{k}{\lambda \cdot s}} \quad (2:25)$$

k = värmeegenomgångstalet för solfångaren
räknat från absorbdatorytan till omgivningen

L = flänsens längd lika med halva delningen
minskat med rörets ytterradie

s = flänsens eller plåtens tjocklek

λ = flänsens värmeledningsförmåga.

Med hjälp av ekvation (2:24) kan man avgöra hur ändringar i konstruktion, materialval m inverkar på värmetransmissionen i flänsen.

I bild 2/40 är ekvation (2:24) grafiskt återgiven.

Vid en ändring av delningen mellan rören på absorbdatorytan så ändras temperaturen i plåten, vilket har till följd att k -värdet mellan absorbdatorytan och omgivningen ändras. Om man bortser från denna ändring i k -värdet och även gör den approximationen att värmeförlusterna genom isoleringen är försumbar jämfört med förlusterna genom glasningen så får man att flänsverkningsgraden för en rektangulär fläns med konstant tjocklek varierar med längden enligt bilderna 2/41-48. Det har även antagits att värmetransmissionen från plåttytans kanter kan försummas. Beräkningen har skett för ett antal plåttjocklekar vid olika material i flänsen samt vid två värden på k -värdet, nämligen $k = 3,2$ och $k = 5,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, vilka har ansetts vara värden som gäller för solfångare med glasning bestående av ett respektive två fönsterglas.

Med hjälp av kurvorna för flänsverkningsgraden ξ i bilderna 2/41 och 2/48 kan man avgöra hur materialval, plåttjocklek samt flänslängden inverkar på flänsverkningsgraden.

Beräkningen av flänsverkningsgraden ξ har gjorts med hjälp av ekvation(2:24)och för fyra olika material. De material som använts har varit de, som oftast kan tänkas förekomma i solfångares absorbdatorytor, nämligen koppar, aluminium, stålplåt och rostfritt stål (18/8-stål). Inverkan av en ändring i k -värdet på flänsverkningsgraden, ξ , visas i bilderna 2/49-52. Beräkningen har gjorts för samma material, som använts i bilderna 2/41-48 samt för tre olika plåttjocklekar och fyra längder hos flän-

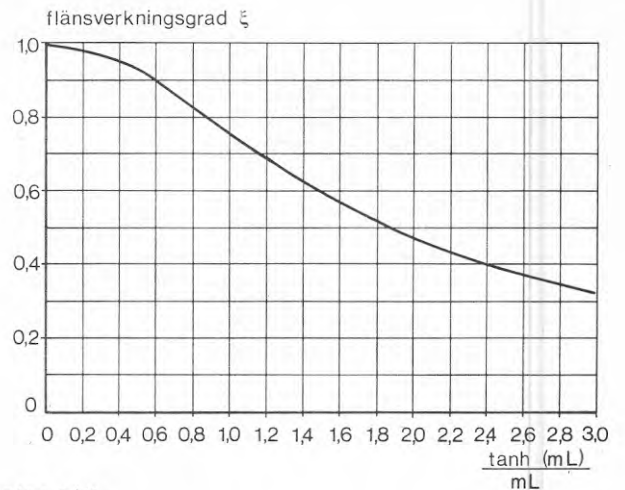


Bild 2/40

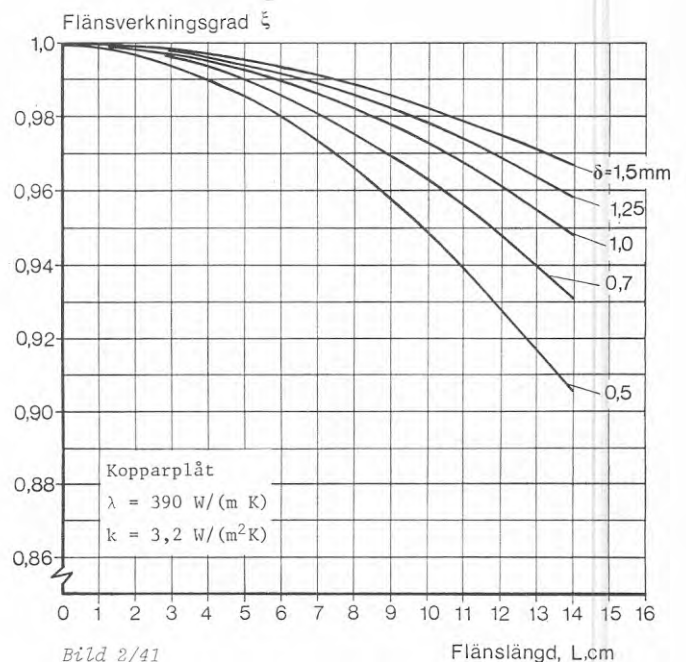


Bild 2/41

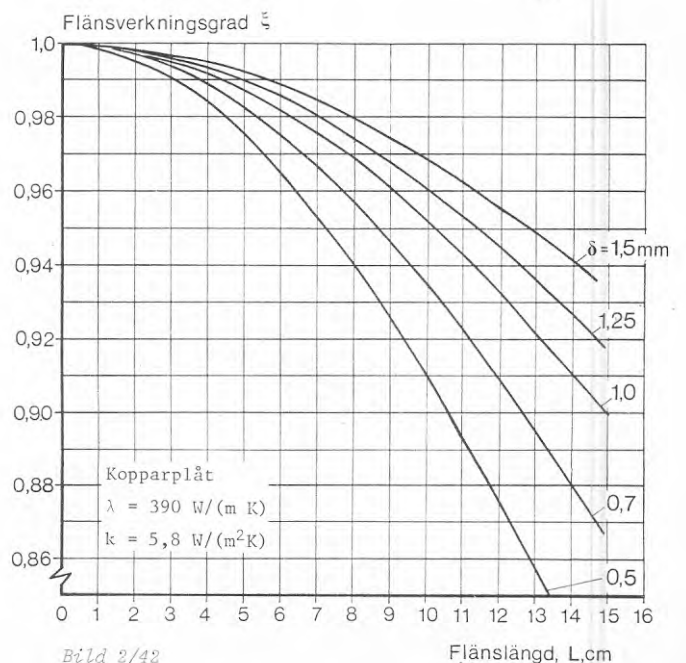
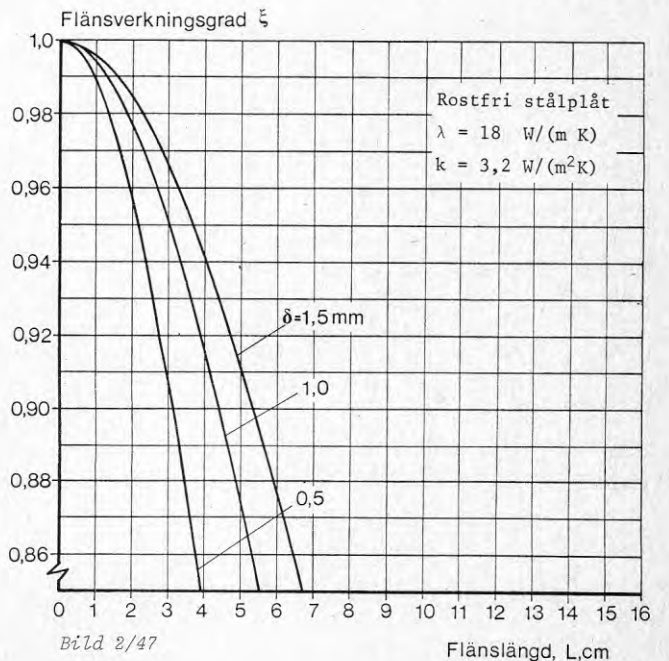
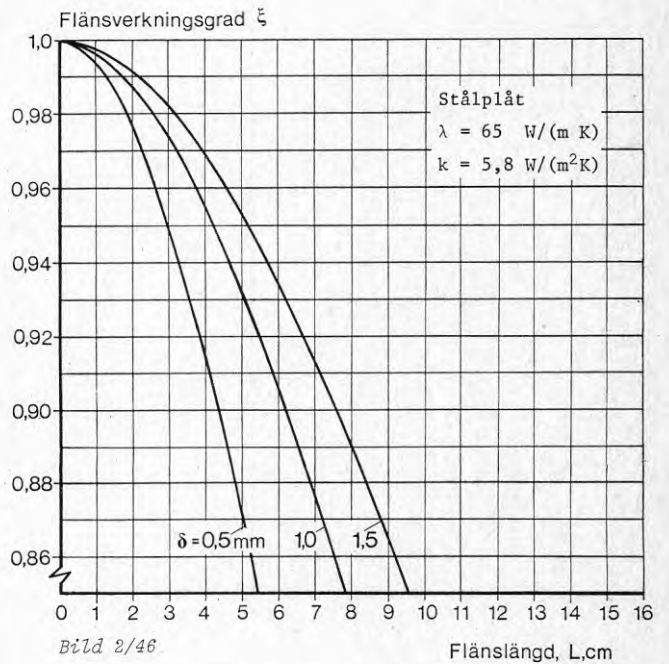
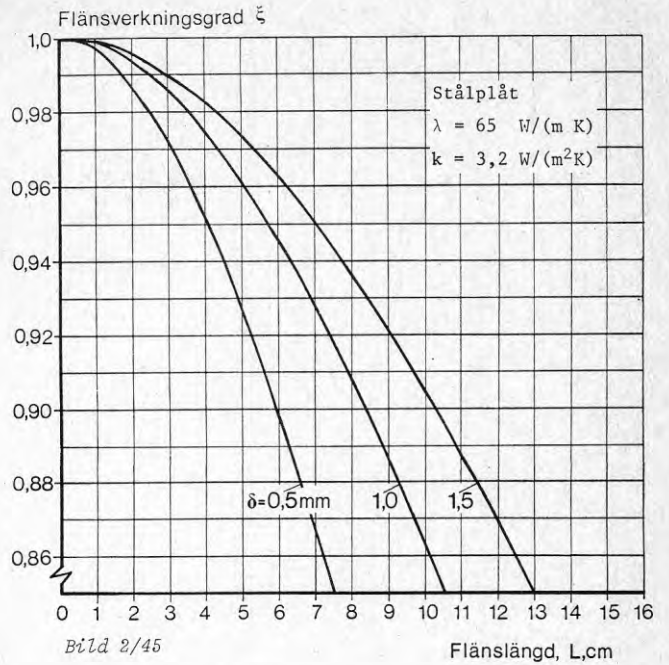
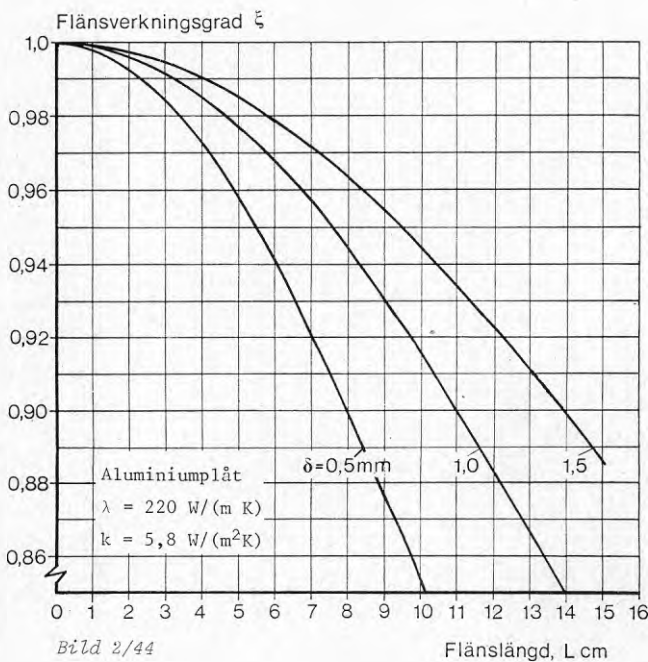
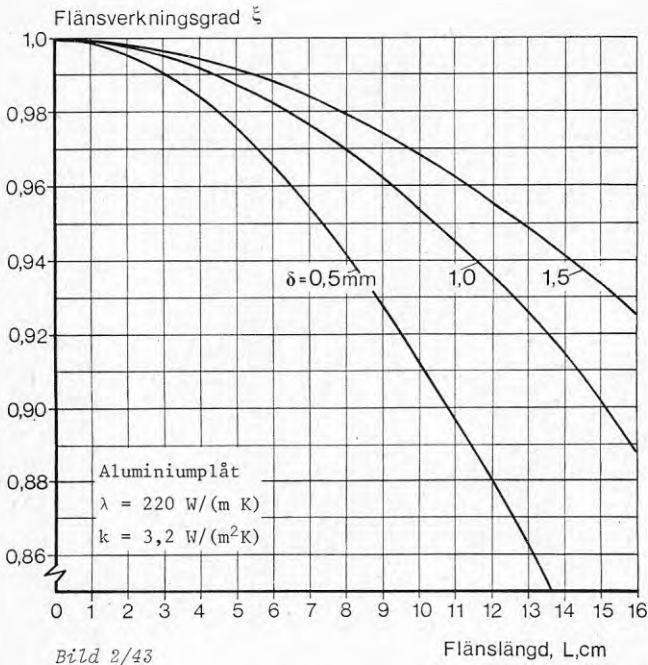
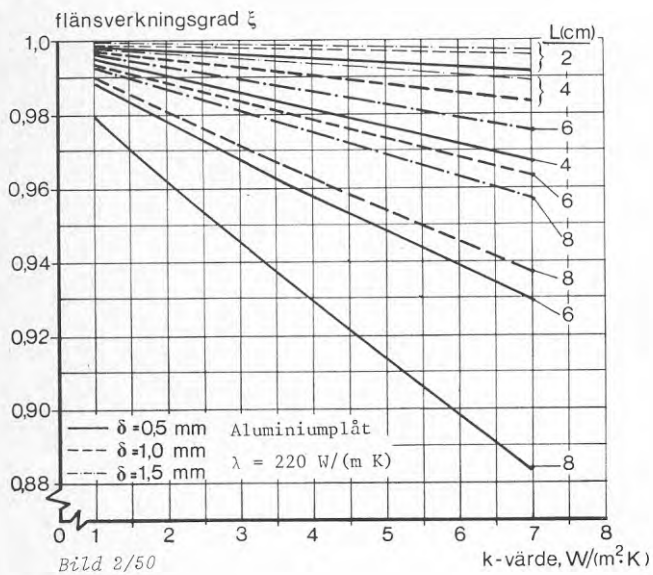
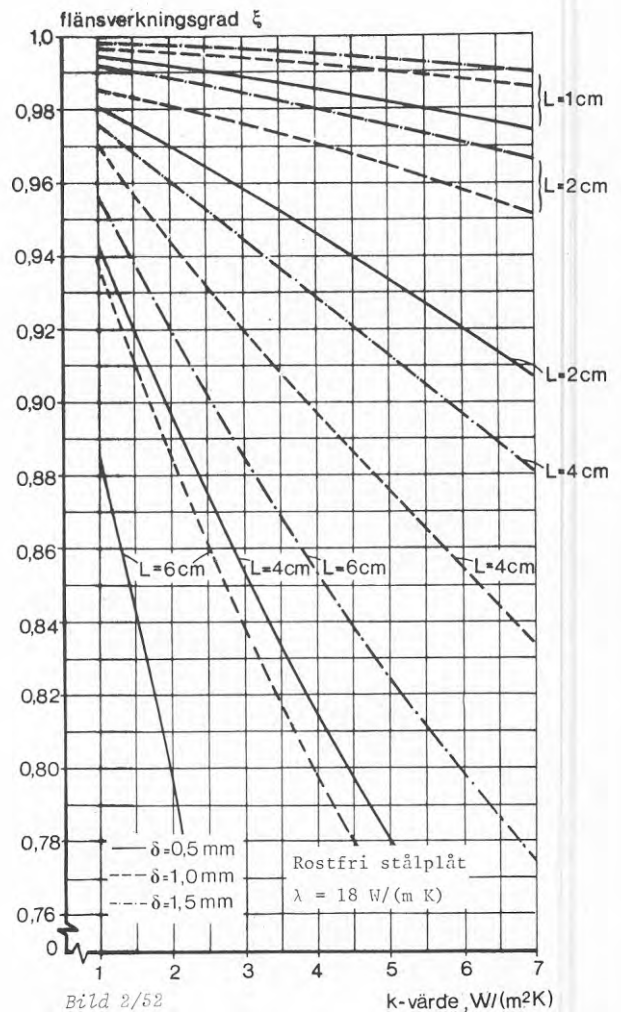
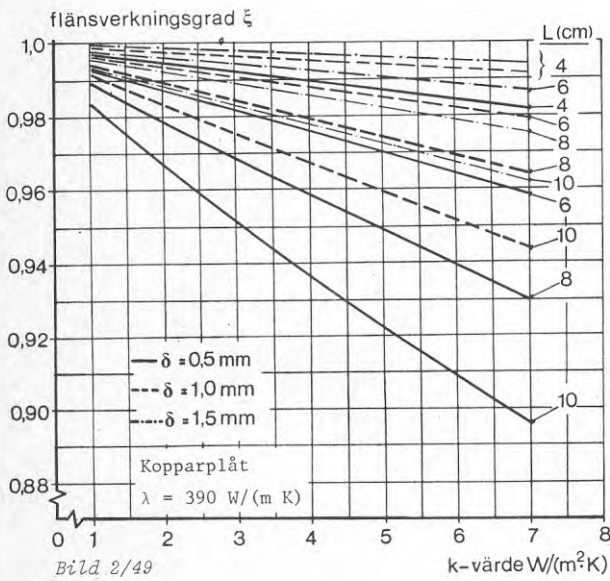
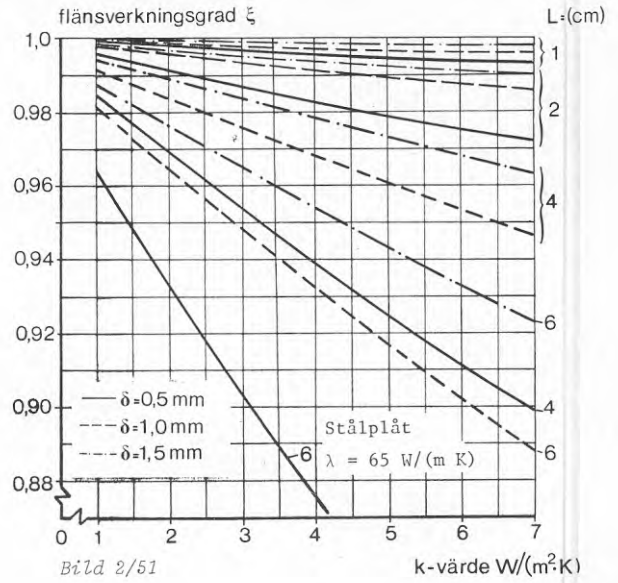
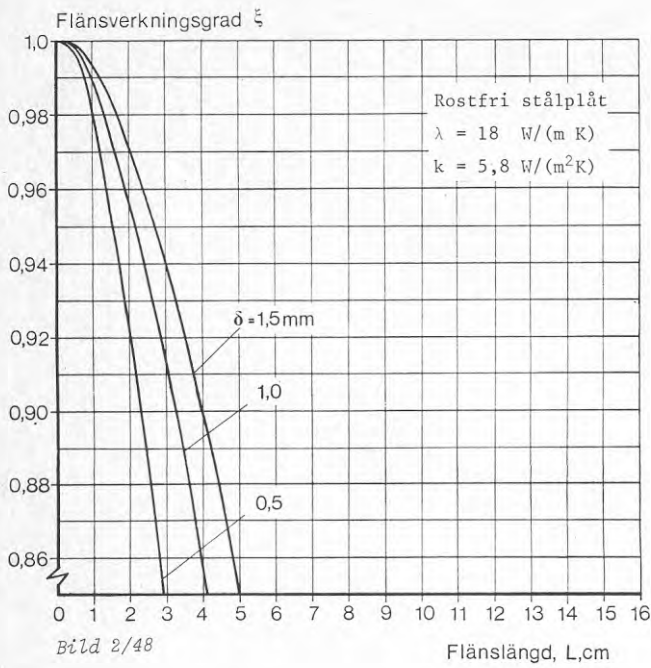


Bild 2/42

sen. Som synes är ändringen av flänsverkningsgraden mindre vid större plåttjocklek och värmeledningstal, vilket är naturligt.

Beräkningen har skett för k -värden från 1 till 7 $W/(m^2K)$. Ett k -värde på 1 $W/(m^2K)$ kan anses råda för en välisolerad solfångare med en glasning bestående av två glasrutor och med en selektiv absorberyta. Värdet 7 $W/(m^2K)$ kan förmodas gälla för en glasning bestående av ett glas och vanligt svartmålad absorberyta.





Tidigare har nämnts verkningsfaktorn ξ' och redogjorts för hur denna påverkas av värmemotståndet hos sammanbindningen mellan rör och plåt (se bild (2/37)). Denna verkningsgradsfaktor är olika för olika absorbatorkonstruktioner. För en konstruktion enligt bild (2/52a) där hela utrymmet mellan absorбатыrytans plåtar utgör en kanal anger Bliss (1959) att ekvation (2:26) kan användas vid beräkning av verkningsgradsfaktorn.

$$\xi' = \frac{\alpha_i}{\alpha_i + k} \quad (2:26)$$

där α_i = värmeövergångstalet på vattensidan $W/(m^2K)$

k = värmeegenomgångstalet från absorбатыryta till omgivning $W/(m^2K)$

I bild (2/52b) visas ξ' som funktion av k -värdet mellan absorбатыryta och omgivning.

Beräkningen har utförts för två värden på värmeövergångstalet på vattensidan, α_i .

Ett värde på $\alpha_i = 350 W/(m^2K)$ kan anses råda vid själv-cirkulation då laminär strömning antas råda. För pump-cirkulation och turbulent strömning har $\alpha_i = 1700 W/(m^2K)$ använts.

Vid en konstruktion med rör fästad till en plåt enligt bild 2/53 gäller andra värden för verkningsgradsfaktorn, ξ' . För detta fall gäller att även flänsverkningsgraden ξ måste medtagas i beräkningen som kan utföras med uttrycket

$$\xi' = \frac{1}{\frac{s \cdot k}{\pi \cdot d_i \cdot \alpha_i} + \frac{d}{s} + \frac{1}{\frac{s \cdot k}{d \cdot k_l} + \frac{1}{(1 - \frac{d}{s}) \cdot \xi}}} \quad (2:27)$$

s = delningen mellan rören

k = k -värdet mellan plåt och omgivning

k_l = k -värdet för lödning eller sammanbindningssätt

d = rörets ytterdiameter m

d_i = rörets innerdiameter m

α_i = värmeövergångstal på vattensidan

ξ = flänsverkningsgrad för fläns längden

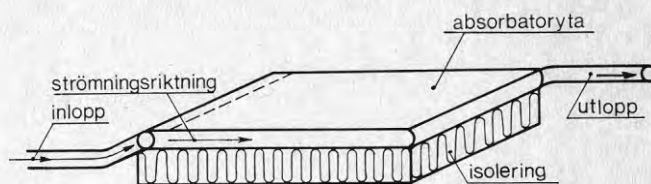


Bild 2/52a

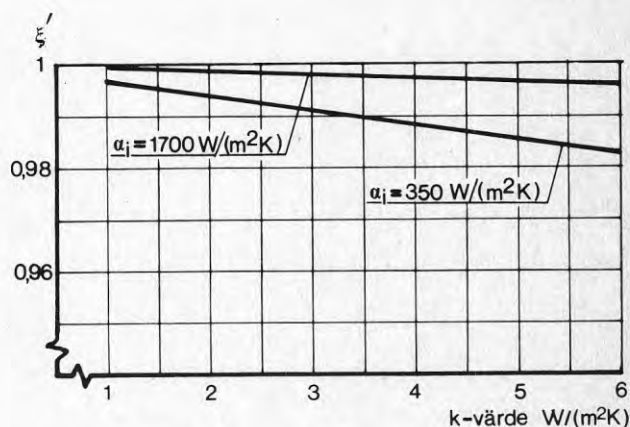


Bild 2/52b

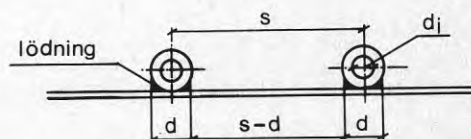


Bild 2/53

Följande förenklingar gäller för ekvation (2:27)

- Det termiska motståndet för rørens omkrets är försumbar jämfört med andra termiska motstånd.
- Av infallande strålning antas d/s delar absorberas av røren och $1 - d/s$ av plåtytan.
- Förlusterna från rör och plåtyta är proportionella mot projektytorna d/s och $1 - d/s$.

Då $s/d = 1$ dvs när røren ligger mot varandra så för-
enklas ekvation (2:27) till

$$\xi' = \frac{1}{\frac{s \cdot k}{d_i \cdot \pi \cdot \alpha_i} + 1} \quad (2:28)$$

För det fallet att sammanbindningen mellan rör och plåt är utförd genom lödning, så att så lågt termiskt motstånd råder, att det kan försummas, ändras ekvation (2:27) till ekvation (2:29)

I ekvation 4 blir då $\frac{1}{k_2} = 0$ eftersom k_2 är stort.

$$\xi' = \frac{1}{\frac{s \cdot k}{\pi \cdot d_i \cdot \alpha_i} + \frac{d}{s} + \left(1 - \frac{d}{s}\right) \cdot \xi} \quad (2:29)$$

Ekvation (2:29): återges grafiskt i bilderna 2/54-2/59

Beräkningen har utförts för de i solfångares absorbatorytor vanligen använda materialen samt för två värden på värmeomgångstalet k . Härvid har en glasning bestående av en glasruta antagits ha ett k -värde av $5,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$; motsvarande värde för två glasrutor har satts till $3,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Inverkan av värmeövergångstalet, α_i , mellan rørens insida och vattnet framgår också av bilderna. Ett värmeövergångstal $\geq 350 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ kan anses gälla vid laminär strömning i rör, vilket skall antas gälla vid själv-cirkulationsanläggningar. Vid turbulent strömning (pump-anläggningar) har värdet $1700 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ använts för α_i .

Som framgår av bild 2/54 fås, även vid en så tunn kopparplåt som $0,5 \text{ mm}$, värden på ξ' som ligger över $0,9$ även vid stor delning och själv-cirkulation. Så är t ex $\xi' = 0,93$ för en $0,5 \text{ mm}$ kopparplåt med 16 cm delning mellan røren. Motsvarande värde vid turbulent strömning blir, som framgår av bilden, $0,965$. En ökning av tjockleken

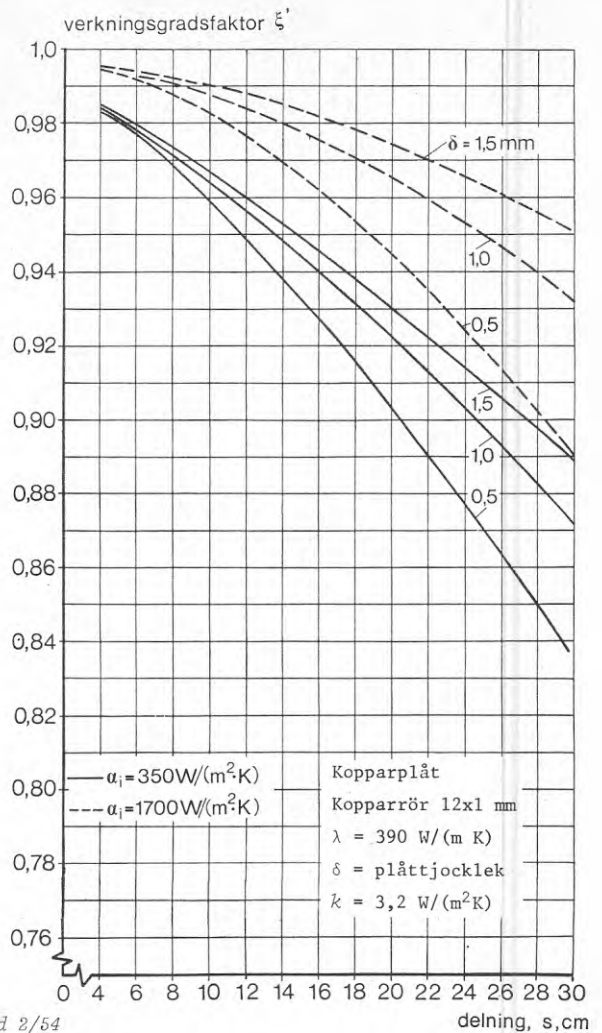


Bild 2/54

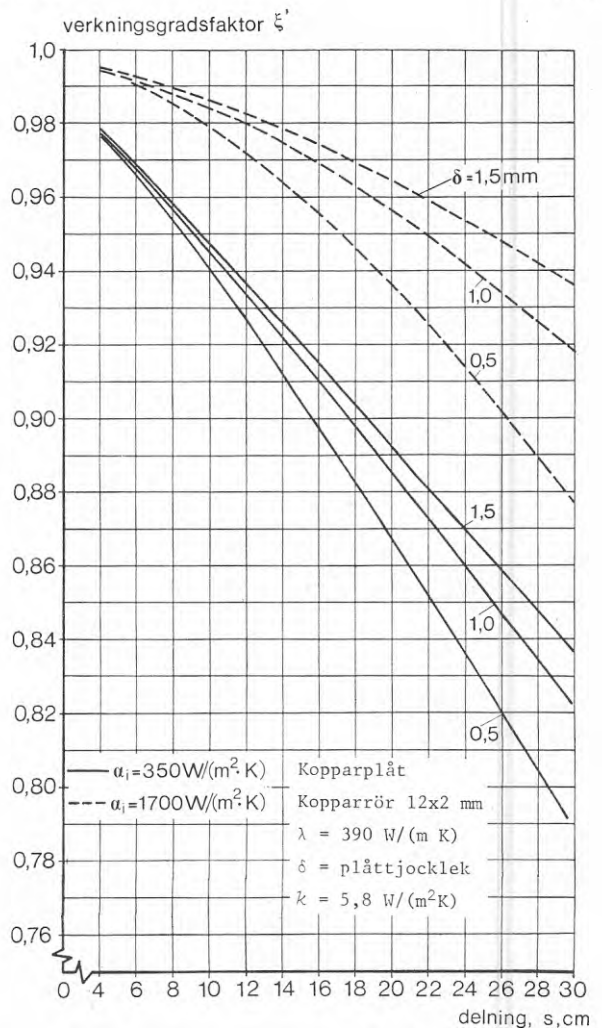
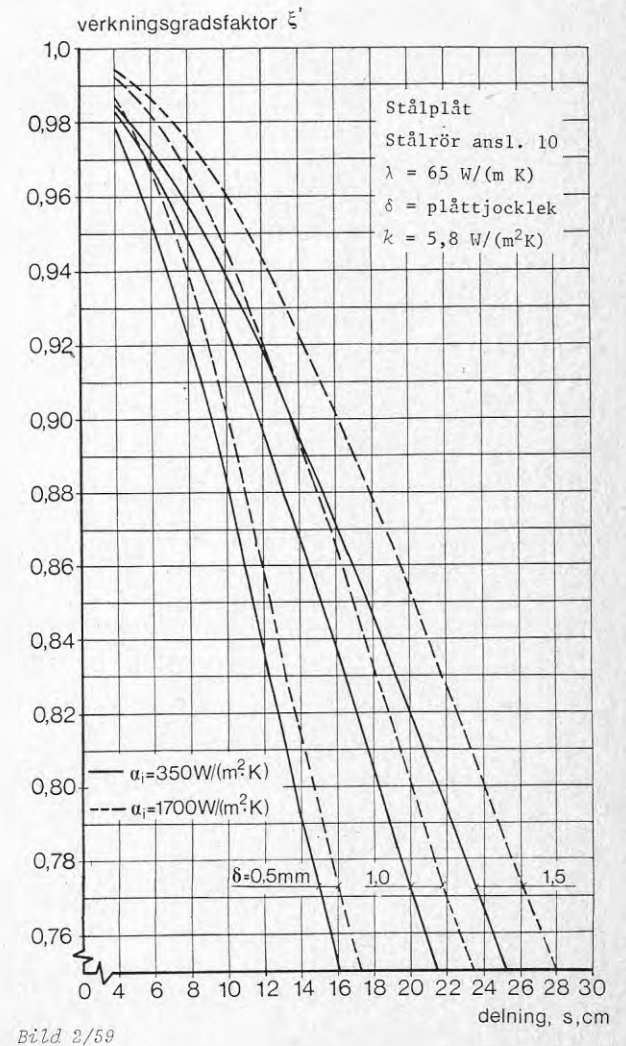
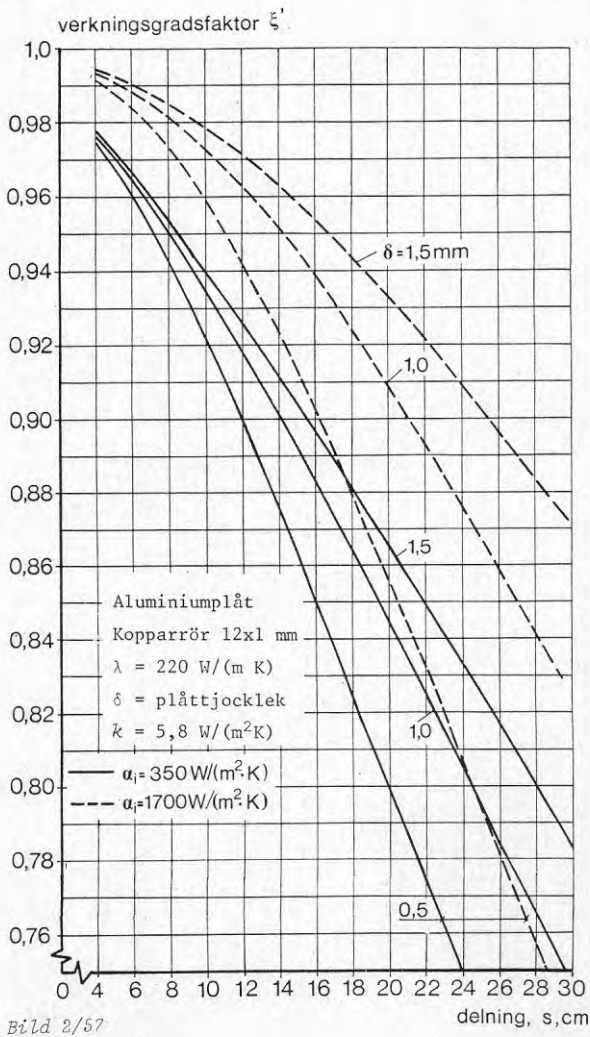
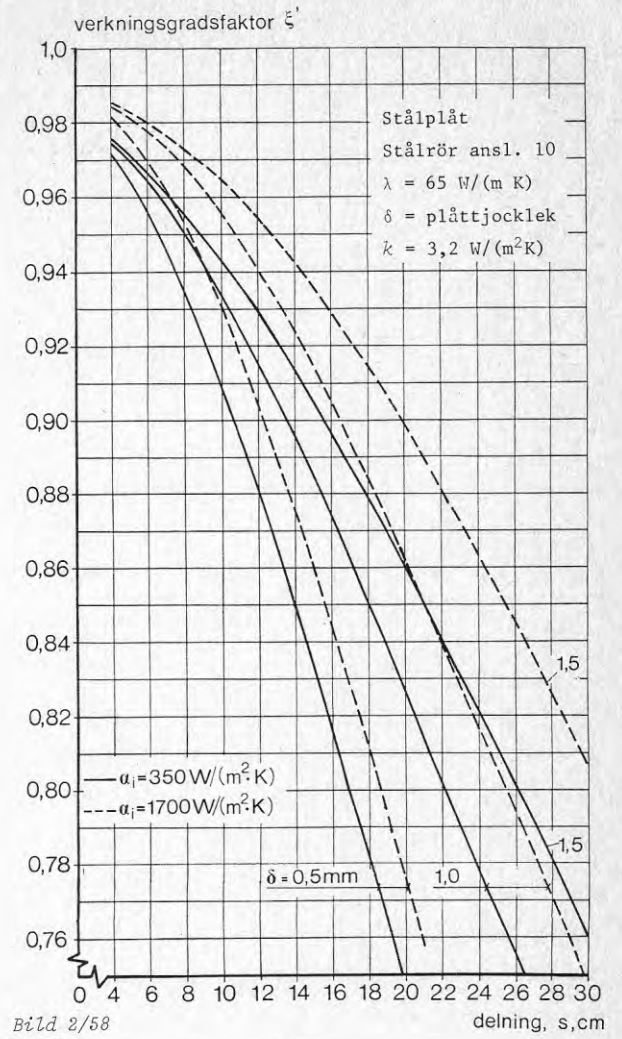
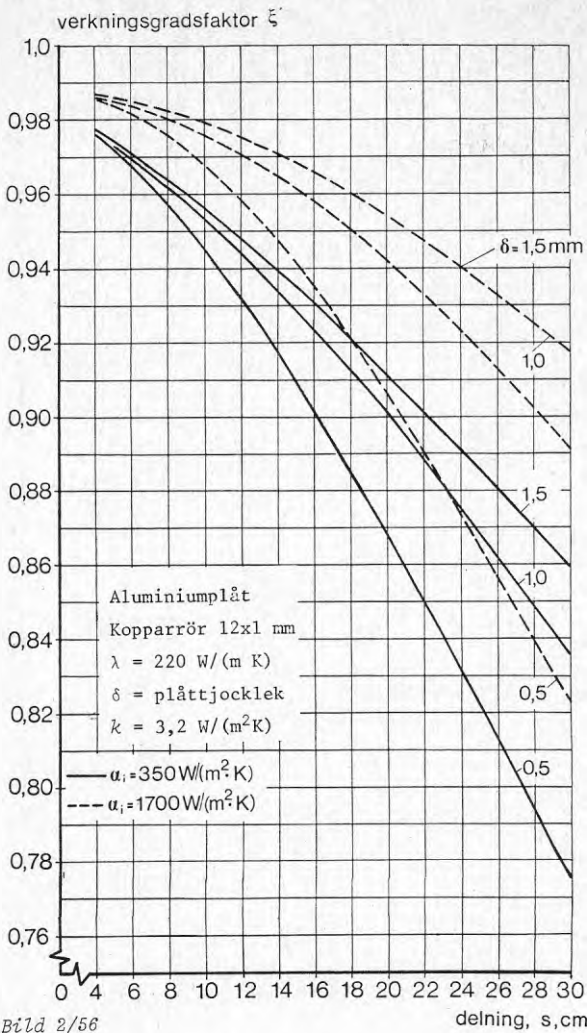


Bild 2/55



hos plåten till 1,5 skulle innebära att ξ' ökade med 1% till 0,948 för laminär och 0,983 för turbulent strömning. Beräkningarna som redovisats i bild 2/54 gäller för ett k -värde av $3,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (två glasrutor). I bild 2/55 återges motsvarande kurvor för ett k -värde av $5,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, dvs för en ruta i glasningen.

En jämförelse mellan bild 2/54 och 2/55 ger för samma delning (16 cm) och tjocklek (0,5 mm) hos plåten att man erhåller ett ca 6% högre värde på ξ' vid laminär strömning och två rutor i glasningen. För det turbulenta fallet gäller att ξ' blir ca 1% större.

Av bilderna framgår koppars och aluminiums överlägsenhet som värmeledare i absorbdatorytan. För att få samma värde på ξ' vid stålplåt måste avsevärt tätare delning mellan de vätsketransporterande rören användas.

Med stöd av bilderna 2/54 och 2/55 torde man kunna fastslå att det är helt omotiverat både från värmeteknisk och ekonomisk synpunkt att använda tjockare plåt än 0,5 mm, då koppar eller aluminium används.

Vid stål i absorbdatoryta och rör kan man som tumregel ange att för att samma effektivitet skall uppnås som vid absorbdatoryta av koppar skall ca hälften så stor delning användas (jämför t ex bild 2/58 och 2/59).

För att få ett så högt värde på verkningsgradsfaktorn som möjligt så bör turbulent strömning i rören upprätthållas. Detta är vid själv-cirkulation kanske i alla fall ej möjligt, men vid en anläggning där en pump cirkulerar vattnet bör detta kunna åstadkommas. Då kopparplåt med 0,5 mm tjocklek används i absorbdatorytan synes det ej vara motiverat att använda sig av en delning mellan rören, som är mindre än ca 15 cm. Vid forcerad cirkulation av vattnet kan man även tänka sig använda en delning på 20 cm utan att ξ' blir mindre än 0,945 (två rutor i glasningen) resp 0,935 (en ruta i glasningen). I beräkningen har rör med en yttre diameter av 12 mm och inre av 10 mm förutsatts. Om rör med större diameter fästes till plåten så erhålls, om samma delning används, ett större värde på ξ' . Detta framgår omedelbart av ekvation (2:29) med hänsyn till den ringa inverkan α_z har.

Som tidigare nämnts, bör turbulent strömning i rören eller kanalerna i en solfångare upprätthållas. Omslag till turbulent strömning sker då Reynolds tal Re är större än 2300. Genom att använda detta värde och definitionen

av Reynolds tal så kan den hastighet vid vilken omslag till turbulent strömning sker för ett rör beräknas. Man måste dock beakta att kanalerna många gånger är "korta" och att därför inloppsstörningar inverkar.

I bild 2/60 visas vid vilken hastighet omslag till turbulent strömning sker för olika diameter. Kurvorna gäller för vatten och vattentemperaturen är parameter. Som exempel kan nämnas att för vatten av 30°C temperatur och en invändig diameter på 10 mm sker omslag till turbulent strömning vid ca 0,18 m/s. Vid högre temperatur hos vattnet och samma diameter sker omslaget vid lägre hastighet, se bild (2/60). Ofta projekterar man en solfångare för ett visst flöde och det kan då vara bekvämt att använda detta direkt vid dimensioneringen av stigarrören för absorbdatorytan. I bild 2/61 visas för olika rördiameter det flöde där omslag till turbulent strömning sker. Även här gäller värdena för vatten.

Det framgår av bilden att flödet per rör blir stort, om turbulent strömning skall råda. För en invändig diameter av 10 mm och en temperatur hos vattnet av 30°C erfordras ett flöde av ca 50 l/h (se bild 2/61).

2.4.2 Nyttig värmeupptagning och flöde

Den nyttiga effekt, som tillförs vattnet i en solfångare beror på vilken temperatur som önskas hos det utgående vattnet från densamma. Verkningsgraden avtar med ökande temperatur hos absorbdatorytan och vid en viss temperatur uppstår en jämvikt då förlusterna är lika stora som den instrålade effekten dvs verkningsgraden är noll. Verkningsgraden definieras därvid av

$$\eta = \frac{T \cdot \alpha \cdot I - k \cdot (\theta_a - \theta_l)}{I} \quad (2:30)$$

där

T = transmissionsfaktorn för glasningen

α = absorbtionsfaktorn för plåtytan

I = instrålade effekt W/m^2

k = k -värdet för solfångaren $W/m^2 \cdot K$

$\theta_a = \frac{\theta_u + \theta_i}{2}$ absorbdatorytans medeltemperatur

θ_l = omgivande luftens temperatur.

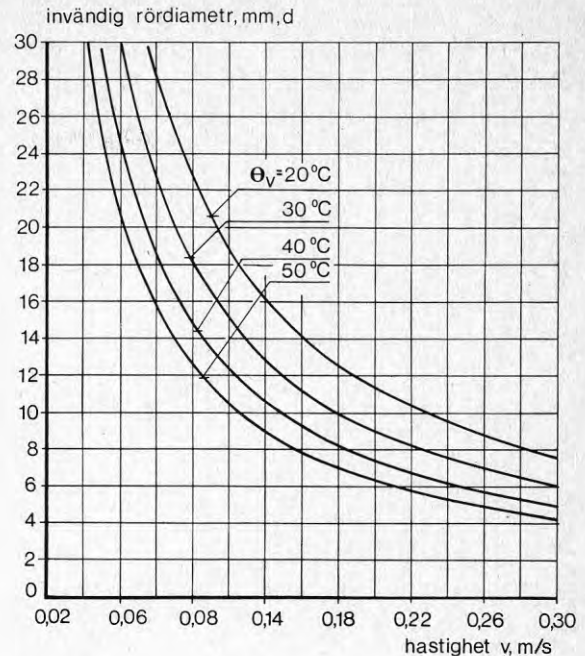


Bild 2/60

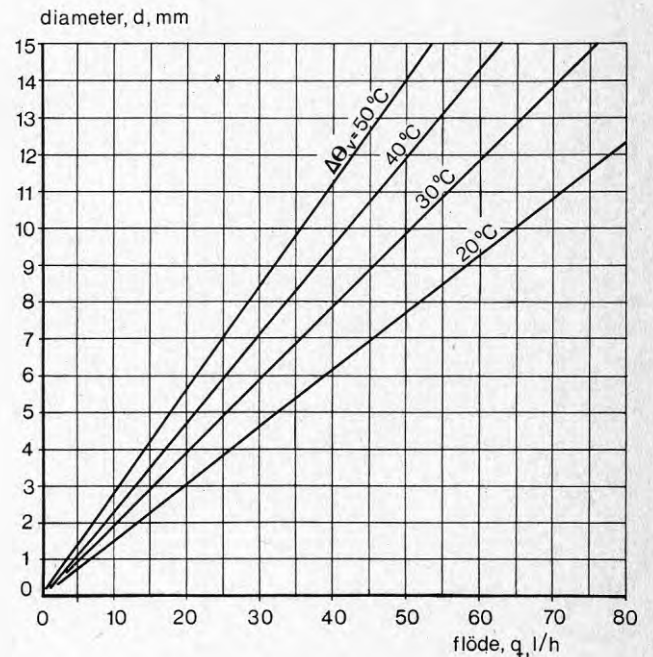


Bild 2/61

Man kan även skriva verkningsgraden som

$$\eta = \frac{\rho \cdot V \cdot c_p \cdot \Delta\theta_v}{I} \quad (2:31)$$

där

- ρ = den värmeupptagande vätskans densitet (kg/m³)
 V = flödet (m³/s)
 c_p = värmekapacitiviteten för vätskan (Ws/(kg·K))
 $\Delta\theta_v = \theta_u - \theta_i$ temperaturdifferensen mellan utgående vattnets temperatur, θ_u , och inkommande vattnets temperatur, θ_i , (K).

Sättes ekvationen (2:30) och (2:31) lika erhålles ett värde på det genomströmmande flödet till

$$V = \frac{T \cdot \alpha \cdot I - k(\theta_u - \theta_i)}{\rho \cdot c_p \cdot (\theta_u - \theta_i)} \quad (2:32)$$

Bild 2/62 återger grafiskt ekvation (2:32). Vid beräkningen av flödet som funktion av instrålad effekt per m² har följande värden för densitet, c_p etc använts:

$$T \cdot \alpha = 0,78 \cdot 0,95 = 0,74$$

$$k = 3,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\theta_a = \frac{\theta_u + \theta_i}{2}$$

$$\theta_i = 20^\circ\text{C}$$

$$\rho \cdot c_p \approx 4,15 \cdot 10^6 \text{ Ws/m}^3 \cdot \text{K}$$

I bild 2/63 visas hur $\rho \cdot c_p$ varierar med temperaturen hos vatten. För en solfångare med en ruta i glasningen erhålles värden som framgår av bild 2/62. Transmissionen, T , för ett glas har satts till 0,87 medan absorptionsfaktorn är densamma som vid två glas. Transmissions- och absorptionsfaktorerna varierar som nämnts med infallsvinkeln, men någon större ändring i värdena sker ej förrän vid infallsvinklar på ca 50-60°, se bild (2/21). Kurvorna i bild 2/62 och 2/64 är beräknade för en utetemperatur av 20°C. En sådan temperatur råder under längre tid - 5 à 6 timmar - endast ett fåtal dagar under sommaren. Bilderna ger dock en fingervisning om vilket flöde som är realistiskt för en solfångare under dessa betingelser. Antas det att man under en solig dag har en instrålningsintensitet på 700 W/m² under 6 timmar erhålles ur bild 2/64 att man vid en solfångare

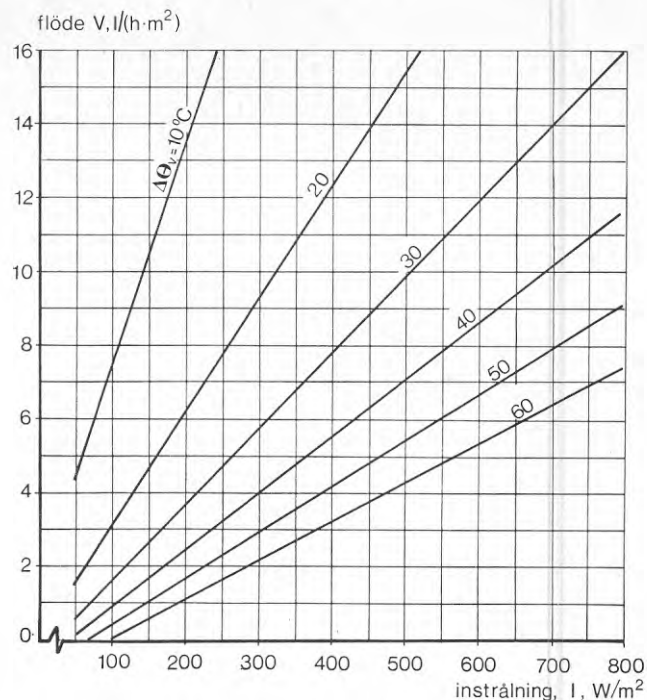


Bild 2/62 Vattenflödet genom en solfångare som funktion av instrålningen och med temperaturdifferensen mellan utgående och inkommande vatten som parameter. Utetemperatur 20 °C och k -värdet i glasningen 5,8 W/(m²K)

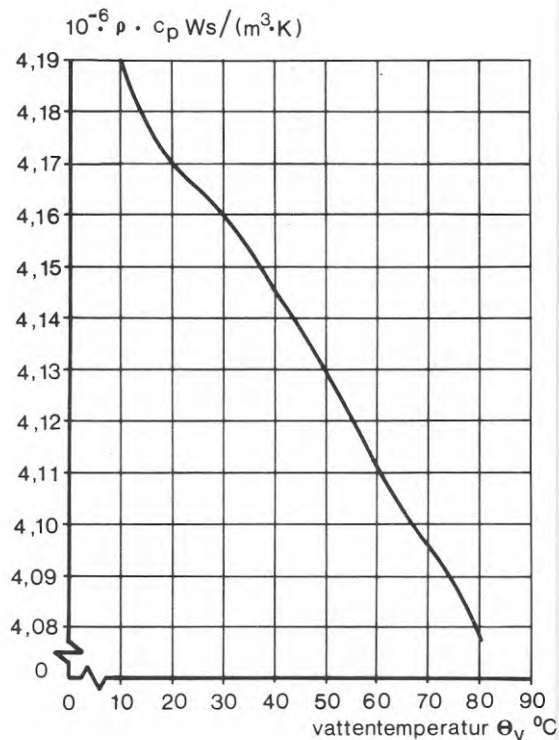


Bild 2/63

med en ruta i glasningen kan erhålla ca $6 \cdot 16 = 96 \text{ l/m}^2$ av 40°C . Samma mängd vid två glas blir ca 84 l/m^2 . För att erhålla ca 200 l under en klar dag skulle således 2 m^2 absorberaryta behövas.

Av bilderna framgår även med önskvärd tydlighet vilka flöden som kan förväntas per m^2 absorberaryta vid olika temperaturdifferenser (inkommande vattnets temperatur har vid beräkningen, som ligger till grund för bilderna, satts till 10°C). Ytterligare slutsatser som kan dras är, att vid hög utetemperatur, $\theta_z \geq 20^\circ\text{C}$, en ruta i glasningen är att föredra framför två vid de temperaturer, som är aktuella vid varmvattenberedning, $\theta_v \approx 40\text{--}45^\circ\text{C}$.

Det kan även vara av intresse att ovanstående beräkning görs för en lägre utetemperatur. Så har gjorts i bilderna 2/65 och /66 gällande för en ($k = 5,8$) resp. två rutor ($k = 3,2$) i glasningen. Utetemperaturen har vid denna beräkning satts till 10°C , vilket är högre än medeltemperaturen mellan 08.00 - 18.00 för april ($6,3^\circ\text{C}$) men lägre än för samma tid månaderna maj t o m september. En jämförelse av beräkningsresultatet för de båda utetemperaturerna vid 700 W/m^2 instrålad effekt ger för $\Delta\theta_v = 30$ ca 14 % mindre flöde vid $\theta_z = 10^\circ\text{C}$ ($k = 5,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i båda fallen). Motsvarande jämförelse för två rutor i glasningen ($k = 3,2$) och 700 W/m^2 ger ca 8% mindre flöde vid $\Delta\theta_v = 30 \text{ K}$. Som synes är ändringen i flödet ej så stor att det får någon avgörande inverkan vid dimensioneringen av absorberarytan. Som exempel kan anges, att om $16 \text{ l/(h}\cdot\text{m}^2)$ (en ruta i glasningen) väljs som dimensionerande flöde, så erhålles detta vid 700 W/m^2 instrålad effekt. Ett oförändrat flöde skulle vid samma intensitet och utetemperatur 10°C ge en temperaturdifferens av ca 27 K. Vid ca 750 W/m^2 blir temperaturdifferensen återigen 30 K. Högre instrålad effekt t ex 900 W/m^2 skulle för samma solfångare ge en temperaturdifferens på ca 40 K vid flödet $16 \text{ l/(h}\cdot\text{m}^2)$.

Denna uppskattning av flödet per m^2 absorberaryta kan nu användas för att utröna vad flödet per stigarrör blir. Delningen har satts till 15 cm och koppar används i plåt och rör. En yta av $1 \times 1 \text{ m}^2$ betraktas där 5 stigarrör är lödda till plåtytan. Detta ger att ca 3 l/h transporteras i varje stigarrör.

Tidigare har nämnts att flödet bör vara tillräckligt för att turbulent strömning skall utbildas. Ur bild 2/60 ses att vid 3 l/h erfordras en diameter på ca 1 mm för

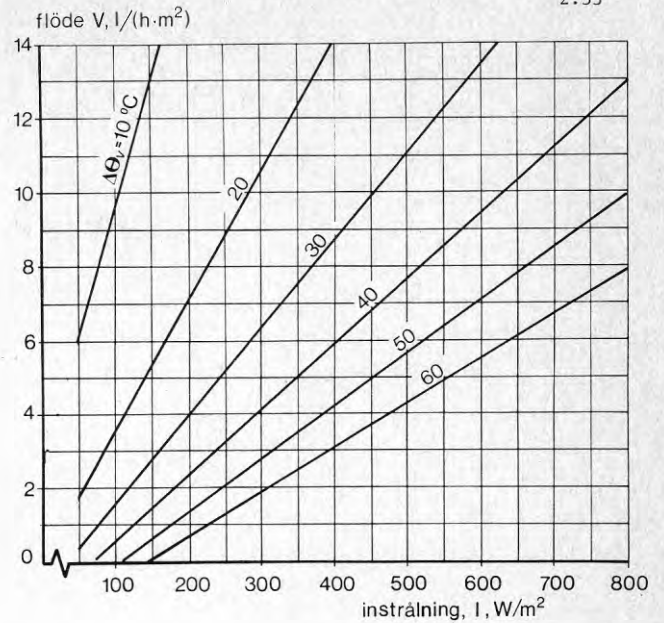


Bild 2/64 Vattenflödet genom en solfångare som funktion av instrålningen och med temperaturdifferensen mellan utgående och inkommande vatten som parameter. Utetemperatur 20°C och k -värdet i glasningen $3,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

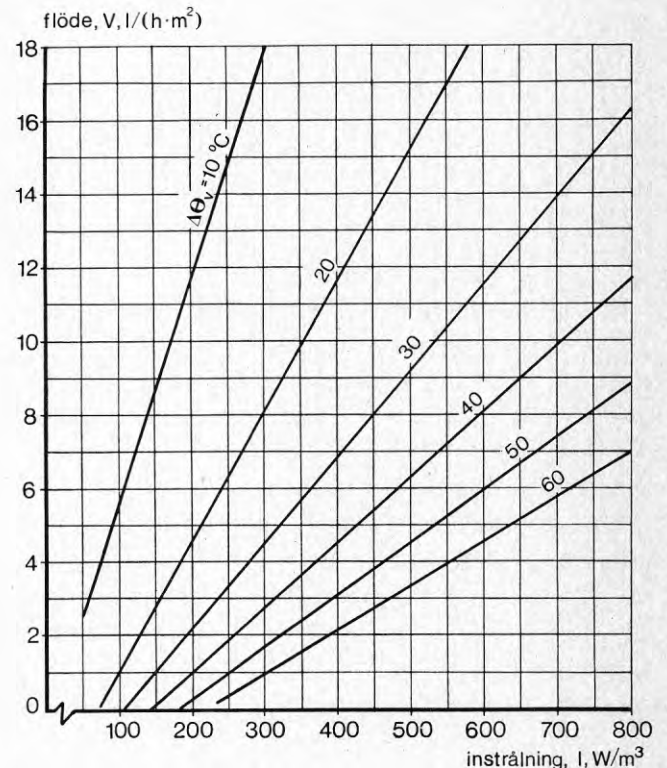


Bild 2/65 Vattenflödet genom en solfångare som funktion av instrålningen och med temperaturdifferensen mellan utgående och inkommande vatten som parameter. Utetemperatur 10°C och k -värdet i glasningen $5,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

att turbulent strömning och därmed bättre värmeövergång skall råda. Större diameter hos röret ger laminär strömning och en diameter på 1 mm är helt orealistisk. Närmaste standarddimension torde vara 4 mm. Även denna syns dock vara i minsta laget med tanke på igensättningsrisk till följd av fasta partiklar i vattnet och risken för stopp i flödet på grund av ansamling av utlöst luft ur vattnet. Vid en anläggning för själv-cirkulation torde användandet av mindre invändig diameter hos stigarrören än 10 mm ej vara tillrådligt. Bild 2/60 ger vidare vid handen att ej ens om hela flödet strömmar genom ett stigarrör ($\approx 16 \text{ l}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$) i solfångaren så skulle omslag till turbulent strömning ske vid en lämplig diameter sett från tillverkningsteknisk synpunkt. En möjlighet att erhålla turbulent strömning och därmed ett högt värmeövergångstal skulle vara att cirkulera ett större flöde ca 65 l/h genom varje stigarrör och nöja sig med en mindre temperaturhöjning av vattnet. Denna skulle, om det tidigare använda exemplet med 5 st stigarrör per m^2 används, bli ca 10 K vid en instrålning av $900 \text{ W}/\text{m}^2$. Flödet genom hela solfångaren skulle således bli $325 \text{ l}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ solfångare) och då totalt ca 2 m^2 erfordras för ett hushåll på 3 personer så skulle 650 l/h cirkuleras fram och åter till cisternen. Detta skulle få till följd att vattnet i cisternen (ca 300 l) skulle transporteras två gånger genom denna per timme. Skiktningen av varmvatten över kallare vatten i cisternen skulle därvid störas och en mera utjämnad temperatur erhållas i denna.

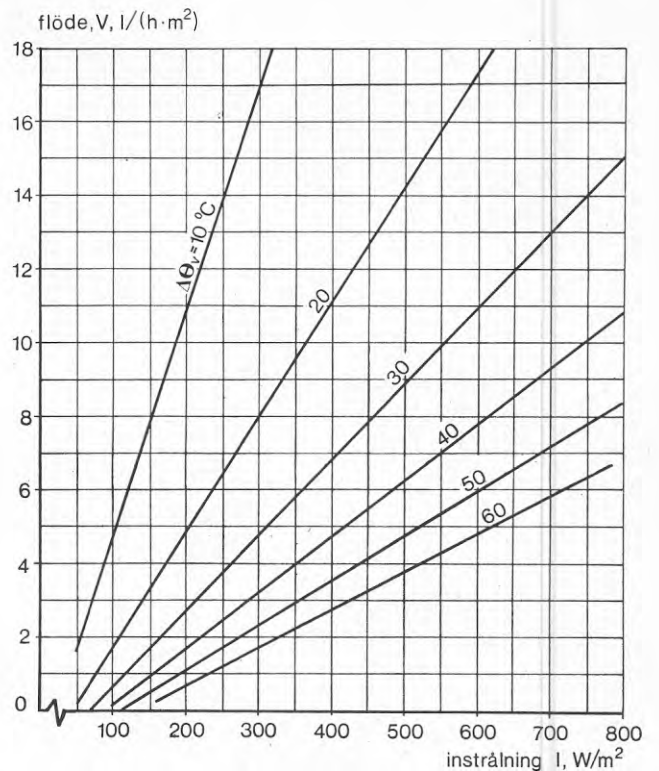


Bild 2/66 Vattenflödet genom en solfångare som funktion av instrålningen och med temperaturdifferensen mellan utgående och inkommande vatten som parameter. Utetemperatur $10 \text{ }^\circ\text{C}$ och k -värdet i glasningen $3,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

2.4.3 Selektiva ytor

Genom lämpligt materialval kan effektiviteten hos solfångare förbättras. Man har sökt öka transmissionen genom glasningen genom att använda speciella glassorter och minska reflexionsegenskaperna hos glasningen genom beläggningar m.m. Ett ytterligare sätt att förbättra en solfångares effektivitet är att utnyttja den skillnad i energifördelning inom olika våglängdsområden som råder mellan den infallande solstrålningen och värmestrålningen från absorbdatorytan. Solstrålningen faller inom våglängdsområdet 0,3 - 2,5 μm , medan strålningen från den varma absorbdatorn huvudsakligen är våglängder $\gg 2,5 \mu\text{m}$.

I bild 2/67 visas solstrålningen och värmestrålningens intensitet som funktion av våglängden för de två fallen. Värmestrålningen från en kropp med temperaturen 300 K (= 27°C) överensstämmer väl med den medeltemperatur som absorbdatorytan i en solfångare antar om den dimensioneras för ett flöde som ger en temperatur på utgående tappvattnet av ca 40°C. Inkommande vattnets temperatur kan som regel sättas till ca 10°C.

En selektiv yta karakteriseras av att den i olika hög grad absorberar och reflekterar strålning av olika våglängd. Då det gäller en selektiv yta för en solfångare bör den således absorbera så mycket som möjligt av den infallande solstrålningen och emittera så lite långvågig strålning (värmestrålning) som möjligt. En svart yta som ej verkar på ett selektivt sätt har lika stor absorptions- och emissionsfaktor. Storleksordningen på dessa är 0,8 - 0,95. För en selektivt verkande yta bör alltså absorptionsfaktorn α vara 0,8 - 0,95 för solstrålning av våglängden 0,3 - 2,5 μm . Emissionsfaktorn för den långvågiga strålningen ($\lambda > 2,5 \mu\text{m}$) bör vara av storleksordningen 0,1 - 0,2. Den minskning av värmeförlusterna till följd av strålning som en ändring av emissionstalet för de värmeutbytande ytorna innebär kan ske i huvudsak efter två principer. Antingen behandlas absorbdatorytan så att den erhåller ett lågt emissionstal för långvågig strålning, eller också kan undersidan av den inre glasytan behandlas så att långvågig strålning reflekteras tillbaka mot absorbdatorytan. Hög reflexion hos en yta innebär ett lågt emissionstal.

Värmeutbytet genom strålning mellan två parallella ytor på litet avstånd från varandra kan beräknas enligt

$$P_s = A f_{12} C_s (T_1^4 - T_2^4) \quad (2:33)$$

där $C_s = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$
och f_{12} kan beräknas enligt

$$f_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (2:34)$$

P_s kan även beräknas enligt

$$P_s = \alpha_s A (\theta_1 - \theta_2) \quad (2:35)$$

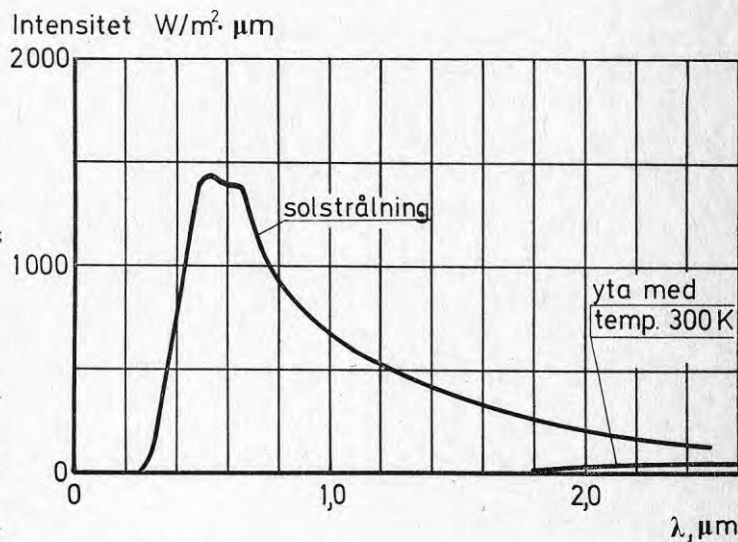


Bild 2/67

En jämförelse mellan ekvationerna (2:33) och (2:35) ger att

$$\alpha_s = f_{12} C_s \frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2} \quad (2:36)$$

Ekvation (2:34) visar att faktorn f_{12} är beroende av emissionstalen för de båda värmeutbytande ytorna - i detta fall absorbdatorytan och inre glasytan. En behandling av det täckande glaset medför ofta att transmissionen genom glaset minskar, varför det måste bedömas vara bättre att försöka erhålla ett litet emissionstal för absorbdatorytan.

I bild 2/68 visas värmeövergångstalet till följd av strålning som funktion av den inre glasytans temperatur. α_s har beräknats enligt ekvation (2:36) och med flera olika värden för absorbdatorytans emissionstal. Emissionstalet för den inre glasytan har satts till 0,95 i dessa beräkningar samt medeltemperaturen för absorbdatorytan till 27°C (300 K).

Förutom värmeutbytet genom strålning mellan ytorna sker vid normal drift även en värmetransport till följd av konvektion och ledning i spalten mellan inre glasytan och absorbdatorytan. Denna del av värmetransporten kan beräknas enligt

$$P_k = \frac{\lambda_s}{s} \cdot A(\theta_1 - \theta_2) \quad (2:37)$$

I denna ekvation användes ett fiktivt värmeledningstal λ_s för luft, varvid hänsyn tas till värmetransporten till följd av konvektion. Detta λ_s kan beräknas med hjälp av

$$\lambda_s = \lambda_L \cdot 0,18 \cdot Gr^{0,25} \cdot (s/h)^{1/3} \quad (2:38)$$

I denna ekvation är

λ_L = värmeledningstal för luft

Gr = Grashofs tal, definierat som

$$Gr = \frac{g s^2 h \Delta\theta}{\nu^2 \cdot T} \quad (2:39)$$

g = gravitationskonstanten

s = spaltbredden

h = höjden på spalten

$\Delta\theta$ = temperaturdifferensen mellan ytorna

ν = luftens kinematiska viskositet

T = medeltemperaturen hos luften i spalten (K)

I bild 2/69 visas λ_s/s som funktion av inre glasytans temperatur. En jämförelse av bild 2/68 och 2/69 visar att värmetransporten till följd av strålning är ungefär dubbelt så stor som den till följd av ledning och konvektion. Detta gäller vid svartmålad icke selektiv yta och för värdet 0,95 för de båda ytornas emissionstal. En ändring av emissionstalet för endera ytan till 0,5 gör att α_s blir av samma storleksordning som λ_s/s . Vid $\epsilon = 0,1$ är α_s ca 0,5 W/m²K och är då endast 25 % av värmetransporten till följd av konvektion och ledning.

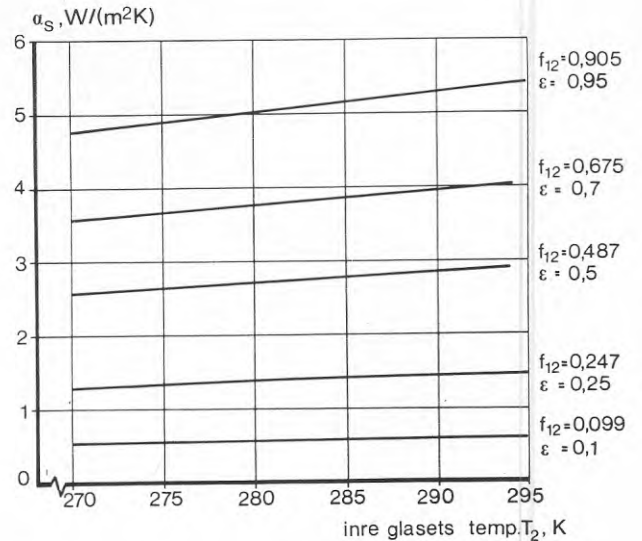


Bild 2/68

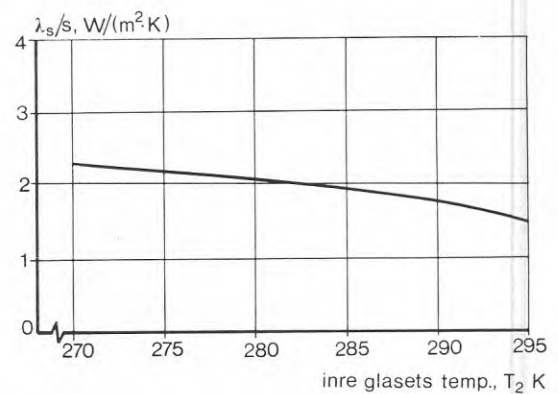


Bild 2/69

Med värden från bilderna 2/68 och 2/69 kan värmeövergångstalet, k , beräknas för att visa vilken inverkan ändringen av α_g har på k -värdet. Härvid har värden valts på α_g och λ_g/s vid en temperatur T_2 av 18°C (291 K), vilket torde motsvara ett väl valt värde på det inre glasets yttemperatur, T_2 , en solig dag.

Som synes minskar λ_g/s vid stigande yttemperatur medan α_g ökar, vilket betyder att en fel vald temperatur ej har någon avgörande inverkan vid beräkningen av k -värdet. Beräkningen har gjorts med emissionstal av 0,95 för båda ytorna och vid olika emissionstal, 0,95 och 0,1. Värmeövergångstalet på utsidan av glasytan har satts till 15 W/m²K och den täckande glasytans tjocklek har valts till 3 mm. k -värdet blir vid

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0,95 \quad \rightarrow \quad k \approx 4,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\epsilon_1 = 0,1 \quad \epsilon_2 = 0,95 \quad \rightarrow \quad k \approx 2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

En stor ändring av emissionstalet för en av ytorna ger således en stor ändring av k -värdet. I exemplet ovan har ändringen i emissionstalet skett till en nivå som för närvarande kan anses praktiskt möjlig att uppnå. Om ändringen i emissionstalet för absorberytan medför en sänkning av absorptionstalet, α , är det tveksamt om någon större vinst i utvunnen energi från solfångaren görs vid de temperaturnivåer det här är frågan om.

Selektiva ytor kan framställas på ett antal sätt. En av de hittills mest använda metoderna är förångning av lämpliga ämnen i en atmosfär med lågt tryck. Ofta görs förångning i en kvävgasatmosfär. En annan metod är att genom elektrolys framställa en selektiv yta.

Grundmaterialet vid framställningen av en selektiv yta är en metall med god elektrisk ledningsförmåga, t.ex. aluminium, koppar, silver eller guld. Silver och guld är helt uteslutet att använda av kostnadsskäl då det gäller solfångarytor för varmvattenberedning.

Aluminium och koppar har låga emissionstal och absorptionstal, varför de ej kan användas utan att någon behandling av ytan görs så att absorptionstalet ökas. Om ytan svartmålas med lämplig färg, kan absorptionstal på 0,95 uppnås men samtidigt ökar även emissionstalet till samma värde. Det gäller alltså att öka absorptionen i våglängdsområde 0,3 - 3 μm , men samtidigt behålla grundmaterialets låga emissionstal för långvågig strålning. Detta resultat uppnås genom att ett flertal tunna skikt appliceras på grundmaterialet. Dessa skikt utgörs av material som i sig själva är dåliga elektriska ledare. Sådana metaller - med låg reflektion inom våglängdsområdet 0,2 - 3 μm - är nickel, titanium och järn. Försök har visat att den metall som motstår de driftsbetingelser som kan uppstå är nickel. Nickel skyddar samtidigt grundmaterialet mot oxidation. En oxidation av detta skulle ju innebära att emissionstalet ökade.

En nickelfilms absorptions- och emissionstal varierar med filmtjockleken. I bild 2/70 visas α och ϵ som erhållits vid sovjetiska försök som funktion av filmtjockleken. Som grundmaterial användes koppar.

Utan någon nickelfilm var $\alpha = 0,43$ och $\epsilon = 0,03$ för kopparplåten. Av bild 2/70 framgår att ett gott resultat erhålles med en tjocklek hos nickelfilmen av $0,015 \mu\text{m}$. För att skydda grundmaterialet mot korrosion är tjockleken $0,015 \mu\text{m}$ ej tillräcklig, varför man tvingas gå upp i tjocklek och välja $0,025 - 0,035 \mu\text{m}$.

Ett värde på α av ca $0,7$ kan ej anses tillräckligt, och för att ytterligare förbättra absorptionen i det aktuella våglängdsområdet $0,3 - 3,0 \mu\text{m}$ måste ytan beläggas med ett eller flera skikt som minskar ytans reflektion. För detta ändamål användes dielektriska material. I tabell 2-2 anges värden på α och ϵ för kopparplåt täckt med ett nickelskikt av $0,03 \mu\text{m}$ tjocklek och med olika skikt som minskar reflektionen.

Tabell 2-2

Antirefleksionsmaterial på en nickelfilm, $0,03 \mu\text{m}$ tjock, på koppar	Optisk tjocklek $d = \lambda/4$ μm	Totala absorptions-talet α	Totala emissions-talet ϵ
Mg F ₂	0,15	0,80	0,04
Si O ₂	0,15	0,82	0,04
Si O	0,15	0,86	0,05
Ce O ₂	0,15	0,87	0,05
Zn S	0,15	0,88	0,05
Si O + Mg F ₂	0,15 + 0,15	0,90	0,06
Zn S + Mg F ₂	0,15 + 0,15	0,91	0,05
Ce O ₂ + Si O ₂	0,15 + 0,15	0,91	0,05
Zn S + Mg F ₂	0,2 + 0,1	0,89	0,05

Ett material som har hög reflektion inom ett visst våglängdsområde har inom samma område ett litet absorptions-tal. Detta framgår av ekvationen

$$1 = \alpha + r + T \quad (2:40)$$

Med kännedom om en ytas reflektion och transmission kan således absorptionen beräknas, och därmed erhålles också ytans emissionstal. Enligt Kirchoffs lag gäller ju att emissionstal och absorptions-tal för en yta är lika vid temperaturjämvikt, vilket gäller såväl för den spektrala som den totala strålningen.

I bild 2/71 visas sovjetiska mätvärden av reflektionen för polerad kopparplåt och detsamma för kopparplåt belagd med olika skikt som minskar reflektionen (dvs. ökar absorptionen). Som framgår av bilden fås en klar förbättring då flera skikt användes. En plan solfångare för varmvattenberedning är fast uppställd och vänd mot söder. Detta innebär att strålningen kommer att falla in mot

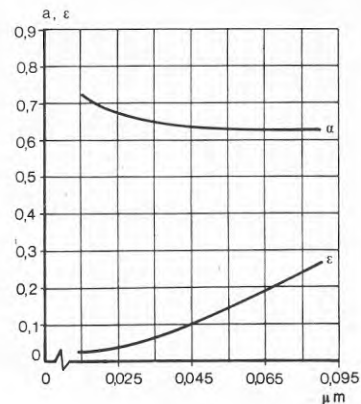


Bild 2/70 Absorptions- och emissionstalet för nickelfilm som funktion av nickelfilmens tjocklek. Grundmaterial: koppar

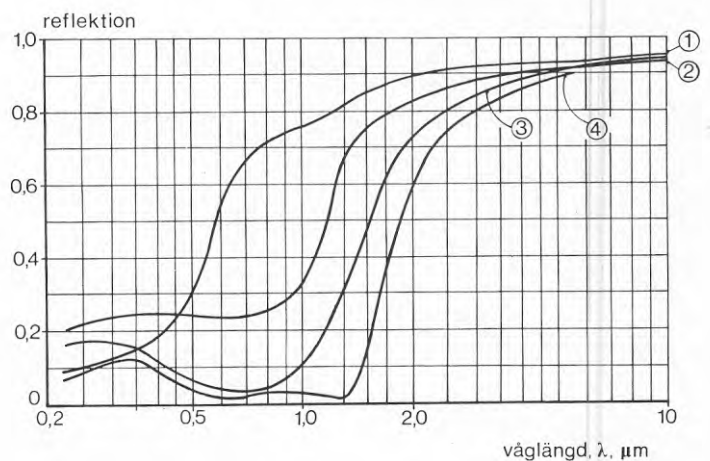


Bild 2/71 1 = polerad kopparplåt
2 = polerad kopparplåt + nickelskikt $0,03 \mu\text{m}$
3 = polerad kopparplåt + nickelskikt $0,03 \mu\text{m}$ + ZnS $0,15 \mu\text{m}$
4 = polerad kopparplåt + nickelskikt $0,03 \mu\text{m}$ + ZnS $0,15 \mu\text{m}$ + MgF₂ $0,15 \mu\text{m}$

absorberingsytan med olika vinkel under olika tid på dagen. Det är därför av intresse att veta hur reflektionen är för de i bild 2/71 redovisade selektiva ytorna då strålningen infaller med en vinkel som ej är 90 grader mot ytan.

I bild 2/72, 2/73 visas reflektionen för olika selektiva ytor med infallsvinkeln som parameter. Av bilderna framgår att reflektionen ökar först vid infallsvinklar av ca 70 grader.

De i bilderna (2/71), (72) och (73) diskuterade ytorna har även provats vad det gäller deras förmåga att utstå temperatur och andra förhållanden som kan tänkas uppstå under drift. Prov i en atmosfär med undertryck och vid en temperatur av 250 - 300°C under 70 - 80 timmar har ej påverkat ytorna så att absorptions- och emissionstalet ändrats. Även långtidstest i laboratorier och utomhus har utförts utan att någon ändring i α och ϵ har noterats. Prov med ytorna hermetiskt inneslutna under glas har utförts under naturliga förhållanden i ett års tid och har ej heller de påvisat några förändringar i α och ϵ .

Undersökningar i USA har visat att en kromaterad yta, som används inom en rad områden, visar selektiva egenskaper för sol- respektive värmestrålning, dvs. har ett stort absorptionstal i området 0,3 - 3 μm och ett litet emissionstal (stor reflektion) för våglängder av 3 - 20 μm .

I bild 2/74 visas reflektionen för kromaterad yta, som funktion av våglängden. Som jämförelse har även två ytor av nickel och en svartmålad yta inlagts i bilden. Förkromningen har skett enligt en annan metod än den som använts vid framtagandet av de tidigare diskuterade ytorna. Förfaringsättet har varit att i bad av lämplig sammansättning på elektrisk väg utfälla krom. Den yta som skall kromateras tjänstgör vid denna process som elektrod i det elektrolytiska ledet.

I tabell 2-3 anges absorptionstalet för ytor i det synliga området av spektrum och emissionstalet för våglängderna 3 - 15 μm och för en yta med en temperatur av ca 100°C.

