



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

R36:1978

**Försöksanordning för
förvärmning och kylning
av ventilationsluft**

Tord Larsson

Byggforskningen

TEKNISKA HOGSKOLAN I LINDA
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

R36:1978

Försöksanordning för förvärmning
och kylning av ventilationsluft

Tord Larsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750487-8 från
Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för installa-
tionsteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

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

Nyckelord:

energi
värmeekonomi
luftbehandling
hallbyggnader
värmning
solvärme
kylning
evaporativ kylning
vattenbesprutning

UDK 697.97
697.003

R36:1978

ISBN 91-540-2842-6
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

FÖRORD

Denna rapport redovisar resultatet av ett projekt som antingen utnyttjar solen för att förvärma ventilationsluft eller vatten för att förkyla ventilationsluft. För båda dessa processer användes ett kombinerat luftintag av trapetskorrugerad plåt. Projektet har finansierats av BFR, anslag nr 750487-8.

Initiativtagaren till projektet, civ ing Bernt Bäckström, har entusiastiskt följt arbetet och lämnat värdefulla synpunkter för försökets uppläggnig.

Mätningarna och bearbetning av mätdata har gjorts av teknologerna Bengt Svensson, Carl-Sixten Ullgren och Ulf Önsten.

Från civ ing Torbjörn Jansson har erhållits mätvärden av solintensiteten och många mättekniska råd.

Civ ing Tamas Frommer har bistått vid ritarbetet och sekreteraren Nina-Britta Rangvin har visat stor förståelse vid utskriften av rapporten.

Gullfiber AB och Allan Rehnström & Co AB har ställt isoleringsmaterial och dysor till förfogande.

Ett varmt tack till samtliga nämnda och onämnda.

Göteborg i december 1977

Tord Larsson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
BETECKNINGAR	6
1 INLEDNING OCH AVSIKT	7
2 TEORETISK BAKGRUND	9
2.1 <u>Värmefallet</u>	9
2.1.1 Solstrålning	10
2.1.2 Feluppskattning - värmefallet	11
2.2 <u>Kylfallet</u>	12
2.2.1 Vattenflöden och förluster	13
2.2.2 Feluppskattning - kylfallet	14
3 BESKRIVNING AV FÖRSÖKSANLÄGGNING OCH UTFÖRDA MÄTNINGAR	16
3.1 <u>Försöksanläggningen - värmedelen</u> ,.....	17
3.1.1 Försökets genomförande - värmedelen	18
3.2 <u>Försöksanläggningen - kyldelen</u>	18
3.2.1 Försökets genomförande - kyldelen	19
4 RESULTAT	21
4.1 <u>Resultat - värmefallet</u>	21
4.1.1 Uppfångad soleffekt	21
4.1.2 Verkningsgrader	24
4.1.3 Sammanfattande resultat - värmedelen	25
4.2 <u>Resultat, kylfallet</u>	26
4.2.1 Verkningsgrader - kylfallet	27
4.2.2 Vattenförluster och vattenflöden	28
4.2.3 Sammanfattande resultat - kyldelen	28
5 SAMMANFATTANDE SYNPKTLER OCH SLUTORD	30
5.1 <u>Resultatets användbarhet</u>	30
5.2 <u>Övriga synpunkter</u>	31
5.3 <u>Slutord</u>	31
LITTERATURFÖRTECKNING	33
BILAGA 1 Ritningen över försöksanordningen. Sektion och vy.	35
SAMMANFATTNING	39-41

BETECKNINGAR

A, A	yta, ytvektor	$[m^2]$
A_x, A_y, A_z	ytkomponenter i x, y och z riktningen	$[m^2]$
a	solasimut mot söder	$[^\circ]$
c_p	luftens specifika värme	$[Ws/kg]$
h	solhöjd	$[^\circ]$
I, I	solintensitet, solintensitet i vektorform	$[W/m^2]$
I_x, I_y, I_z	solintensitet i x, y och z riktningen	$[W/m^2]$
I_{DH}	solintensitet på horisontell yta	$[W/m^2]$
I_{DV}	solintensitet på vertikal yta	$[W/m^2]$
\dot{M}	vattenförlust p g a evaporativ kylning	$[kg/s]$
\dot{Q}	uppfångad värme eller kyleffekt	$[W]$
\dot{Q}_{teor}	teoretisk kyleffekt	$[W]$
r	vattnets ångbildningsvärme	$[Ws/kg]$
t_{sam}	temperatur i samlingskanalen	$[^\circ C]$
t_{ute}	utetemperatur	$[^\circ C]$
t_v, t'_v	luftens våta temperatur eller vattnets temperatur i jämvikt	$[^\circ C]$
\dot{V}	luftflöde	$[m^3/s]$
v	planets riktning mot söder	$[^\circ]$
α	planets lutning mot horisontalplanet	$[^\circ]$
β	planets normals lutning mot horisontalplanet	$[^\circ]$
φ	relativa fuktigheten	$[\% RH]$
η	verkningsgrad	
ρ	luftens densitet	$[kg/m^3]$

1 INLEDNING OCH AVSIKT

För uppvärmning och kylning av industrihallar används vanligen konventionell luftbehandling, dvs värmning med el- eller varmvattenbatterier och numera ofta kombinerat med värmeåtervinning. Under kylfallet används nästan uteslutande kompressorkylanläggning med kylbatterier. Både att kyla och att värma ventilationsluften drar stora mängder energi.

Avsikten med nedan redovisade försöksserie är att i ett kombinerat luftintag antingen förvärma ventilationsluften med hjälp av solenergi, när så är möjligt, eller om så behövs evaporativt förkyla ventilationsluften.

Det kombinerade luftintaget bör placeras på en industrihalls takyta.

Värmeöverföringen vid förvärmningen sker genom att bakom en solbelyst yta blåsa luft, vilken upptar solenergi som fallit på ytan. Värmeavgivningen vid förkylningen sker genom att låta vatten förångas på en yta på vars baksida luft blåses. Luften kyls då evaporativt.

De frågeställningar som försöket skulle ge svar på var, för värmefallet, följande. Hur stor är

- Uppfångad värmeeffekt och systemets verkningsgrad
- Värmeeffektens beroende av luftflöde och solfångar- respektive luftintagets basyta

Motsvarande frågeställningar ställdes för kylfallet.

Med ovanstående förutsättningar skall luftintaget bestå av två typer av ytor. En yta för förvärmning, som skall vara riktad mot söder, och en yta för förkylning, som skall vara i skugga. Intaget kan då bilda ett eller flera sadeltak med längdaxeln i öst-västlig riktning placerade på det plana halltaket.

Vinkeln mellan den plana halltakytan och solfångarytan (sydytan) beräknas med hänsyn till ortens geografiska läge och tiden på året då värmets från solfångaren behövs som mest. Vinkeln mellan takytan och kilytan (nordytan) måste vara så stor att kilytan under större delen av dagen på sommaren om möjligt är i skugga. Avståndet mellan sadeltaken bestäms av samma resonemang som solfångarytans lutning men med villkoret att solfångarytan ej får beskuggas av framförvarande sadeltak under större delen av dagen.

Görs solfångar- respektive kilytorna av stående trapetsprofilerad standardplåt erhålls dels takets naturliga "regnkappa", dels naturliga luftkanaler mot underlaget som kan vara isolering. Dessa luftkanaler ansluts med hål genom isoleringen till respektive samlingskanal i sadeltaket. Delas sadeltaket horisontellt längs längdaxeln bildas två samlingskanaler. Samlingskanalerna kan sedan under hallens takplan sammanbindas med ventilationsaggregatet. Fig 1.1 visar hur systemet kan se ut på en hallbyggnad.

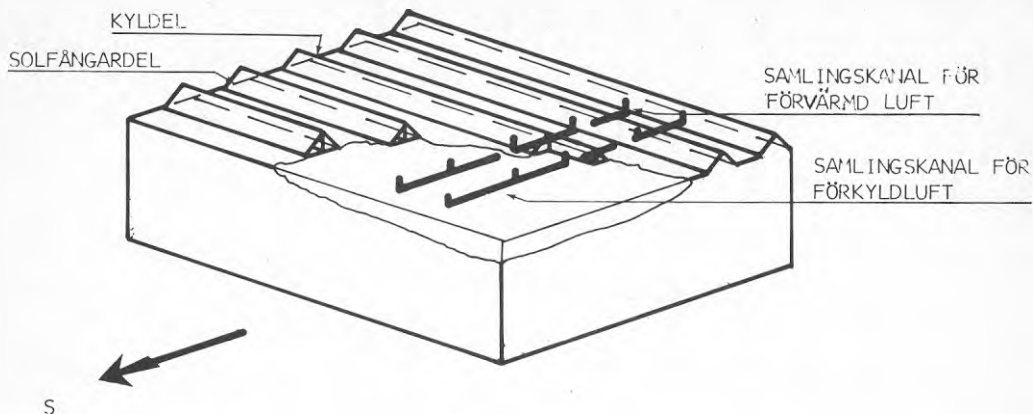


Fig 1.1 Principskiss av en hallbyggnad med taket utnyttjat som tilluftintag. I intaget kan luften antingen förvärmas med hjälp av solenergi eller evaporativt förkylas.

Reglerutrustningen som behövs är spjäll som styrs av en utomhusgivare. Spjällen styr om luften skall förvärmas om så är möjligt eller förkylas. Utomhusgivaren styr även en pump som reglerar vattenflödet vid kylning.

Nedan redogörs för de teoretiska samband som har använts vid beräkning av resultatet.

2.1 Värmefallet

Den här behandlade enkla solfångaren torde ha en relativt dålig förmåga att fånga diffus strålning. Den syns dock ha en viss effekt även om himlen är beslöjad.

