



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**

**R12:1984**

**Takvärme — energiförbrukning  
och inomhusklimat**

**Christer Johansson  
Bertil Pettersson**

R  
A 11

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION  
Accnr                      Plac Ser

**BYGGDOK**

Sankt Eriksgatan 46  
112 34 Stockholm  
tel: 08-617 74 50  
fax: 08-617 74 60

**Byggeforskningsrådet**

R12:1984

TAKVÄRME - ENERGIFÖRBRUKNING OCH INOMHUSKLIMAT

Christer Johansson  
Bertil Pettersson

Denna rapport hänför sig till forskningsanlag  
780944-6 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Statens provningsanstalt, Borås

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

R12:1984

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm  
ISBN 91-540-4074-4

LiberTryck Stockholm 1983

## INNEHÅLL

	Sid
FÖRORD .....	1
BETECKNINGAR .....	2
1 BAKGRUND .....	3
2 VÄRMESYSTEM .....	6
2.1 Takvärme .....	6
2.2 Elvärmepanel .....	11
3 INOMHUSKLIMAT .....	13
4 ENERGIBALANS FÖR EN BYGGNAD .....	16
5 PROJEKTBESEKRVNING .....	19
5.1 Målsättning .....	19
5.2 Projektinnehåll .....	19
5.3 Projektets uppläggning .....	21
6 PROVNINGSBETINGELSER .....	22
6.1 Provrum .....	22
6.2 Installation och möblering .....	25
6.3 Reglerutrustning .....	29
6.4 Mätutrustning .....	30
6.5 Mätprogram .....	30
7 MÄTRESULTAT .....	33
7.1 Sammanställning av mätresultat .....	33
7.2 Olika takvärmealternativ vid stationärt driftfall.....	38
7.2.1 Temperaturfördelning .....	38
7.2.2 Medeleffekt .....	41
7.2.3 Kommentarer .....	41
7.2.4 Val av takvärmealternativ .....	42
7.3 Jämförelse mellan takvärme och elvärme vid stationärt driftfall .....	43
7.3.1 Temperaturfördelning .....	43
7.3.2 Medeleffekt .....	47
7.3.3 Kommentarer .....	47

	Sid
7.4	Systemens snabbhet vid ändring av temperatur ..... 49
7.4.1	Jämförelse mellan olika system ..... 49
7.4.2	Kommentarer ..... 54
7.5	Inverkan av golvet's isolergrad ..... 55
7.5.1	Temperaturfördelning ..... 55
7.5.2	Medeleffekt ..... 57
7.5.3	Kommentarer ..... 57
7.6	Inverkan av ventilation ..... 58
7.6.1	Temperaturfördelning ..... 58
7.6.2	Medeleffekt ..... 60
7.6.3	Kommentarer ..... 61
7.7	Inverkan av möbler vid stationära driftfall . 62
7.7.1	Temperaturfördelning ..... 62
7.7.2	Medeleffekt ..... 65
7.7.3	Kommentarer ..... 66
7.8	Jämförelse mellan takvärme och elvärmepanel vid dynamiska driftfall ..... 67
7.9	Inverkan av möbler vid dynamiska driftfall .. 69
7.10	Inverkan av rumstermostatens placering ..... 69
7.11	Inverkan av störningar på reglersystemet .... 70
8	SAMMANFATTNING ..... 72
9	LITTERATUR ..... 77
BILAGOR	
	SAMMANSTÄLLNING AV OLIKA MÄTFALL ..... Bilaga 1
	RESULTAT FRÅN GENOMFÖRDA MÄTNINGAR ..... Bilaga 2

## FÖRORD

Föreliggande rapport utgör en slutredovisning av projektet "Takvärme - energiförbrukning och inomhusklimat".

Projektet har sökt att klarlägga hur takvärme jämfört med väggmonterade radiatorer fungerar från såväl energisom inomhusklimatsynpunkt. Inverkan av olika faktorer såsom golvisoleringens tjocklek, möbler, tillskottsvärme, ventilation och typ av styr- och regler-system har undersökts.

Rapporten redovisar resultat från ett stort antal mätningar utförda i laboratorium vid väl definierade och kontrollerade förhållanden. Resultaten ger en bild av de karakteristiska skillnaderna mellan de undersökta uppvärmningssystemen samt hur olika faktorer kan inverka på energiförbrukning och temperaturfördelning i ett rum.

Projektet har delvis bekostats med medel från Statens råd för byggnadsforskning (projekt nr 780944-6). Därutöver har finansiering skett genom dels medel från Billman AB, dels provningsanstaltens eget bidragsanslag. Takvärme AB har ställt material till förfogande för projektets genomförande.

Till de som bidragit till projektets genomförande och lämnat värdefulla synpunkter samt till de som ritat figurer och skrivit ut manuskript vill vi framföra ett varmt tack.