Tabell 2-3

Beläggning	α	ϵ
Kromaterad	0,868	0,088
Nickel	0,877	0,066
Nickel	0,867	0,109
Svart färg (3M:s Nextelblock)	0,967	0,967

En aluminiumyta belagd med kopparoxid har visat sig ha selektiva egenskaper. I bild 2/75 visas emissionstalet för en yta med 80°C temperatur som funktion av våglängden, och i bild 2/76 visas absorptionen av solstrålning som funktion av våglängden. Dessa resultat härrör från

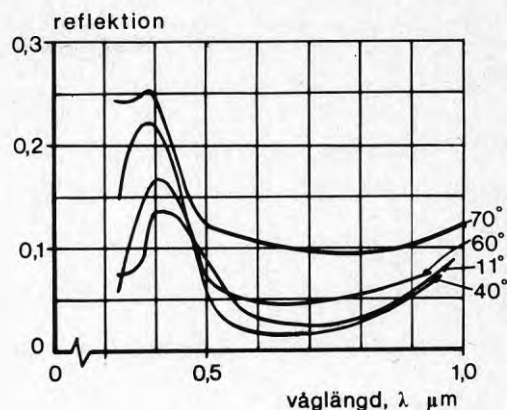


Bild 2/72

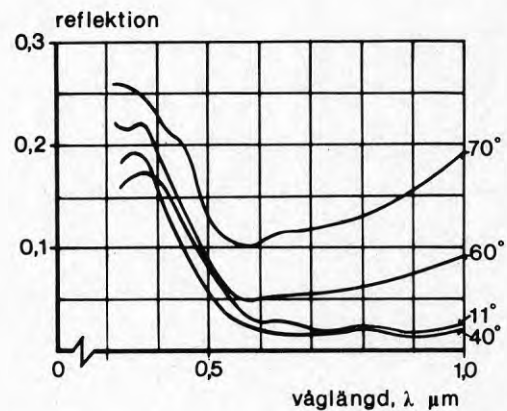


Bild 2/73

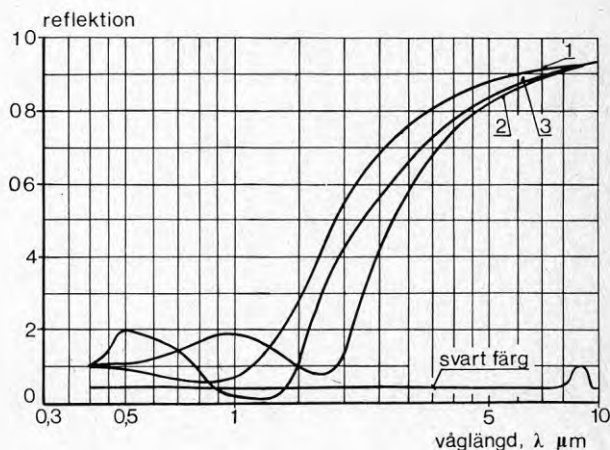


Bild 2/74
1 = nickel
2 = krom
3 = nickel

undersökningar gjorda av Hottel och Unger (1958). Resultaten erhöles då en utspädd lösning av kopparnitrat sprayades på en värmd yta av aluminium. Aluminiumplåten som användes hade en renhet av 99,99 %. Det var absolut nödvändigt att använda ett grundmaterial som hade en yta med stor reflektion. Sprayning av kopparnitratet på den värmda aluminiumytan gav en tunn ljusgrön yta som vid ytterligare värmning till ca 170°C omvandlades till svart kopparoxid. En rad variabler, som man ansåg kunde inverka på ytans selektiva egenskaper, har undersökts. T.ex. undersöktes inverkan av

- o nitratkoncentrationen i sprayen
- o partikelstorleken hos spraydropparna
- o mängden spray
- o torktemperaturen hos plåten
- o bakningstid
- o tidsintervallet mellan sprayning och bakning
- o ändring av processen från separat sprayning och bakning till korta cykler av sprayning och bakning
- o mängden oxid per ytenhet

Undersökningen visade att absorptionen av solstrålningen endast var beroende av mängden kopparoxid per ytenhet och var oberoende av förhållanden som rörde framställningen av oxidfilmen.

Emissionstalet för temperaturstrålning (låga temperaturer) som ytan erhöles visade sig vara beroende av en rad variabler. Grundytan måste vara högreflekterande och ett oxidskikt på ytan innan sprayningen påverkade resultatet i negativ riktning. Kopparnitratlösningen som sprayades på ytan måste vara utspädd med vatten och 0,0025 molal, visade sig ge bästa resultatet, medan 0,005 molal (M) gav acceptabelt resultat.

I bild 2/77 visas absorptions- och emissionstalet som funktion av mängden oxid per ytenhet. För emissionstalet anges resultatet vid olika utspädning av kopparnitratlösningen. Bakningstemperaturen var 350°C och storleken på dropparna i spraydimman 12 µm.

Droppstorlekens inverkan på resultatet anges i bild 2/78. Även här var bakningstemperaturen 350°C. Lösningens koncentration var 0,0025 M.

Mängden spray som påföres ytan måste vara så liten att vätnings av ytan ej sker. Den tillåtna mängden ökar med ökande temperatur, men vid temperaturer över 170°C sker oxidation omedelbart. Den då bildade oxiden hade en tendens att flagna av. Om däremot metoden med spraynings- och bakningscykler användes och temperaturen hölls vid 350°C, uppstod ej något problem med avflagnande oxid.

Den bästa bakningstemperaturen för att omvandla kopparnitrat till kopparoxid befanns vara 350°C. I bild 2/77 visas absorptions- och emissionstal som funktion av oxidmängden per ytenhet och med bakningstemperaturen som parameter. Spraykoncentrationen var 0,0025 M och droppstorleken 12 µm.

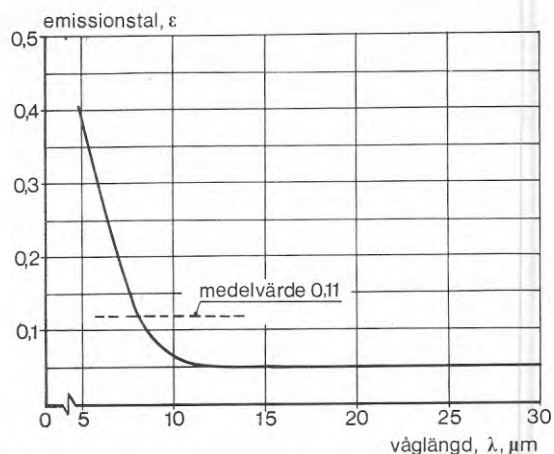


Bild 2/75

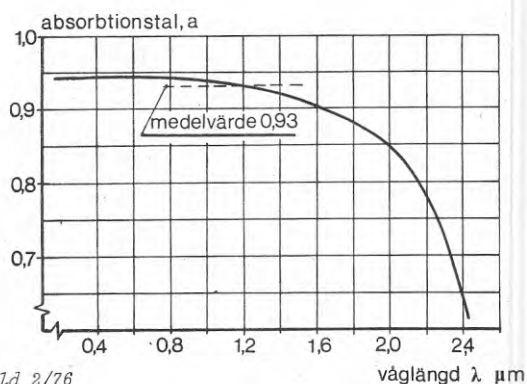


Bild 2/76

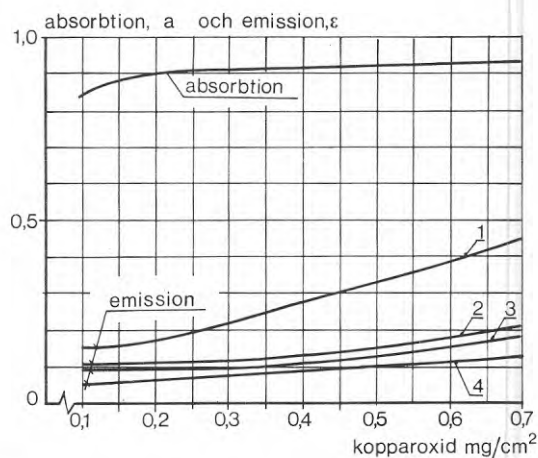


Bild 2/77 1 = 0,047 M
2 = 0,010 M
3 = 0,005 M
4 = 0,0025 M

Tidsintervallet mellan sprayning av ytan och baktiden visade sig inte påverka de optiska egenskaperna ens om det blev så stort som några timmar. Däremot visade det sig att man erhöll en mera vidhäftande beläggning om processen skedde genom sprayning- och baktingscykler.

Absorptions- och emissionstalet ökar med mängden kopparoxid per ytenhet, vilket framgår av bild 2/79-80. Här visas också vilken tjocklek som ger bästa resultatet (optimal tjocklek).

Som framgår av tabell 2-3 och även av bild 2/81, har svart färg ett absorptionstal som är bättre än de redovisade selektiva ytornas men emissionstalet är detsamma som absorptionstalet.

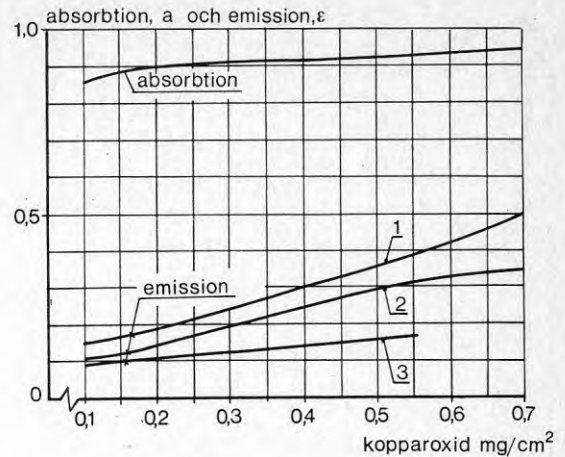
Då det gäller varmvattenberedning där medeltemperaturen på absorberarytan är ca 25°C, synes det ej motiverat att välja en yta med sämre absorptionstal än svart färg för att erhålla ett litet emissionstal i den långvågiga delen av spektrat (3 - 25 µm). Detta kan i många fall ge en mindre del tillgodogjord energi. Tar man även i beaktande att framställningen av selektiva ytor oftast är en mycket kostbarare metod än enbart målning, blir användandet av selektiva ytor ännu mindre attraktivt då det gäller solfångare avsedda för tappvarmvattenberedning.

I bild 2/81 återges grafiskt verkningsgraden för en solfångare som funktion av instrålad effekt. Förlusterna genom isoleringen på absorberarytans baksida har försumrats, då den kan anses liten i förhållande till förlusten genom glansningen. Kurvorna i bilden anger alltså den övre gränsen för verkningsgraden hos en solfångare vid idealt isolerad baksida. I verkligheten torde verkningsgraden för det beräknade fallet vara 1 - 3 % lägre än vad kurvorna i bild 2/81 anger. Som synes är det endast vid lägre instrålad effekt (< 600 W/m²) som de selektiva ytorna ger en högre verkningsgrad för solfångaren jämfört med en solfångare med svartmålad yta. Differensen är vid 200 W/m² instrålad effekt av storleksordningen 10 % men minskar snabbt och är vid 400 W/m² mindre än 5 %. Vid 600 W/m² ger den svartmålade ytan en bättre verkningsgrad.

För att selektiva ytor skall bli attraktiva att använda i solfångare för varmvattenberedning måste en enkel och billig metod för deras framställning stå till buds. Det är svårt att föreställa sig något enklare sätt att få en svart yta än genom ett målningförfarande, varför en färg som är selektiv synes vara det önskvärda.

Det bör noteras att de absorptions- och emissionstal som redovisats är från ytor som varit i drift endast kort tid eller är värden erhållna i laboratorier. En selektiv yta som används i serieproduktion av solfångare i Israel har framtagits av Tabor. Framställningen sker genom elektrokemisk process, där zink är grundmaterialet.

Slutomdömet då det gäller selektiva ytor i solfångare för varmvattenberedning torde vara att några stora mängder energi, som motiverar den ökade kostnaden som en selektiv yta medför, ej går att spara.



Droppstorlek: 1 = 60 µm 2 = 25 µm

3 = 12 µm

Bild 2/78

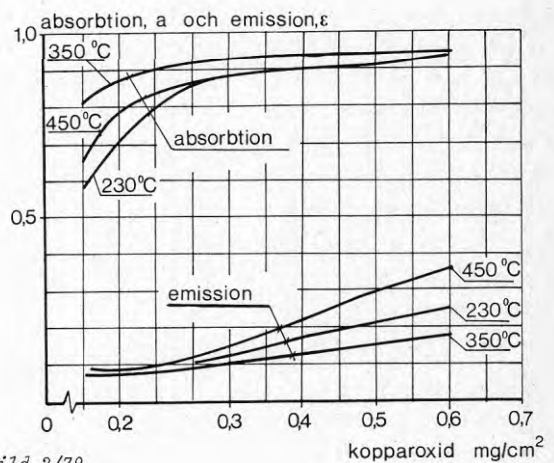


Bild 2/79

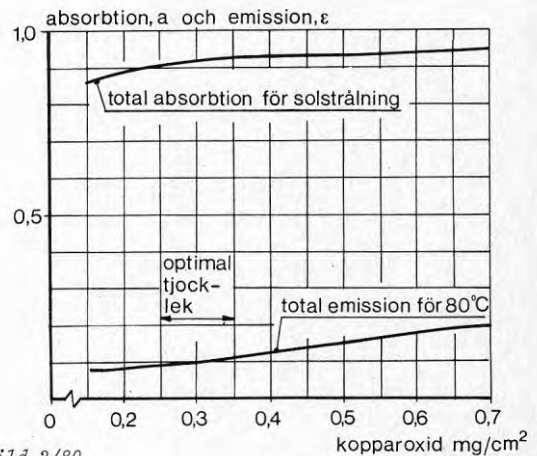


Bild 2/80

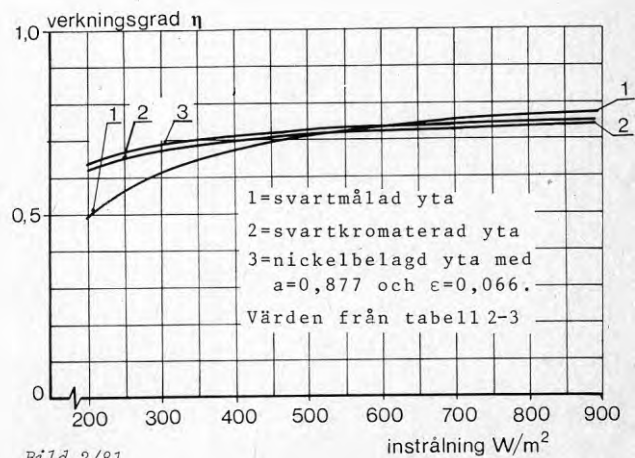


Bild 2/81

2.4.4 Material i absorbdatorytan

Absorbatorytan i en plan solfångare avsedd för varmvattenberedning till hushåll kan utföras i ett flertal material. Exempelvis har koppar, aluminium, stål, rostfritt stål, plast och på sistone har även material komponerad av flera metaller använts. Avgörande för vilket material som väljes är systemets utformning och materialet i de vattenförande kanalerna. Cirkulerar tappvattnet, som skall uppvärmas, genom solfångaren så måste materialet i kontakt med vattnet vara korrosionsbeständigt. Korrosionsprodukter får inte förekomma synliga i tappvarmvattnet. Om vätskan som cirkuleras genom solfångaren endast tjänstgör som värmetransporterande medium och värmningen av tappvattnet sker med hjälp av en värmväxlare kan i stort sett alla de ovan nämnda metallerna användas. Plast, som absorbdatorytan i en solfångare, är tveksamt om man skall använda. Dels måste absorbdatorytan dimensioneras för att tåla högsta möjliga temperatur i solfångaren dels kan det medverka till att ett system med värmväxling där även metaller ingår syresätts med korrosion som följd. Plasten måste även kunna tåla tryck samtidigt som den blir uppvärmd, vilket torde medföra större risk för läckage. Ett plastmaterial, som tål höga temperaturer och relativt höga tryck, kan även förväntas bli dyrare än ett mera konventionellt utförande.

För system där tappvattnet passerar genom solfångaren har en rad material använts. Koppar, aluminium och rostfritt stål kan komma ifråga vid ett sådant utförande. Prov har visats att aluminium utsätts för korrosion av det syrehaltiga tappvattnet. En absorbator av aluminium håller ca 3 - 5 år och det finns även rön som tyder på att även kortare tid åtgår innan en aluminiumabsorbator är förstörd p.g.a. korrosion. I ett system med värmväxling kan däremot aluminiumabsorbatorer användas. Här kan ämnen som verkar korrosionshämmande tillsättas. En annan faktor som talar emot en absorbator utförd av aluminium är att rör och rörkopplingar ej är standard inom VVS-facket för de dimensioner det här rör sig om. Att ha en absorbator av aluminium och rör av något annat material är ej heller att rekommendera med tanke på risken för galvanisk korrosion.

Rostfritt stål kan användas i både system där tappvattnet passerar genom solfångaren och i sådana där det inte gör det. Rör och rörkomponenter finns i de aktuella dimensionerna. Absorbatorn kan utföras som en konventionell panelradiator och en fördel är att en rationell framställningsmetod finns. Nackdelen torde vara den stora materialåtgången jämfört med mera konventionellt utförda absorbdatorytor med rör fästa till en plåt.

Koppar användes idag i byggnaders rörsystem och korroderar ej, även om det utsätts för varmt tappvatten. Det har även utmärkt värmeledningsförmåga och är även

i övrigt lättbearbetat. I stort sett alla tänkbara typer av absorbatorer avsedda för montage i solfångare för varmvattenberedning kan utföras av koppar. För samtliga utförande gäller att vattenledningstrycket i systemet spelar en väsentlig roll vid val av absorbatortyp och material.

2.5 Isolering

I plana solfångare uppstår värmeförluster till följd av att baksidan absorberar - den värmeväxlande ytan - har en högre temperatur än omgivningen. För att "fånga in" den instrålade solenergin och överföra denna till nyttig energi, dvs då det gäller tappvatten, värma vattnet till en lämplig temperatur, erfordras det att solfångarens förluster till omgivningen är låga. Detta kan uppnås genom att solfångaren förses med

- o en isolering som anbringas på absorberarens baksida (den obestrålade ytan)
- o en glasning, bestående av en eller flera transparenta material vanligtvis glas, som monterats över absorberarens bestrålade yta

Glasningen och dess funktion har behandlats i avsnitt 2.2.1 och här skall isoleringen av absorberarens icke solbestrålade yta - absorberarens baksida studeras.

2.5.1 *Temperaturer i solfångare för varmvattenberedning*

Temperaturfördelningen i en solfångare är komplicerad och nära nog omöjlig att förutsäga i förväg. Förhållanden som påverkar denna är bl a

- o intensiteten hos solinstrålningen
- o utetemperaturen
- o vindstyrka
- o uppställningsplats
- o medieflöde genom solfångaren
- o isoleringen mot värmeförluster på absorberarens baksida
- o glasningens egenskaper

Av ovanstående framgår att temperaturen i en solfångare beror av klimatförhållanden, som ej kan påverkas i någon högre grad, men även av driften och utformningen av solfångaren. Vanligtvis eftersträvas en temperatur på varmvattnet från varmvattenberedaren av ca 40 - 45°C, vilket kan anses tillräckligt för de flesta aktiviteterna i ett hushåll. Under dagar med solsken klarar en rätt dimensionerad solfångar-installation av att värma tappvatten till denna temperatur med relativt god verkningsgrad ($\eta \approx 0,5$). Mulna dagar kan solinstrålningen vara otillräcklig för att temperaturen av 40 - 45°C skall kunna uppnås, och vattnet värms då till en lägre temperatur. Temperaturen i solfångaren är ej på samma nivå i hela solfångaren, ej ens om instrålning och övriga klimatförhållanden är konstanta under en längre tid. Den varierar i såväl höjd- djup- som längdled. I höjdled ändras temperaturen på absorberarens baksida från att i de lägre delarna ha en temperatur som (i normalfallet) är något högre än det inkommande vattnets temperatur, till att i de högre delarna ha en temperatur något högre än det utgående vattnets temperatur. Även i längdled kan temperaturen variera. Detta är i hög grad beroende av hur absorberaren är konstruerad. Är den utförd med rörregister till vilket en plåt fästs - bild (2/25) - så fås den högsta tempera-

turen i en punkt mitt emellan två stigarrör. Temperaturen på ytan av ett stigarrör är vid rätt drift, lägre än mittemellan två stigarrör. Hur mycket lägre den är beror på plåtens värmeledningensförmåga dvs vilket material och vilken tjocklek plåten är av samt delningen mellan stigarrören. Sättet på vilket stigarrör och plåt fästs till varandra spelar också stor roll. En schematisk bild av hur temperaturen på en absorbatoryta mellan två stigarrör kan variera visas i bild (2/82).

Även i höjddled varierar yttemperaturen på absorbatorytan. I alla punkter, placerade symmetrisk på flänsen till ett stigarrör, är temperaturen olika och värme-flödet i absorbatorytan är i realiteten tredimensionellt. Vanligtvis brukar man vid beräkningar förut-sätta att värme-flödet är endimensionellt dvs att värme-flödet i flänsen transporteras i längsled (från en punkt mitt emellan stigarrören är värme-flödet riktat vinkelrät mot rörets längdaxel som utsträcker sig i höjddled). I bild (2/83) visas schematiskt hur temperaturen kan variera i höjddled på absorbatorytan.

Yttemperaturerna på stigarrör kan uppskattas vara ca en grad över medeltemperaturen på vattnet i rörtvärnsnittet innanför rörväggen. Likaså är yttemperaturen på den bestrålade delen av plåtytan endast obetydligt högre än den som står i kontakt med isoleringen på absorbatorns baksida.

Temperaturfördelningen på en absorbatoryta är således komplicerad och än mer komplicerad är fördelningen i solfångaren som helhet. Då spelar förhållandena i luftspalten mellan absorbatoryta och glasning (vilka kan vara av minst lika komplicerad natur som värmeledningen i absorbatorn) roll. Det värmeutbyte med omgivningen som sker från absorbatorytans baksida medför ytterligare komplikationer.

Vid bestämningen av värmetransmissionen från en solfångare görs ofta ett antal förenklingar och antaganden. Till exempel användes oftast en medeltemperatur på absorbatorytan vid beräkningarna. I många fall sätter man denna lika med medeltemperaturen mellan temperaturen på inkommande och utgående vatten hos solfångaren. Likaså görs förenklingar vad gäller värmetransporten från absorbatorytan till omgivningen genom glasningen. Detta har behandlats tidigare. I det följande kommer värmetransmissionen genom isoleringen på absorbatorytans baksida att behandlas.

2.5.2 Förluster genom isolering

Förlusterna genom isoleringen på absorbatorns baksida beräknas som (gällande för fortvarighet och 1-dimensionell värmeledning)

$$P_i = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (\theta_1 - \theta_u) \quad (2:41)$$

där λ är isoleringens värmeledningsförmåga W/(mK)

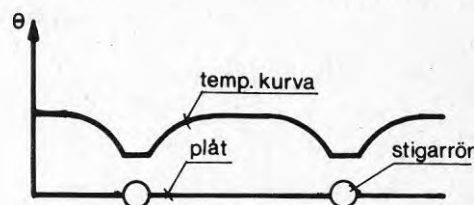


Bild 2/82 Temperaturkurva (schematisk) för ett område mellan två stigarrör.

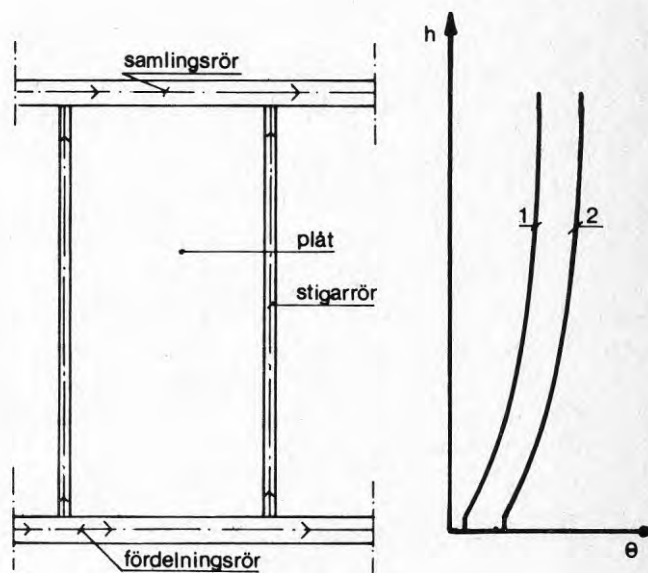


Bild 2/83 Temperaturkurvor (schematiska) i höjddled längs ett stigarrör och längs plåtens mitt emellan två stigarrör. Kurva 1 = stigarrör, 2 = plåt

δ dess tjocklek (m)

θ_1 och θ_u temperaturen på ömse sidor om isoleringen, se bild 2/84.

Detta uttryck kan jämföras med värmeförlusterna genom glasningen

$$P_g = \frac{\theta_i - \theta_u}{m_g} \text{ W/m}^2 \quad (2:42)$$

där θ_i är solfångarelementets temperatur och

θ_u är temperaturen utanför glasningen

och m_g är värmemotståndet hos glasväggen

Man får

$$\frac{P_i}{P_g} \approx \frac{\lambda}{\delta} \cdot m_g \quad (2:43)$$

för $\theta_i = \theta_1$. Här är $\lambda \approx 0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\delta \approx 1 \cdot 10^{-1} \text{ m}$

och $m_g \approx 0,2 - 0,3 \text{ (W/m}^2 \text{ K)}^{-1}$. Detta ger

$$0,08 < \frac{P_i}{P_g} < 0,12 \quad (2:44)$$

Förlusterna genom isoleringen är 8-15 % av förlusterna genom glasningen.

Vid bestämning av *totala förluster* behöver man därför i de flesta fall ej bestämma förlusterna genom isolering med någon större noggrannhet. Man kan därför bortse från randeffekter och också förenkla beräkningen för värmeförlusterna genom gavlar m m till (2:42).

2.5.3 Maximal temperatur i en solfångare

Vanligtvis bör temperaturen på utgående vattnet i en solfångare för varmvattenberedning ej överstiga 40 - 45°C vid normal drift eftersom högre temperaturer medför att verkningsgraden för solfångaren blir låg. Detta innebär ej att detta är den högsta temperatur solfångaren kan komma att bli utsatt för. En stängd ventil i cirkulationsledningen medför att flödet genom solfångaren avstannar varvid kylningen av absorbatorytan upphör med höjd temperatur i solfångaren som följd. Temperaturen kommer att öka tills jämvikt inträder mellan transmissionsförluster och instrålning.

Det kan vara av intresse att *grovt uppskatta* den temperatur då jämvikt inträder, vilket kan göras från en energibalans

$$\text{Instrålning} \quad \text{avgiven} \quad \text{upptagen energi}$$

$$(I_a - k \cdot A \cdot (\theta_s - \theta_u)) \, d\tau = m_s \cdot c_p \, d\theta$$

$$\frac{d\tau}{m_s \cdot c_p} = \frac{d\theta}{I_a - kA (\theta_s - \theta_u)} \quad (2:45)$$

där τ = tid (s)

m_s = vikten av solfångaren (kg)

c_p = värmekapacitiveteten för solfångare (Ws/(kg · K))

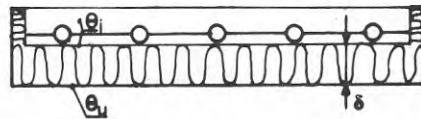


Bild 2/84

- I_a = instrålad effekt som absorberas av solfångaren under tidsrymden τ (W/m^2)
 k = värmeomgångstalet för solfångaren ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$)
 A = solfångararea (m^2)
 θ_s = sluttemperaturen för solfångaren vid den betraktade tidsrymden ($^{\circ}\text{C}$)
 θ_u = utetemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Integreras detta uttryck under den förutsättningen att endast θ_s ändras och att övriga storheter är konstanter erhålles

$$\tau = \frac{m_s c_{p_s}}{kA} \ln(I_a - kA\{\theta_s - \theta_u\}) + C \quad (2:46)$$

där C blir en konstant som bestäms av begynnelsevillkor.

Vikten, m_s , av solfångaren är den totala vikten inkluderande vikten av hölje, isolering, absorbdatoryta, vatten (i rör) och glasningen. Om man bortser från höljets, isoleringens och glasningens vikt samt gör vissa förenklingar (c_p är konstant) så kan produkten $m_s c_{p_s}$ sättas lika med

$$m_s c_{p_s} (\theta_s - \theta_u) = m_v c_{p_v} (\theta_{vv} - \theta_{kv}) + m_a c_{p_a} (\theta_{as} - \theta_{ab}) \quad (2:47)$$

- där m_v = vattnets vikt (kg)
 m_a = absorbdatorytans vikt (kg)
 c_{p_v} = vattnets värmekapacitivet ($\text{Ws}/(\text{kg K})$)
 c_{p_a} = absorbdatorytans värmekapacitivet ($\text{Ws}/(\text{kg K})$)
 θ_{vv} = vattnets sluttemperatur efter uppvärmningen ($^{\circ}\text{C}$)
 θ_{kv} = vattnets begynnelsestemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
 θ_{as} = absorbdatorytans sluttemperatur efter uppvärmningen ($^{\circ}\text{C}$)
 θ_{ab} = absorbdatorytans bebynnelsestemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Förutsätter man vidare att

$$\theta_s = \theta_{vv} = \theta_{as} \quad (2:48)$$

och

$$\theta_u = \theta_{kv} = \theta_{ab} \quad (2:49)$$

vilket är en ytterligare förenkling av problemet men normalt acceptabel, får man att

$$m_s c_{p_s} = m_v c_{p_v} + m_a c_{p_a} \quad (2:50)$$

För bestämningen av konstanten C i ekv. (2:46) har följande värden använts vid tiden $\tau = 0$

$$I_a = I_a$$

$$\theta_s = \theta_u$$

och då fås

$$C = \frac{m_s c_{p_s}}{k \cdot A} \cdot \ln |I_a| \quad (2:51)$$

Ekvation (2:46) kan efter omformning skrivas

$$\theta_s = \theta_u + \frac{I_a}{kA} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{kA}{m_s c_p} \cdot \tau\right) \right] \quad (2:52)$$

som kan ge ett approximativt värde för den högsta temperatur (θ_s) som kan uppstå i en solfångare där vattenflödet avstannat.

Man får för $\tau \rightarrow \infty$

$$\theta_{s\infty} = \theta_u + \frac{I_a}{kA} \quad (2:53)$$

I bilderna (2/85) och (2/86) återges ekvation (2:52) grafiskt. Temperaturen stiger som synes relativt snabbt i en solfångare om vattenflödet avstannar. Redan efter ca 1 h uppnås temperaturer i närheten av 100°C. I system med öppet expansionskärl är trycket i systemet endast 10 - 30 kPa över atmosfärstrycket och sålunda kommer i ett sådant system vattnet att börja koka vid temperaturer just över 100°C. Temperaturen kommer vid kokning att vara i stort sett konstant förutsatt att ingen tryckökning sker i systemet till följd av kokningen och således är endast den del av kurvskarorna i bilderna (2/85) och (2/86) som är under ca 100°C relevanta för sådana förhållanden. I system som står under vattenledningstryck eller dylikt gäller att vattnets kokpunkt blir en annan, se bild (2/87). Av bilden framgår att vid trycket 200 kPa (≈ 1 atö) är kokpunkten för vatten ca 120°C. I system anslutna till kommunala vattenledningsnätet är trycket oftast så högt att även installationer i de översta delarna i ett hus har ett tryck som är snarare över än under 200 kPa.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att temperaturer vid vilka vattnet i solfångare kokar kan uppstå och att en rad faktorer har en avgörande inverkan på om detta sker nämligen

- o solfångarens k -värde
- o mängden vatten solfångaren innehåller
- o vikten av absorberytan, materialet i denna samt dess konstruktion
- o trycket i systemet
- o utetemperaturen
- o instrålningen

Ovanstående resonemang har gällt en solfångare där flödet avstannat, vilket är det fall då solfångaren fortast når temperaturer i närheten av eller över kokpunkten. Det ovan behandlade fallet är ej det ogynnsammaste. Ogynnsammast är om hett vatten pumpats ut i solfångaren och sedan vattencirkulationen stoppats. Då nås eventuellt temperaturen $\theta_{s,\infty}$ enligt bild 2/85-/86. Vid cirkulationen av mycket hett vatten genom solfångaren kan därför vattnet komma i kokning till följd av det låga flödet genom solfångaren som i regel råder.

Ovanstående visar att temperaturer upp mot och även över 100°C kan uppstå under ogynnsamma förhållanden. Det är därför nödvändigt att material som användes i

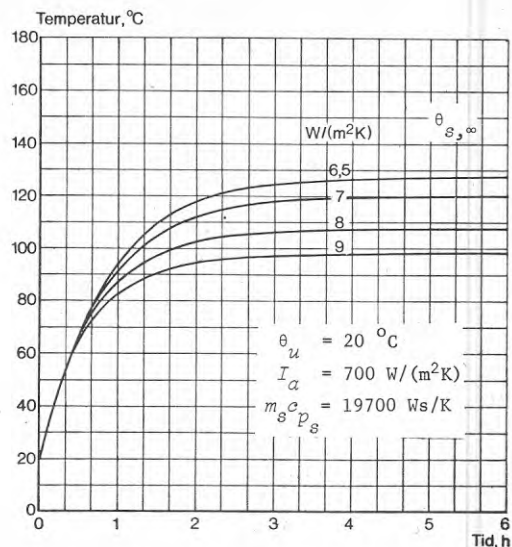


Bild 2/85 Temperatur, θ_s , i en solfångare med stillastående vatten, som funktion av tiden och k som parameter. Glasning med en ruta.

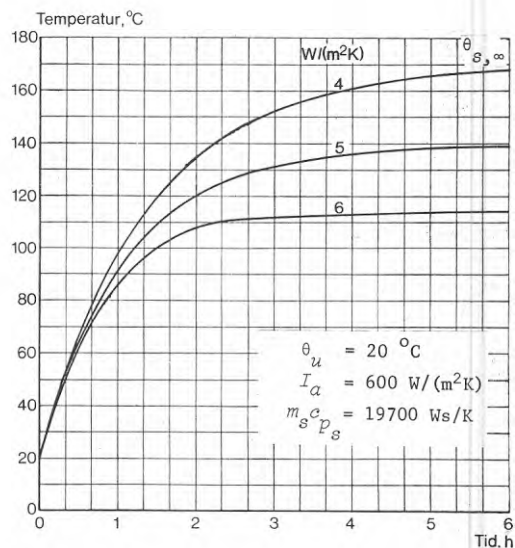


Bild 2/86 Temperatur, θ_s , i en solfångare med stillastående vatten, som funktion av tiden och k som parameter. Glasning med två rutor.

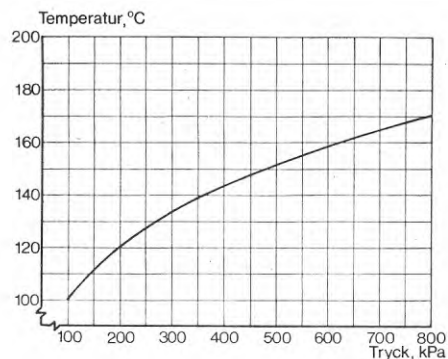


Bild 2/87 Vattens kokpunkt som funktion av trycket

solfångaren tål dessa temperaturer. Detta gäller inte minst isoleringen på absorberytans baksida. I det följande skall isoleringsmaterial och isoleringsutföranden diskuteras.

2.5.4 Isoleringsmaterial och isoleringsutförande - allmänt

Isoleringar kan vara utförda av

- o oorganiskt material
- o organiskt "

Då det gäller organiska material kan dessa som regel ej utsättas för högre temperaturer än 80°C. Detta är, som redovisats tidigare, ej en orealistisk temperatur för en solfångare avsedd för varmvattenberedning även om det ej är den som solfångaren i normal drift antar.

Oorganiska material vilka väl tål de temperaturer som kan uppstå i solfångare, är vanliga. Inom respektive grupp kan en indelning med hänsyn till materialets uppbyggnad t ex användbara

- o porösa skivor, plattor
- o skivor och mattor uppbyggda av fibrer
- o luftskiktisolereringar
- o gasfyllda isoleringar
- o "vakuumisolereringar"

Gemensamt för ovanstående grupper - utom för gasfyllda isoleringar - är att stillastående lufts värmeisolerande förmåga utnyttjas genom att materialet görs poröst. Materialet i själva isoleringen t ex fiber materialet i mineralull, är således till för att åstadkomma utrymmen av stillastående luft. I "vakuumisoleringar" har man genom att sänka absoluttrycket i ett utrymme åstadkommit ett lägre tryck än atmosfärstrycket samt att färre luftmolekyler kan transportera värme mellan ytor med olika temperatur. Då det gäller gasfyllda isoleringar användes en annan gas än luft som isolerande medium. Problemet med sådana isoleringar är att gasen, som oftast inneslutes i "små celler" med väggar av annat material, diffunderar till omgivningen och ger utbyte av gas med omgivningen samt att luft diffunderar in i "cellen". Avgörande för hur fort denna diffusion sker är bl a materialet i skiljeväggen mellan gas och luft samt partialtryckskillnaden cell-omgivning.

Förutom en god värmeisolerande förmåga dvs ett lågt värmeledningstal så bör ett isoleringsmaterial lämpligt att användas i solfångare ha

- o låg fuktupptagning
- o temperaturbeständighet
- o god formbeständighet
- o goda mekaniska egenskaper
- o beständighet mot röta och insekter
- o icke korrosiv inverkan på övriga material i solfångaren

2.5.5 Isolering av solfångare

En solfångare avsedd för effekten P kan antingen byggas med stor area, F , och liten isolering på baksidan eller med en bättre isolering och följaktligen med en mindre area.

Solfångarens kostnad, K , sammansätts av kostnaden för fångarelementet och kostnaden för isoleringen:

$$K = (H_i \cdot \delta + H_e) F \quad (2:54)$$

där H_i är isoleringens pris (kr/m³)

H_e är solfångarelementets pris (kr/m²) och

δ är isolertjockleken.

Effekten, P , solfångaren ger bestäms av

$$P = q \cdot F - k_i (\theta_e - \theta_l) \cdot F \quad (2:55)$$

där Av ele- Förluster
mentet genom
upptagen isolering
effekt -
förluster
genom
glasning

där θ_e är elementets temperatur

θ_l är temperaturen hos luften utanför elementet

k_i är isoleringens värmeomgångstal bestämt av

$$\frac{1}{k_i} = \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda} \quad (2:56)$$

med $\alpha \approx 15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ och där

λ är isoleringens värmeledningstal W/(mK)

Kostnaden per effekt enhet blir

$$\frac{K}{P} = \frac{H_i \delta + H_e}{q - k_i (\theta_e - \theta_l)} = H_P \quad (2:57)$$

vilken skall ha ett minimum. Inför vi (2:56) i (2:57) får vi

$$H_P = \frac{H_i \delta + H_e}{q - \frac{\alpha}{1 + \frac{\delta}{\alpha \lambda}} (\theta_e - \theta_l)} \quad (2:58)$$

som har ett optimalt värde för

$$\frac{dH_P}{d\delta} = 0 \quad (2:59)$$

Ett lågt värmeledningstal eftersträvas hos isoleringsmaterialiet i en solfångare bl a för att djupet på solfångaren skall bli så litet som möjligt. Tjockleken hos isoleringsmaterialiet på absorbtorytans baksida inverkar även på dimensionen på höljet runt isolering. De flesta isoleringsmaterial med lågt värmeledningstal är mycket porösa, och har låg densitet, vilket ger en lågt vikt i förhållande till andra material. Isoleringsmaterial, som är uppbyggda med fibrer eller på annat sätt så att celler av stillastående luft uppstår, är oftast mycket känsliga för vindpåverkan, varför höljet är nödvändigt. När solfångare planeras vid projekteringen av ett hus är det möjligt att den kommer att utgöra en del av yttertakets eller dylikt varvid kravet på litet värmeledningstal för att hålla nere solfångarens dimension och vikt ej kvarstår.

Flertalet solfångare för varmvattenberedning kommer troligtvis att bli tillverkade som fristående enheter om 1 - 3 m² och därmed måste de förses med hölje. Detta hölje, som tillsammans med glasningen utgör skydd mot väder och vind, är ej helt tätt och det är därför viktigt att isoleringen ej är av sådant material att den suger åt sig fukt. Otäthet uppstår t ex vid rör genomföringar i höljet. Fukt transporteras in i solfångaren med luft från omgivningen. Ett fuktigt isoleringsmaterial har en väsentligt sämre värmeisolerande förmåga än ett torrt.

Isoleringsmaterialiet måste ha beständighet mot de temperaturer som kan tänkas uppstå i en solfångare. Det gäller således ej endast temperaturer som uppstår vid normal användning utan även de som kan uppstå vid stopp i vattencirkulationen genom en solfångare.

Med god formbeständighet för ett isoleringsmaterial menas, att det även efter lång tids användning i en solfångare, skall ha samma form, som då det monterades. Det skall således ej falla ihop så att oisolerade partier uppstår bakom absorbtorytan. Vidare skall det behålla sin form även efter transport och normalt handhavarande av solfångaren. Livstiden för materialet skall vara minst lika lång som övriga delar i solfångaren, vilka bedöms vara ca 15 - 30 år vid rätt skötsel och drift.

De mekaniska egenskaperna för isoleringsmaterialiet måste vara sådana att materialet går lätt att handskas med både då solfångare tillverkas på fabrik eller då den görs genom självbyggeri. Som framhållits tidigare går det ej att göra en helt tät solfångare varför det är väsentligt att isoleringsmaterialiet är beständigt mot röta och insekter. Små djur i isoleringen kan ge upphov till kanaler med ökad värmetransport pga att luftcirkulation uppstår. Isoleringsmaterialiet får ej ge upphov till korrosion på övriga material i en solfångare d v s det får inte innehålla någon gas eller annat ämne som i sig självt eller under speciella förhållanden tillsammans med något

Ekv (2:58) och (2:59) ger

$$H_i \frac{\lambda \left(1 + \frac{\alpha \delta}{\lambda}\right)^2}{\alpha^2 (\theta_e - \theta_l)} = \frac{H_i d + H_e}{q - \frac{(\theta_l - \theta_e) \alpha}{1 + \frac{\delta}{\lambda}}} \quad (2:60)$$

Normalt är

$$\frac{(\theta_e - \theta_l) \alpha}{1 + \frac{\delta}{\lambda}} \ll q \quad (2:61)$$

och $H_i d \ll H_e$

vilket ger

$$\delta = \sqrt{\frac{H_e}{H_i} \cdot \lambda \cdot \frac{(\theta_e - \theta_l)}{q}} - \frac{\lambda}{\alpha} \quad (2:62)$$

För t ex $H_i = 200 \text{ kr/m}^3$

$$H_e = 600 \text{ kr/m}^2$$

$$\lambda = 0,04 \text{ W/m K}$$

$$\alpha = 10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$q = 300 \text{ W/m}^2$$

$$\theta_e - \theta_l = 40 - 20 = 20^\circ \text{C (anv. sommartid)}$$

får vi

$$\delta = \sqrt{\frac{600}{200} \cdot 0,04 \cdot \frac{20}{300}} - \frac{0,04}{10}$$

$$\delta = 0,089 - 0,004 = 0,085 \text{ m}$$

Effekten per ytenhet blir enligt ekv (2:55)

$$\begin{aligned} \frac{P}{F} &= q - k_i (\theta_e - \theta_l) \\ &= 300 - \frac{10}{1 + 10 \frac{0,085}{0,04}} \cdot 20 = 291 \text{ W} \end{aligned} \quad (2:63)$$

dvs förlusterna är $\frac{9}{300} \cdot 100 = 3\%$.

Kostnaden, K, varierar dock långsamt med isolertjockleken, se bild 2/88, vilken uppgjorts för exemplrets siffervärden.

Som framgår av bilden kan man acceptera en väsentligt klenare isolering utan att årskostnaden för fångaren behöver stiga i någon större grad.

Isolertjockleken ökar med

- o ökande fångarpris
- o sjunkande isolerpris
- o ökande temperaturdifferens
- o sjunkande värmeupptagning per ytenhet.

ämne t ex vatten ger upphov till korrosion.

2.5.5 Värmeledningstalet för isoleringsmaterial

Värmeledningstalet för isoleringsmaterial beror av

- o temperaturen
- o volymvikten
- o fukthalten

Värmeledningstalet ändras med temperaturen. Flertalet isoleringsmaterial är uppbyggda av fibrer så att celler av stillastående luft bildas. Stillastående luft har ett lågt värmeledningstal som ökar med temperaturen. Det förefaller därför naturligt att värmeledningstalet för isoleringsmaterial, som utnyttjar stillastående luftas goda isolerande egenskaper, även ökar med temperaturen. Så är också fallet, men ökningen kan också hänföras till ökat värmeutbyte igenom strålning och konvektion samt ledning i det fasta materialet. Bild 2/89 visar hur värmeledningstalet för luft av atmosfärstryck ändras som funktion av temperaturen. Det totala värmeledningstalet λ_{tot} för ett isoleringsmaterial är ett fiktivt värde genom att värmetransporten till följd av strålning och konvektion i materialet adderats till värdet p g a ledning i luft.

Det skenbara värmeledningstalet för ett isoleringsmaterial kan enligt Bäckström (1951) beräknas med hjälp av formeln

$$\lambda_{tot} = \lambda_{luft} + \lambda_k + \lambda_s + \lambda_{cirk} + \Delta\lambda_d + \Delta\lambda_m + \Delta\lambda_b + \Delta\lambda_{H_2O} \quad (2:64)$$

där

λ_{luft} = värmeledningstalet för stillastående luft

λ_k = värmeledningstalets ökning till följd av egenkonvektion

λ_s = värmeledningstalets ökning till följd av strålning

λ_{cirk} = värmeledningstalets ökning till följd av luftcirkulation i materialet,

$\Delta\lambda_d$ = värmeledningstalets ökning till följd av fritt vattens avdunstning och kondensation på begränsningsytor

$\Delta\lambda_m$ = värmeledningstalets ökning till följd av ledning i t ex fibermaterialet isolering är uppbyggt av

$\Delta\lambda_b$ = värmeledningstalets ökning till följd av ledning i impregneringsmaterial

$\Delta\lambda_{H_2O}$ = värmeledningstalets ökning till följd av värmetransport i vatten, som upptagits av t ex fibermaterialet

Av ekvation (2:64) framgår att värmeledningstalet för ett isoleringsmaterial är beroende av en rad faktorer som ej endast beror av materialets uppbyggnad utan även av monteringen och vilka klimatbetingelser som råder.

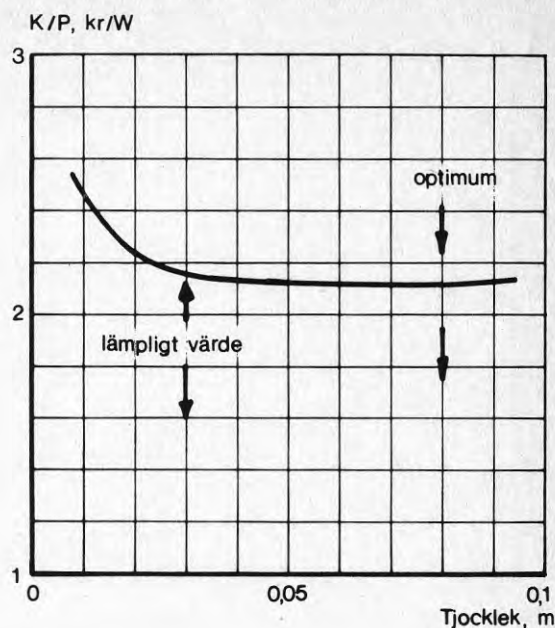


Bild 2/88

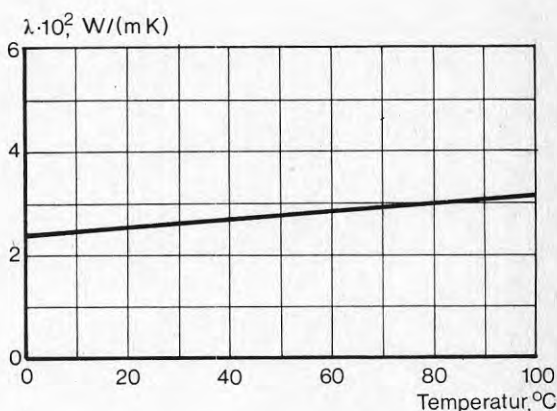


Bild 2/89 Värmeledningstalet för luft av atmosfärstryck som funktion av temperaturen

Ökningen av det skenbara värmeledningstalet till följd av konvektion, λ_k , sker i isoleringsmaterial med hela cellväggar först när avståndet dem emellan når en viss storlek ca 10 mm. För en uppskattning av λ_k kan man då använda

$$\lambda_k = \frac{\delta_s \cdot \alpha_k}{2} - \lambda_{luft} \quad (2:65)$$

där α_k = värmeövergångstalet till följd av konvektion vid cellväggens båda väggar ($W/(m^2 \cdot K)$)

δ_s = avståndet mellan två cellväggar (m)

Ekvation (2:65) gäller då värmeövergångstalet, α_k , är lika vid cellväggarna samt för $\delta_s \cdot \alpha_k/2 > \lambda_{luft}$.

Vid ett isoleringsmaterial som är uppbyggt av fibrer, råder ofta mindre avstånd än 10 mm emellan väggarna i luftcellerna bildade av fibrer, men däremot inte full täthet mellan cellerna, varför det kan uppstå en luftcirkulation genom hela isoleringen som ger upphov till en ökning av värmeledningstalet - λ_{cirk} . Denna luftcirkulation är en av anledningarna till att det skenbara värmeledningstalet, λ , ökar för porösa material.

I bilderna (2/90) och (2/91) visas ett exempel på inverkan av λ_{cirk} för en glasfiberisolering med volymvikten 50 kg/m^3 . För material med lägre volymvikt ökar inverkan av λ_{cirk} betydligt. En relativt stor ökning av värmeledningstalet till följd av konvektionsströmmar i materialet sker, såsom visas i bilderna (2/90) och (2/91) redan vid medeltemperaturdifferenser som är högst tänkbara i solfångare för tappvarmvattenberedning och på nivåer i höjddled som väl överensstämmer med höjden på solfångare. Resultaten i bilderna gäller för vertikal montering. Solfångare monteras oftast med en viss lutningsvinkel mot horisontalen, vilket gör att bidraget λ_{cirk} blir lägre. Däremot tillkommer i solfångare inverkan vid kanter och absorbatortytans ofta oregelbundna form, där kanaler i vilka luft kan cirkulera, lätt uppstår.

Det fiktiva värmeledningstalet, λ_s , orsakad av värmetransporten i materialet genom strålning kan beräknas enligt

$$\lambda_s = \delta_s \cdot \alpha_s \quad (2:66)$$

där δ_s = luftskiktstjocklek (m)

α_s = värmeövergångstalet till följd av strålning $W/(m^2 \cdot K)$

Värmeövergångstalet α_s kan beräknas enligt

$$\alpha_s = f_{12} \cdot C_s \cdot \frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2} \quad (2:67)$$

där

$$f_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} : \epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon \Rightarrow f_{12} = \frac{1}{\frac{2}{\epsilon} - 1} \quad (2:68)$$

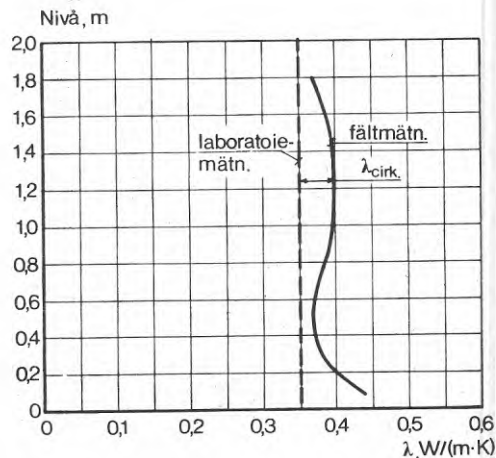


Bild 2/90 Värmeledningstalet för glasfiberisolering på olika nivåer i höjddled vid en medeltemperaturdifferens av 11,3 K. Laboratoriemätningarna avser material där ingen luftcirkulation sker. Enligt Bäckström 1951.

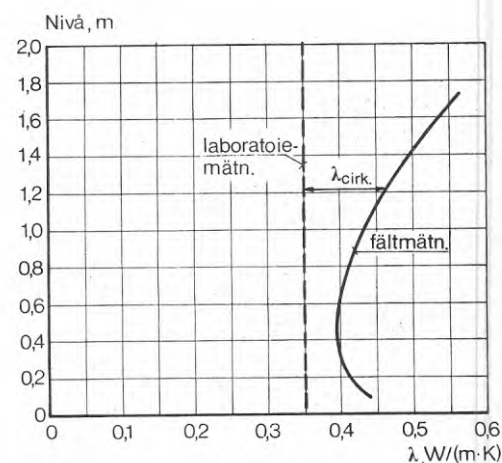


Bild 2/91 Värmeledningstalet för glasfiberisolering på olika nivåer i höjddled vid en medeltemperaturdifferens av 30,4 K. Laboratoriemätningarna avser material där ingen luftcirkulation sker. Enligt Bäckström 1951.

där ϵ_2 = strålningstalet för materialet
 C_s = strålningskoefficienten för en svart kropp
 $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$
 T_1 = varma ytans absoluta temp. (K)
 T_2 = kalla " " " (K)

Det fiktiva värmeledningstalet till följd av strålning beror således av tjockleken hos luftskiktet, δ_s , och av värmeövergångstalet till följd av strålning, α_s . För att påverka storleken hos λ_s genom en ändring av α_s måste material med litet emissionstal ϵ väljas. Lättare är kanske att välja avståndet δ_s mindre för materialet.

Fritt vattens förekomst i isoleringsmaterialet ger upphov till λ_d . Värmetransporten ökar därmed väsentligt. Fritt vatten skall inte förekomma i isoleringsmaterialet annat än i undantagsfall. I fristående solfångare skall höljjet vara utfört så att det skyddar mot t ex regn, som i annat fall kan vara en anledning till att fritt vatten fås i materialet.

Bidragen i det totala värmeledningstalet λ_{tot} av termerna λ_k , λ_s , λ_{cirk} och λ_d i ekv. (2:64) beror förutom av materialval och tillverkning, även av hur monteringen av isoleringen utförs. En illa utförd montering kan medföra ett väsentligt högre λ_{tot} . Bidragen från $\Delta\lambda_m$, $\Delta\lambda_b$ och $\Delta\lambda_{H_2O}$ beror däremot huvudsakligen på val av material och tillverkning.

Värmeledningstalet, λ_{tot} , för mineralull ($\rho=100 \text{ kg/m}^3$) anges ofta vid rumstemperatur till $0,04 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. För luft vid denna temperatur är värmeledningstalet $\lambda_{luft} = 0,026 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Man erhåller då att

$$\lambda_{tot} - \lambda_{luft} = \lambda_k + \lambda_s + \Delta\lambda_m + \Delta\lambda_b + \Delta\lambda_{H_2O} = 0,014$$

Jämföres detta uttryck med ekvation (2:64) upptäcks att λ_{cirk} och λ_d ej är medtaget. Dessa kan ej anges eftersom de beror av förhållanden som råder på platsen för isoleringens montering. En viss ökning av värmeledningstal angivna i katalogdata sker oftast genom att en viss luftcirkulation uppstår i materialet, som tänkes förorsaka λ_{cirk} . Normalt förekommer dock ej fritt vatten i ett isoleringsmaterial och det kan förväntas gälla även för en solfångare tillverkad på omsorgsfullt sätt.

2.5.6 Isoleringsmaterial för solfångare

Som isoleringsmaterial i solfångare kan användas

- o mineralull
- o plastmaterial
- o kork
- o träfiberplattor

I det följande skall respektive materialgrupps egenskaper diskuteras.

2.5.7 Mineralull

Mineralull är samlingsnamnet för isoleringsmaterial av glas och sten. Produkter av dessa material förekommer i form av skivor, mattor och rörskålar och volymvikten varierar mellan 15 - 200 kg/m³. Den värmeisolerande förmågan ändras med volymvikten för materialet och med medeltemperaturen i materialet. Bild (2/92) visar värmeledningstalet som funktion av temperaturen för mineralull med volymvikten 50 kg/m³.

Värmeledningstalet som funktion av volymvikten vid olika medeltemperatur i materialet visas i bild 2/93

värmeisoleringsförmågan för ett material hänger samman med fukthalten i materialet. En ökning av fukthalten ger, såsom nämnts förut, en ökning i värmeledningstalet. Fuktkvoten i mineralull är även vid extremt höga värden på luften relativa fuktighet lägre än 0,5 viktsprocent.

Isoleringsmaterialet luftmotstånd har en avgörande inverkan för uppkomsten av konvektionsströmmar och luft-rörelser i materialet. Luftgenomsläpplighetstalet för ett isoleringsmaterial är en storhet som ofta nämns och är inverterade värdet av luftmotståndet. I bild (2/94) visas luftmotståndet som funktion av volymvikten vid strömning vinkelrät mot och strömning parallellt med fibrerna i materialet.

Mineralulls genomsläpplighet för vattenånga är hög och den varierar med volymvikten. Den höga genomsläppligheten gör att risken för kondensation i själva mineralullen är liten. Kondensation sker sålunda lättare vid gränssytan mot andra material.

Fiber materialet i mineralull absorberar ej något vatten utan eventuellt vatten finns emellan fibrerna. Detta inverkar på torkningen av mineralull som dränks med vatten.

Temperaturbeständigheten för mineralull är god och den tål de temperaturer som kan uppstå i en solfångare under onormal drift. Materialet beständighet mot åldring är god och det ändrar ej värmeisolerande egenskaper under den livstiden som är aktuell för en solfångare.

2.5.8 Isolering av plastmaterial

I isoleringar av plast användes samma princip som vid andra förekommande isoleringsmaterial, nämligen att åstadkomma ett gasfyllt utrymme med så små dimensioner att värmetransporten huvudsakligen sker genom ledning i den inneslutna gasen. Vanligtvis är det luft som inneslutes i den cell som bildas med hjälp av väggar av plastmaterial, därav namnet cellplast. Förutom luft så förekommer det att andra gaser med lägre värmeledningstal än luft användes. I metanskumplast användes t ex jämsides med luft,

- o koldioxid
- o monofluortriklormetan
- o blandning av luft och monofluortriklormetan

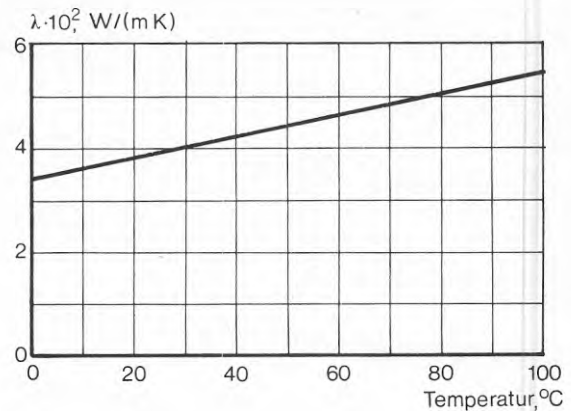


Bild 2/92 Värmeledningstalet för mineralull som funktion av temperaturen vid densiteten 50 kg/m³

Källa: Rockwool isolerhandbok

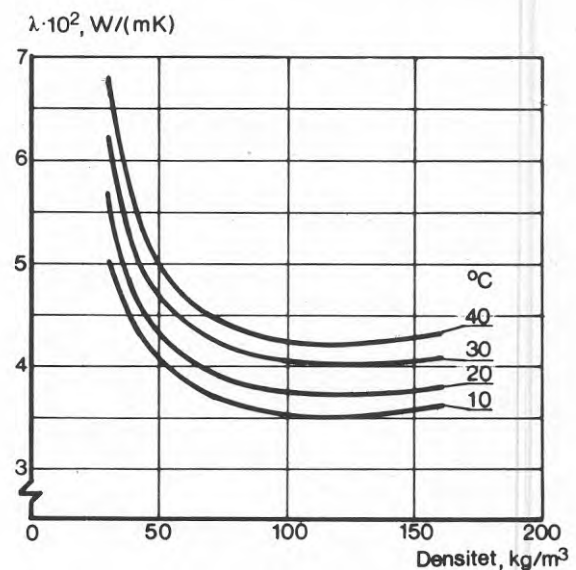


Bild 2/93 Värmeledningstalet för mineralull som funktion av densiteten och med medeltemperaturen i materialet som parameter.

Källa: Rockwool isolerhandbok

Tabell 2-4 Densitet

Material	Volymvikt, kg/m ³	Värmeledningstal, W/(mK)	Högsta användningstemp., °C
Styrencellplast	12-30	0,038-0,050	70-80
Utetancellplast	30-50	0,030-0,033	80-120

Cellplast är samlingsnamnet för ett antal isoleringsprodukter av plast. De vanligast förekommande är uppräknade i tabell 2-4, där även densitet, det praktiskt tillämpbara värmeledningstalet och högsta användningstemperatur finns angivna.

Värmeledningstalet för cellplast varierar med medeltemperaturen i materialet, vilket är naturligt eftersom cellerna ofta innehåller luft och λ_{luft} varierar med temperaturen (se bild 2/89). Bild 2/95 visar värmeledningstalets variation med temperaturen för en styrencellplast med $\rho = 25,8 \text{ kg/m}^3$. Värmeledningstalet för styrencellplast varierar med densiteten och i bild 2/96 visas detta för cellplast med olika medeltemperaturer. Uretancellplasterisoleringar med annan gas än luft innesluten i cellerna ändrar sitt värmeledningstal med tiden på grund av diffusion. Ett exempel på detta visas i bild (2/97) som gäller för en uretancellplast med monofluortriklormetan som innesluten gas i cellerna. Förändringen av materialet påskyndades genom att materialet hölls vid en temperatur av 60°C .

Cellplast av styren har låg vattenabsorption och som exempel på storleksordningen av denna kan nämnas att den är ca 2 - 3 volymsprocent även efter 6 månaders lagring i vattten. En ökning av fukthalten med en volymsprocent ger en ökning av värmeledningstalet med 5 %. Den låga vattenabsorptionen kan göra att man frestas att tillverka fristående solfångare utan ett skyddande hölje. En sådan lösning bör dock övervägas innan den görs, ty isoleringens förmåga att utstå mekaniska påkänningar är ej sådan, att den helt kan ersätta höljets. Genomsläpligheten för vattenånga för cellplaster är vanligtvis lågt. Ökande densitet medför att genomsläpligheten minskar.

En begränsning för cellplastisoleringens användning som isoleringsmaterial i solfångare är att de vanligtvis ej tål högre temperaturer än $65 - 75^\circ\text{C}$. En del kvaliteter tål $80 - 90^\circ\text{C}$. Som visats tidigare kan temperaturer som överstiger dessa uppstå i solfångare varför vid användandet av cellplastmaterial något skydd mot överhettning av solfångaren erfordras. I bild (2/98) visas ändringen i volym hos cellplast som funktion av temperaturen. För temperaturer över 100°C sjunker volymen kraftigt och är vid ca $110 - 130^\circ\text{C}$ endast 20 - 35 % av volymen vid 80°C .

2.5.9 Andra möjliga isoleringsmaterial

Kork och träfiberplattor är andra tänkbara isoleringsmaterial för solfångare. Det är dock inte troligt att de kommer att få någon större användning för isolering av solfångare.

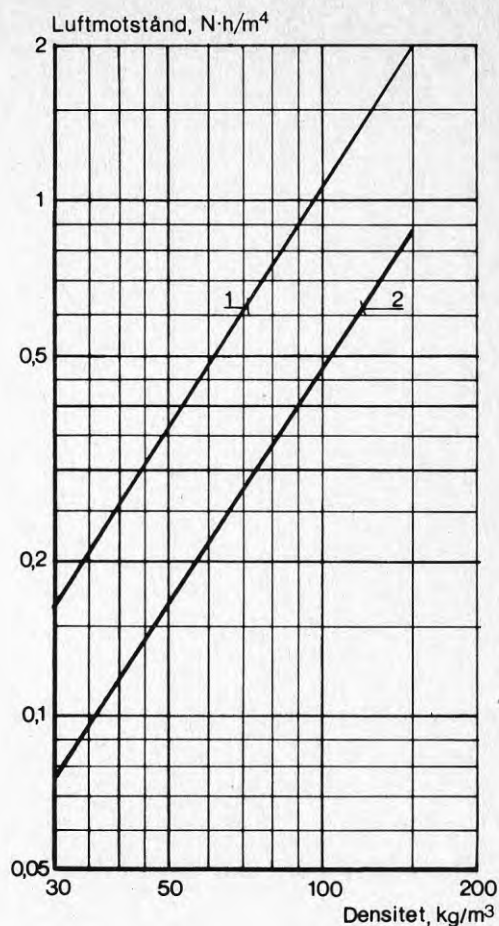


Bild 2/94 Luftmotståndet för mineralull som funktion av densiteten vid strömning vinkelrät (kurva 1) och parallellt med fibrerna (kurva 2), då tryckgradienten är 10 Pa/m

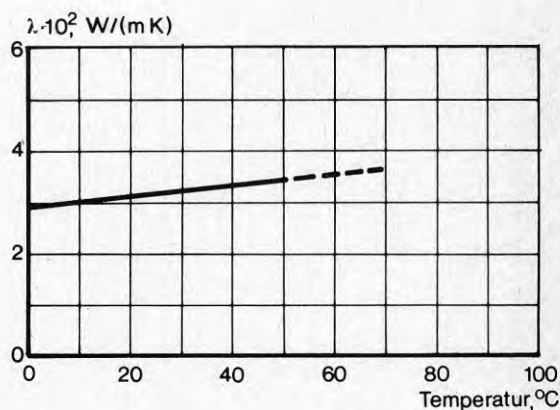


Bild 2/95 Värmeledningstalet som funktion av temperaturen för styrencellplast med densiteten $25,8 \text{ kg/m}^3$
Källa: WMB-material 1, 1983. Cellplast av polystyren

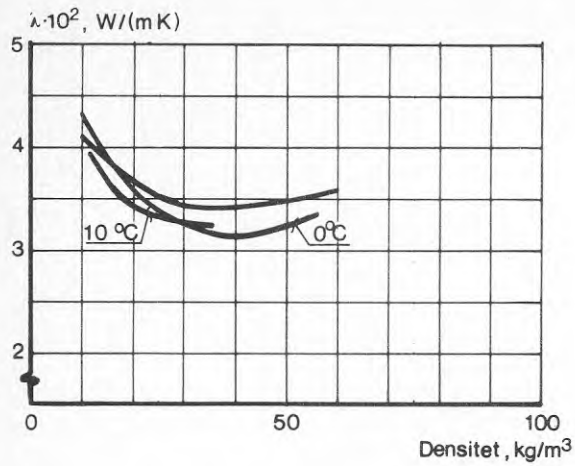


Bild 2/96 Värmeledningstalet för styrencellplast som funktion av densiteten vid olika medeltemperatur i materialet
Källa: WMB-material 1, 1963. Cellplast av polystyren

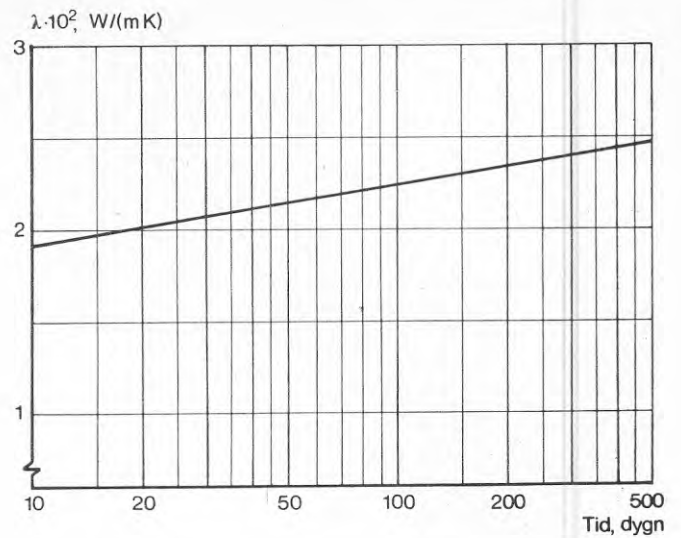


Bild 2/97 Värmeledningstalets ändring under åldring vid 60°C för hård gasfylld uretancellplast (monofluortriklorometan).
Källa: WMB-material 2, 1962. Isolering med uretanskumplast

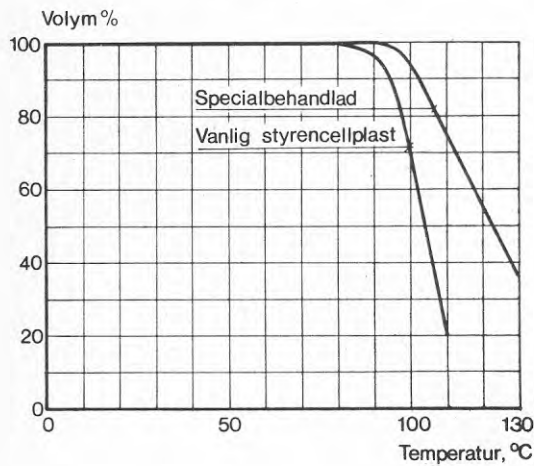


Bild 2/98 Volymen för styrencellplast som funktion av temperaturen.
Källa: WMB-material 1, 1963. Cellplast av polystyren

2.6 Vattencistern

Tappning av varmvatten sker oregelbundet och är ofta koncentrerad till vissa tider under dygnet. T ex förekommer ofta morgon, middag och kväll större varmvattentappning än under resten av dagen. Denna oregelbundenhet i tappningarna gör att man kan lagra värme från en tidpunkt till en annan och därmed ej behöver dimensionera efter maximal uttagen effekt utan kan nöja sig med lägre effekt. Denna är inkopplad under längre tid och värme lagras i ett magasin så att varmvatten även kan erhållas vid störttappningar. Denna teknik, att lagra värme under en tid för att använda den vid en annan, är nödvändig vid utnyttjande av solenergi för varmvattenberedning.

Här kan värmningen ske endast under dagtid och ej alltid med samma effekt. Effekten som upptages i solfångaren varierar under dagen på grund av olika infallsvinkel för strålningen samt med väderleken som råder. Även under mulna dagar insamlas en del energi på en diffusstrålning, men anläggningen kan ej vanligen - av ekonomiska skäl - dimensioneras för att klara varmvattenberedningen en sådan dag.

Beroende på systemets utformning får lagringscisternen olika storlek. Även materialet i cisternen måste väljas med hänsyn till hur vattnet passerar den och sammansättningen hos vattnet. Om varmt tappvatten lagras i cisternen måste den t ex utföras av material som ej korroderar då det utsätts för vatten innehållande utfällt syre. Trycket, vilket cisternen utsätts för, har också betydelse för materialvalet.

I bilderna (2/99) - (2/102) visas olika tänkbara utföranden av vattencisterner. Bild (2/99) visar en cistern för lagring av tappvatten som cirkulerat genom solfångaren. Systemet medför att vattenledningstryck råder i hela anläggningen och att den måste dimensioneras för att tåla detta tryck.

Cisternen måste i detta utförande tillverkas av material som ej korroderar. Varmvattenberedare där värmning av tappvattnet sker med el-patroner, tillverkas ofta av rostfritt stål. På senare tid har det rostfria stålet er-

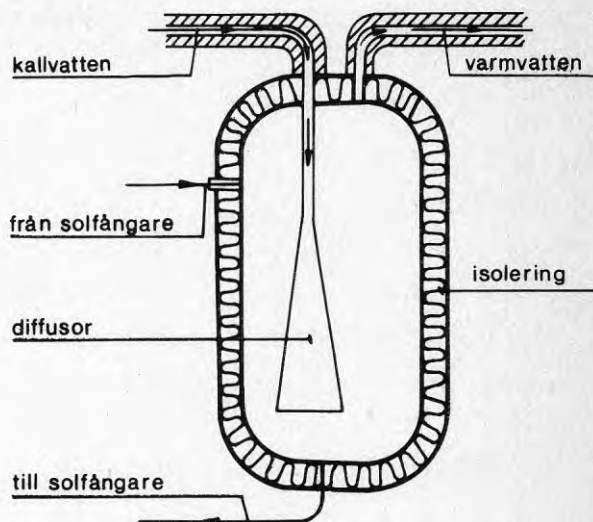


Bild 2/99 Cistern avsedd för ett system där tappvattnet cirkulerar genom solfångaren och med vattenledningstryck i rörledningarna och cisternen

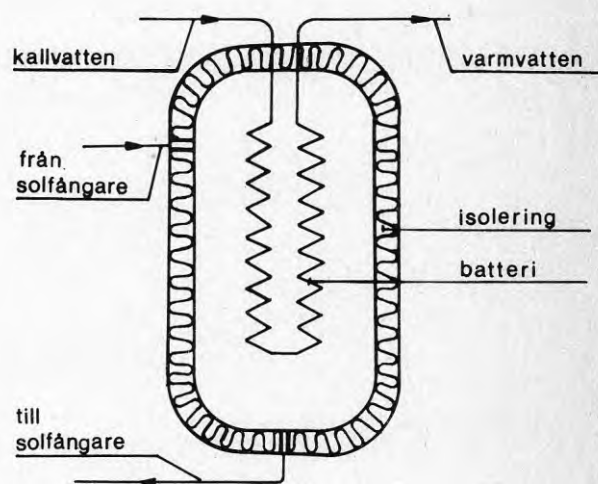


Bild 2/100 Cistern avsedd för ett system där tappvattnet ej cirkulerar genom solfångaren. Vattenledningstryck råder ej i cisternen.

satts av vanligt stål. Den yta som står i kontakt med tappvattnet emaljas för att motstå korrosion. Dessa båda utföranden kan även användas vid solvärmeanläggningar. Det förekommer också att cisterner tillverkade av stål kopparfodras, så att korrosionen motverkas på detta sätt. Ofta används detta förfarande vid dubbelmantlade cisterner, se bild (2/102).

I bild (2/100) visas en genomströmningsberedare. Här uppvärms ett magasin med vätska med hjälp av solenergi och värmning av tappvattnet sker genom att kallt vatten får strömma genom ett batteri placerat i vätskan. Detta batteri består av kopparrör. Cisternen kan tillverkas i stål och korrosionen i denna kan motverkas genom att inhibitorer tillsätts. Dessutom sker en viss utlösning av syre från vattnet i och med att det värms. En lika kraftig avluftning som den i radiatorsystem erhålls ej eftersom vattnet ej värms till lika hög temperatur vid varmvattenberedning med solenergi. För att undvika avluftningsproblem kan man tänka sig att fylla på systemet med avluftat vatten t ex från en oljeeldad värmeanläggning.

Bild (2/101) visar en cistern där ett tappvattenmagasin värms genom värmeväxling mellan vattnet i magasinet och vätskan som cirkulerar genom solfångaren. Här måste återigen cisternen tillverkas av material, som motstår det korrosiva tappvattnet. Även värmeväxlaren måste utföras av material som ej korroderar eftersom den också utsätts för samma vatten.

Bild (2/102) visar en dubbelmantlad cistern där tappvattnet magasineras och värms genom att vatten från solfångaren cirkulerar i utrymmet mellan den yttre och inre manteln. Ofta utförs cisterner som dessa kopparfodrade, så att ej någon korrosion skall uppstå. Materialet i cisternväggar i övrigt tillverkas av stål.

2.6.1 Isolering av vattencistern

Isolering av cisternen måste ske för att inte det värmda vattnet i magasinet skall avkylas för snabbt. Det är önskvärt att lagring kan ske över en natt utan att värmeförlusterna och därmed sammanhängande temperatursänkning spelar för stor roll. Vanligen används mineralull

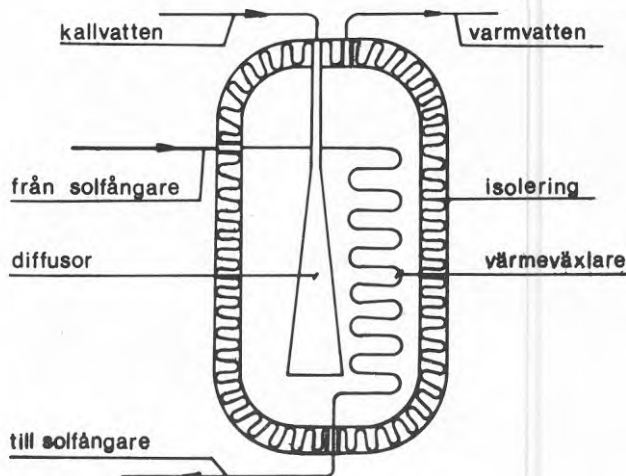


Bild 2/101 Cistern avsedd för ett system där tappvattnet ej cirkulerar genom solfångaren. Vattenledningstryck råder i cisternen.

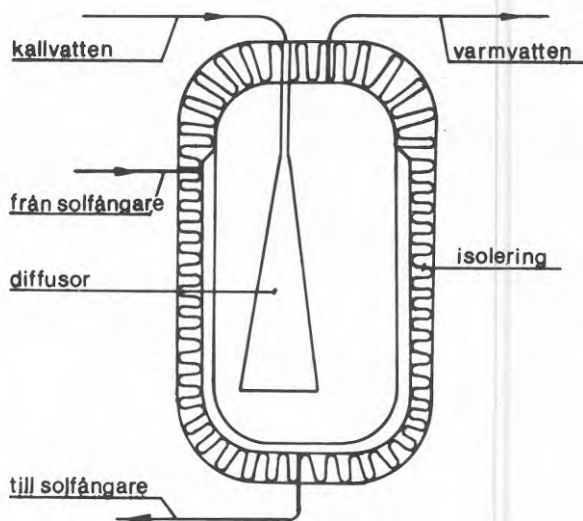


Bild 2/102 Cistern med dubbelmantel där tappvattnet ej cirkulerar genom solfångaren. Vattenledningstryck råder i cisternen.

som isolering. Övriga vanligen förekommande isoleringsmaterial i liknande sammanhang - cellplaster och polyuretan - torde från kostnadssynpunkt finnas ej vara aktuella.

Beräkningen av värmeförlusterna från vattencisternen kan ske med

$$P = k_m \cdot A_i \cdot \Delta\theta \quad (2:69)$$

där P = värmeförlusten

k_m = k -värde för den sammansatta konstruktionen
W/m²K

A_i = cisternens inre mantelyta m²

$\Delta\theta$ = temperaturdifferensen mellan medeltemperaturen hos vattnet i cisternen och omgivningens temperatur.