Studeras ett givet fall med solintensiteten I [W/m^2] vinkelrätt en yta på vars baksida luftflödet \dot{V} [m^3/s] strömmar, erhålls en höjning av temperaturen i luftflödet, Fig 2.1. Med hjälp av temperaturhöjningen kan uppfångad värmeeffekt \dot{Q} beräknas som

$$\dot{Q} = \dot{V} \rho c_p \cdot (t_{sam} - t_{ute}) \quad [W] \quad (1)$$

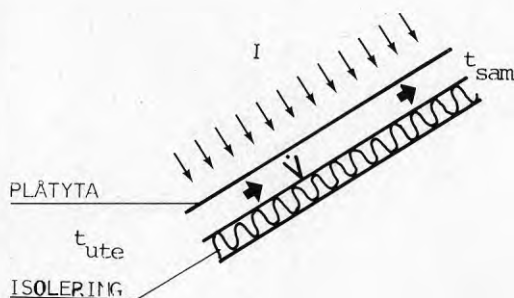


Fig 2.1 Genom att låta ett luftflöde \dot{V} strömma längs en solbelyst plåt, höjs utelufttemperaturen t_{ute} till temperaturen i samlingskanalen t_{sam} . Solintensiteten är I [W/m^2] vinkelrätt belysta ytan.

Med systemets verkningsgrad menas förhållandet mellan uppfångad effekt och mot ytan vinkelrätt instrålad soleffekt. Detta kan då tecknas som

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{I \cdot A} \quad (2)$$

då $I \cdot A$ är den solbelysta ytans totala infallande soleffekt.

2.1.1 Solstrålning

Solintensiteten vinkelrätt mot plåtytan går i och för sig lätt att mäta genom att ha en solarimeter riktad med normalen åt samma håll som den solbelysta ytan. Då soldata kunde erhållas från ett annat försök 100 m från försöksanordningen, ansågs det bättre att använda soldata från den försöksanordningen än att skaffa egen solarimeter. De solintensiteter som mättes i närheten var den vertikala strålningen på en horisontell yta, I_{DH} , och den horisontella strålningen på en vertikal yta, I_{DV} , riktad mot söder. Fig 2.2 visar en allmän solbelyst yta.

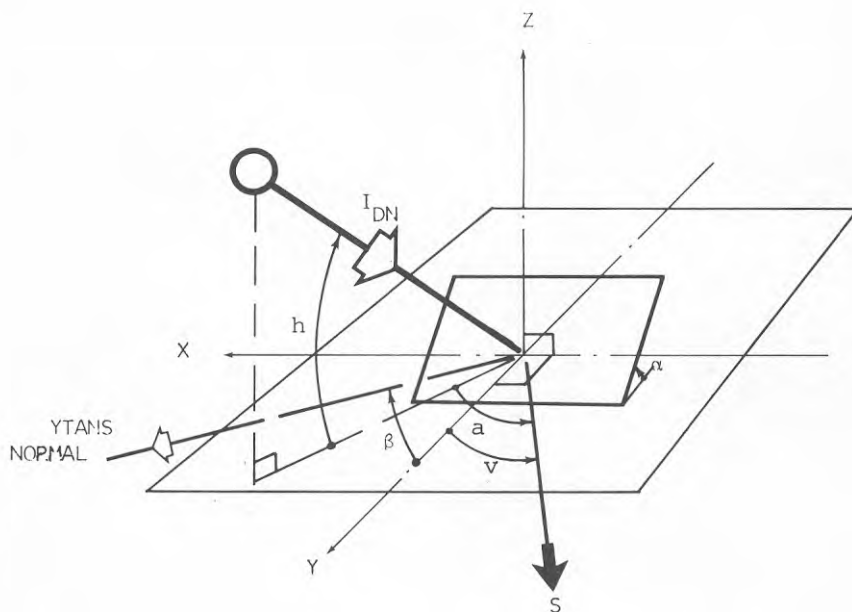


Fig 2.2 Definitioner och beteckningar för ett solbelyst lutande plan.

Solstrålen, I_{DN} , i Fig 2.2 kan uttryckas i tre komponenter och beror på planet's lutning och vridning, solhöjd och asimut enligt nedan

$$I = \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \\ I_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos h \cdot \cos(90+v-a) \\ \cos h \cdot \sin(90+v-a) \\ \cos(90-h) \end{bmatrix} I_{DN} \quad [W/m^2]$$

Det lutande planet kan uttryckas i tre komponenter enligt

$$A = \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \cos \beta \\ \sin \beta \end{bmatrix} A \quad [m^2]$$

Skalär produkten ger då solstrålen i planets normal enligt nedan

$$I \cdot A = I_x A_x + I_y A_y + I_z A_z \quad [W]$$

Om nu planets vridning från söder är noll kommer $I_y = I_{DV}$ och $I_z = I_{DH}$ och då erhålls

$$I \cdot A = I_{DV} \cdot \cos \beta A_y + I_{DH} \sin \beta A_z \quad [W] \quad (3)$$

Detta innebär att man enbart behöver mäta komponenterna I_{DV} och I_{DH} om planet är riktat mot söder för att erhålla uppgifter och solinfallet på den lutande ytan.

Mätningarna utfördes under totalt 18 soliga dagar. För 10 av dessa dagar saknas uppmätta solvärden p g a dåligt fungerande solmätare. För att ändå kunna använda de övrigt erhållna värdena har solintensiteten bestämts approximativt med utgångspunkt från temperaturdifferensen på en solbelyst plåt av samma material som solfångaren. Ur denna temperaturdifferens har genom polynominal regression [3] solinstrålningen per ytenhet beräknats.

För små temperaturdifferenser har ett förstgrads och för större temperaturdifferenser ett andragsrads polynom gett sambandet [1].

2.1.2 Feluppskattning - värmefallet

De mätta storheter som ingår i (1) är

- luftflödet
- utetemperaturen
- temperaturen i samlingskanalen

Därmed är de dominanta mätfelen i uppfångad värmeeffekt beroende av storleken av felen i de mätta storheterna om man kan förut-

sätta att felet i luftkonstanten ρ och c_p är försumbart. Trots detta är felet upp till 10 - 15 % för (1).

För sambandet (2) blir felet något större eftersom här tillkommer ytterligare enheterna I_{DV} och I_{DH} . Uppgifter om desammas totala fel har dock inte erhållits.

2.2 Kylfallet

Det har nämnts ovan att kylningen av luften skulle ske evaporativt. Principen framgår av Fig 2.3 där en plåtyta besprutas på övansidan med vatten och på plåtens baksida strömmar en luftström, \dot{V} , vilken kommer att erhålla en temperatursänkning.

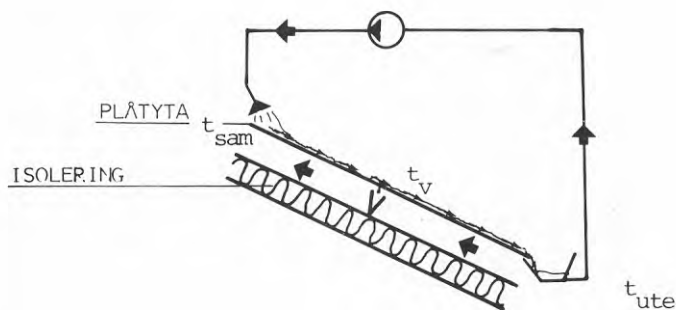


Fig 2.3 Genom att låta ett luftflöde \dot{V} strömma längs en vattenbesprutad plåt, sänks utelufttemperaturen t_{ute} till temperaturen i samlingskanalen t_{sam} . Vattnet kommer att inta den sk våta temperaturen t_v .

Processen kommer att se ut enligt Fig 2.4 i ett Mollieridagram, där man kan förutsätta att inget vatten kommer att tillföras luften under kylprocessen. Teoretiskt skulle man kunna erhålla en lägre temperatur på luften än temperaturen i samlingskanalen. Denna lägre temperatur är luftens våta temperatur t_v . Uppfångad kyleffekt blir då enligt (1) om temperaturen byter tecken i densamma medan den teoretiskt möjliga uppfångade kyleffekten analogt blir

$$\dot{Q}_{teor} = \dot{V} \rho c_p (t_{ute} - t_v) \quad [W] \quad (4)$$

Systemets teoretiska temperaturverkningsgrad blir då med hänsyn till teckenändringen ovan

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{teor}} = \frac{t_{ute} - t_{sam}}{t_{ute} - t_v} \quad (5)$$

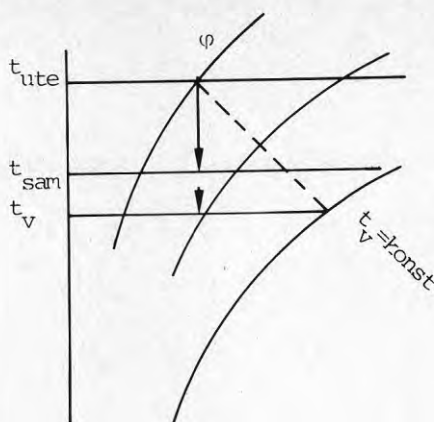


Fig 2.4 Genom att evaporativt kyla luften med vatten av temperaturen t_v kommer luften att kylas från temperaturen t_{ute} till temperatur t_{sam} .

För att erhålla temperaturen t_v har utetemperaturens våta temperatur mätts med Assmannpsykrometer och kontrollerats med temperaturen i vattnet.

2.2.1 Vattenflöden och förluster

Vattenförluster i ett evaporativt system av det här behandlade slaget, där vatten sprutas på en plåt under vilken den luft som blir kyld strömmar, sammansätts av dels avdunstning och dels stänk. Den för avdunstningen erforderliga värmeenergin tas från dels den under plåten strömmande luften, som kyls, och dels från själva vattnet som strävar mot den omgivande luftens våta temperatur. Således:

- | | | |
|-------------|---|---|
| Avdunstning | - | vattenförlust genom den evaporativa kylningen bortförångade vattnet |
| | - | den vattenmängd som förångas bort genom att vattnet strävar mot luftens våta temperatur |
| Stänk | - | vattenförlust genom stänk och bortblåst vatten |

Beräkningsmässigt kan visas att den vattenmängd som bortförångas genom att vattnet strävar mot sin våta temperatur är försumbar jämfört med den första. Vattenförlusten genom stänk är inte direkt vare sig mätbar eller beräkningsbar. Den kan dock erhållas som skillnaden mellan systemets totala vattenförlust minskat med den vattenförlust som beräknas p g a kylningen.