Stockholm i maj 1982

Bertil Pettersson

Christer Johansson

BETECKNINGAR

E	Energiförbrukning	kWh el Wh
P	Effekt	W
$P_S$	Värmeavgivning genom strålning	W
$P_K$	Värmeavgivning genom konvektion	W
C	Strålningskonstanten	5,78 W/m <sup>2</sup> ·K
$\vartheta_Y$	Vinkelkoefficient	1
T	Termodynamisk temperatur	K
$\vartheta_1$	Lufttemperatur	°C
$\vartheta_Y$	Yttemperatur	°C
$\vartheta_{op}$	Operativ temperatur	°C
$\vec{\vartheta}_{op}$	Riktad operativ temperatur	°C
$\alpha_S$	Värmeövergångskoefficient genom strålning	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$\alpha_K$	Värmeövergångskoefficient genom konvektion	W/(m <sup>2</sup> ·K)
k	Värmegenomgångskoefficient	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$\frac{d\vartheta}{dh}$	Temperaturgradient	°C/m
dA	Delyta	m <sup>2</sup>
A	Yta	m <sup>2</sup>



## 1. BAKGRUND

God energihushållning i byggnader förutsätter inte bara välisolerade och täta hus utan även väl fungerande uppvärmnings- och ventilationssystem. Den byggnadstekniska och installationstekniska utformningen skall gemensamt medverka till att energikostnaden minimeras samtidigt som kraven på god komfort och miljö i byggnaden tillgodoses.

Energibehovet för uppvärmning i en byggnad beror på isoler- och täthetsgraden hos väggar, golv, tak och fönster samt ventilation. Storleken av ventilations- och transmissionsförlusterna bestäms av lufttemperaturdifferensen inne och ute. En minskning av lufttemperaturen inomhus kan således minska förlusterna avsevärt. Det totala energibehovet bestäms dessutom av uppvärmningssystemets effektivitet och förmåga att anpassa sig till det vid varje tidpunkt aktuella behovet.

Inneklimatet bestäms i huvudsak av lufttemperaturen, yttemperaturen på väggar, golv och tak samt av luftrörelser inne i byggnaden. För ett bra inneklimat krävs även att ventilationsbehovet tillgodoses.

Uppvärmning av en byggnad kan ske på olika sätt t ex med hjälp av radiatorer (ofta placerade under fönster), varmluftsinblåsning, varma tak eller varma golv.

Vattenradiatorer och elvärmepaneler avger värme till rums-luften i huvudsak genom konvektion men även till en del genom strålning. Vid konvektion uppvärms luften då den kommer i kontakt med värmekroppens ytor varefter den varma luften sprids i rummet genom egenkonvektion. Vid vattenradiatorer styr skillnaden mellan radiatorns yttemperatur och omgivande lufttemperatur den avgivna effekten medan förhållandet vid elvärmepaneler är det omvända.

Takvärme är ett system som avger värme i form av strålning till underliggande lokal. Värmestrålningen från den varma takytan höjer därvid temperaturen på den omgivande ytorna hos väggar, fönster och golv till en nivå som normalt ligger högre än vid konvektionsvärme vid motsvarande lufttemperatur. Se FIG 1.

Utveckling av system med elektrisk uppvärmning av innertak med sk värmefolier började på 30-talet och introducerades i Sverige i början av 60-talet. Elektrisk takvärme representerar idag en mindre del av den totala uppvärmningsmarknaden. Under senare år har dock en viss ökning kunnat noteras.

Takvärme anses kunna ha en del fördelar framför andra system. Till fördelarna har bl a anförts följande.

Jämfört med konventionella system med väggradiatorer ger takvärme normalt en jämnare temperaturfördelning i ett rum, vilket skapar förutsättningar för ett bättre inomhusklimat. Genom att elektrisk takvärme avger värme i form av strålning samt är direktverkande och lättreglerat uppges systemet kunna ge energibesparingar jämfört med andra uppvärmningsformer.

Genomförda mätningar både i Sverige och utomlands synes visa detta. Skillnaderna i resultat är dock stora, men visar att besparingsmöjligheterna vid användande av takvärme kan ge betydligt lägre energiförbrukning under vissa förutsättningar och förhållanden.

Vid de undersökningar som är utförda har man ej försökt att närmare analysera vilka faktorer som i första hand orsakat en energibesparing. Ett klarläggande av dessa faktorer framstår som angeläget.

Föreliggande projekt avsåg att klarlägga vid vilka uppvärmningsfall som takvärme kan ge energibesparing jämfört med väggmonterade radiatorer och vilka faktorer som främst leder till besparingar vid användande av takvärme samt hur stora besparingar som kan uppnås. Projektet avsåg även att jämföra temperaturfördelningar vid de olika uppvärmningsformerna.

Projektet utfördes som en jämförande provning mellan ett elektrisk takvärmesystem och ett elvärmepanelsystem. Provningsen genomfördes i laboratoriemiljö under väl definierade och kontrollerade förhållanden i provrum som kan jämföras med ett normalt bostadsrum.