Varmvattenberedare, värmda med el-patroner eller av elektriska värmesköldar, har en volym av ca 300-400 l. För att anläggningen skall klara att fungera med tillfredsställande verkningsgrad även om cisternen är laddad med varmvatten från föregående dag är det lämpligt att välja större volym än den beräknade varmvattenförbrukningen under ett dygn. Låt oss anta att en storlek av 300 l är lämplig - en familj på 3 personer förbrukar ca 200 l/dygn - för en villa. Värmeförlusterna från cisternen varierar med tjockleken på isoleringen. I bild(2/103) anges värmeförlusten för en cistern med diametern 0,6 m. Godstjockleken i cisternväggar har försummas vid beräkning av förlusterna. Vidare har det förutsatts, att cisternen består av en cylinder och två halvsfärer som gavlar. Beräkningen av cisternens k -värde har gjorts med hjälp av ekvation(2:70) och är det sammansatta k -värdet hänfört till cisternens inre mantelyta. För k_m gäller:

$$k_m = \frac{k_{ic} \cdot A_{yc} + k_{is} \cdot A_{ys}}{A_{yc} + A_{ys}} \quad (2:70)$$

för cylinder:

$$\frac{1}{k_{ic}} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{A_{ic}}{\alpha_u \cdot A_{yc}} + \frac{A_{ic}}{\lambda \cdot 2\pi \cdot l} \ln \frac{d_{yc}}{d_{ic}} \quad (2:71)$$

och för sfär:

$$\frac{1}{k_{is}} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{A_{is}}{\alpha_y \cdot A_{ys}} + \frac{A_{is}}{\lambda \cdot 2\pi} \left(\frac{1}{d_{is}} - \frac{1}{d_{ys}} \right) \quad (2:72)$$

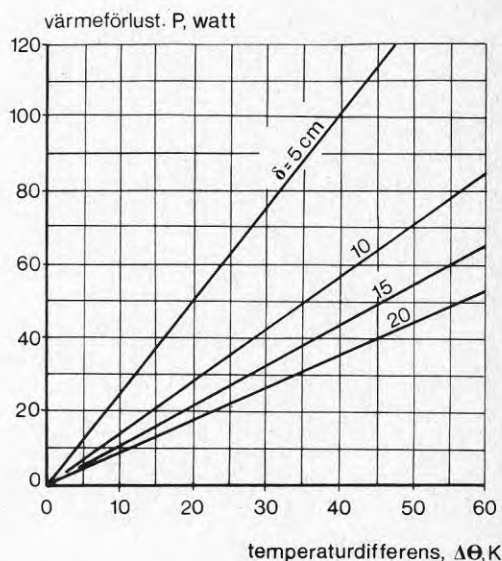


Bild 2/103 Värmeförlusten från en cistern med innerdiametern 0,6 som funktion av temperaturdifferensen mellan vattnets medeltemperatur och rumsluftens temperatur.

Cisternen har formen av en cylinder med sfäriska gavlar. k -värdet är hänfört till innerytan

där k_{ic} = värmeövergångstal för cylinder W/m^2K

k_{is} = värmeövergångstal för sfär W/m^2K

A_{ic} = inre mantelyta för cylinder m^2

A_{is} = inre mantelyta för sfär m^2

λ = värmeledningstal för isolering (mineralull
0,05) $W/m K$

d_{ic} = innerdiameter för cylinder m

d_{yc} = ytterdiameter för cylinder m

d_{is} = innerdiameter för sfär m

d_{ys} = ytterdiameter för sfär m

I bild(2/103) visas värmeavgivningen från cisternen som funktion av temperaturdifferensen mellan medeltemperaturen hos vattnet och omgivningen samt med isoleringens tjocklek som parameter. I tabell 2-5 anges k -värdet vid olika tjocklek på isoleringen (mineralull).

I tabell 2-5 anges materialkostnaden för isoleringen och den årliga kostnaden vid 10% annuitet. Vidare har värmeförlusten under ett år vid $30^{\circ}K$ temperaturdifferens mellan vattnet i cisternen och omgivningen samt kostnaden härför vid 0,12 kr/kWh beräknats. Härvid har antagits att temperaturdifferensen 30 K råder 158 dygn per år.

I bild(2/104) visas de ovan beräknade kostnaderna. I bilden har även kurvor för årskostnaden för material och arbete med isoleringen inlagts. Den årliga kostnaden för arbete har antagits lika med materialkostnaden, vilket synes rimligt. Den årliga kostnaden för energiförlusten genom isoleringen och årskostnaden för arbete har summerats och framgår av bilden. Som framgår av diagrammet föreligger ett minimum för en viss isoleringstjocklek. För kurva 5 är detta minimum ca 12 cm. Då endast materialkostnaden för isoleringen medtages i beräkningen blir kurvan mera flack och svårbestämd, men det synes uppstå ett minimum vid ca 20 cm tjocklek på isoleringen. En person som endast köper vattencisternen och isoleringen men utför isoleringsarbetet själv bör således isolera sin cistern bättre förutsatt att han ej upptar eget arbete som kostnad.

Bild(2/104) gäller för en temperaturdifferens av 30 K. Ofta råder en mindre differens mellan medeltemperaturen i

Tabell 2-5

Isolerings- tjocklek cm	d_i m	d_y m	k_{ic} W/m^2K	k_{is} W/m^2K	k_m W/m^2K
5	0,6	0,7	1,03	1,10	1,07
10	0,6	0,8	0,58	0,65	0,61
15	0,6	0,9	0,41	0,49	0,46
20	0,6	1,0	0,32	0,41	0,375

Tabell 2-6

Isolerings- tjocklek cm	Material- kostnad för iso- lering inkl moms kr a)	Årlig material- kostnad vid 10% annuitet kr/år	Värme- förlust kWh/år	Årlig kostnad för värmeförlust vid 0,12 kr/kWh kr/år
5	17,4	1,74	288,5	34,6
10	35,0	3,50	164,5	19,7
15	78,10	7,81	124,0	14,9
20	99,30	9,93	101	12,1

a) 1976 års priser

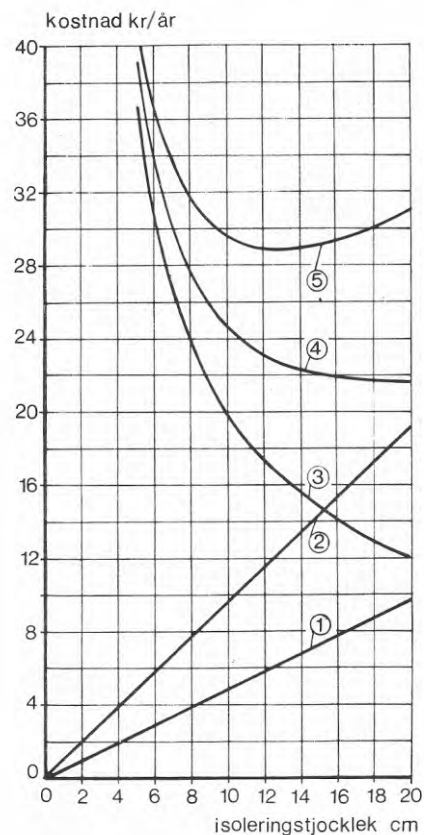


Bild 2/104 Kostnad för isolering i kr/år för cistern med 300 l volym som funktion av isoleringstjockleken

- 1 = Materialkostnad för isolering (annuitet 10%)
- 2 = Material- och monteringskostnad för isolering
- 3 = Kostnad för värmeförlust vid 0,12 kr/kWh
- 4 = Totalkostnad 1 + 3
- 5 = Totalkostnad 2 + 3

cisternen och omgivningen, t ex råder sommartid en temperatur ute som gör att differensen blir mindre. Detta gäller för en cistern som är placerad utomhus. För en vattencistern som är uppställd inomhus råder under hela året en temperatur som är ca 20°C och då blir förhållandena annorlunda. I bild(2/105) visas kostnaderna för detta fall. Som synes inträffar minimet för totalkostnadskurvorna nu vid 15 cm respektive 10 cm. Med de antaganden, som ligger till grund för bilderna(2/104) och (2/105), synes det vara motiverat att i de flesta fall isolera vattencisternen med minst 10 cm. Det bör emellertid påpekas att om ett dyrare isoleringsmaterial används, kommer minimet att förskjutas mot mindre isoleringstjocklekar.

2.6.2 Utformning av in- och utlopp för anslutande ledningar

Placering av anslutningsstudsar för kall- och varmvattenledningar samt inloppet från och utloppet till solfångaren har betydelse för anläggningens funktion.

I bild(2/106) och (2/107) visas hur anslutningsstudsar bör placeras på en stående och liggande cistern. Att cirkulationsledningen som tillför solfångaren kallt vatten skall anslutas i vattencisternens botten synes självklart eftersom det är här man har låg vattentemperatur. Lika självklart är det att vattnet som värmts i solfångaren skall tillföras i den övre delen. Denna anslutningsstuds placeras lämpligen ett stycke från toppen eftersom det är möjligt att vattnet från solfångaren tidvis kan vara kallare än vattnet i cisternens topp. Genom detta utförande störs ej skiktningen av varmt vatten över kallare.

Vid själv-cirkulationssystem bestäms cirkulerad mängd vatten av instrålningen och solfångaren kan utformas så, att man i stort sett får samma temperatur på inkommande vatten, medan i ett system där pump erfordras vanligtvis konstant flöde råder. Möjlighet finns att vid pump-cirkulation installera regleringsutrustning som reglerar pumpens varvtal till ett lämpligt värde beroende på instrålningen från solen. Dylka system är från kostnadssynpunkt ofta ofördelaktiga. I bild(2/106) och (2/107) visas system där tappvattnet cirkulerar genom solfångaren. För system med värmväxlare i cisternen gäller i princip motsvarande resonemang för placering av värmväxlarna i vattenmaga-

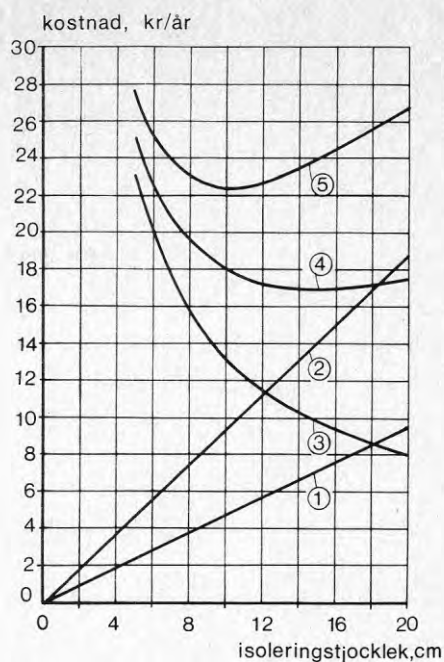


Bild 2/105 Kostnad för isolering i kr/år för cistern med 300 l volym som funktion av isoleringstjockleken

- 1 = Materialkostnad för isolering (annuitet 10%)
- 2 = Material- och monteringskostnad för isolering
- 3 = Kostnad för värmeförlust vid 0,12 kr/kWh
- 4 = Totalkostnad 1 + 3
- 5 = Totalkostnad 2 + 3

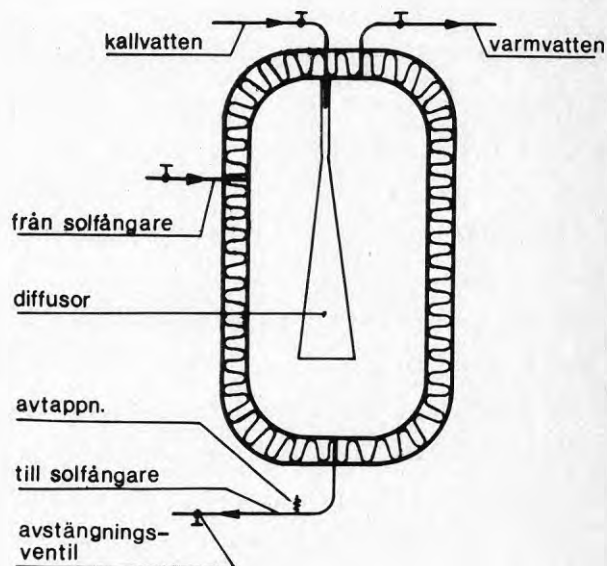


Bild 2/106

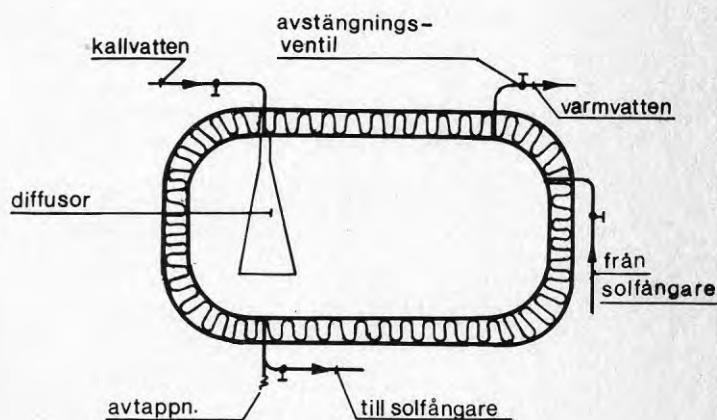


Bild 2/107

sinet. Tillförseln av kallvatten bör som nämnts ske så, att skiktningen i cisternen ej störs. Det är således önskvärt att vattenhastigheten är låg, så att liten blandning av kallt och varmt vatten sker. Detta kan anordnas som visas i t ex bild (2/106) genom att en diffusor monteras på inloppet. Uttaget av varmvatten skall ske i toppen på cisternen där det varmaste vattnet finns men också för att luft som utlöses ur vattnet lätt ska bortföras vid tappning.

Ventiler för avstängning och avtappning bör installeras i erforderligt antal med hänsyn till reparation m m. Dessas placering och antal bestäms i stor utsträckning av lokala förhållanden.

2.6.3 Värmeförluster från vattencistern

De förluster i form av värme som avges från en varmvattenberedare till omgivningen medför sommartid att temperaturen i det rum där beredaren är uppställd höjs. Vintertid anses denna energimängd komma huset tillgodo och ge ett bidrag till husets uppvärmning. Sommartid då något sådant bidrag ej behövs utan förlusten snarare ger ett ej önskvärt värmetillskott måste denna transmission av värme till omgivningen anses som en förlust. I den följande beräkningen av förlusten skall den anses uppträda under tiden 15 maj till september. Vid beräkningen har k -värden angivna i tabell 2-5 använts vilka gäller för en cistern med en 300 l volym. Temperaturen i rummet där varmvattenberedaren tänkes uppställd har satts till 20°C. Energiförlusten vid olika tjocklek på isoleringen för ett dygn och för perioden 15 maj - september för att hålla temperaturerna 40, 50 och 60°C hos vattnet anges i tabell 2-7. Tabell 2-7 anger således energiförlusten och kostnaden för densamma då ingen tappning sker. Bild (2/108) återger grafiskt energiförlusten per dygn som funktion av isolertjockleken. En annan detalj av intresse vid varmvattenberedning med hjälp av solenergi är hur lång tid ett vattenmagasin håller sin temperatur över en viss nivå då cisternen är försedd med olika tjocklek på isoleringen. I bild (2/109) visas övertemperaturen som funktion av avsvälningstiden vid start från 60 K övertemperatur hos vattenmagasinet. Någon hänsyn till ackumulerad energimängd i cisternväggar har ej tagits.

Tabell 2-7

Isolerings-tjocklek cm	Temp. diff.	Energiförlust		Kostnad vid 0,13 kr/kWh	
		kWh/dygn	15 maj-1 sept. kWh (107 dygn)	kr/dygn	15 maj-1 sept
0	20	3,80	407	0,5	53
0	30	5,7	610	0,7	79
0	40	7,6	813	1,0	106
5	20	1,20	128	0,15	17
5	30	1,8	193	0,25	25
5	40	2,4	257	0,30	33
10	20	0,7	75	0,10	10
10	30	1,1	118	0,15	15
10	40	1,4	150	0,20	19
15	20	0,5	54	0,06	7
15	30	0,8	86	0,10	11
15	40	1,1	118	0,15	15
20	20	0,4	43	0,05	6
20	30	0,6	64	0,07	8
20	40	0,9	96	0,12	13

Energiförlust kWh/dygn

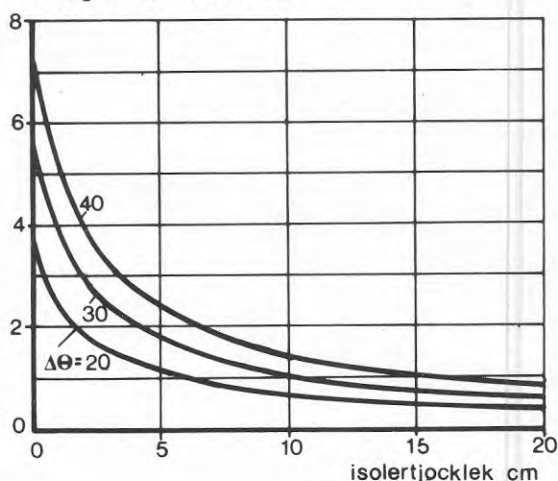


Bild 2/108 Energiförlusten till omgivningen per dygn för en 300 l varmvatten beredare som funktion av isoleringstjockleken

Av bild (2/109) framgår att en vattencistern som isoleras med 5 cm mineralull erhåller en kraftig förbättring jämfört med en oisolerad medan en fördubbling av isolertjockleken från 10 cm till 20 cm ger en minskning av energiförlusten som är av storleksordningen 0,5 kWh/dygn vid de i beräkningen använda temperaturerna.

En energiförlust av ca 0,5 kWh/dygn, som erhålls för 20 cm isoleringstjocklek och 40°C medeltemperatur på vattnet (omgivande lufttemperatur ≈ 20°C) utgör ca 15-20 % av den energi som insamlas av en solfångaryta på 1 m² en solig sommardag.

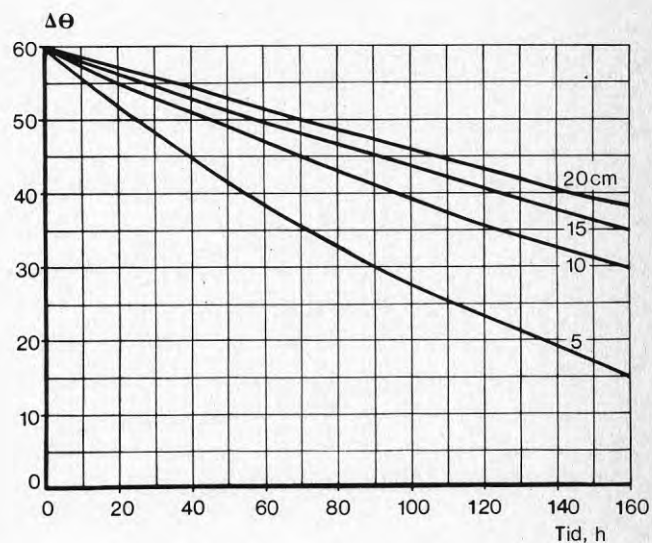


Bild 2/109 Övertemperaturen som funktion av avsvälningstiden vid olika isoleringstjocklekar. Cisternens volym är 300 l och k-värdet framgår av tabell 2-5

2.7 System

Värming av tappvatten med solenergi kan åstadkommas i mer eller mindre komplicerade system. För att ett allmänt utnyttjande av solenergi för tappvattenvärming skall komma till stånd är enkla system, vilka kräver ringa skötsel och därigenom är lätta att använda för brukaren, nödvändiga

2.7.1 Principer

Ett antal huvudprinciper för utformningen av dessa system finns, nämligen

- o självcirkulation utan värmeväxling
se bild (2/110)
- o självcirkulation med värmeväxling
se bild (2/111), (2/112)
- o pumpsystem utan värmeväxling
se bild (2/113)
- o pumpsystem med värmeväxling
se bild (2/114), (2/115)

I bilderna (2/110-2/115) visas kopplingsscheman för de olika systemen.

I de i bild (2/110-2/112) visade systemen åstadkoms cirkulationen genom densitetsdifferenser hos vätskan i olika delar av systemet. Vattnet - eller i systemet enligt bild(2/111) blandningen av vatten och frysskyddsvätska - värms i solfångaren varvid det blir lättare än vattnet i systemets nedre delar och därmed uppstår en drivkraft och som följd av detta en cirkulation av vatten. Drivkraftens storlek beror på hur högt cisternen är placerad över solfångaren, medan flödet genom systemet även beror på rörsystemets utformning. Flödet inställer sig ju på en jämvikt mellan tillgänglig drivkraft och det genom flödet uppkomna tryckfallet i systemet. En noggrann dimensionering av rörledningar erfordras alltså för att vatten med rätt temperatur och beräknat flöde genom systemet skall erhållas. Systemet är självreglerande såtillvida att när ingen solstrålning faller mot solfångaren så minskar cirkulationen för att efter en viss tid avstanna och då endast ringa solstrålning

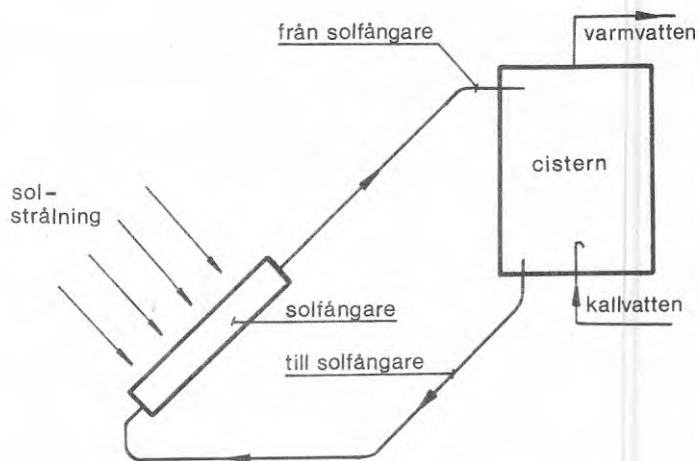


Bild 2/110 Direkt system för självcirkulation

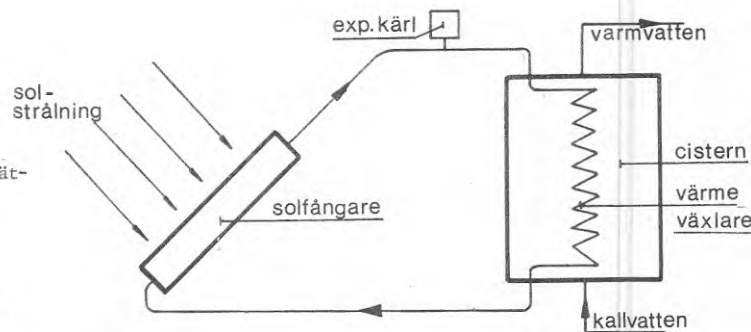


Bild 2/111 Indirekt system för självcirkulation

förekommer, erhålles ett mindre flöde. Denna självreglering hos systemet medför att man kan erhålla "önskad" temperaturökning på vattnet vid passagen genom solfångaren vid olika strålningsförhållanden. Flödet minskar dock vid mindre solinstrålning. Relativt stora rördimensioner erfordras för att ej tryckfallet i systemet skall bli för stort. Systemet enligt bild (2/110) är ett *direkt system* varmed menas att *tappvattnet cirkuleras genom solfångaren*. Fördelen med ett direkt system jämfört med ett indirekt är att ej något temperaturfall uppstår i någon värmeväxlare. Härvid erhålles en något bättre verkningsgrad än vid motsvarande system med värmeväxlare.

I ett system enligt bild(2/111-2/112) sker värmewäxling mellan det genom solfångaren cirkulerande mediet och tappvattnet. I detta fall kan en blandning av vatten och något ämne som sänker fryspunkten användas som värmeupptagande medium i solfångarkretsen.

I systemen enligt bild(2/113-2/115) är det ej något krav på att cisternen skall monteras högre än solfångaren utan en fri placering av cisternen är möjlig. Jämfört med ett system för själv-cirkulation kan väsentligt mindre rördimensioner användas, vilket i många fall uppväger den längre rördragning som kan uppstå då system med pump används på grund av möjligheten att placera cisternen mera fritt.

I bild (2/112), (2/115) visas indirekta system där tappvattnet värms genom att det strömmar genom en värmewäxlare i ett vätskemagasin. Magasinet där värme lagras kan här vara fyllt med vatten till vilket ett frysskyddsmedel tillsatts i lämplig mängd. Nackdelen med detta system är att om en blandning som kan utsättas för temperaturer ned mot $-20 - -25^{\circ}\text{C}$ skall fås, så måste denna blandning vara billig, ty hela cisternen måste i detta fall fyllas. Om en vattenglykolblandning används så innebär det att proportionerna 60% vatten och 40% glykol måste blandas för att ej frysning skall ske förrän vid -25°C . Från kostnadssynpunkt är ett sådant system mindre fördelaktigt än det som visas i bild (2/111) och (2/114) med tanke på kostnaden för fyllningen av systemet.

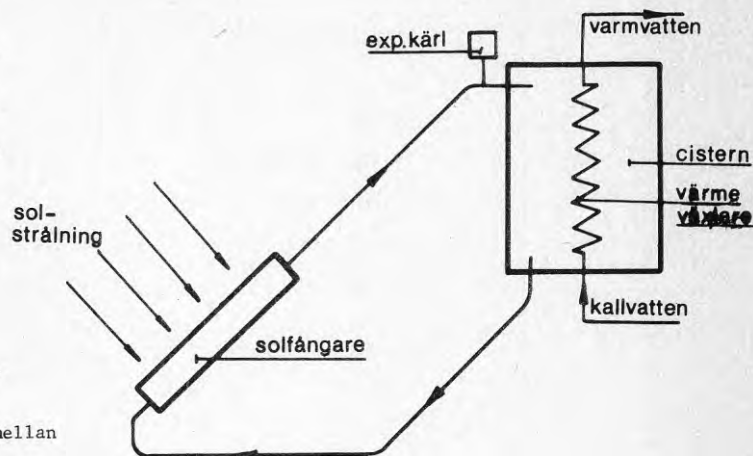


Bild 2/112 Indirekt system för själv-cirkulation

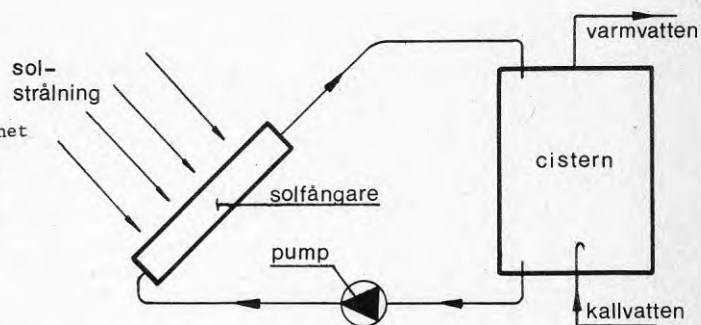


Bild 2/113 Direkt system för pump-cirkulation

De här ovan diskuterade systemen är ej avsedda att klara hela varmvattenbehovet under mulna sommar dagar.

Ej heller vintertid kan varmvattenbehovet täckas på detta sätt och någon lagring av energi för längre tid än 1 a 2 dagar är ej ekonomiskt motiverad. Cisterner kan ha en volym av ca 300-400 l, vilket vid full laddning räcker för ett maximalt två dygns varmvattenbehov för ett hushåll. Under den tid då solfångarytan är för liten för att ge varmvatten med lämplig temperatur och mängd måste tillsatsenergi tillföras systemet på annat sätt. De i bilderna (2/110-2/115) visade systemen kan utan alltför omfattande ingrepp anslutas till befintliga system för tappvattenvärmning i villor och sommarstugor. I bild (2/116) visas hur ett sådant kombinerat system kan göras. Solfångardelen i systemet är här gjort som ett själv-cirkulationssystem men själva utformningen och principen gäller även för ett system där vattnet eller det värmebärande mediet pumpas genom solfångaren. Vid värmeväxling i förvärmningscisternen gäller också i princip kopplingen enligt bild (2/116). Systemet fungerar så, att vatten värms i solfångaren och lagras i en förvärmningscistern. När tappning sker överförs varmt vatten från denna cistern till en el-VVB eller panna. Elvarmvattenberedaren kan inställas för tillslag då temperaturen i beredaren understiger ca 40°C. Vid en vanlig villapanna kan ej temperaturen för tillslag av oljebrännare inställas lika lågt utan här hålles en temperatur på 70-80°C. Givetvis kan pannan avställas och beredaren - om förrådsberedare finns i pannan - eventuellt få tjänstgöra som vattenmagasin för solvärt vatten. Pannan inkopplas endast då varmvattenbehov, som ej kan tillgodoses av solvärmeanläggningen, råder. Fördelen med ett kopplingsätt enligt bild (2/116) är att solfångaren värmer vatten från 10°C till ca 40°C oberoende av vilken temperatur varmvattnet har ut från elvarmvattenberedaren eller pannan. Solfångaren ger på detta sätt förvärmning av vattnet och ett bidrag även under dagar med liten solinstrålning. Under icke helt klara dagar kan temperaturökningen på vattnet vara från 10 till 25 °C, vilket, om man nöjer sig med 40 °C temperatur på vattnet ut från beredaren, utgör ca 50 % av energin för varmvattenberedning en solig dag.

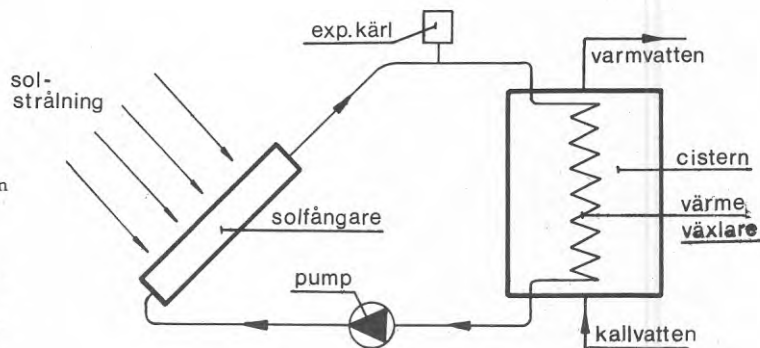


Bild 2/114 Indirekt system för pumpcirkulation

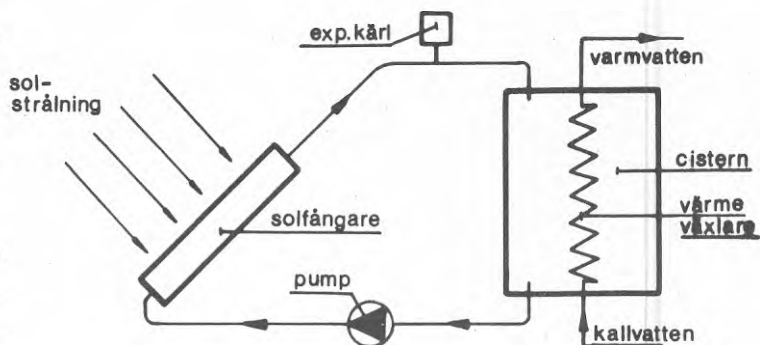


Bild 2/115 Indirekt system för pumpcirkulation

Utformningen av systemet enligt bild (2/116) med förvärmningscistern förefaller kanske onödig. Denna innebär en extra kostnad ej endast i sig själv utan även på grund av mera rördragning m m. Solfångaren skulle också kunna inkopplas direkt till åtminstone elvarmvattenberedaren om denna kompletterades med en eller två extra anslutningsstudsar. Ett sådant förfarande är tänkbart men då måste värme patron eller värmsköldar placeras annorlunda än vad som är fallet för i marknaden förekommande elvarmvattenberedare. Där placeras elpatron eller värmsköld i beredarnas nedre delar och därmed värms hela cisternvolymen. Detta vore ofördelaktigt för en solfångare som inkopplas till en sådan beredare enär den då skulle komma att förses med varmvatten, vilket i sin tur skulle innebära en sämre verkningsgrad för solfångaren eftersom den skulle komma att arbeta vid en högre temperaturnivå. Detta skulle kunna undvikas genom att värmningen av tappvattnet sker i cisternens övre del och därigenom skulle den nedre delen fungera som magasin för kallare vatten avsett att passera genom solfångaren för värmning. I bild (2/117) visas ett tänkbart utförande. Provet har visat att en kraftig skiktning uppstår i cisternen varför någon överhängande risk för att vattnet skall blandas ej torde föreligga. Efter en längre tids drift utan tappning uppstår givetvis en uppvärmning av vattnet även i cisternens nedre del, men under ett dygn med normal varmvattentappning (150-200 l/dygn) ersätts ju en stor del av cisternvolymen med kallt vatten.

Tillförseln av kallt vatten måste ske så, att skiktningen i cisternen ej störs. Den övre delen i den föreslagna cisternen måste givetvis göras med tillräckligt stor volym för att någorlunda uppfylla tappvarmvattenbehovet. Detta medför att en cistern med större volym måste väljas. En övre gräns för dennas storlek (diameter) är att den måste kunna tas in och ut genom en vanlig dörröppning. Volymmässigt torde gränsen ligga någonstans vid 500 l. Antag att volymen väljs till ovan nämnda 500 l. Då skulle en delning med en elvärmd övre del på ca 250 l kunna fås, vilket räcker för två bad förutsatt att temperaturen är ca 50°C i övre delen av cisternen. Denna lösning är endast möjlig vid nyinstallation och vid utbyte av varmvattenberedare. För befintliga anläggningar med felfria beredare torde ett utförande enligt bild (2/116) vara det mest realistiska.

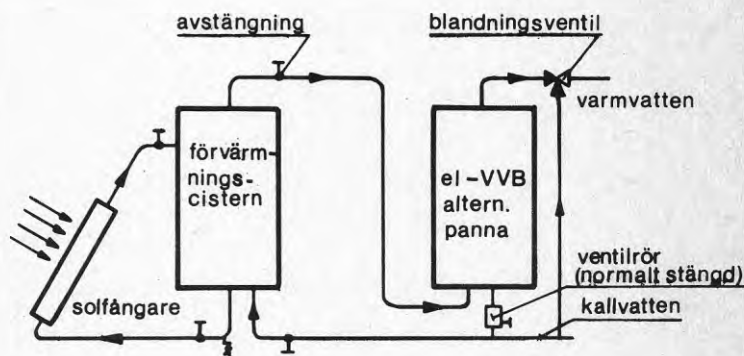


Bild 2/116 Direkt system för själv-cirkulation inkopplat till befintligt system

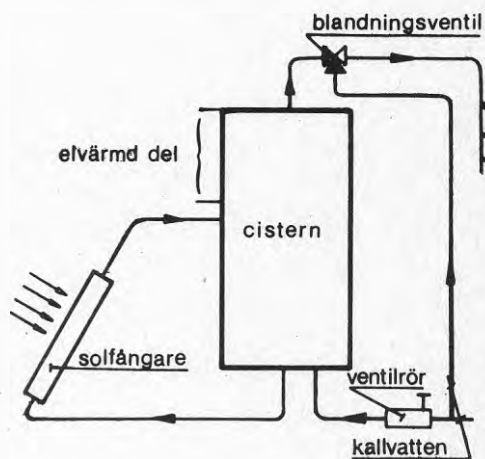


Bild 2/117 Direkt system med cistern med uppvärmd övre del

2.7.2 Reglering av vattenflödet i systemet

Vid installationer utförda som själv-cirkulationssystem sker en självreglering av det cirkulerande flödet i systemet i och med att drivkraften blir mindre vid liten solinstrålning. Denna reglering sker även då vattencisternen blir laddad med varmt vatten. Flödet genom solfångaren minskar men en högre temperatur erhålles på det utgående vattnet. Detta gör att verkningsgraden för solfångaren och därmed för hela systemet försämras.

I ett pumpcirkulationssystem finns ej denna självreglering utan i stort sett samma flöde upprätthålls alltid genom solfångaren. Smärre flödesändringar sker även i dessa system p g a densitetsskillnader hos det cirkulerande mediet. Då detta utgörs av vatten är denna skillnad ej stor men i indirekta system med blandning av vatten och någon vätska som verkar sänkande på fryspunkten blir de större dock ej så stora att de får samma avgörande effekt på systemets funktion som de har i ett själv-cirkulationssystem. Regleringen av flödet i ett pumpcirkulationssystem kan vara kontinuerlig eller diskontinuerlig. Vid kontinuerlig ändring av flödet sker antingen ändring av pumpens varvtal eller så sker en styrning i ledningssystemet så, att ett flöde avpassat till solinstrålningen erhålles. Detta kan ske med hjälp av en fotocell som känner strålningsintensiteten och sedan ger impuls så att t ex pumpens varvtal eller en strypning inställes.

Ytterligare ett sätt att kontinuerligt reglera flödet genom solfångaren är att enligt bild (2/118) insätta en fördelningsventil i systemet och på så sätt reglera flödet.

Impuls till reglerventilen fås från en givare som känner temperaturen på utgående vatten från solfångaren. Vattnet som shuntas förbi solfångaren införs i vattencisternens botten för att ej skiktningen av vattnet i olika temperaturnivåer skall störas och för att ej blandning av kallt och varmt vatten skall ske.

Diskontinuerlig reglering innebär att pumpen stoppas eller startas. Det enklaste regleringsfallet är att pumpen erhåller impulser från en givare som är placerad

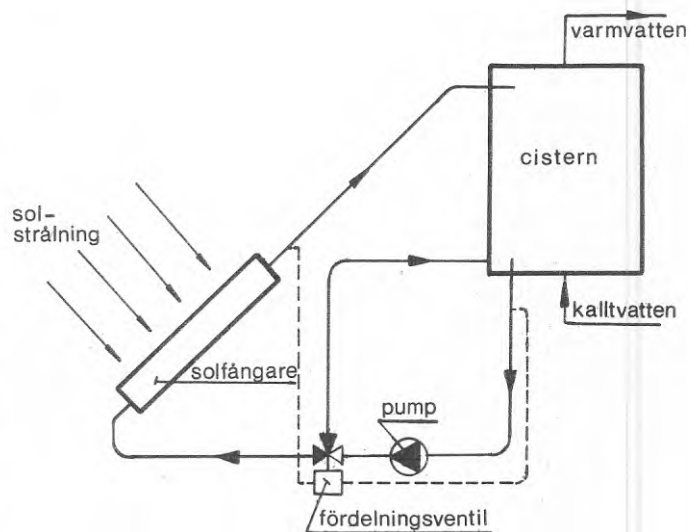


Bild 2/118 Reglering av flöde i ett direkt system för pumpcirkulation

i solfångaren och känner temperaturen i denna. Vid en sådan reglering kan det hända att värme kan avges i solfångaren om värmemagasinet är laddat med varmvatten som har en temperatur som överstiger temperaturen som givaren känner. Vid tillräckligt stort vattenmagasin torde risken för att detta skall hända vara minimal. Ett annat sätt att reglera pumpens till- och frånslag är med en givare placerad så, att den känner temperaturen på utgående vattnet från solfångaren samt en givare som känner temperaturen på vattnet i vattencisternens nedre del. Då temperaturen på vattnet från solfångaren överstiger temperaturen som cisterngivaren registrerar med ett visst antal grader startar pumpen och stoppar då det understiger detta inställda värde.

De beskrivna reglersätten kan tillämpas även då man har ett indirekt system.

2.7.3 Korrosion

Som framhållits i tidigare avsnitt om absorbator och vattencistern måste de delar av systemet som kommer i kontakt med tappvattnet utföras på ett sätt som, då det gäller korrosion, är likvärdigt med ett konventionellt tappvattensystem. Detta medför förutom att delar av systemet skall utföras av korrosionsbeständiga material att ihopkopplingen av dessa delar skall ske med ledningar som motstår korrosion, vilket i allmänhet innebär, att kopparrör eller rostfria rör måste användas. En gyllene regel då det gäller att motverka uppkomsten av korrosion i ett system är att ej blanda olika material. Risk för galvanisk korrosion uppstår då så fort syrehaltigt vatten finns, vilket ju i allra högsta grad är fallet vid tappvattensystem. Armatyr måste också vara korrosionsbeständigt. Även krav på att rörledning och armatyr skall hålla för högsta tänkbara tryck som kan uppstå i installationen ställs, men torde ej vara något problem att uppfylla om armatyr och rör som normalt förekommer i konventionella tappvatteninstallationer används. Om indirekt system används för solfångardelen av installationen kan denna som regel utföras för lägre tryck och även med annat material eftersom ej någon kontakt med tappvattnet uppstår. Möjlighet att tillsätta korrosionshämmande ämnen till det värmetransporterande mediet finns vid detta utförande.

3. VARMVATTEN

3.1 Varmvattenanvändning

Varmvattenanvändningen inom hushåll varierar starkt. Något statistiskt material i stil med det som finns för kallvattenanvändning föreligger ej. Mätning av kallvattenanvändningen sker för de flesta hus (tomt) eller grupper av hus medan mätning av vattenanvändningen per lägenhet endast sker i ett fåtal fall. Undersökningar där individuell mätning av både varm- och kallvatten skett har givit vid handen, att varmvattenmängden som används för hushållsändamål är ca 30% av den totala vattenmängden. Även undersökningar, där central mätning av varmvattnet har utförts genom att en vattenmätare installerats i kallvattenledningen som försör varmvattenberedaren vatten, har gjorts. Vid dessa undersökningar har temperaturen på det utgående varmvattnet varit ca 55-60°C.

I bild (3/1) visas hur användningen av hushållsvatten (kallvatten) ökat under tiden 1944 till 1970. Värdena¹⁾ är hämtade från SOU 1975:61. Om man antar att varmvattenanvändningen är 30% av den totala mängden vatten för hushållsändamål får man en ökning i användning för åren 1944-1970 enligt bild(3/2). Från 1966 har som synes ej någon ökning skett.

I tätorter är den totala mängden vatten som används högre än vad den är i mindre orter p.g.a. att vatten för kontor, butiker mm medräknas. Exempelvis är värdena i Stockholm, Göteborg och Malmö större än för mindre orter.

I tabell 3-1 anges värden för den totala mängden använt vatten för hushållsändamål samt även den beräknade varmvattenmängden utgörande 30% av totala vattenmängden.

Förutom den skillnad i vattenanvändning, som finns mellan olika typer av orter, råder också en skillnad mellan flerfamiljshus och småhus beträffande vattenåtgång.

1) Värdena avser ej endast vatten som används i hushåll utan även använt vatten i butiker, affärslokaler, kontor, skolor, offentliga byggnader m m.

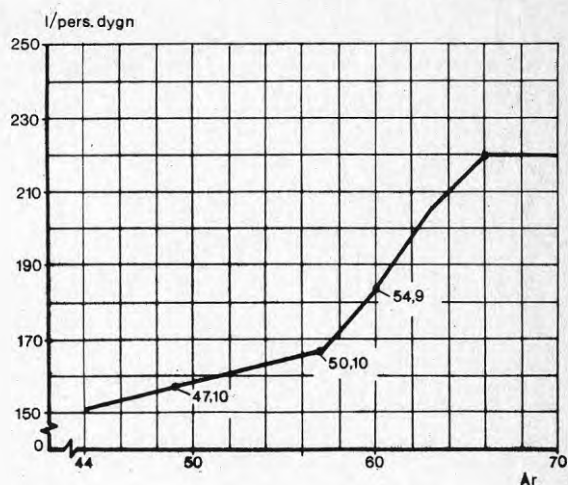


Bild 3/1 Vattenanvändning i hushåll
Källa: SOU 1975:61.

Bild

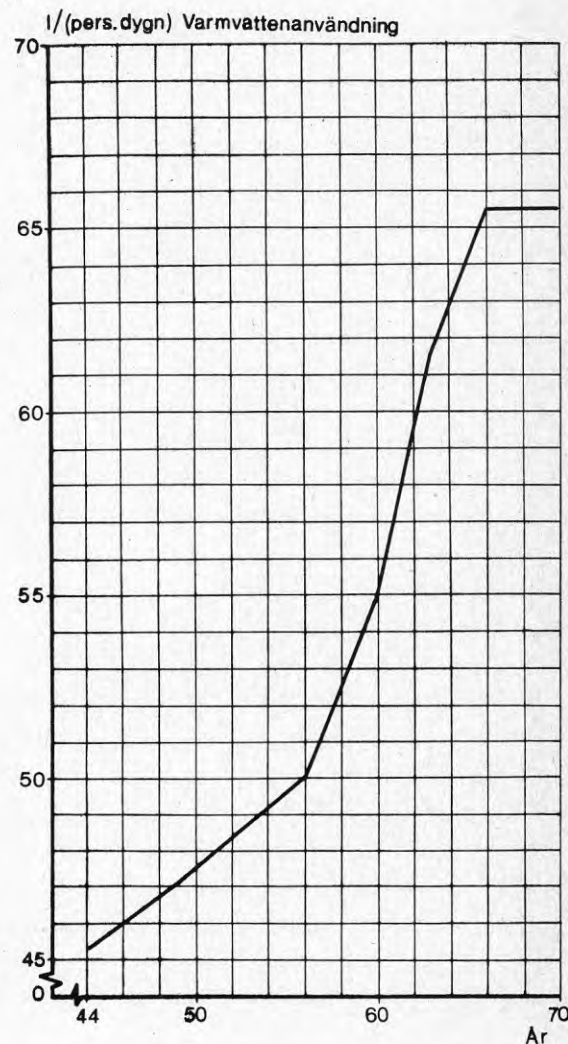


Bild 3/2 Varmvattenanvändningen för hushållsvatten

För hushåll i flerfamiljshus antas det, att användningen av vatten är ca 20% högre än i småhus. Orsaken torde vara att man i småhus är uppmärksamma på vattenkostnaden i och med att man har individuell mätning av vattnet. Till följd av kollektivmätningar i flerfamiljshus kan konsumenter i mindre grad påverka sin egen kostnad.

Vattenanvändningen för hushållsändamål i framtiden har bedömts av VAV-föreningen i en förstudie (1975) och man anger som sannolikt medelvärde för rikets tätorter ca 220 l.p.d. Fördelningen av denna totala vattenmängd för olika ändamål anges i tabell 3-2 och gäller för ett hushåll med hög sanitär standard.

För de olika aktiviteterna i tabell 3-2 gäller att endast kallvatten användes för toalett medan i övrigt både kall- och varmvatten används. Antar man att ca 40% av de i tabell 3-2 redovisade mängderna enbart är kallvatten och att i övrigt en blandning av kall- och varmvatten sker i relationen 40 och 60% erhålls de i tabell 3-3 angivna överslagsmässiga mängderna för användningen av varmvatten. Varmvattenmängd blir ca 30% av den totala vattenmängden enligt tabell 3-2.

I många hushåll finns tvätt- och diskmaskiner. Användningen av dessa torde i de flesta fall medföra en lägre vattenåtgång än tidigare. Tvättmaskiner ansluts till kallvatten varför någon direkt användning av varmvatten ej sker. Vattnet värms i maskinen med hjälp av el-energi. Diskmaskiner däremot ansluts oftast till tappvarmvattenledningen och i de fall varmvattnet ej har tillräcklig temperatur sker eftervärmning med el-energi till ca 70°C. Vid diskning i maskin åtgår ca 50 liter vatten per diskning. Vattenåtgången vid handdisk kan variera mellan 30-150 liter vatten för en middag med 4 kuvert. Handdiskning i låda och sköljning under rinnande vatten beräknas ge en åtgång av 60-90 liter vatten för motsvarande disk och slutligen ger diskning och sköljning under rinnande vatten en åtgång av ca 150 liter.

En jämförelse mellan vattenåtgången vid maskindiskning och handdiskning har gjorts och återges i tabell 3-4 varvid som grund för beräkningen antagits att en diskmaskin rymmer disk motsvarande 8 kuvert. I tabell 3-4

Tabell 3-1 Vattenförbrukning (1975) i liter per person och dygn (l.p.d.) för olika ortstyper

	Totalt KV	Varmvatten (30% av KV)
Större tätorter med mer än 10.000 pers.	217	65
Tätorter	210	63
Mindre orter	190	57

Tabell 3-2 Prognos för hushållens vattenanvändning 1975

Funktion	l.p.d.	Beräkningsgrund
Bad och dusch	50	1 bad/vecka à 175 l, 3 dusch/vecka à 60 l
Toalett	40	4,5 spolningar/dag à 9 l/gång
Disk	50	120 l/(2,47 boende och dag)
Textiltvätt	30	3 kg maskintvätt/vecka à 40 l tvätt samt 100 l per vecka till småtvätt
Övrigt	50	Mat, dryck, personlig hygien, städning, bevattning, biltvätt m m 10 l.p.d. för droppande kranar
Totalt	220	

Källa: SOU 1975:61

Tabell 3-3 Uppskattad varmvattenförbrukning 1975

Funktion	l.p.d.
Bad och dusch	30
Disk	20
Tvätt	10
Övrigt	10
Totalt	70

Tabell 3-4

	Totalt l.p.d.	Varmvatten l.p.d.
Diskmaskin	50	50
Handdisk med 2 lådor	60	36
Handdisk med sköljning under rinnande vatten	120 - 180	72 - 108
Handdisk med både diskning och sköljning under rinnande vatten	300	180

har även varmvattenåtgången angetts under antagandet att 40% kall- och 60% varmvatten används vid handdiskning. Vid maskindiskning används enbart varmvatten.

Som framgår av tabell 3-4 är handdisk i låda och sköljning i låda det mest vattenbesparande sättet att diska på, men även maskindiskning har en låg vattenanvändning i förhållande till övriga diskingsförhållanden.

3:2 Varmvattnets temperatur

Tappventiler och blandare skall enligt VA-byggnormen vara konstruerade så, att de ger normflöde vid ett tryck i ledningen omedelbart före blandaren av 50 kPa. Vid ett högre tryck ger blandaren ett större flöde, vilket vid t ex tvättning av händer under rinnande vatten, ger en större vattenåtgång. Då tvättningen ej sker under rinnande vatten har trycket i ledningen vid blandare ej någon inverkan på vattenåtgången. I bilderna¹⁾(3/3-3/6) visas prov med blandare med olika normflöde och hur flödet vid dessa prov varierade med trycket. Av bilderna framgår att blandare med luftinblandare har ett lägre flöde vid ökande tryck än blandare utan luftinblandare. Varmvattentemperaturen får, enligt föreskrift i VA-byggnorm (SBN-S kap 51) ej överstiga 65°C för varmvatten som kan beräknas bli använt till personligt hygien.

Vidare anges i VA-byggnormen att "med hänsyn till temperaturfall i ledningar o d godtas att termostater o d ställs in för att ge en temperatur av 70°C efter vattenvärmare".

En vanlig inställning av vattenblandningsventiler är att de ger en temperatur av ca 55-60°C efter blandningen. Då VVC-cirkulation anordnas är temperaturfallet i ej alltför stora ledningssystem ca 5°C. Högre temperatur än 50-55°C vid tappställen torde ej behövas i bostadslägenheter. I tabell 3-5 anges vilka temperaturer som erfordras vid olika aktiviteter.

1) Bild (3/3-3/6), se VVS-12 (1974) sid 24-25.

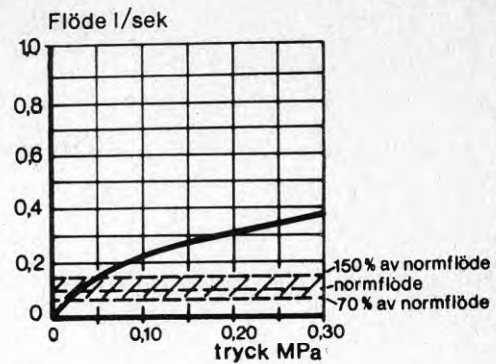


Bild 3/3

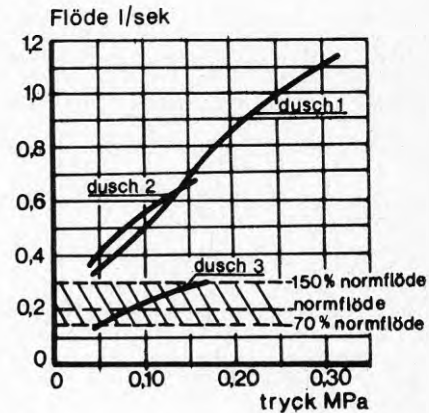


Bild 3/4

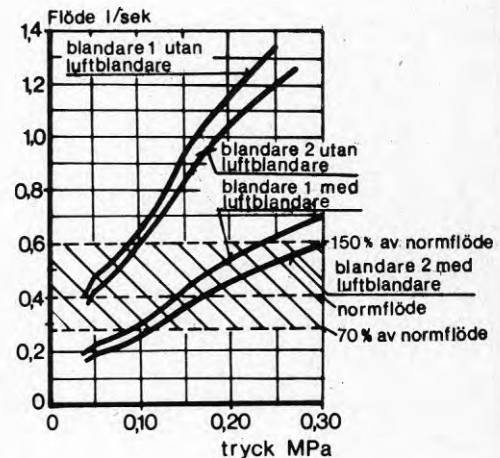


Bild 3/5

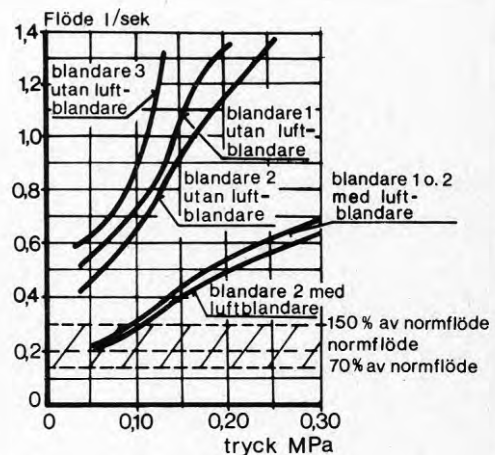


Bild 3/6

Som framgår av tabell 3-5 är det bara för disk och tvätt som en temperatur över 45°C bedöms vara lämplig. För hushåll där diskmaskin finns sker oftast en eftervärmning av varmvattnet med el-energi i maskinen varför någon större olägenhet med varmvatten med 40-45°C temperatur ej finns. Detta temperaturområde har bedömts lämpligast att inrikta sig mot då det gäller solvärmt tappvatten. Tvättning av textilier sker idag till större delen i tvättmaskin där värmning av vatten sker med el-energi. De varmvattenmängder som tidigare angetts, se tabell 3-3, för olika aktiviteter är baserade på att vattnet i varmvattenledningen före blandaren har en temperatur av ca 50-55°C.

3.3 Energibehoven

Om en högre temperatur råder åtgår mindre vattenmängd och om temperaturen enbart är 40°C, så som kan tänkas vara fallet vid solvärmt vatten, åtgår en större mängd varmvatten enär någon inblandning med kallvatten ej sker. Ett bättre mått än vattenmängderna är att istället använda den värmemängd som erfordras för ett bad, en dusch, disk m m. I tabell 3-6 anges den energi som erfordras för att de i tabell 3-5 angivna temperaturerna skall erhållas. Kallvattentemperaturen har härvid antagits till 5°C.

På samma sätt som energibehovet för ett bad, ett dusch-tillfälle etc anges, kan även det årliga energibehovet för varmvatten beräknas. Undersökningar visar, att det råder skillnad mellan behoven i lägenheter med individuell mätning och sådana där kollektiv mätning sker.

I Byggforskningsrapport 29:1970 anges att beräkning av energibehovet för varmvatten kan ske enligt

$$4300 + 700 (P-3) \text{ kWh/(lgh år)}$$

där P är antal boende per lägenhet.

Mätningar har gjorts i flerfamiljshus dels i Bollnäs dels i Tensta, Stockholm 1971-1973. För lägenheterna i Tensta med en boendetäthet av 2,46 personer per lägenhet erhöles ett energibehov av 4132 kWh/lgh medan mätningarna i Bollnäs gav ett energibehov av 3680 kWh/lgh vid 2,43 personer per lägenhet. I bild (3/7) visas energiåtgången för varmvattenberedning som funktion av antal personer per lägenhet.

Tabell 3-5

Aktivitet	Temperatur °C
Bad och tvagning	35 - 45
Dusch	35 - 40
Disk	40 - 50
Tvätt	60 - 80
Biltvätt	25 - 30
Eftersköljning i diskmaskin	80 - 90

Tabell 3-6

Aktivitet	kWh	Anm
Bad	6,1	40°C, 150 l
Tvagning	0,1	35°C, 8 l
Disk	1,8	45°C, 40 l i en disklåda/disk
Dusch	2,4 - 2,8	35-40°C, 70 l/6 min

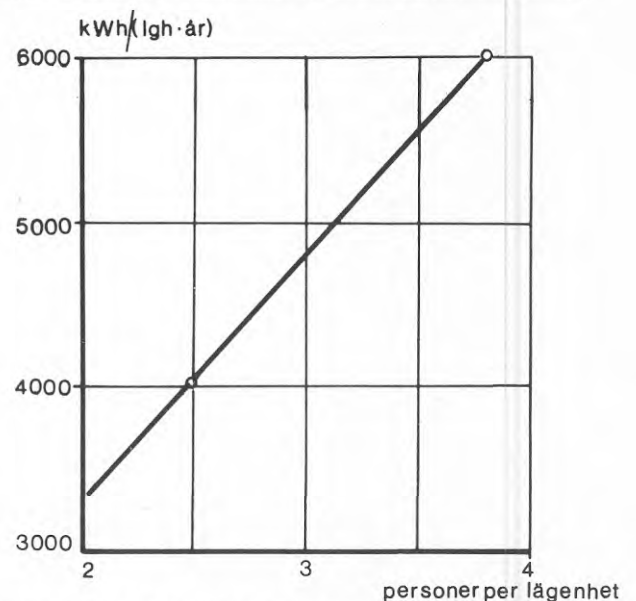


Bild 3/7 Energibehovet för varmvattenberedning per år som funktion av antalet boende per lägenhet. Mätresultat från Tensta, Bollnäs och Råslätt utanför Jönköping.

Källa: Teknisk Tidskrift nr 7, 1974

Enligt Dirke (1960) var energibehovet för varmvattenberedning 4300 kWh per lägenhet för ett objekt med 248 lägenheter. Antalet boende per lägenhet var i detta fall 3,26/lgh. För 75 lägenheter, 3,43 p/lgh, blev energibehovet ca 4100 kWh/lgh. Undersökningarna gällde bostäder i flerfamiljshus.

I energisparkommitténs expertbilaga D (SOU 1974:76) uppskattas energibehovet för varmvattenberedning i flerfamiljshus till ca 4000 kWh/(år lägenhet) och i Göteborgsområdet gjorde Byggnadsstyrelsen i slutet av 60-talet en undersökning som pekade på ett energibehov av 5100 kWh/(lgh år), då boendetätheten var ca 3,1 personer per lägenhet. I tabell 3-7 har bl a sammanställts dessa undersökningars resultat beträffande det årliga energibehovet för varmvattenberedning i flerfamiljshus.

Tabell 3-7 *Energibehov för varmvatten*

Källa	År	kWh/ (lgh år)	kWh/ (pers år)	Anm
Dirke	1960	4300	1320	248 lgh, 3,26 p/lgh
"	1960	4100	1200	75 " 3,43 "
Energiprogramkomm. expertbilaga SOU 1974:76		4000	-	
Byggnadsstyrelsen	slutet av 60-talet	5100	1650	1600 lgh, 3,1 p/lgh
Bollnäs	1971-72	3680	1515	358 " 2,43 "
Tensta	"	4132	1680	113 " 2,46 "
Råslätt, Jönköping	1968-69	5000	1560	3,2 "
"	"	5500	1600	- 3,45 "
Enl formeln 4300+700(P-3)		3800	1650	Enl folk- och bostads- räkningen 1970 2,3 p/lgh

Det årliga energibehovet för varmvattenberedning ligger mellan 1500-1700 kWh/(person år) för undersökningar utförda i slutet av 60-talet och början av 70-talet. Skillnaden mellan Dirkes undersökningar (1960) och de på senare år gjorda torde kunna förklaras genom, en till följd av ökad standard, ökad användning av varmvatten för hushållsändamål.

I SOU 1975:61 anges 1700 kWh/(person år) som ett rimligt värde på energibehovet för tappvarmvattenberedning. Detta ger med 2,3 personer boende (enligt 1970 års folk- och bostadsräkning) per lägenhet ett energibehov per lägenhet i flerfamiljshus av ca 3900 kWh/(lgh år).

Ofta anges energibehovet för tappvarmvattenberedning till en viss andel av årliga energibehovet för uppvärmning. För flerfamiljshus anges ofta 30% och för småhus 20%. Vid ett årligt energibehov för uppvärmning enligt EPU:s och EPK:s medellägenheter ger detta ett årligt energibehov för tappvarmvattenberedning

för flerfamiljshus ca 4300 kWh/(år lgh)

för småhus ca 4500 kWh/(år hus)

och att energibehovet per person blir

för flerfamiljshus ca 1900 kWh/(år person)

för småhus ca 1500 kWh/(år person)

Tidigare har angetts att varmvattenanvändningen i hushåll är ca 70 l/(person dygn). Detta värde är baserat på att varmvattnet har en temperatur av ca 50°C vid tappstället. Om kallvattnets temperatur sätts till 5°C erhålls

för flerfamiljshus ca 1350 kWh/(person år)

eller vid 2,3 p/lgh ca 3100 kWh/(lgh år)

För småhus erhålls, om samma varmvattenmängd per person och dygn beräknas användas också i småhus, vid 3 personer per hus ca 4050 kWh/(hus år).

3.4 Användning av varmvatten i fritidshus

Många fritidshus används i stort sett endast under sommarhalvåret och då ofta endast under veckosluten. Andra nyttjas mycket mer, t ex kan det tänkas att familjen bosätter sig i fritidshuset under sommaren. Statistik över vatten- eller energibehovet för fritidshus i stil med den som finns för flerfamiljshus föreligger ej. Vattenförsörjningen för fritidshus sker ofta från egna brunnar eller brunnar gemensamma för en större grupp fritidshus. Därigenom erhålls ej den vattenmätning av kallvatten som sker vid anslutning till kommunala vattennät. Därmed saknas också möjligheten att uppskatta tappvarmvattenmängd annat än mycket grovt.

I fritidshus har man som regel ej samma hygieniska standard vad beträffar installerade apparater, badkar, dusch m m. Ofta förekommer dock diskbänk och möjlighet till dusch och tvagning. En uppskattning av energibehovet för tappvarmvattenberedning under en dag ett veckoslut

redovisas i tabell 3-8. Härvid har räknats med en disk, en dusch och tvagning i tvättställ 3 ggr på en dag. Om det förutsätts att en temperaturhöjning på vattnet av 35°C så erhålls också tappvarmvattenmängderna förutsatt att ingen blandning sker med kallvatten. Vidare förutsätts ett 3 personers hushåll.

Denna grova uppskattning ger att 4-5 kWh/(dygn 3 pers) skulle erfordras för fritidshus eller ca 115 liter/ (dygn 3 pers) 40-gradigt vatten. Förutsätter man att vistelse i fritidshuset sker samtliga dagar under juni, juli och augusti d v s ca 90 dagar skulle energibehovet för tappvarmvatten bli ca 500 kWh d v s ca 10% av årliga behovet för ett småhus.

3.5 Variation i varmvattenanvändningen

Varmvattenbehovet varierar över dygnet, veckan och även över året. Under dygnet sker tappningar huvudsakligen mellan kl 5.00 på morgonen till kl 23.00 en vardag. De verkliga toppbelastningarna vardagar sker då folk stiger upp på morgonen och på kvällen. Under ett dygn då folk är lediga börjar tappningarna senare och är mera utsträckta över dagen. I bild (3/8) visas energibehovet för tappvarmvatten under ett fredagsdygn med stor tappning.

Bild (3/9) visar förhållandena ett söndagsdygn. Kurvorna är registrerade för ett flerfamiljshus med 16 lägenheter.

Energibehovet för tappvarmvattenberedning per dygn varierar med antalet anslutna lägenheter till varmvattenberedaren. I bild (3/10) visas detta som funktion av antalet lägenheter. Kurva (1) gäller för vardagar och (2) för lördag eller söndag. Bilderna (3/11) och (3/15) visar energibehovet per lägenhet som funktion av antalet lägenheter. Även här ges en kurva för vardag (1) och en för lördag eller söndag (2).

Som framgår av bild (3/11) är behovet mellan 00.00-07.00 nästan konstant och lägre för lördags- och söndagsdygn. Bild (2/12) återger energibehovet per lägenhet mellan 07.00 - 12.00. Här är energibehovet större för flerfamiljshus med få lägenheter men blir konstant vid ca 100 lägenheter. Under lördags- och söndagsdygn råder större behov än under vardagar. Energibehovet per lägenhet mel-

Tabell 3-8 Skattning av vatten och energibehov för varmvatten i fritidshus

Aktivitet	kWh/dygn	l/dygn	Anm
Dusch	2,5	60	5 min 1 gång per dag
Disk	1,0	30	1 disk per dag
Tvagning i tvättställ	1,0	25	3 ggr per dygn
Totalt	4,5	115	3 personers hushåll

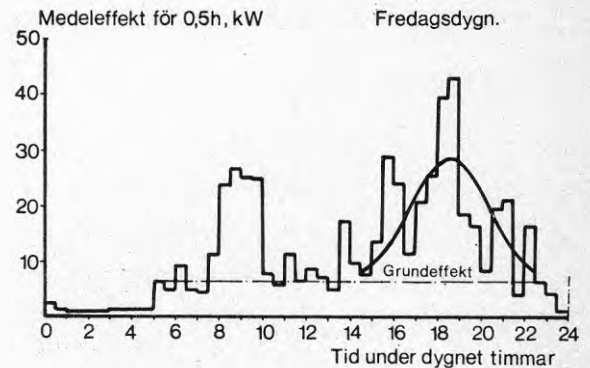


Bild 3/8 Källa: Bygghorskningsrapport R57-1973

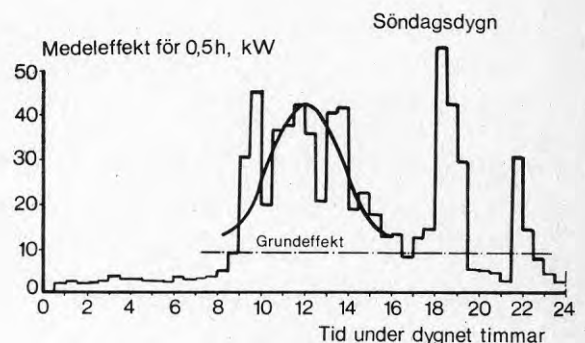


Bild 3/9 Källa: Bygghorskningsrapport R57-1973

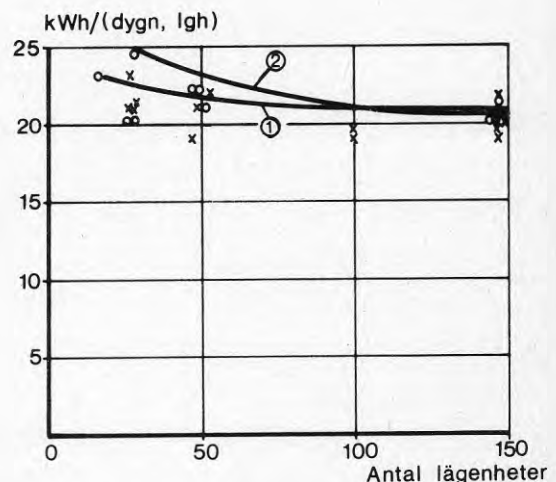


Bild 3/10 Källa: Bygghorskningsrapport R57-1973

lan kl 12.00 - 17.00 visas i bild(3/13). Kurvorna (1) och (2) anger ungefär konstant värde för behovet och behovet detta tidsintervall under lördagar och söndagar är större än för vardagar. 17.00 - 22.00, se bild(3/14), erhålles liknande kurvor som i bild(3/10) dock förskjutna mot något högre värden. Återigen är behovet vardagar, kurva (1), större än under lördagar och söndagar, kurva (2). Bild (3/15) visar behovet mellan kl 22.00-24.00.

Som framgår av bilderna råder i allmänhet stor spridning mellan värdena och spridningen ökar då populationen inom provgruppen minskar.

Energibehovets medelvärde för tappvarmvattenberedning per lägenhet för olika tidsintervall visas i bild (3/16) som funktion av antalet lägenheter. Tappningar av varmvatten är ofta störst under en badperiod och effekten som uttas under en sådan period visas i bild (3/17) för olika lägenhetsantal.

Energibehovet för varmvattenberedning i tätorter varierar över året och är lägst under sommarhalvåret. I bild(3/18) visas ett exempel.

3.6 Sammanlagringseffekter

Lägsta antalet lägenheter som redovisats ovan från R 57:1973 är 16 st. Energibehovet enligt bild (3/16) för ett tidsintervall av 2 h anges för detta antal lägenheter till ca 6 kWh/lgh. Detta motsvarar behovet för ett bad (150 l) vid en temperaturhöjning från 5-40°C. På grund av sammanlagringen som sker i flerfamiljshus behöver varmvattenberedare i flerfamiljshus ej dimensioneras för att täcka maximalt uttag från varje lägenhet. Sannolikheten att samtliga hyresgäster tappar ett bad samtidigt är mycket liten. För villor måste däremot viss hänsyn tas till att ett nytt bad skall kunna upptappas relativt snabbt efter första tappningen. Ofta anges att varmvattenberedaren för villor skall dimensioneras så, att två bad skall kunna erhållas med en timmes mellanrum. I varmvattenberedare för villor hålls ofta en temperatur som är väsentligt högre än det som erfordras för bad (40°C). Vattentemperaturer på ca 80°C i hela magasinet (ca 300 l) är inte ovanligt. Därigenom erhålls en viss buffert vid stora tappningar. Två bad inom 2 h innebär en energimängd

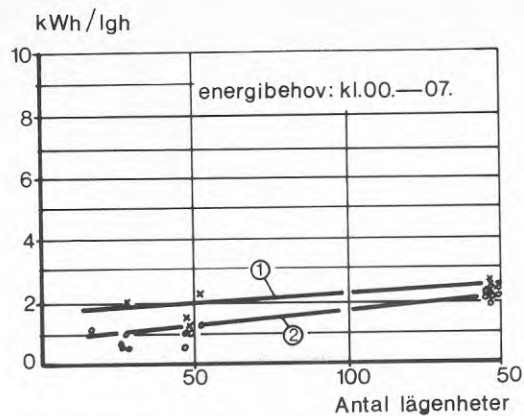


Bild 3/11 Källa: Byggforskningsrapport R57-1973

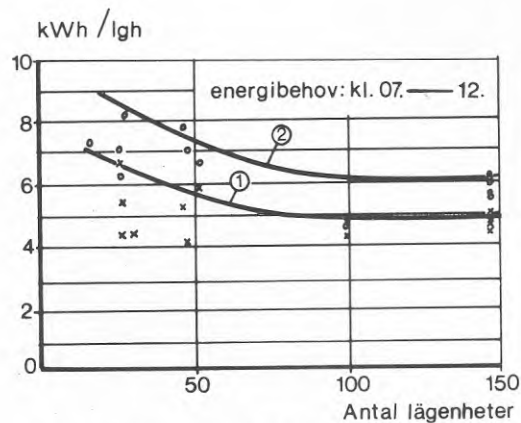


Bild 3/12 Källa: Byggforskningsrapport R57-1973

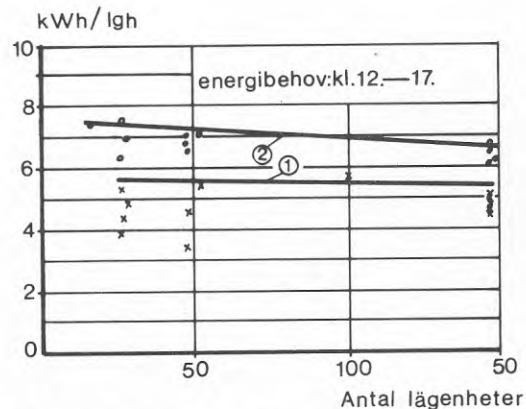


Bild 3/13 Källa: Byggforskningsrapport R57-1973

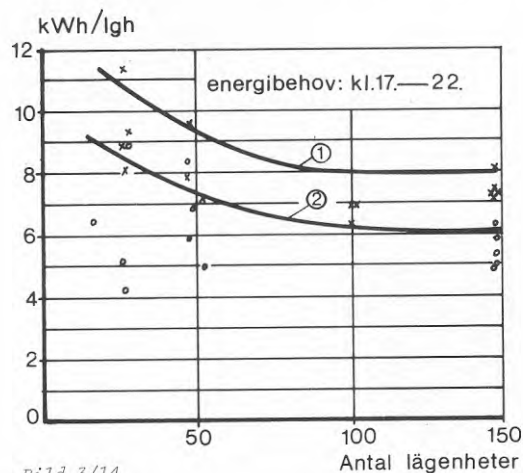


Bild 3/14

Källa: Byggforskningsrapport R57-1973

av ca 12 kWh, vilket skall jämföras med tidigare nämnda 6 kWh/lgh under samma tidsrymd i flerfamiljshus.

3.7 Solfångare för varmvatten

För att insamla största möjliga energimängd i en installation för värmning av vatten med hjälp av solenergi strävar man att hålla en så låg temperatur som möjligt på solfångarytan. Detta innebär att vätskeflödet genom solfångaren avpassas så, att en temperatur av ca 40-45°C kan erhållas i tappvattenmagasinet. Något förråd i stil med det som finns i varmvattenberedare av konventionellt utförande (t ex genom att vatten med högre temperatur än det som fordras vid ett tapställe lagras i ett vattenmagasin) är ej lämpligt då vattnet värms *enbart* med hjälp av solenergi.

En ökning av temperaturer på utgående vattnet innebär att en mindre mängd energi insamlas samt att en mindre mängd vatten värms i solfångaren. För att samma mängd vatten med högre temperaturer skall erhållas måste solfångarytan ökas. Vattenmagasinets volym måste avvägas så, att den har en lämplig storlek i förhållande till solfångarytan. Volymen bör vara så stor, att det minst motsvarar den varmvattenvolym som beräknas användas i hushållet under ett dygn. På så sätt förhindras vattnet att cirkulera genom solfångaren mer än en gång per dag. Tappningen som sker under ett dygn medför att kallt vatten fylls på i beredaren och bidrar till att upprätthålla detta förhållande. Om vattencisternens volym är för liten i förhållande till solfångarytan, så kan en dag med stor instrålning vattnet cirkulera flera gånger genom solfångaren. Detta innebär, att vattenmagasinet värms till en högre temperatur men mängden energi, som insamlas i förhållande till den som skulle kunna insamlas vid rätt dimensionerad volym hos vattenmagasinet, blir mindre.

Av tidigare avsnitt framgår det, att varmvattenanvändningen sammanhänger med människors vanor, arbete och även åldern kan tänkas spela en viss roll. Människor är också vana vid att oberoende av vilken tid på dygnet som tappning sker, så finns så gott som alltid varmvatten av ca 45-55°C temperatur att tillgå. Ändring av vanor och rutiner måste till för att solvärt varmvatten skall få en någorlunda stor spridning och betydelse för varmvattenberedning i hushåll. En ökning av energipriset torde

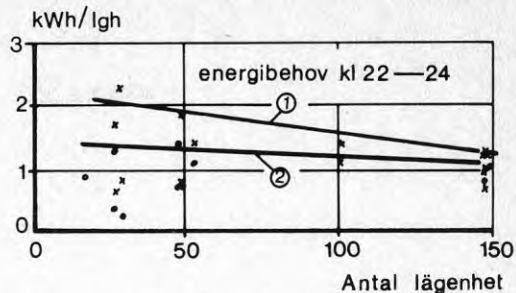


Bild 3/15 Källa: Byggforskningsrapport R57-1973

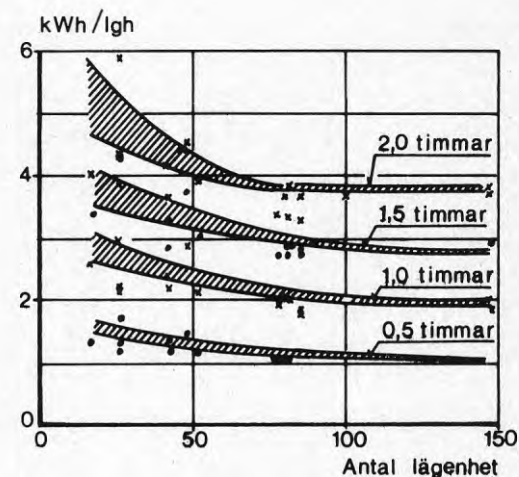


Bild 3/16 Källa: Byggforskningsrapport R57-1973

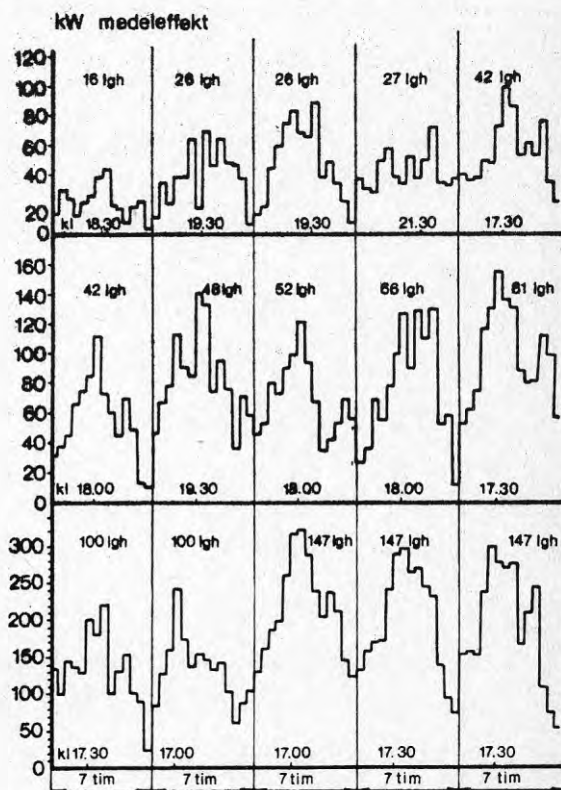


Bild 3/17 Källa: Byggforskningsrapport R57-1973

medföra att människor till viss del ändrar sina vanor vad det gäller varmvattenanvändningen. Även en ökning av priset för vatten torde ha samma inverkan på användningen av vatten. Det kan i detta sammanhang vara av intresse att uppskatta kostnaden för ett bad. Antages att 150 l 40-gradigt vatten används och att det värms från 5°, så blir kostnaden för energi och vatten vid ett pris av 0,13 kr/kWh och 3 kr/m³ sålunda:

energikostnad	0,80 kr/bad
vattenkostnad	<u>0,40 "</u>
Totalt	1,20 kr/bad

Kostnaden för ett bad är alltså jämförbart med den för 4 cigaretter. Detta exempel illustrerar svårigheten i att spara energi genom prisökningar. Den enskildes ekonomi berörs ej i nuvarande läge av att han badar en eller två gånger per vecka men i stort för hela landet har sparandet av energi stor ekonomisk betydelse.

En anläggning som med solvärme kan tillgodose varmvattenbehovet under hela året eller stora delar av året är ej i dagens läge ekonomisk. Lagringen av insamlad energi under sommarhalvåret till vinterhalvåret medför orimligt stora installationskostnader. Även en installation som skulle kunna täcka behovet fullständigt sommartid är oekonomisk. Därför skall vi i det följande endast diskutera solfångare och vattencisterner för varmvattenbehovet under kortare tid, oftast ett dygn. Under en period med mulet väder måste energi av annat slag (t ex el-energi) komplettera solenergin. Beroende på solfångarsystemets utformning och väderleken varierar denna tillsattsenergi kraftigt.

En plan solfångare värmer även vatten då delvis mulet väder råder varför - om systemet utformas så att solvärmeanläggningen kan användas till att förvärma tappvattnet - en viss mängd energi sparas även sådana dagar.

Värmning av tappvarmvatten i småhus sker oftast med el-energi (elpatroner i vattenmagasinet eller värmesköldar) eller i en oljeeldad värmepanna¹⁾. Villapannor har en

1) Gruppbebyggelse med småhus kan också vara inkopplad till fjärrvärmeverk eller gemensam panncentral via värmeväxlare.