Vattenförlusten som erhålls enbart p g a den evaporativa kylningen kan tecknas såsom

$$\dot{M} = \frac{\dot{Q}}{r} \quad [\text{kg/s}] \quad (6)$$

\dot{M} enligt ovan blir mer en potens mindre än totalt mätta vattenförlusten.

Den totala vattenförlusten är framräknad ur mätdata. Totala vattenförlusten är beräknad som volymen i vattentanken före försöket minskat med volymen i vattentanken efter försöket delat med försökstiden [2].

2.2.2 Feluppskattning - kylfallet

Felet vid mätning av kyleffekten blir lika stort som felet vid mätning av värmeeffekten, förutsatt att de mätta storheterna är lika stora vid bägge försöken. Felet beror alltså på felet i mätning av luftflödet och temperaturerna. Felet vid beräkning av temperaturverkningsgraden (5) beror enbart på noggrannheten att mäta tre temperaturer.

De två lufttemperaturerna går ganska bra att mäta medan om luftens våta temperatur mäts med hjälp av psykrometer så blir felet i den beroende av andra faktorer än av lufttemperaturmätningen. Mäts temperaturen i vattnet vet man inte om den temperaturen är den rätta beroende på värmeutbytet mellan luften och samlingstanken (se försöksanordning). Om felet att mäta den våta temperaturen är lika stort som för de övriga erhålls ca 10 % fel som högst.

Av resonemanget ovan framgår att det finns två våta temperaturer för detta system. De är

- teoretiskt våt temperatur som beror på luftens tillstånd
- vattnets temperatur i försöksanläggningen som var större än ovan beroende på värmeinläckning till vattenmagasinet

Detta medför att man kan erhålla två temperaturverkningsgrader enligt Fig 2.5.

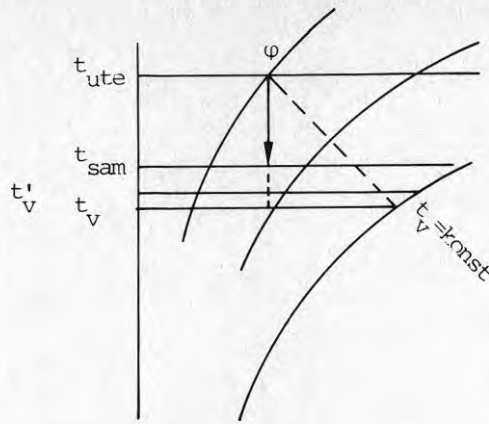


Fig 2.5 Genom att mäta den våta temperaturen med hjälp av en s k våttermometer, Assmannpsykrometer, erhålls med ganska stor noggrannhet luftens våta temperatur, t_v , i ett Mollierdiagram. Mäts vattnets temperatur i ett system med en behållare, erhålls trots att vattnet har stor kontaktyta med luften, en högre temperatur t'_v . Då erhålls två temperaturverkningsgrader.

BESKRIVNING AV FÖRSÖKSANLÄGGNING
OCH UTFÖRDA MÄTNINGAR

Försöksanordningen var en träkonstruktion på vars snedställda sidor stadgande spånskivor var fästade. På spånskivorna fästes 40 mm cellplast och utanpå den 0,8 mm trapetsprofilerad plåt DO-TP 50, variant A, färg 015 (svart). Bilaga 1 visar en sektionsritning och vy av försöksanläggningen. Fig 3.1 visar försöksanordningen.

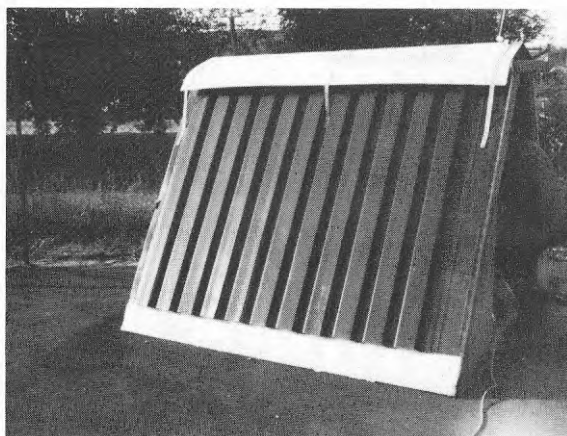


Fig 3.1 Försöksanordningen bestod av en trapetsprofilerad plåt, på isolering och trästomme.

På undersidan plåten erhålls luftkanaler p g a plåtens trapetsprofilerings. Dessa kanaler tätades upptill och med hjälp av hål i isoleringen och inloppsrör, sammanbands kanalerna med två samlingskanaler. Försöksanordningen bestod av två samlingskanaler, en för varma sidan och en för kalla sidan, se Fig 3.2.

Samlingskanalerna kunde en i taget med hjälp av en böjlig slang sammanbindas med en mätfläns, EHBA-025-2, stryppsjäll och en fläkt. Samlingskanalerna var spirorör och hade liksom mätflänsröret 250 mm diameter. Spjället tillsammans med en skiva på fläktens utloppsgaller användes för att reglera luftflödet.

Med hjälp av en mikromanometer mättes tryckdifferensen över mätflänsen, varefter luftflödet bestämdes.

Nedan beskrivs delar som är specifika för värme- respektive kyldelen.

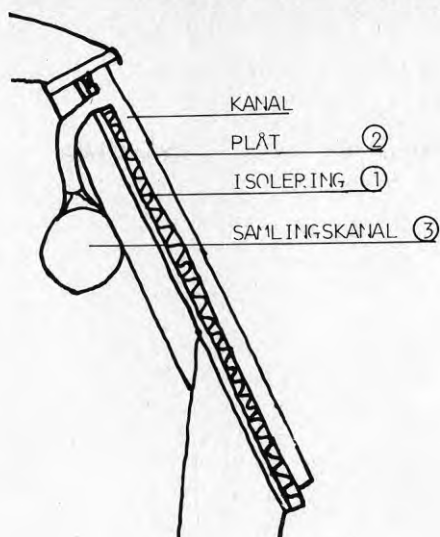


Fig 3.2 Genom kanaler som bildades mellan trapetsprofilerade plåten 1 och isoleringen 2 sögs luften till en samlingskanal 3 som med hjälp av en böjlig slang förbands mot en mätfläns och fläkt.

3.1 Försöksanläggningen - värmedelen

Ett principschema på försöksanläggningens värmedel visas i Fig 3.3.

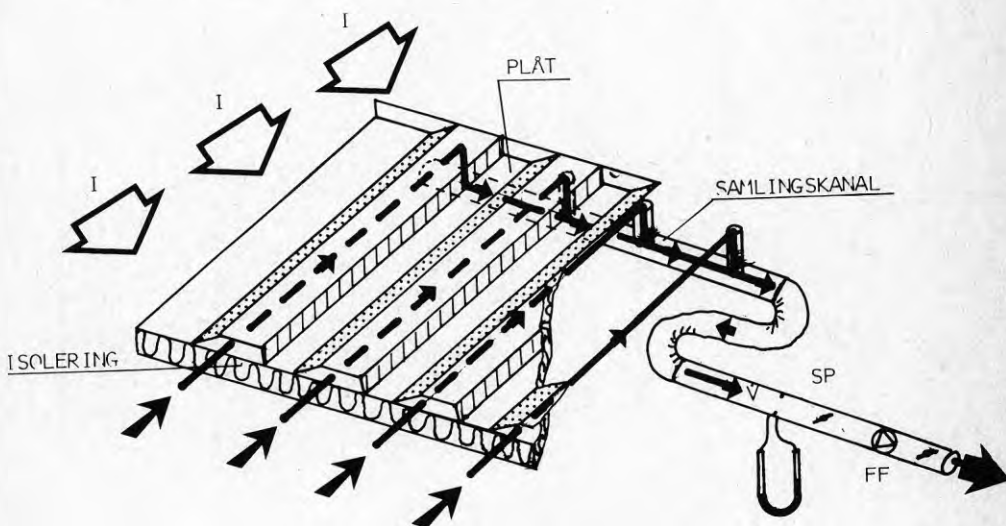


Fig 3.3 Principfigur av försöksanläggningens solfångardel

För värmeförsöken mättes temperaturen i samlingskanalen t_{sam} på två ställen, utetemperaturen på två ställen, temperaturen på plåten samt tryckfallet över mätflänsen och solintensiteterna.

För temperaturmätningarna har termoelement typ koppar/konstantan och kompensationskrivare använts till samtliga temperaturer i Fig 3.3. Samtliga temperaturgivare har i behövlig utsträckning skärmats med Al-folie. Felet inklusive avläsningsfelet vid temperaturmätningen är högst $0,5^{\circ}\text{C}$. Mikromanometern för differenstryckmätning har avläsningsmöjligheten $0,1\text{ mm vp}$. Flödet kan då beräknas enligt uppgift från tillverkaren med 4% fel inom angivet flödesområde. Då flödet i försöket var något lägre har kontrollmätning gjorts som visade att kurvan kan extrapoleras något.

3.1.1 Försökets genomförande - värmedelen

Totalt gjordes 18 mätningar som varade mellan 2 och 7 timmar. Tryckfallet över mätflänsen registrerades ett tag efter försökets start och alldeles före försökets avslutande. Med hjälp av temperaturskrivaren registrerades temperaturerna var 5:e minut. Solintensiteten registrerades varje månad hela dygnet för de första 8 dagarna.