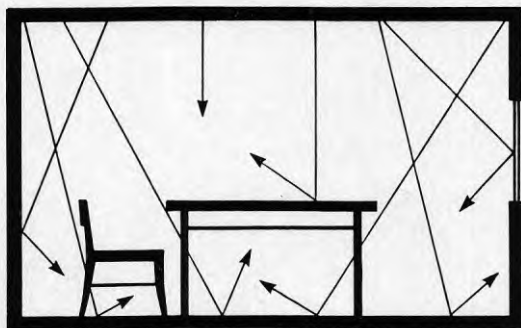


FIG 1 Principskiss vid strålningsvärme från tak

## 2. VÄRMESYSTEM

De uppvärmningsformer som är mest frekventa idag grundar sig antingen på olja eller på el. För bostäder är olja den dominerande uppvärmningsformen (65-70% av våra bostäder uppvärms med olja). Användning av elvärme har ökat starkt under 70-talet. Detta gäller speciellt för småhus.

Vid oljeeldning sker distribution av värme vanligast i form av ett vattenburet system. Vid elvärme är väggmonterade elvärmepaneler det vanligaste. Takvärme är ett system som har kommit till användning under senare år.

I föreliggande projekt har energiförbrukning och temperaturfördelning studerats för ett rum med i huvudsak två olika värmesystem nämligen elektrisk takvärme och väggmonterade elvärmepaneler.

### 2.1 Takvärme

Vid elektrisk takvärme sker värmeöverföringen i huvudsak genom värmestrålning till omgivande ytor. Värmeavgivningen genom strålning  $P_s$  från ett ytavsnitt  $dA_1$  i det varma taket till en yta  $A_2$  kan skrivas

$$P_s = dA_1 \alpha_s (T_{Y1} - T_{Y2}) \varnothing_y \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{där } \alpha_s = \frac{C \cdot (T_{Y1}^4 - T_{Y2}^4)}{T_{Y1} - T_{Y2}}$$

där  $C$  är strålningskonstanten,  $W/m^2 K^4$

$T_{Y1}$  är takets ( $dA_1$ ) yttemperatur,  $K$

$T_{Y2}$  är motstående ytas temperatur,  $K$

$\varnothing_y$  är vinkelkoefficient för strålning från ytan  $dA_1$  mot ytan  $A_2$

Värmekällan utgörs normalt av olika typer av värmefolier eller värmekassetter. Montering av takvärmefolier framgår av FIG 2a. Takvärmefolierna täcks alltid av någon form av takbeklädnad (väv el dyl) medan värmekassetterna är färdiga värmeenheter som placeras i eller mot tak. Se FIG 2b. Takytans eller kassetterns temperatur är 35-40°C vid normal driftsbelastning. Vid för hög taktemperatur kan detta upplevas obehagligt pga strålningsintensiteten från taket. Vid takvärme begränsas takets maximaltemperatur således av det till människan acceptabla värmeflödet till följd av strålning, se FIG 3. För  $t_{ex} h/a < 0,5$  erhålls en maximalt acceptabel taktemperatur av ca 43 °C



FIG 2a Montering av takvärmefolier.