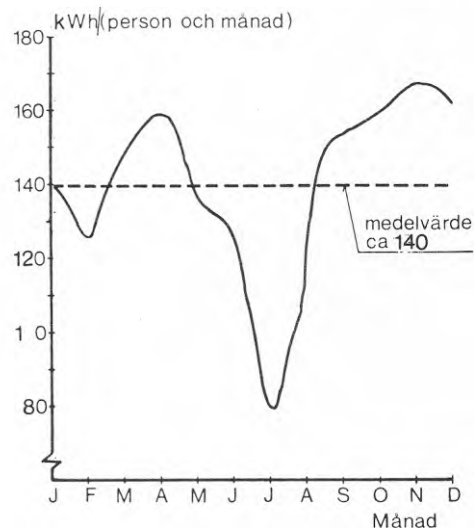


Bild 3/18 Källa: SOU 1975:61

effekt som varierar alltefter värmebehovets storlek, men pannor med mindre effekt än ca 20 kW förekommer ej. Elvärmda varmvattenberedare med 300 l volym har ca 3 kW effekt på värmepatroner eller värmesköldar. Som syns är kapaciteten för värmepannan avsevärt mycket större än för den elvärmda beredaren. Det kan vara av intresse att se hur lång tid det tar att värma vatten i de båda fallen. Vi tänker oss en solfångare varifrån vattentemperaturen är tex 20-30°C. Man vill däremot ha en temperatur av 50°C. Vidare skall man tappa en volym motsvarande två bad, ca 300 l. Tiden innan denna temperatur är nådd blir då för de båda fallen:

Värmning	20°C	30°C
17 kW oljeeldad panna	ca 24 min	ca 35 min
3 kW el VVB	" 140 min	" 210 min

Som framgår av sammanställningen ovan har en oljeeldad villapanna en sådan effekt att den relativt snabbt kan ge varmvatten av 50°C.

3.8 Tillsatsvärme

Då man vill använda solenergi för varmvattenberedning, kan detta ske antingen som i bild (2/2-2/6) eller som i bild (3/19), dvs i kombination med någon form av tillsatsenergi. För industriella anläggningar kan tillsatsenergi vara ånga eller energi från en process. För varmvattenberedning för hushållsändamål får man räkna med att elektrisk energi blir vanligast.

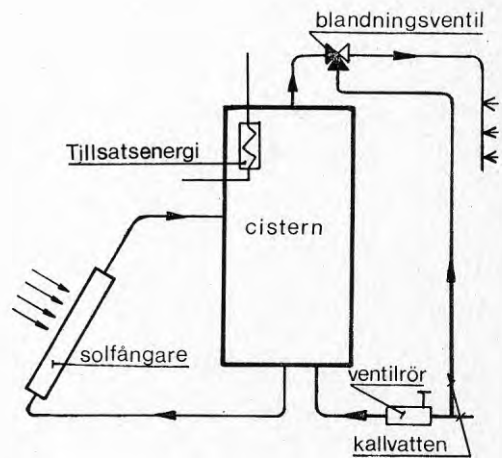


Bild 3/19

3.9 Pump

På grund av lokala förhållanden kan man tvingas att placera en solfångare högre än vattencisternen. Detta medför att en pump måste installeras för att åstadkomma en cirkulation av vatten mellan solfångare och vattenmagasin.

Pumpeffekten som erfordras för en villainstallation är relativt liten. Praktiskt är svårigheten i detta fall att finna en pump med lämpligt låg effekt. En uppskattning av erforderlig pumpeffekt kan vara av intresse. Instrålningen mot en solfångare under en solig dag (10 h) kan i medeltal uppgå till ca 500 W/m^2 . Verkningsgraden för en solfångare med ett glas kan för motsvarande period sättas till 0,5 och gäller vid en temperaturdifferens på in- och utgående vatten av ca 30 K och då inkommande vattnets temperatur är ca $10\text{--}15^\circ\text{C}$. För detta fall blir alltså den värmda vattenmängden:

$$\dot{m} = \frac{I}{c_p \cdot \Delta\theta \cdot \delta} = \frac{500}{4200 \cdot 30} = 0,0046 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2) = 14 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

Om anläggningen dimensioneras för detta flöde så kommer vattnets temperaturökning i solfångaren under dagen att variera så att mindre temperaturökning erhålls morgon och kväll medan en större fås mitt på dagen.

I bild(3/20) visas grafiskt den pumpeffekt som erfordras vid olika flöden och rördiametrar. Dessutom har tryckförlusten uppskattats i installationer (solfångarens rörregister, ventiler och rörböjor, rör m m) och ansetts motsvara 100 m rör. (Ett antagande som gjorts för skattningen av pumpeffekten.)

Effekten som erfordras är som framgår av bild(3/20) liten även för i sammanhanget ganska stora flöden. För 12 m^2 ($0,048 \text{ kg/s}$) yta blir pumpeffekten vid 10 mm innerdiameter ca 5 W. Även för en rördiameter av 8,4 mm är pumpeffekten liten, ca 12 W, vid samma förhållanden. Uppskattas verkningsgraden till 0,5 skulle i ovanstående exempel 10 respektive 24 W motoreffekt erfordras. De pumpar som finns i marknaden har motorer från ca 20 W motoreffekt och uppåt. Somliga är utrustade med tyristorer så att ändring av flöde och tryck lätt kan ske. Det

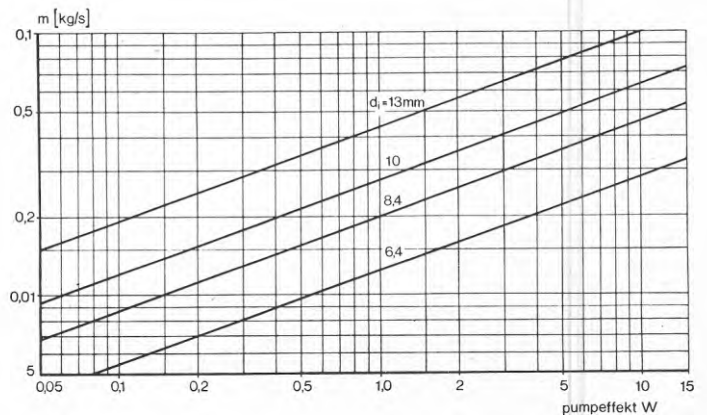


Bild 3/20

föreligger således ej någon svårighet att erhålla pumpar med tillräcklig effekt; mestadels är effekten för stor varför strypningar i form av reglerventiler måste insättas i ledningarna eller genom att använda klena rördimensioner.

3.9.1 Energi från pumpen

Den elenergi som tillförs elmotorn hos en pump kommer till stor del att överföras till vattnet eller vätskan som pumpen cirkulerar med en temperaturökning hos vattnet som följd. Uppskattningsvis har en pump i den storleksklass det här är fråga om en motoreffekt av ca 90 W. Om hela denna effekt tillfördes vattnet skulle temperaturökningen vid en vattenmängd på 0,004 kg/s bli

$$\Delta\theta = \frac{90}{4200 \cdot 0,004} = 5,4 \text{ K}$$

Genom att en viss del av effekten avges som värme till omgivande luft och en del erfordras för cirkulation av vätskan så blir temperaturökningen mindre än den ovan angivna. Värmeavgivningen från en pumps mantelyta kan uppskattas till ca 20-30% av den tillförda effekten och i ett sådant fall skulle temperaturökningen bli ca 5 K.

Ovan beräknade temperaturökningar hos vattnet gäller för en solfångarinstallation med 1 m² yta. Vid större flöde, dvs större solfångaryta, blir temperaturökningen mindre eftersom flödet genom pumpen är större, men energimängden som tillförs vattnet blir densamma. Vid pumpcirkulation uppkommer således en förlust i form av den värme som avges från pumpmotorns mantelyta. Det är därför sannolikt att en solfångarinstallation med pumpcirkulation av vatten får en verkningsgrad som är lägre än motsvarande installation med självcirkulation. Uppskattningsvis blir ökningen i tillförd effekt per m² ca 5% vilket då utgör medelvärdet för en dag. Instrålad effekt har därvid satts till 500 W/m², vilket är ett medelvärde för en solig dag och 10 timmars infallande direktstrålning (07.00 - 17.00 för en plan solfångare riktad mot söder). Detta ger en ändring i verkningsgraden om denna för ett självcirkulationssystem sätts till 0,5 av 3%.

3.9.2 Själv-cirkulationskrafter i solfångarinstallation med pump

I den tidigare beräkningen av erforderlig pumpeffekt för en installation där summan av tryckförlusterna ansetts vara lika med 100 m rör inkluderades även inverkan av själv-cirkulation. Pump installeras ju på grund av att själv-cirkulation ej av en eller annan orsak kan ske. Som tidigare framhållits är då solfångaren placerad högre än vattenmagasinet och varmare vatten transporteras från en högre nivå till en lägre. I ett sådant fall måste även själv-cirkulationskrafterna som uppstår på grund av den temperaturdifferens som råder mellan solfångare och cistern övervinnas. Ett extremvärde för dessa erhålls om vattenmagasinet antas urladdat på värme och har en medeltemperatur av 10°C samt att medeltemperaturen hos vattnet från solfångaren är 50°C .

Själv-cirkulationskrafter som då skall övervinnas blir, om höjdskillnaden sätts till 3 m, ca:

$$\Delta P = 9,81 \cdot 3 (999,70 - 988,14) \approx 340 \text{ N/m}^2$$

I bild(3/21) visas själv-cirkulationskrafterna som funktion av temperaturdifferensen och med höjden som parameter. Dessa själv-cirkulationskrafter skall jämföras med tryckfallet per m rör. I bild(3/22) återges grafiskt tryckfallet för några aktuella diameterar då det gäller solfångarinstallationer som funktion av flödet. Det framgår av en jämförelse mellan bilderna att själv-cirkulationskrafterna vid en höjdskillnad av 3 m och $\Delta\theta = 20$, vilket kan anses vara realistiska värden gällande en solfångarinstallation för varmvattenberedning är ungefär lika stora som tryckfallet per m vid en inre diameter av 10 mm och vid flödet 0,015 l/s.

Det torde ej vara någon svårighet att bemästra den ökade effekt som pumpen måste ha på grund av de i systemet uppträdande själv-cirkulationskrafterna, eftersom denna för det mesta har för stor effekt. Oftast måste strypningar insättas trots att klenta rör använts vid systemets utformning.

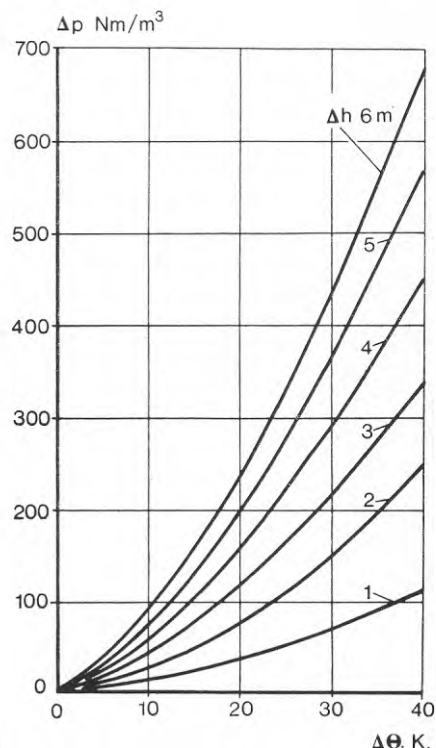


Bild 3/21 Drivtryck som funktion av temperaturdifferensen och med höjdskillnaden som parameter.

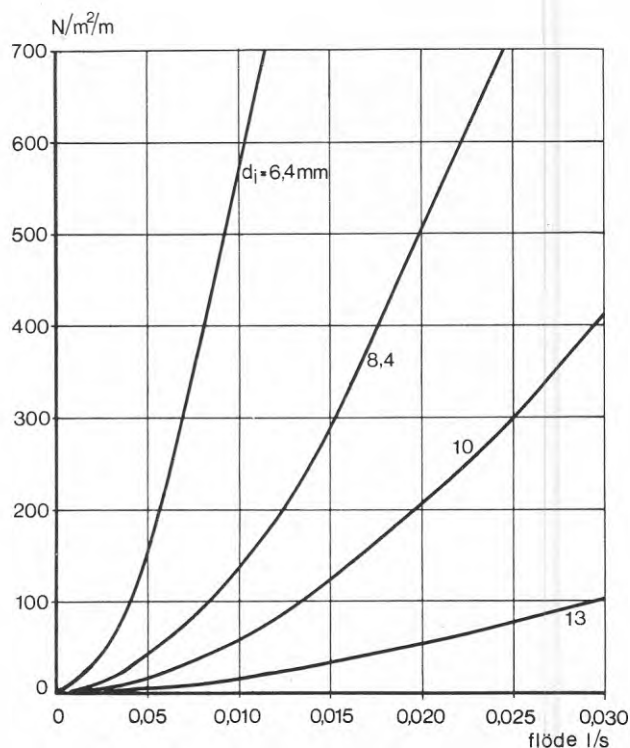


Bild 3/22

3.10 Erosionskorrosion

Risken för erosionskorrosion måste även beaktas vid dimensioneringen av ett solfångarsystem. Detta medför att hastigheten i rörledningarna ej får vara för stor. I VA-byggnormen (1970) anges 0,3 - 0,8 m/s som lämplig hastighet i en ledning med kontinuerlig strömning.

E Mattsson et al (1971) anger att vattnets ph-värde har betydelse för uppkomsten av erosionskorrosion. Resultaten visar, att om vattnets ph-värde minskades från 8 till 6,5 vid kontinuerlig strömning av 65° vatten i 6/4 mm rör så uppstod dels mer omfattande erosionskorrosion och dels skedde denna vid lägre hastigheter. Vid ph 8 kunde hos luftmättat vatten ej några korrosionsangrepp konstateras vid 3 m/s medan vid ph 6,5 motsvarande gränshastighet var 1,0 m/s.

Mattsson (1971) anger även att risken för erosionskorrosion ökar med ökande temperatur. Ledningar med syrehaltigt vatten av lägre temperatur utsätts för mindre angrepp än ledningar med högre vattentemperaturer och följaktligen kan vid lägre temperaturer och i övrigt likartade förhållanden högre strömningshastighet hållas i rören.

Vattnets syrehalt har stor betydelse för bildandet av korrosion. Således konstaterades att kopparrör i kontakt med luftmättat vatten utsattes för korrosionsangrepp om vattenhastigheten var för stor medan avluftat vatten ej orsakar någon erosionskorrosion ens vid stor vattenhastighet (12 m/s) och relativt hög vattentemperatur (65°C). Detta medför att man i solfångarinstallationer med slutet system, d v s där tappvattnet ej passerar genom solfångaren utan värmewäxling sker i vattencisternen kan hålla högre hastighet på vattnet och därmed få klenare rördimensioner och lägre investeringskostnader.

Strömningens varaktighet har en inverkan på erosionens förlopp såtillvida att i rör med kontinuerligt strömmande vätska angrepp uppstår på kortare tid än i rör där strömningen ej upprätthålles dygnet om t ex solfångarinstallationer.

Ovannämnda undersökning tyder även på, att erosionskorrosionen är dimensionsberoende. Man erhåller för vatten med 65°C temperatur och mättat med luft erosionskorrosionsangrepp vid strömningshastigheter av ca 3 m/s i kopparrör vid rördimension 16/14 och 28/25 mm medan sådana ej uppstår i rör med dimensionen 6/4 mm.

Glödgade eller oglödgade kopparrör synes i stort ge samma förlopp vad gäller korrosionen; däremot är glödgade kopparrör känsligare för stötar och slag, vilka kan ge upphov till förträngningar med högre strömningshastighet än normalt. Erosionskorrosionen är särskilt vanlig i installationer där sammanfogningen av rör och utformningen av avgreningar och böjar har skett på ett slarvigt sätt.

3.11 Lämpliga hastigheter i vattenledningar med hänsyn till utfälld luft

Tappvattnet som värms i en solfångare innehåller en viss mängd luft. En viss del av denna luft utfälls då vatten värms t ex i en solfångare.

Lufts löslighet i vatten som funktion av temperaturen vid olika tryck framgår av bild(2/23). I indirekta system med vatten är det även av intresse för bedömning av korrosionsangreppstalet att veta hur mycket syre som utfälls i rörsystemet. Syrelöslighet i vatten och dess variation med temperaturen vid olika tryck framgår av bild(3/24). Kväves löslighet i vatten återges grafiskt i bild(3/25).

Vattenhastigheten i rörledningar är som framgår av föregående begränsad med hänsyn till risken för erosionskorrosion. Emellertid får hastigheten ej heller vara för låg - då uppstår risk för luftansamlingar i rörledningarna. Vid en själv-cirkulationsanläggning undviks detta genom att ledningar och solfångare ges en lämplig lutning, så att utfälld luft och i vattnet förekommande luftblåsor genom egen stigningskraft kan stiga upp till vattenmagasinet eller särskilt anordnad luftningsanordning och därifrån avlägsnas ur systemet. I ett system med pumpcirkulation är, som förut nämnts, solfångaren oftast placerad högre än vattencisternen, varför luft lätt kan ansamlas.

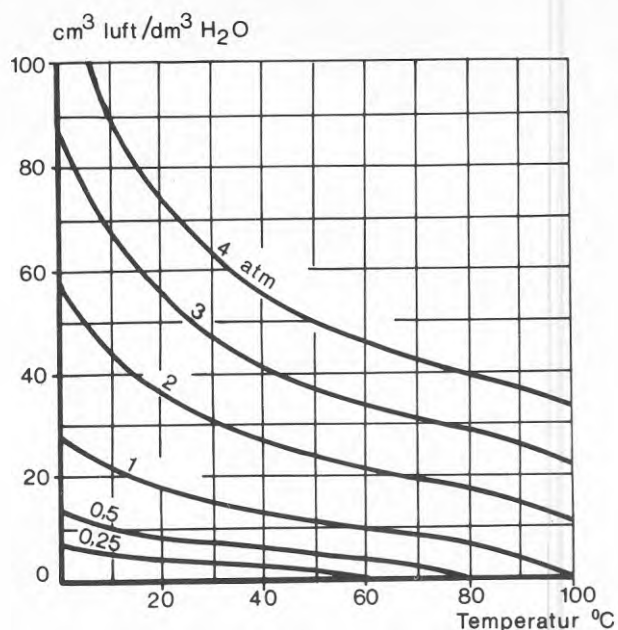


Bild 3/23 Lufts löslighet i vatten som funktion av vattentemperaturen och med lufttrycket som parameter.

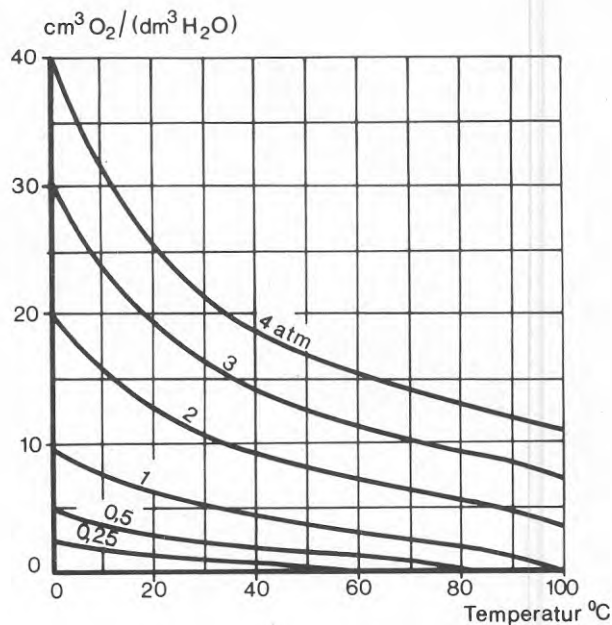


Bild 3/24 Syres löslighet i vatten som funktion av vattentemperaturen och med lufttrycket som parameter.

Förutom risken för korrosion, som uppstår i och med att en luftansamling bildas, ökar också tryckfallet i systemet. Tryckförlusten (i Pa) över en luftblåsa som nästan helt fyller ut rörarean anges av Rydberg (1951) i vertikalt rör till approximativt lika med

$$\Delta p = h \cdot \rho \cdot g \quad (3:1)$$

där h är blåsans längd och ρ vattnets densitet.

I bild(3/26) visas grafiskt tryckfallet (i vatten) som funktion av luftblåsans höjd (då dennas diameter är ungefär lika med rördiametern). Luftblåsar ansamlas företrädesvis i vertikala eller i lutande ledningar efter böjar, om vattenhastigheten är för låg. Om vattenhastigheten överstiger en jämviktshastighet, d v s den hastighet då en luftblåsa är stillastående vid vertikalt nedåtriktad vätskeströmning, så transporteras blåsan med vattnet. Jämviktshastigheten i ett vertikalt rör med 21 mm innerdiameter för luftblåsar av olika längd (30-240 mm) som funktion av temperaturen hos vattnet framgår av bild (3/27).

Området inom vilken jämviktshastigheten erhållits (mindre än 0,02 m/s) tyder på, att temperaturinflytandet på jämviktshastigheten är litet. Som synes, se bild(3/28), är jämviktshastigheten oberoende av längden hos blåsan.

Bild (3/29) visar densamma som funktion av rördiametern då luftblåsan uppfyller rørets tvärsnittsarea bortsett från en tunn vätskefilm invid rørets mantelyta.

Jämviktshastigheten i vatten för vertikala rör är en funktion av rördiametern. För rørböjar är den även beroende av hur böjen utformats. Förhållandet mellan rördiameter och böjens krökningsradie, $\frac{d}{r}$, inverkar och olika $\frac{d}{r}$ ger olika jämviktshastigheter för samma rördiameter. Då r går mot oändligheten, d v s man har ett rakt rör, fås värden på jämviktshastigheten som för rakt vertikalt rör.

Vätskeströmningen genom böjen är horisontell före och ändras till vertikalt nedåtriktad efter böjen. I bild(3/30) återges grafiskt jämviktshastigheten för luftblåsar i rörkrökar som funktion av $\frac{d}{r}$. Jämviktshastigheten för rørböjar definieras som den vattenhastighet som erfordras för att en luftblåsa nått och jämt skall följa med vattenströmmen genom böjen.

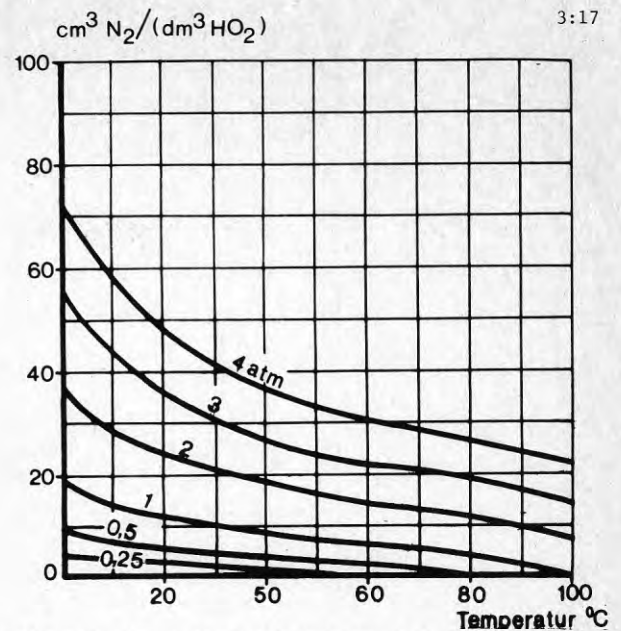


Bild 3/25 Kväves löslighet i vatten som funktion av vattentemperaturen och med lufttrycket som parameter.

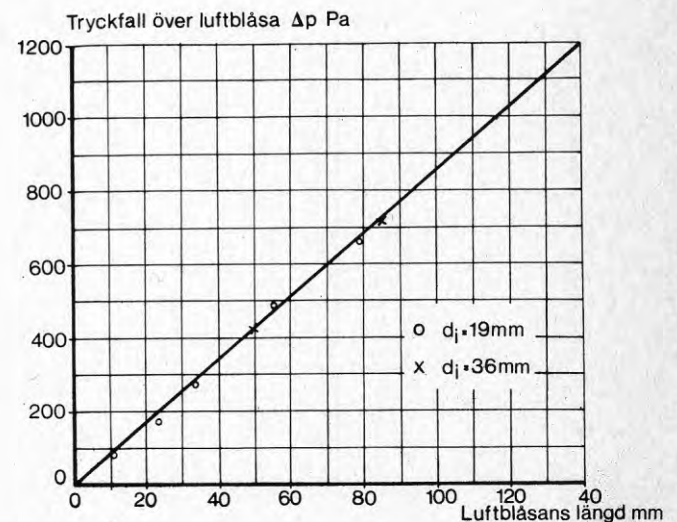


Bild 3/26 Tryckfallet över luftblåsa i vertikal rörledning som funktion av blåsans längd.

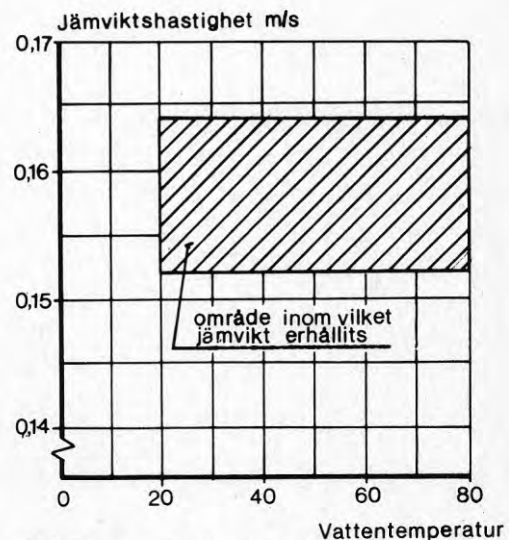


Bild 3/27 Jämviktshastighet i vertikalt rör.

Liksom vid vertikala rör är jämviktshastigheten oberoende av temperaturen hos vattnet samt av luftblåsans längd. Tryckförlusten över en luftblåsa i en böj, vilken i det närmaste fyller hela rörtvärsnittet, kan även den approximativt uppskattas till blåsans längd i mm vp. Längre luftblåsor än 30-40 mm bildas vanligtvis ej i rörledningar.

Då denna längd uppnåtts rycks små blåsor från den större blåsans nedre del med vattenströmmen. Luftblåsor som stannar i böjar har olika utseende beroende på rørets dimension. Rör med invändiga diametrar av ca 10-20 mm kan få blåsor, vilka helt fyller rörtvärsnittet medan för större rördimensioner endast en del av rörtvärsnittet fylls. Då endast en del av rörtvärsnittet fylls, blir tryckfallet mindre, men jämviktshastigheten blir större än för ett rakt vertikalt rör, vilket framgår av bild(3/30). Om, vid bestämningen av jämviktshastigheten, endast hänsyn tas till vilken vattenhastighet som erfordras för att luftblåsor ej skall ansamlas i vertikala rör, så kommer endast små luftblåsor vilka ej helt fyller rörtvärsnittet att ansamlas i rørböjar (Rydberg 1951).

Större luftblåsor bildas genom att små slås samman och det kan därför vara av intresse att studera hastigheten hos blåsor av olika diametrar. Små luftblåsor kan (approximativt) anses uppföra sig som om de befann sig i en fri vattenmassa. Stighastigheten i stillastående vatten för sådana blåsor med varierande diametrar framgår av bild(3/31).

De rör, som används för transport av tappvatten till och från en solfångare, torde ha en invändig diameter av 6-25 mm och oftast förekommer rör med 6, 8, 10 och 13 mm invändig diameter. Vattenhastigheten i rörledningarna måste för respektive diameter således vara större än ovan redovisade jämviktshastigheter för att ej luftblåsor skall ansamlas i vertikala rörsträckors övre delar. Med tanke på den osäkerhet som föreligger (10-20%) hos värdena och eftersom pumpen oftast har för stor kapacitet så torde lämpliga hastigheter i fram- och returledningarna till solfångare ligga inom 0,5 - 1 m/s. Detta är också möjligt med tanke på risken för erosionskorrosion.

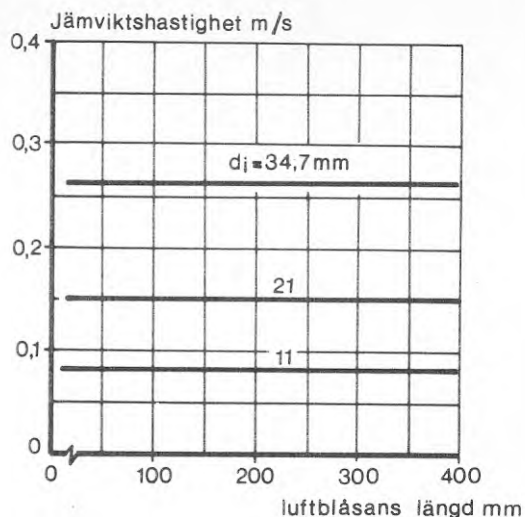


Bild 3/28 Jämviktshastighet i vertikalt rör.

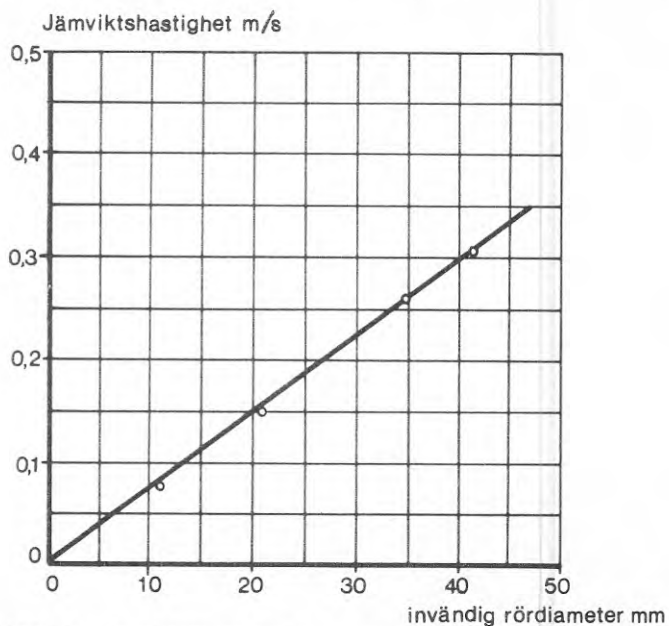


Bild 3/29 Jämviktshastighet i vertikalt rör.

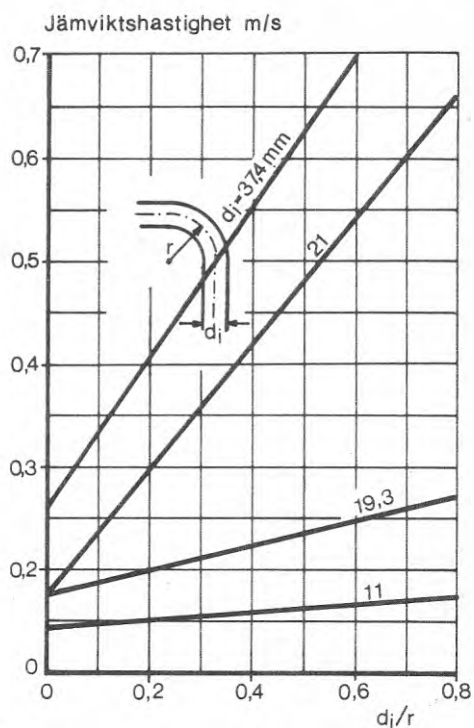


Bild 3/30 Jämviktshastighet i rørböj före vertikalt rör.

3.11.1 Problem med luftutfällning

I vatten finns nästan alltid en viss mängd luft löst, se bild (3/23). Den lösta luftmängden varierar enligt bilden med vattentemperaturen och trycket hos luften över vattnet. Vid högt tryck kan som framgår av bilden större luftmängd lösas än vid lågt tryck, och större löslighet fås vid låg temperatur än vid hög.

I vattenledningsvatten, eller källvatten i det fall man har en egen vattentäkt, har luften lösts vid ett tryck om ca 100 kPa och temperaturen ca 5°C. Vattnets tryck har sedan höjts - i kommunala nät så att ca 200 - 300 kPa råder vid anslutningspunkten¹⁾, vid egen brunn med hydrofonanläggning till ca 200 á 400 kPa. Vid dessa höjda vattentryck kan vattnet hålla en större mängd luft i lösning än den aktuella, jämför bild (3/23). Någon risk för luftutfällning föreligger således ej såvida vattentrycket ej sänks eller temperaturen höjs. Vid ett tryck av ca 200 kPa kan temperaturen höjas till 60 °C utan att luftens löslighet överskrides, dvs utan att luft utfälls.

3.11.2 Placering av solfångare

Trycket i anslutningspunkten¹⁾ vid kommunala vattenledningsnät kan vara så lågt som 200 kPa, vilket ger en maximal vattentemperaturhöjning av 50°C utan risk för luftutfällning. Med hänsyn till att solfångare uppställs högt - t ex på byggnaders tak, måste dock temperaturhöjningen hållas lägre.

3.11.3 Tryckförhållanden i ventiler

En solfångaranläggning innehåller en rad strypventiler, se bild (3/33) och (3/34). Tryckförhållandena i dessa visas i bild (3/32). I ventilens trångaste sektion stiger vattenhastigheten, varvid det dynamiska trycket stiger och det statiska - vilket är bestämmande för luftens löslighet - sjunker. Man kan därför i olämpligt placerade ventiler få luftutfällning. Strypventiler - liksom andra strypningar bör därför placeras

o i lågt belägna punkter, så att minskningen av trycket till följd av höjden över anslutningspunkt eller motsvarande är liten

1) Solfångaren i ett system placeras ofta på taket till ett hus varför det lägsta trycket i systemet sannolikt uppstår i denna.

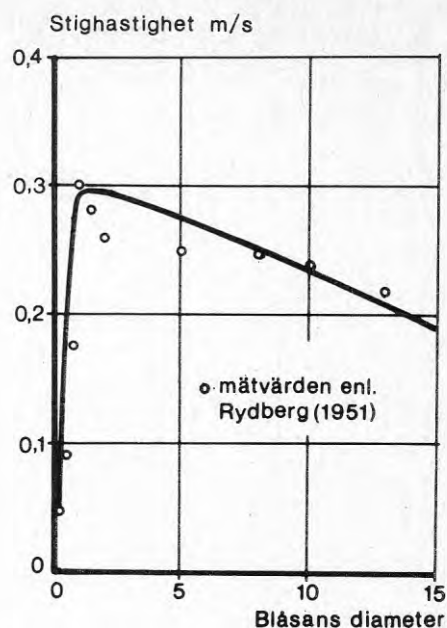


Bild 3/31 Stighastigheten för luftblåsor i vertikalt rör som funktion av blåsans diameter.

Statiskt tryck P_s

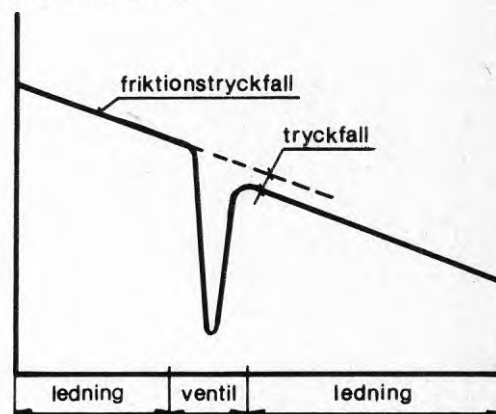


Bild 3/32

o vid punkter där vattentemperaturen är låg (och vattnets förmåga att hålla luft i lösning stor), t ex tilloppsledningarna, se bild (3/33).

Vidare kan man lämpligen seriekoppla ventiler i det fall tillgängligt tryck är för stort. Trycksänkningen i varje ventil blir då lägre än den annars uppträdande största trycksänkningen.

3.11.4 Pumpens inverkan

Pumptrycket är lågt - normalt vid den aktuella pumpstorleken omkring 10 kPa. Pumptryckets inverkan på utfällningen är därför i de flesta fall försumbart. Som regel bör trots detta strypventiler placeras efter pumpen, och pumpen så att den förses med kallvatten. Pumpen skall dessutom placeras så att den får ett högt statiskt tryck.

3.11.5 Avluftning

Strypningar mm insätts så att utfälld luft kan transporteras till en luftklocka e.d. eller avgå via vattenmagasinet, se bild (3/34).

3.11.6 Indirekta system

I ett indirekt solfångarsystem d.v.s. då tappvattnet som skall värmas ej cirkuleras genom solfångaren utan värmeväxling sker i vattencisternen uppträder problemet med luftutfällning endast då nytt färskt vatten fylls på i solfångarkretsen ty efter en tid sker avluftning och luftupptagningen förekommer ej (i system med slutna expansionskärl) eller är minimal (i system med öppna expansionskärl).

3.12 Inverkan av självcirkulationskrafter mm på flödet

Redan i avsnitt 2.7.2 har inverkan av självcirkulationskrafter på flödet i en pumpanläggning berörts. Här skall vi se någon på hur dessa jämte den minskade friktion som fås vid vattenuppvärmningen kan påverka vattenflödet i en anläggning.

Vid en pumpanläggning är tryckfallet bestämt av

$$\Delta p = \sum \frac{1}{2} \zeta \cdot \rho \cdot v^2 \quad (3:2)$$

där v är vattenhastigheten

ρ är vattnets densitet

ζ är en tryckfallskoefficient enl. tabell 3-9

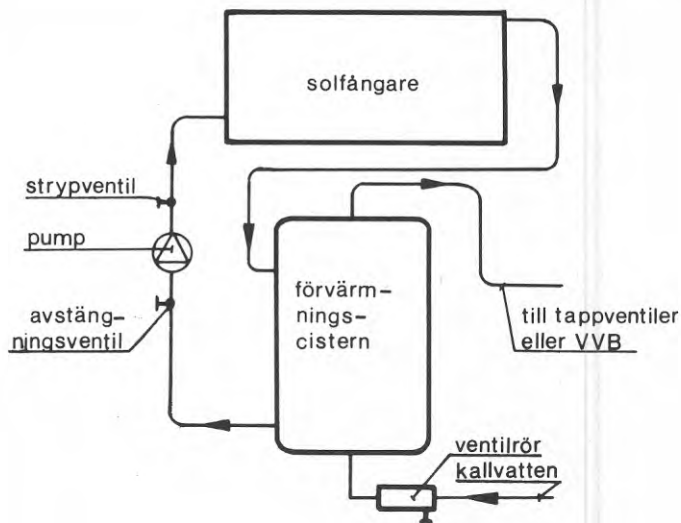


Bild 3/33

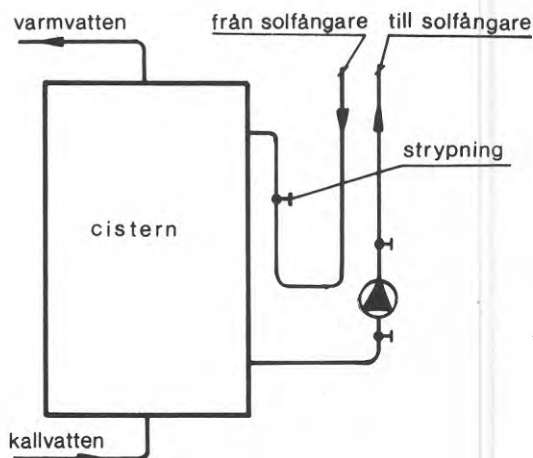


Bild 3/34

Tabell 3-9

Detalj	ζ	
Raksträcka	$\frac{L}{d} \cdot 0,03$	$L =$ längd $d =$ diameter
Böj	0,2 0,1	90° 45°
T-stycke	0,9 0	avtappn. 50% gren avtappn. 50% genomgående
	0,4	samling 50/50%

Summan skall tas över anläggningens olika seriekopplade delar. Vid konstant tryck kommer som framgår av ekvationen v att variera med vattendensiteten. Denna varierar emellertid med vattnets temperatur och man kan därför förvänta sig en variation av flödet med medelvattentemperaturen. Variationen blir lika oavsett pumpens placering.

3.13 Utfällning av luftblåsor i pumpen

I system med pumpcirkulation där solfångarinstallation är utsatt för vattenledningstrycket synes det ej på grund av temperaturvariationer hos vattnet vara nödvändigt att placera pumpen i ledningen till solfångaren. Placeras pumpen i ledningen från solfångaren så kommer luftblåsor som uppstått i solfångarkretsen att passera pumpen innan avluftning kan ske i cisternen. Pumpens kapacitet försämras då luftblåsor förekommer i vattnet vilket innebär att flödet genom pumpen minskar.

Någon risk för att tryck lägre än vattnets förångningstryck skall uppstå i pumphus torde ej föreligga vid system med vattenledningstryck även om pumpen placeras i ledningen med det varma vattnet från solfångaren se bild (3/35).

Ej heller i indirekta system med vatten som värmetransporterande medium torde risk för bildning av ångblåsor i pumphus föreligga.

3.14 Rekommenderade flöden

Vattenhastigheten i solfångare för värmning av tappvatten i vilka vatten passerar genom solfångaren torde kunna uppgå till 1-2 m/s utan att någon större risk för erosionskorrosion skall uppstå. Ytterligare några synpunkter rörande korrosionen vid solfångarinstallationen är att

- o temperaturen på vattnet normalt ej överstiger 45°C
- o strömningen ej är kontinuerlig utan kan uppskattas ha en "intermittensgrad" av ca 33% (= 8 h/dygn) av den maximalt möjliga under sommarhalvåret medan ej någon strömning alls förekommer vintertid

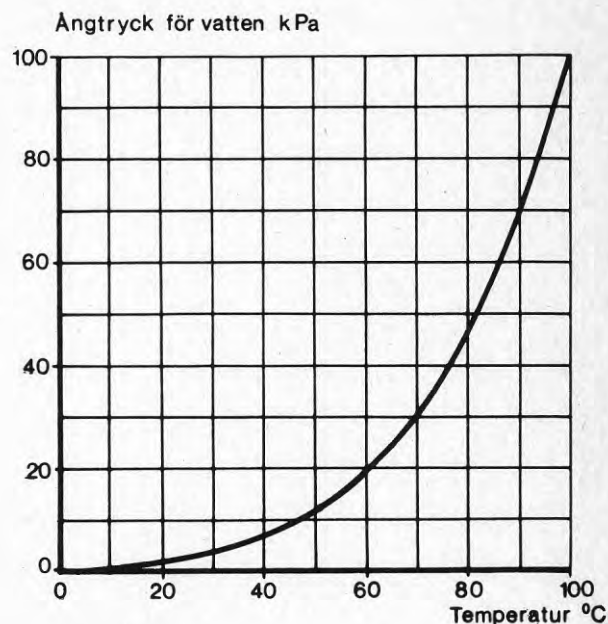


Bild 3/35 Ångtrycket för vatten som funktion av vattentemperaturen.

- o vattensystem som är anslutna till kommunal-
nät förses normalt med vatten som har ett
ph av ca 8
- o vattenflödet är litet - härvid förutsätts en
installation som ej till 100% täcker varm-
vattenbehovet sommartid för en villa eller
sommarhus - varför relativt klena rördimen-
sioner erfordras
- o vattentemperaturen normalt är 45°C endast i
ledningen från solfångaren till vattencister-
nen varför om så önskas denna ledning kan ut-
föras med större dimension än tilloppsled-
ningen mellan vattencisternen och solfångaren
som normalt genomströmmas av vatten med
10-15°C temperatur

Samtliga dessa förhållanden är gynnsamma. Nackdelar är

- o att om klena eller mjuka rör används vid
monteringen kan detta medföra, att förträng-
ningar med höga hastigheter och erosions-
korrosion som följd uppstår
- o att vattnet som strömmar genom ledningarna
är relativt syrehaltigt

Av tabell 3-10 framgår det flöde som erhålls vid de rör-
dimensioner som kan komma ifråga samt hur stor solfångar-
yta som detta motsvarar.

Tabell 3-10

d_i mm inre rördim.	m/s hast.	m^3/s flöde	m^2 maximal ansluten solfångaryta
6,4	2	$6,4 \cdot 10^{-5}$	16
8,4	2	$11,4 \cdot 10^{-5}$	28
10	2	$15,7 \cdot 10^{-5}$	39
13	2	$26,5 \cdot 10^{-5}$	66
20	2	$62,8 \cdot 10^{-5}$	157
25,6	2	$102,9 \cdot 10^{-5}$	257

3.15 Medium

Utformningen av ett solvärmesystem för varmvattenberedning är avgörande vid val av medium för transport av energi från solfångaren till ett ackumulerande värmemagasin. Vid direkta system användes vatten som värmetransporterande medium. Vattnet passerar därvid genom solfångaren. För indirekta system råder större valfrihet vad gäller medium och det som anses bäst för de givna förutsättningarna kan väljas. I ett sådant system sker värmeväxling mellan mediet i solfångarkretsen och tappvattnet och vanligen användes vatten eller blandningar av vatten och någon fryspunktsnedsättande vätska i denna krets men även andra värmetransporterande media kan användas.

Fördelarna med ett indirekt system är att

- o relativt billigt material (t.ex. stål i stället för koppar) kan användas i solfångarkretsens vätskeberörda delar eftersom en viss korrosion kan tillåtas då tappvattnet ej påverkas vid detta utförande.
- o korrosionshämmande medel kan tillsättas
- o fryspunktsnedsättande vätskor kan blandas med vatten eller användas separat i systemet
- o trycket i systemet kan oftast hållas lågt.

Nackdelarna med ett sådant system är bl.a.

- o en temperaturdifferens måste råda mellan mediet i solfångarkretsen och tappvattnet vilket leder till att högre temperatur måste hållas på vattnet från solfångaren varvid även absorberarens temperatur ökar. Detta medför att verkningsgraden hos solfångaren minskar, se sid 2:14.
- o värmeväxlare måste anordnas i cistern eller dylikt magasin för tappvattnet.

Önskvärda egenskaper hos den värmetransporterande vätskan i solfångarkretsen är stor värmekapacitivitet så att den upptagna energin i solfångaren kan transporteras till lagringscisternen med så litet flöde som möjligt. Därmed kan ledningarna utföras i klenare dimensioner. Dessutom bör vätskans viskositet ej ändras med temperaturen i alltför hög grad inom det temperaturområde som kan bli aktuellt för en solfångare.

3.15.1 Skydd mot frykning

Då vattnet vars fysikaliska data anges i tabell 3-11 användes i direkta system föreligger frysrisk vid temperaturer under 0°C varför sådana system måste förses med någon automatik som förhindrar att vattnet fryser till is. Frykning i direkta system under vintermånaderna förhindras enklast genom att solfångarkretsens vatten avtappas under denna period. Under kortare perioder med temperaturer under 0°C kan vid pumpcirkulation utrustningen, vilken reglerar pumpens start och stopp, kompletteras med en givare som startar pumpen vid en viss temperatur på solfångarens absorberingsyta. Vid självcirkulationssystem utan värmeavväxling finns inte denna möjlighet utan avtappning måste ske.

3.15.2 Frysrisker och åtgärder mot frykning

Då vatten pumpas genom solfångaren vid frysrisk sker givetvis en energiförlust. Denna består dels av den energi som åtgår för att hålla absorberarytan vid en viss temperatur samt en viss del av den elenergi som tillförs pumpen. En stor del av elenergin som tillförs pumphotorn övergår i värme och tillförs vattnet. Denna energi försummas i den följande approximativa beräkningen av energiförlusten.

Värmeförlusten genom isoleringen på absorberarytans baksida har försumrats. Uppskattningen av effektförlusten kan göras med följande formel

$$P = k \cdot A \cdot (\theta_{am} - \theta_u)^2 \quad (3:2)$$

där

$$P = \text{värmeförlust W/m}^2$$

$$k = \text{värmegenomgångstal } 5,0 \text{ W/(m}^2\text{K)} \text{ (ett glas)}$$

$$\theta_{am} = \text{absorberarytans medeltemp. } 2^\circ\text{C}$$

$$\theta_u = \text{utetemperatur } -5^\circ\text{C}$$

$$A = \text{glasyta } 1 \text{ m}^2$$

Med de ovan angivna värdena blir värmeförlusten 35 W/m². Förutsätter man att utetemperatur är -5°C hela dygnet och att ingen instrålning sker blir energiförlusten 840 Wh/m². Detta skall täckas genom att det cirkulerande vattnet avkyles. Då vattenmagasinet är urladdat kan man anse att hela vattenmängden har en temperatur lika med det inkommande kallvattnets dvs. ca 10°C.

Om en medeltemperatur av 2°C skall råda på absorberarytan så kan uppskattningsvis det cirkulerande vattnets temperatur sänkas till 4°C. Det cirkulerande massflödet kan beräknas ur

$$P = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta\theta$$

$$c_p = \text{vattnets värmekapacitivet } 4187 \text{ Ws/(kg K)}$$

$$\Delta\theta = \text{temperatursänkningen hos vattnet}$$

$$\dot{m} = \text{massflödet (kg/s)}$$

Tabell 3-11

Fysikaliska data för vatten

Temp. °C	Densitet kg/m ³	Tryck kPa	Värme kapacitivet J/ (kg K)	Kin. visk. m ² /s
0	999,8	100	4218	1752 x 10 ⁻⁶
10	999,7	100	4192	1280
20	998,2	100	4182	985
30	995,7	100	4178	786
40	992,2	100	4178	640
50	988,1	100	4181	540
60	983,2	100	4184	460
70	977,8	100	4190	399
80	971,8	100	4196	348
90	965,3	100	4205	309
100	958,3	101,3	4216	282

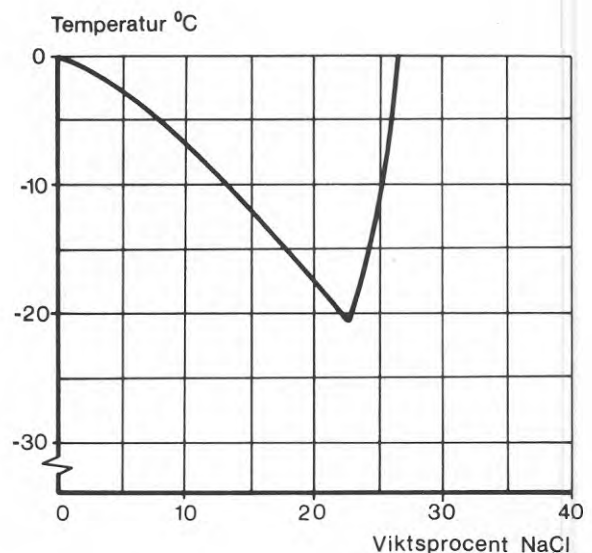


Bild 3/36

Vattenflödet blir således med de angivna värdena

$$m = \frac{P}{c_p \cdot \Delta\theta} = \frac{35}{4187 \cdot 6} = 0,0014 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$\approx 5 \text{ l}/(\text{h m}^2)$$

Vanligtvis är flödet genom en solfångare ca 10 - 15 l/(h m²) varför man med säkerhet kan upprätthålla det flöde som behövs för att frysning ej ska ske. Eftersom flödet normalt är så mycket större än det uppskattade flödet så kommer absorberytan att få en högre temperatur än den antagna temperaturen 2°C. Man kan då stoppa flödet vid en viss temperatur och låta pumpen starta igen då absorberytan¹⁾ avkylts. Man sparar på så sätt energi och pumpens drifttid blir kortare.

Det kan även vara av intresse att uppskatta den ungefärliga tid ett solfångarsystem med denna typ av skydd mot frysning kan klara uppvärmningen av absorberytan. Det förutsättes då att någon tappning ej sker ty då tillförs ju cisternen vatten med ca 10°C temperatur. Vattenmagasinets volym antas vara 300 l. Man erhåller då

$$\tau = \frac{W}{P} = \frac{V \rho c_p \Delta\theta}{P}$$

där V = vattencisternens volym 0,3 (m³)
 ρ = vattnets densitet (kg/m³)
 $\Delta\theta$ = temperatursänkningen på vattnet (K)
 τ = tiden för nedkylning (h)
 c_p = vattnets värmekapacitivitet (Ws/(kg .K))

Vid $\Delta\theta = 6 \text{ K}$ och 1 m² solfångaryta erhålles då $\tau \approx 60 \text{ h}$. Om vattencisternen är uppställd i ett källarutrymme så råder där oftast en temperatur av 15-20°C varför ett visst energitillskott sker till solfångarkretsen via transmission genom cistern och rörväggar. Detta energitillskott har ej medräknats ovan. Ovan uppskattad tid, τ , är baserad på 1 m² solfångaryta. Vanligtvis användes till en cistern med 300 liters volym en solfångaryta på ca 2 m² och tiden τ reduceras då till ca 30 h.

För ett indirekt system med pump kan givetvis samma metod med cirkulation av vatten genom solfångaren, då frysrisk föreligger, tillämpas. Man mister då ett av detta systems avgörande fördelar nämligen att man kan använda medier som fryser vid utetemperaturer under 0°C.

Vanligtvis utgörs dessa medier av vatten blandat i lämplig proportion med någon annan vätska så att en fryspunkt under 0°C erhålles.

1) Mätning av temperaturer bör ske nedtill där frysriskerna är störst på fångarytan.

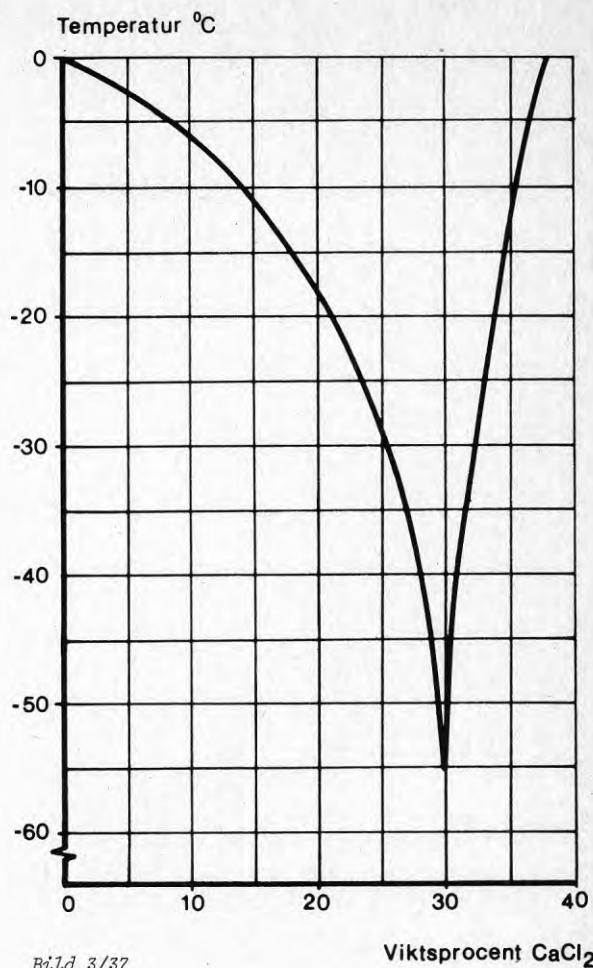


Bild 3/37

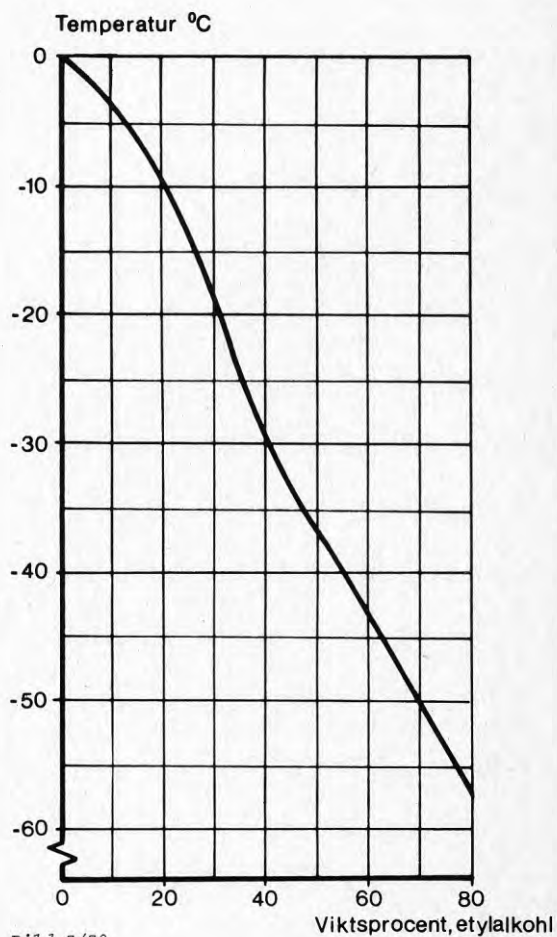


Bild 3/38

3.15.3 Fryspunktsnedsättande ämnen

Några vanliga fryspunktsnedsättande ämnen är salter såsom koksalt, NaCl, eller kalciumklorid, Ca Cl₂, samt organiska ämnen såsom etylalkohol, glycerin och etylenglykol. I bilderna (3/37-3/40) återges grafiskt fryspunkten för blandningar. Saltlösningarna Na Cl och Ca Cl₂ har en accelererande verkan på korrosionen men försök har visat att tillsatts av krom i små mängder kan minska korrosionen högst väsentligt. Vissa organiska ämnen såsom sprit och glycerin har ej någon korroderande inverkan på stål vid små vattenhalter medan vid halter över 50% ett visst angrepp sker.

Då blandningen av vatten och ett fryspunktsnedsättande ämne ger en frystemperatur under 0°C, fås (förutom denna lägre fryspunkt) även helt andra värden för sådana egenskaper som densitet, värmekapacitivitet, värmeledningstal och viskositet. Data för dessa storheter behövs vid dimensioneringen av en installation för värmning av varmvatten med solenergi.

I bilderna (3/41) till (3/45) återges grafiskt densiteten för olika vätskeblandningar där fryspunkter under 0°C kan erhållas. Densiteten anges som funktion av temperaturen och med koncentrationen som parameter. Värmekapacitiviteten vid olika temperatur och koncentration visas i bilderna (3/46) till (3/49).

Värmeledningstalet som funktion av temperaturen och med koncentrationen hos vattenblandningen som parameter visas grafiskt i bilderna (3/50) till (3/55).

Bilderna (3/56) till (3/60) visar viskositetens ändring med temperaturen för vattenblandningar med olika koncentration.

Bilderna (3/36)-(3/40) är baserade på värden från Kylteknikern och (3/41)-(3/60) på värden hämtade från Landolt-Börnstein.

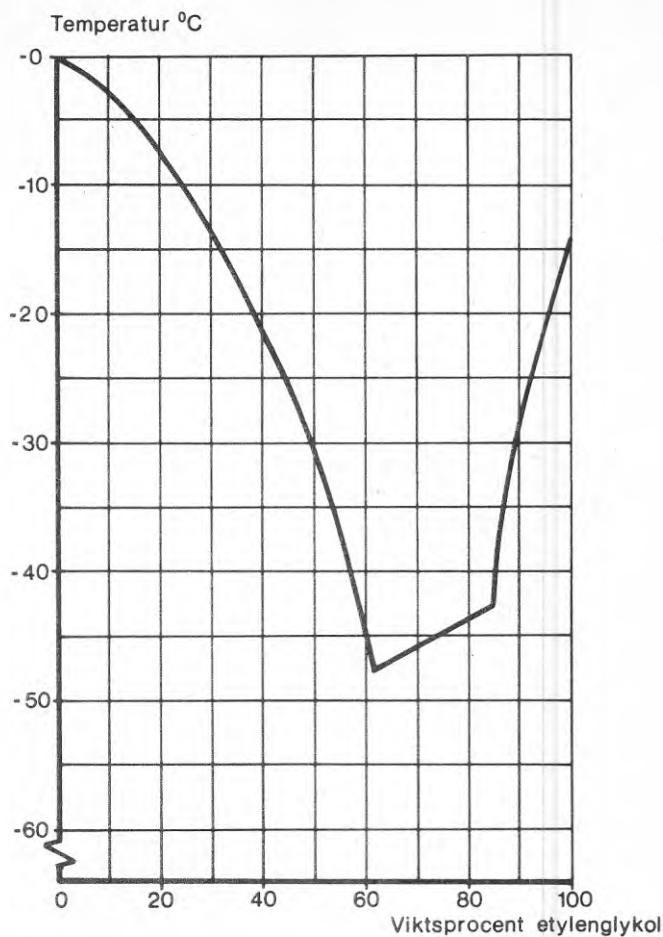


Bild 3/39

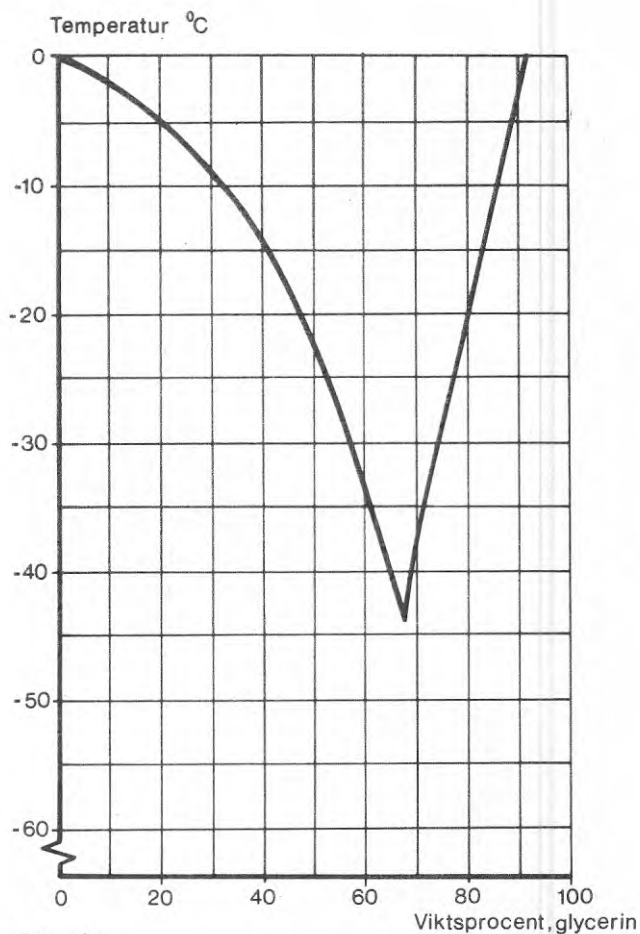


Bild 3/40

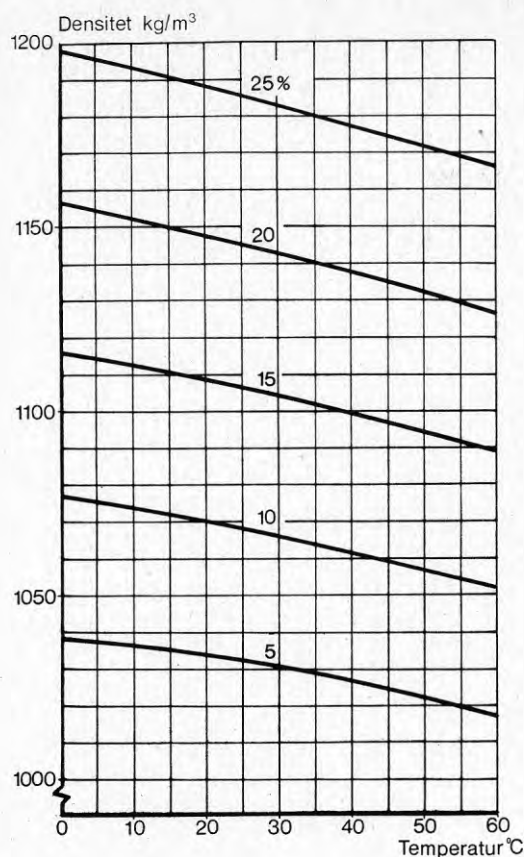


Bild 3/41 Densiteten för en vätskeblandning $H_2O + NaCl$ som funktion av temperaturen och med viktsprocenten $NaCl$ som parameter

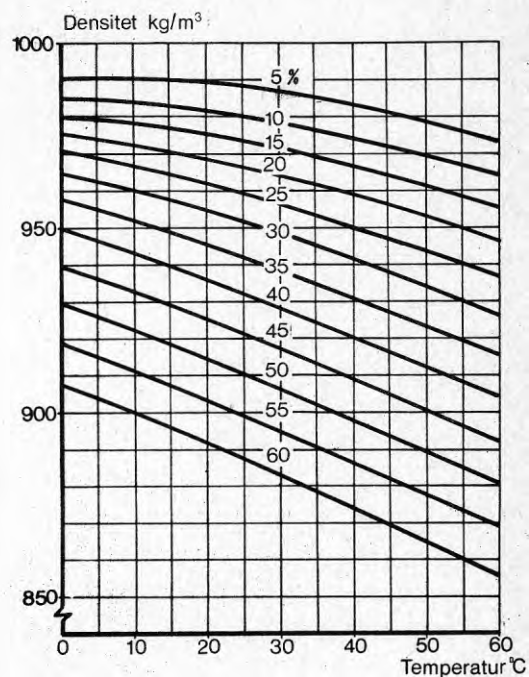


Bild 3/43 Densiteten för en vätskeblandning $H_2O + etanol$ som funktion av temperaturen och med viktsprocenten etanol som parameter

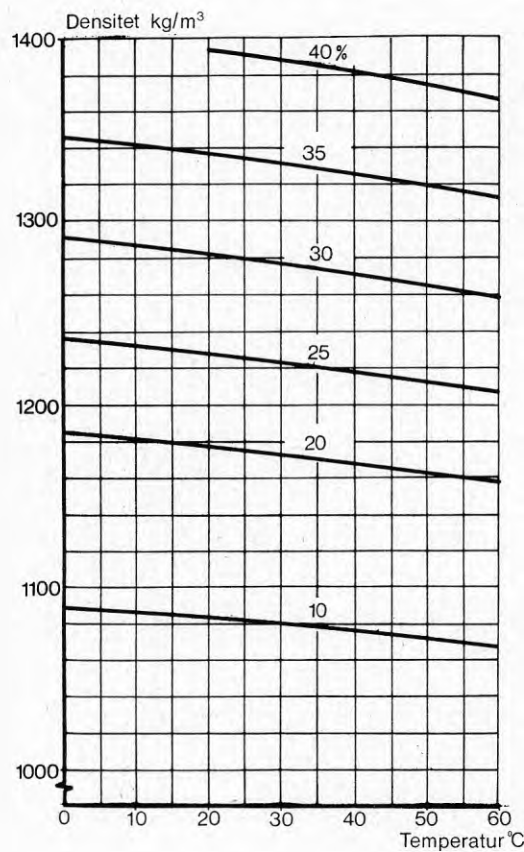


Bild 3/42 Densiteten för en vätskeblandning $H_2O + CaCl$ som funktion av temperaturen och med viktsprocenten $CaCl$ som parameter

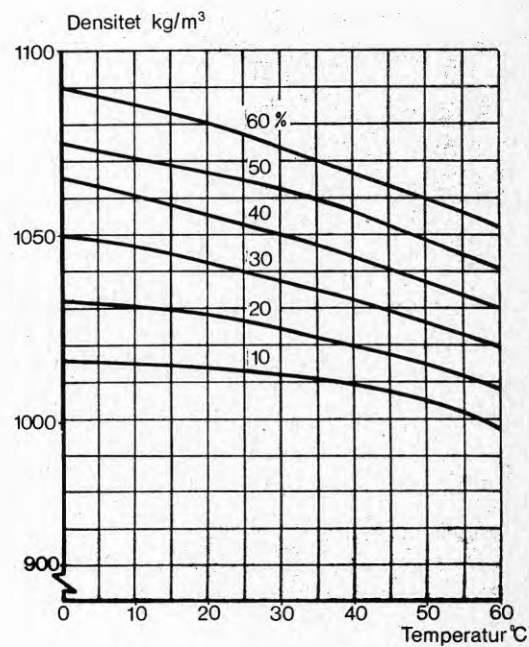


Bild 3/44 Densiteten för en vätskeblandning $H_2O + glykol$ som funktion av temperaturen och med viktsprocenten glykol som parameter

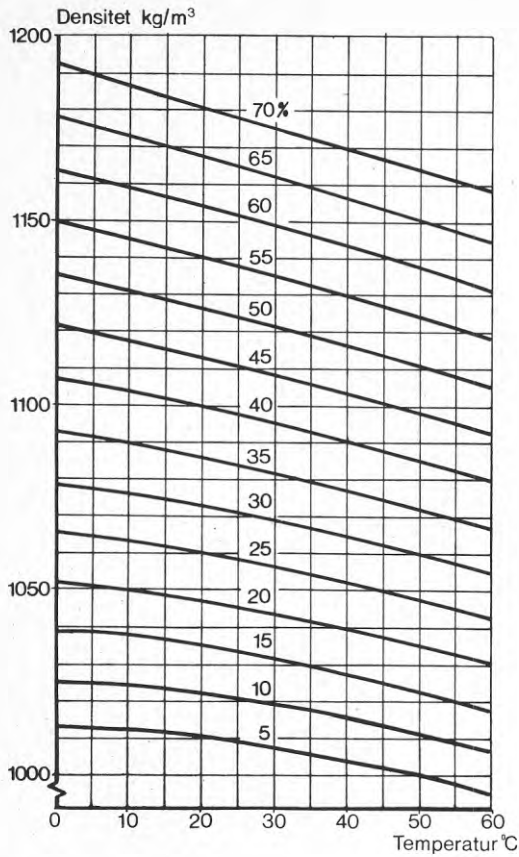


Bild 3/45 Densiteten för en vätskeblandning H_2O + glycerin som funktion av temperaturen och med viktsprocenten glycerin som parameter

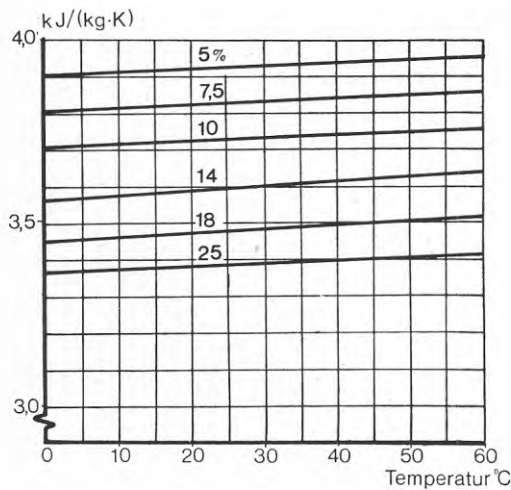


Bild 3/46 Värmekapacitiveteten för en vätskeblandning H_2O + NaCl som funktion av temperaturen och med viktsprocenten NaCl som parameter

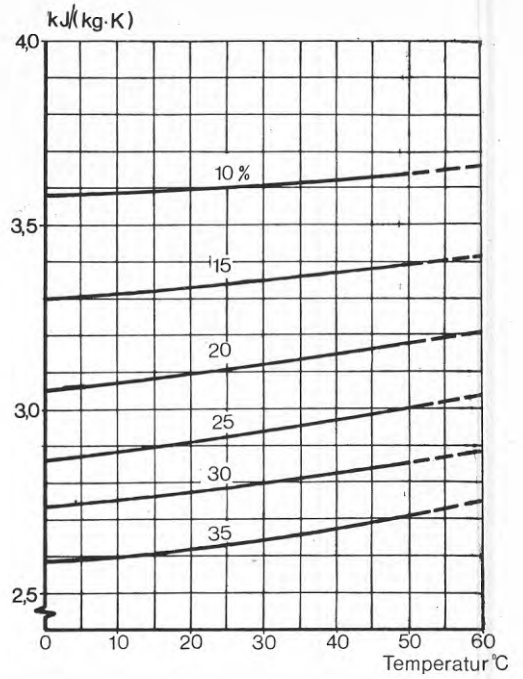


Bild 3/47 Värmekapacitiveteten för en vätskeblandning H_2O + CaCl som funktion av temperaturen och med viktsprocenten CaCl som parameter

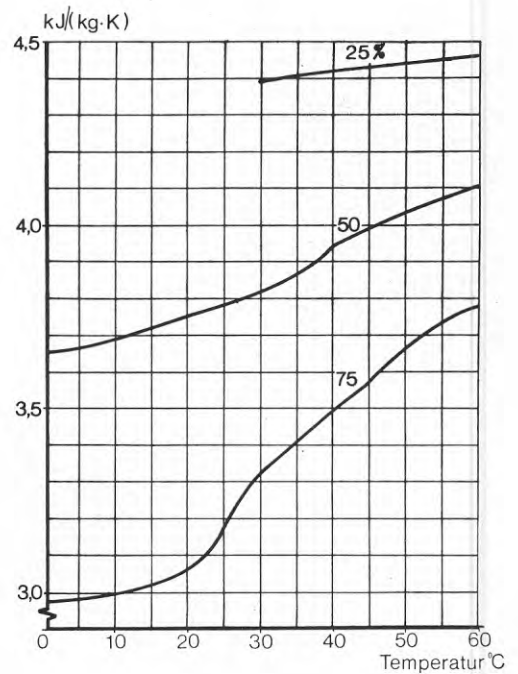


Bild 3/48 Värmekapacitiveteten för en vätskeblandning H_2O + etanol som funktion av temperaturen och med viktsprocenten etanol som parameter

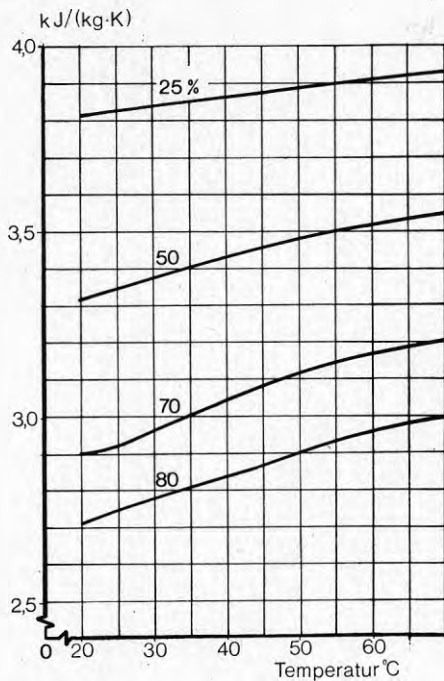


Bild 3/49 Värmekapacitiveteten för en vätskeblandning H_2O + glykol som funktion av temperaturen och med viktsprocenten glykol som parameter

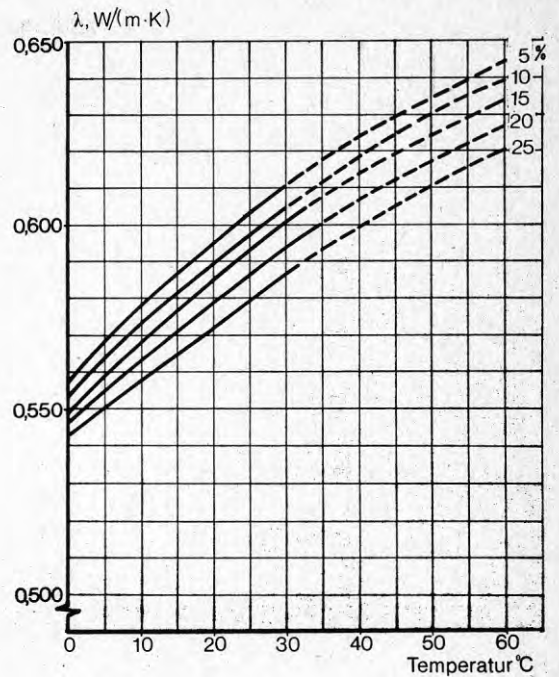


Bild 3/51 Värmeledningstalet för en vätskeblandning H_2O + NaCl som funktion av temperaturen och med viktsprocenten NaCl som parameter

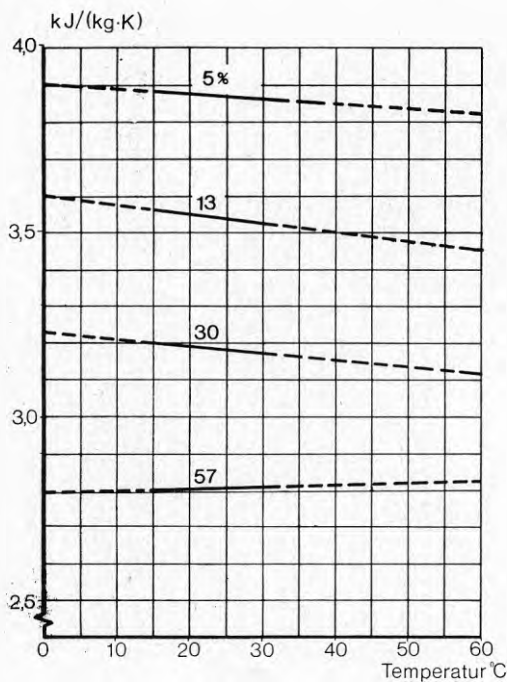


Bild 3/50 Värmekapacitiveteten för en vätskeblandning H_2O + glycerin som funktion av temperaturen och med viktsprocenten glycerin som parameter

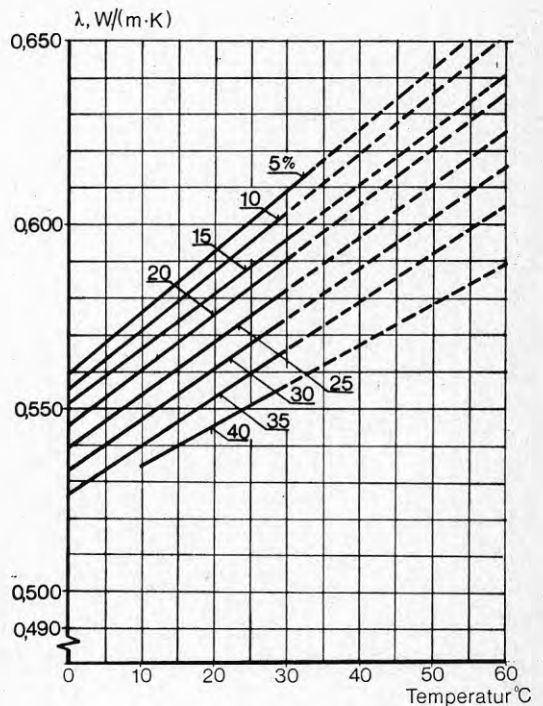


Bild 3/52 Värmeledningstalet för en vätskeblandning H_2O + CaCl som funktion av temperaturen och med viktsprocenten CaCl som parameter

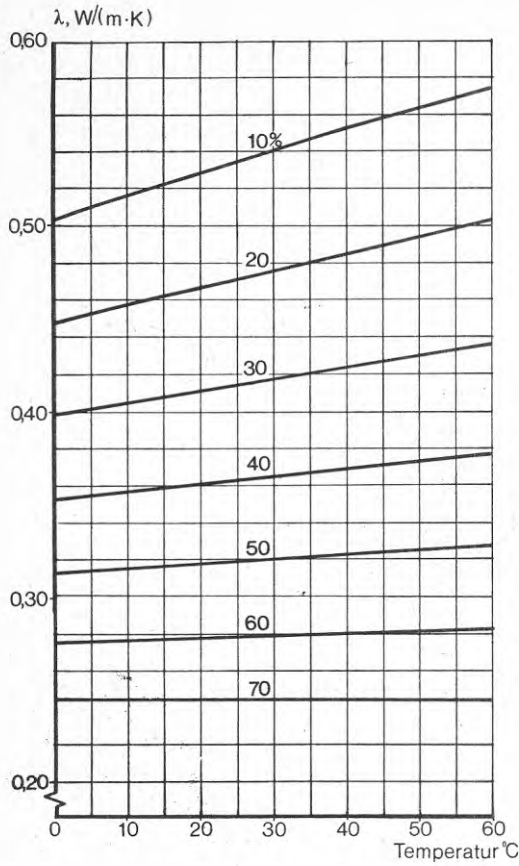


Bild 3/53 Värmeledningstalet för en vätskeblandning H_2O + etanol som funktion av temperaturen och med viktsprocenten etanol som parameter

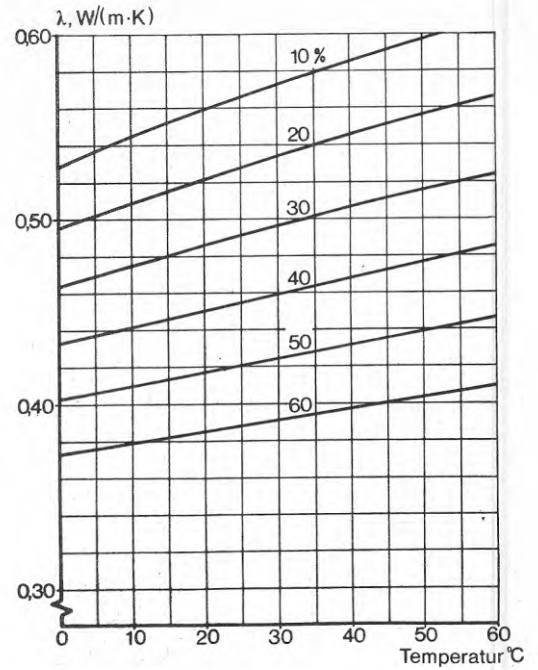


Bild 3/55 Värmeledningstalet för en vätskeblandning H_2O + glycerin som funktion av temperaturen och med viktsprocenten glycerin som parameter

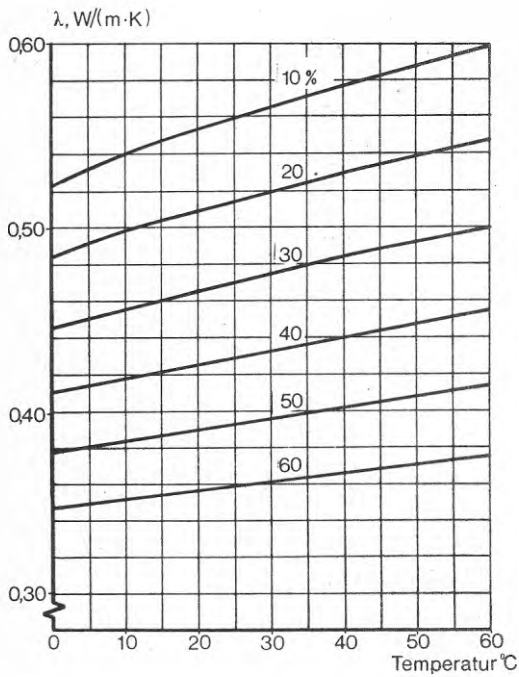


Bild 3/54 Värmeledningstalet för en vätskeblandning H_2O + glykol som funktion av temperaturen och med viktsprocenten glykol som parameter

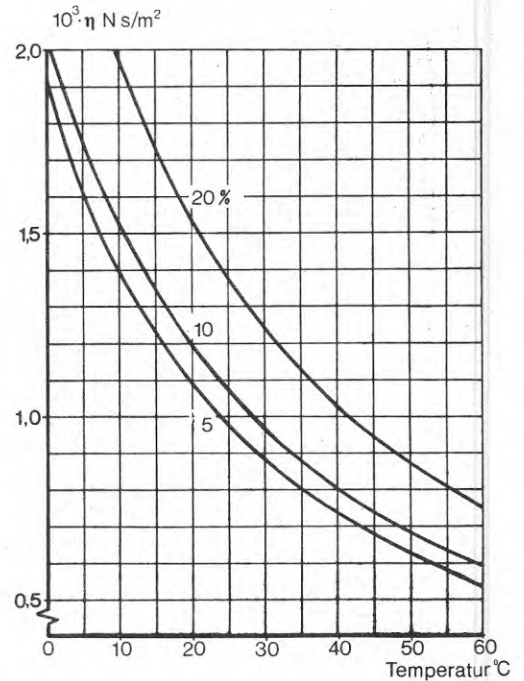


Bild 3/56 Dynamiska viskositeten för en vätskeblandning H_2O + NaCl som funktion av temperaturen och med viktsprocenten NaCl som parameter

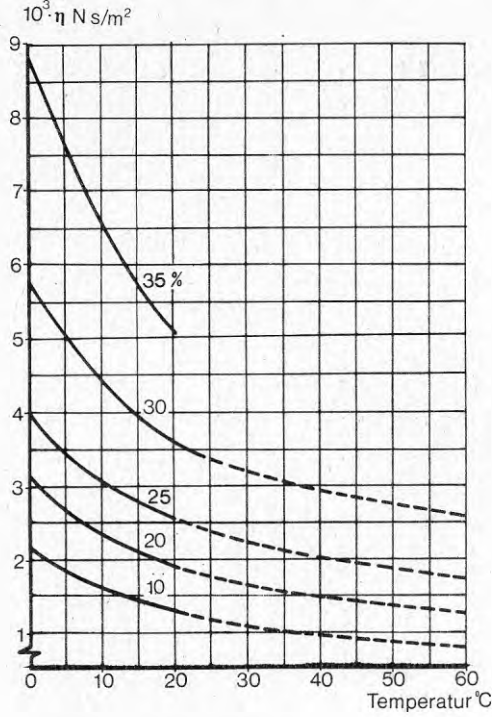


Bild 3/57 Dynamiska viskositeten för en vätskeblandning H₂O + CaCl som funktion av temperaturen och med viktsprocenten CaCl som parameter

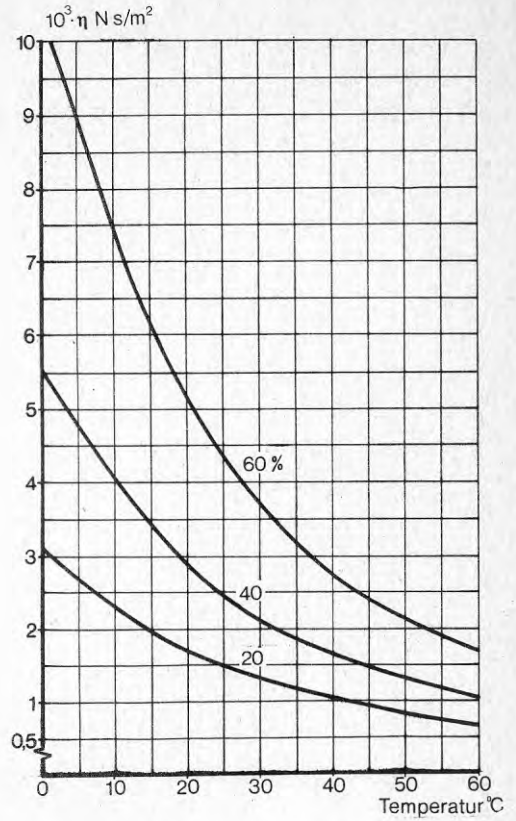


Bild 3/59 Dynamiska viskositeten för en vätskeblandning H₂O + glykol som funktion av temperaturen och med viktsprocenten glykol som parameter

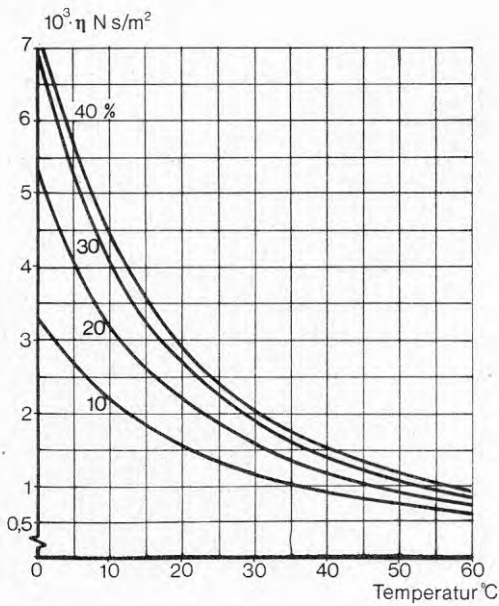


Bild 3/58 Dynamiska viskositeten för en vätskeblandning H₂O + etanol som funktion av temperaturen och med viktsprocenten etanol som parameter

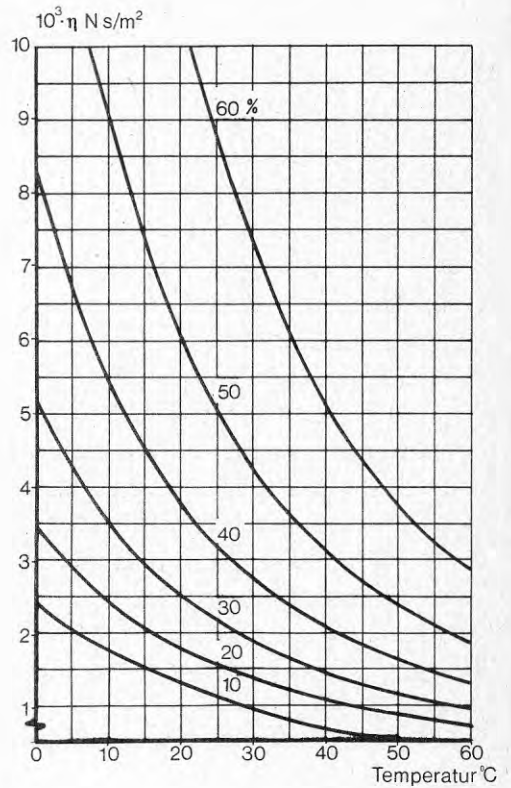


Bild 3/60 Dynamiska viskositeten för en vätskeblandning H₂O + glycerin som funktion av temperaturen och med viktsprocenten glycerin som parameter

4 LAGRING AV SOLENERGI

Vid beredning av varmvatten med hjälp av solenergi måste en viss lagring av energin ske, se bild(4/1). Som framgår av bilden kommer nämligen effektuttaget till följd av varmvattenanvändning ej alls att sammanfalla med effektupptagningen i solfångaren. Värmeupptagningen i den senare är (sommartid) dels beroende på att lufttemperaturen nattetid ofta ligger över vattentemperaturen dels på solinstrålningen. Den förra delen av värmeupptagningen är dock alltför liten för att täcka behovet för duschning på morgonen (pkt 1 i bilden), varför morgonens behov måste täckas genom lagring från föregående dag. Behovet under dagen och på kvällen (pkt 2) torde däremot till största delen kunna täckas med solinstrålning samma dag.