3.2 Försöksanläggningen - kyldelen

Kyldelen var lika den varma delen vad beträffar luftsystemet. Dessutom fanns ett vattensystem som sprutade vatten på plåten för de evaporativa kylprocessen. Ett principalschema framgår av Fig 3.4. Vattnet sprutades på plåten med fyra dysor

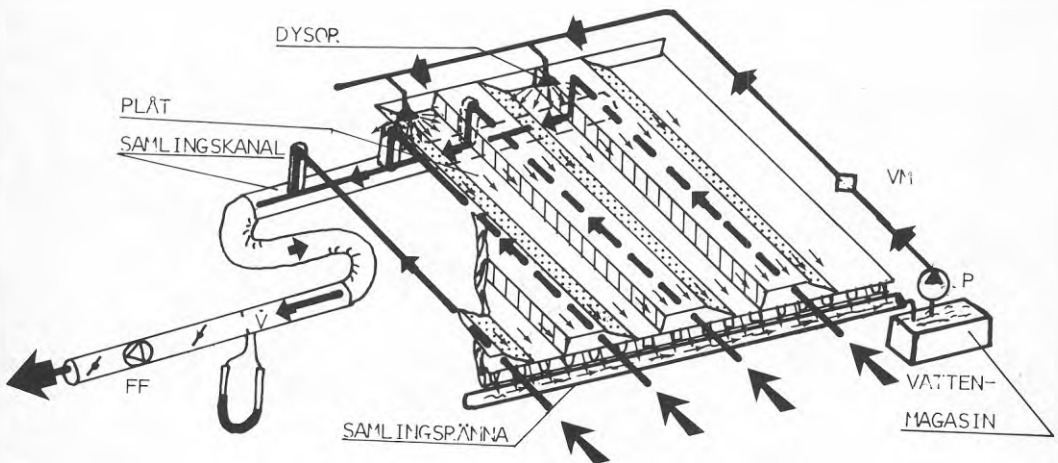


Fig 3.4 Principfigur av försöksanläggningens kyldel. För kylförsöken mättes temperaturen i samlingskanalen på två ställen, utetemperaturen, luftens våta temperatur och vattnets temperatur. Vattemätarna och tryckfallet vid mätflänsen avlästes samt vattenförbrukning.

(Spraying System typ 1/4T 9520) med flata horisontella strålar. Därefter samlades vattnet upp i en samlingsränna och rann däriifrån till ett magasin (100 l). Från magasinet pumpades vattnet via vattenmätaren till dysorna. Fig 3.5 visar dysorna, plåten och samlingsrännan. Vattenfördelningen styrdes med fyra strypventiler, en vid varje dysa.

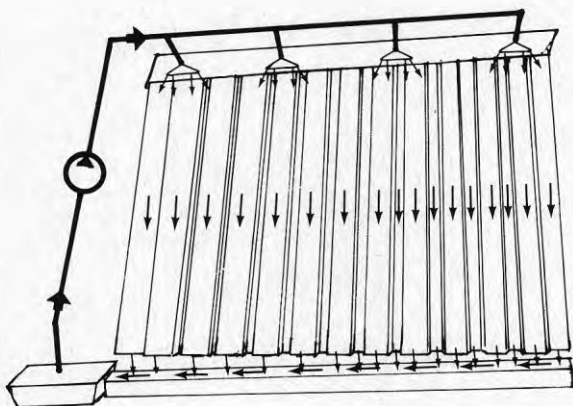


Fig 3.5 Med hjälp av ett vattenmagasin, en pump och dysor sprutades vatten på plåten. Vattnet samlades i samlingsrännan och rann till magasinet.

Temperaturerna i Fig 3.4 mättes med samma skrivare som för solfångarförsöket. Vattnets temperatur mättes med termoelement och skrivare. Luftens våta temperatur och dess relativa fuktighet mättes med en Assmannpsykrometer med kalibrerade termometrar med avläsningsmöjligheten $0,1^{\circ}\text{C}$.

Luftflödesmätningen var densamma som för solfångarförsöket. Vattenmätaren var en typ vinghjulsmätare och inom aktuellt flödesområde var felet 5 %.

Vattenvolymen i vattenmagasinet mättes med tumstock. Volymen kalibrerades från början av försökstiden och felavläsning på 1 mm motsvarar ~ 1 liters fel. Tanken hade totalvolymen 100 l.

3.2.1 Försökets genomförande - kyldelen

Totalt gjordes 15 försök som varade mellan 1 till 3 timmar. Tryckfallet över mätflänsen för luftflödesbestämning mättes

vid början av försöket och vid dess slut.

Temperaturerna registrerades med skrivaren var 5:e minut. Luftens torra och våta temperatur mättes med Assmannpsykrometer vid försökets början och slut.

För de olika försöken har resultatet framräknats enligt de i teoriavsnittet framtagna sambanden. Delresultaten redovisas som tidsmedelvärden under respektive dags försökstid. För noggrannare analys av enskilda mätvärden hänvisas till [1] och [2].

De resultat som redovisas hänförs enbart till de i försöksanläggningen specifika förhållandena. I något fall har allmänna resultat erhållits. Resultaten har som tidigare redovisats mätfel som i vissa fall kan vara betydande.

4.1 Resultat - värmefallet

De erhållna resultaten kan uppdelas i följande:

- värmeeffekter
- verkningsgrader

I Fig 4.1 redovisas mätdagar, mättider och utetemperaturer. Ute-temperaturen som redovisas är utetemperaturens max- respektive min-temperatur under mättiden. Dessutom redovisas de dagar då solarieterskrivaren har fungerat. Försöksdag 1 är ej bearbetad mer än i regressionsanalysen för solintensitetsberäkning.

4.1.1 Uppfångad soleffekt

Det visade sig att utetemperaturer och temperaturen i intagskanal inte var de samma då solen sken. Detta beror på att solen värmden upp den svarta asfalten som försöksanordningen stod på, som i sin tur värmden upp luften som sögs in i försöksanläggningen.

Skillnaden framgår i Fig 4.2 där kvartsmedelvärden av infallande soleffekt är ritade mot uppfångad soleffekt. Där är den uppfångade soleffekten beräknad med de två olika utetemperaturerna som delas dels med solfångarens plåtyta, dels med försöksanläggningens basyta. Den senare är gjord för att få ett mått på ytbövet vid praktisk tillämpning.

Fig 4.3 visar medelvärdena av uppfångade soleffektens beroende av den infallande för samtliga försök. Den uppfångade soleffekten relateras till uteluften med hänsyn till asfaltens inverkan. Det framgår att spridningen inte är så stor samt att de dagar då solintensiteten är mätt inte avviker från övriga dagar. Vidare kan utläsas att luftflödets storlek har viss inverkan då de försök med större flöde ligger något mer åt höger i Fig 4.3.

Dagnr	1976		Försökstid	Utetemp	Solinten-	Luftflöde
	Mån	dag	klockan	°C	sitets-	l/s
					mätning	
1	03	11	1250-1335	-1,6/-1,3	Ja	161
2		12	0945-1500	-5,8/ 0,8	Ja	331
3		15	0950-1535	-4,8/ 0,5	Ja	200
4		16	0925-1510	-7,5/ 0,5	Ja	126
5		17	0935-1605	-1,2/ 2,2	Ja	126
6		18	0925-1540	0,0/ 3,1	Ja	89
7		19	0920-1435	-0,5/ 5,3	Ja	77
8		22	0950-1705	-5,2/ 2,2	Ja	77
9		23	0825-1640	-6,8/ 0,9	-	148
10	04	06	1140-1610	3,5/ 5,2	-	100
11		07	0825-1610	4,4/ 9,7	-	100
12		13	0905-1330	9,9/11,9	-	109
12		13	1505-1620	9,5/12,2	-	118
13		27	0945-1545	2,5/ 5,4	-	126
14		28	1005-1635	4,3/ 6,5	-	118
15	05	10	0950-1605	22,9/26,0	-	118
16		12	1140-1410	12,5/14,2	-	118
17		13	1200-1545	11,6/14,3	-	118
18		17	0910-1340	13,7/16,5	-	126

Fig 4.1 Dagar och försökstider då försök har registrerats med solfångardelen. Försökstidens max- och min-temperatur under försökstiden framgår samt de dagar då solintensiteten har mätts och aktuellt luftflöde.

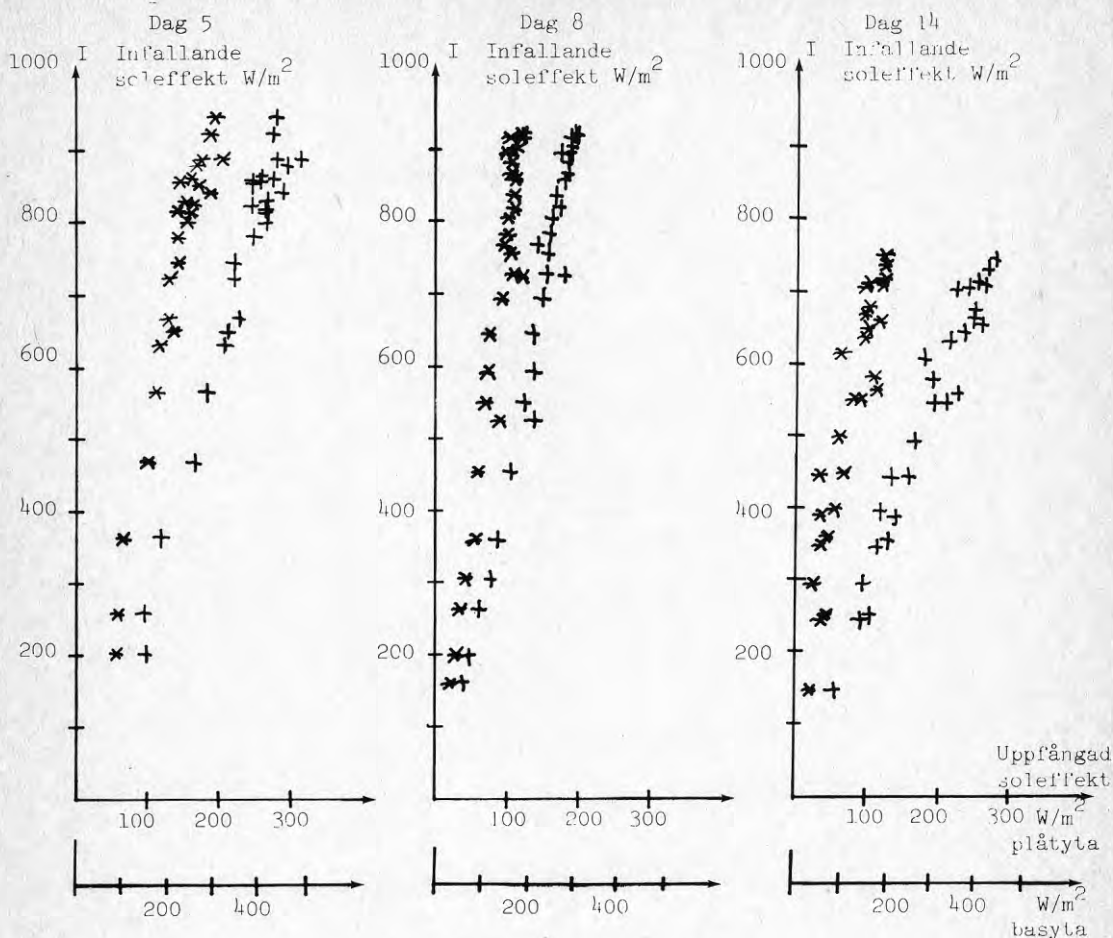


Fig 4.2 Sammanställning av kvartsmedelvärden för sambandet mellan infällande soleffekt och uppfångad soleffekt för försök nr 5, 8 och 14. Dag 14 är infällande soleffekt beräknad.