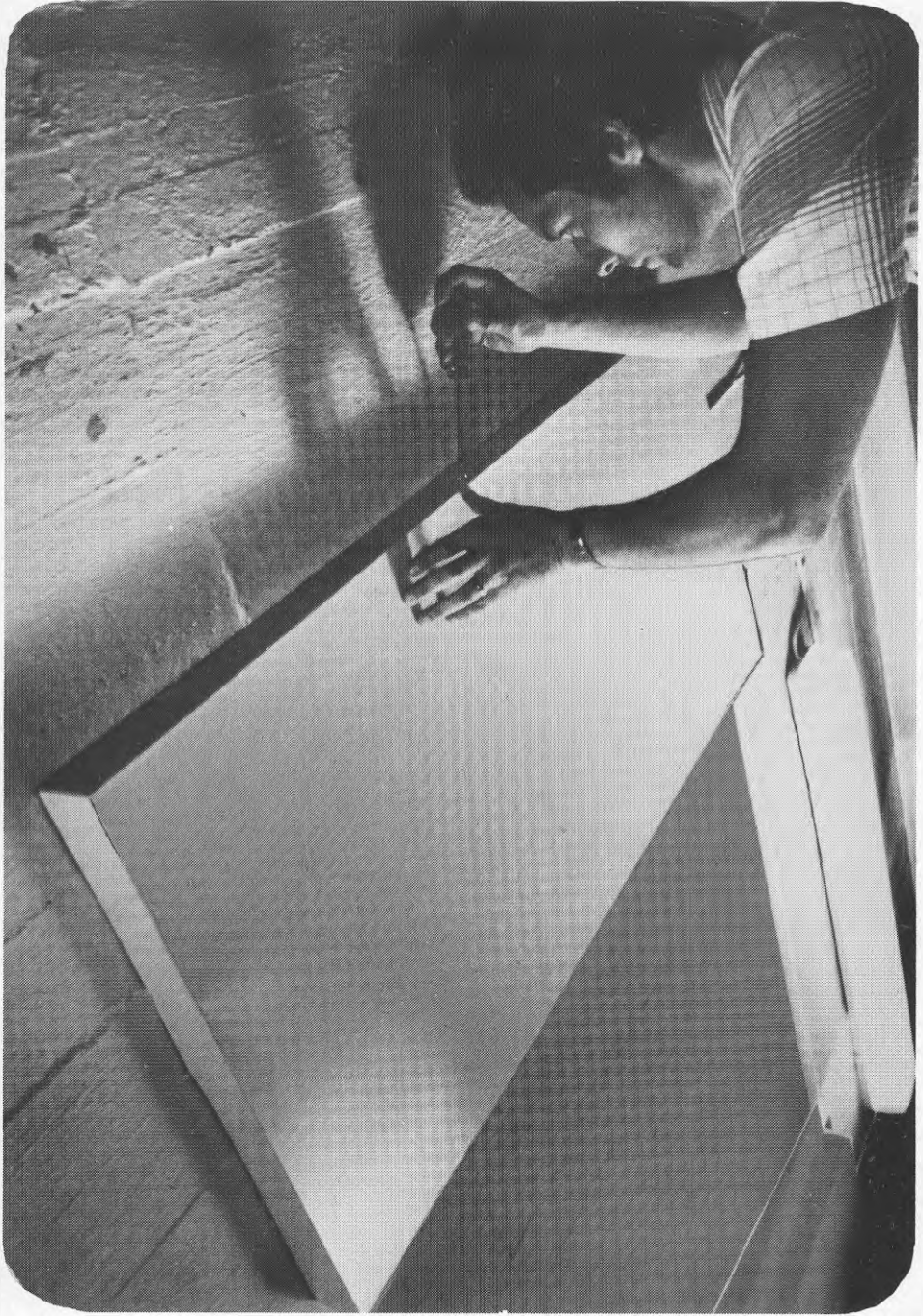


FIG 2b Värmekassetter under montering i tak.

Maximal acceptabel taktemperatur  $\vartheta_t$ , °C

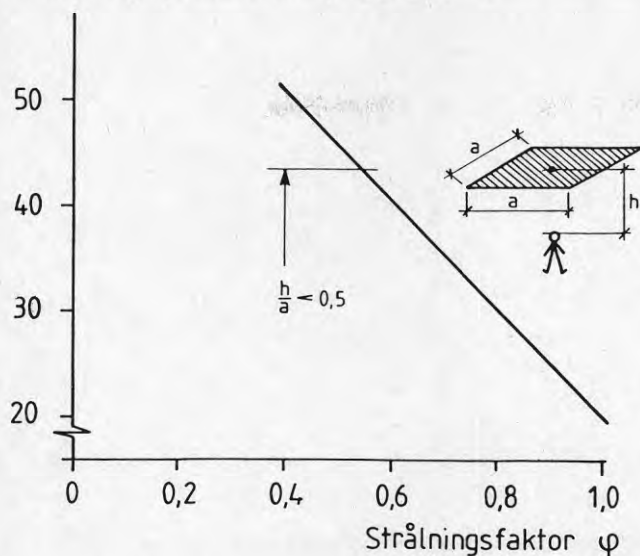
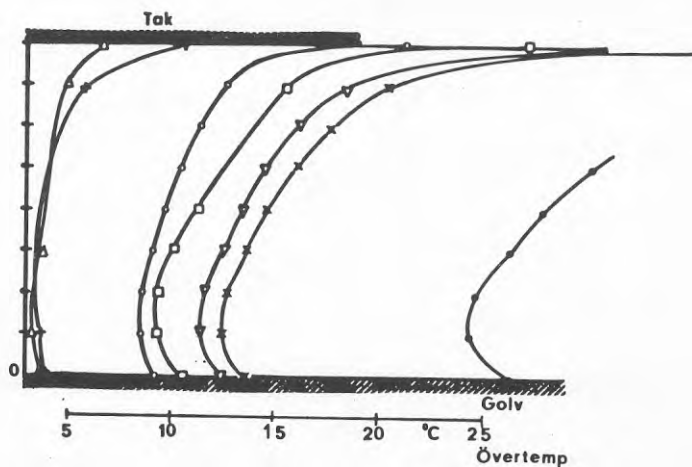


FIG 3 Maximal acceptabel taktemperatur  $\vartheta_t$  som funktion av strålningsfaktorn

Från såväl energi- som komfortsynpunkt är den vertikala temperaturgradienten i ett rum av betydelse. Vid takvärme kan gradienten normalt sättas till  $0,5-1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Temperaturgradient vid takvärme och olika värmeförsel visas i FIG 4.

Takvärme har hittills i första hand kommit till användning i följande typer av lokaler

- barnstugor, skolor, vårdhem och liknande, där man velat uppnå en jämn temperaturfördelning och samtidigt minska riskerna för brännskador genom att flytta uppvärmningsanordningen över vistelsezonen.
- lokaler där väggytorna disponeras för maskiner och inredningar i så stor omfattning att lämplig plats för väggmonterad radiator saknas, t ex kök, tvättstugor, entrépartier, badrum osv.
- stora lokaler där behov av uppvärmning i första hand finns för koncentrerade platser vid arbetsbänkar och dylikt, t ex verkstäder och lagerlokaler.