Förutom den i bild(4/1) visade systematiska skillnaden mellan tillförd och behövlig värme¹⁾ måste man också räkna med en *stokastisk* differens. Denna blir beroende av väderleken och uppträder då solinstrålningen (direkt och diffus) under en eller flera på varandra följande dagar är låg. Om man vill lagra energi så att värmeuttag kan ske även under sådana förhållanden och utan annan energitillförsel blir lagringsbehovet mycket stort. Vi skall här förutsätta att sådan extrem lagring ej krävs för varmvattenbehovet, utan att man vid utebliven solinstrålning kan använda tillsatsvärme av ett eller annat slag. Sådana system beskrivs i avsnitt 2.7. Här skall vi se närmare på hur system för lagring under förhållanden enligt bild(4/1) bör utformas och dimensioneras.

4.1 Lagring i vätska

Lagring av solenergi för varmvattenberedning sker oftast genom att en vätska värms och lagras i en cistern. Detta är naturligt både med hänsyn till de plana solfångarnas uppbyggnad och det aktuella användningsområdet. För att undvika onödiga temperaturförluster är det också vanligt att man använder sig av tappvatten i ett *direkt system*, se bild(2/110) även om *indirekta system* kan förekomma, se bild(2/111).

I det senare fallet är det nödvändigt att hålla en högre temperatur hos det lagrade vattnet än i det förra till

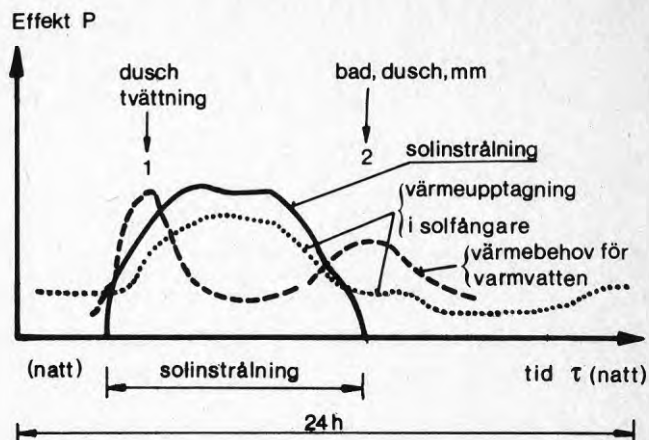


Bild 4/1

1) Ytan under kurvorna är ett mått på energimängderna.

följd av temperaturfallet vid värmeytorna mellan primär- och sekundärsidan.

4.2 Skiktning

Försök med värmelagring vid egencirkulation - se t ex Höjerdahl (1974) - har visat att man får en kraftig skiktning av vattnet i lagringscisternen inom en installation. Vid kontakter med Östgöta byggen, Linköping, har detta bekräftats att gälla även för pumpcirkulation och man kan därför i allmänhet räkna med att temperaturgradienten i en lagringscistern har det utseende som visas i bild (4/2).

Utformningen av värmeytorna i det fall man har indirekta system bör därför vara i enlighet med bild (4/3) eller bild (4/4). Vid direkta system bör utloppen och inloppen vara placerade i enlighet med bilderna (2/106) och (2/107).

4.3 Beräkning av cisterntemperatur vid välblandat vatten

Vid lika temperatur i hela cisternen, vilket kan åstadkommas genom att vattnet inom cisternen blandas väl, t ex genom en pump eller genom att inlopp och utlopp ges en lämplig placering kan temperaturen inom cisternen och därmed den lagrade värmen beräknas med hjälp av energibalanser över små tidsrymder. Vi skall här se närmare på denna metod även om den hänför sig till ett, som vi sett, mindre vanligt fall.

Cisternen antas reglera en vätska (vanligen vatten) vars temperatur är θ °C och värmekapacitet c_p (oberoende av temperaturen). Värme tillförs med en effekt P_t och bortförs med effekten P_b , vilka båda är tidsberoende.

Värmeförlusterna från cisternen bestäms av

$$kA \cdot (\theta - \theta_o) \quad (4:1)$$

där k är cisternens k -värde (hänfört till)

A är dess yttre omslutningsarea och

θ_o är omgivningens temperatur (t ex utetemperaturen vid placering enligt bild (4/5) eller innetemperaturen, se bild (4/6)).

Differensen mellan tillförd och bortförd effekt ($P_t - P_b - kA(\theta - \theta_o)$) ger den lagrade effekten

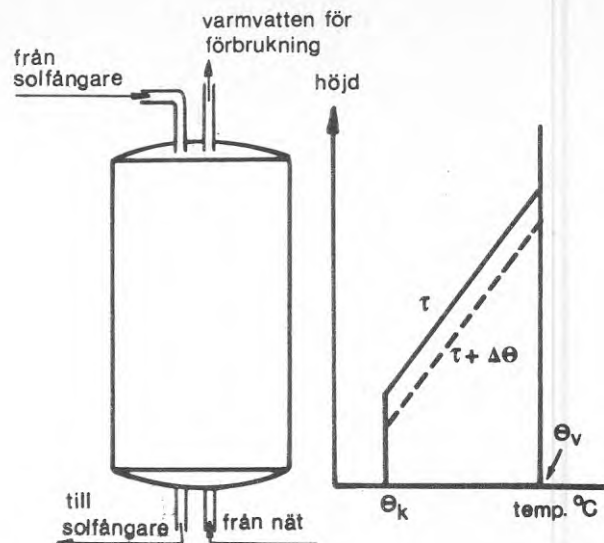


Bild 4/2 Temperaturgradienten i lagringscisternen är approximativt rätlinjig.

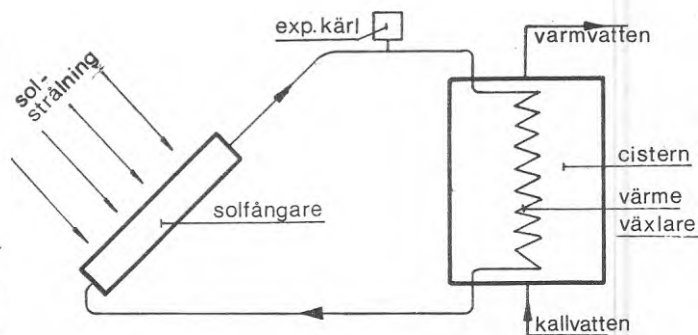


Bild 4/3

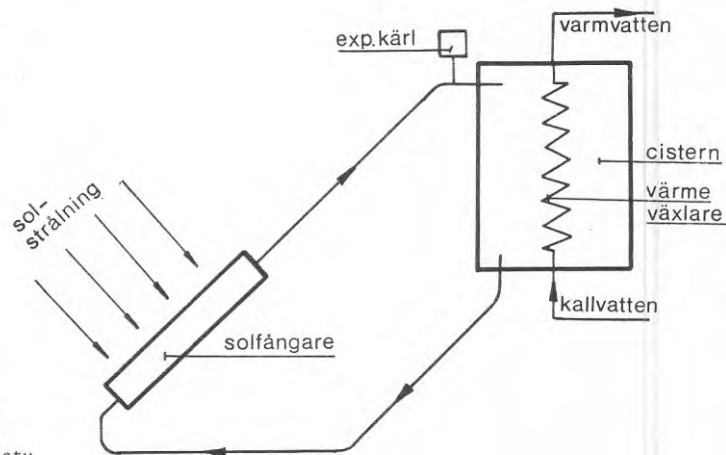


Bild 4/4

$$P_t - P_b - kA(\theta - \theta_o) = m \cdot c_p \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta\tau} \quad (4:2)$$

där $\frac{\Delta\theta}{\Delta\tau}$ är temperaturökningen per tidsenhet i cisternen. Ekvation (4:2) används genom att betrakta så små tidsintervall att P_t , P_b och $\frac{\Delta\theta}{\Delta\tau}$ kan betraktas som konstanta. Vanligen är det tillfredsställande att använda $\Delta\tau = 1$ h. Vid användning av ekv (4:1) kan man sätta¹⁾

$$\theta = \frac{\theta' + \theta''}{2} \quad (4:3)$$

där θ' och θ'' är temperaturen vid tiden τ resp $\tau + \Delta\tau$, dvs den i början och slutet av varje period. Därmed får man också

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta\tau} = \frac{\theta'' - \theta'}{\Delta\tau} \quad (4:4)$$

och slutligen

$$P_t - P_b - kA\left(\frac{\theta' + \theta''}{2} - \bar{\theta}_o\right) = m \cdot c_p \frac{\theta'' - \theta'}{\Delta\tau} \quad (4:5)^2)$$

eller om θ'' löses

$$\theta'' = \theta' + \frac{P_t - P_b - kA(\theta' - \bar{\theta}_o)}{\frac{mc_p}{\Delta\tau} + \frac{kA}{2}} \quad (4:6)$$

Bild 4/5

4.4 Tappning

Av stor betydelse för en solfångares funktion är dess verkningsätt vid belastning. Då det gäller solfångare för varmvattenberedning är det närmast förhållandena under tappning av varmvatten som är av intresse.

Temperaturförhållandena i vattenmagasinet ändras vid tappningen radikalt. Detta medför bl a att drivkrafterna vid själv-cirkulationssystem ändras (ökar med minskade cisterntemperatur) se appendix II. Självfallet påverkar tappningen möjligheten till fortsatt tappning samma dag (om cisternen är underdimensionerad) eller följande dag (om solinstrålningen uteblir). I detta avsnitt skall vi därför se något på förhållandena vid tappning och också beräkningsmässigt se på hur temperaturen i vattenmagasinet förändras under tappningens gång.

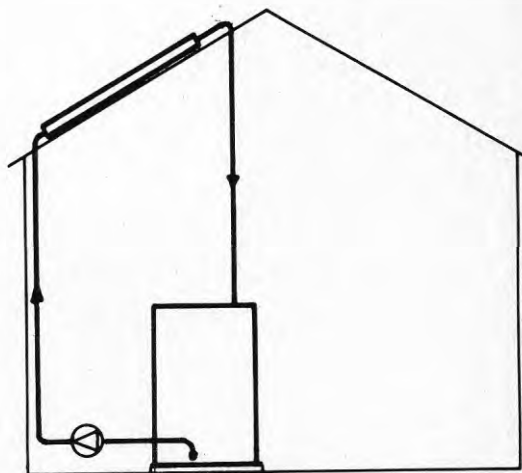


Bild 4/6

1)

2) $\bar{\theta}_o$ är medelvärdet av omgivningens temperatur under perioden $\Delta\tau$.

4.5 Tappning vid själv-cirkulationssystem med kraftig skiktning

Vid magasin med kraftig skiktning tappas vatten från magasinets översta del. Andelen varmvatten, se bild (4/2), minskar därvid, och vattentemperaturen hos det kvarvarande vattnet i cisternen blir något lägre. Med hjälp av beräkningsgången i avsnitt 4.3 (vilken ger vattentemperaturen från solfångaren till magasinet) och beräkningen av lagringen (avsnitt 4.3) med linjär temperaturfördelning, kan en skattning av förhållandena lätt göras.

Exempel För en anläggning i Stockholmstrakten enligt

1 bild (4/6) är tappningen av varmvatten följande

Tid	Tappning kWh
06 - 07	1,0
07 - 08	3,1
11 - 12	0,5
12 - 13	1,0
18 - 19	3,2
20 - 21	3,2

Totalt 9,0 kWh/dygn

I övrigt förekommer ingen tappning. I cisternerna upptagen effekt, P_t , är 70% av instrålad effekt.

Cisternen är isolerad så att k är $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Den har formen av en parallelepiped med volymen

$1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3 = 1,0 \text{ m}^3$. Lagringen sker i vatten.

Beräkna temperaturförloppet en solig dag i maj.

Solfångarens effektiva yta är 10 m^2 . Den har 2 rutors glasning.

$\bar{\theta}$ sätts till 20°C konstant! Cisternen antas ha en temperatur av $+35^\circ\text{C}$ kl 24.00 på natten före det aktuella dygnet!

Lösning Man får $kA = 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 6 = 0,002 \text{ kW}/^\circ\text{C}$

Från cisternens volym $1,0 \text{ m}^3$ erhålls m till 1000 kg.

Beräkningen utförs för den 15 maj. Vi sätter

$\Delta\tau = 1 \text{ h}$.

Timme	P_t	P_b	θ'	θ''
	kW		$^\circ\text{C}$	
00			35,0	
	0,0	0,0		
01			34,97	
	0,0	0,0		
02			34,95	
	0,0	0,0		
03			34,9	
	0,003	0,0		
04			34,9	
	0,012	0,0		
05			34,0	
	0,025	0,0		
0,6			34,9	
	0,044	1,0		
07			34,15	
	0,10	3,1		
08			31,5	
	0,20	0,0		
09			31,6	
	0,30	0,0		
10			31,9	
	0,36	0,0		
11			32,1	
	0,39	0,5		
12			32,0	
	0,38	1,0		
13			31,5	
	0,33	0,0		
14			31,7	
	0,25	0,0		
15			31,9	
	0,14	0,0		
16			32,0	
	0,064	0,0		
17			32,0	
	0,032	0,0		
18			32,0	
	0,028	3,2		
19			29,3	
	0,006	0,0		
20			29,3	
	0,000	0,2		
21			29,1	
	0,0	0,0		
22			29,1	
	0,0	0,0		
23			29,1	
	0,0	0,0		
24			29,0	

I bild (4/7) ges värdena grafiskt.

Man kan notera att

$$0,03 \leq kA(\theta' - \bar{\theta}_0) \leq 0,02$$

för hela dagen. Denna term är således mycket mindre än $t \text{ ex } P_t$ i de flesta perioder och man kan utan större fel sätta

$$\frac{kA(\theta' - \bar{\theta}_0)}{\frac{mc}{\Delta\tau} + \frac{kA}{2}} = 0,025$$

Vidare gäller

$$\frac{mc}{\Delta\tau} + kA = \text{konst} (= 1,17)$$

varför

$$\frac{P_t}{\frac{mc}{\Delta\tau} + kA} = \text{konst} \cdot P_t$$

och på samma sätt

$$\frac{P_b}{\frac{mc}{\Delta\tau} + kA} = \text{konst} \cdot P_b$$

Uttrycket för θ'' blir därmed

$$\theta'' = \theta' + \text{konst} (P_t - P_b) - 0,025 \quad (4:7)$$

där $\text{konst} = 0,86$ i exemplet.

De så beräknade värdena anges i bild (4/7) som jämförelse.

Av bilden framgår att ekv (4:7) är helt användbar för beräkning av cisterntemperaturen.

Exemplet visar på att cisternen under dagen tappats på större energimängd än vad som tillförts.

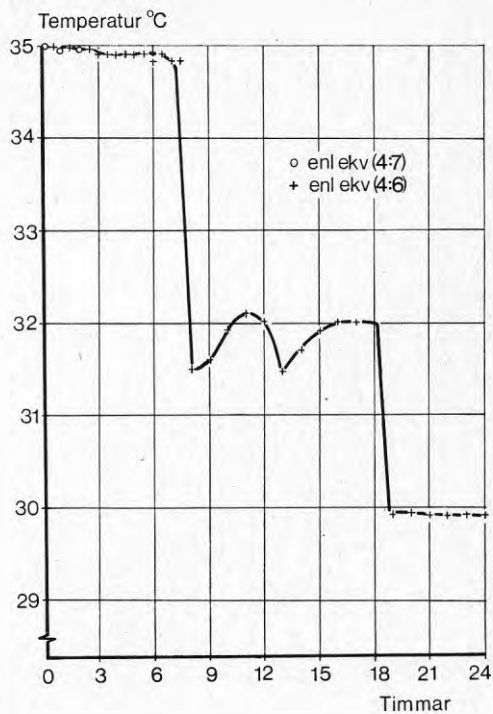


Bild 4/7

5 KOSTNADER

5.1 Materialkostnader för absorbdatorytor

För tillverkning av absorbdatorytor användes ett flertal olika material. De vanligast förekommande är

koppar
aluminium
rostfritt stål
stål

Även kombinationer av flera material kan tänkas förekomma. Försiktighet bör dock iakttagas om två material användes i tillverkningen enär risken för att galvanisk korrosion ska uppträda alltid finns.

Valet av material i en absorbdatoryta är nära förknippat med den tillverkningsmetod som används. För en absorbdatoryta t ex av stålplåt ligger det nära till hands att använda samma tillverkningsmetod som för vanliga panelradiatorer.

Konstruktionen hos en absorbdatoryta varierar således med materialet i absorbdatorytan och materialet blir därför i många fall avgörande för hur absorbdatorn tillverkas.

Materialvalet är också avgörande för utformningen av systemet, dvs om ett direkt eller indirekt användes. I det följande skall materialkostnaden för absorbdatorytor av olika utförande och material redovisas. Det är självfallet varken möjligt eller nödvändigt att redovisa kostnaden för *alla* tänkbara konstruktioner och material, utan arbetet har begränsats till de ovan nämnda materialen och konstruktionerna - se avsnitt 2. Materialkostnaden redovisas för ett antal utföranden som delkostnader för de olika ingående komponenterna vid olika antal enheter om 1 m^2 och dessutom anges summan av de olika kostnaderna som funktion av antalet enheter om 1 m^2 . Flänsverkningsgraden har i många fall en avgörande inverkan på kostnaden för en absorbdatoryta. Den avgör vilken delningen mellan stigarkanalerna måste vara vid en viss plåttjocklek för att ett acceptabelt värde på flänsverkningsgraden från värmeteknisk synpunkt skall uppnås.

Materialkostnaden för absorbdatorytor som funktion av flänsverkningsgraden har återgivits grafiskt för ovan nämnda material och vid några olika utföranden. Priserna på material och dessas variation med kvantiteten har inhämtats från grossister och avser förhållanden i januari 1976.

5.2 Materialkostnad för absorbdatoryta av koppar

I direkta system måste på grund av korrosionshänsyn material som motstår det syrehaltiga tappvattnet användas. Då ledningsnätet i en tappvatteninstallation så gott som alltid är utfört av kopparrör faller det sig naturligt att använda detta material även i en solfångares absorbdatorer. En absorbdator av koppar som inkopplas till ett vattenledningsnät måste utföras så

att den tål samma tryck som vattenledningarna i övrigt. En lämplig konstruktion som uppfyller detta krav visas i bild(5/1).

Absorbatorytan består av fördelnings- och samlingsrör som är ihopkopplade med stigarrör. Till denna rörkonstruktion är fästad en plåt av koppar. Stigarrören har löts till kopparplåten för att en bra värmegenomgång mellan plåt och rör skall erhållas.

Vid ett utförande enligt bild(5/1) kan plåttjockleken och delningen mellan stigarrören varieras med andra värden på flänsverkningsgraden som följd. T ex kan vid en tjockare plåt större delning hållas mellan stigarrören och ändå uppnås ett acceptabelt värde på flänsverkningsgraden.

I bild(5/2) visas hur materialkostnaden för plåten i absorbatorytan varierar som funktion av antalet enheter om 1 m^2 . I plåten finns spår avpassade för kopparrör med en ytterdiameter av 12 mm med sådant djup att rörens diameter skall komma i samma nivå som plåten. Delningen mellan rören och spåren i plåten är i exemplet 10 cm. Plåttjockleken är 0,7 mm. Som framgår av bilden är kostnaden per enhet ca 90 kr medan priset vid över 112 enheter sjunkit på grund av kvantitetsrabatter till ca 50 kr. I bild(5/3) anges materialkostnaden för stigarrör (12 x 1 mm) vid 10 cm delning. Samma bild visar också den sammanlagda kostnaden för stigarrör, samlings- och fördelningsrör. Bild(5/4) ger kostnaden för samlings- och fördelningsrör med dimensionen 22 x 1 mm. För en absorbatoryta konstruerad på detta sätt upptas en ganska stor del av den totala materialkostnaden av kostnaden för lod. Vid beräkningen av mängden lod som åtgår har lodskarvens tjocklek satts till 0,2 mm och att den upptar en yta motsvarande stigarrörets halva omkrets. I bilderna (5/5)-(5/7) redovisas kostnaderna för tre sorters lod lämpliga att löda koppar med - två hårdlod och ett mjuklod - som funktion av antalet enheter om 1 m^2 vid stigarrör med dimensionen 12 x 1 mm och vid 10 cm delning mellan rören. Av bilderna framgår att lödning med mjuklod blir dyrast och att materialkostnaden för lod av den billigaste typen varierar mellan 8 och 6 kr/m^2 för absorbatorytan vid högsta respektive lägsta pris, se bild (5/6).

I bild (5/8) som är en sammanställning av kostnaderna i bilderna (5/2)-(5/7) visas den sammanlagda materialkostnaden för en absorbatoryta med plåt av 0,7 mm tjocklek och stigarrör 12 x 1 mm med 10 cm delning. Samlings- och fördelningsrörens dimension är 22 x 1 mm. Kostnaden anges som synes för två sorters hårdlod och valet av den dyrare sortens hårdlod ger en ökning i kostnaden med storleksordningen 10-15 kr/m^2 . Enligt bild (5/8) så blir materialkostnaden för en omålad absorbatoryta med ovan relaterade utförande ca 145 - 165 kr/m^2 medan vid kvantitetsrabatter på materialet priset kan bli ca 70 - 90 kr/m^2 .

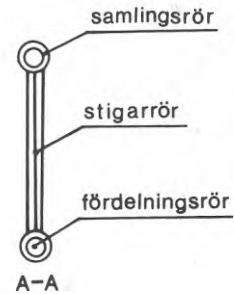
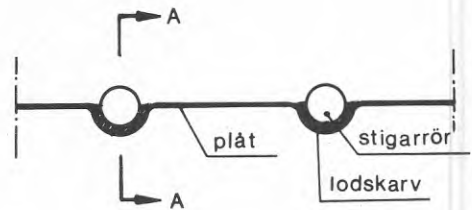


Bild 5/1

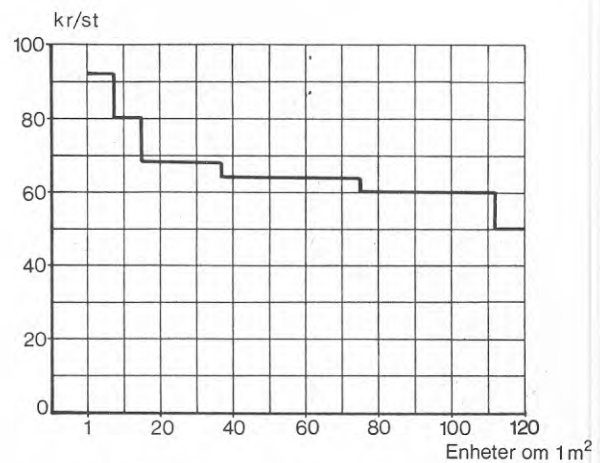


Bild 5/2 Plåtkostnad för absorbatoryta vid 0,7 mm tjock kopparplåt och 10 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).

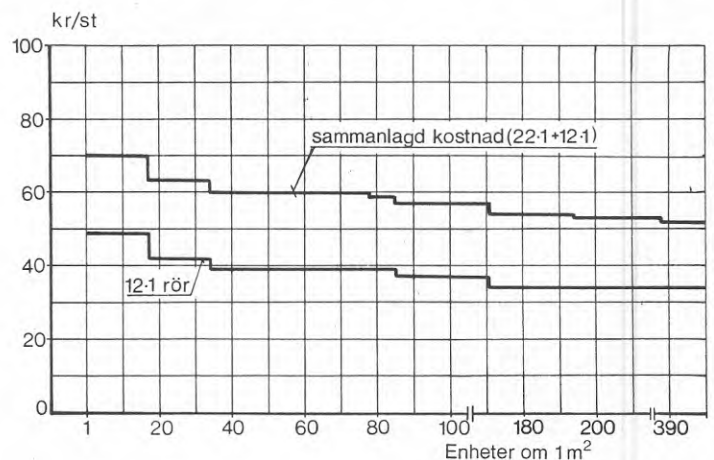


Bild 5/3 Kostnad för kopparrör vid 10 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm) samt sammanlagd kostnad för samlingsrör (22 x 1 mm) och stigarrör.

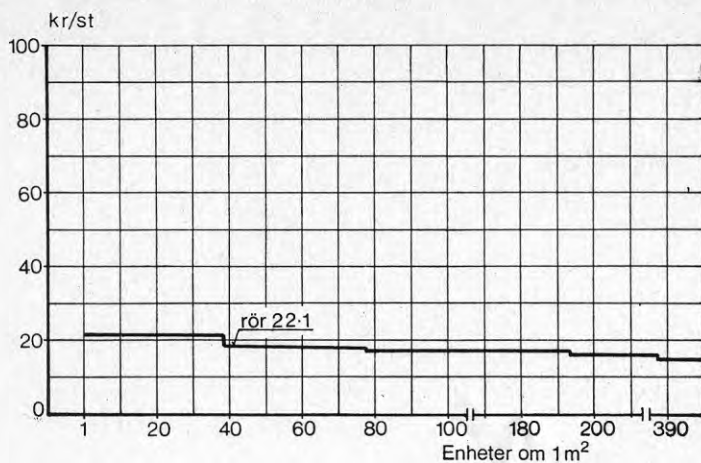


Bild 5/4 Kostnad för samlingsrör (22 x 1 mm).

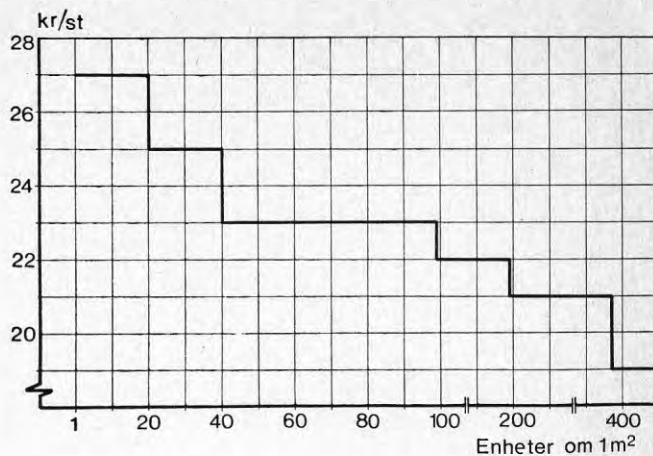


Bild 5/7 Kostnad för mjuklod (Softo 220) vid delning 10 cm mellan stigarrören (12 x 1 mm) och lodspalt 0,2 mm.

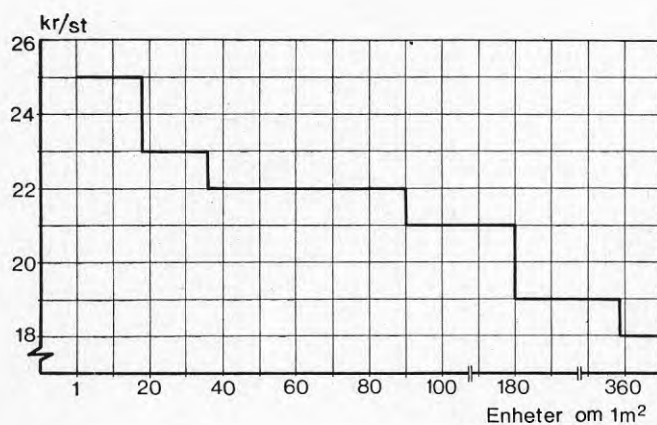


Bild 5/5 Kostnad för hårdlod (Fosco 715) vid delning 10 cm mellan stigarrören (12 x 1 mm) och lodspalt 0,2 mm.

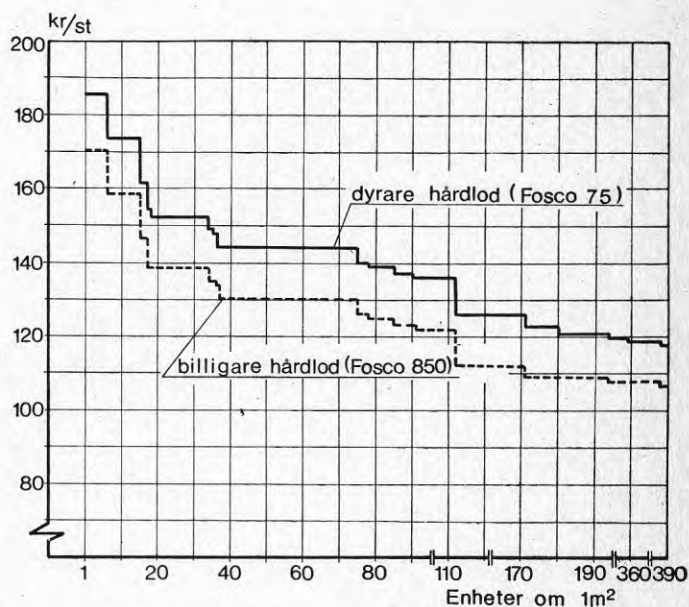


Bild 5/8 Materialkostnad för omålad absoratoryta och hårdlod. Sammanställning av bilderna (5/2 - 5/7)

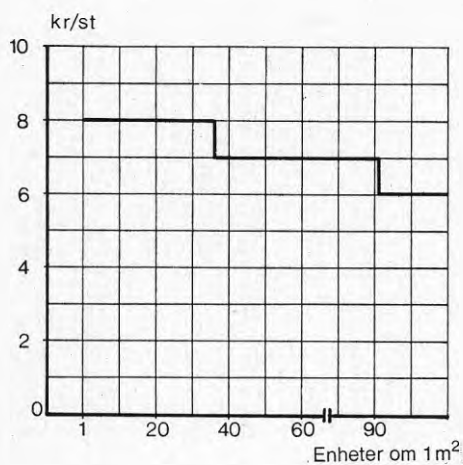


Bild 5/6 Kostnad för hårdlod (Fosco 850) vid delning 10 cm mellan stigarrören (12 x 1 mm) och lodspalt 0,2 mm.

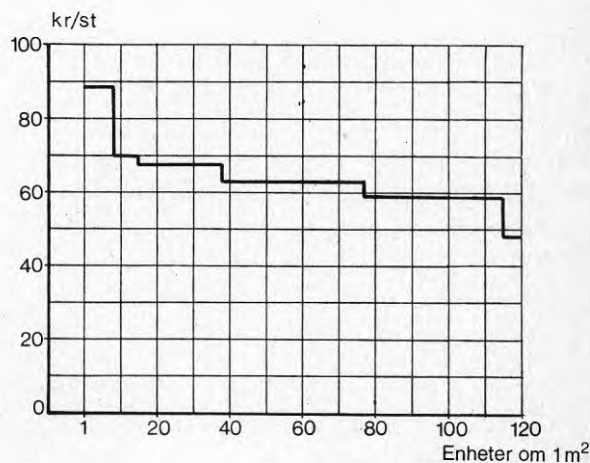


Bild 5/9 Plåtkostnad för absoratoryta vid 0,7 mm tjock kopparplåt och 15 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).

Vid en ändring av delningen mellan stigarrör utan att dimensionen eller att plåttjockleken ändras erhålles andra materialkostnader. Vad dessa blir vid en delning på 15 cm mellan stigarrören visas i bilderna (5/9) till (5/14).

Vid 20 cm delning mellan rören men i övrigt likartade förhållanden erhålles resultat som redovisas i bilderna (5/15) till (5/20).

Studeras bilderna, (5/8), (5/14) och (5/20) finner man att *lägsta priset* vid kvantitetsrabatter på material vid 10 cm delning blir ca 110 kr/m^2 , vid 15 cm delning ca 90 kr/m^2 och vid 20 cm delning mellan stigarrören ca 85 kr/m^2 . För en absorbdatoryta utförd av stigarrör med dimensionen $15 \times 1 \text{ mm}$ och med dimensionen $28 \times 1,2 \text{ mm}$ på samlings- och fördelningsrör ökar den totala materialkostnaden. Kopparrör har i detta utförande samma tjocklek, $0,7 \text{ mm}$ och form som i det föregående fallet. Lod och utförande av lödfog mellan stigarrör och plåt är också lika. Delkostnader för plåt, rör och lod vid delningen 10 cm visas i bilderna (5/21)-(5/24). Den sammanlagda materialkostnaden visas i bild (5/25).

I bilderna (5/26) till (5/29) visas resultaten som erhålles vid 15 cm delning mellan stigarrören och i bilderna (5/30) till (5/33) anges de för 20 cm delning. En jämförelse av den totala materialkostnaden för enbart absorbdatorytan då stigarrören med dimensionen $15 \times 1 \text{ mm}$ och samlings- och fördelningsrör med dimensionen $28 \times 1,2 \text{ mm}$ användes ger att *lägsta pris* vid 10 cm delning blir ca 130 kr/m^2 vid delning 15 cm ca 110 kr/m^2 och då delningen är 20 cm mellan stigarrören ca 95 kr/m^2 .

En ökning av dimensionen ett steg till närmast större diameter för stigarrör, samlings- och fördelarrör ger som resultat att *lägsta priset* ökar ca $10 - 20 \text{ kr/m}^2$.

Ändringar i dimensioner på rör och delningen mellan dessa ger förutom att materialkostnaden ändras även ett annat värde på flänsverkningsgraden. Flänsverkningsgraden är, som framhållits i tidigare avsnitt, ett mått på hur bra absorbdatorytan fungerar från värmeteknisk synpunkt jämfört med en yta där värmen endast behöver ledas genom en vägg för att ett värmeutbyte mellan medierna skall uppstå. Orsaken till att man utnyttjar flänsade ytor kan dels bero på att konstruktionen i många fall blir enklare och dels att kostnaden i många fall blir lägre för ett sådant alternativ. Flänsverkningsgraden ändras även med tjockleken på plåten i absorbdatorytan. Tjockare plåt medför att man kan använda en större delning mellan stigarrören och tunnare plåt medför att mindre delning kan användas för att uppnå samma värde på flänsverkningsgraden. Det är därför av intresse att studera hur materialkostnaden för en absorbdatoryta varierar med flänsverkningsgraden. Denna påverkas förutom av ovan nämnda plåttjocklek, rördelning och rördimension även av hur väl solfångaren isoleras mot värme-

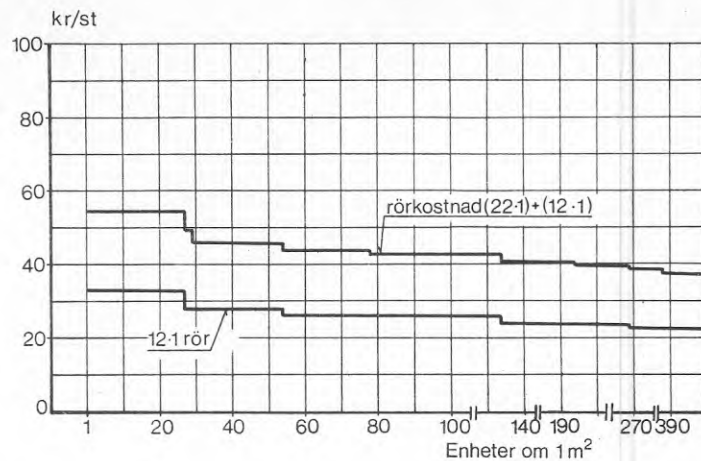


Bild 5/10 Kostnad för kopparrör vid 15 cm delning mellan stigarrören ($12 \times 1 \text{ mm}$) samt sammanlagd kostnad för samlingsrör ($22 \times 1 \text{ mm}$) och stigarrör.

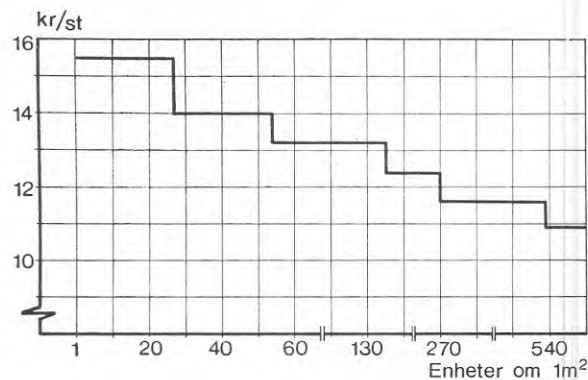


Bild 5/11 Kostnad för hårdlod (Fosco 715) vid 15 cm delning mellan stigarrören ($12 \times 1 \text{ mm}$) och lodspalt $0,2 \text{ mm}$.

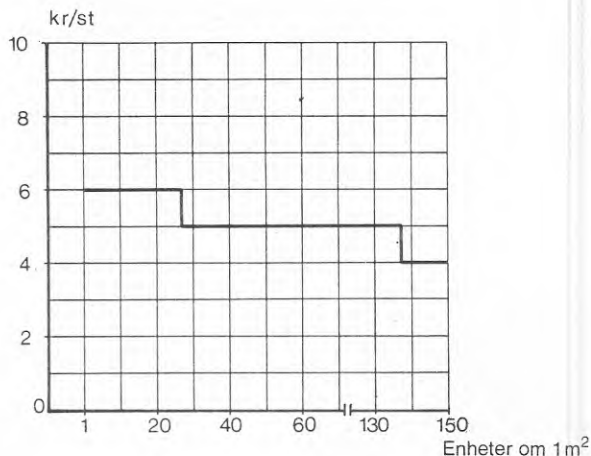


Bild 5/12 Kostnad för hårdlod (Fosco 850) vid 15 cm delning mellan stigarrören ($12 \times 1 \text{ mm}$) och lodspalt $0,2 \text{ mm}$.

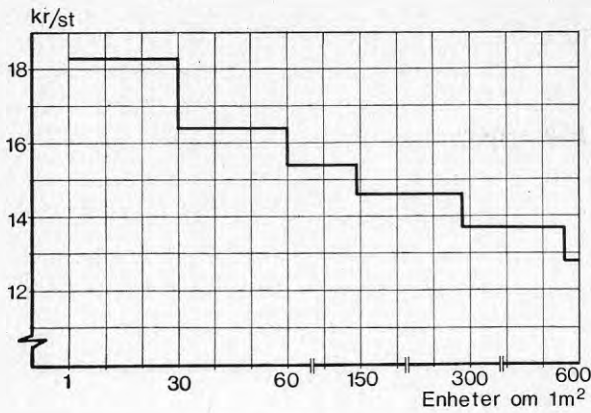


Bild 5/13 Kostnad för mjuklod (Softo 220) vid 15 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm) och lodspalt 0,2 mm.

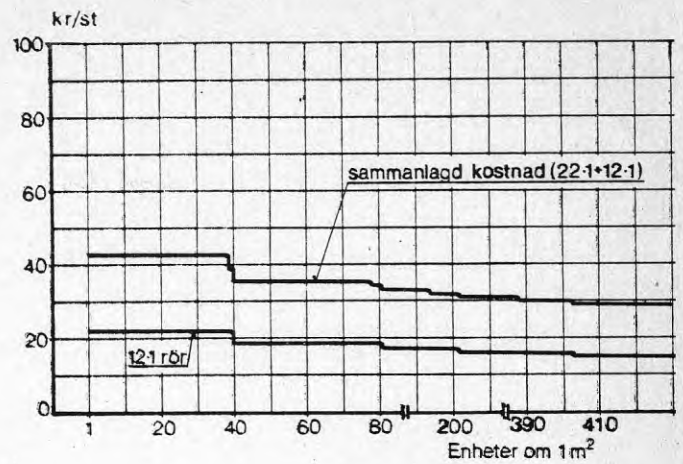


Bild 5/16 Kostnad för kopparrör vid 20 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm) samt sammanlagd kostnad för samlingsrör (22 x 1 mm) och stigarrör.

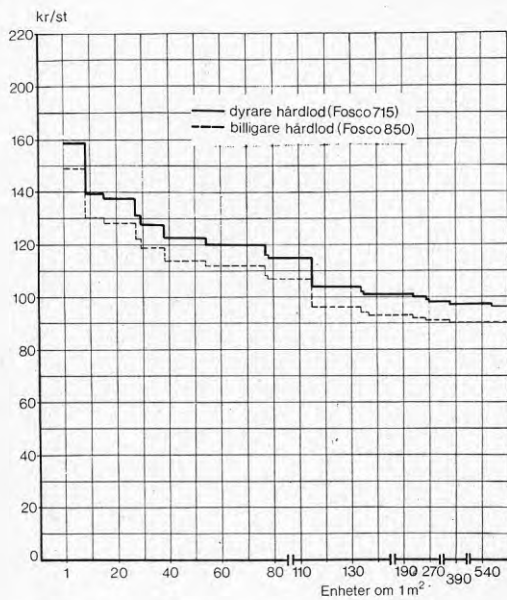


Bild 5/14 Kostnad för absorbdatoryta utförd med hårdlod (Fosco 715 och 850) vid 15 cm delning och stigarrör (12 x 1 mm).
Sammanställning av bilderna 5/9 - 5/13.

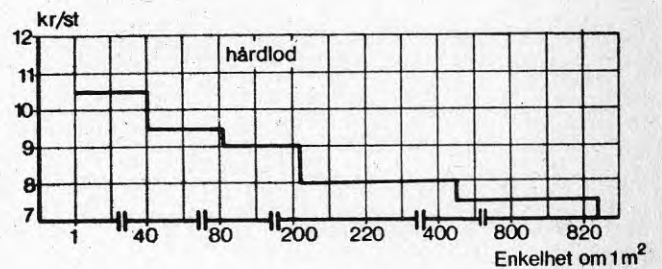


Bild 5/17 Kostnad för hårdlod (Fosco 715) vid 20 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).

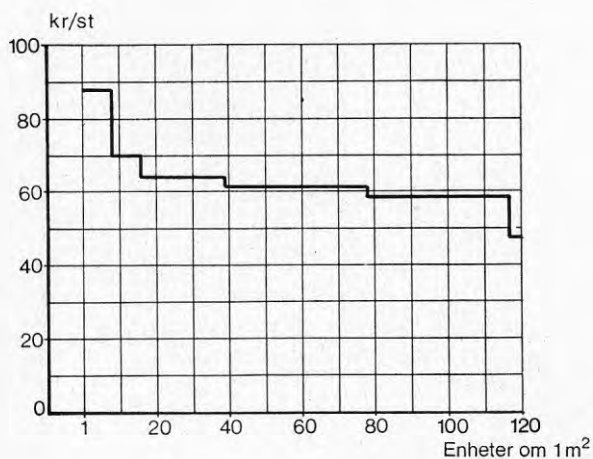


Bild 5/15 Plåtkostnad för absorbdatoryta vid 0,7 mm tjock kopparplåt och 20 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).

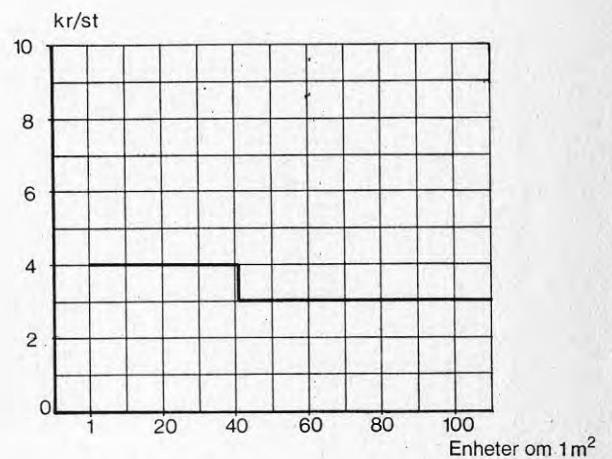


Bild 5/18 Kostnad för hårdlod (Fosco 850) vid 20 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm) och lodspalt 0,2 mm.

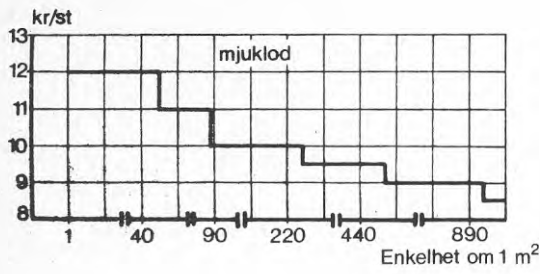


Bild 5/19 Kostnad för mjuklod (Softo 220) vid 20 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).

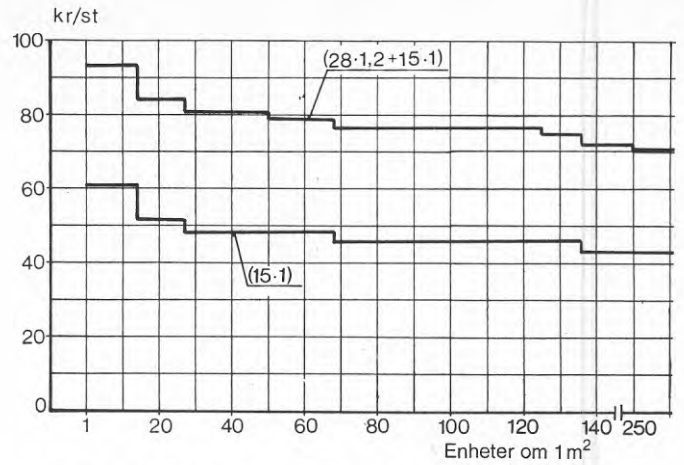


Bild 5/22 Kostnad för kopparrör vid 10 cm delning mellan stigarrören (15 x 1 mm) samt sammanlagd kostnad för samlingsrör (28 x 1,2 mm) och stigarrör.

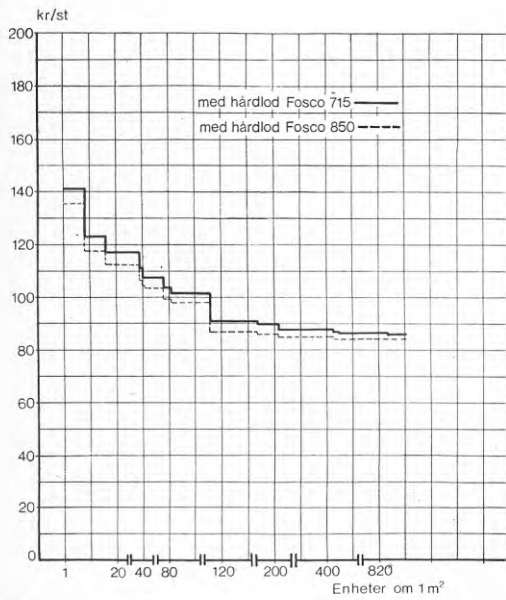


Bild 5/20 Kostnad för absorbdatoryta utförd med hårdlod (Fosco 715 och Fosco 850) vid 20 cm delning och stigarrör (12 x 1 mm). Sammanställning av bilderna (5/15) - (5/19).

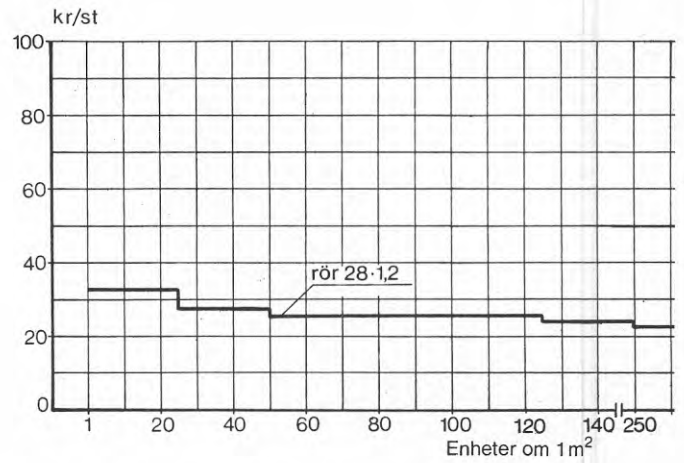


Bild 5/23 Kostnad för samlingsrör av koppar (28 x 1,2 mm).

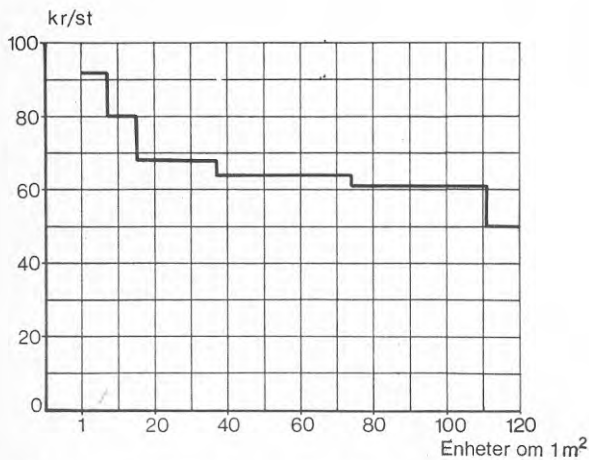


Bild 5/21 Plåtkostnad för absorbdatoryta vid 0,7 mm tjock kopparplåt och 10 cm delning mellan stigarrören (15 x 1 mm).

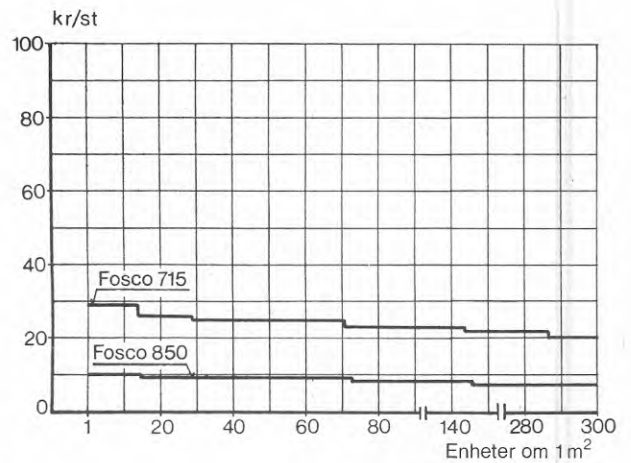


Bild 5/24 Kostnad för hårdlod (Fosco 715 och Fosco 850) vid 10 cm delning mellan stigarrören (15 x 1 mm) och lodspalt 0,2 mm.

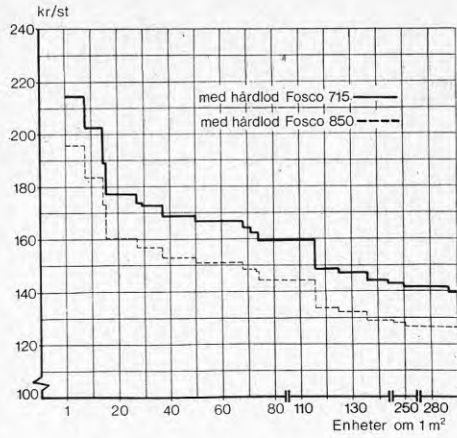


Bild 5/25 Kostnad för absorberoryta utförd med hårdlod (Fosco 715 och Fosco 850) vid 10 cm delning mellan stigarrören (15 x 1 mm). Sammanställning av bilderna (5/21) - (5/24).

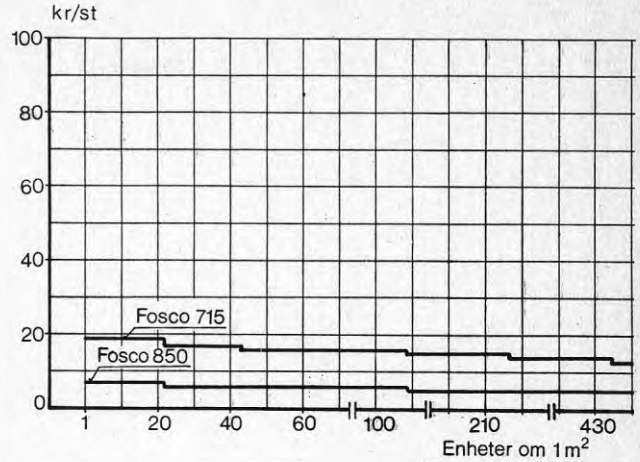


Bild 5/28 Kostnad för hårdlod (Fosco 715 och Fosco 850) vid 15 cm delning mellan stigarrören (15 x 1 mm) och 0,2 mm lodspalt.

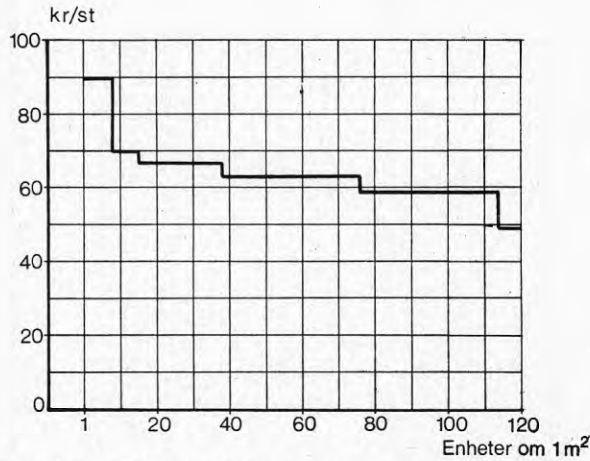


Bild 5/26 Plåtkostnad för absorberoryta av 0,7 mm tjock kopparplåt vid 15 cm delning mellan stigarrören (15 x 1 mm).

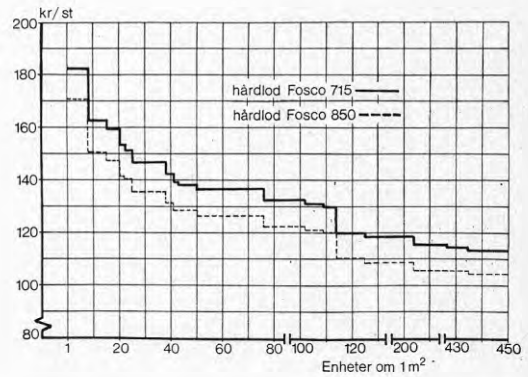


Bild 5/29 Kostnad för absorberoryta utförd med hårdlod (Fosco 715 och Fosco 850) vid 15 cm delning mellan stigarrören (15 x 1). Sammanställning av bilderna (5/26) - (5/28).

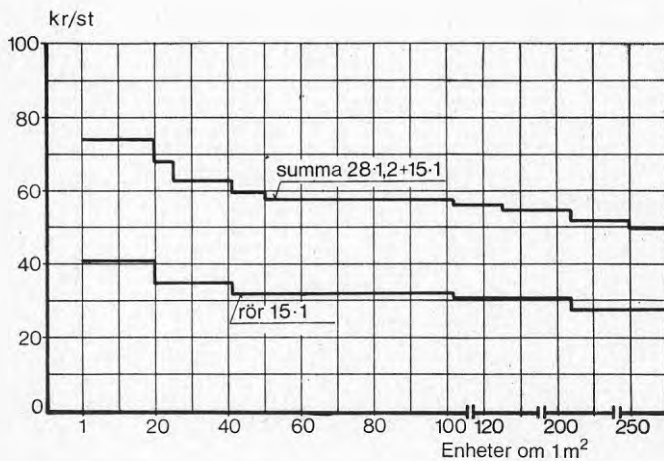


Bild 5/27 Kostnad för kopparrör vid 15 cm delning mellan stigarrören (15 x 1 mm) samt sammanlagd kostnad för samlingsrör (28 x 1,2 mm) och stigarrör.

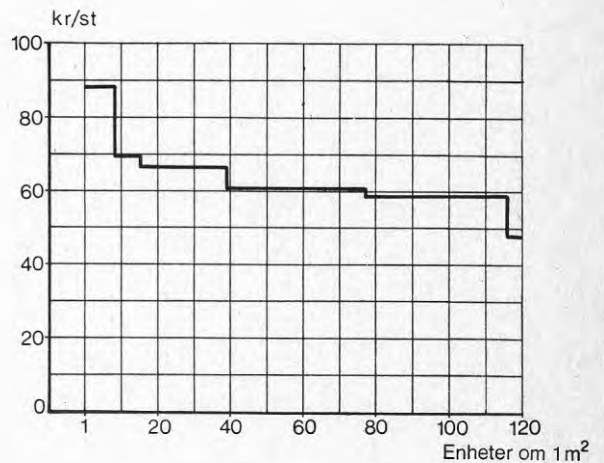


Bild 5/30 Plåtkostnad för absorberoryta av 0,7 mm tjock kopparplåt vid 20 cm delning mellan stigarrören (15 x 1 mm).

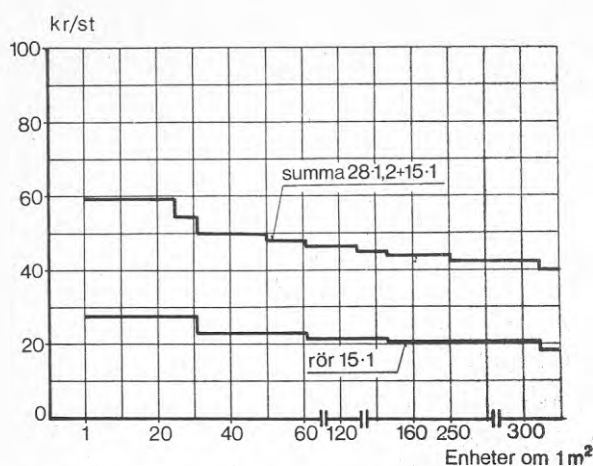


Bild 5/31 Kostnad för kopparrör vid 20 cm delning mellan stigarrören (15 x 1 mm) samt sammanlagd kostnad för samlingsrör (28 x 1,2 mm) och stigarrör.

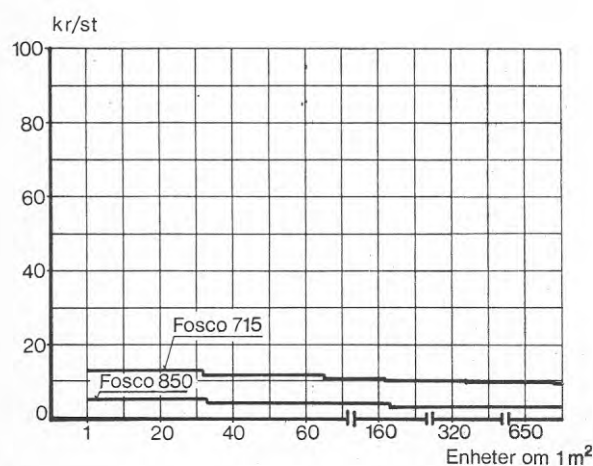


Bild 5/32 Kostnad för hårdlod (Fosco 715 och Fosco 850) vid delning 20 cm mellan stigarrören och lodspalt 0,2 mm.

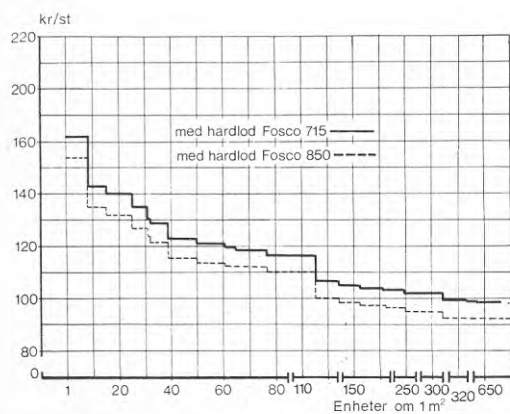


Bild 5/33 Kostnad för absorbdatoryta utförd med hårdlod (Fosco 715 och Fosco 850) vid 20 cm delning mellan stigarrören (15 x 1 mm). Sammanställning av bilderna (5/30) - (5/32)

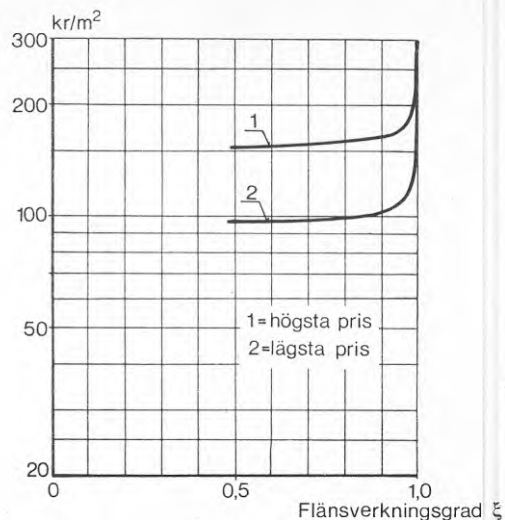


Bild 5/34 Materialkostnad för Cu-plåt (1 mm) + stigarrör (12 x 1) + samlingsrör (22 x 1) + lod, som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

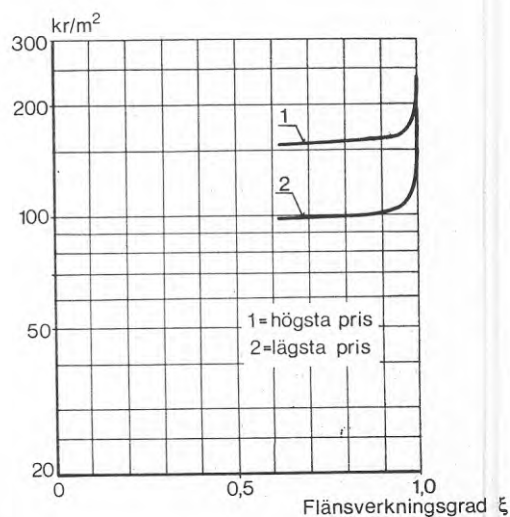


Bild 5/35 Materialkostnad för absorbdatoryta med Cu-plåt (1 mm) + stigarrör (12 x 1) + samlingsrör (22 x 1) + lod, som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i solfångarens glasning ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

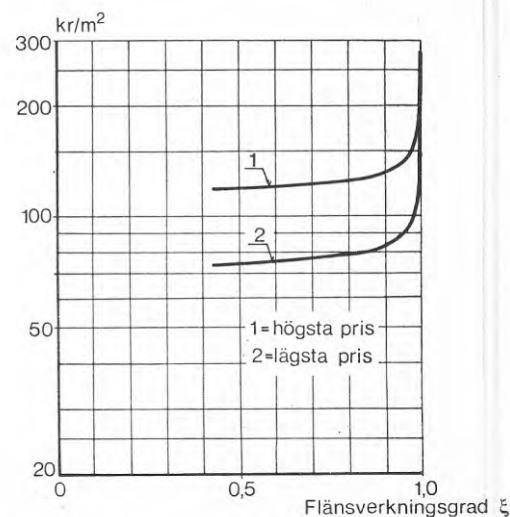


Bild 5/36 Materialkostnaden för en absorbdatoryta med Cu-plåt (0,7 mm) stigarrör (12 x 1), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$).

förluster. Största inverkan har glasningens k -värde medan förlusterna från absorbatorytans baksida ofta kan försummas i jämförelse med förlusterna genom glasningen. Det finns därför intresse för att se vilken inverkan en eller två rutor i en solfångares glasning har på materialkostnaden som funktion av flänsverkningsgraden. Kurvor för materialkostnaden vid en och två rutor har därför framtagits. En glasning bestående av tre rutor har ej ansetts realistisk för en solfångare för varmvattenberedning och därför ej medtagits. Beräkningen av flänsverkningsgraden har liksom i det tidigare avsnittet om absorbatorytor gjorts med uttrycket

$$\xi = \frac{\tanh(m \cdot L)}{m \cdot L} \quad (5:1)$$

där L = flänslängden i m

$$m = \sqrt{\frac{k}{\lambda \cdot \delta}}$$

k = värmegenomgångstalet för glasningen $W/(m^2 \cdot K)$

λ = värmeledningstalet för plåten $W/(m^2 \cdot K)$

δ = absorbatorytans (flänsens) tjocklek i m

De k -värden som använts kan för en ruta och för två rutor i glasningen har varit $k = 5,8 W/(m^2 \cdot K)$ respektive $k = 3,2 W/(m^2 \cdot K)$. Värmeflödet genom isoleringen på absorbatorytans baksida har försumrats vid bestämningen av flänsverkningsgraden. Materialkostnaden har beräknats för två dimensioner på stigarrören 12×1 mm och $8 \times 0,8$ mm medan samlings- och fördelningsrörets dimension har varit 22×1 mm i alla de redovisade fallen. Den projicerade plåtytan har för alla kombinationer varit $1 \times 1 m^2$. Längden på stigarrören har i beräkningen satts till $1,05$ m. Samlings- och fördelningsrörets längd till $2,2$ m. Beräkningen har gjorts för plåttjocklekarna $1, 07, 05, 03$ och $0,1$ mm. Delkostnaden för lod är för hårdlod av billigaste typen, men lämpligt att löda koppar mot koppar med utan flussmedel.

Materialkostnaden redovisas dels som ett förväntat högsta pris och dels som ett förväntat lägsta pris varierande med flänsverkningsgraden. Det högsta priset erhålles då materialkostnaden beräknas utan några mängdrabatter på material och det lägsta priset då maximala rabatter på material utgått.

I bilderna (5/34) till (5/43) visas materialkostnaden för absorbatorytor med olika plåttjocklek och vid 12×1 stigarrör för en och två rutor i glasningen.

Inverkan av k -värdet hos glasningen är vid tjockare plåt liten medan den för tunnare plåt är större vilket framgår vid en jämförelse av bilderna. Det bör betonas att bilderna visar materialkostnaden för en omålad absorbatoryta och inkluderar således ej kostnaden för rutor i glasningen.

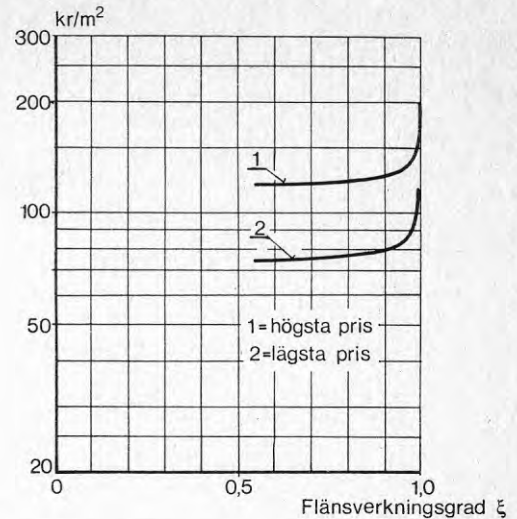


Bild 5/37 Materialkostnad för en absorbatoryta med Cu-plåt (0,7 mm), stigarrör (12 x 1), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i glasningen ($k = 3,2 W/(m^2 \cdot K)$).

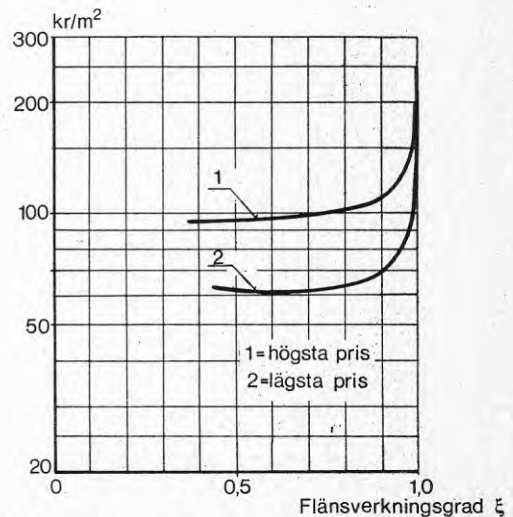


Bild 5/38 Materialkostnad för absorbatoryta med Cu-plåt (0,5 mm), stigarrör (12 x 1), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i glasningen ($k = 5,8 W/(m^2 \cdot K)$).

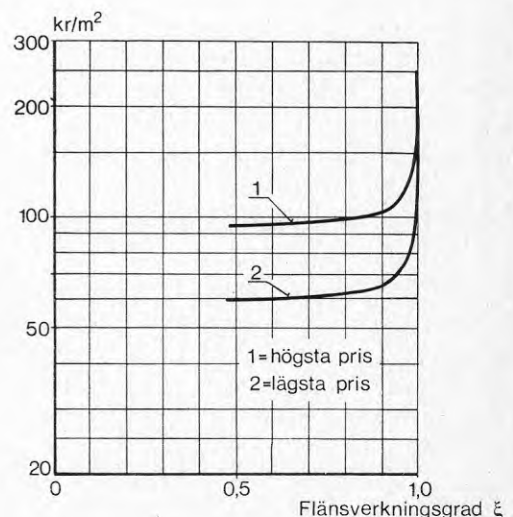


Bild 5/39 Materialkostnad för absorbatoryta med Cu-plåt (0,5 mm), stigarrör (12 x 1), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i glasningen ($k = 3,2 W/(m^2 \cdot K)$).

Materialkostnadens ändring med flänsverkningsgraden är beroende av plåttjockleken. Vid tjockare plåt t ex 1 mm ändras priset först markant när värden över 0,9 på flänsverkningsgraden skall uppnås eftersom kostnaden för rör och lod då blir utslagsgivande. Vid tunnare plåt är kostnadskurvan brantare och ändringar i flänsverkningsgraden medför i förhållande till sådana vid tjockare plåt större ökning av kostnaden.

Vilka värden på flänsverkningsgraden, som kan anses vara realistiska för en absorbdatoryta, är en bedömningsfråga, men här har värden mellan 0,9 - 0,98 ansetts vara realistiska. Det är helt klart att det från kostnadssynpunkt ej innebär någon väsentlig besparing i kronor räknat för material, då kopparplåt med tjockleken 0,5 till 1 mm användes i absorbdatorytan, om värden under 0,9 väljes, se bilderna (5/34) till (5/39). För tjockare plåt kan även värden upp till 0,95 - 0,98 användas utan att kostnadsökningen blir mycket högre än vid lägre värden på flänsverkningsgraden.

Ett motiv för att ej välja för lågt värde på flänsverkningsgraden är att denna är helt beroende på med vilken noggrannhet lödningen mellan rör och plåt utföres. Bara ett litet fel i denna lödning gör att värdet blir ett helt annat än vad man räknat med. Den i bilderna angivna flänsverkningsgraden är baserad på en *perfekt* utförd lodskarv mellan plåt och rör. Vidare har det även förutsatts att värmeledningstalet för denna är densamma som för kopparplåt. Det är snarare värden över 0,9 än under, som bör eftersträvas vid konstruktion av absorbdatorytor.