- + värden med hänsyn till asfaltens uppvärmning av uteluften i intaget
- * värden utan hänsyn till asfaltens uppvärmning av uteluften i intaget

Fig 4.2 visar mätresultatet för 3 dagar samt dess spridning. Mätresultatet visas både med och utan hänsyn till asfaltens inverkan. Eftersom man kan förutsätta att i ett verkligt fall takytan framför luftintaget i solfångaren kommer att värma luften visas i Fig 4.3 enbart uppfångade effekterna med hänsyn därtill.

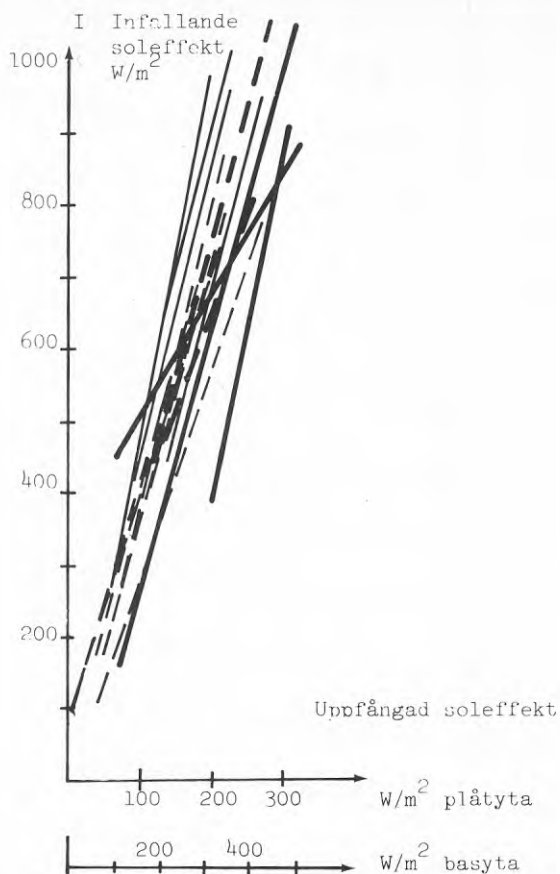


Fig 4.3 Sammanställning av samtliga mät-dagars uppfångade soleffekt, med hänsyn till uppvärmning från asfalten, beroende av den infallande soleffekten. Försök 2, 3, 5, 9, 13 och 17 har större flöde än övriga och markeras kraftigare.

- försök 2 - 8
- försök 9 - 18 (infallande soleffekt beräknad)

4.1.2 Verkningsgrader

En sammanställning av systemets verkningsgrad för de olika försöksdagarna visas i Fig 4.4. Verkningsgraden är även här beräknad inklusive värmetillägg från asfalten framför luftintaget. Momentana verkningsgrader upp till 70 % finns registrerade för försöksdag 3. Då detta enbart förekom under försöksdag 3 skulle man eventuellt kunna dra den slutsatsen att luftflödet gav maximal värmeupptagning från plåten. Det kan nämnas att temperatu-

ren på plåten på en luftkanal var 23°C då uttemperaturen var $-0,5^{\circ}\text{C}$ ($+2,0$ i intaget) och temperaturen i samlingskanalen $6,3^{\circ}\text{C}$. Temperaturen i plåten vid den isolerade mätpunkten för solberäkning var $36,9^{\circ}\text{C}$. Allt detta gäller för dag 3 kl 1230.

Av Fig 4.4 framgår vidare att verkningsgraden ligger kring 40 % och att som tidigare nämnts så ger ett högre flöde något högre verkningsgrad. Verkningsgraden utan hänsyn till asfaltens uppvärmning av luften är ca 10 % lägre.

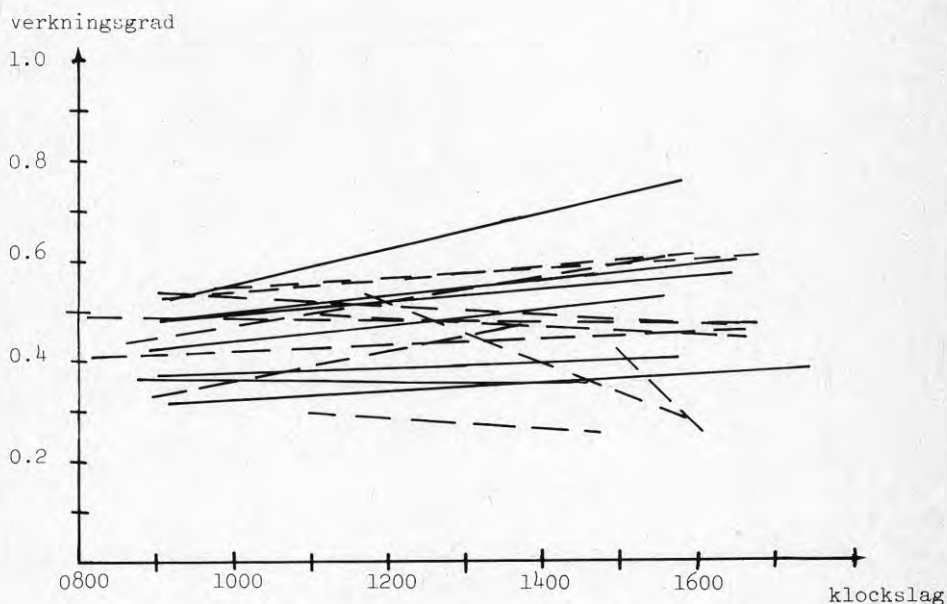


Fig 4.4 Sammanställning av försöksdagarnas verkningsgrader inklusive uppvärmning av luften från asfaltsytan.

- försöksdag 1 - 8
- försöksdag 9 - 18

4.1.3 Sammanfattande resultat- värmedelen

Av Fig 4.1, 4.2, 4.3 och 4.4 framgår att det inte kan utläsas något större fel på regressionsmodellen för beräkning av solintensiteten för de dagar mätningarna saknas.

Verkningsgraden för systemet är i medeltal 40 % med hänsyn till den påverkan den varma asfalten framför intaget medför och 30 %

utan. Momentana verkningsgrader upp till 70 % har registrerats.

Ett högre flöde ger något högre verkningsgrad. Flödet skall då vara större än $22 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \text{-basyta})$.

4.2 Resultat, kylfallet

De erhållna resultaten som är dagsmedelvärden för respektive försöksdag kan uppdelas i följande:

- kyleffekter
- verkningsgrader
- vattenflöden

I Fig 4.5 visas mät dagarna och den ungefärliga försökstiden. Totalt gjordes 15 försök som varade mellan 1 timme och 3 timmar.

Dag nr	1977 Mån dag	Tid tim: min	RH %	Ute-temp °C	Vatten-temp °C	Luft-flöde l/s	Vatten-flöde l/s	Vatten-förlust 10^{-3} l/s	Kyl-effekt kW	Verkn. grad
1	08 04	2:13	59	13,7	12,5	100	0,11	80	0,16	0,80
2	05	1:47	51	17,9	15,0	100	0,12	60	0,33	0,93
3	09	1:38	35	25,6	18,0	100	0,14	12	0,56	0,61
4	10	1:39	41	24,4	18,5	100	0,12	7	0,50	0,69
5	12	2:19	43	23,9	17,3	173	0,12	5	0,93	0,73
6	13	2:15	45	23,5	15,2	179	0,07	4	0,77	0,44
7	16	3:07	45	24,1	15,6	155	0,12	4	1,08	0,69
8	17	2:61	44	24,3	17,9	155	0,10	5	0,78	0,66
9	18	3:35	43	25,8	19,7	155	0,07	3	0,74	0,68
10	19	3:30	54	24,1	18,2	161	0,13	6	0,91	0,80
11	20	1:50	39	23,0	17,0	118	0,11	8	0,47	0,52
12	23	1:51	45	21,8	16,3	253	0,11	9	0,94	0,56
13	24	1:53	51	21,3	16,8	141	0,14	6	0,49	0,62
14	25	1:48	55	19,0	16,3	141	0,14	10	0,35	0,61
15	26	1:16	62	20,8	16,1	141	0,15	16	0,46	0,54

Fig 4.5 Sammanställning av resultatet. Relativa fuktigheten, vattenflödet och vattenförlusten är resultaten av två avläsningar eller mätningar. Övriga resultat är medelvärdet av fem minuters momentanvärden över försökstiden. Värdet då vattnets temperatur har stigit med mer än $1,5^{\circ}\text{C}$ mellan två registreringar har ej medtagits i utvärderingen

4.2.1 Verkningsgrader- kylfallet

Verkningsgraderna som redovisas i Fig 4.5 är försöksmedelvärden av verkningsgrader var 10:e minut. Då har inte värden medtagits där vattnets temperatur ökar mer än $1,5^{\circ}\text{C}$ mellan två 10 minuters värden samt sjönk mer än $0,5^{\circ}\text{C}$ samma tidsperiod. Sådana temperaturer förekom oftast dels i början av försöket då nytt vatten fylldes på, dels i slutet då det fanns mycket lite vatten i systemet. Det vatten som användes att fylla tanken med var oftast mycket kallare än luftens våta temperatur. Därmed tog det en tid innan vattnet kom i jämvikt med luften.