Symbol	Värmetillförsel $P$ $W/m^2$	$ds/dh$ $^{\circ}C$	
—△—	29	0,4 - 0,8	} kan anses gälla vid bostadsuppvärmning
—+—	59	0,4 - 0,8	
—○—	88	2	} kan gälla när högre effekt erfordras
—□—	117	4	
—▽—	145	3	
—x—	176	3,5	
—●—	366	5	

FIG 4 Temperaturgradient vid takvärme och olika värmetillförsel enligt Parczewski (1963).



Till takvärmesystemets nackdelar har bl a nämnts att kall-raseffekter kan uppnås vid t ex stora fönsterpartier och att möbler och bordskivor avskärmar den direkta strålningen med lägre yttemperaturer som följd hos de skuggade ytparti-erna.

## 2.2 Elvärmepanel

Elvärmepaneler förekommer i huvudsak i två olika utföranden nämligen den slutna och den öppna (genomströmningstyp).

Den slutna elvärmepanelen avger värme både i form av strålning och av konvektion. Samtliga elvärmepaneltyper är försedda med motståndselement och tillverkas i olika storlekar och effekter. Yttemperaturen varierar beroende på nyttjad effekt och rumstemperatur, men kan vara ca 60 °C vid normal driftsbelastning.

Den öppna panelen är öppen både i den övre och nedre kanten och luften uppvärms av elementen då den strömmar genom panelen. Värmeavgivningen sker här i huvudsak genom konvektion. Den konvektiva värmeavgivningen kan bestämmas av sambandet. Yttemperaturen är här något lägre än för den slutna panelen.

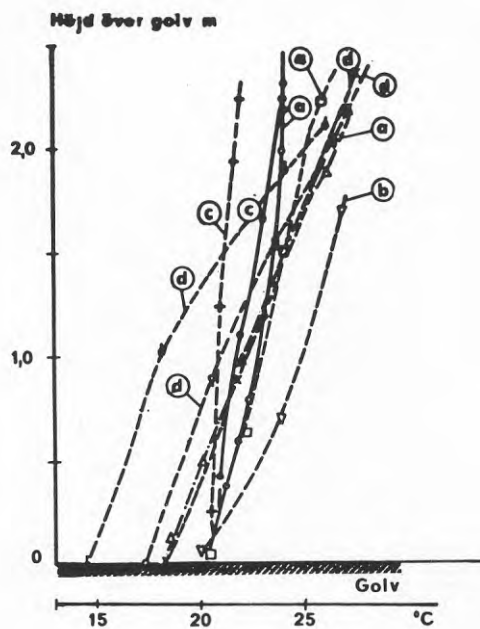
$$P_k = A_1 \cdot \alpha_k (\vartheta_{y1} - \vartheta_l) \quad \dots\dots\dots (2)$$

där  $\alpha_k$  är konvektiva värmeövergångstalet,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$   
 $\vartheta_{y1}$  är panelens yttemperatur, °C  
 $\vartheta_l$  är luftens temperatur, °C  
 $A_1$  är panelens yta,  $m^2$

Värmeavgivningen från en elvärmepanel kan om man antar att avgivningen från radiatorns baksida är en tredjedel av den från framsidan skrivas enligt följande

$$P = A \cdot \frac{4}{3} (\vartheta_{y1} - \vartheta_l) \cdot \{(\vartheta_{y1} - \vartheta_l)^{1/3} \cdot 1,7 + 6\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Temperaturgradienten i ett rum är här normalt av storleksordningen 1-2 °C. Se FIG 5.



a) enligt Schüle et al (1969)

b) enligt Settele (1933)

c) enligt Amundsen (1974)

d) enligt Kratz et al (1940)

—○—, —△— och —□— betecknar system med radiatorn vid innervägg.

FIG 5 Temperaturgradient vid radiatoruppvärmning enligt olika källor.

### 3. INOMHUSKLIMAT

Det termiska inomhusklimatet påverkar människans värmeavgivning. Jämvikten mellan avgivet värme från kroppen och producerat värme bestämmer upplevelsen av ett klimat och en persons välbefinnande och benämns normalt för komfort. De viktigaste komfortparametrarna i ett rum är lufttemperaturen, omgivande ytors temperatur och luftrörelser i vistelsezoner. Dessutom påverkar luftens fuktighet välbefinnandet genom att den ökar eller minskar avdunstning från hud och slemhinnor och har betydelse för människans upplevelse av klimatet. Klimatupplevelsen bestäms även av aktivitet och klädsel. Se FIG 6. Inverkan av luftens relativa fuktighet på värmeutbytet är emellertid så liten att den normalt kan anses vara försumbar.

Luftrörelsernas inverkan på det termiska klimatet visas i FIG 7. Om enbart lufttemperaturen  $\vartheta_{\text{L}}$  och lufthastigheten  $v$  varierar i övrigt konstanta förhållanden inverkar lufthastigheten enligt figuren. Vid förflyttning efter kurvan erhålls klimat som en människa upplever som termiskt lika för klädseln 0 resp 1 clo.

#### KLIMATUPPLEVELSE

- o Aktivitet
- o Lufttemperatur
- o Strålning
- o Lufthastigh.
- o Klädsel
- o Fukt



- o Hygien, Radon, CO<sub>2</sub>, Formaldehyd, Lukt

FIG 6 Olika parametrar som påverkar människans klimatupplevelse.