För en absorbdatoryta där flera parametrar påverkar materialkostnaden är man intresserad av att hitta den konstruktion som ger den lägsta materialkostnaden. Denna är olika för skilda värden på flänsverkningsgraden och givetvis lägst för låga sådana. I bilderna som visar materialkostnaden som funktion av flänsverkningsgraden, har dimensioner på rören varit densamma för alla fall medan plåttjockleken och delningen mellan röret varierats. För att bestämma vid vilken plåttjocklek, som den lägsta materialkostnaden erhåller, då stigarrör med dimensionen 12 x 1 användes, kan man studera hur kostnaden varierar med plåttjockleken och med flänsverkningsgraden som parameter. Detta har gjorts i bilderna (5/44) och (5/45), vilka gäller då k -värdet i glasningen är 5,8 respektive 3,2 W/(m²·K). Bilderna visar både lägsta och högsta pris och man erhåller för båda kurvskarorna minimum för en viss plåttjocklek. Det framgår av bilderna att det inte för något fall lönar sig att ha tjockare plåt än 0,5 mm och tendensen är att ju lägre flänsverkningsgraden är desto tunnare plåt *bör användas*. Vid bättre k -värde i glasningen blir materialkostnaden för absorbdatorytan lägre för samma värde på flänsverkningsgraden. Ett lägre k -värde i glasningen medför oftast en fördyring av själva glasningen så

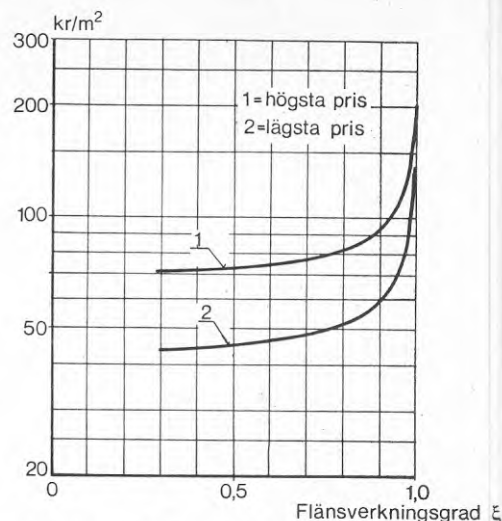


Bild 5/40 Materialkostnaden för absorbdatoryta med Cu-plåt (0,3 mm), stigarrör (12 x 1), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i glasningen ($k = 5,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$)

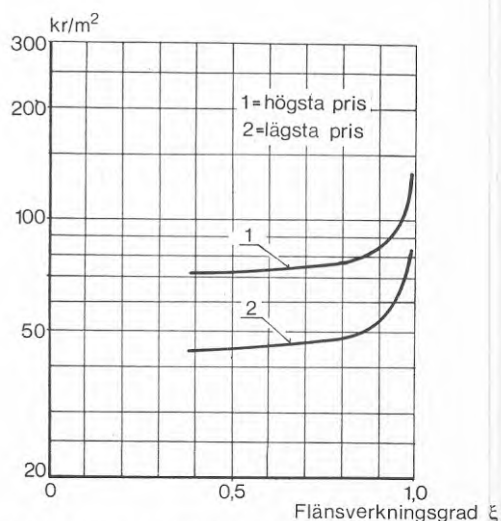


Bild 5/41 Materialkostnaden för absorbdatoryta med Cu-plåt (0,3 mm), stigarrör (12 x 1), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i glasningen ($k = 3,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$)

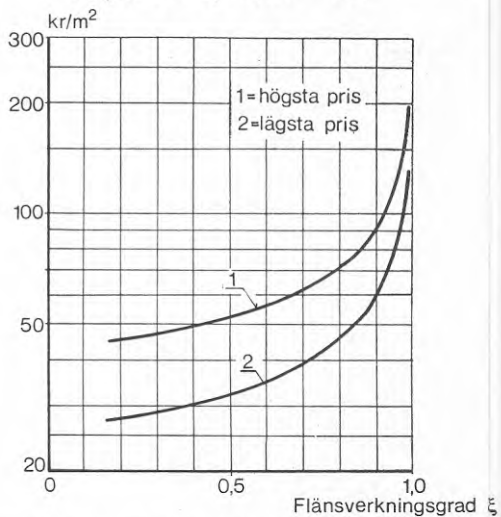


Bild 5/42 Materialkostnaden för absorbdatoryta med Cu-plåt (0,1 mm) stigarrör (12 x 1), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i glasningen ($k = 5,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$)

detta måste vägas mot varandra. Lägre k -värde, bättre isolering i glasningen gör att den optimala plättjockleken blir mindre.

Materialkostnaden för stigarrör utgör en ganska stor del av den totala materialkostnaden och därför faller det sig naturligt att försöka använda så klena och billiga rör som möjligt. Vätskeflödet i stigarrören i en solfångare är av storleksordningen $20 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ och detta ger att varje stigarrör får ett flöde som är ca $4 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ om man förutsätter att man har 5 stigarrör per m^2 . Detta ger om man använder dimensionen $12 \times 1 \text{ mm}$ en hastighet i stigarrören som är ca 2 cm/s . En sådan hastighet är även i VVS-sammanhang låg och man borde utan vidare kunna välja en klenare dimension på stigarrören. Ofta anförs det mot valet av klena dimensioner i en absorbdatoryta att risken för igensättning kommer att öka. Denna risk är nog överdriven då det gäller direkta system eftersom i så fall samma risk finns i klena kopplingsledning apparater m m. Ej heller torde risken för att avsättningar till följd av kalkhaltigt vatten vara överhängande stor vid de temperaturer som normalt råder i en solfångare. Under byggtiden innan en installation tas i bruk finns det naturligtvis risk för att sand och andra smärre partiklar kan komma in i ledningarna. Genom renspolning av vattenledningsnätet innan det inkopplas till apparater, avlägsnas dessas föroreningar. Vid normalt nyttjande av en vatteninstallation torde risken för igensättning till följd av att partiklar transporteras med vattnet i ledningarna vara lika. Vid särskilt ömtåliga apparater kan ett filter monteras in som skydd för apparater som är känsliga för partiklar. En solfångare för anslutning till ett direkt system kan inte anses vara en särskilt ömtålig apparat, som behöver ett sådant skydd. För solfångare monterade i indirekta system får bedömning göras från fall till fall beroende på de lokala förhållandena. Materialkostnaden för absorbdatorytor med stigarrör $8 \times 0,8 \text{ mm}$, men i övrigt utförda på samma sätt som vid $12 \times 1 \text{ mm}$ rör redovisas som funktion av flänsverkningsgraden i bilderna (5/46) till (5/55) och för två värden på k -värdet i glasningen. Återges materialkostnaden som funktion av tjockleken på absorbdatorytans plåt och med olika flänsverkningsgrad som parameter erhålles kurvor enligt bilderna (5/56) och (5/57). Även här erhålles minimum för en viss plättjocklek dock inträffar dessa vid mindre plättjocklek än bilderna visar för de lägre värdena på flänsverkningsgraden. I övrigt visar bilderna samma tendens som vid $12 \times 1 \text{ mm}$ stigarrör.

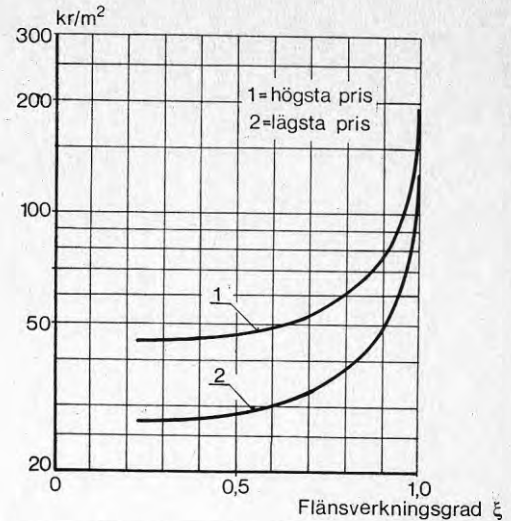


Bild 5/43 Materialkostnaden för absorbdatoryta med Cu-plåt (0,1 mm), stigarrör (12 x 1), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i glasningen ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

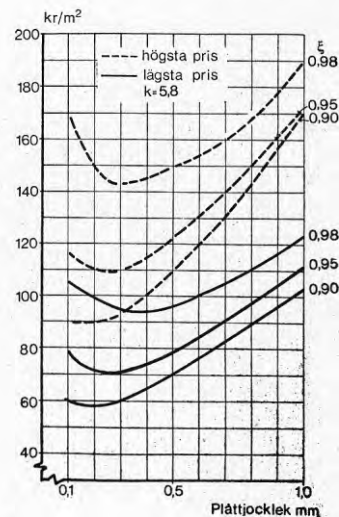


Bild 5/44 Materialkostnad för absorbdatoryta som funktion av tjockleken på den ingående plåten (Cu) i absorbdatorytan och med flänsverkningsgraden som parameter. Stigarrör Cu 12 x 1 mm och $k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

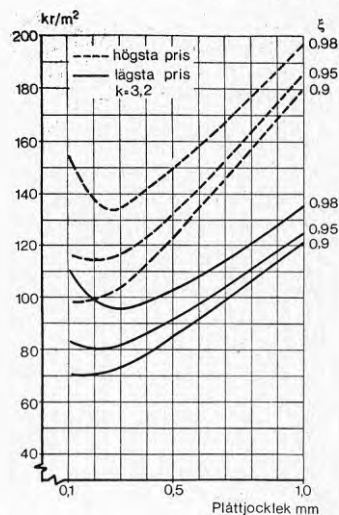


Bild 5/45 Materialkostnad för absorbdatoryta som funktion av plättjockleken (Cu) i absorbdatorytan och med flänsverkningsgraden som parameter. Stigarrör Cu 12 x 1 mm och $k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

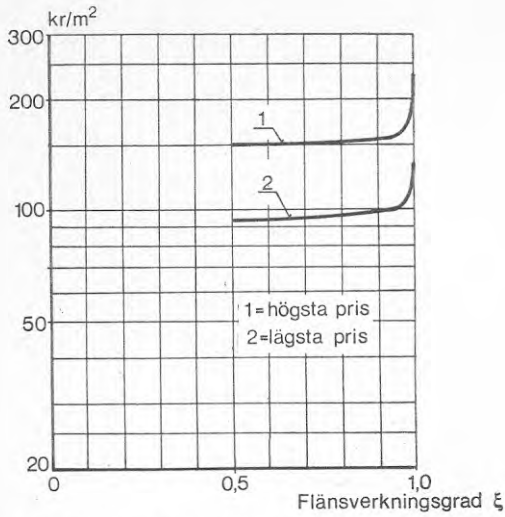


Bild 5/46 Materialkostnaden för en absorbtoryta med Cu-plåt (1 mm) stigarrör (8 x 0,8), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i glasningen ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

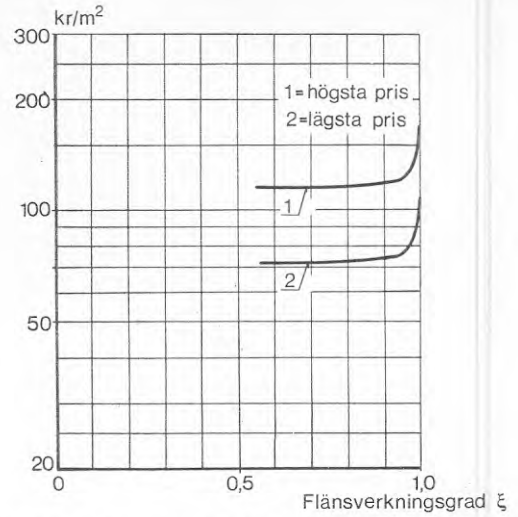


Bild 5/49 Materialkostnad för absorbtoryta med Cu-plåt (0,7 mm), stigarrör (8 x 0,8), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i glasningen ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

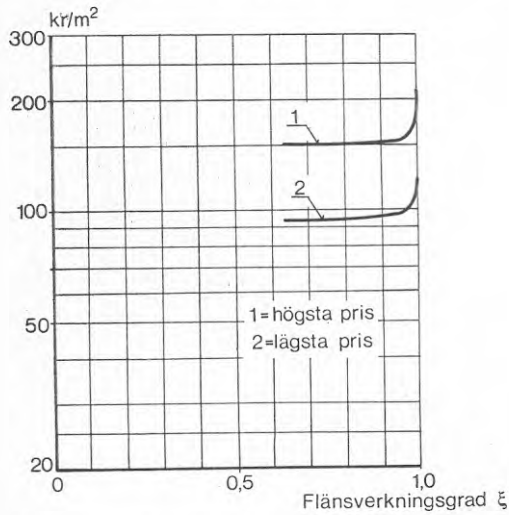


Bild 5/47 Materialkostnad för en absorbtoryta med Cu-plåt (1 mm), stigarrör (8 x 0,8), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i glasningen ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

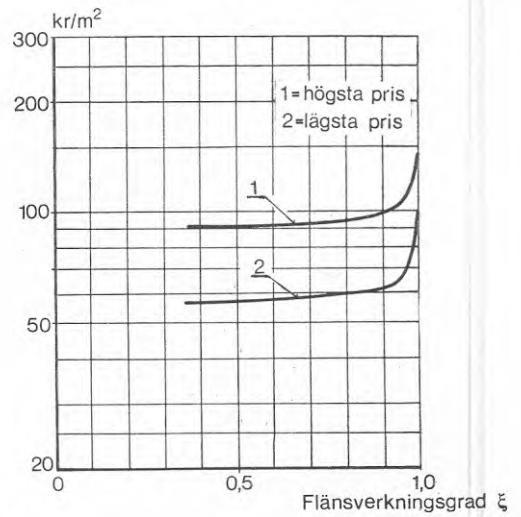


Bild 5/50 Materialkostnad för absorbtoryta med Cu-plåt (0,5 mm), stigarrör (8 x 0,8), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i glasningen ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

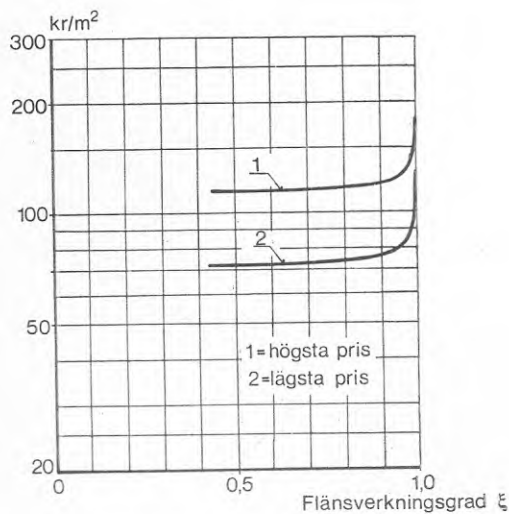


Bild 5/48 Materialkostnad för en absorbtoryta med Cu-plåt (0,7 mm), stigarrör (8 x 0,8), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i glasningen ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

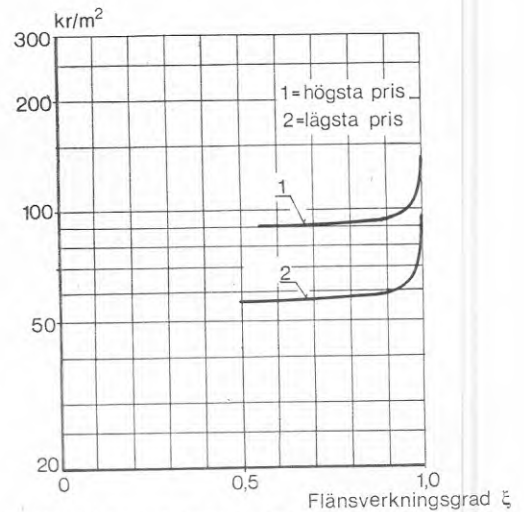


Bild 5/51 Materialkostnad för absorbtoryta med Cu-plåt (0,5 mm), stigarrör (8 x 0,8), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i glasningen ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

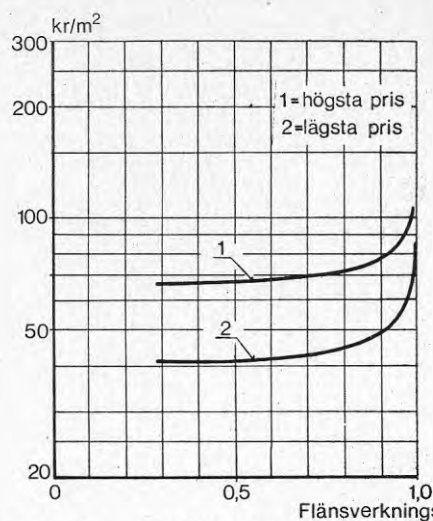


Bild 5/52 Materialkostnad för absorberyta med Cu-plåt (0,3 mm), stigarrör (8 x 0,8), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i glasningen ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

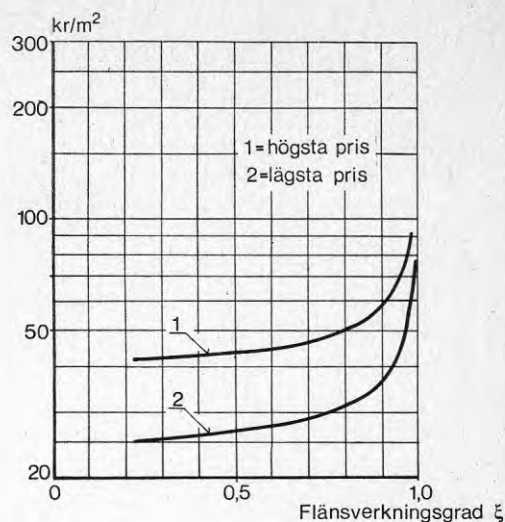


Bild 5/55 Materialkostnad för absorberyta med Cu-plåt (0,1 mm), stigarrör (8 x 0,8), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i glasningen ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

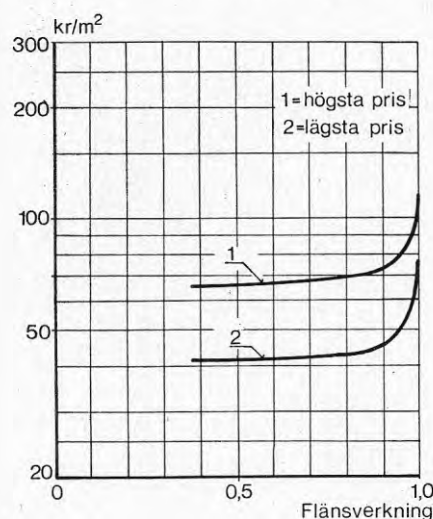


Bild 5/53 Materialkostnad för absorberyta med Cu-plåt (0,3 mm) stigarrör (8 x 0,8), samlingsrör (22 x 1) och lod som den funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i glasningen ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

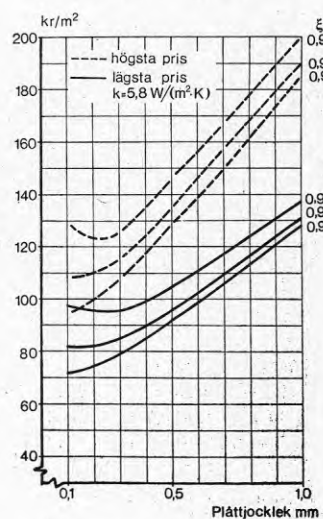


Bild 5/56 Materialkostnad för absorber som funktion av plättjockleken i plåten med flänsverkningsgraden som parametrar. Stigarrör Cu 8 x 0,8 mm och $k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

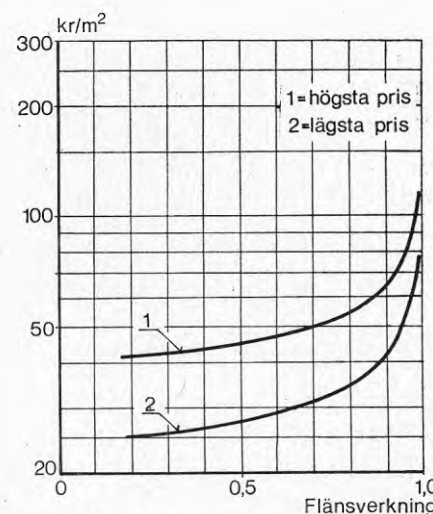


Bild 5/54 Materialkostnad för absorberyta med Cu-plåt (0,1 mm), stigarrör (8 x 0,8), samlingsrör (22 x 1) och lod som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i glasningen ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

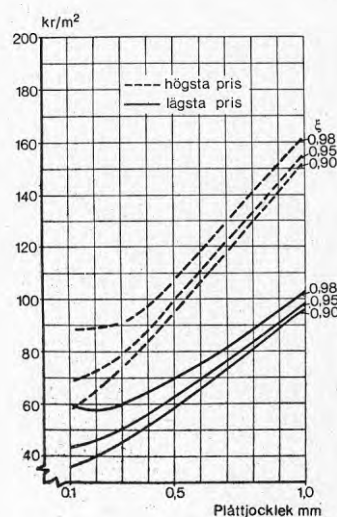


Bild 5/57 Materialkostnad för absorberyta som funktion av tjockleken på plåten (Cu) och med flänsverkningsgraden som parameter. Stigarrör Cu 8 x 0,8 mm och $k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

5.3 Materialkostnad för absorbator av Al-plåt och rör av koppar

Den värmeupptagande plåten har i det föregående varit av koppar. För att ytterligare minska kostnaden för absorbatoren kan man använda aluminium i stället för koppar, men i övrigt ha samma utförande med rör av koppar, se bild (5/1). Denna absorbator kan användas i direkta system eftersom alla delar som är i kontakt med tappvatten är av koppar. Vad kostnaden för material blir om aluminium i stället för koppar användes i plåten visas i det följande. Liksom i fallet med koppar i absorbatorytans plåt redovisas delkostnaderna för plåt, rör, lod och flussmedel för delningarna 10, 15 och 20 cm mellan stigarrören. Fördelnings- och samlingsrören är i exemplet 22 x 1 mm och plåten har en tjocklek av 0,7 mm. Utförandet är lika som det med kopparplåt.

I bilderna (5/58) till (5/61) visas materialkostnaderna vid 10 cm delning, i (5/62) till (5/65) för 15 cm och (5/66) till (5/69) för 20 cm delning mellan stigarrören. Den förväntade lägsta kostnaden för material vid ett stort antal enheter är vid 10, 15 och 20 cm delning ca 115, 85 och 70 kronor per m^2 , vilket för de två tätare delningarna är i stort sett samma materialkostnad som då kopparplåt användes. Vid 20 cm delning blir kostnaden lägre på grund av att kostnaden för lod och flussmedel blir lägre. Kostnaden för lod och flussmedel blir dyrare då aluminium skall lödas till koppar och den vinst i kronor som i detta exempel görs genom att man använder aluminium i stället för koppar i absorbatorplåten måste offras på dyrare lod och flussmedel. Vid större delning görs dock en vinst i kronor räknat i förhållande till utförandet med kopparplåt.

Ovan redovisade exempel ger en uppfattning om i vilken grad de ingående komponenterna påverkar det totala priset för material. Kostnaden för plåten är som synes inte stor i förhållande till kostnaden för rör och lod, så en ökning av plåttjockleken ger kanske en fördelaktigare total materialkostnad för absorbatorytan.

I det följande redovisas den totala materialkostnaden för en omålad absorbatoryta som funktion av flänsverkningsgraden för absorbatorytor med stigarrör med dimensionen 12 x 1 och 8 x 0,8 mm samt för två värden på k -värdet i glasningen. Kostnaderna har framräknats på samma sätt som då koppar användes i absorbatorytans plåt.

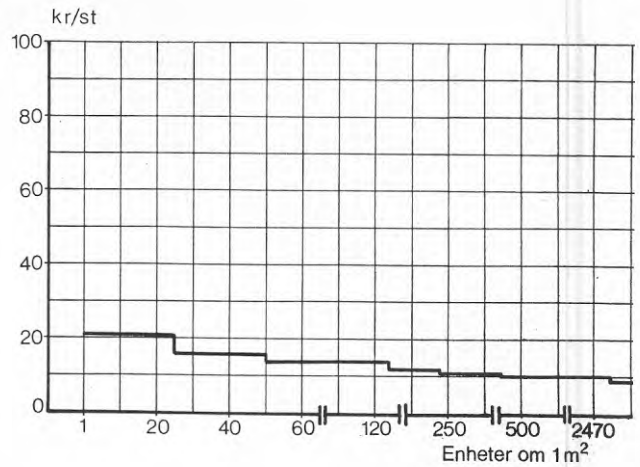


Bild 5/58 Plåtkostnad för absorbatoryta med 0,7 mm tjock aluminiumplåt vid 10 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).

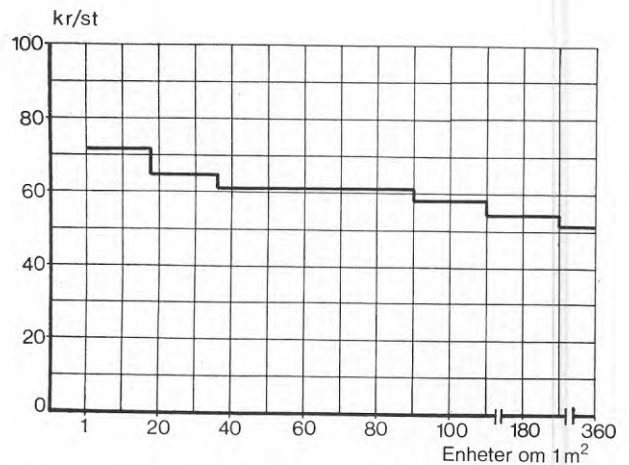


Bild 5/59 Kostnad för lod (Softo 330) vid 10 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm) och lodspalt 0,2 mm.

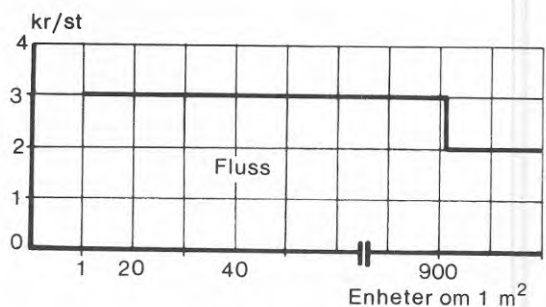


Bild 5/60 Kostnad för flussmedel vid lökning av Curo-rör till aluminiumplåt och 10 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).

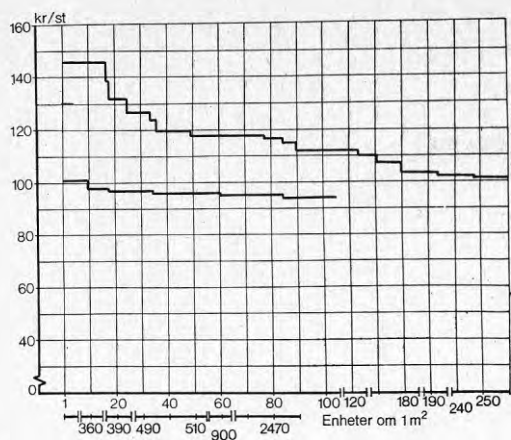


Bild 5/61 Kostnad för Al-plåt, flussmedel, lod vid 10 cm delning mellan stigarrör (12 x 1 mm Cu-rör) samt 0,2 mm lodspalt. Sammanställning av kostnad från bilderna 5/58, 5/59, 5/61 och 5/3.

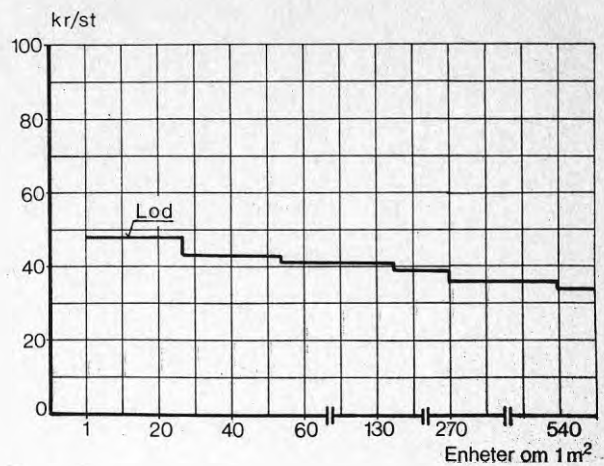


Bild 5/64 Kostnad för lod (Softo 330) vid lödning av Cu-rör till aluminiumplåt och 15 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).

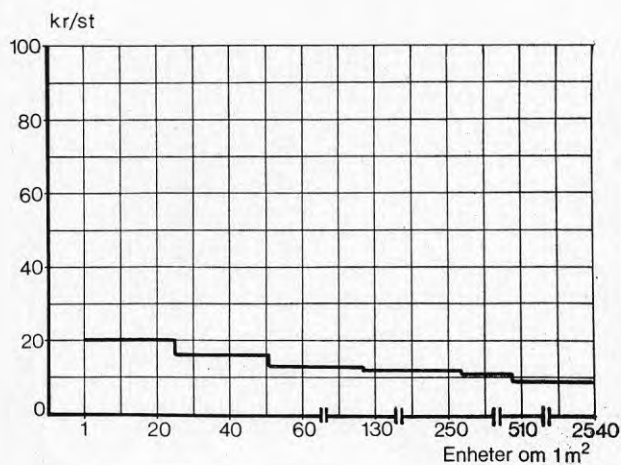


Bild 5/62 Plåtkostnad för absorbtoryta med 0,7 mm tjock aluminiumplåt vid 15 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).



Bild 5/65 Kostnad för Al-plåt, flussmedel, lod vid 15 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm Cu-rör) och 0,2 mm lodspalt samt kostnad för stigarrör 12 x 1 och samlingsrör 22 x 1 av Cu.

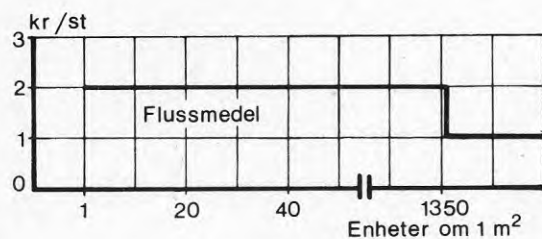


Bild 5/63 Kostnad för flussmedel vid lödning av Cu-rör till aluminiumplåt och 15 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).

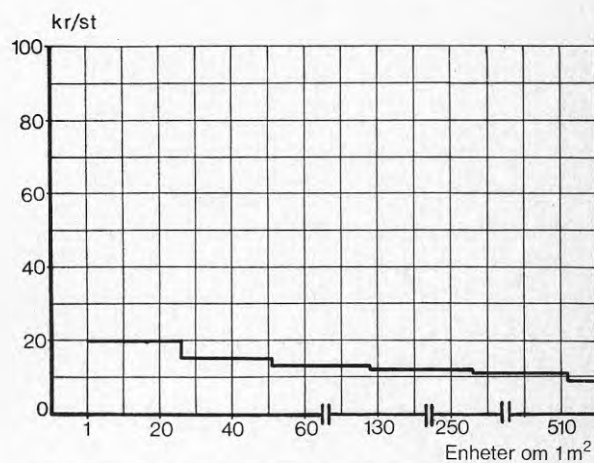


Bild 5/66 Plåtkostnad för absorbtoryta med 0,7 mm tjock aluminiumplåt och 20 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).

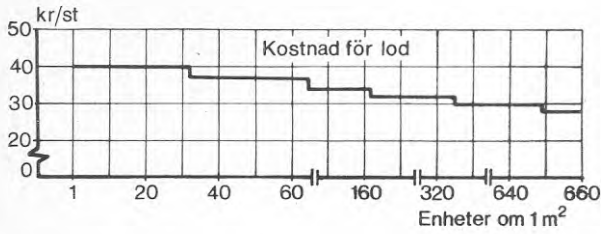


Bild 5/67 Kostnad för lod (Softo 330) vid 20 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm) och lodspalt 0,2 mm.

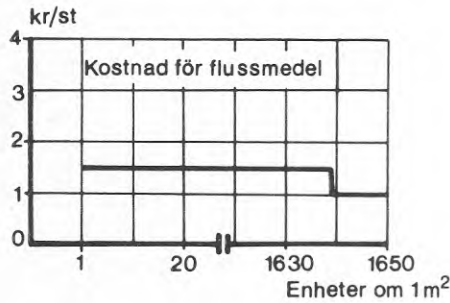


Bild 5/68 Kostnad för flussmedel vid lodning av Cu-rör till aluminiumplåt och 20 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 mm).

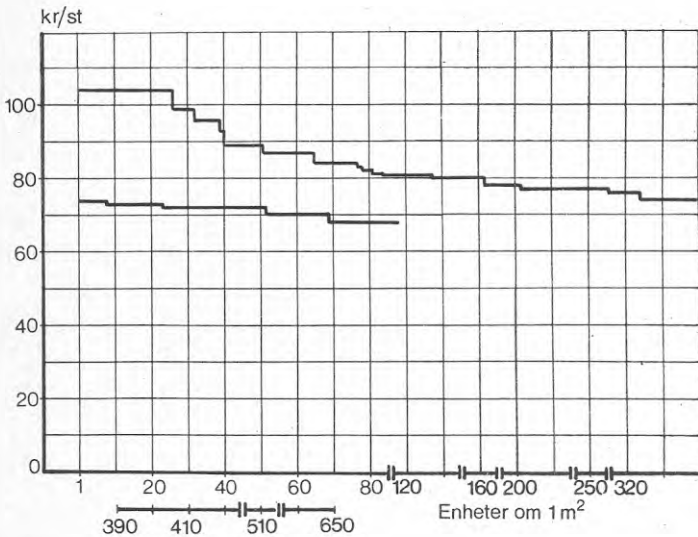


Bild 5/69 Kostnad för Al-plåt, flussmedel, lod vid 20 cm delning mellan stigarrören (12 x 1 Cu-rör) och 0,2 mm lodspalt samt kostnad för 12 x 1 mm stigarrör och 22 x 1 samlingsrör av Cu.

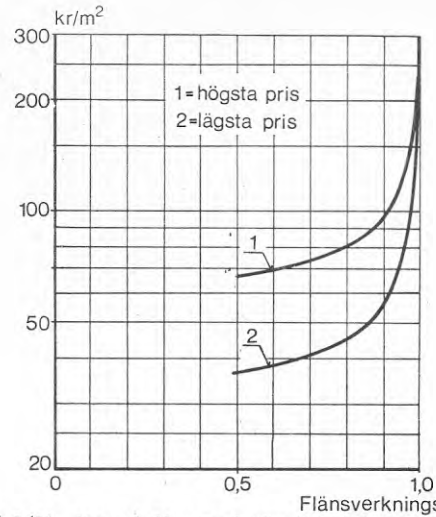


Bild 5/70 Materialkostnad för Al-plåt 1 mm + stigarrör 12 x 1 mm + samlingsrör 22 x 1 mm + lod (Softo 330), som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

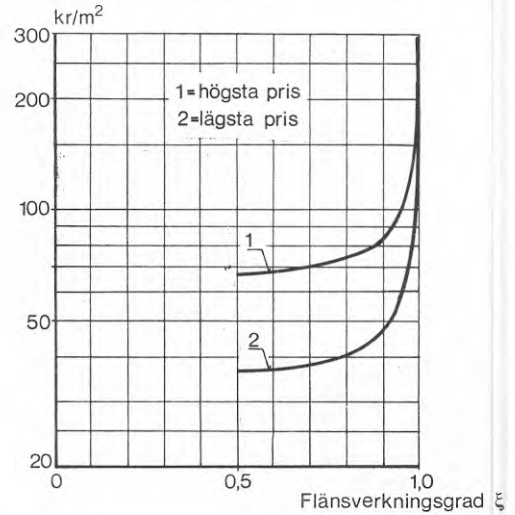


Bild 5/71 Materialkostnad för Al-plåt (1 mm) + stigarrör 12 x 1 + samlingsrör 22 x 1 + lod som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i solfångarens glasning. ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

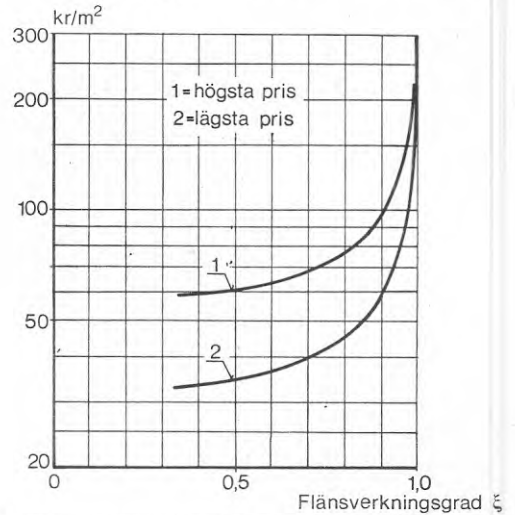


Bild 5/72 Materialkostnad för absorberytta av Al-plåt 0,7 mm, stigarrör (12 x 1), lod (Softo 330) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

I bilderna (5/70) till (5/79) återges grafiskt materialkostnaden per m^2 för en omålad absoratoryta som funktion av flänsverkningsgraden för konstruktionen. Uppbyggnaden av absoratorytan är enligt bild (5/1).

Kostnadskurvorna är i jämförelse med den som gäller då kopparplåt användes brantare dvs en lika stor ändring av flänsverkningsgraden ger speciellt för lägre grader en större prisändring. Detta gäller för värden upp till ca 0,98 på flänsverkningsgraden. Ett lägre k -värde i glasningen ger naturligtvis även vid aluminium i absoratorytans plåt en lägre materialkostnad för samma flänsverkningsgrad, dock gäller även här att kostnaden för glasningen *ej* är inkluderad.

Av bilderna (5/80) och (5/81), som återger materialkostnaden som funktion av tjockleken på plåten i absoratorytan med flänsverkningsgraden som parameter vid ett k -värde på $5,8 W/(m^2K)$ respektive $3,2 W/(m^2K)$ i glasningen, framgår att den lägsta kostnaden erhålles för plåttjocklekar över 1 mm vid $k = 5,8 W/(m^2K)$ och vid $k = 3,2 W/(m^2K)$ för plåttjocklekar omkring 0,9-1 mm. Lägsta materialkostnaden blir vid $k = 5,8 W/(m^2K)$ i glasningen för flänsverkningsgraderna 0,9, 0,95 och 0,98 ca 55, 75 och 100 kr/m^2 och vid $k = 3,2 W/(m^2K)$ fås 50, 60 och 85 kr/m^2 . Bilderna (5/82) till (5/91) visar materialkostnaden som funktion av flänsverkningsgraden då stigarrör $8 \times 0,8$ mm användes i stället för 12×1 mm rör. I övrigt är utförandet detsamma. Kostnadskurvorna blir i detta fall *ej* så branta när kostnaden för både rör och lod minskat väsentligt.

Materialkostnaden som funktion av plåttjockleken och med flänsverkningsgraden som parameter, återges i bilderna (5/92) och (5/93) vid $k = 5,8 W/(m^2K)$ respektive $k = 3,2 W/(m^2K)$ i glasningen. För $k = 5,8 W/(m^2K)$ lönar det sig inte att använda tunnare plåt än 0,5 mm för något fall. Vid 0,98 på flänsverkningsgraden bör plåt med 1 mm tjocklek eller eventuellt något tjockare användas. För $k = 3,2 W/(m^2K)$ i glasningen är resultatet i stort sätt detsamma som vid $k = 5,8 W/(m^2K)$ vad gäller plåttjockleken. Lägsta kostnaden vid $k = 5,8 W/(m^2K)$ för 0,9, 0,95 och 0,98 på flänsverkningsgraden blir enligt bild (5/92) ca 40, 45 och 55 kr/m^2 medan vid $k = 3,2 W/(m^2K)$ lägsta priset blir 35, 40 och 45 kr/m^2 .

Om dimensionen $8 \times 0,8$ mm användes för stigarrören istället för 12×1 mm medför det att den totala materialkostnaden för absoratorytan minskar med 15 - 45 kr/m^2 beroende på vilken flänsverkningsgrad som absoratorn konstrueras för.

5.4 Materialkostnaden för absoratoryta bestående av Al-plåtar med kanaler mellan plåtarna

En vanlig typ av absoratoryta är den som i engelskspråkig litteratur kallas "Roll-bond". "Roll-bond" syftar på tillverknings sättet som i korthet är följ-

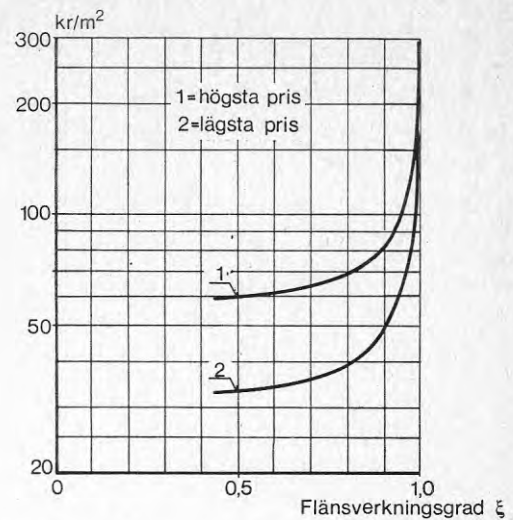


Bild 5/73 Materialkostnad för absoratoryta av Al-plåt 0,7 mm, stigarrör (12 x 1), lod (Softo 330), som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i solfångarens glasning ($k = 3,2 W/(m^2 \cdot K)$)

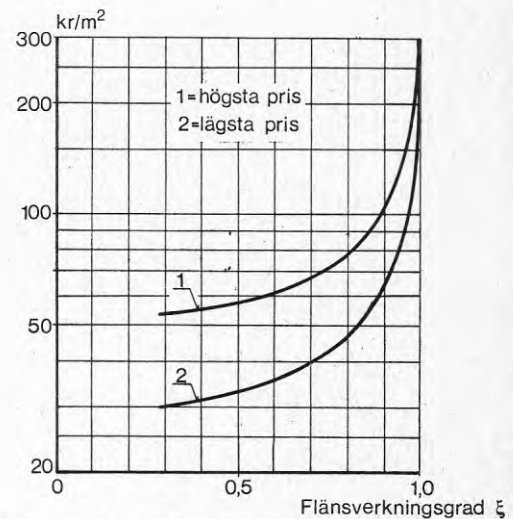


Bild 5/74 Materialkostnad för absoratoryta av Al-plåt 0,5 mm, samlingsrör (Cu 22 x 1), stigarrör (Cu 12 x 1), lod (Softo 330) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 W/(m^2 \cdot K)$)

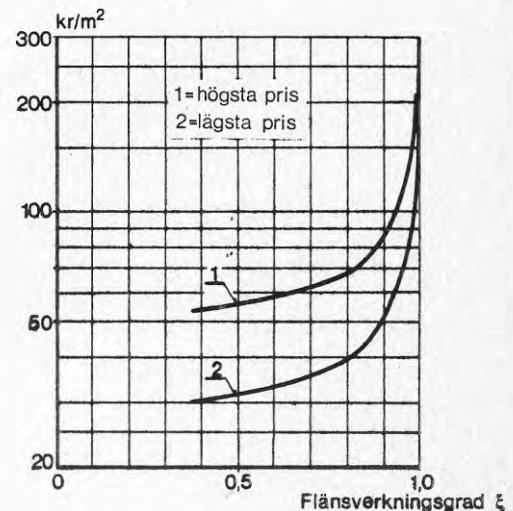


Bild 5/75 Materialkostnad för absoratoryta av Al-plåt 0,5 mm samlingsrör (Cu 22 x 1), stigarrör (Cu 12 x 1), lod (Softo 330), som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i solfångarens glasning ($k = 3,2 W/(m^2 \cdot K)$)

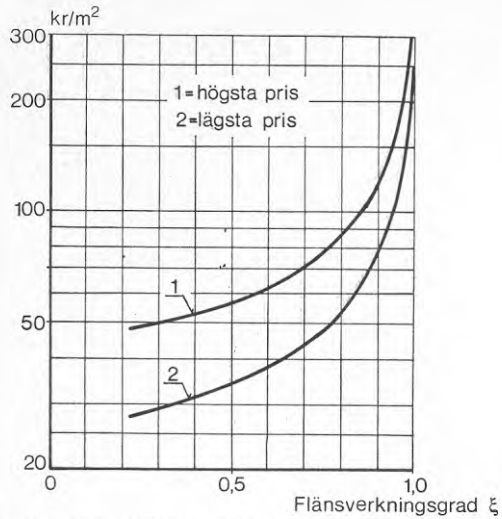


Bild 5/76 Materialkostnad för absorbdatoryta av Al-plåt 0,3 mm samlingsrör (Cu 12 x 1), lod (Softo 330) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

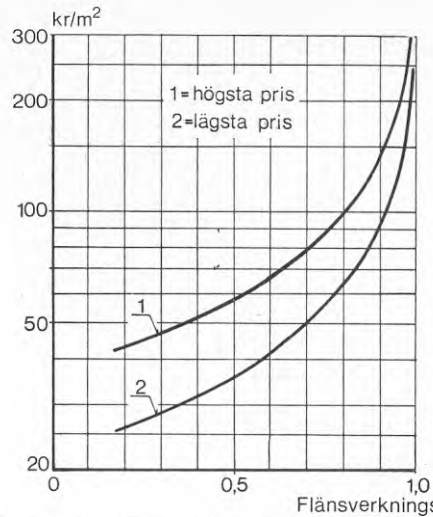


Bild 5/79 Materialkostnad för absorbdatoryta av Al-plåt (0,1 mm) samlingsrör (Cu 22 x 1) stigarrör (Cu 12 x 1), lod (Softo 330), som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i solfångarens glasning ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

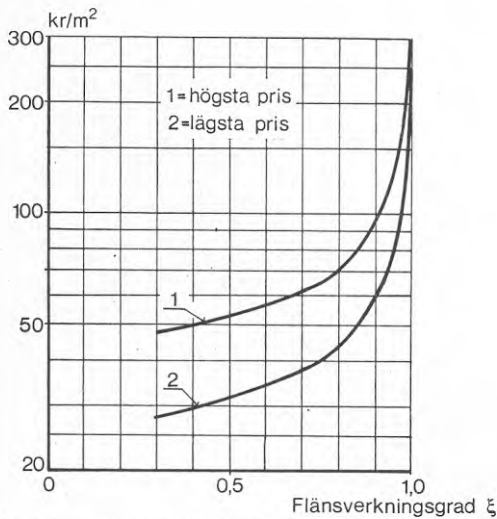


Bild 5/77 Materialkostnad för absorbdatoryta av Al-plåt 0,3 mm samlingsrör (Cu 22 x 1), stigarrör (Cu 12 x 1), lod (Softo 330), som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i solfångarens glasning ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

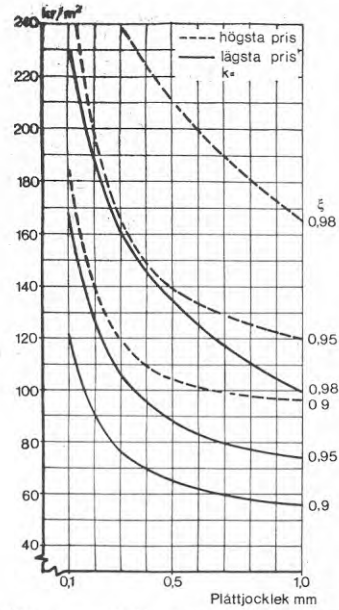


Bild 5/80 Materialkostnaden för absorbdatoryta med Al-plåt och stigarrör av Cu 12 x 1 mm samt samlingsrör 22 x 1 och lod, flussmedel som funktion av plättjockleken vid ett k -värde på $5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i glasningen.

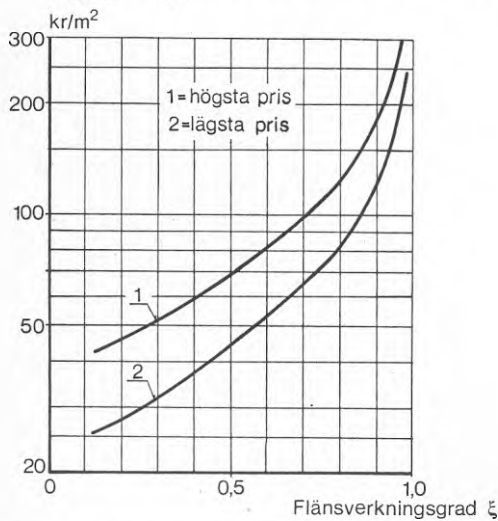


Bild 5/78 Materialkostnad för absorbdatoryta av Al-plåt 0,1 mm samlingsrör (22 x 1 Cu) stigarrör (Cu 12 x 1), lod (Softo 330), som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

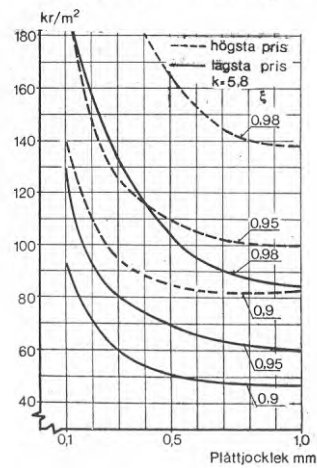


Bild 5/81 Materialkostnad för absorbdatoryta med Al-plåt och stigarrör av Cu 12 x 1 mm, samlingsrör 22 x 1 mm, lod och flussmedel som funktion av plättjockleken vid ett k -värde på $3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i glasningen.

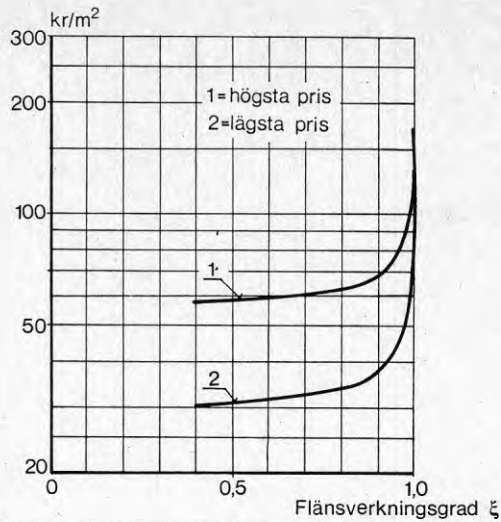


Bild 5/82 Materialkostnad för absorbdatoryta av Al-plåt 1 mm samlingsrör (Cu 22 x 1) stigarrör (8 x 0,8) lod (Softo 330), som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

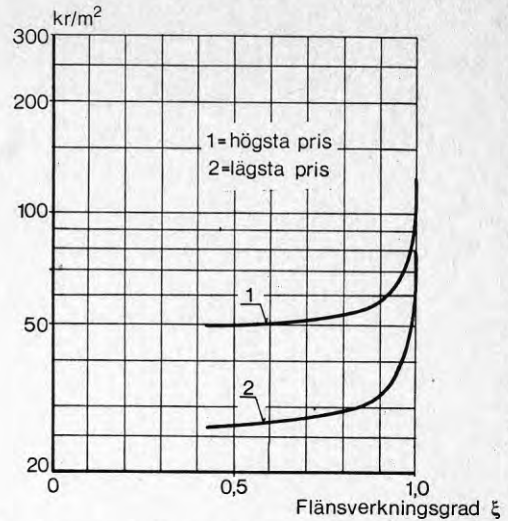


Bild 5/85 Materialkostnad för absorbdatoryta av Al-plåt 0,7 mm samlingsrör (Cu 22 x 1) stigarrör (Cu 8 x 0,8), lod (Softo 330) som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i solfångarens glasning ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

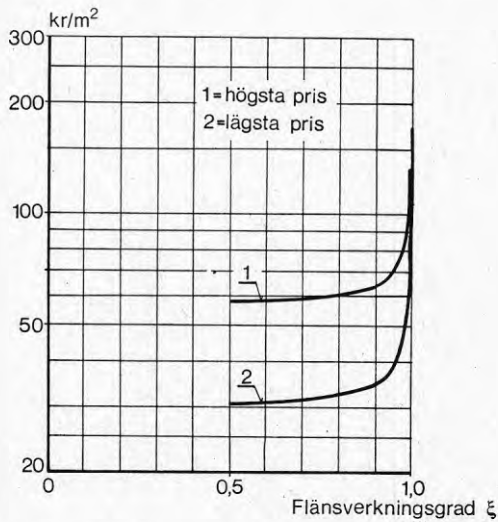


Bild 5/83 Materialkostnad för absorbdatoryta av Al-plåt 1 mm samlingsrör (Cu 22 x 1), stigarrör (Cu 8 x 0,8) lod (Softo 330) som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i solfångarens glasning ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

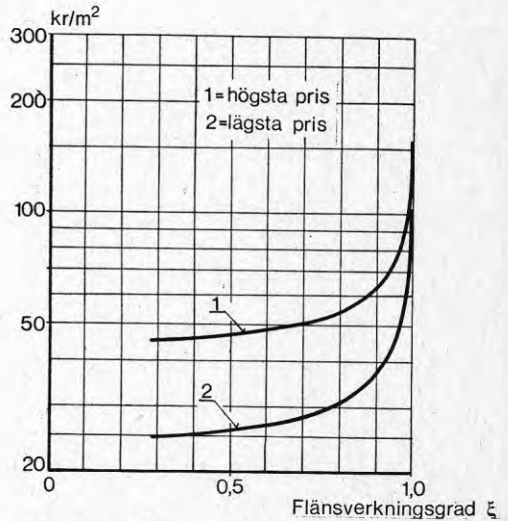


Bild 5/86 Materialkostnad för absorbdatoryta av Al-plåt 0,5 mm samlingsrör (Cu 22 x 1) stigarrör (Cu 8 x 0,8), lod (Softo 330) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

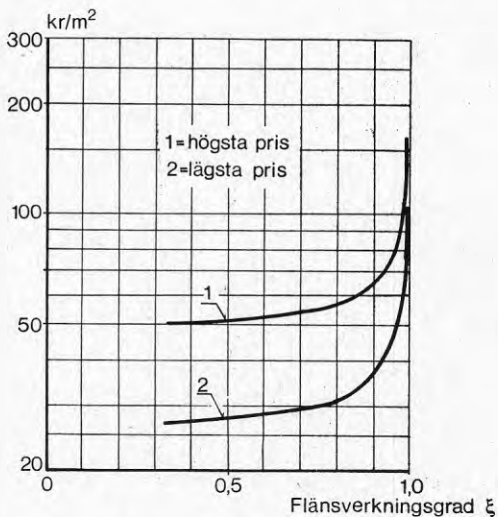


Bild 5/84 Materialkostnad för absorbdatoryta av Al-plåt 0,7 mm samlingsrör (Cu 22 x 1) stigarrör (Cu 8 x 0,8) lod (Softo 330), som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

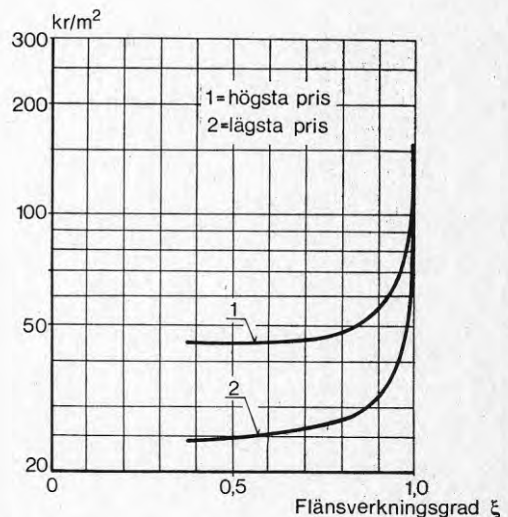


Bild 5/87 Materialkostnad för absorbdatoryta av Al-plåt 0,5 mm samlingsrör (Cu 22 x 1) stigarrör (Cu 8 x 0,8), lod (Softo 330) som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i solfångarens glasning ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

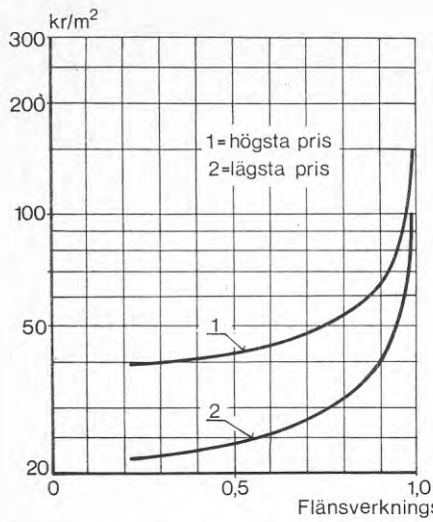


Bild 5/88 Materialkostnad för absorberyta av Al-plåt 0,3 mm samlingsrör (Cu 22 x 1) stigar-rör (Cu 8 x 0,8) lod (Softo 330) som funk-tion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

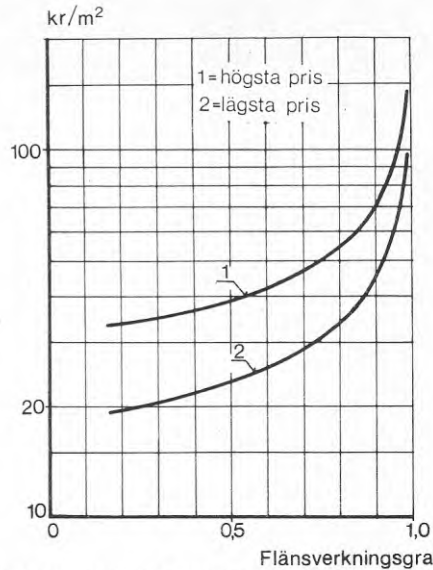


Bild 5/91 Materialkostnad för absorberyta av Al-plåt 0,1 mm samlingsrör (Cu 22 x 1) stigar-rör (Cu 8 x 0,8), lod (Softo 330) som funk-tion av flänsverkningsgraden vid två rutor i solfångarens glasning ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

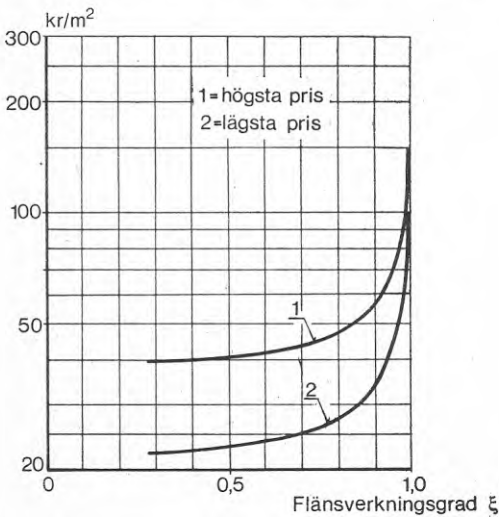


Bild 5/89 Materialkostnad för absorberyta av Al-plåt 0,3 mm samlingsrör (Cu 22 x 1) stigar-rör (Cu 8 x 0,8) lod (Softo 330), som funktion av flänsverkningsgraden vid två rutor i solfångarens glasning ($k = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

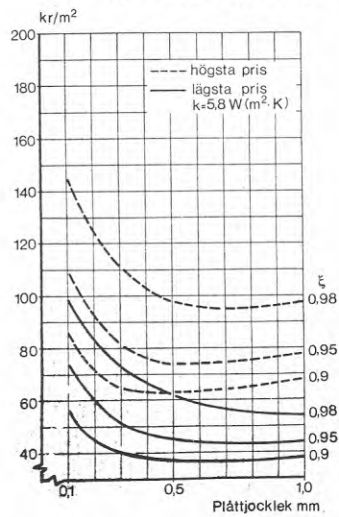


Bild 5/92 Materialkostnaden för absorberyta med Al-plåt stigar-rör 8 x 0,8 mm, samlingsrör 22 x 1 mm av Cu och lod (Softo 330) som funktion av plättjockleken och med fläns-verkningsgraden som parameter vid ett k-värde på $5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i glasningen.

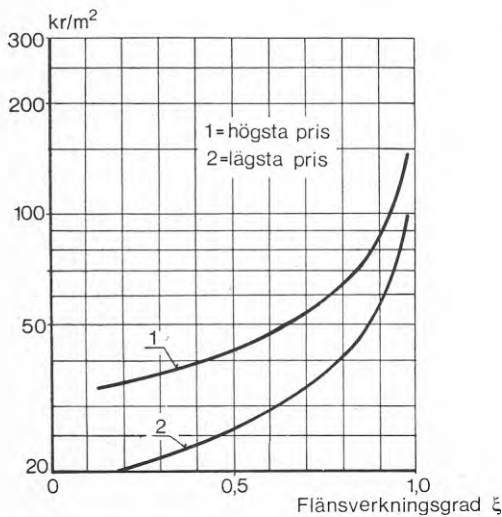


Bild 5/90 Materialkostnad för absorberyta av Al-plåt 0,1 mm samlingsrör (Cu 22 x 1) stigar-rör (8 x 0,8 Cu), lod (Softo 330) som funk-tion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

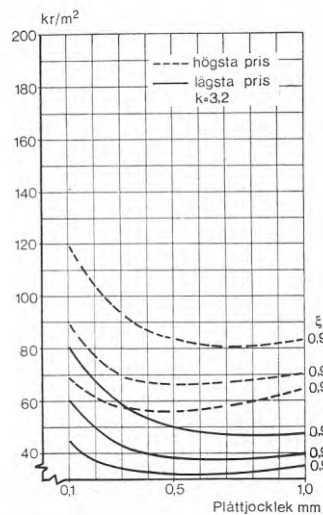


Bild 5/93 Materialkostnaden för absorberyta med Al-plåt, stigar-rör 8 x 0,8 mm, samlings-rör 22 x 1 mm av Cu och lod (Softo 330) som funktion av plättjockleken och med flänsverkningsgraden som parameter vid ett k-värde på $3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

jande. Två plåtar svetsas samman så att ett mönster av osvetsade ytor bildas. Mellan plåtarna tillförs luft eller något annat lämpligt medium under tryck. Detta tryck är så stort att de osvetsade partierna buktar ut och bildar kanaler. Denna metod att tillverka värmeutbytande ytor har kommit till stor användning vid produktion av kyl- och frysskåp och den är även lämpad för tillverkning av absorbtorytor i solfångare.

I bilderna (5/94)-(5/96) visas materialkostnaden för absorbtorer tillverkade av två 1 mm aluminiumplåtar med uppblåsta kanaler mellan plåtarna. Kanalernas storlek har för beräkningen av den ökande materialåtgången approximerats med rör av dimensionen 10 och 20 mm. Beräkningen av materialkostnaden har gjorts för en och ett stort antal enheter vid delningen 10, 15 och 20 cm mellan kanalerna. Bilderna (5/97) till (5/99) visar materialkostnaden för större kanaler med dimensionen 13 och 25 mm invändigt. Som framgår av bilderna är kostnadsökning för material på grund av tätare delning mellan stigarkanalerna försumbar. Lägsta materialkostnaden vid ett stort antal producerade enheter blir ca 25 kr/m². Materialkostnaden som funktion av flänsverkningsgraden visas i bilderna (5/100)-(5/102) för tre plåttjocklekar 0,5, 0,7 och 1 mm. Glasningens k -värde har vid beräkningen av flänsverkningsgraden varit 5,8 W/(m²K). Någon beräkning av kostnaden för $k = 3,2$ W/(m²K) har ej utförts enär materialkostnaden som funktion av flänsverkningsgraden är i stort sett konstant för värden under 0,98. Naturligtvis blir absorbtorytan med 0,5 mm plåt billigast. Avgörande för vilken plåttjocklek som skall användas i absorbtorytan blir det tryck som råder i installation till vilken solfångaren anslutes. Materialkostnaden för absorbtorytor med annan tjocklek på den ingående Al-plåten kan lätt erhållas genom att kostnaden vid 1 mm plåt multipliceras med den aktuella plåttjockleken. Lägsta priset för material är vid 0,5, 0,7 och 1 mm Al-plåtar i absorbtorn ca 13, 19 och 26 kr/m². Det bör här återigen varnas för att använda absorbtorytor av aluminium i direkta system för tappvattenvärmning med tanke på korrosionsrisken.

5.5 Materialkostnad för absorbtoryta av rostfri plåt

Rostfritt stål kan användas som material i absorbtorytan i solfångare för direkta system. Absorbtorytan kan ha samma utseende och tillverkas på samma sätt som en vanlig panelradiator. Materialkostnaden som funktion av antalet producerade enheter framgår av bild(5/103). Plåttjockleken är i detta fall 1 mm och delningen mellan stigarkanalerna ca 4 cm. Bilderna (5/104)-(5/105) visar materialkostnaden som funktion av flänsverkningsgraden för tre olika plåttjocklekar nämligen 0,5, 0,7 och 1 mm. Glasningens

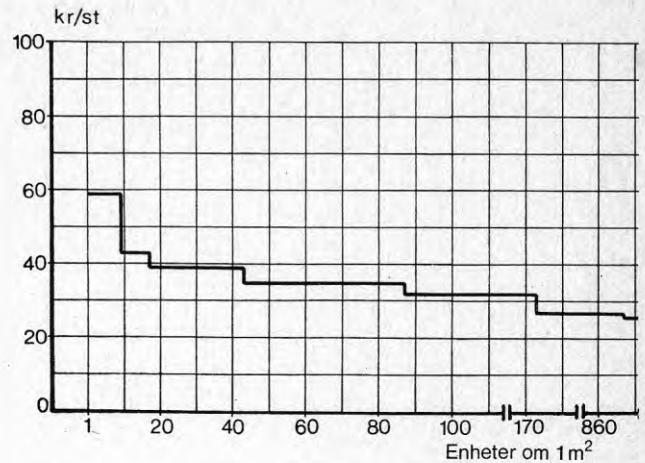


Bild 5/94 Plåtkostnad för absorbtoryta gjord av 2 st 1 mm tjocka aluminiumplåtar och 10 cm delning mellan stigarkanalerna (= ϕ 12 mm) Samlingskanaler $\approx \phi$ 22 mm.

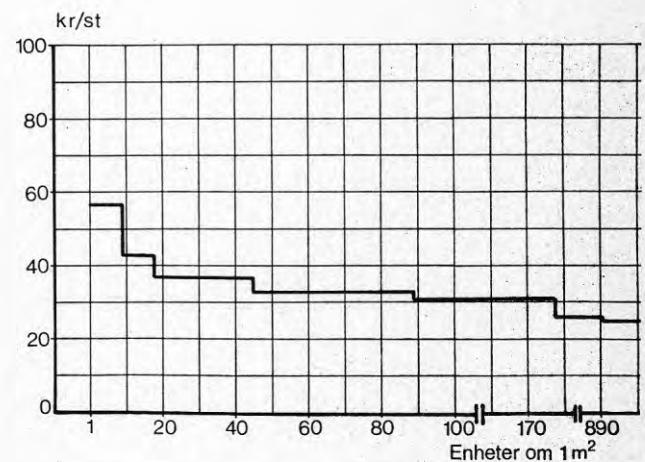


Bild 5/95 Plåtkostnad för absorbtoryta gjord av 2 st 1 mm tjocka aluminiumplåtar och 15 cm delning mellan stigarkanalerna (= ϕ 12 mm) Samlingskanaler $\approx \phi$ 22 mm.

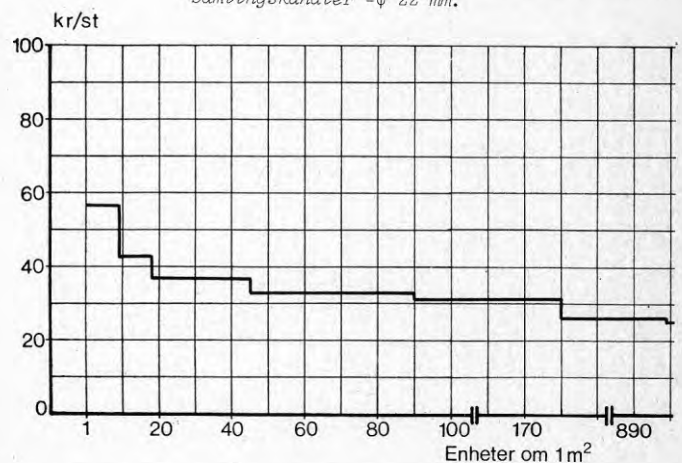


Bild 5/96 Plåtkostnad för absorbtoryta gjord av 2 st 1 mm tjocka aluminiumplåtar och 20 cm delning mellan stigarkanalerna (= ϕ 12 mm) Samlingskanaler $\approx \phi$ 22 mm.

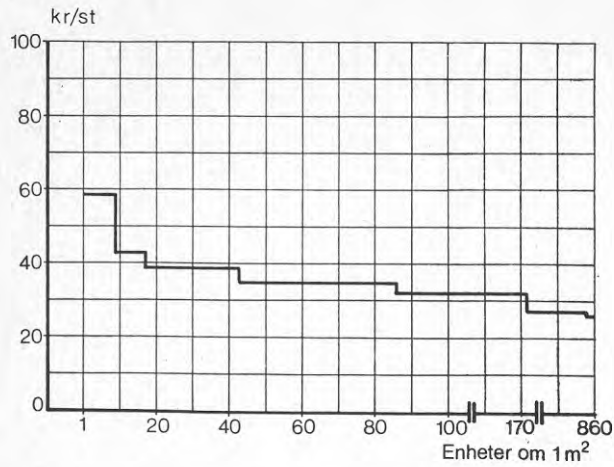


Bild 5/97 Plåtkostnad för absorberyta gjord av 2 st 1 mm tjocka aluminiumplåtar och 10 cm delning mellan stigarkanalerna ($\phi = 15$ mm) Samlingskanal $\phi = 28$ mm.

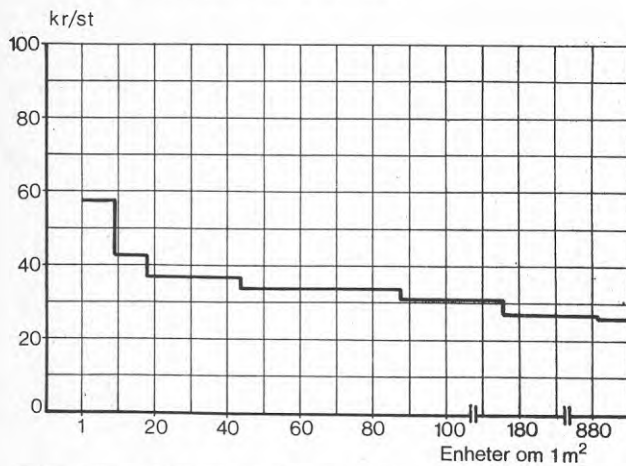


Bild 5/98 Plåtkostnad för absorberyta gjord av 2 st 1 mm tjocka aluminiumplåtar och 15 cm delning mellan stigarkanalerna ($\phi = 15$ mm) Samlingskanal $\phi = 28$ mm.

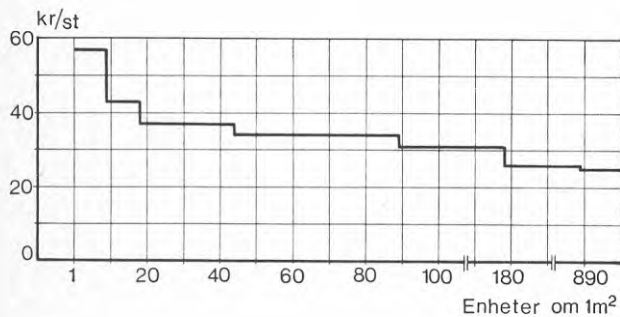


Bild 5/99 Plåtkostnad för absorberyta gjord av 2 st 1 mm tjocka aluminiumplåtar och 20 cm delning mellan stigarkanalerna ($\phi = 15$ mm) Samlingskanal $\phi = 28$ mm.

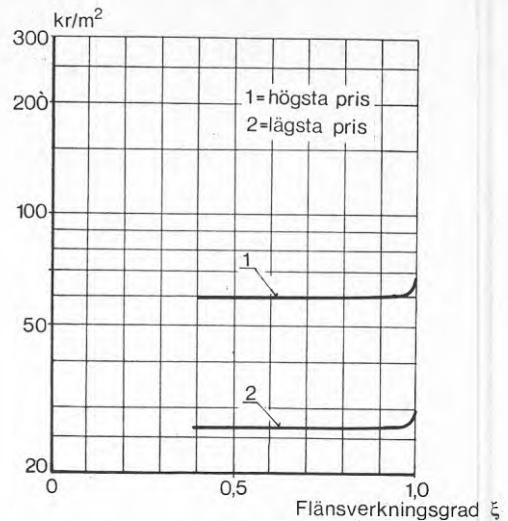


Bild 5/100 Materialkostnad för absorberyta av 2 st Al-plåtar (1 mm) som funktion av flänsverkningsgraden vid ett glas i glasningen ($k = 5,8$ W/(m² · K))

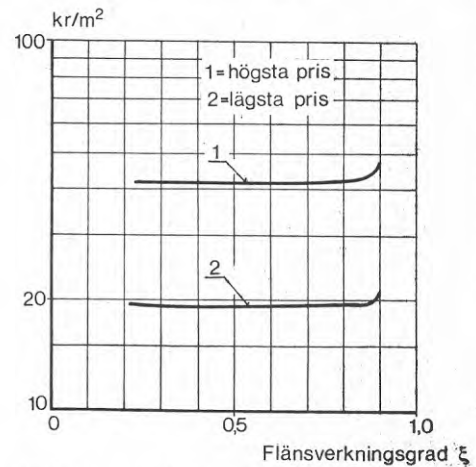


Bild 5/101 Materialkostnad för absorberyta av 2 st Al-plåtar (0,7 mm) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8$ W/(m² · K))

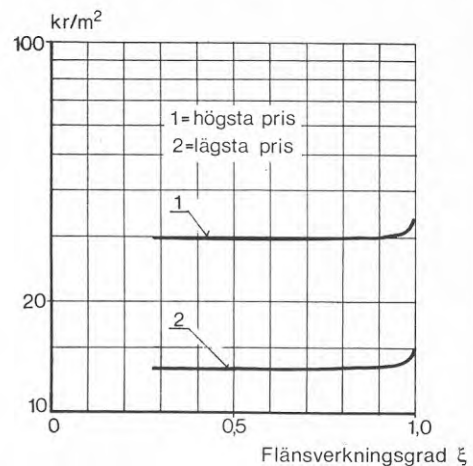


Bild 5/102 Materialkostnaden för absorberyta av 2 st Al-plåtar (0,5 mm) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning. ($k = 5,8$ W/(m² · K))

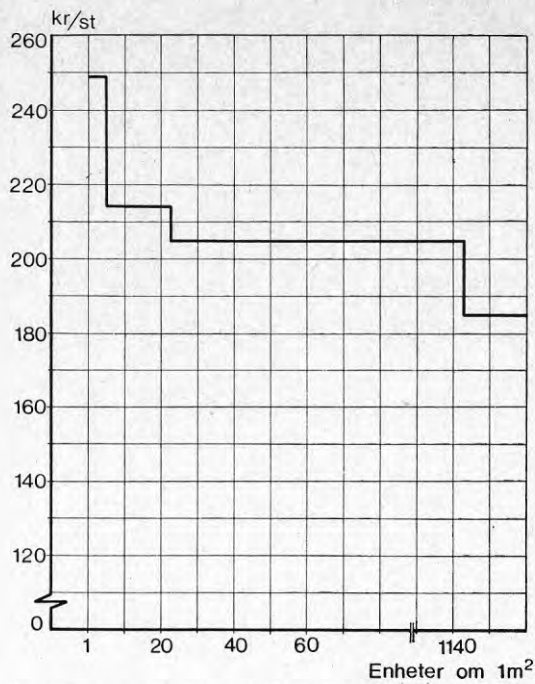


Bild 5/103 Kostnad för absorberyta av rostfritt stål utförd som en panelradiator (MP99-26) i 1 mm tjock plåt.

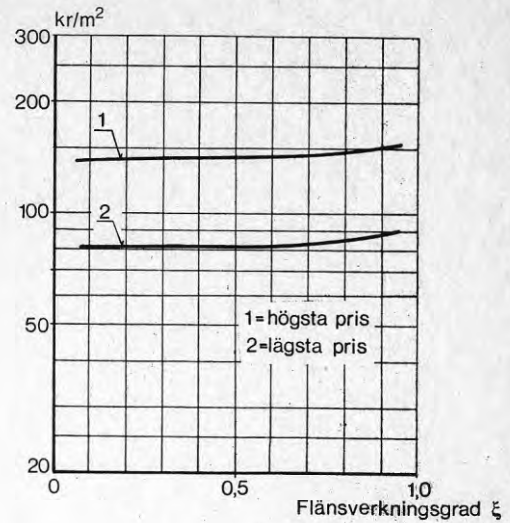


Bild 5/106 Materialkostnad för absorberyta av 2 st rostfria plåtar (0,5 mm) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning. ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

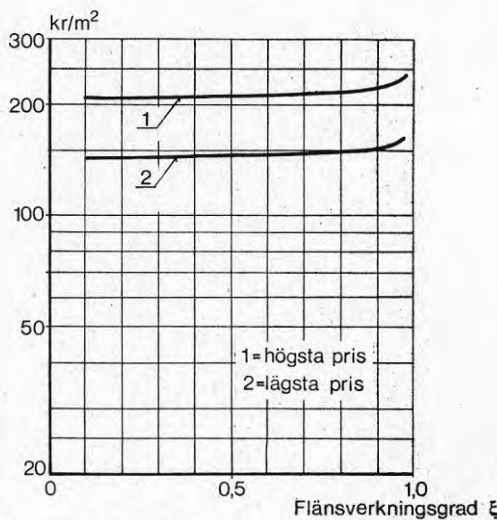


Bild 5/104 Materialkostnaden för absorberyta av 2 st rostfria plåtar (1 mm) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

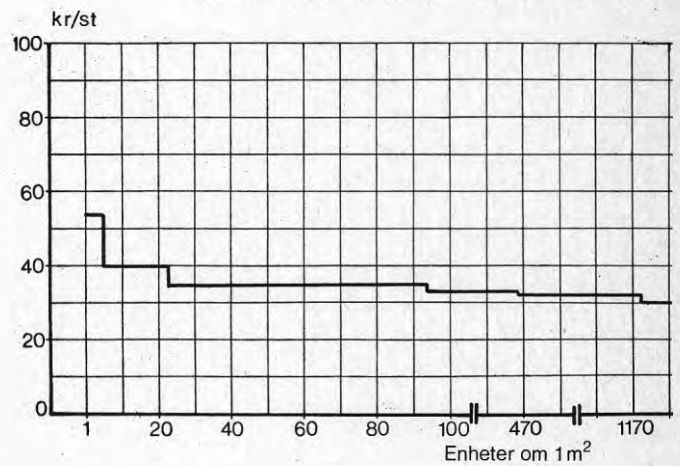


Bild 5/107 Materialkostnaden för absorberyta gjord som en panelradiator MP99-26 med 1 mm tjocka stålplåtar.