Det är ganska svårt att se hur resultatet i verkligheten är om inte siffrorna i Fig 4.5 redovisas grafiskt. Fig 4.6 redovisar samtliga dagsförsöksmedelvärden i ett Mollierdiagram för fuktig luft. Där framgår att det praktiska resultatet $\eta = 0,93$ för dag 2 inte är så bra då temperaturen i luften sjönk 2 grader jämfört med dag 3 då $\eta = 0,63$ och temperaturen i luften sjönk 5 grader. Ett försök att dra allmänna slutsatser av effektivitetens beroende av relativa fuktigheten framgår i Fig 4.7.

Genom att av Fig 4.6 rita sambanden mellan utetemperaturen och temperaturen i samlingskanalen för olika relativa fuktigheter kan Fig 4.7 uppritas. Man bör vara uppmärksam på att denna figur inte tar hänsyn till olika luftflöden utan enbart visar ungefärliga möjliga kylningen som kan erhållas för olika kombinationer utetemperatur och konstant relativ fuktighet. Figuren är enbart ritad inom det klimatområde som medelvärdena i Fig 4.6 representerar och gäller för försöksanläggningen.

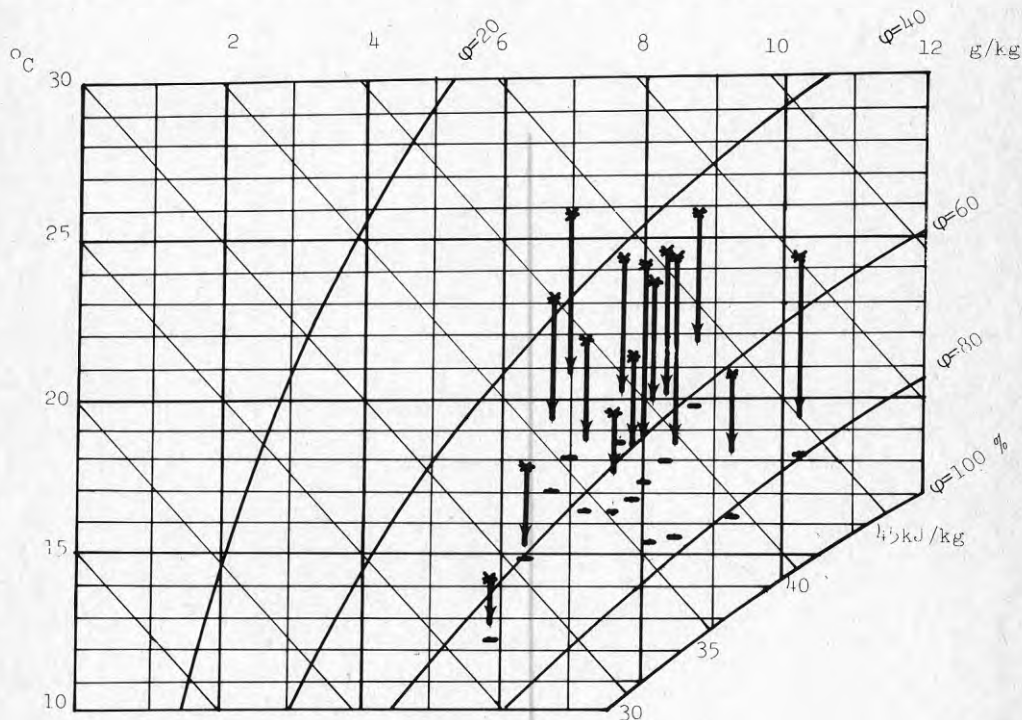


Fig 4.6 Mollierdiagram där medelvärden av temperaturerna ute (*), i samlingskanalen (+) och vattnets (-) visas.

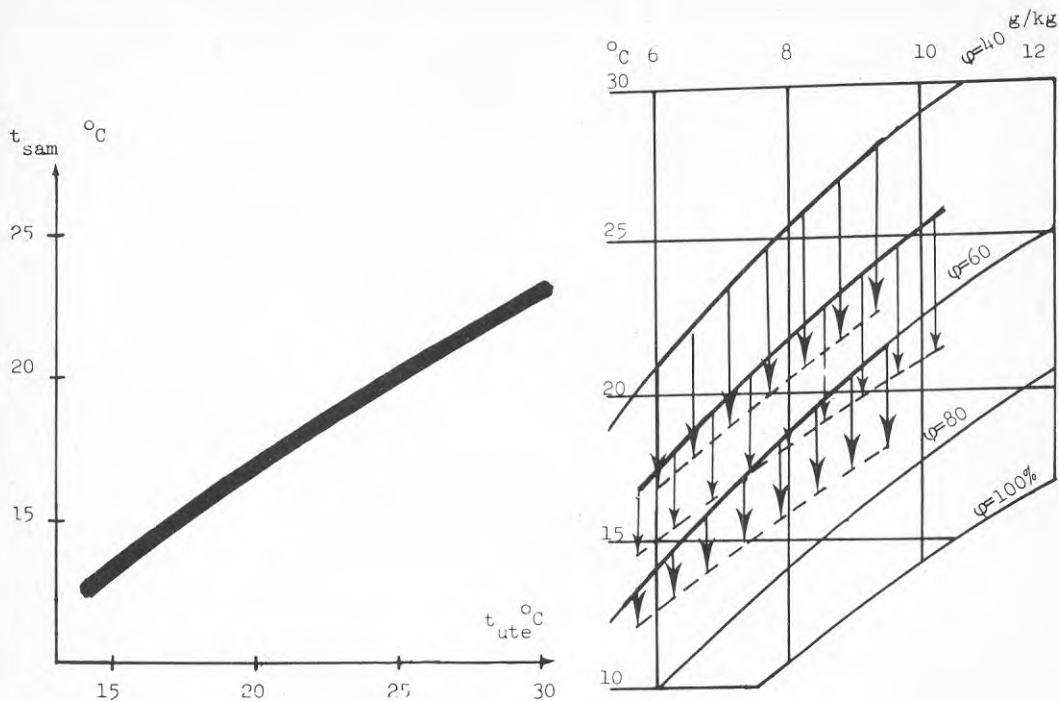


Fig 4.7 Ungefärliga sambandet mellan luftens relativa fuktighet och möjlig nedkylningsgräns för försöksanläggningen.

Medelvärdet av samtliga dagsmedelverkningsgraden är 0,65. Dessa refererar till vattnets temperatur då systemet är i jämvikt.

4.2.2 Vattenförluster och vattenflöden

De vattenflöden som registrerades är ungefär $0,03 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2\text{-basyta})$ eller $0,02 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2\text{-plåtyta})$. Den totala vattenförlusten är mellan 5-15 % av vattenflödet. För de två första dagarna är förlusten betydligt större men det beror på att dysorna inte var injusterade då. Vattenförlusten beror till ca 90 % på att vattnet blåsts och stänkts bort från plåtytan.

En viss tendens till att lågt vattenflöde ger sämre verkningsgrad tycks finnas.

4.2.3 Sammanfattande resultat - kyldelen

Systemets verkningsgrad är 65 % i medelvärde för samtliga försök. Verkningsgraden är då beräknad med hjälp av vattentemperaturen. Vattentemperaturen var vid beräkning av verkningsgraden ganska konstant med avseende på tiden. Höga verkningsgrader upp till 90 % har erhållits vid låga utetemperaturer.

Luftflödena var ungefär de samma som för det varma delförsöket.

Vattenflödena var av storleksordningen $0,03 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2\text{-basyta})$ och vattenförlusten 10 % av vattenflödet.

Maximala kyleffekten 1,1 kW eller $200 \text{ W}/\text{m}^2\text{-basyta}$ vid ett luftflöde av $28 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2\text{-basyta})$.

5 SAMMANFATTANDE SYNPKUNKTER OCH
SLUTORD

5.1 Resultatets användbarhet

Med hänsyn till systemets eller delsystemets enkelhet måste verkningsgrader på 0,4 för värmefallet och 0,65 för kylfallet anses bra. Oftast när det gäller energi- eller effektbesparingarna är det vinsterna som skall jämföras med kostnaderna. Denna försöks-serie har inte tagit upp dessa aspekter på ett seriöst sätt men däremot har vissa praktiska aspekter tagits med vad beträffar en ev tillämpning.

Det är helt klart att varaktigheten för solfångarns användning beror på när solen skiner (alltså på dagtid) och om värme behövs (temperaturer under ca 18 °C). Kyldelens användningstid beror enbart av temperaturen och om ventilationsanläggningen är i gång. Det medför att utnyttjningen lättare kan beräknas för kyldelen.

Det kan tyckas att luftflöden på 20-30 l/(s·m²-basyta) är stora. Förutsätts att bägge systemen installeras och att villkoren som nämndes inledningsvis om beräkning av avstånd mellan två solfång-arytor beaktas, så motsvarar detta att enbart en femte- eller tiondel av takytan i en industrihall behövs användas för att resultatet skall kunna tillämpas. Dock förutsätts att luftintaget sprids enligt Fig 1.1. Normala luftflöden i mekaniska industrier är 3-5 l/(s·m²-golvyta). Både kylsystemet och värmesystemet får alltså rum på grund av försöksanordningens höga flöde.

Förutsätts 18 ° i en industrihall som tilluftstemperatur så skulle solfångaren under dagtid klara de i Fig 5.1 visade delar av ventilationsvärmebehovet.