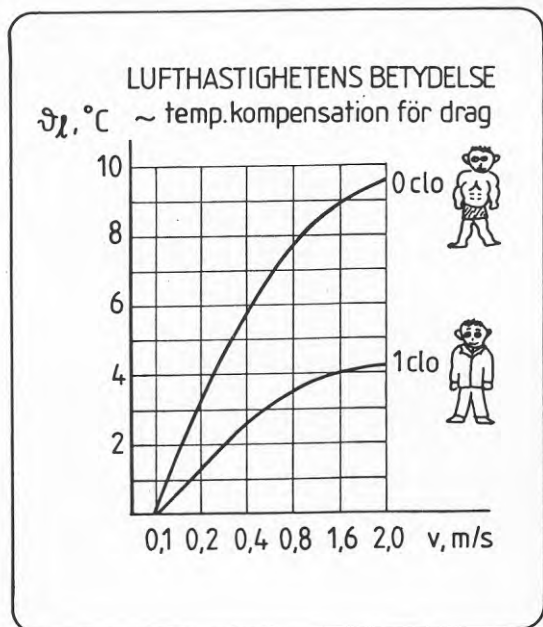


FIG 7 Lufthastighetens betydelse för klimatupplevelsen vid olika klädsel.

Då kroppen normalt har en högre temperatur än luften uppstår vertikala luftrörelser ( $\sim 0,1$  m/s) invid kroppsytan. Luftrörelser  $< 0,05$  m/s ger upphov till en känsla av kvalmighet eftersom kroppen då omges av en fuktig och varm luftmantel som motverkar konvektion och avdunstning.

Dragtröskeln för naken hud anses vara  $0,2$  m/s varvid en svag känsla av kyla börjar att upplevas. Om således luft hastigheten är låg kan dess inverkan försummas och komforten endast anses bero på luftens temperatur och omgivande ytors temperatur. Den operativa temperaturen  $\vartheta_{op}$  utgör ett enkelt mått på det upplevda termiska klimatet och kan vid måttliga luftrörelser ( $v < 0,2$  m/s) skrivas enligt följande

$$\vartheta_{op} = \frac{\vartheta_l - \vartheta_y}{2} \quad \dots\dots (4)$$

där  $\vartheta_l$  är lufttemperatur,  $^{\circ}\text{C}$   
 $\vartheta_y$  är yttemperatur på omgivande ytor,  $^{\circ}\text{C}$

Den operativa temperaturen ger emellertid ensam ej något säkert mått på komforten. Av betydelse är även skevhet i klimatet. Om skillnaden i strålningstemperatur mellan olika riktningar är större än ett visst tröskelvärde  $\Delta\vec{\vartheta}_{op}$  upplevs det obehagligt. Detta tröskelvärde varierar med lufttemperaturen. Vid högre lufttemperatur kan en större asymmetri accepteras.

Krav bör därför även ställas på den riktade operativa temperaturen  $\vec{\vartheta}_{op}$  som definieras enligt

$$\vec{\vartheta}_{op} = \frac{\vartheta_l - \vartheta_y}{2} \quad (^{\circ}\text{C}) \quad \dots\dots (5)$$

där  $\vartheta_l$  är lufttemperaturen,  $^{\circ}\text{C}$   
 $\vartheta_y$  är medeltemperaturen på ytorna i en viss riktning,  $^{\circ}\text{C}$

Enligt Fanger m fl anges approximativa gränsvärden för skillnaden på den upplevda temperaturen i olika riktningar för stillasittande arbete vid lufttemperaturer ca  $+20^{\circ}\text{C}$  till ca  $2^{\circ}\text{C}$  mellan vänster och höger kind och ca  $3^{\circ}\text{C}$  mellan ankel och huvud.

Även temperaturförändringar med tiden påverkar komfortupplevelsen. Sålunda upplevs en temperaturstegring som positiv och en temperatursänkning negativ delvis oberoende av den absoluta temperaturnivån.

#### 4. ENERGIBALANS FÖR EN BYGGNAD

Energiförlusterna i en byggnad sker i huvudsak genom transmission genom byggnadens omslutande ytor samt ventilation och otätheter i byggnaden. Energitillförseln till en byggnad sker genom uppvärmning via uppvärmningssystem, aktiviteter (personer, belysning, apparater) samt genom solvärme.

FIG 8 visar exempel på energibalanser för ett småhus (125 m<sup>2</sup>) byggt dels enligt gängse konstruktionsval under början av 1970-talet dels enligt SBN 1980 och dels för ett hus byggt enligt de krav som kan ställas på ett s k "Elak-hus"<sup>1)</sup>.

Av figuren framgår att den för uppvärmning tillförda energin (den köpta energin) utgör en mindre andel av total tillförd energi för ett välisolerat hus jämfört med ett hus byggt enligt gängse krav 1970. Detta ställer större krav på såväl uppvärmningssystem som styr- och reglersystem för välisolerade och täta hus för att uppnå behovsanpassad temperatur och önskad komfort. De olika förlustposterna kan variera betydligt för olika typer av byggnader. T ex kan ventilationsförlusterna för kontor och sjukhus vara 60-80 % av de totala förlusterna.