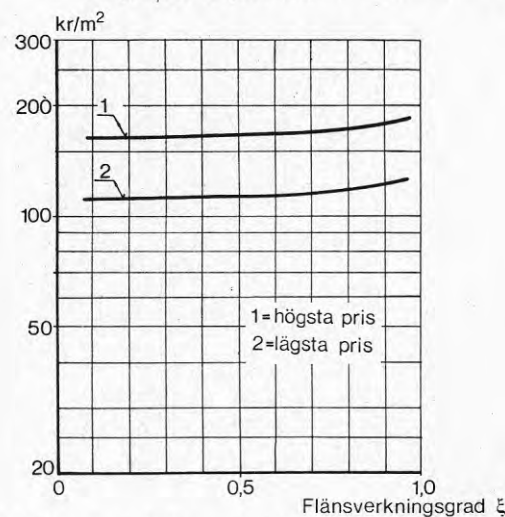


Bild 5/105 Materialkostnad för absorberyta av 2 st rostfria plåtar (0,7 mm) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

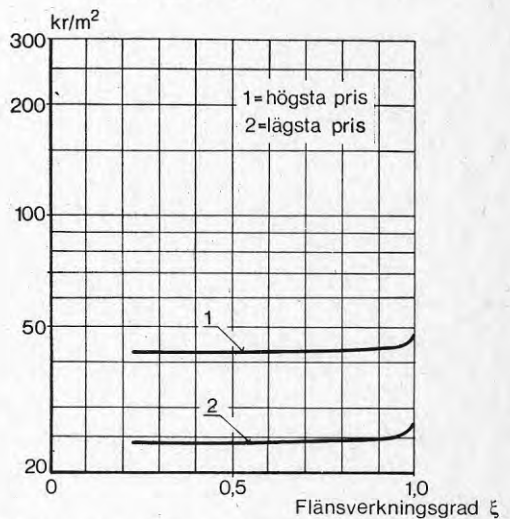


Bild 5/108 Materialkostnad för absorberyta av 2 st stålplåtar (1 mm) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

k -värde är $5,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vid dessa beräkningar. Kostnaden är som framgår av bilderna relativt konstant för de tre plåttjocklekarna varför någon beräkning för k -värdet $3,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ i glasningen ej utförts. Naturligt nog är kostnaden för $0,5 \text{ mm}$ plåt lägst men avgörande för vilken tjocklek som skall väljas blir trycket som absorbatoren kan tänkas bli utsatt för. Absorbatoren måste dimensioneras att tåla samma vattenledningstryck som övriga komponenter som anslutes till ledningssystemet. Kostnadskurvorna för $0,5 \text{ mm}$ plåt visar dock att priset för material även vid denna tjocklek på plåten är högre än vad som fås med andra material.

5.6 Materialkostnad för absorATORYTA av stålplåt

Materialkostnaden för en absorATORYTA i stålplåt och med samma konstruktion som en panelradiator visas i bild(5/107). Plåttjockleken är 1 mm och delningen mellan stigarkanalerna är 4 cm . Lägsta priset vid ett stort antal enheter blir enligt bilden ca $30 \text{ kr}/\text{m}^2$. I bilderna (5/108)–(5/110) visas materialkostnaden som funktion av flänsverkningsgraden och vid en glasning med k -värdet $5,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Även vid stålplåt i absorATORYT-plåten blir priset för material relativt konstant. Bilderna gäller för plåttjocklekarna $0,5$, $0,7$ och 1 mm . Kostnaden för material då stålplåt användes är i stort sett densamma som för aluminium. AbsorATORYTorer av stålplåt kan endast användas i indirekta system för värmning av tappvatten.

5.7 Sammanställning av materialkostnader för absorATORYT- ytter av olika material

I tabell 5-1 ges en sammanställning av den lägsta materialkostnaden för de olika typerna av absorATORYTorer som behandlats i de föregående avsnitten.

5.8 Materialkostnad för isolering

Isoleringsmaterial och synpunkter på isoleringen av solfångare har behandlats i ett tidigare avsnitt. Beräkningen av materialkostnaden har här gjorts endast för mineralullsisolering. Denna isolering förefaller vara den billigaste och även den, som bäst tål de betingelser, som isoleringen i en solfångare kan väntas bli utsatt för. Priserna för mineralullsisolering varierar med antalet m^2 absorATORYTyta enligt bild(5/111). I denna bild anges materialkostnaden för två tjocklekar 50 och 95 mm .

Tabell 5-1

Material i absorATORYT	Flänsverkningsgrad	Plåttjocklek mm	Stigarrördimension mm	k -värde $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ i glasning	K_r/m^2	Anm.
Cu	0,90	0,2	12x1	5,8	60	
"	0,95	0,3	12x1	"	70	
"	0,98	0,4	12x1	"	95	
"	0,90	0,1	12x1	3,2	50	
"	0,95	0,2	12x1	"	60	
"	0,98	0,3	12x1	"	75	
"	0,90	0,1	8x0,8	5,8	40	
"	0,95	0,2	8x0,8	"	50	
"	0,98	0,3	8x0,8	"	65	
"	0,90	0,1	8x0,8	3,2	35	
"	0,95	0,1	8x0,8	"	45	
"	0,98	0,2	8x0,8	"	60	
Cu-rör Al-plåt	0,90	1	12x1	5,8	55	
"	0,95	< 1	12x1	"	75	tjockare än 1 mm plåt
"	0,98	< 1	12x1	"	≈90	
"	0,90	1	12x1	3,2	45	
"	0,95	< 1	12x1	"	60	"
"	0,98	< 1	12x1	"	85	"
"	0,90	0,7	8x0,8	5,8	40	
"	0,95	0,9	8x0,8	"	45	
"	0,98	1	8x0,8	"	55	
"	0,90	0,6	8x0,8	3,2	30	
"	0,95	0,6	8x0,8	"	40	
"	0,98	0,8	8x0,8	"	50	
2xAl-plåt	0,90-0,98	1	≈12x1	5,8	25	
"	0,90-0,98	0,7	≈12x1	"	20	
"	"	0,5	"	"	15	
2xrostfri plåt	"	1	"	"	160	
"	"	0,7	"	"	120	
"	"	0,5	"	"	90	
2xstålplåt	"	1	"	"	25	
"	"	0,7	"	"	18	
"	"	0,5	"	"	10	

5.9 Materialkostnad för hölje

Höljet till en solfångare tjänstgör som skydd mot väder och vind samt fäste för solfångarens glasning. Det kan tillverkas i flera olika material t ex

- aluminium
- förzinkad stålplåt
- stålplåt
- trä

Ett hölje av aluminium har den fördelen framför de andra materialen ovan, att det motstår korrosion bättre, även utan skyddande målning eller andra bearbetningar. En uppskattning av materialpriset för ett hölje utfört av aluminiumplåt med 1 mm tjocklek visas i bild(5/112). Höljet är avsett för en absorbtoryta av $1 \times 1 \text{ m}^2$. (Andra mått kan ge smärre avvikelser från de här visade materialkostnaderna). I kostnaden inkluderas även material som åtgår till ramar för glasningens fastsättning. Ramkonstruktionen för det beräknade fallet består av 2 st. 2 mm tjocka plåtar bockade i vinkel. Flänsarna på vinkelprofilen har vardera satts till ca 30 mm. Av bilden framgår att materialkostnaden sjunker kraftigt från ca 100 kr/m^2 vid få enheter till ca 35 kr/m^2 vid tillverkning av mer än 135 st enheter.

5.10 Materialkostnad för glas

Priset för glas exklusive montering, men med list av elastiskt material, framgår av bild (5/113). Kostnaden för list har vid en ruta i glasningen uppskattats till ca 9 kr/m^2 absorbtoryta och vid två rutor till ca 17 kr. Lägsta priset som fås vid maximal mängdrabatt på material blir vid en ruta i glasningen ca 25 - 30 kr och vid två rutor ca 50 - 55 kr, i båda fallen räknat per m^2 absorbtoryta. Glasytan blir något större än själva absorbtorytan på grund av isolering av kanter m m. I detta fall har räknats med att $1,15 \text{ m}^2$ glasyta åtgår.

5.11 Kostnaden för ytskydd till absorbtoryta och hölje

Vid bedömningen av kostnaden för ytskydd, t ex färg till absorbtorytan har detta gjorts endast för en svart färg och kostnaden har satts lika för alla absorbtortyper, trots att varje material kan behöva sin speciella behandling. Kostnaden har uppskattats till 7 kr/m^2 .

5.12 Sammanställning av materialkostnader för solfångare

I tabell 5-2 har en sammanställning gjorts av de i tidigare avsnitten uppskattade kostnaderna för material och färg. Den visar materialkostnaden vid glasning med en och två rutor samt för två tjocklekar, 50 och 95 mm, på den ingående mineralullsisoleringen. För direkta solfångarsystem d v s där tappvattnet cirkulerar genom solfångaren synes det med stöd av

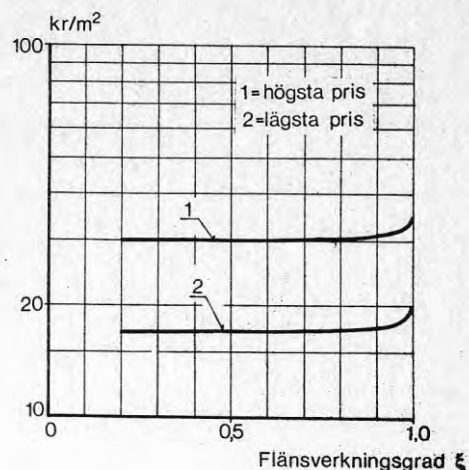


Bild 5/109 Materialkostnad för absorbtoryta av 2 st stålplåtar (0,7 mm) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i glasningen ($k = 5,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$)

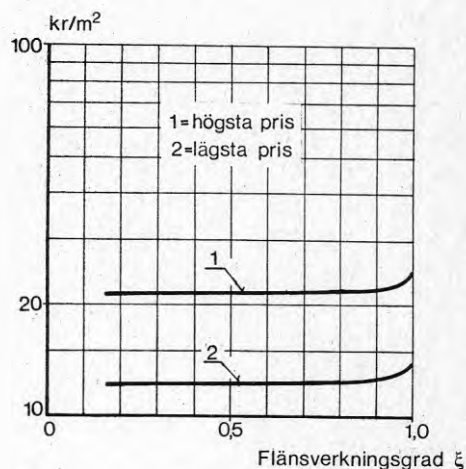


Bild 5/110 Materialkostnad för absorbtoryta av 2 st stålplåtar (0,5 mm) som funktion av flänsverkningsgraden vid en ruta i solfångarens glasning ($k = 5,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$)

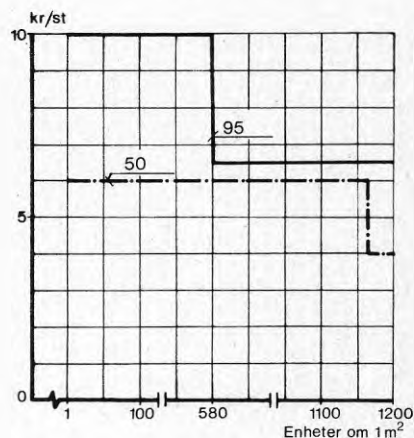


Bild 5/111 Materialkostnaden för mineralullsisolering.

Tabell 5-2

Material i absorbyta	Plåttjocklek mm	Stigar-rör dim. Cu	k-värde i glasning		Flänsverkningsgrad	Isolering		Hölje	Glasning		Färg	Materialkostnad vid		Anm		
			5,3	3,2		50 mm	95 mm		en ruta	två rutor		50 mm	95 mm			
			W/m ²	K		kr/m ²	kr/m ²	kr/m ²	kr/m ²	kr/m ²	kr/m ²	kr/m ²	kr/m ²			
Cu	0,2	12x1	x	0,9	60	4	7	33	27		7	131	134			
"	0,3	"	x	0,95	70	"	7	"	"		"	141	144			
"	0,4	"	x	0,98	95	"	"	"	"		"	166	169			
Cu	0,1	"		x 0,90		50	4	7	33		54	141	144			
"	0,2	"		x 0,95		60	"	"	"		"	151	154			
"	0,3	"		x 0,98		75	"	"	"		"	166	169			
Cu	0,1	8x0,8	x	0,90	40	4	7	33	27		"	111	114			
"	0,2	"	x	0,95	50	"	"	"	"		"	121	124	lågsta pris vid Cu-rör + Cu-plåt		
"	0,3	"	x	0,98	65	"	"	"	"		"	136	139			
"	0,1	"		x 0,90		35	"	"	"		54	133	136			
"	0,1	"		x 0,95		45	"	"	"		"	143	146			
"	0,2	"		x 0,98		60	"	"	"		"	158	161			
Cu-rör Al-plåt	1,0	12x1	x	0,90	55	4	7	33	27		"	126	129			
"	<1	"	x	0,95	75	"	"	"	"		"	146	149	tjockare än 1 mm plåt		
"	<1	"	x	0,98	90	"	"	"	"		"	161	164			
"	1	"		x 0,90		45	"	"	"		54	150	153			
"	<1	"		x 0,95		60	"	"	"		"	165	168			
"	<1	"		x 0,98		85	"	"	"		"	190	193			
"	0,7	8x0,8	x	0,90	40	4	7	33	27		"	111	114			
"	0,9	"	x	0,95	45	"	"	"	"		"	116	119	lågsta pris vid Cu-rör + Al-plåt		
"	1	"	x	0,98	55	"	"	"	"		"	126	129			
"	0,6	"		x 0,90		30	"	"	"		54	128	131			
"	0,6	"		x 0,95		40	"	"	"		"	138	141			
"	0,8	"		x 0,98		50	"	"	"		"	148	151			
2xAl-plåt	1	12x1	x	0,9-0,98	25	4	7	33	27	54	7	103	106	130	133	två glas
"	0,7	"	x	"	20	"	"	"	"	"	"	98	101	125	128	
"	0,5	"	x	"	15	"	"	"	"	"	"	93	96	120	123	
2xrostfri plåt	1	"	x	"	160	"	"	"	"	"	"	238	241	265	268	
"	0,7	"	x	"	120	"	"	"	"	"	"	198	201	225	228	
"	0,5	"	x	"	90	"	"	"	"	"	"	168	171	195	198	
2xstålplåt	1	"	x	"	25	"	"	"	"	"	"	103	106	130	133	
"	0,7	"	x	"	18	"	"	"	"	"	"	96	99	123	126	
"	0,5	"	x	"	13	"	"	"	"	"	"	91	94	118	121	

de kostnader som redovisas i tabellen vara fördelaktigast att använda en absorbdatoryta med Cu-rör och plåt av aluminium. Differensen i pris mellan absorbdatorytor utförda på detta sätt och utförda helt i koppar är av storleksordningen 10 kr/m². Med tanke på det enklare lödningsförfarandet då koppar löds mot koppar torde en absorbdatoryta helt i koppar vara att föredra framför en med Cu-rör och aluminiumplåt trots kostnadsdifferenserna.

För indirekta system synes absorbdatorytor av stålplåt utförda i princip som panelradiatorer vara den bästa och billigaste lösningen. Differensen i pris är inte stor mellan absorbdatorer av aluminium och stålplåt men till stålplåtens fördel talar att uppbyggnaden av solfångarsystem kan ske med lätthet och med konventionella metoder utan att olika material blandas med åtföljande risk för galvanisk korrosion.

5.13 Arbetskostnad vid tillverkning av solfångare med absorbdatoryta av koppar

Tillverkningsmetoden för absorbdatorytor med rör och plåt av koppar och med rör av koppar och plåt av aluminium är i stort desamma.

I det följande görs ett försök till uppskattning av arbetskostnaden vid serietillverkning av solfångare med absorbdatorytor av koppar.

5.13.1 Arbetskostnad för absorbdatoryta

Vid tillverkningen av absorbdatorytor ingår bland annat följande arbetsmoment:

- o kapning av rör
- o uppkragning av samlings- och fördelningsrör
- o inpassning av rör i uppkragning
- o anbringning av lod vid lödställen
- o kapning och pressning av absorbdatorplåt
- o provtryckning av absorbdator
- o transporter inom arbetsplatser bl a in i och ut ur ugn.

Med dessa arbetsmoment som utgångspunkt kan arbetskostnaden för en absorbdatoryta, tillverkad på ett rationellt sätt, uppskattas. I hög grad bestämmande för arbetskostnaden är antalet stigarrör i absorbdatorytan och det gäller således att finna den konstruktion där summan av arbets- och materialkostnaden blir lägst.

Arbetsmomenten för montering av hölje, glasning, isolering m m är i stort sett oberoende av hur absorbdatorytan utformas. Arbetskostnaden, som funktion av flänsverkningsgraden för absorbdatorytan vid olika plåttjocklek kan återges grafiskt på samma sätt som materialkostnaden. Ur de kurvor, som därvid erhålles kan arbetskostnaden som funktion av tjockleken på absorbdatorplåten ritas med flänsverkningsgraden som parameter. I bild (5/114) visas arbetskostnaden för en absorbdator av koppar återgiven på ovan angivet

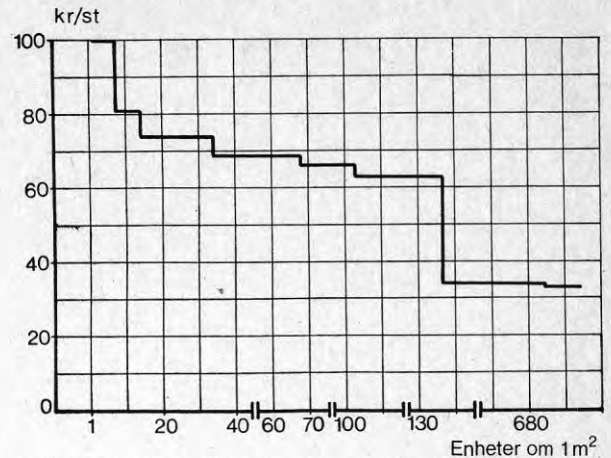


Bild 5/112 Materialkostnad för hölje och ram för montering av glasningen.

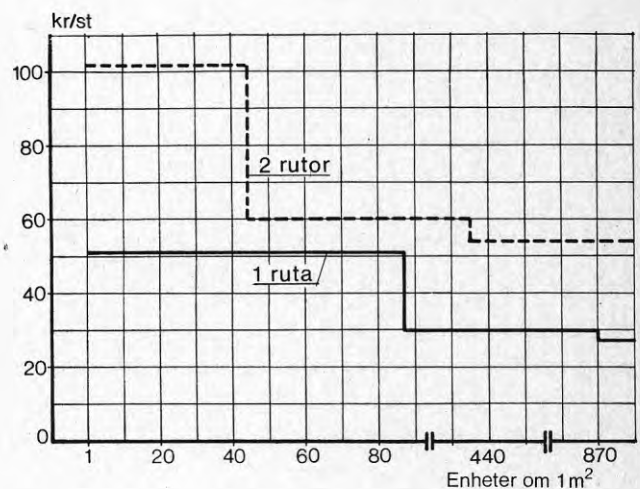


Bild 5/113 Materialkostnad för 3 mm glas inklusive kostnad för list av elastiskt material.

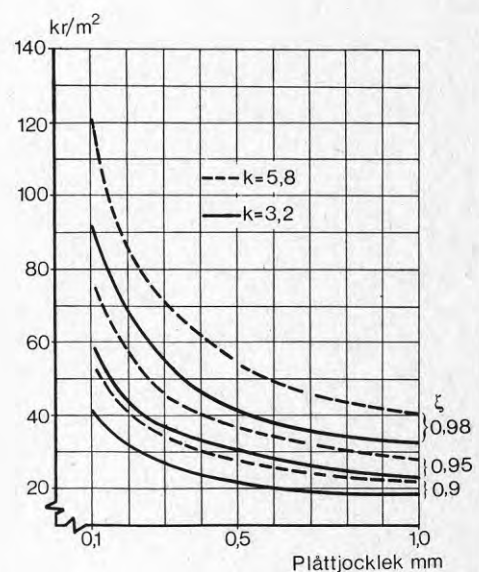


Bild 5/114 Arbetskostnad för absorbdator med rör och plåt av koppar.

sätt för tre flänsverkningsgrader nämligen 0,9, 0,95 och 0,98 samt för k -värdena 5,8 respektive 3,2 $W/(m^2K)$ i glasningen. Enligt bilden fås lägsta arbetskostnaden vid plåttjocklekar från 0,7 mm till 1 mm och vid högre värde på verkningsgraden, 0,98, erhålles lägsta arbetskostnaden för plåttjocklekar på uppskattningsvis 1,2 mm. Arbetskostnaden, som redovisats här, är baserad på en yta om $1 \times 1 m^2$ och det är troligt att kostnaden vid större absorbatorytor blir annorlunda. Det är ej sannolikt att absorbatorer med mindre yta än $1 m^2$ kommer att tillverkas och för större t ex $2 m^2$ ytor torde arbetskostnaden bli lägre, om de utformas på rätt sätt.

5.13.2 Arbets- och materialkostnad för absorbator av koppar

Lägsta arbets- och materialkostnad vid olika plåttjocklek för olika värden på flänsverkningsgraden visas i bild(5/115). Kurvorna erhålles genom en summering av de lägsta kostnaderna för material, se bilderna(5/56) och(5/57) och de som gäller för arbetskostnaden, se bild(5/114).

Av bild(5/115) framgår att lägsta kostnaden för material och arbete erhålles vid en plåttjocklek som vid en flänsverkningsgrad av 0,98 är ca 0,4 - 0,6 vid 0,95 är 0,3 - 0,5 och vid 0,9 är 0,2 - 0,4 mm varvid den lägre tjockleken gäller vid ett k -värde på 3,2 i glasningen och det högre vid $k = 5,8 W/(m^2K)$.

Kostnaden är som synes lägre då k -värdet i glasningen är lägre. Oftast åstadkommer man detta lägre k -värde genom att glasningen utföres med flera rutor. De k -värden som använts i dessa kostnadsberäkningar $k = 5,8$ respektive $3,2 W/(m^2 \cdot K)$ överensstämmer ungefär med de som gäller för ett glas respektive två glas. Orsaken till att en lägre kostnad erhålles vid lägre k -värde är att i beräkningen av flänsverkningsgraden ingår k -värdet. Vid lägre k -värde kan delningen mellan stigarrören väljas glesare eller tunnare plåt användas, vilket resulterar i en lägre kostnad. För att det skall vara lönsamt ur tillverkningssynpunkt att använda två rutor i glasningen så måste differensen i kostnad för absorbatorytan vid ett glas vara större än det kostar i material och arbete med en extra ruta.

5.14 Arbetskostnad för hölje, glasning, isolering, målning mm.

Förutom den arbetskostnad som gäller endast absorbatoren återstår följande huvudmoment i arbetet med att färdigställa en solfångare:

- o formnings- och svetsningsarbete med höljet
- o fastsättning av ramar för glasning
- o montering av isolering
- o montering av absorbator
- o montering av rutor och lister i glasning
- o målningsarbete med hölje

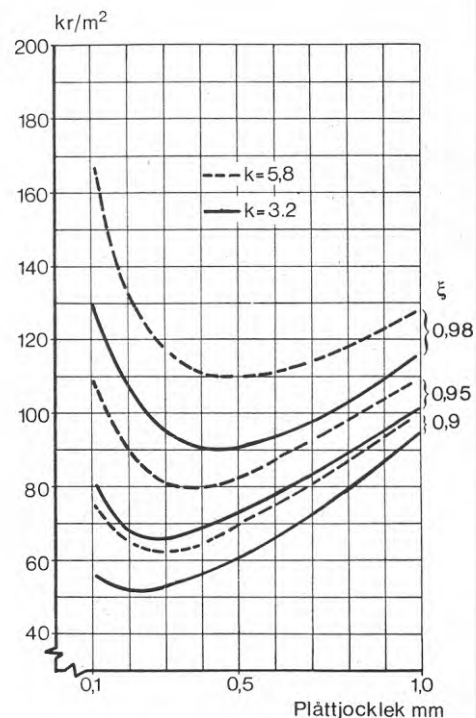


Bild 5/115 Material- och arbetskostnad för absorbator av koppar stigarrör 8 x 0,8, samlingsrör 22 x 1.

Kostnaden för dessa arbetsmoment har uppskattats till ca 20 kr/m² vid serieproduktion av solfångare.

5.15 Övriga kostnader

Kostnaden för material och arbetet är vad som ofta kallas direkta kostnader. Övriga kostnader är indirekta och utgör

- o materialomkostnader, MO, som ska täcka löner hyra, förbrukningsmaterial, reparationer, räntor, avskrivningar med flera kostnader för inköpsavdelning och förrådshantering.
- o tillverkningsomkostnader, TO, som ska täcka löner till tjänstemän på tekniska avdelningar, förmän, reparationspersonal, lokalkostnader, el, verktyg, förbrukningsmaterial, försäkringar, avskrivningar, räntor med flera kostnader som har samband med tillverkningen.
- o försäljningsomkostnader, FO, som ska täcka löner och provisioner till försäljningspersonal, lokalkostnader, reklam, emballage, resor, representation, frakter, kundförluster, avskrivningar, räntor med flera kostnader som berör försäljningen.
- o administrationsomkostnader, AO, som ska täcka löner och arvoden till styrelse, företagsledning, revisorer och redovisningspersonal, lokalkostnader, kontorsmateriel, tele, porto, avskrivningar, räntor med flera kostnader för administration.

Materialomkostnader MO, beräknas ofta genom att ett procentpåslag görs på materialkostnaden.

Tillverkningsomkostnaden TO, beräknas likaledes genom att ett procentpåslag görs på arbetskostnaden. Summernas kostnaderna för direkt material (materialkostnaden), direkt lön (arbetskostnaden), materialomkostnaden och tillverkningsomkostnaden så erhålles tillverkningskostnaden.

Administrations- och försäljningsomkostnaden (AO och FO) sammanförs ofta och beräknas genom ett procentpåslag på tillverkningskostnaden. En uppskattning av försäljningspriset har gjorts i tabell 5-3 för en absorbatoryta av koppar. I tabellen har kostnaden för direkt material fått från bilderna (5/114) och (5/115) och från tabell 5-2 där materialkostnaden för allt utom absorbatorytan fås. Absorbatorytans kostnad för material har fått genom att lägsta kostnaden i bild (5/115) subtraherats med arbetskostnaden för motsvarande plåt-tjocklek. Arbetskostnaden har erhållits direkt från bild (5/114).

Tabell 5-3

	Antal rutor i glasningen							
	1			2				
	flänsverkningsgrad	0,9	0,95	0,98	flänsverkningsgrad	0,9	0,95	0,98
Direkt material DM	123	134	149	141	151	164		
Direkt lön DL	52	57	66	54	60	75		
Materialomkostnads- pålägg MO 20 % på OM	25	27	30	28	30	33		
Tillverkningsomkost- nads- pålägg TO, 90% på DL	47	51	59	49	54	68		
Tillverkningskost- nad	247	269	304	272	295	340		
AO + FO + vinst, 50 % på tillverk- ningskostnader	124	135	152	136	148	170		
Försäljningspris	371	404	456	408	443	510		

Tillverkar man en solfångare i vilken absorbdatorytan ska ha en flänsverkningsgrad som ligger närmare 1 än 0,98 så torde det bli ett lägre pris för en solfångare där glasningen består av två rutor. Orsaken är att glasningens k -värde påverkar absorbdatorytans flänsverkningsgrad.

5.16 Försäljningspris för absorbdatoryta av stålplåt

Materialkostnaden för en absorbdatoryta är billigast då stålplåt användes och därför skall här en uppskattning av försäljningspriset för en solfångare med sådan absorbdator göras. För en absorbdatoryta utförd som en panelradiator kan försäljningspriset erhållas direkt från radiatortillverkare. Försäljningspriset för en färdigmålad radiator, som när den är monterad i en solfångare, har en absorberande ytan av $1 \times 1 \text{ m}^2$ är ca 135 kr/m^2 . Till detta pris måste adderas kostnaden för material och arbete med hölje, glasning, isolering m m. Materialkostnaden för material exklusive absorbdator fås från tabell 5-2 och blir vid en ruta i glasningen ca 81 kr/m^2 och vid två rutor ca 108 kr/m^2 . Arbetskostnaden för hölje, rutor, isolering m m har i ett tidigare avsnitt uppskattats till ca 20 kr/m^2 . Till dessa kostnader måste sedan adderas MO, TO, AO och FO. Resultatet av kostnadsuppskattningen för hölje isolering, rutor m m redovisas i tabell 5-4.

Försäljningspriset på en solfångare med absorbdatoryta av stålplåt (panelradiator) fås genom addition av försäljningspriset angivet i tabell 5-4 och priset för en panelradiator. Man får då vid olika utföranden av glasningen ungefärliga pris

ett glas: 333 kr/m^2
två glas: 387 "

I jämförelse med det pris som fås för en solfångare med absorbdatoryta av koppar så är priset för solfångare med panelradiator ca 100 - 150 kr billigare per m^2 . Jämförelsen bör göras med en absorbdator med flänsverkningsgraden 0,98 eftersom en panelradiator uppnår och även överträffar detta värde.

Tabell 5-4

	Antal rutor i glasningen	
	1	2
Direkt material DM	81	108
Materialomkostnads- påslag MO, 20 % på DM	16	22
Direkt lön DL	20	20
Tillverkningsomkost- nad TO, 90 % på DL	18	18
Tillverkningskostnad	135	168
AO + FO + vinst, 50 % på tillverkningskost- nad	63	84
Försäljningspris	198	252

5.17 Kostnader för cisterner

Lagring av solenergi för värmning av tappvatten sker vanligtvis i ett vattenmagasin. Detta magasin kan, beroende på solfångarsystemets utformning innehålla tappvatten eller värmevatten. Värmevattnet kan vara blandat med någon frysskyddsvätska.

Cisternerna för vattenmagasinen kan utföras som vanliga varmvattenberedare och några vanligt förekommande utföranden är

förrådsberedare	enkelmantlad
"	dubbelmantlad
genomströmningsberedare	

Direkta system utförs med förrådsberedare medan indirekta system kan utföras antingen med dubbelmantlad förrådsberedare eller med genomströmningsberedare. Kostnaden för lagringscisternen utgör en stor del av kostnaden för ett solvärmesystem för tappvarmvattenberedning och i det följande skall en uppskattning av priset per beredarvolym som funktion av volymen göras.

I tabell 5-5 och 5-7 anges riktpriiser för varmvattenberedare som erhållits från tillverkare. De gäller för en fullt färdig varmvattenberedare inklusive isolering och skydd för isoleringen. Beträffande kostnaderna hänvisas också till bild (5/116) I tabellerna anges även priset per volymsenhet. Bild (5/116) ger en uppfattning om priset som funktion av volymen.

Kostnaden per volymsenhet visas i bild (5/116) och av denna framgår att upp till 300 l är förrådsberedare i emaljerat utförande det billigaste alternativet och det näst billigaste är kopparfordrad förrådsberedare. Prisdifferensen mellan en förrådsberedare och en dubbelmantlad förrådsberedare, båda i kopparfordrat utförande, är endast 0,5 - 1 kr/l.

För volymer 500 till 2500 liter är priset ungefär lika för en enkelmantlad förrådsberedare och en genomströmningsberedare medan för större volymer genomströmningsberedare blir det billigaste alternativet. För volymer om ca 20000 liter är priset per liter beredarvolym ca 1,3 kr. Det är rimligt att anta att man för större förrådscisterner kan få ett lägre pris per volymsenhet.

Tabell 5-5

Förrådsberedare, kopparfordrad

Volym	Pris	Pris per volymenhet
l	kr	kr/l
150	1360:-	9
200	1530:-	7,5
300	2045:-	7
400	2410:-	6
500	2445:-	5
700	4050:-	6
900	4780:-	5,5
1200	5660:-	4,5
1500	6220:-	4
3200	16800:-	5
6300	25300:-	4
8000	29150:-	3,5

Tabell 5-6

Förrådsberedare, dubbelmantlad (kopparfordrad)

Volym	Pris	Pris volymenhet
l	kr	kr/l
150	1500:-	10
220	1700:-	7,5
300	2250:-	7,5
500	3250:-	6,5
700	5100:-	7,5
900	6150:-	7
1200	7120:-	6
1500	8250:-	5,5
2000	13500:-	7
3200	20000:-	6,5
5000	29000:-	6
8000	40000:-	5

Tabell 5-7

Genomströmningsberedare med batteri

Volym	Pris	Pris per volymsenhet
l	kr	kr/l
200	2530:-	12,5
320	2800:-	9
530	3180:-	6
800	3900:-	5
1000	4450:-	4,5
1500	6500:-	4,5
2000	6900:-	3,5
3200	8540:-	2,5
6000	13740:-	2,5
10000	20230:-	2
20000	30000:-	1,5

Tabell 5-8

Förrådsberedare emaljerat utförande

Volym	Pris	Pris per volymsenhet
l	kr	kr/l
60	425:-	7
100	470:-	4,5
200	750:-	4,0
300	965:-	3

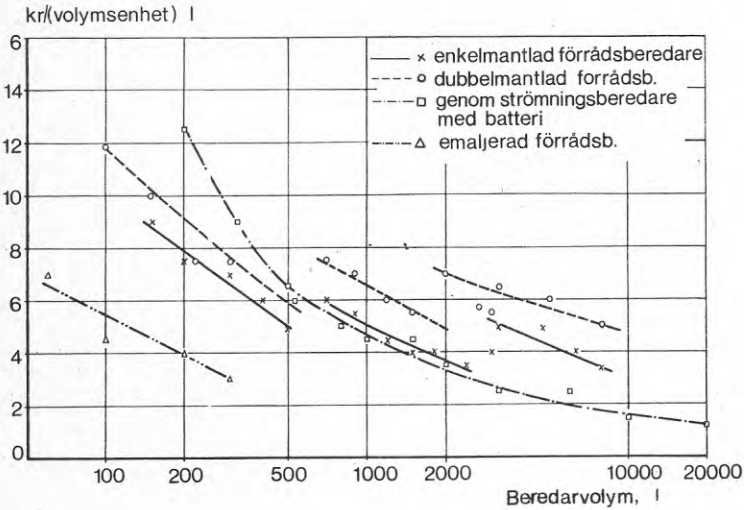


Bild 5/116

Kostnaden K för en förrådsberedare varierar med volymen V enligt

$$K = C \cdot V^{2/3}$$

se de heldragna linjerna. Faktorn C avhänger av konstruktionen och kan bedömmas från bildens data. Med K i kr och V i m^3 får man

Förrådsberedare	C	Relativt
enkelmantlad	5000	1
dubbelmantlad $V < 0,7 m^3$	5000	1
$0,7 < V < 2 m^3$	6500	1,3
$2 < V < 8$	9000	1,8
emaljerad $V \leq 0,3$	2000	0,4

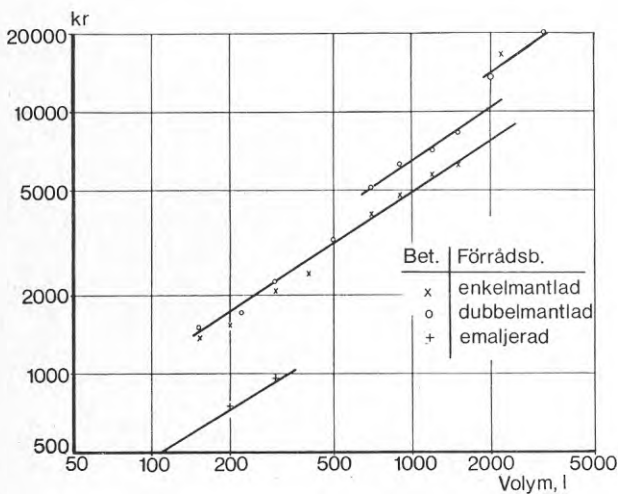


Bild 5/117

Prisrelationen enligt sista kolumnen kan användas för skattningar i det fall exakta prisuppgifter ej står att få.

5.18 Installationskostnader för solvärmeanläggning för värmning av tappvatten med hjälp av solenergi

Det föreligger inga tekniska hinder att tillgodogöra sig solenergi i sådan omfattning att energibehovet för värmning av tappvatten helt täcks i de flesta en- och flerfamiljshus. För en anläggning som byggs för att uppfylla detta krav blir dock installationskostnaden orimligt stor i förhållande till den besparing i kronor för energin som uppnås med dagens energipriser.

Om man ej har som mål att täcka 100 % av det årliga energibehovet för värmning av tappvatten utan under perioder med mulet väder använder tillsattsenergi i en eller annan form så blir installationskostnaden för solvärmeanläggningen naturligtvis lägre. Hur stor installationskostnaden blir och vid vilket energipris det lönar sig att installera en solvärmeanläggning skall uppskattas i det följande. Uppskattningen har gjorts för några olika systemutformningar och utgångspunkten har varit att solvärmeanläggningen, skall anslutas till det konventionella systemet för värmning av tappvatten. Solvärmeinstallationen skall alltså uppfylla krav som ställs i normer för installationer av detta slag.

Förutom kraven i myndigheternas normer så har varje solvärmeinstallation tänkts utformad så, att någon minskning i tillgång på varmvatten ej skall uppstå. Varmvatten skall alltså finnas att tillgå i oförändrad mängd och med samma temperatur som normalt är fallet vid t ex en oljeeldningsanläggning. Detta har medfört att installationer vid kostnadsuppskattningen tänkts utförd med egen cistern för lagring av tappvatten som direkt eller indirekt värmts med hjälp av solenergi. Under perioder med lite solinstrålning t ex vintermånaderna november - januari kan installationen ge ett energitillskott även om det inte räcker för att täcka hela energibehovet för värmning av tappvatten. Man erhåller således ett sorts förvärmningssystem för tappvatten under denna period. Vidare är det troligt att man vid installation av solfångare för tappvattenvärmning i befintliga en- och flerfamiljshus kommer att utforma systemen med separat ackumulatortank.

Systemutformningen - direkt eller indirekt - av solvärmeinstallationen är avgörande för den tid anläggningen kan vara i drift utan att allvarlig risk uppstår för frysning. Upprepade nedtappningar och påfyllningar av system, som ej är avsedda att fungera på sådant sätt annat än i undantagsfall för att förhindra frysning, är ej önskvärda. Start av pump kan användas för att enstaka gånger cirkulera vatten från ackumuleringscisternerna genom systemet för att förhindra frysning, men bör ej normalt användas enär man på detta sätt kan använda mer energi för att förhindra frysning än den energi som samlas in

under samma period. Med ovanstående resonemang som grund har följande inkopplingstider för solvärmeinstallationer ansetts realistiska:

direkt system	1/4 - 30/9
indirekt system utan vattenfrysavätskeblandning	1/4 - 30/9
indirekt system med vattenfrysavätskeblandning	hela året

Den energi som infaller mot en kvadratmeter per dygn finns att tillgå i form av månadsmedelvärden. I tabellerna 5-9 till 5-11 anges månadsmedelvärden för ytor orienterade i olika väderstreck och med olika lutningsvinklar mot horisontalen.

För till exempel en solfångare riktad mot söder infaller mot dess glasruta, beroende på lutningen mot horisontalen, i medeltal per månad ett visst antal Wh/(m².dygn). Den energi som absorberas i solfångarens glasning samt på grund av värmeförluster till omgivningen.

Infallande energi (kWh per år och m²) framgår av tabell 5-12 vilken anger instrålad energi för en yta orienterad mot söder vid olika lutningsvinklar mot horisontalen. Värdena har erhållits genom att månadsmedelvärdena i tabell 5-11 multiplicerats med antalet dagar för respektive månad. Summeringen av månadsvärdena ger instrålad energi för hela året. Tabellen anger vidare värdet för perioden 1/4 - 30/9 samt den nyttiga energin som erhålles per kvadratmeter solfångaryta vid verkningsgraderna 0,4 och 0,5.

En jämförelse av värdena för olika lutningsvinklar ger att största antalet kWh per år infaller mot en yta med 30°lutning mot horisontalen därefter kommer ytor med lutningen 45°, 15° och 60°. Ordningen är oförändrad även om man betraktar tidsperioden 1/4-30/9.

Om man förutsätter att i ett enfamiljshus och en lägenhet i flerfamiljshus användes samma antal kWh för värmning av tappvatten samt att användningen fördelar sig jämt på årets månader (jämför avsnitt 3) så varierar täckningsgraden som funktion av solfångarytan enligt bild (5/118). I bilden anges en kurva för varje månad. Instrålad energi är baserad på värdena i tabell 5-12 och använd energi för värmning av tappvatten har satts till ca 4200 kWh/år för lägenhet respektive villa. Månadsbehovet för tappvattenvärmning blir därvid 350 kWh/(månad och lägenhet). Lutningen för solfångarytan har satts till 60° trots att denna ej är den bästa enligt vad som framgår av tabell 5-12. Bild (5/118) ger vid handen att man uppskattningsvis bör ha ca 6 m² solfångaryta för att täcka energibehovet för värmning av tappvatten till 100 % under maj, juni och juli då solfångarna har en verkningsgrad av 0,4. Under sommarmånaderna är det troligt att solfångarnas verkningsgrad i medeltal kan nå värdet 0,5 till följd av små transmissionsförluster i samband med relativt

Tabell 5-9 Instrålad energi i Wh/(m². dygn), månadsmedelvärde. Väderstreck: Öster och Väster.

Månad	Lutningsvinkel mot horisontalen						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Januari	325	375	350	375	300	250	200
Februari	900	1000	950	975	875	800	625
Mars	2325	2400	2275	2225	2075	1900	1600
April	3725	3625	3500	3350	3100	2725	2300
Maj	4975	4900	4725	4400	3975	3500	2875
Juni	6000	5850	5575	5200	4700	4050	3300
Juli	5325	5200	4950	4575	4125	3625	2925
Augusti	4000	4000	3800	3550	3275	2875	2350
September	2700	2625	2500	2375	2225	2000	1650
Oktober	1250	1225	1225	1200	1125	950	850
November	425	425	425	425	375	325	300
December	225	225	200	200	175	175	150

Tabell 5-10 Instrålad energi i Wh/(m². dygn), månadsmedelvärde. Väderstreck: Sydost och sydväst.

Månad	Lutningsvinkel mot horisontalen						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Januari	325	450	475	550	500	525	500
Februari	900	1175	1325	1425	1450	1350	750
Mars	2325	2725	2900	3050	3000	2725	2375
April	3725	4050	4150	4200	3925	3500	2900
Maj	4975	5225	5225	5000	4575	3950	3100
Juni	6000	6100	5975	5600	5025	4225	3250
Juli	5325	5450	5425	5050	4600	3875	3025
Augusti	4000	4275	4350	3550	4000	3500	2825
September	2700	2950	3125	3175	3050	2750	2400
Oktober	1250	1450	1625	1750	1800	1700	1500
November	425	550	575	650	650	625	550
December	225	275	300	325	325	325	300

Tabell 5-11 Instrålad energi i Wh/(m². dygn), månadsmedelvärde. Väderstreck: söder

Månad	Lutningsvinkel mot horisontalen						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Januari	325	475	550	650	675	700	775
Februari	900	1350	1550	1700	1775	1700	1600
Mars	2325	3000	3250	3500	3450	3250	2825
April	3725	4225	4425	4475	4200	3675	3025
Maj	4975	5375	5400	5150	4650	3850	2900
Juni	6000	6175	6050	5650	4925	3800	2875
Juli	5325	5550	5500	5175	4525	3700	2700
Augusti	4000	4500	4625	4475	4000	3550	2775
September	2700	3125	3450	3525	3450	3150	2725
Oktober	1250	1650	1950	2150	2125	2125	1875
November	425	600	700	825	825	825	800
December	225	300	350	400	400	425	400

hög omgivningstemperatur. I samtliga beräkningar förutsetts att solfångaranläggningen är dimensionerad för att ge 40 - 50°C temperatur på vattnet eller vätskeblandningen som lämnar den.

Av bild (5/118) framgår att energibehovet uppskattningsvis täcks till 100 % under mars och september om solfångarytan är 8 - 9 m² per lägenhet eller enfamiljshus vid verkningsgraden 0,4 hos solfångarna. För verkningsgraden 0,5 blir solfångarytan för att klara hela energibehovet under samma tid ca 7 m². Här bör kanske återigen påpekas att månadsmedelvärden ligger till grund för kurvorna i bild (5/118) och att under klara dagar med hög intensitet hos infallande strålning samt hög utetemperatur kan insamla uppskattningsvis 1,5 gånger vad som fås vid verkningsgraden 0,4 och med månadsmedelvärden på infallande solstrålning som utgångspunkt.

Det är därför nödvändigt att ha en cistern för lagring av solvärt vatten med tillräcklig volym för att insamla så mycket energi som möjligt även vid klara dagar. För månaderna oktober till mars är medelinstrålningen sådan att solfångarytor av storleksordningen minst 2 gånger (för oktober månad se bild (5/118)) de som gäller för sommarmånaderna erfordras för att täcka energibehovet för värmning av tappvatten. Rörledningarna, som transporterar vatten eller vätskeblandning till och från solfångarytor, har för kostnadsuppskattning ansetts vara isolerade med mineralull.

Ledningen i vilken vattnet strömmar till en solfångare behöver ej isoleras eftersom vattnet oftast har en temperatur som är lägre än omgivningens. Detta gäller speciellt för solfångare som är i drift endast under sommarhalvåret och där rörledningarna är förlagda i utrymmen med temperaturer över kallvattentemperaturen (ca 10°C) året om. Då ledningarna är förlagda i lokaler kan kondens på rörledningar uppstå speciellt under sommarmånaderna vilket gör att man isolerar dessa trots att man med isolerad matningsledning till en solfångare skulle få en lägre installationskostnad samt i en del fall tillgodogöra sig mer energi än vad som är fallet vid isolerad ledning. Då rörledningarna är förlagda i lokaler kan man vid isolerad matarledning räkna med att värmning som sker från omgivningen under månader, då inget uppvärmningsbehov för lokalerna ifråga finns, utgör en energivinst.

Kostnaden för lagringscistern svarar för en stor del av den totala installationskostnaden för solvärmesystemet och det är därför väsentligt att denna ej görs för stor. Den bör dock ha en sådan volym att den motsvarar vad som kan värmas upp i solfångarna under en klar dag. Vid uppskattningen av merkostnaden för solvärmedelen i direkta system har räknats med att ca 50 l/(m².dygn) kan värmas från 10 - 50°C under en

Tabell 5-12 Instrålad energi i kWh/(m² · månad) samt i kWh/(m² · år) och nyttig energi vid två verkningsgrader för en solfångare. Väderstreck: söder.

Månad	Lutningsvinkel mot horisontalen						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Januari	10	15	17	20	21	22	24
Februari	25	38	43,5	47,5	50	47,5	45
Mars	72	93	101	108,5	107	101	87,5
April	112	127	133	134	126	110	91
Maj	154	166,5	167,5	159,5	144	119,5	90
Juni	180	185	181,5	169,5	148	114	86
Juli	165	172	170,5	160,5	140	115	84
Augusti	124	139,5	143	139	124	110	86
September	81	94	103,5	106	103,5	94,5	82
Oktober	39	51	60,5	66,5	66	66	58
November	13	18	21	25	25	25	24
December	7	9,5	11	12,5	12,5	13	12,5
Hela året	982	1108,5	1153	1148,5	1067	937,5	770
1/4-30/9 hela året	816	884	899	868,5	785,5	663	519
vid $\eta = 0,4$	393	443,5	461	459,5	427	375	308
$\eta = 0,5$	491	554	576,5	574,5	533	469	385
1/4-30/9 vid							
$\eta = 0,4$	326,5	353,5	359,5	347,5	314	265	207,5
$\eta = 0,5$	408	442	449,5	434,5	393	331,5	259,5

Värdena avser månadsmedelvärden

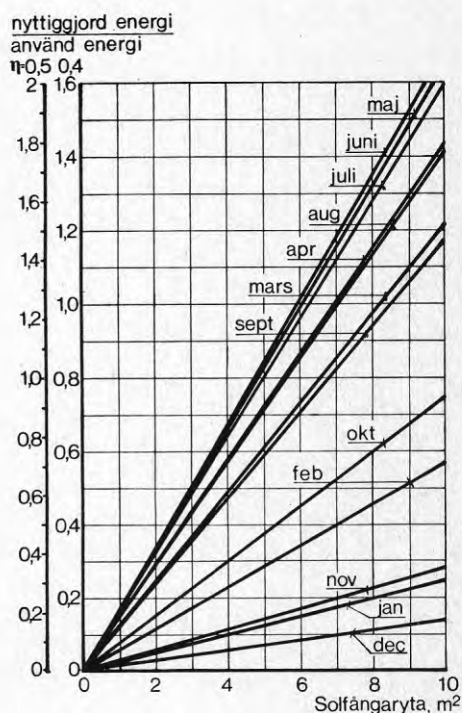


Bild 5/118

relativt klar dag. Vissa dagar med extremt klart väder kan man få ca $75 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{dygn})$. Det har vidare förutsatts att användningen av varmvatten under dygnet är sådan att kallt vatten alltid finns i botten på lagringscisternen för solvärmde vatten. För flerfamiljshus har i det följande räknat med något större volym per kvadratmeter solfångaryta än vid enfamiljshus. Lagringscisternens volym för flerfamiljshuset är beräknad för att kunna lagra 65 och $130 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{dygn})$ vid ungefär samma temperaturhöjning på vattnet. Under perioder med kraftig solstrålning och liten varmvattenanvändning kan man räkna med att temperaturen hos vattenmagasinet kommer att öka över de temperaturer som förutsatts vid bestämningen av lagringscisternens storlek. Solfångarna kommer då att arbeta med en lägre verkningsgrad eftersom de kommer att tillföras varmt vatten varvid förlusterna till omgivningen kommer att öka. Kokningsrisken för systemet måste bedömas från fall till fall men torde från teknisk synpunkt ej vara något problem att bemästra.

I det följande ska såsom redan nämnts merkostnaden för installation av anläggningar avsedda att värma tappvatten med hjälp av solenergi uppskattas. Förutom en uppskattning av installationskostnaden skall även studeras vid vilket energipris det lönar sig att värma tappvatten med solenergi.

De olika system som studerats är

- o direkt system för enfamiljshus
- o indirekt system för enfamiljshus
- o " " " flerfamiljshus

5.19 Direktsystem för värmning av tappvatten i enfamiljshus

De direkta system - system där tappvattnet passerar genom solfångaren vid värmning - har solfångare med absorberare av koppar och kopparrör som cirkulations- nyfyllnings- och avtappningsledningar. Cisternen för lagring av vatten är gjord av stålplåt, vars inneryta emaljerats.

Systemet kan antingen arbeta med självcirkulation eller vatten cirkulerat med hjälp av pump. För självcirkulationssystem gäller att lagringscisternen för solvärmde vatten måste placeras högre än solfångarytan vilket i vissa fall kan vara svårt att åstadkomma. I befintliga hus kan ett självcirkulationssystem bli dyrare än ett med pump på grund av att särskilda åtgärder måste vidtas vid montering av cisternen. I nybyggnationen och då hela utrustningen kan placeras på mark torde dock kostnaden för ett självcirkulationssystem bli lägre eftersom kostnaden för pump och reglerutrustning för start och stopp av pump utgår. Solvärmedelen, för vilken merkostnaden har uppskattats har indelats i följande kostnadsposter

- o solfångare
- o cistern (isolerad)

- o rör, ventiler, isolering
- o pump med reglerutrustning (ej vid själv-cirkulation)
- o arbete

Kostnaden för solfångarna har med stöd av föregående avsnitt satts till 500 kr/m². Cisternens kostnad har hämtats från bild (5/116). Av tabell 5-13 är kostnaden för ett själv-cirkulationssystem. Någon extra kostnad för komplikationer i samband med montering av cisternen har ej medtagits i tabellen.

I tabell 5-14 visas kostnaden för ett direkt system där vattnets cirkulation åstadkommes med en pump. Solfångarna har förutsatts vara gjorda som enheter inkluderande hölje, glasning m m varvid maximal solfångaryta i en enhet har satts till 3 m². Vid större solfångaryta parallellkopplas flera enheter. Av tabellerna framgår även den årliga kostnaden för systemen vid 10 % annuitet. Annuiteten 10 % erhålles vid ca 8 % ränta och en avskrivningstid på 20 år. Vid en familjshus förutsattes att enkel skötsel av solfångar-anläggningen såsom nedtappning av systemet för att det ej ska frysa samt täckning av solfångarnas glasning som skydd mot överhettning då solfångarna är tömda på vatten, utförs av husägaren.

För ett själv-cirkulationssystem får man således ej någon kostnad för drift av systemet. Vid ett system med pump finns energikostnaden för pump. Denna kostnad är i storleksordningen 20 kr/år och torde inte påverka lönsamhetsbedömningen av ett solvärmsystem för tappvatten i någon hög grad. Ej heller har kostnaden för den yta som cistern rör m m upptar medtagits i denna kalkyl.

Bedömningen när ett direkt system är lönsamt har inskränkts till att omfatta ett system med pumpcirkulerat vatten eftersom detta är mer flexibelt och lättare går att installera i befintliga hus. Det är dock högst sannolikt att själv-cirkulationssystem är lönsamma om system med pump är det såvida inte kostnadskrävande åtgärder för cisternens montering måste vidtas.

Av tabell 5-15 framgår nyttiggjord energi som fås för solfångare riktade mot söder vid 60° lutning mot horisoutalen. Energimängderna gäller för verkningsgraden 0,4 respektive 0,5 för solfångarna.

Ett sätt att bedöma vid vilket energipris och vid vilken solfångaryta det blir lönsamt att värma tappvatten med hjälp av solenergi visas i bild (5/119) och (5/120). Där återges kvoten grafiskt mellan värdet av nyttiggjord energi och den årliga kapitalkostnaden vid 8 och 10 % annuitet, som funktion av solfångarytan i kvadratmeter. Bilderna gäller för verkningsgraderna 0,4 respektive 0,5. Då kvoten 1 uppnås innebär således det att värdet i kronor räknat av nyttiggjord energi är lika stor som kapitalkostnaden för

Tabell 5-13 Installationskostnad för direkt system, själv-cirkulation.

Solfångaryta m ²	2	3	4	5	6	7	8
Kostnads-post							
Solfångare	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
cistern, (50 l/m ²)	450	675	800	850	900	1050	1200
(75 ")	675	850	900	1125	1350	1575	1800
rör, ventiler, isolering	500	500	560	620	620	700	700
arbete	800	800	800	850	850	900	900
Installationskostnad vid cistern för							
50 l/m ²	2750	3475	4160	4820	5370	6150	6800
75 " "	2975	3650	4260	5095	5820	6675	7400
Avskrivning per år vid 10 % annuitet vid cistern för							
50 l/m ²	275	348	416	482	537	615	680
75 " "	298	365	426	510	582	668	740

Tabell 5-14 Installationskostnad för direkt system, pump.

Solfångaryta m ²	2	3	4	5	6	7	8
Kostnads-post							
Solfångare	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Cistern (50 l/m ²)	450	675	800	850	900	1050	1200
75 " "	675	850	900	1125	1350	1575	1800
rör, ventiler, isolering	500	500	560	620	620	700	700
arbete	800	800	800	850	850	900	900
pump	400	400	400	400	400	400	400
Installationskostnad vid cistern för							
50 l/m ²	3150	3875	4560	5220	5770	6550	7200
75 " "	3375	4050	4660	5495	6220	7075	7800
Avskrivning per år vid 10 % annuitet vid cistern för							
50 l/m ²	315	388	456	522	577	655	720
75 " "	338	405	466	550	622	708	780

anläggningen ifråga vid den använda annuiteten. Kvoter under 1 innebär att investeringen inte är lönsam och över 1 att man får tillbaka mer än vad man satsar i kronor räknat.

Av bild (5/119) som gäller för en verkningsgrad på 0,4 för solfångarna, framgår att värmning av tappvatten med solenergi blir lönsam först vid ett energipris av 0,3 kr/kWh och för en solfångaryta på ca 7 m² vid en cistern dimensionerad för 50 l/(m².solfångaryta) om en annuitet för avskrivning av installationskostnaden på 10 % användes. Vid 8 % annuitet ligger gränsen för lönsamhet vid ett energipris på 0,25 kr/kWh och en solfångaryta av ca 6 m² då cisternen dimensionerats efter 50 l/(m².solfångaryta) och ca 8 m² då 75 l/(m².solfångaryta) valts.

Om den med solfångarinstallationen nyttiggjorda energi ökas med 25 % det vill säga om solfångarna kan anses vara så effektiva att en verkningsgrad på 0,5 uppnås så erhålles resultatet som bild (5/120) visar. Lönsamhet dvs kvoten 1 fås här vid ett energipris på 0,25 kr/kWh då annuiteten 10 % användes och för en solfångaryta på ca 6 m² då cisternen är dimensionerad för 50 l/(m².solfångaryta). Vid 75 l/(m².solfångaryta) fås lönsamhet för ca 8 m² solfångaryta vid samma energipris. Annuiteten 8 % ger att energipriset 0,20 kr/kWh ger lönsamhet vid solfångarytor på 6 respektive 8 kvadratmeter gällande för dimensionerande cisternvolymen 50 respektive 75 l/(m² solfångaryta).

5.20 Indirekt system för värmning av tappvatten i enfamiljshus

Det omdirekta systemet har vid uppskattningen av installationskostnaden förutsatts ha solfångare med absorberare av stålplåt utförda som panelradiatorer till en kostnad av 400 kr/m². Rörledningarna i solfångarkretsen är utförda av stål och av samma sort som användes i konventionella värmeledningssystem. Anslutningsledningarna som transporterar tappvatten mellan lagringscisternen för solvärmning och den konventionella varmvattenberedaren är utförda av koppar. Alla ledningar i installationen är isolerade med mineralull. Cisternen för lagring av tappvatten är utförd som en konventionellt dubbelmantlad varmvattenberedare av förrådstyp och isolerad med mineralull. Den del av vattenmagasinet som kommer i kontakt med tappvattnet är kopparfordrad.

Systemet kan utformas dels för självcirkulation och dels för pumpcirkulerat vatten eller vatten blandat med frysskyddsvätska. Om systemet utförs utan att någon frysskyddsvätska blandas med vatten så måste systemet tappas ned vintertid. Åtgärder måste då vidtas för att skydda systemet mot korrosion. Luft, som kommer in i systemet vid nedtappning påskyndar korrosionen. En tänkbar lösning är att samtidigt som nedtappningen sker fylla systemet med kvävgas. Någon

Tabell 5-15 Nyttiggjord energi i kWh under tiden 1/4 - 30/9 för solfångare riktade mot söder, 60° lutning.

Solfångaryta m ²	Verkningsgrad						
	2 m ²	3 m ²	4 m ²	5 m ²	6 m ²	7 m ²	8 m ²
0,4	628	942	1256	1570	1884	2190	2512
0,5	786	1179	1572	1965	2358	2751	3144

Tabell 5-19 Installationskostnad för ett indirekt system, dubbelmantlad cistern, självcirkulation.

Solfångaryta m ²	Kostnads-post						
	2	3	4	5	6	7	8
Solfångare	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200
Cistern 50 l/m ²	1200	1500	1850	2075	2250	2525	2700
75 "	1500	1975	2250	2625	2800	3025	3150
rör, ventiler, isolering	650	650	750	750	750	850	850
arbete	800	800	800	850	850	900	900

Instal-lations-kostnad vid cistern för	Avskrivning per år vid 10 % annuitet vid cistern för						
	50 l/m ²	75 "	50 l/m ²	75 "	50 l/m ²	75 "	50 l/m ²
50 l/m ²	3600	4320	5190	5895	6505	7355	7940
75 "	3990	4805	5650	6465	7080	7895	8430
50 l/m ²	360	432	519	590	651	736	794
75 "	391	481	565	647	708	790	843

sådan lösning har ej studerats vad gäller installationskostnad och lönsamhet i det följande utan utgångspunkten har varit att systemet solfångarkrets försetts med en blandning av vatten och glykol i lika proportioner som skydd mot frysning. Med ett sådant utförande kan anläggningen vara i drift hela året och man kommer ifrån skyddsåtgärder såsom täckning av solfångarnas glasning i samband med nedtappning av systemet. Täckning av glasningen bör i annat fall göras så att inte de vätsketomma solfångarna i onödan utsätts för höga temperaturer.

I tabellerna 5-19 och 5-20 visas installationskostnaden för ett system för själv-cirkulation respektive för pump-cirkulation. Samma resonemang som fördes vad gällde skillnader i kostnad mellan system för själv-cirkulation och pump-cirkulation vid direkta system kan föras även för indirekta system. Priset för glykol ingår i tabellerna med 4 kr/kg.

Av tabell 5-21 framgår hur många kWh nyttiggjord energi som fås för solfångare riktade mot söder vid 60° lutning mot horisontalen. Antalet kWh gäller för verkningsgraden 0,4 respektive 0,5 för solfångarna. Av tabell 5-21 framgår att man vid de större solfångarytorerna kan insamla en energimängd som är av det årliga varmvattenbehovets storlek. Det tyder på överkapacitet under sommarhalvåret med risk för att verkningsgrader lägre än de som tabellen är beräknad efter uppstår. I de beräkningar som här gjorts har ej någon hänsyn tagits till att man vid mycket soliga perioder kan stänga av den konventionella varmvattenberedaren och därvid öka lagringsvolymen för solvärt vatten med, grovt räknat, 100 %.

Bild(5/121), som gäller för en medelårsverkningsgrad för solfångarna på 0,4, ger vid handen att lönsamhet fås vid annuitet 10 % för ett energipris på 0,25 kr/kWh och vid 7 m² solfångaryta då cisternen dimensioneras för en volym motsvarande 50 l/(m² solfångaryta). Vid 75 l/(m² solfångaryta) erhålles lönsamhet för samma energipris vid en solfångaryta något större än 8 m². Om man genom fördelaktiga lån kan erhålla annuitet på 3 % så ger ett energipris på 0,20 kr/kWh lönsamhet vid solfångarytor på ca 7 - 8 m².

Bild(5/122), som gäller för en årsmedelverkningsgrad av 0,5, ger även den ett energipris på 0,25 kr/kWh för lönsamhet vid annuitet 10 % men solfångarytan blir något mindre ca 5 - 6 m². En annuitet på 8 % ger lönsamhet för energipriset 0,20 kr/kWh vid 5 - 6 m² solfångaryta. En jämförelse av direkta och indirekta system ger med de värden som används på årsmedelverkningsgraden för solfångarna att de indirekta systemen för året runt drift ger lönsamhet för ett lägre energipris och mindre solfångarytor än det direkta. I dessa beräkningar har ej tagits hänsyn till vad installationernas restvärden kan vara då de skrotas. Likaledes har livslängden satts lika. Här kan påstås att ett

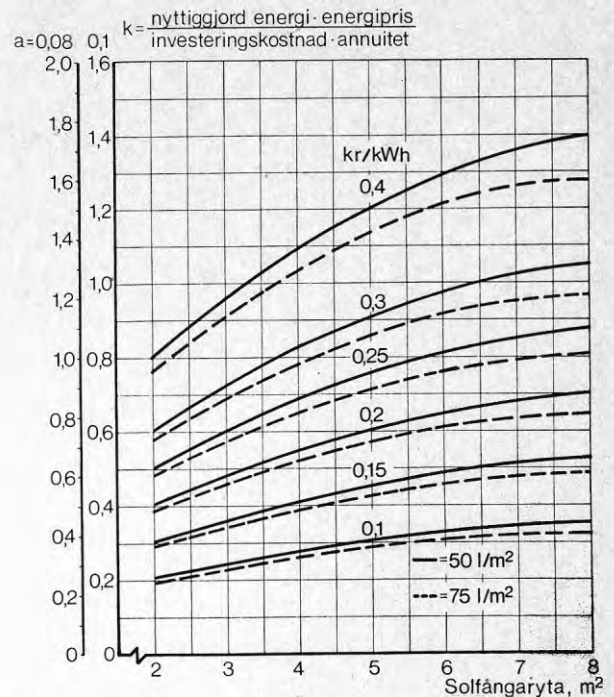


Bild 5/119 Direkt system med pump-cirkulation för enfamiljshus vid solfångaryta riktad åt söder och lutning 60° mot horisontalen. Driftstid 1/4 - 30/9. Medelverkningsgrad för solfångaren = 0,4

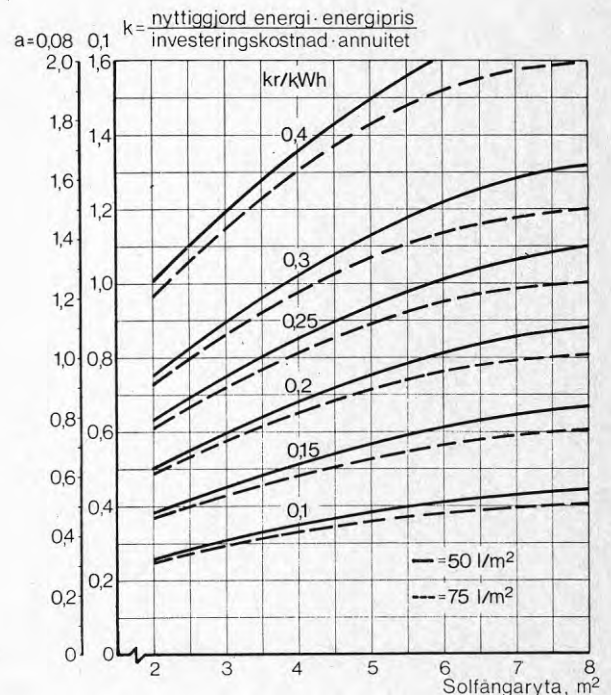


Bild 5/120 Direkt system med pump-cirkulation för enfamiljshus vid solfångaryta riktad mot söder och lutning 60° mot horisontalen. Driftstid 1/4 - 30/9. Medelverkningsgrad för solfångaren = 0,5

Tabell 5-20 Installationskostnad för ett indirekt system, dubbelmantlad cistern, pumpcirkulation.

Solfångaryta m ²							
Kostnads- post	2	3	4	5	6	7	8
Solfång- are	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200
Cistern, 50 l/m ²	1200	1500	1850	2075	2250	2525	2700
75 "	1500	1975	2250	2625	2800	3025	3150
rör, ven- tiler, isolering	600	600	700	700	700	800	800
pump	400	400	400	400	400	400	400
arbete	800	800	800	850	850	900	900
Glykol (50/50) vid ci- stern för							
50 l/m ²	150	170	190	220	255	280	290
75 "	160	180	200	240	280	320	330
Installations- kostnad vid ci- stern för							
50 l/m ²	3950	4670	5540	6425	6855	7705	8210
75 "	4260	5155	5950	6715	7430	8245	8780
Avskriv- ning per år vid 10 % annuitet vid ci- stern för							
50 l/m ²	395	467	554	625	686	771	821
75 "	426	516	595	672	743	825	878

Tabell 5-21 Nyttiggjord energi i kWh under hela året för solfångare riktad mot söder, 60° lutning.

Solfångarytan m ²							
Verknings- grad	2	3	4	5	6	7	8
0,4	854	1281	1708	2135	2562	2989	3416
0,5	1066	1599	2132	2665	3198	3731	4264

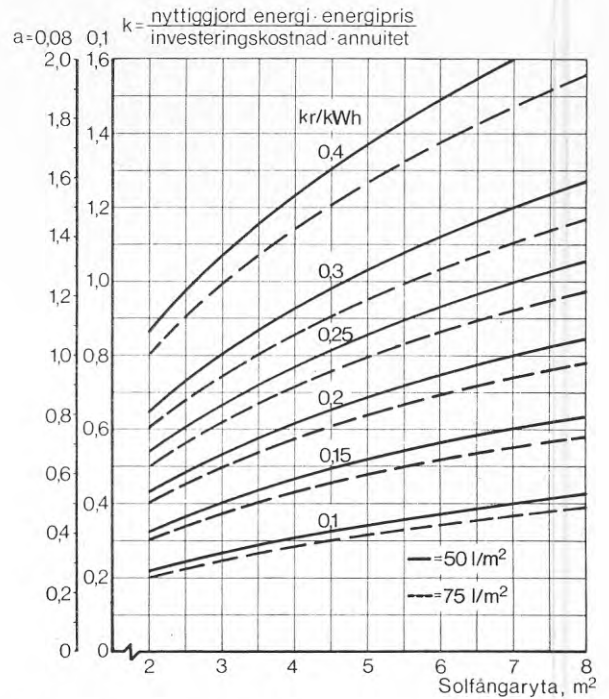


Bild 5/121 Indirekt system med pumpcirkulation för enfamiljshus vid solfångaryta riktad mot söder och lutning 60° mot horisontalen. Driftstid hela året. Medelverkningsgrad för solfångaren = 0,4

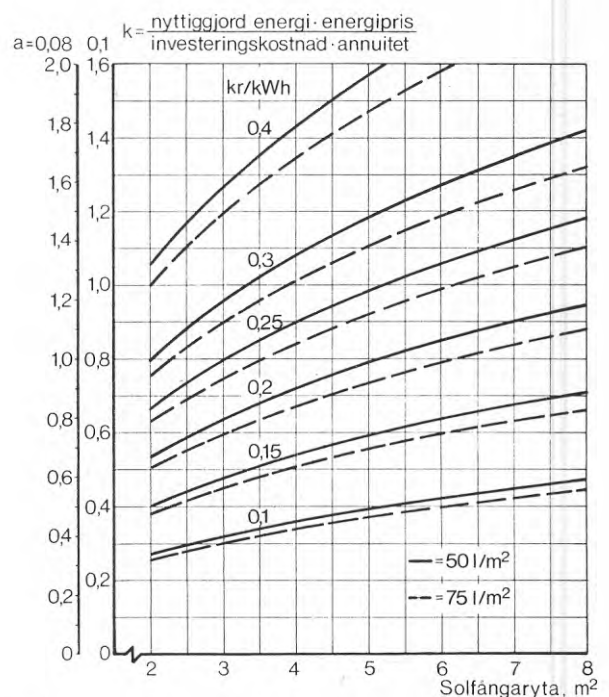


Bild 5/122 Indirekt system med pumpcirkulation för enfamiljshus vid solfångaryta riktad mot söder och lutning 60° mot horisontalen. Driftstid hela året. Medelverkningsgrad för solfångaren = 0,5

direkt system med material av koppar i absorbatör och rörledningar säkert har en längre livslängd än ett indirekt systems stålkomponenter. Vidare är den ekonomiska livslängden ej detsamma som den tekniska livslängden för ett system. Den tekniska livslängden måste med nödvändighet vara minst lika lång som den ekonomiska.

5.21 Utföranden som kan ge lönsamhet vid lägre energipris för enfamiljshus

Cisternen för lagring av varmt vatten utgör ca 30 % av installationskostnaden för solvärmeanläggningen. Om man genom att utnyttja varmvattenberedaren, som finns i det konventionella systemet för värmning av tappvatten, så skulle lönsamhet fås vid lägre energipris. Som ett exempel skall här väljas ett enfamiljshus med förrådsberedare inbyggd i en panna för oljeeldning. Solvärmsystemet förutsättes utfört som ett direkt system arbetande under perioden 1/4 - 30/9. Det förutsättes vidare att oljepannan normalt är avstängd under den period som solfångarsystemet är i drift och sätts på bara då det är mulet väder och varmvattenberedarens förråd ca 200 - 300 l tömt på varmvatten. Varmvattnet som värms med tillsattsenergi under sådana perioder måste användas innan nästa soliga period inträder. Beredaren ska således vara oladdad dvs innehålla kallt vatten varje morgon så att vatten med en temperatur av ca 10°C tillförs solfångarna. Med dessa förutsättningar kan på samma sätt som i t ex bild 5/121 kvoten mellan nyttiggjord energi multiplicerat med energipriset och den årliga kapitalkostnaden vid 8 och 10 % annuitet återges grafiskt, vilket gjorts i bilden 5/123. Det ovan diskuterade utförandet vilket förutsätter utnyttjande av inbyggda förrådsberedare i oljepanna skulle endast innebära en obetydlig minskning av komforten. Man skulle således vid mulet väder bli tvungen att starta sin oljepanna ca en halvtimme innan man planerar att duscha, bada eller diska. Vid system där den konventionella varmvattenvärmningen sker med hjälp av elenergi kan samma lösning som vid oljeeldad panna användas men oftast torde man få större inskränkning i komforten vad gäller varmvatten ty effekten hos elvarmvattenberedare är sådan att det tar storleksordningen några timmar innan temperaturen på vattnet i ett magasin på 300 l höjts från 10 till 40°C.

Även vid fritidshus, där varmvattenberedningen mestadels sker med hjälp av elenergi, torde en lösning i stil med den ovan beskrivna kunna gå att använda. Av bild 5/123 framgår att lönsamhet (dvs kvoten blir 1 eller större) fås för annuiteten 0,1 vid ett energipris på 0,2 kr/kWh vid en verkningsgrad av 0,5 och solfångarytan 7 m². Om medelverkningsgraden för solfångarna är 0,4 fås lönsamhet för annuiteten 0,1 vid ett energipris av 0,25 kr/kWh och vid solfångarytan 7 m². För annuiteten 0,08 fås lönsamhet vid verkningsgraden 0,5 om energipriset är 0,15 kr/kWh och solfångaryta något större än 8 m². Vid verkningsgraden 0,4 fås lönsamhet vid energipriset 0,20 kr/kWh och 7 m² solfångaryta.

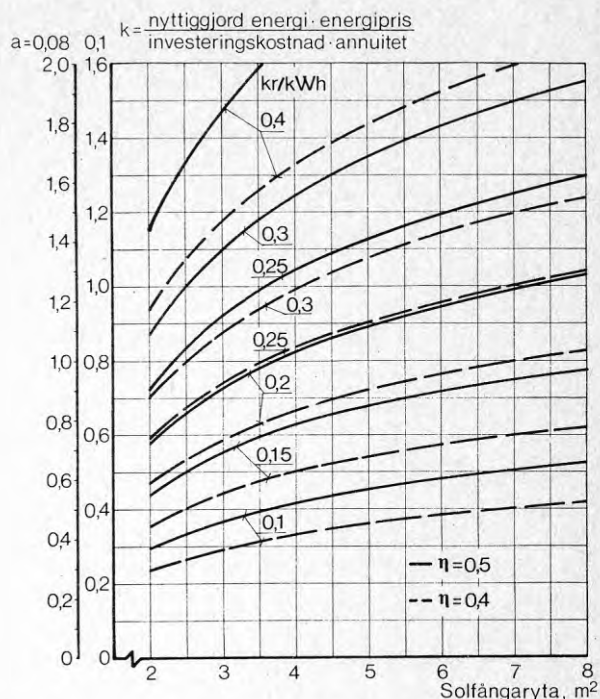


Bild 5/123 Direkt system med pumpcirkulation för enfamiljshus vid solfångaryta riktad mot söder och 60° lutning mot horisontalen. Driftstid 1/4 - 30/9. Medelverkningsgrad för solfångaren = 0,4 och 0,5. Befintlig beredare användes.

En jämförelse mellan direkta system med separat lagringscistern för solvärmvattnet och sådana där befintlig varmvattenberedare användes ger vid handen att lönsamhet som väntat fås för ett lägre energipris då befintlig varmvattenberedare användes. Differensen är ca 0,05 kr/kWh.

5.22 Indirekt system för flerfamiljshus

För att få en uppfattning om installationskostnaden och lönsamheten vid system för flerfamiljshus har som utgångspunkt valts ett hus på 50 lägenheter. Systemet som studerats har antagits vara utfört som ett indirekt system. Solfångarna har förutsatts vara gjorda med absorberingsytor av stålplåt. Kostnaden per kvadratmeter solfångaryta har satts till 400 kr/m². Cirkulationsledningar är av stålrör lika de som användes i vanliga värmeledningssystem. Systemet har utförts för att vara i drift hela året. En vatten-glykolblandning i lika proportioner användes som värmeupptagande medium i cirkulationskretsen. Lagringscisternen för vätska är utförd som en konventionell genomströmningsberedare med batteri av kopparrör i vilket värmeväxling mellan vatten-glykolblandningen och tappvattnet sker. Vatten-glykolblandningen cirkuleras runt i systemet med hjälp av en pump.

Lagringscisternens volym har dimensionerats för dels 65 l/m² solfångaryta) och dels 130 l/(m² solfångaryta). Dimensionerande värdet för cisternens volym har vid detta system valts något större än det som användes för enfamiljshus. Skälet till att ett större dimensionerande värde valts i detta fall är att hänföra till cisternstypen.

I tabell 5-22 ges en uppskattning av installationskostnaden för ett flerfamiljshus med 50 lägenheter. Av tabellen framgår att kostnaden för glykol i detta system är av samma storleksordning som kostnaden för cistern. En modifiering av systemet skulle medföra att kostnaden för glykol insparas, men istället tillkommer en kostnad för installation av reglersystem, som vid frysrisk tappar ur solfångarna och ledningar, som annars befaras bli utsatta för frysning. Kvävgas påfyller i ledningar och solfångare så att korrosionen motverkas i största möjliga utsträckning.

I bilden 5/124 - 5/125 återges grafiskt kvoten mellan värdet av nyttiggjord energi och den årliga kapitalkostnaden för ett system med vatten-glykolblandning. Verkningsgraden som bilderna är uppgjorda efter är 0,4 respektive 0,5.

Av bild 5/124 framgår att lönsamhet fås vid medelverkningsgraden 0,4 vid ett energipris av 0,20-0,25 kr/kWh vid annuiteten 10 %. Det högre priset gäller för cisterner med volymen 130 l per kvadratmeter solfångaryta. Enligt bilden erhålles lönsamhet vid

Tabell 5-22 Installationskostnad för ett indirekt system i flerfamiljshus 50 lgh med pumpcirkulation och värmeväxlare av batterityp.

Solfångaryta m ²	Kostnads-post							
	50	100	150	200	250	300	350	400
Solfångare	20000	110000	60000	80000	100000	120000	140000	160000
Cistern 65 l/m ²	8600	12350	15100	18200	20300	24400	27300	31200
130 "	12350	18200	23400	31200	39000	46000	54600	62400
rör, ventiler isolering	9000	12900	16800	20700	24600	28500	32400	36300
Pump + reglering	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
arbete	5700	8700	11700	14700	17700	20700	23700	26700
glykol 50/50 vid cistern								
65 l/m ²	7000	13800	15500	20600	25700	31200	36300	41500
130 "	13500	20100	30100	40100	50000	60500	70500	80400
Installationskostnad vid cistern för								
65 l/m ²	53500	90700	122100	157200	191300	227800	262700	298700
130 "	63500	102900	145000	189700	234300	279500	324000	368800
Avskrivning per år vid 10 % annuitet vid cistern								
65 l/m ²	5330	9070	12210	15720	19130	22780	26270	29870
130 "	6350	10290	14500	18970	23430	27950	32400	36880

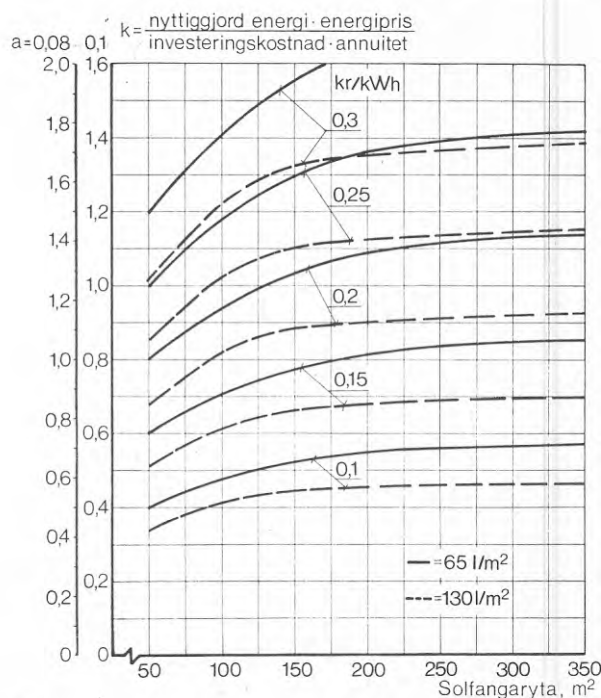


Bild 5/124 Indirekt system med genomströmningsberedare för flerfamiljshus (50 lgh) med glykol-vattenblandning (50% glykol och 50% vatten). Pump användes för att cirkulera vätskeblandningen. Solfångaren är i drift hela året och riktad mot söder med en lutning av 60° mot horisontalen. Medelverkningsgraden för solfångaren = 0,4.

energipriset 0,20 kr/kWh och 65 l/(m² solfångaryta) för en solfångaryta på 125 m². Detta gäller vid annuiteten 10 %. För 8 % annuitet fås lönsamhet redan vid 0,15 kr/kWh och solfångaryta 175 m².