Dag	Utetemp medel °C	% av värmebehov
03 17	± 0	52
18	+ 2	59
19	+ 3	77
04 06	+ 4	52
13	+ 4	90

Fig 5.1 Exempel på % av värmebehov under en solig dag som solfångardelen skulle klara i en industrihall med luftflödet 4 l/(s·m²-golvyta)

Motsvarande figur skulle kunna göras för kylfallet men det framgår i princip av Fig 4.7, där kylgränsen för försöksanordningen visas beroende på utetemperatur och relativa fuktigheten. Med klimatparametrarna 25 °C och 40 % RH utomhus så klarar försöksanläggningen 58 % om nedkylning till 18 ° önskas.

5.2 Övriga synpunkter

Följande synpunkter måste beaktas om systemen kommer att användas:

- luftintaget måste göras av för brandbestämmelser godtagat material, bl a vad beträffar underlag för plåten
- under vissa tider måste ett tredje luftinsläpp (t ex i gavlarna på sadeltaken) användas p g a att snö kan täppa till intaget, eller på natten kan intagsluften kylas ned p g a plåtens kylning mot himlen
- den s k varmluftskuddebildningen sommartid på taket kan påverka lufttemperaturen negativt trots att intaget är i skugga då. Under värmebehov är detta ett positivt tillskott
- vattensystemet och material inom systemet måste konstrueras efter normala kyltorn eller evaporativa kondensorerers riktlinjer, vad beträffar rost, försurning, förkalknings- och algproblem

För att förbättra solfångardelen kan ev glas fästas på ovansidan plåten. Väggsfasader av trapetskorrugerad plåt går även att använda som solfångare förutsatt att en samlingskanal kan erhållas.

Denna princip att kyla luft med, går att använda på flera sätt. T ex kan troligen plasthallar få ett bättre inomhusklimat om vatten sprutas på hallens skuggiga sida sommartid. Då erhålls om inte lägre lufttemperatur en lägre yttemperatur på den i skugga belägna hallduken.

Om luften kyls på detta sätt med vatten kommer, trots att inget vatten tillförs, luftens relativa fuktighet att öka.

5.3 Slutord

Denna rapport visar:

- resultatet av ett försök att dels förvärma ventilationsluft, dels förkyla ventilationsluft i ett kombinerat tillluftsintag
- luftintaget består av luftkanaler som bildas i profilerna mellan två trapetsprofilerade plåtar och isolering, ställda som ett sadeltak
- under soliga dagar kan 40 % av från solen infallande effekt uppfångas av ventila-

tionsluften. Detta kan motsvara 50-60 % av ventilationsvärmebehovet för en industrihall en marsdag med utetemperaturen $\pm 0^{\circ}\text{C}$

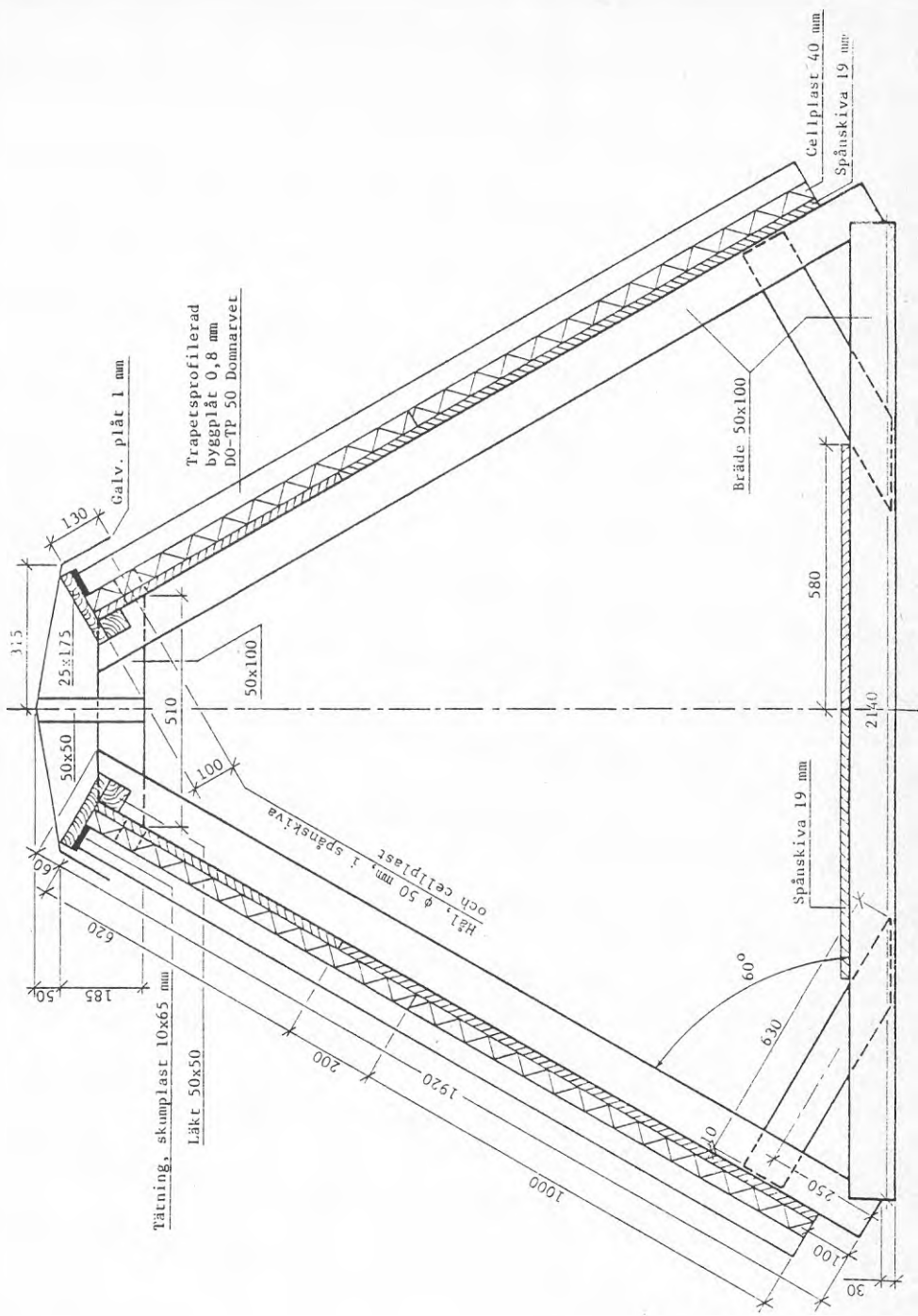
- under en varm sommardag kan 60 % av kyleffekten erhållas genom att kyla luften evaporativt med vatten som sprutas på den trapets-profilerade plåten i skugga. Verkningsgraden för kylsystemet är ungefär 65 %

LITTERATURFÖRTECKNING

- 1 Önsten, Ulf, 1977, Försök med förvärmning av ventilationsluft med enkel solfångare. Examensarbete 1977:4, CTH/Installationsteknik, Göteborg.
- 2 Svensson, Bengt, Ullgren, Carl-Sixten, 1977, Försök med evaporativ kylning av ventilationsluft. Examensarbete 1977:3, CTH/Installationsteknik, Göteborg.
- 3 Hewlett-Packard Calculator. 1974. 9830 A Plotter Pac, Loveland, U S A.

BILAGA 1 Ritningen över försöksanordningen.

Sektion och vy.