---

1) År 1981 framfördes förslag på riktlinjer för användning av direktverkande elvärme i småhus (prop 1980/81:133). Enligt dessa riktlinjer bör uppvärmningssnåla byggnader få värmas med direktverkande elvärme om behovet av elenergi för radiatorer och tappvarmvatten genomsnittligt kan minskas med 40 % av behovet för radiatorerna om byggnaden varit utförd enligt minimikraven på värmeisolering och luftomsättning i SBN 1975.

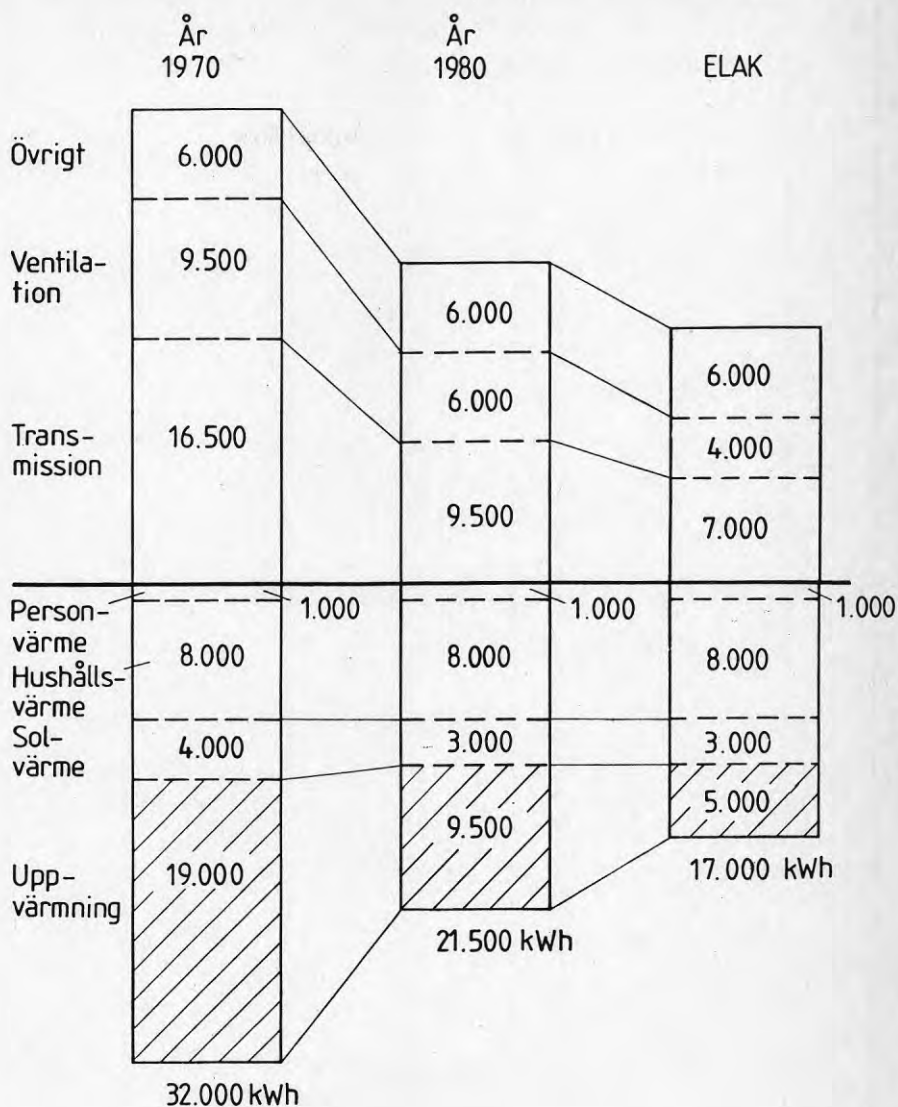


FIG 8 Årliga värmebalanser för ett enbostadshus (125 m<sup>2</sup>) med olika energibehov.

- 1) Hus som antagits motsvara de krav som föreslagits för användning av direktverkande elvärme i småhus.

Detta kan vara av intresse när det gäller att bedöma var åtgärder för besparing av energi för uppvärmning i första hand bör sättas in samt vilken roll ventilationen spelar.

Strålningsvärme i form av takvärme som är ett lättreglerat system och kan ge lägre lufttemperatur vid bibehållen komfort kan ha vissa fördelar från energisynpunkt.



## 5. PROJEKTBEKRIVNING

### 5.1 Målsättning

Projektets målsättning var att genom jämförande undersökning mellan elektrisk takvärme och system med väggmonterade elvärmepaneler klarlägga:

1. hur ett takvärmesystem bör installeras och regleras
2. skillnader i temperaturfördelning i rummet och på ytor
3. skillnader i energiförbrukning

Mätningarna utfördes i en klimatsimulator i vilken ett provrum byggdes in. Provrummet installerades och möblerades för att efterlikna i praktiken förekommande rum.