Bild 5/125 som gäller för medelårsverkningsgraden 0,5, visar att lönsamhet i detta fall fås vid ett energipris på ca 0,15 - 0,20 kr/kWh om annuiteten 10% använts för att beräkna den årliga kapitalkostnaden för installationen. Vid 8 % annuitet fås lönsamhet vid ett energipris på 0,15 kr/kWh oberoende av vilket värde 65 eller 130 l/m² solfångaryta som cisternen dimensionerats för.

Av kurvorna i bilderna 5/124 och 5/125 att döma synes kvoten vid solfångarytor över 200 m² för det fall som studerats bli ungefär konstant, varför större yta än ca 200 m² verkar vara oomöjlig. En solfångaryta på 200 m² är i detta fall lika med 4 m² per lägenhet. Enligt bild 5/118 skulle vid medelverkningsgraden 0,4 ca 45 - 70 % av energibehovet för värmning av tappvatten täckas med hjälp av solenergi under månaderna mars till och med september. Vid verkningsgraden 0,5 täckes 60 - 90 % av behovet.

5.23 Omständigheter av betydelse vid installation av solvärmeanläggningar

I det föregående har lönsamhetsbedömningen av installationer för värmning av tappvatten med hjälp av solenergi gjorts med utgångspunkt från kostnadsläget i december 1976. Inflationen gör att kostnaderna kommer att stiga för varje år som går. En intressant frågeställning är om energipriset kommer att öka snabbare än inflationen. I sådant fall kommer installationer som utnyttjar solenergi att bli intressanter från lönsamhetssynpunkt i framtiden än vad de är idag. Det är dock inte helt ointressant att installera solvärmeanläggningar för tappvatten i dag. Installationer som görs idag kommer ju att vara i drift för lång tid framåt och energipriset kommer med all säkerhet att öka år från år. I alla fall tyder utvecklingen idag, december 1976, på det. En anläggning som idag inte är lönsam kan inom några år vara det, på grund av ändrade energipriser. I bild 5/126 visas ändringen av energipriset som funktion av antalet år och med den årliga procentuella energiprisökningen som parameter. Energipriset idag (december 1976) är olika beroende på vilken uppvärmningsform som användes. I tabell 5-23 anges energipriset vid olika uppvärmningssätt.

Av bild 5/126 framgår att en fördubbling av energipriset (1,0 på (y-axeln) fås vid 15 % årlig energiprisökning efter 5 år. Vid 10 % sker en fördubbling efter 7 - 8 år. En 5 % årlig energiprisökning ger att en fördubbling av priset sker på ca 14 år. Med de senaste årens ökning av priset för energi i gott minne torde man kunna påstå att det är sannolikare med ökning på 10 % än på 5 % för energipriset.

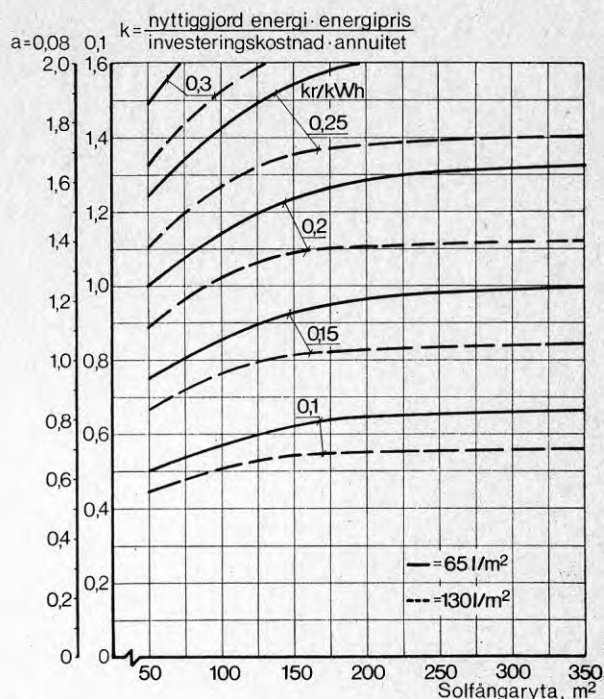


Bild 5/125 Indirekt system med genomströmningsberedare för flerfamiljshus (50lgh) med glykol-vattenblandning (50% glykol och 50% vatten).

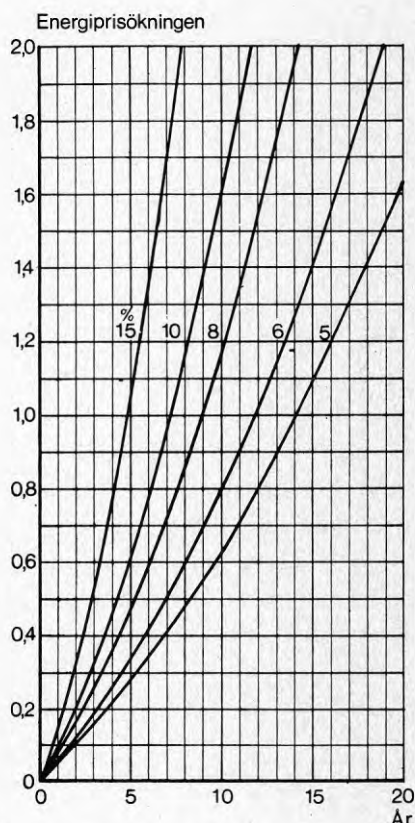


Bild 5/126 Energiprisändringen som funktion av antalet år och med energiprisökningen per år i procent som parameter.

Tabell 5-23 Ungefärliga energipriser vid olika uppvärmningssätt i december 1976.

	kr/kWh	Anm.
Elenergi	0,13	Effekttaxa ej inkluderad
Fjärrvärme	0,08	Inklusive distribution och fast avgift.
Egen panna	0,095-0,08	Pannverkningsgrad 0,6 - 0,7 vid 600 kr/m ³

6 LITTERATUR

- Ahlqvist, D: Värmeöverföring, värmeomgång, fukt och fuktvandring. WMB skriftserie 2(1963)No 2.
- Ahlqvist, D: Isoleringstekniska grunder. WMB skriftserie 3(1964)No 1.
- Bliss, R: The derivations of several "plate-efficiency factors" useful in the design of flat-plate solar collectors. Solar Energy, 3(1959)No 1 p 55
- Brown, G & Isfält, E: Solinstrålning och solavskärmning. Byggeforskningsrapport R19:1974.
- Bäckström, M: Kylteknikern (1970)
- Close, D: The performance of solar water heaters with natural circulation. Solar Energy 6(1962), No 1, p 33.
- D'ans, J & Lax, E: Taschenbuch für Chemiker und Physiker. Springer-Verlag (1949)
- Dirke, L: Varmvattenförbrukning i lägenheter med och utan varmvattentätmätare. VVS(1960) Nov. och Dec.
- Duffie, JA: Report of working group on materials and components for flat-plate collectors. Proceedings of the workshop on solar collectors for heating and cooling of buildings, (1974)
- Edwards, K.D.: Spectral and directional thermal radiation characteristics of selective surfaces for solar collectors. Solar Energy, 6(1962)No 1, p 1
- Farber, E.A.: Selective surfaces and solar absorbers. Solar Energy, 3(1959)No 2, p 9
- Freier, R: Kesselspeiwasser-Kühlwasser Technologie Betriebsanalyse, 2:a uppl. Walter de Gruyter & Co, Berlin 1963.
- Garg, H: Effect of dirt on transparent covers in flat plate solar energy collectors. Solar Energy 15(1974), No 4, p 299.
- Gubareff, G: et al Thermal radiation properties survey. Honeywell Research Center Minneapolis-Honeywell Regulator Company. Minneapolis, Minnesota, 1960.
- Hesse, W Grundlagen der Meteorologie für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwirtschaft. Akad. Verl. Gust. & Portig, Leipzig (1966).
- Hultman, B: Vårt behov av vatten. VVS 12(1974).
- Hottel, H.C. & Unger T.A.: The properties of a copper oxide-aluminium selective black surface absorber of solar energy. Solar Energy, 3(1959)No 3, p 10
- Hottel, H.C. & Woertz, B.B.: The performance of flat-plate solar-heat collectors. A.S.M.E Transactions, 64 (1942) p. 91.
- Höjerdahl, P: Konstruktion och provning av en solfångare. Tekniska Meddelanden 3(1975)No 58
- Irvine, T.F. et al: Solar collector surfaces with wavelength selective radiation characteristics. Solar Energy, 2(1958) p 12.
- Knutsson, L. Mattsson, E & Ramberg, B-E: Erosionskorrosion i vattenledningar av kopparrör. Byggeforskningsrapport R23:1971
- Kreider, J.F & Kreith, F: Solar Heating and Cooling. Scripta book company, Washington 1975.

- Klebert, C: Vattenbesparande åtgärder i bostadshus. VVS 45(1974)No 12, p 24
- Koltun, M.M: Selective surfaces and coatings for solar technology. Geliotekhnika 7(1971)No 5
- Koltun, M.M: Selective coatings with variable ratio α_g/ϵ of the integral optical coefficients. Geliotekhnika 8(1972)No 5
- Kudryashova, M.D: New selective coatings for collector surfaces of solar plants. Geliotekhnika, 5(1969)No 4
- Landolt-Börnstein Springer-Verlag, Berlin 1950
- Lumb, F.E: The influence of cloud on hourly amounts of total solar radiation at the sea surface. Roy.Met.Soc. Q.J. 90(1964) p. 383
- Lunelund, H: Records of solar radiation in Helsingfors. Finska Vetenskaps-soc., Helsingfors. Commentationes Physico-Mathematicae, 7(1933).
- Lunelund, H: Värmestrålning och ljusstrålning i Finland. Acta 12, Svenska Tekniska Vetenskapsakademien, Finland - Helsingfors (1936).
- Mc Donald, G.E: Spectral reflectance properties of black chrome for use as a solar selective coating. Solar Energy 17(1975)No 2 p. 119-122
- Mc Donald, D.E: Spectral reflectance properties of black chrome for use as a solar selective coating. Solar Energy 17(1975) p 119
- Norris, D.J.: Correlation of solar radiation with clouds. Solar Energy 12(1968) p. 107
- Page, J: The Estimation of monthly mean values of Daily Total shortwave radiation on vertical and inclined surfaces from Sunshine Records for latitudes $40^{\circ}\text{N} - 40^{\circ}\text{S}$. Port. of UN conf. on New Source of Energy 4(1964) p. 378
- Persson, R: Värmeabsorberande och värme-reflekterande glas. VVS (1966) No 2
- Persson, W: Vindhastighetens dagliga gång vid några svenska stationer. Statens Meteor.-Hydr. Anstalt Meddelanden. Serien uppsatser nr 6(1936) Stockholm.
- Peterson, F: Kompendium I:1 i Uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH 1976.
- Peterson, F: Kompendium I:4 i Uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH 1976.
- Peterson, F: Sottalsmätning. VVS 40(1969) No. 10.
- Rydberg, J: Luftblåsors rörelse i vattenfyllda rörledningar. VVS förhandlingsbok 1951.
- Sachs, P: Wind Forces in Engineering. Pergamon Press, Oxford (1972).
- Sharma, M.R. et al Solar radiation in the tropics. Solar Energy 9(1965), p 183
- Sjöberg, N: Cellplast av polystyren. WMB skriftserie 2(1963)No 1
- Sjöberg, N et al: Isoleringsskork. WMB skriftserie 2(1963)No 3
- Sjöberg, N: Isolering med uretanskumplast. WMB skriftserie 1.(1962)No 2
- Svensson, G: Dygnsbehovet av tappvarmvatten. Byggeforskningsrapport R57:1973.
- Tabor, H: Solar Collector Developments in Israel. Solar Energy 3(1959) p 8.
- Tabor, H: Selective radiation. I Wavelength discrimination. Bull. Res. Council. of Israel 5A (1956) p 119
- Tabor, H: Selective radiation II Wavelength discrimination Bull. Res. Council. of Israel 5A (1956) p 129

- Taesler R: Klimatdata för Sverige
Stockholm 1972.
- Whillier, A: Thermal Resistance of the
Tube-Plate. Bond in Solar
Heat Collectors.
Solar Energy 8(1964)No 3 p 95
- Whillier, A: Plastic covers for solar
collectors.
Solar Energy 7(1963)No 3 p 148
- Whillier, A: The Thermal Performance of
Solar Water Heaters.
Solar Energy 9(1965)No 1, p 21
- Yellott, J.I: Utilization of sun and sky
radiation for heating and
cooling of buildings.
ASHRAE journal (1973) dec.
- Ångström, A: Solar and terrestrial radiation.
Quart. J. Roy. Met.Soc. 50(1924)
p 121
- Energiberedskap för kristid.
SOU 1975:61, Stockholm 1975.
- International Critical Tables.
McGraw Hill, New York 1927.
- Rockwool Isolerhandbok.
Rockwool AB, Västergötlands
Tryckeri, Skara 1968.
- Svensk Byggnorm 1975.
Statens Planverk.
- Teknisk Tidskrift 1974, No 7.
- VVS-handboken, tabeller och
diagram.
Förlags AB VVS (1974)
- Ångtabell. Institutionen för ång-
teknik, KTH, 1972.

APPENDIX I

I.1 Skiktning

Varmvattnet i förrådscisternen skiktat sig lätt, dvs det varma (lätta) vattnet samlas i cisternens övre del medan kallvatten lägger sig i cisternens nedre delar. Fenomenet är välkänt från motsvarande vid normala varmvattencisterner. Vid solfångare används det och förstärkes genom att varmvattnet från fångaren leds till cisternens över del och varmvatten för förbrukning utgår från samma del. *Stabiliteten* hos skiktningen, vilken ger upphov till en temperaturfördelning enligt bild (I/1) är större för stående cisterner (vilka också kräver mindre golvyta) än för liggande.

Vid tappning undanträgs det varma vattnet av det kalla från vattennätet. I bild (I/2) visas en typisk tappningskurva efter en dags laddning (solfångaryta $1,5 \text{ m}^2$, cisternvolym 300 l).

Skiktningen blir vid solfångare betydligt mer stabil än vid varmvattenberedning i en cistern t ex med hjälp av en elpatron. I det senare fallet kommer egenkonvektionen vid patroner att ge störningar och påverka skiktningensfenomenet ogynnsamt.

I.2 Skiktningens betydelse vid självirkulation

Vid självirkulationssystem - se t ex bild (2/116) måste skiktningen beaktas vid beräkning av cirkulationen. Härvid användes sambandet

$$\rho = \rho_0 (1 + a\theta + b\theta^2 + c\theta^3) \quad (\text{I:1})$$

$$\begin{aligned} \text{där } \rho &= 999,84 \text{ kg/m}^3 \\ a &= 5,29 \cdot 10^{-5} (\text{°C})^{-1} \\ b &= 6,53 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-2} \\ c &= +1,44 \cdot 10^{-8} (\text{°C})^{-3} \end{aligned}$$

för densitetens (ρ) beroende av temperaturen.

För tryckdifferensen mellan punkt u och i i bild (I/3)

gäller då

$$\Delta p_{u-i} = \int_{h_u}^{h_i} \rho dh = \rho_0 g \int_{h_u}^{h_i} (1 + a\theta + b\theta^2 + c\theta^3) dh \quad (\text{I:2})$$

Om - som i bild (I/1) - temperaturgradienten är linjär dvs

$$\theta = \frac{\theta_u h_i - \theta_i h_u - h(\theta_i - \theta_u)}{h_i - h_u} \quad (\text{I:3})$$

blir integralen

$$\Delta p = (h_u - h_i) \rho_0 g \int_{\theta_i}^{\theta_u} (1 + a\theta + b\theta^2 + c\theta^3) \frac{d\theta}{\theta_i - \theta_u} \quad (\text{I:4})$$

Integration ger

$$\frac{\Delta p}{(h_u - h_i) \rho_0 g} = f(\theta_u) \quad (\text{I:5})$$

vilken funktion visas i bild (I/4).

Motsvarande utbyte gäller för statiska tryckdifferensen över solfångaren.

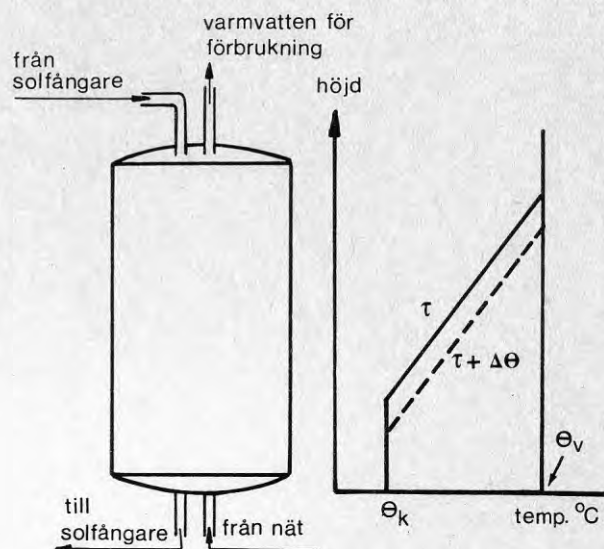


Bild I/1 Skiktningen ger upphov till en temperaturgradienten mellan kallvattentemperatur θ_k och vattentemperaturen θ_v från solfångaren. Temperaturen visas (schematiskt) för två tillfällen t och $t+\Delta T$.

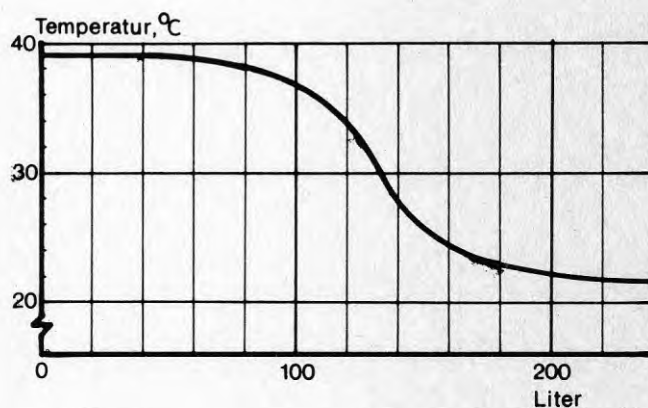


Bild I/2

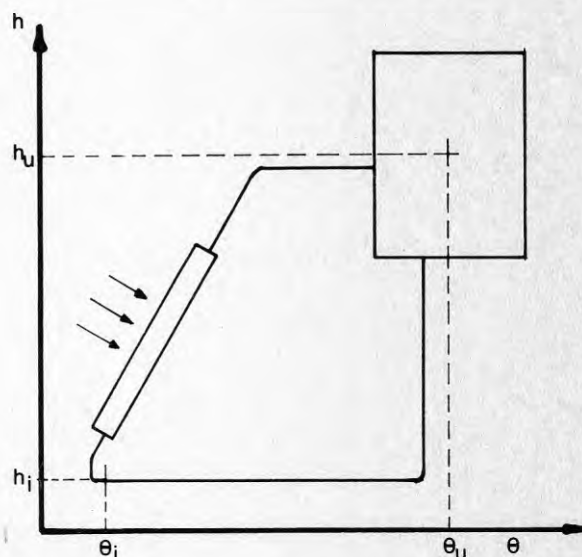


Bild I/3

I.3 Exempel

Hur stor blir cirkulationskraften (Pa) i en solfångare enligt bild (I/5). Temperaturen hos kallvattnet är $+10^{\circ}\text{C}$ och hos vattnet från solfångaren $+50^{\circ}\text{C}$.

Enligt ekv. (I:5) gäller för statiska trycket över cisternen

$$\Delta p_c = (h_c - h_u) \cdot \rho \cdot g \cdot f(\theta_u) = (5-3) \cdot 999,84 \cdot 9,81 \cdot 0,995$$

$$\Delta p_c = 19527 \text{ Pa}$$

och för solfångare

$$\Delta p_s = (1,5-0) \cdot 999,84 \cdot 9,81 \cdot 0,995 = 14.645 \text{ Pa}$$

Mellan i_s och i_c är statiska trycket

$$\Delta p = (5-1,5) \cdot 999,84 \cdot 4,50 \cdot 9,81 = 33.928 \text{ Pa}$$

och mellan u_c och u_s är det

$$\Delta p = (3-0) \cdot 999,84 \cdot 4,10 \cdot 9,81 = 29.427 \text{ Pa}$$

Värdena på f har hämtats från bild (I/4).

Total drivkraft

$$\Sigma \Delta p = 19527 + 29427 - 14645 - 33928 = 375 \text{ Pa}$$

Detta "drivtryck" motsvarar förlusterna i ledningen och solfångaren och cisternen. Använder man ekvivalenta rörlängder för tryckfallen får man

$$\Sigma \Delta p = \frac{1}{2} \cdot \rho \Sigma (v^2 \cdot \lambda \frac{L}{d}) \quad (\text{I:6})$$

Huvudsakligen bestäms tryckfallet av rören i kretsen. Sätter man här

$$\left. \begin{array}{l} \lambda \approx 0,03 \\ L \approx 11 \text{ m} \\ d = 0,02 \text{ m} \\ \rho = 9,80 \text{ kg/m}^3 \end{array} \right\} \text{medelvärde}$$

får man $v = 0,22 \text{ m/s}$

Detta värde kontrolleras mot storleksordningen av λ . Man har för strömningen

$$Re = \frac{v d}{\nu} = \frac{0,22 \cdot 0,02}{0,8 \cdot 10^{-6}}$$

där ν är kinetiska viskositeten (medelvärde) för vattnet. Detta ger $Re = 5500$ som för $\epsilon =$ råheten hos rörväggen $= 0,0015 \cdot 10^{-3}$ och $\epsilon/d = 8 \cdot 10^{-5}$ ger $\lambda = 0,036$.

Omräkning av ν med detta värde ger

$$v = \sqrt{\frac{0,03}{0,036}} \cdot 0,22 = 0,20 \text{ m/s}$$

$$Re = 5000$$

$$\lambda = 0,037$$

Hastigheten $v = 0,2 \text{ m/s}$ skall nu kontrolleras med avseende på temperaturhöjningen se avsnitt 2.4.2.

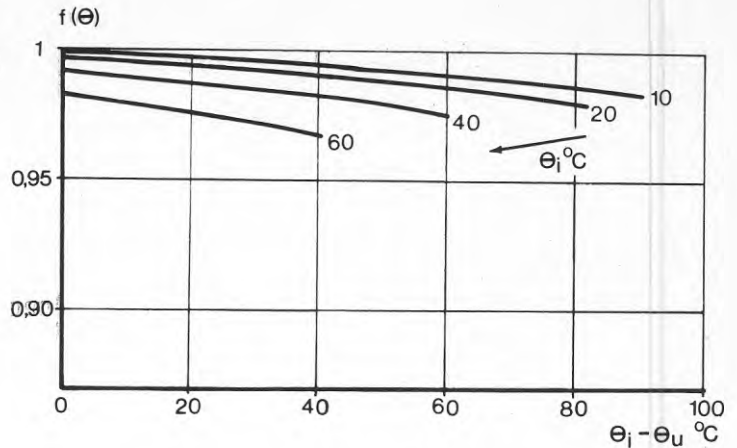


Bild I/4

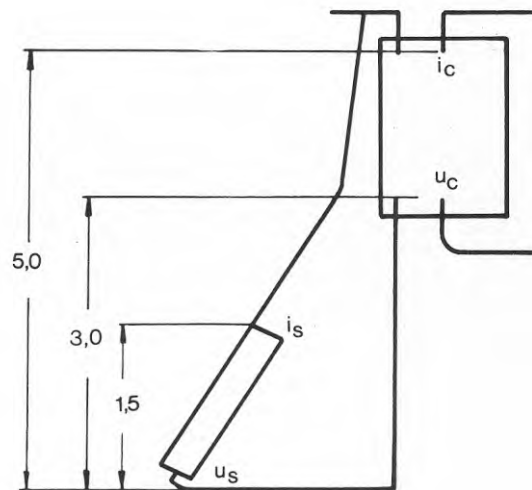


Bild I/5

I.4 Variationer i strömning

Vid ändring av vattentemperaturen i cisternen ändras, som visats i exemplet tryckförhållandena i strömningskretsen. Vid själv-cirkulation ändras därmed strömningshastigheten, vilket bör beaktas vid dimensioneringen.

APPENDIX II

Självcirkulationens inverkan på flöde och temperatur

Vid en solfångare i enlighet med bild (II/1) är flödet vid solinstrålningen I_1 lika med m kg/s och vid solinstrålningen I_2 lika med m_0 kg/s. Skillnaden i flöde beror på att självcirkulationskrafterna blir olika vid de två instrålningarna. Ett approximativt uttryck för förhållandet mellan de två flödena är

$$m = m_0 (1 + \Delta p_s) / 2\Delta p$$

där Δp_s är storleken av självcirkulationskrafterna

Δp är pumptrycket för kretsen

och ν är vattnets kinetiska viskositet

Storleken av självcirkulationskrafterna kan uppskattas enligt appendix I, där inverkan också av temperaturförhållandena i cisternen behandlas. För en grov skattning av inverkan kan man sätta

$$\Delta p_s = h \cdot g (\rho_f - \rho_r)$$

där ρ är densiteten (index enligt bild (II/2)) och h är höjden i bilden. För t ex en densitet av $999,7 \text{ kg/m}^3$ (vattentemperatur av ca 10°C) hos vattnet till solfångaren och $985,7 \text{ kg/m}^3$ i vattnet från solfångaren (55°C). Vid intensiteten I_2 får man om $h = 6 \text{ m}$

$$\Delta p_s = 6 \cdot 9,8 \cdot (999,7 - 985,7) = 820 \text{ Pa}$$

Vid ett annat tillfälle, med solintensiteten I_1 är det utgående vattnet från solfångaren endast 40°C och dess densitet $992,2 \text{ kg/m}^3$. Här gäller

$$\Delta p_s = 6 : 9,8 \cdot (999,7 - 992,2) = 440 \text{ Pa}$$

Är pumpens tryckhöjning 5000 Pa får vi att

I det första fallet erhålls flödet m_2 till¹⁾

$$m_2 = m_0 (1 + \frac{820}{2 \cdot 5000}) = 1,08 m_0$$

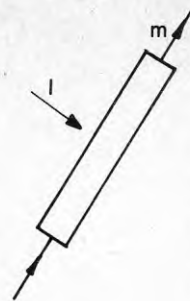
dvs 8 % större flöde än vad pumpen kan beräknas ge.

I det senare fallet erhålls flödesökningen från

$$m_2 = m_0 (1 + \frac{440}{2 \cdot 5000}) = 1,04 m_0$$

dvs den blir 4 %.

Flödesökningen innebär att vattentemperaturen ökar mindre än beräknat med enbart pumpkapaciteten utan hänsyn till självcirkulationen. Tar man hänsyn till viskositetsändringen blir ökningen större.



Solinstrålning	Flöde
I_1	m
I_2	m_0

Bild II/1

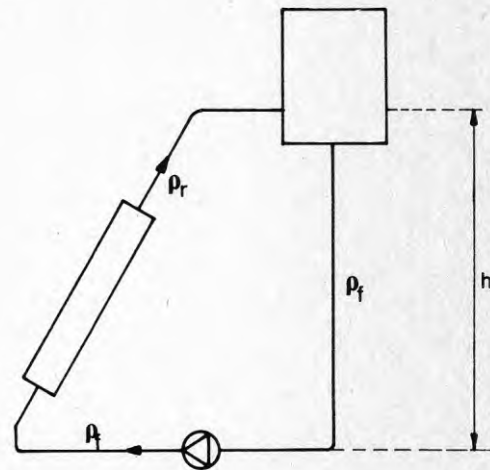


Bild II/2

1) Variationen i viskositet skall i det följande försummas.

APPENDIX III

III.1 Tryckfall i ledningar

Tryckfallet Δp i rörledningarna kan övervinnas genom

- o pumpar (s k pumpsystem)
- o tyngddifferensen hos vätskepelare
(självcirkulationssystem)

I de förra, se bild(2/114), placeras pumpen i systemet på "kallvattensidan" så att man ej får kokning i pump-
huset.

I de senare måste rörledningen dimensioneras väsent-
ligt bättre än i de förra systemen.

Dimensioneringen av pump eller själv-cirkulationssy-
stem sker med hjälp av de i det följande angivna
tryckfallsdiagrammen. Härvid gäller för s k engångs-
motstånd

$$\Delta p = \zeta \frac{1}{2} \rho v_0^2 \quad (\text{III:1})$$

där v_0 är hastigheten (m/s) i ledningen
 ρ är vattnets densitet
 ζ är tryckfallskoefficienten

För friktionstryckfallet Δp_f i en 1 m lång rak led-
ning används

$$\Delta p_f = \frac{\lambda L}{d} \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (\text{III:2})$$

där d är rörets inre diameter och
 λ är friktionskoefficienten enligt bild (III/1)

Vanligen har man låga hastigheter v i slingorna till
en solfångare. Så t ex har man i tuberna i fångaren
hastigheter om några få mm/s. Sätter vi v till 5 mm/s
 d till 10 mm och v till $\cdot 10^{-6}$ m²/s får vi

$$\frac{vd}{v} \sim \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} = 50$$

För så små värden på uttrycket $\frac{vd}{v}$ kan man sätta

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64 \cdot v}{vd} \quad (\text{III:3})$$

Inför vi detta i (III:2) får vi

$$\Delta p_f = \frac{64v}{vd^2} \cdot L \cdot \frac{1}{2} \rho v = \frac{16\pi \cdot Lv \cdot 1}{(\pi d^2/4)} \frac{1}{2} \rho v \quad (\text{III:4})$$

Man får alltså

$$\Delta p_f = \frac{16\pi L}{A} \frac{1}{2} \rho v \quad (\text{III:5})$$

där A är tvärsnittsarean och λ erhålles ur bild (III/5).

Vid de små hastigheter det här ofta är frågan om får
man således ett linjärt hastighetsberoende för frik-
tionstryckfallet.

Som framgår av uttrycket (III:5) är friktionstryck-
fallet temperaturberoende. I bild(III/2) visas hur Δp_f
ändras med vattentemperaturen θ_v . Som framgår av
bilden sjunker tryckfallet med stigande vattentempera-
tur.

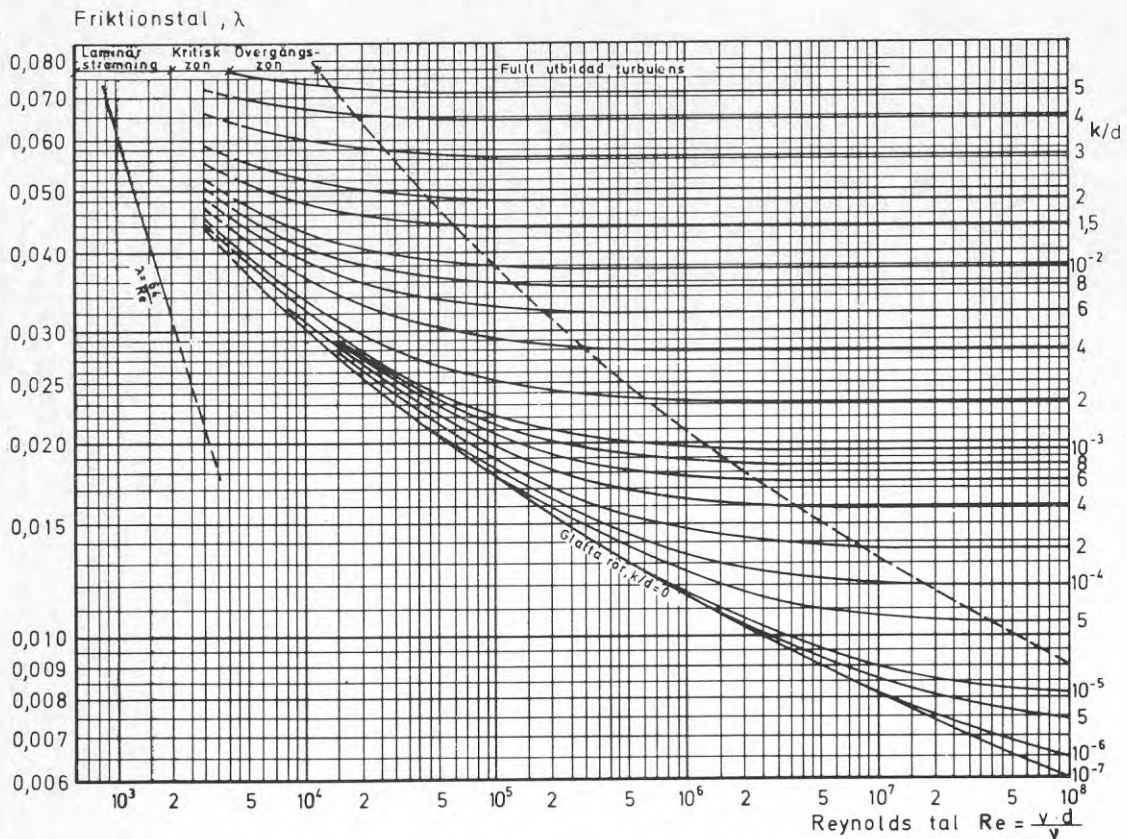


Bild III/1

III.2 Motståndskoefficienter för böjar

Då man mäter energiförlusterna för strömningen genom en böj använder man sig av en mätupställning enligt (III/3).

Mätningen går till så att man bestämmer tryckfallet (dvs den specifika energiförlusten) mellan punkterna A och E. Detta tryckfall, $P_A - P_E$, sammansätts av tryckfallet i sträckan A-B, i rörböjen och i sträckan D-E. För tryckfallet över rörböjen gäller därför

$$\Delta p_b = \left(\lambda \frac{AC + CE - 2R + \pi R/2}{2R} + \zeta_o \right) \frac{1}{2} \rho \bar{v}^2 \quad (III:6)$$

Här är ζ_o böjens "omlänkingsförlust" som varierar med radierna r och R enligt bild (III/4) för släta böjar. Minsta totala förlusten över sträckan A-E får man då $d\Delta p/d(r/R) = 0$, dvs då $d\zeta/d(r/R) = \lambda(1 - \frac{\pi}{4})$ som utmärkts i bilden. För böjar av stål inträffar detta vid $R/r = 8$. För förlustkoefficienten ζ kan man sätta

$$\zeta = \zeta(\epsilon, \frac{R}{r}, Re) \quad (III:7)$$

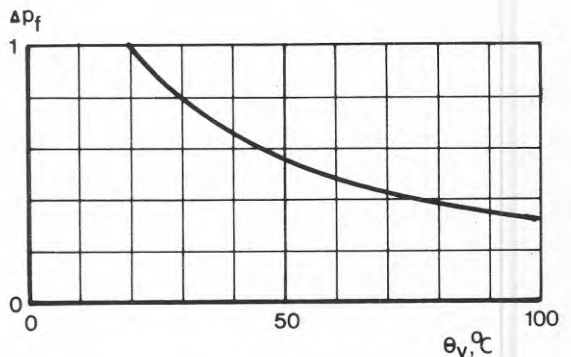


Bild III/2 Relativt tryckfall som funktion av temperaturen

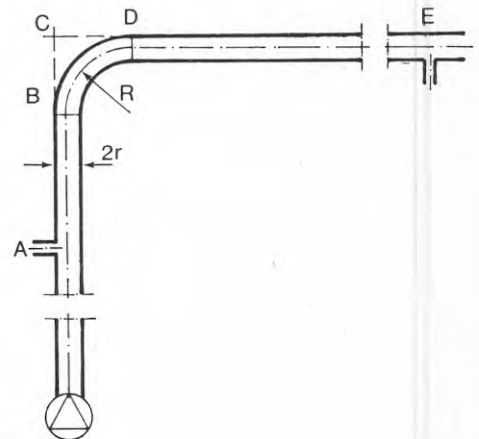


Bild III/3

Normalt gäller för t ex släta, nya stål- eller kopparrör att $\epsilon \rightarrow 0$, vilket ger förenklingen

$$\zeta = \zeta\left(\frac{R}{r}, Re\right) \quad (80)$$

se bild(III/5).

III.3 Motståndskoefficienter för korsrör och T-stycken

(Vid divergerande strömmar)

Vid strömning i ett korsrör kan en rad olika strömningsfall uppträda. Oftast är man intresserad av strömningsförlusterna i avgreningen, vilka bestäms av en motståndskoefficient ζ_a . Koefficienten ζ_a beror på bl a följande storheter

- o dimensionerna i korsrörets olika grenar
- o ytråheten
- o flödesförhållandena (kvoten mellan flödena i olika grenar)
- o Re för de olika delflödena

Vanligen spelar ytråhet och Re -värdena en mindre roll än de övriga och man brukar bortse från dessas inverkan. För de övriga storheternas inverkan kan man enklast representera ζ_a i diagramform, varvid för rördelar följande diagram kan användas, se bilderna (III/7) och (III/8).

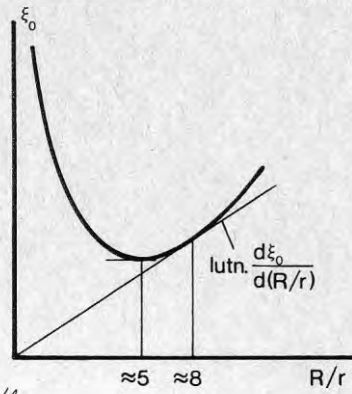


Bild III/4

motståndstal ζ_u

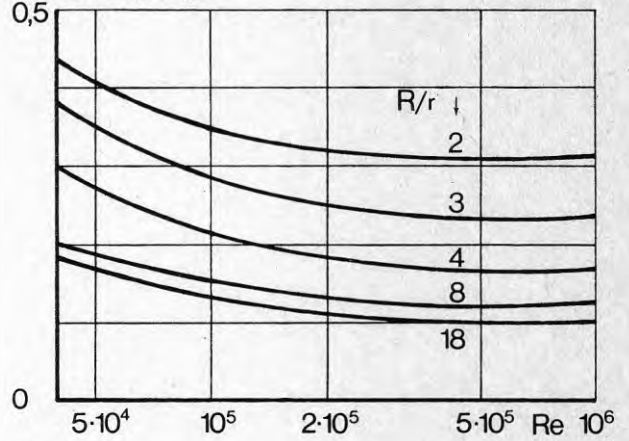


Bild III/5

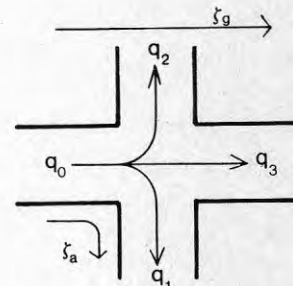


Bild III/6 Beteckningar för diagram (III/7-III/11).
q = flöde; ζ = motståndskoefficient

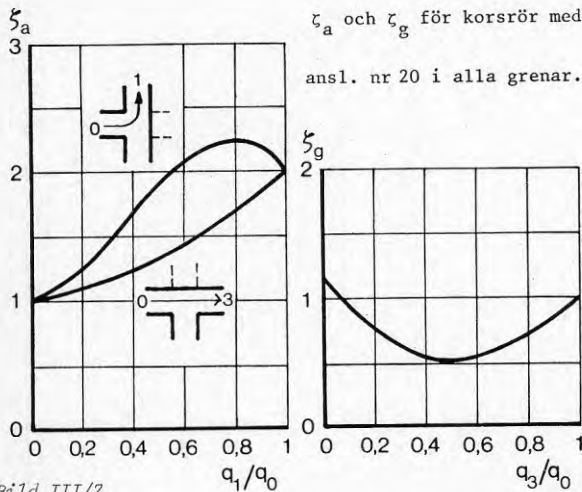


Bild III/7

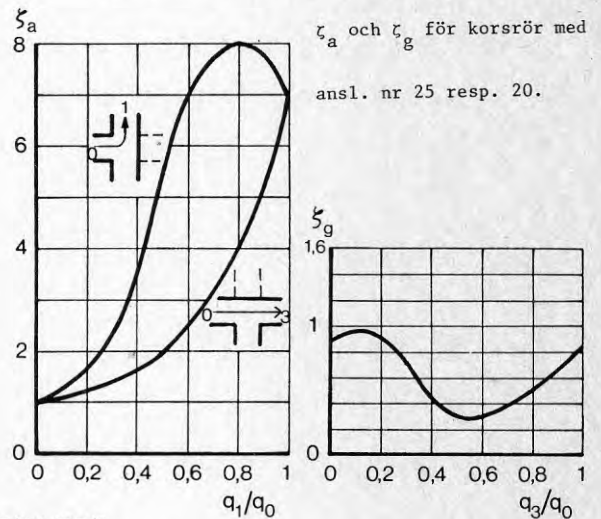


Bild III/8

På samma sätt avhänger motståndskoefficienten för den genomgående strömmen av såväl dimensioner som strömningsförhållanden. Vid de i det föregående angivna diagrammen har även värden för ζ_g - motståndskoefficienten för genomgången inlagts. Som framgår av bilderna antar motståndskoefficienten i ett intervall låga värden. Orsaken här till kan vara av intresse.

Strömningen i röret före en avgrening sker så att hastigheten vid rörytan är noll medan den har ett maximum i rörets centrum. Vid avtappningen i korsröret sker en avgång av vatten i huvudsak från det flöde som legat vid

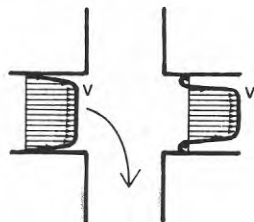


Bild III/9

kanalväggen, medan vätskan

i rörets mitt till största delen passerar genom korsröret och fortsätter i den genomgående strömmen, (III/9). För denna del av vätskan gäller att dess kinetiska energi före avgreningen var stor (proportionell mot v^3) eftersom hastigheten v för centrumströmmen är stor. Efter avgreningen bibehålls denna stora kinetiska energi och därav tas energin för förlusterna i samband med avtappningen. Avtappas inget flöde sker trots allt en liten tryckförlust bl a beroende på att man haft en areaändring i korset. Ökar man det avtappade flödet något har vi fortfarande en viss förlust, vilken dessutom ökat till följd av omböjningsfenomen mm. Som nämnts tillför vi dock huvudströmmen proportionellt sett en stor andel kinetisk energi vilken "betalat" förlusterna. Motståndskoefficienten, se bild (III/14), får därför ett optimum. Då vi ytterligare ökar avtappningen, börjar vi kraftigt minska andelen kinetisk energi som överförs, och förlusterna ger sig till känna som en ökande motståndskoefficient.

III.4 Motståndskoefficienter för korsrör och T-stycken

(Sammanlöpande strömning)

Korsrör och T-stycken för divergerande flöden kan användas i vattenledningar och i framledningar till radiatorer mm. Vid returledningar från radiatorer får man i stället sammanlöpande strömning och därmed andra motståndskoeffi-

cienter. Principiellt råder ingen skillnad - inverkan av Re och ytråhet kan vanligen försummas medan inverkan av dimensioner och strömningsförhållanden är av betydelse. Nedan ges i diagramform tillämpliga värden för de dimensioner som är aktuella för värmeledningsnät. Liksom förut har värden även för olika genomgående ström inlagts i diagrammen, se bilderna (III/10) och (III/11).

Som framgår av bilderna får man vid små flöden i "avgreningen" en negativ motståndskoefficient. Vid flödet noll antar den värdet -1.

III.5 Motståndskoefficienter för knärör

Vid många rörnät kan man av utrymnesskäl ej använda rörböjor utan är i stället hänvisad till knärör, (III/12), med en mycket skarp innerradie. För dessa kan man sätta (vid 90° knä):

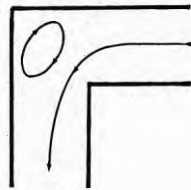


Bild III/12

- $\zeta = 1,0$ vid slätat rör (koppar, plast)
- $\zeta = 1,3$ vid tekniska råa knän (gjutna rör)

III.6 Förhållandena vid flera genomgångsmotstånd efter varandra

Vid flera engångsmotstånd efter varandra kan man ej utan ett visst fel tillämpa de ovan angivna värdena på motståndskoefficienter. Skälet härtill är helt naturligt att man vid uppmätningen av en motståndskoefficient bild(III/3), alltid kopplat densamma efter en lång rak mätsträcka. Strömningen, då vätskan nått engångsmotståndet har därför varit fullt utbildad och motståndskoefficienten har därför fått ett visst värde vilket blir ett annat om strömningen i stället varit störd. För t ex 2 böjor kopplade efter varandra, bild(III/12), blir summan av motståndskoefficienterna ej 2ζ (om böjarna antas lika) utan i stället $2 \zeta \cdot \eta$ där η är en slags verkningsgrad. Denna beror på avståndet mellan böjarna (eftersom strömningen kan ha fått en mer eller mindre utjämnning mellan dem) och på böjarnas placering i jämförelse med varandra. För böjor framgår storleken av η ur bild(III/14).

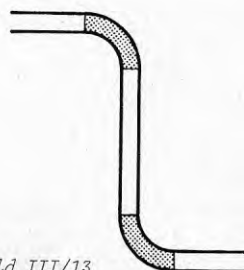


Bild III/13

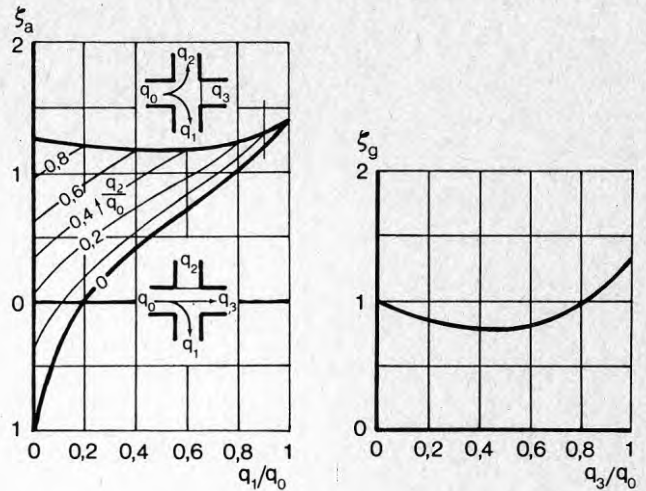


Bild III/10 ζ_a och ζ_g för korsrör med ansl. nr 20 i alla grenar

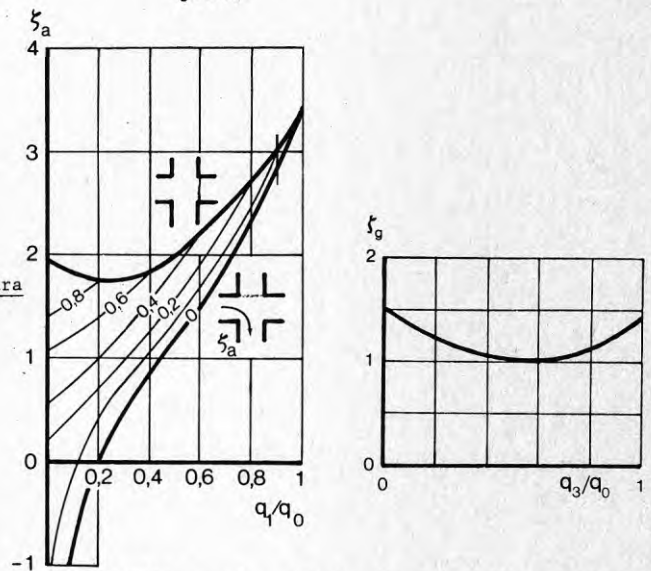


Bild III/11 ζ_a och ζ_g för korsrör med ansl. nr 25 resp. 20

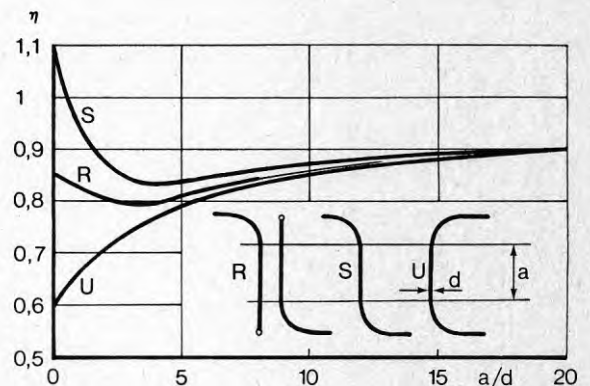


Bild III/14

III.7 Överslagsvärden

Ofta kan man - speciellt då man gör överslagsberäkningar - använda betydligt enklare värden för motståndskoefficienterna än de ovan angivna. Använder man däremot datorberäkningar bör så noggranna värden som möjligt användas. Nedan ges exempel på motståndskoefficienter lämpade för användning vid överslagsberäkningar.

Friktion beräknas enligt ovan

Stötmotstånd beräknas för

böjar och *knärör* (90°) enligt tabell III-1



T-stycken (90°) enligt tabell III-2

ventiler enligt tillverkarens data

Tabell III-1 ζ -värden för böjar och knärör

	Ansl. nr	
	10-15	20-25
Böj (gjuten)	1,5	1,0
(slät)	0,3	0,2
Knärör	2	1,5

Tabell III-2 ζ -värden för T-stycken (bild III/15)

	v/v_{tot}						Anm
	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1	
ζ_a		12	7	3,5	25	2	
ζ_g	0,5						genomg
ζ_a	-1	0	0,5	1	1,3	1,5	

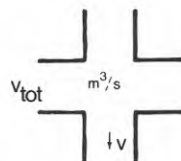


Bild III/15

APPENDIX IV

IV.1 Kontroll av solfångares prestanda

Utetemperatur, molnigheten (och därmed solstrålningen) m m varierar från år till år. De tidigare värdena anges endast medelvärden och kan därför användas då det gäller att bedömma en solfångares medel-prestanda över en lång tid. Vid mätning av solfångares egenskaper måste relevanta data för de meteorologiska parametrarna uppmätas. Som antytts i avsnitt 1 kan man ej använda meteorologiska data för vind, ens för provplatser belägna nära väderstationer. I stället måste de mikroklimatiska förhållandena invid solfångaren beaktas och vindstyrkan (resp. vindriktningen) bestämmas i en punkt nära solfångaren. Detsamma (om än i något mindre grad) gäller för utetemperatur vilken bl a avhänger vid vindförhållandena, läverkan m m. Solinstrålningsvärdena bör också uppmätas förhållandevis nära solfångaren, speciellt under dagar med växlande molnighet eller med himmel betäckt till mer än 5/10 med moln. Under sådana förhållanden kan stora variationer i solinfallet mellan olika (relativt närbelägna) platser uppträda.

IV.2 Utomhustemperaturen

Redan i avsnitt 2, sid 2:14, visades den inverkan utelufttemperaturen har för en solfångares funktion (t ex uttryckt som dess verkningsgrad).

Utetemperaturens variation över dygnet visas schematiskt i bild (IV/1) och som exempel för några orter i bild (IV/2). Värdena i bild (IV/2) avser juli månad.

För utetemperatur θ_u kan man - då man behöver analytiska uttryck vid bedömningen av en solfångares verkningsgrad - använda uttrycket

$$\theta_u = \theta_m + \Delta\theta \cos \omega (\tau - \tau_{max}) \quad (IV:1)$$

där θ_u är medeltemperaturen under dygnet

$\Delta\theta$ är amplituden, se bild

ω är frekvensen = $\frac{\pi}{12}$

τ är klockslaget

τ_{max} är klockslaget för maximal utetemperatur

För överslagsberäkningar - och speciellt då uppgifter för temperaturens dygnsvariation saknas - kan man sätta

$$\Delta\theta = \theta_{14} - \theta_8$$

och

$$\tau_{max} = 14$$

där θ_8 är utetemperaturen kl 8 men θ_{14} är utetemperaturen kl. 14. Uppgifter om dygnsmedeltemperaturen för olika månader och uppgifter varur temperaturamplituden $\Delta\theta$ kan beräknas ges i tabell IV-1 hämtad från Klimatdata för Sverige. Man får med ekv. (IV:1)

$$\left. \begin{aligned} \Delta\theta &= (\theta_{13} - \theta_7)\sqrt{2} \\ \theta_m &= \theta_{13} - 0,97 \Delta\theta \end{aligned} \right\} \quad (IV:2)$$

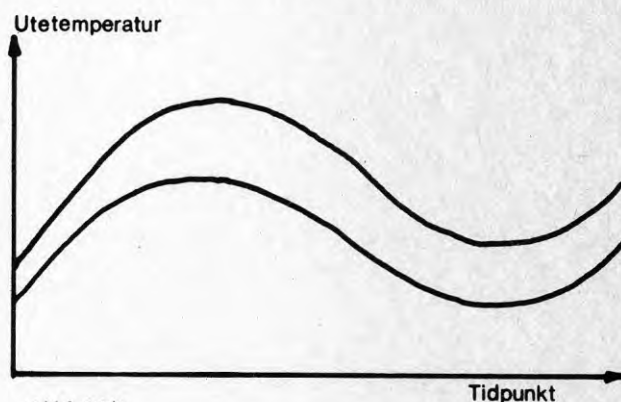


Bild IV/1

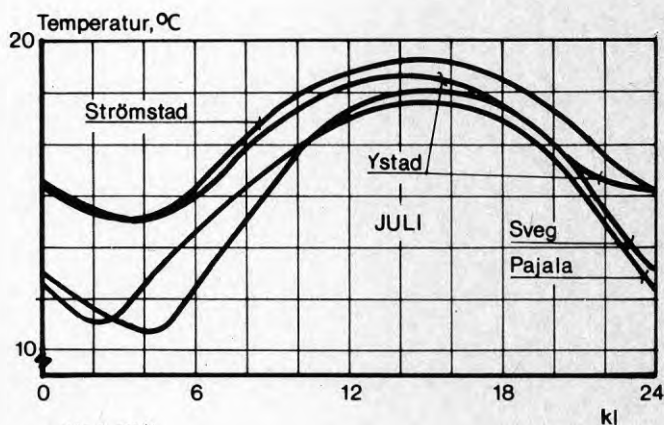


Bild IV/2

IV.3 Strålningsintensitet

Variationen i utomhustemperatur motsvaras av en variation i solinstrålningen. Även denna kan approximeras med en trigonometrisk funktion

$$I = I_m + I \cos(\tau - \tau_{max}) \quad (IV:3)$$

där I_m är strålningsintensitetens medelvärde
 I är strålningsintensitetens amplitud
 τ är klockslaget
 τ_{max} är tidpunkten för maximal strålningsintensitet, vilken ej sammanfaller med tillfället för temperaturens maximum.

Variationen i strålningsintensitet återges grafiskt i bild (IV/3).

IV.4 Data för bedömningar

Vill man göra en överslagsbedömning av en solfångares verkningsgrad kan givetvis medelvärden för dagen användas. Sådana medelvärden för solinstrålningen ges i tabell IV-2, samt i avsnitt 1, vad gäller solinstrålning. Då det gäller dagens medeltemperatur kan värdena enligt tabell IV-1 användas.

IV.5 Vindförhållanden och dessas betydelse

Redan inledningsvis har vindförhållandenas betydelse berörts, och då i samband med en översiktlig genomgång av vindhastighetens fördelning över året. Här skall ytterligare några viktiga detaljer rörande vindens inflytande i samband med solfångare beröras.

IV.6 Vindens dagliga gång

Vindens dagliga gång - speciellt under sommarmånaderna - har betydelse för en solfångares verkningsgrad, se ovan. Schematiskt visas den dagliga gången i bild (IV/3) och (IV/4). Som framgår av bilderna föreligger en viss skillnad mellan förhållandena under klara dagar, dvs de dagar då solfångaren får en hög yttemperatur till följd av solinstrålningen, och molniga dagar. Skillnaderna i de visade värdena ligger mer i amplituderna än i medelvärden. Medan medelvärdena endast skiljer sig med 0-20 % från varandra kan man räkna med att amplituderna skiljer sig med ca 30 %¹⁾ (gäller inlandsorter). Under dagen ligger för de visade fallen vindhastigheten konsekvent över medelvärdet. En bedömning av vindens påverkan på solfångarens verkningsgrad måste därför ske för högre vindstyrkor än de vilka i medeltal råder på en ort.

Vindens dagliga gång kan skattas med hjälp av

$$v = v_m + v_a \sin \omega(\tau - 8) \quad (IV:4)$$

här är v vindhastigheten
 v_m medelvindhastigheten
 v_a vindamplituden
 τ tidpunkten
 ω är frekvensen $\frac{\pi}{12}$

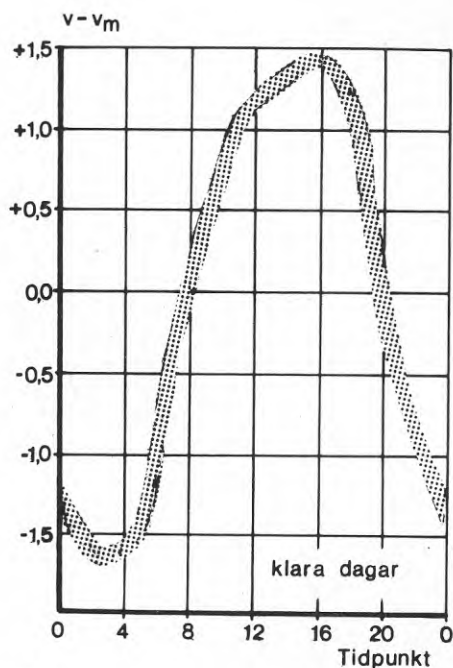


Bild IV/3

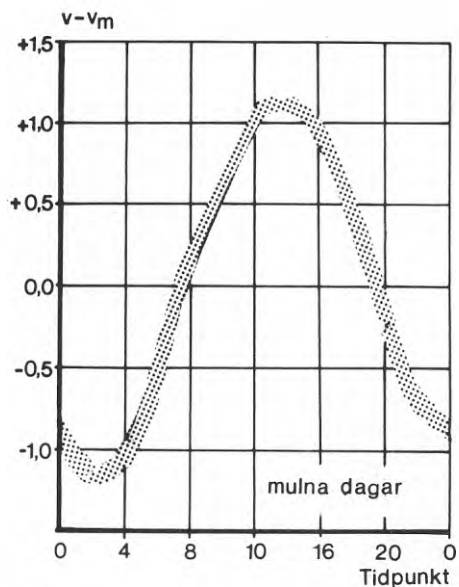


Bild IV/4

1) För vissa orter kan skillnaden bli väsentligt större. Hit hör t ex orter i havsbandet.

Tabell IV-1 Medeltemperatur i °C kl 07, 13 och 19 samt under dagen kl 08-18, 1931 - 1960

Station	Kl	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Karesuando	07	-14.0	-14.8	-12.3	-5.4	2.4	8.8	12.5	10.2	4.3	-2.5	-8.0	-11.5
	13	-13.2	-13.6	-10.3	-2.0	4.7	11.8	17.0	13.0	6.7	0.6	6.6	10.9
	19	-13.8	-13.8	-9.3	-2.0	4.7	11.8	15.8	13.0	6.0	0.3	7.3	10.9
Kiruna	08-18	-13.6	-13.0	-7.6	-0.9	5.2	12.0	16.1	14.0	7.6	-0.3	7.1	-1.1
	07	-12.2	-13.0	-10.0	-3.6	3.0	9.1	12.8	10.3	4.7	2.1	6.9	9.9
	13	-12.0	-10.7	-5.5	-0.3	5.5	11.9	16.0	13.6	7.8	0.4	6.5	10.0
Stensäle	08-18	-12.3	-12.6	-8.8	-2.3	3.9	10.5	14.5	11.6	5.2	1.8	7.0	10.3
	07	-12.1	-11.6	-6.9	-1.0	4.6	12.1	15.1	12.9	6.8	0.6	6.7	10.1
	13	-11.4	-8.7	-2.9	2.6	8.9	13.6	16.7	15.0	9.8	3.2	3.4	8.4
Haparanda	08-18	-12.2	-10.7	-5.4	1.4	7.9	13.0	16.0	14.1	7.5	0.8	4.2	8.2
	07	-10.7	-11.6	-9.8	-2.5	5.1	11.6	15.7	12.7	7.0	0.9	3.0	6.8
	13	-10.4	-9.4	-6.7	1.3	9.5	13.7	17.7	15.9	8.7	2.1	6.7	8.5
Umeå	08-18	-10.6	-10.1	-5.8	1.2	7.7	13.8	18.2	16.2	10.0	3.0	2.5	6.6
	07	-8.4	-9.1	-7.1	0.5	7.6	13.1	16.4	14.1	8.1	1.9	1.5	4.3
	13	-6.9	-5.3	-1.1	4.1	10.6	15.3	19.0	17.6	12.5	6.0	0.1	3.7
Östersund	08-18	-7.8	-7.7	-3.8	1.5	8.1	13.4	17.0	15.1	9.4	3.3	1.2	4.2
	07	-8.9	-8.7	-7.2	-1.0	5.0	9.8	12.8	11.1	6.6	1.9	1.6	4.0
	13	-7.7	-5.6	-0.9	4.6	10.3	14.5	16.6	14.8	9.2	3.3	1.3	4.4
Målung	08-18	-8.2	-6.4	-2.3	3.7	9.3	13.6	16.8	15.7	10.3	4.1	1.1	4.6
	07	-10.0	-10.5	-8.5	-0.8	6.2	11.2	13.2	10.3	5.1	1.2	2.6	5.3
	13	-9.3	-4.5	0.7	6.0	12.5	16.3	18.7	17.6	12.8	6.3	0.2	4.2
Falun	08-18	-8.7	-7.2	-4.4	4.4	11.6	15.8	18.2	13.6	9.3	3.1	1.8	5.5
	07	-7.5	-8.1	-6.1	0.4	7.2	12.4	14.8	12.8	8.0	3.5	0.2	3.4
	13	-5.5	-3.2	1.4	7.0	13.4	17.2	19.8	18.4	13.6	7.2	1.5	2.4
Stockholm	08-18	-6.4	-4.6	-0.1	5.9	12.3	16.6	19.1	17.0	10.6	4.7	0.3	-3.3
	07	-3.3	-4.0	-2.5	2.9	9.1	13.7	16.4	15.0	10.3	6.0	2.4	0.2
	13	-2.4	-2.0	1.6	7.1	13.1	17.7	20.5	19.1	14.5	8.6	3.5	0.5
Örebro	08-18	-2.8	-2.5	0.7	6.3	11.9	16.6	19.5	18.3	13.6	7.9	3.1	0.2
	07	-4.7	-5.2	-3.7	2.0	8.1	13.0	15.4	13.3	8.8	4.8	1.3	1.0
	13	-2.8	-1.9	2.1	8.2	14.2	19.0	20.5	19.2	14.8	8.7	3.1	0.0
Nyköping	08-18	-3.5	-3.4	0.0	5.2	12.9	17.1	19.4	17.1	11.5	5.3	1.9	0.9
	07	-3.9	-4.8	-3.2	2.4	8.7	14.0	16.1	14.9	9.8	5.1	1.7	0.8
	13	-2.2	-1.3	2.4	8.1	14.1	18.4	20.4	19.9	15.4	9.2	3.8	0.4
Linköping	08-18	-3.0	-2.3	1.0	6.9	12.1	17.1	19.0	18.8	13.8	7.8	2.9	0.1
	07	-3.6	-4.3	-2.0	4.2	10.3	14.8	17.1	15.4	10.8	6.1	2.0	0.3
	13	-1.9	-1.0	2.8	8.8	14.8	18.9	21.3	19.8	15.3	9.5	3.7	0.8
Vänersborg	08-18	-2.6	-2.0	1.5	7.8	13.3	17.6	20.0	18.9	14.1	8.3	3.0	0.3
	07	-2.6	-3.9	-2.5	2.4	8.4	13.3	15.2	13.8	9.8	5.9	2.8	0.5
	13	-1.3	-1.1	2.0	7.2	12.8	17.0	19.5	18.6	14.7	9.4	4.3	1.4
Skara	08-18	-1.9	-1.8	1.1	6.4	12.0	16.1	18.7	17.8	13.8	8.5	3.7	0.7
	07	-3.7	-5.0	-3.5	1.9	8.0	12.8	14.9	12.9	8.2	4.6	1.8	0.7
	13	-2.3	-1.7	2.1	8.0	13.9	17.8	20.0	19.0	14.5	8.8	3.5	0.4
Göteborg	08-18	-2.9	-3.3	0.1	6.4	12.9	16.9	18.7	16.7	11.5	6.3	2.3	0.5
	07	-1.1	-1.8	0.4	4.4	10.6	15.5	16.9	15.3	11.6	7.2	4.1	1.6
	13	-0.4	1.1	4.8	10.5	16.5	20.7	22.0	21.6	17.6	11.6	6.1	2.7
Kalmars F 12	08-18	-0.9	-0.6	2.4	7.5	13.1	16.7	19.0	18.3	14.5	9.0	4.7	2.0
	07	-1.7	-2.3	-1.2	3.4	8.4	13.5	16.1	15.3	11.5	7.5	3.8	1.2
	13	-0.5	-0.3	1.7	5.9	10.9	15.9	18.8	18.5	15.2	10.2	5.1	2.1
Västervik	08-18	-0.9	-0.8	1.1	5.5	10.4	15.4	18.4	18.0	22.0	14.3	4.6	1.8
	07	-2.5	-3.4	-2.2	2.9	8.8	14.0	16.6	15.0	10.2	6.2	3.1	0.4
	13	-1.3	-0.6	2.6	7.7	12.7	17.4	20.1	19.4	15.2	9.6	4.5	1.4
Visby	08-18	-1.8	-1.4	1.5	6.8	11.5	16.5	19.2	18.5	20.4	12.5	3.9	1.0
	07	-0.9	-1.9	-1.1	3.3	8.5	13.5	16.5	15.8	12.0	7.5	4.2	1.6
	13	-0.2	-0.3	1.4	5.9	10.9	15.9	18.9	18.5	14.8	9.6	4.9	2.0
Ronneby	08-18	-0.5	-0.9	0.7	5.3	10.2	15.3	18.2	17.9	21.5	13.6	4.6	1.8
	07	-2.3	-2.9	-1.6	3.4	9.6	14.2	16.6	14.8	10.2	6.0	3.2	0.4
	13	-0.1	0.9	4.0	9.0	14.8	18.5	21.3	20.3	16.5	11.0	5.7	2.1
Karlshamn	08-18	-1.0	-0.3	2.4	7.8	12.8	17.0	20.0	19.1	21.2	13.1	4.6	1.4
	07	-1.4	-1.8	-0.1	4.5	10.4	14.8	17.0	16.0	12.0	7.4	4.1	1.4
	13	-0.1	0.8	3.2	7.6	12.9	16.9	19.6	18.7	15.4	10.4	5.7	2.6
Huskvarna	08-18	-0.5	0.0	2.3	7.0	12.2	16.5	18.9	18.1	22.1	14.1	5.0	2.1
	07	-2.7	-3.9	-1.7	2.9	8.7	13.5	15.7	13.6	9.5	5.7	2.6	0.1
	13	-0.2	0.8	3.8	9.1	14.5	18.0	21.6	20.3	15.9	9.9	4.3	1.2
Jönköping	08-18	-1.7	-1.4	2.3	7.9	12.8	17.3	19.3	18.9	14.1	8.3	3.5	0.7
	07	-3.1	-4.1	-2.7	2.9	8.5	13.4	15.6	14.2	9.9	5.5	2.4	-0.1
	13	-1.3	-0.8	2.5	7.6	12.6	17.2	19.5	18.8	14.9	9.5	4.2	1.1
Borås	08-18	-2.1	-1.8	1.3	6.7	11.7	16.3	18.6	17.9	19.8	11.6	3.4	0.6
	07	-3.3	-4.3	-2.9	2.5	8.7	13.3	15.3	13.8	9.1	5.3	2.2	-0.5
	13	-1.9	-0.8	3.1	8.4	14.4	18.0	20.1	19.0	14.9	9.4	3.8	0.5
Nässjö	08-18	-2.5	-1.8	1.7	7.4	13.2	16.2	19.1	18.0	13.4	8.1	3.1	0.1
	07	-5.3	-5.5	-4.1	1.4	7.3	12.3	14.2	12.6	8.2	4.3	0.9	-1.5
	13	-3.3	-4.0	-2.2	5.8	11.4	13.4	14.6	13.6	10.6	8.0	2.5	-0.9
Växjö	08-18	-4.2	-3.1	0.6	6.4	12.2	16.6	19.6	17.5	17.8	10.0	1.8	-1.0
	07	-3.3	-4.3	-3.1	2.1	8.4	13.0	14.9	13.3	9.3	5.2	2.3	-0.5
	13	-1.7	-0.8	2.7	8.3	14.3	18.3	20.0	19.1	15.0	9.3	4.0	0.7
Malmö flygplats	08-18	-2.3	-1.7	1.5	7.3	13.1	17.2	19.0	18.1	19.6	11.1	3.2	0.2
	07	-0.8	-1.4	0.1	4.6	10.0	14.4	16.4	15.6	12.1	7.5	4.6	2.0
	13	0.0	0.1	1.9	7.1	12.4	16.5	18.5	17.8	14.0	9.1	5.2	2.4
Kristianstad	08-18	-1.5	-2.2	0.9	4.0	9.7	14.0	16.4	15.0	23.0	15.0	5.6	2.5
	07	-1.5	-2.2	0.9	4.0	9.7	14.0	16.4	15.0	23.0	15.0	5.6	2.5
	13	-0.1	0.5	3.5	9.2	12.7	16.5	18.9	18.6	13.1	10.8	5.6	2.4
Ainarp	08-18	-0.6	-0.6	2.4	8.2	13.2	17.5	19.3	18.1	21.5	13.6	4.8	1.8
	07	-1.1	-1.8	0.4	4.4	10.6	15.5	16.9	15.3	11.6	7.2	4.1	1.6
	13	-0.4	1.1	4.8	10.5	16.5	20.7	22.0	21.6	17.6	11.6	6.1	2.7
Skara	08-18	-0.2	± 0.0	3.3	9.2	14.3	18.5	20.0	20.3	16.0	10.3	5.3	2.2
	07	-1.1	-1.8	0.4	4.4	10.6	15.5	16.9	15.3	11.6	7.2	4.1	1.6
	13	-0.4	1.1	4.8	10.5	16.5	20.7	22.0	21.6	17.6	11.6	6.1	2.7

Tabell IV-2 Maximivärden och medelvärden av direkt solstrålning mot en yta vinkelrätt mot strålningsriktningen i cal/cm² min under klara dagar enligt sju års registrering i Helsingfors (efter Lunelund, 1936).

Månad	Värde	2,5°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Jan	Max	0,355	0,675	0,980	-	-	-	-	-	-	-	-
	Medel	0,305	0,570	0,875	-	-	-	-	-	-	-	-
Febr	Max	0,375	0,655	0,985	1,190	1,295	-	-	-	-	-	-
	Medel	0,335	0,567	0,812	1,004	1,120	-	-	-	-	-	-
Mars	Max	0,440	0,690	1,040	1,190	1,276	1,332	1,365	-	-	-	-
	Medel	0,360	0,565	0,841	0,998	1,116	1,215	1,287	-	-	-	-
April	Max	0,410	0,680	1,002	1,194	1,298	1,360	1,400	1,419	1,419	1,419	-
	Medel	0,335	0,555	0,818	0,985	1,100	1,170	1,221	1,260	1,292	1,310	-
Maj	Max	0,370	0,590	0,870	1,070	1,172	1,240	1,300	1,340	1,375	1,400	1,419
	Medel	0,316	0,517	0,752	0,915	1,024	1,102	1,164	1,210	1,251	1,289	1,332
Juni	Max	0,375	0,645	0,945	1,131	1,218	1,280	1,320	1,347	1,370	1,390	1,405
	Medel	0,304	0,516	0,760	0,927	1,031	1,103	1,158	1,200	1,230	1,257	1,285
Juli	Max	0,370	0,610	0,890	1,071	1,174	1,230	1,276	1,300	1,332	1,348	1,372
	Medel	0,290	0,490	0,719	0,882	0,990	1,059	1,120	1,170	1,207	1,238	1,268
Aug	Max	0,370	0,610	0,871	1,033	1,152	1,244	1,310	1,360	1,392	1,416	-
	Medel	0,282	0,473	0,700	0,874	0,998	1,079	1,142	1,194	1,222	1,238	-
Sept	Max	0,357	0,635	0,980	1,184	1,280	1,330	1,358	1,370	-	-	-
	Medel	0,298	0,500	0,750	0,930	1,060	1,140	1,200	1,235	-	-	-
Okt	Max	0,410	0,705	1,050	1,210	1,306	1,356	-	-	-	-	-
	Medel	0,325	0,552	0,831	1,023	1,150	1,217	-	-	-	-	-
Nov	Max	0,470	0,705	0,994	1,150	-	-	-	-	-	-	-
	Medel	0,422	0,595	0,845	1,035	-	-	-	-	-	-	-
Dec	Max	0,470	0,717	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Medel	0,375	0,595	-	-	-	-	-	-	-	-	-
År	Max	0,398	0,660	0,964	1,142	1,241	1,296	1,331	1,353	1,372	1,389	1,398
	Medel	0,329	0,541	0,791	0,957	1,066	1,136	1,185	1,211	1,240	1,266	1,295

Tidigare har vindhastighetens betydelse för det konvektiva värmeövergångstalet α vid solfångarens utsida berörts. Storleken av α erhålls approximativt från

$$\alpha = 11 v^{0,5} \quad (IV:5)$$

dvs med insatt vindhastighet enligt ekvation (IV:4).

$$\alpha = 11 \sqrt{v_m + v_a \sin \omega(\tau-8)} \quad (IV:6)$$

Medelvärde under dagen ($8 < \tau < 20$) kan beräknas som

$$\bar{\alpha} = 11 \frac{1}{20-8} \int_8^{20} \sqrt{v_m + v_a \sin \omega(\tau-8)} d\tau \quad (IV:7)$$

Med hänsyn till vad som sägs i avsnitt 1 kan man här nöja sig med ett approximativt värde på integralen. Enkla räkningar ger

$$\bar{\alpha} = 11 \sqrt{v_m} + \frac{11}{2\pi} \frac{v_a}{v_m} \sqrt{v_m} \quad (IV:8)$$

Inför för strålning värdet

$$v_a \approx 1 \text{ m/s}$$

erhålls $\bar{\alpha}$ till de värden bild(IV/5) visar.¹⁾

IV.6 Vind vid byggnader

Solfångare placeras nära byggnader, varför vindförhållandena vanligtvis blir

- o gynnsamma som följd av läverkan
- o kraftigt beroende av lokala förhållanden (mikroklimat)

Vid placering på mark fås normalt den bästa läverkan.

I närheten av byggnaden fås mycket oregelbundna förhållanden, se bild (IV/6). Vindhastigheten blir som antyds i bilden dock lägre invid byggnaden än på stort avstånd från den. Bildens värden kan användas för provskattning av förhållandena.

IV.7 Inflytande på glasningens k -värde

Inflytandet från vinden kommer närmast till synes i det yttre konvektiva värmeövergångstalet vid glasningen. Använder vi för detta de ovan beräknade värdena får vi det beroende i glasningens k -värde som bild(IV/7) visar. k_o är det ca-värde glasningen har vid vindhastigheten 1 m/s. Vindens inverkan är av storleksordningen 0 - + 30 %. Störst inverkan får naturligtvis vid $k_o = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ett glas).

1)

I bilden ges även α -strålning

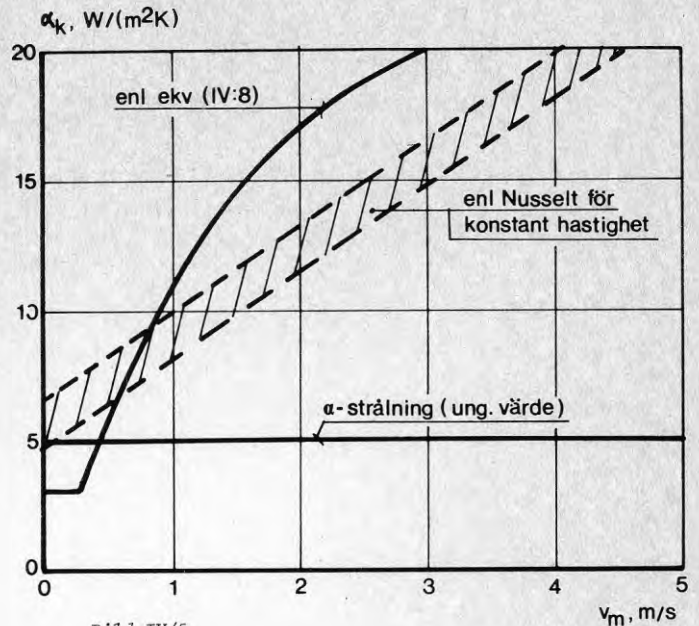


Bild IV/5

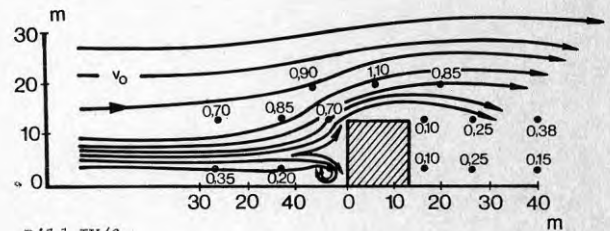


Bild IV/6

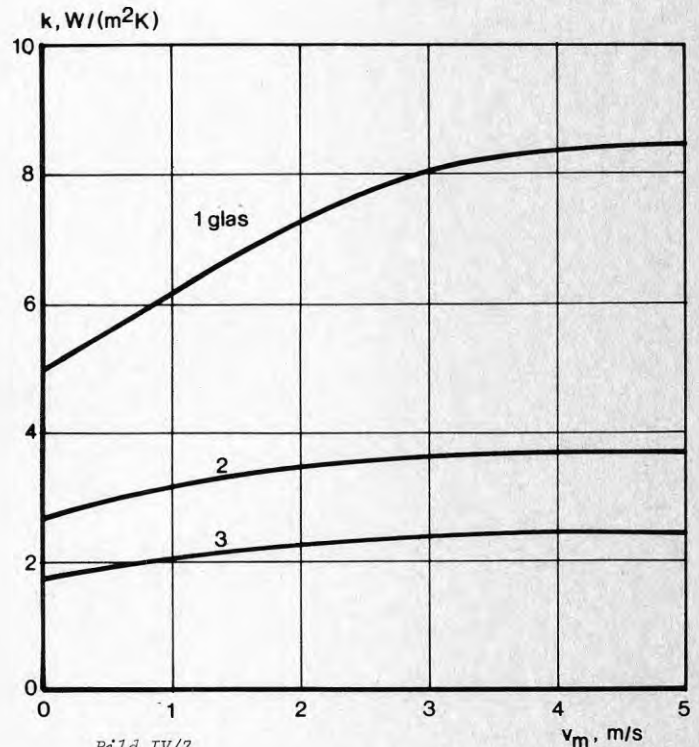


Bild IV/7

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750359-4 från
Statens råd för byggnadsforskning till Inst. för uppvärmning
och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.**

R83:1978

ISBN 91-540-2916-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600783

**Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 1403
111 84 Stockholm**

Cirka pris: 40 kr exkl moms