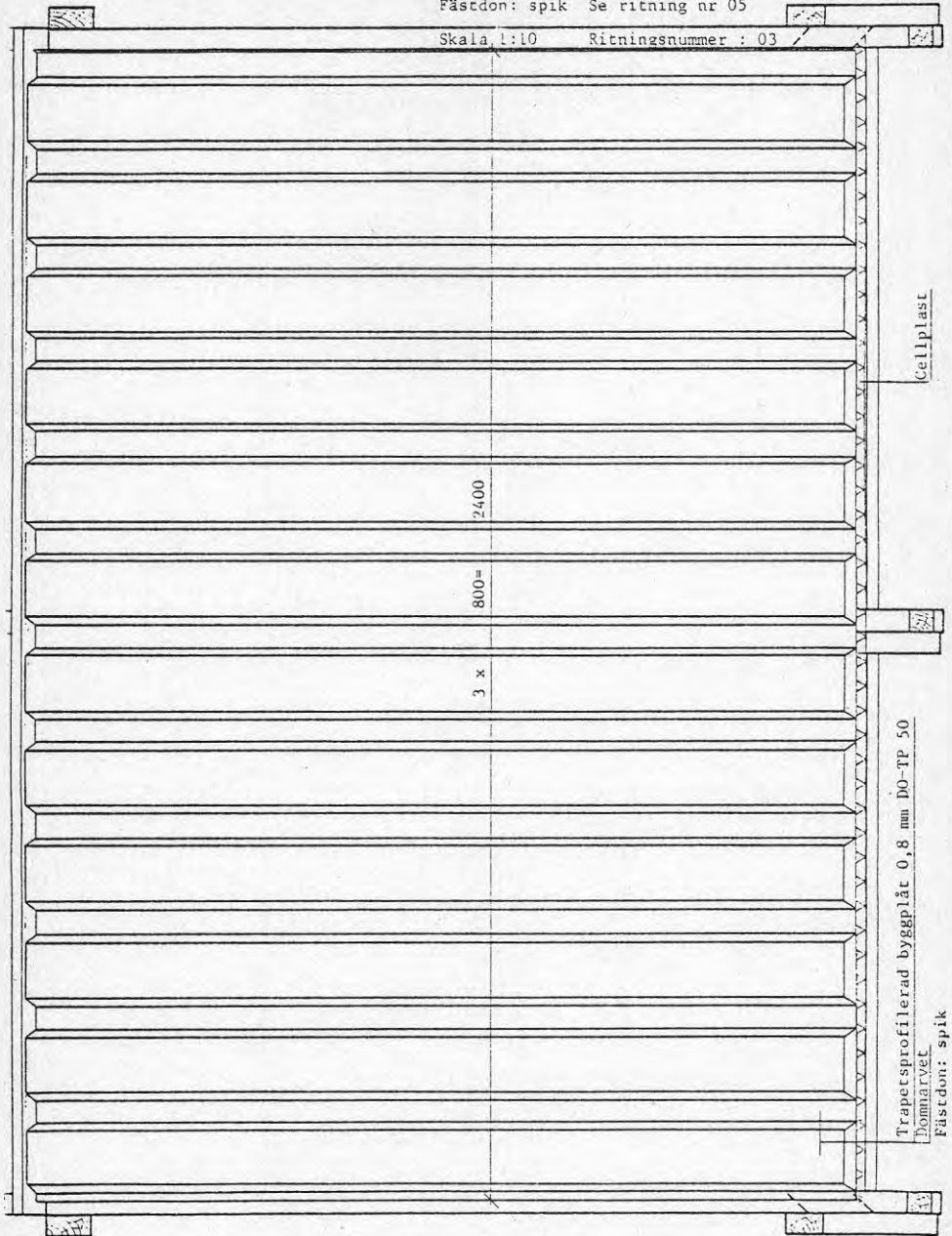


Chalmers Tekniska Högskola
Avd. för installationsteknik

SOLFÄNGARE

Vy, utan nockplåt och golvelement
Fästdon: spik Se ritning nr 05

Skala: 1:10 Ritningsnummer : 03



SAMMANFATTNING

Vid Avdelningen för installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, har, med stöd av BFR (anslag nr 75 04 87-8), utförts ett projekt som antingen utnyttjar solen för att förvärma ventilationsluft eller vatten för att evaporativt förkyla ventilationsluften. För båda dessa processer används ett kombinerat luftintag av trapetsprofilerad plåt.

Principer

Luftintaget, som avses användas på hallbyggnader, består av sadeltak placerade med huvudaxeln i öst-västlig riktning. Då erhålls två snedställda ytor, en åt söder och en åt norr. Genom att suga ventilationsluft på takets södra sida nerifrån i kanaler som bildas mellan den trapetsprofilerade plåten och underlaget erhålls en temperaturhöjning på luften om solen bestrålar plåten. Om förkylning av ventilationsluften önskas besprutas den norra takytan med vatten och då luft sugas i profilerna under plåten erhålls en sänkning av lufttemperaturen. Kylningen av luften sker evaporativt utan större kontakt mellan vattnet och luften.

De frågeställningar som en försöksanläggning enligt ovan skisserad princip skulle ge svar på var:

- uppfångad effekt och systemets verkningsgrad
- effektens beroende av luftflöde, respektive plåtyta och total basyta

Verkningsgrader

Med verkningsgrad för värmefallet avses förhållandet mellan uppfångad värmeeffekt och på plåtytan totalt infallen solintensitet. Vid kylning definieras verkningsgraden som en temperaturverkningsgrad med temperaturdifferenserna temperaturen ute minskat med temperaturen efter plåten i en samlingskanal samt temperaturen ute minskat med vattnets temperatur.

När vattnets temperatur var konstant med tiden ansågs det ha intagit luftens våta temperatur.

Resultat

Försök med solfångaren gjordes i mars och april.

Medelvärde på verkningsgraden för solfångaren var 0,3 och 0,4. Den högre siffran erhöles om man tog hänsyn till markens uppvärmning av luften före intaget. Den lägre verkningsgraden erhöles utan hänsyn till tillskott från framförliggande varm yta.

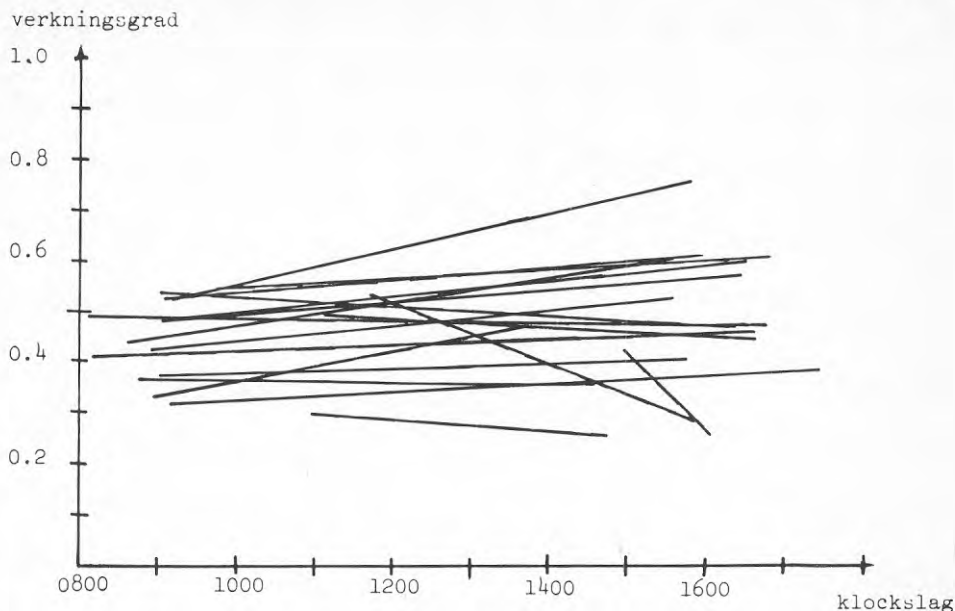


Fig 1 Sammanställning av mätdagarnas verkningsgrader för solfångardelen. Verkningsgraden inkluderar tillskott som den varma marken ger.

Dessa verkningsgrader motsvarar ungefär maximalt $300 \text{ W}/(\text{m}^2\text{-basyta})$ för försöksanläggningen. Luftflödet var $22 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2\text{-basyta})$. Verkningsgraden över samtliga försök redovisas i Fig 1.

Försök med den evaporativa kylningen gjordes under augusti. Verkningsgraden varierade mellan 0,9 och 0,5 och har 0,65 som totalt försöksmedelvärde. Detta motsvarar en kyleffekt av $200 \text{ W}/\text{m}^2\text{-basyta}$ vid luftflödet $28 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2\text{-basyta})$. Resultatet finns sammanställt i Mollierdiagrammet i Fig 2.

Vattenflödet i försöksanläggningen var av storleksordningen $0,03 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2\text{-basyta})$ och vattenförlusten 10 % av detta. 90 % av vattenförlusten har blåsts eller stänkts bort.

Användningsbarheten

Trots ovan redovisade höga luftflöden måste för att detta försök skall kunna användas luftintagen spridas. Då man bara an-

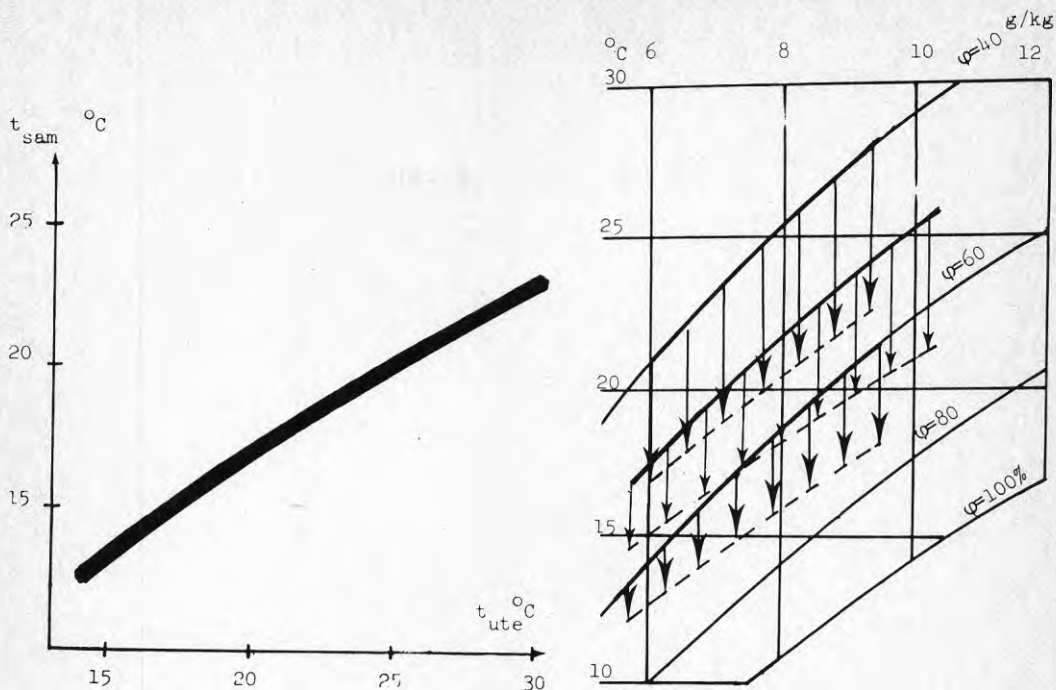


Fig 2 Sammanställning av ungefärliga sambandet mellan relativa fuktigheten och möjlig nedkylningsgräns för försöksanläggningen.

vänder ungefär $3-4 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2\text{-golvyta})$ som luftmängd i hallbyggnader kommer en praktisk tillämpning av denna princip att täcka 10 % av takytan av en hall. Därmed kommer dessa sadeltak inte att beskugga varandra.

Om man med dessa luftflöden och resultatet beräknar den täckning av värmebehovet som solfångaren skulle kunna ge så är den ungefär 60 % i mars och 80 % i april under dagtid då solen skiner. Motsvarande siffror för kylningen, vilken kan användas dygnet runt, är 60 % om temperaturen är 25° och 18° önskas som tillufttemperatur.

Andra synpunkter

Brandaspekter, snö, kallstrålning på plåten på natten, varmluftskuddebildning på takytan, vattensystemets materialval m m är viktiga saker att betänka om motsvarande tak kommer i praktisk användning.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750487-8 från
Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för installa-
tionsteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg**

R36:1978

ISBN 91-540-2842-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

**Art.nr: 6600736
Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 1403
111 84 Stockholm**

Cirkapris: 20 kr exkl moms