### 5.2 Projektinnehåll

Vid försöken specificerades och undersöktes följande

- värmemotstånd och typ av material hos golv, väggar och tak i provrummet
- placering och storlek av fönster i provrummet
- placering och utformning av möbler
- placering och utformning av tillskottsvärme
- ventilation (luftomsättning per timme) och luftrörelser i rummet
- luft- och yttemperaturer samt operativ temperatur i olika delar av rummet vid olika driftfall
- temperaturskillnader mellan olika punkter i rummet vid olika driftfall
- temperaturvariationer (pendlingar) under ett visst tidskede i bestämda referenspunkter vid olika driftfall.

Undersökningarna avsågs ge svar på följande frågeställningar:

- A. Föreligger skillnad i energiförbrukningen mellan de två systemen dels om de regleras med rumstermostat placerade på samma ställe i rummet och dels om radiatorn är försedd med sammanbyggd termostat ?
- B. Hur blir temperaturfördelningen i rummet för de två systemen ?
- C. Hur påverkar rummets dimensionsförhållande och möbleringens placering temperaturfördelningen ?
- D. Hur bör takvärmeelementen placeras i innertakskonstruktionen för att ge jämnaste temperaturfördelningen på innertaksytan ?
- E. Hur skall regleringsutrustningen vara utformad och placerad för att takvärmealternativet skall ge jämn temperaturfördelning och lägsta temperaturvariationer i rummet ?
- F. Hur påverkar takvärmeelementens yteffekt uppvärmningshastigheten ? Möjlighet till installering av takvärmesystem med flexibel effektstyrning.
- G. Hur är sambandet mellan innertakets sammansättning och uppvärmningshastigheten ? Vilken betydelse har detta för möjlig energibesparing och lämplig bas-temperatur vid t ex nattsänkning av temperaturen?
- H. Klarlägga lämplig bastemperatur (lägre temperaturnivå) i ett rum med takvärme, där energiförsörjningen är behovsstyrd, med hänsyn till tiden för att uppnå önskad rumstemperatur.

### 5.3 Projektets uppläggning

Provningarna utfördes i ett provrum som var uppbyggt i en klimatsimulator med möjlighet till kylning och temperaturreglering. Se vidare avsnitt 6.1.

Undersökningen genomfördes som jämförande provning vid driftfall med kombinationer av olika uppvärmnings- och regler-system. Vid takvärme utfördes undersökningen med olika installerad yteffekt och totaleffekt och inverkan av olika parametrar utvärderades vid olika driftfall.

Erhållna resultat från de olika driftfallen i projektets inledning var vägledande vid val av det takvärmealternativ som användes i projektets senare del. Två olika elvärmepanelsystem har undersökts nämligen öppen och sluten panel. De styr- och regler-system som användes var av dels bimetalotyp, dels elektronisk typ. Undersökningarna utfördes både vid stationära förhållanden och vid dynamiska driftfall med inslag av störningsmoment i form av tillskottsvärme och ventilation.

Redogörelse för provningsbetingelser med närmare beskrivning av provrum, uppvärmningssystem, mätutrustning och olika driftfall återfinns i avsnitt 6.

## 6 PROVNINGSBETINGELSER

### 6.1 Provrum

För ändamålet var ett provrum med de invändiga måtten 3,30x3,00x2,09 m (längdxbreddxhöjd) uppbyggt i en klimatsimulator enligt FIG 9-12.

Provrummet var så uppbyggt att kall luft kunde kyla dess kortväggar, golv och tak, vilka därmed kunde betraktas som ytterväggar. Den kalla luften cirkulerade kring provrummet med hjälp av fläktar. Rummets långsidor utgjordes av klimatsimulators ordinarie väggar. Simulatoren var placerad i en större hall med rumstemperaturen  $21 \pm 3$  °C.

Golvet i provrummet var isolerat med 50 resp 100 mm cellplast ( $= 0,040$  W/(m·°C)) och belagt med en 10 mm tjock hård träfiberskiva. På den kalla sidan var golvet försett med 22 mm hård träfiberskiva. Golvets k-värde var  $0,56$  W/m<sup>2</sup>·°C resp  $0,33$  W/m<sup>2</sup>·°C.

Taket utgjordes av en träregelstomme med 100 mm cellplast ( $\lambda = 0,040$  W/m·°C). Takbeklädningen invändigt utgjordes av Diab Vävtak som var inspönt vid takvinklarna. Dikt mot regelstommen och isoleringsmaterialet monterades värmefolierna. Se FIG 2a. En luftspalt på ca 10 mm förelåg mellan värmefolierna och det spända Diab-taket. Takets utsida var täckt med förhyningspapp. Takets k-värde var  $0,44$  W/(m<sup>2</sup>·°C).

Rummets kortväggar var i princip lika uppbyggt med 100 mm cellplast med tejpade skarvar mellan skivorna. Utvändigt var förhyningspapp monterad. k-värdet för kortväggarna var  $0,44$  W/(m<sup>2</sup>·°C). Utanför tak, kortvägg och golv fanns en luftspalt (100-150 mm) i vilken kall luft kunde strömma och kyla väggarna.



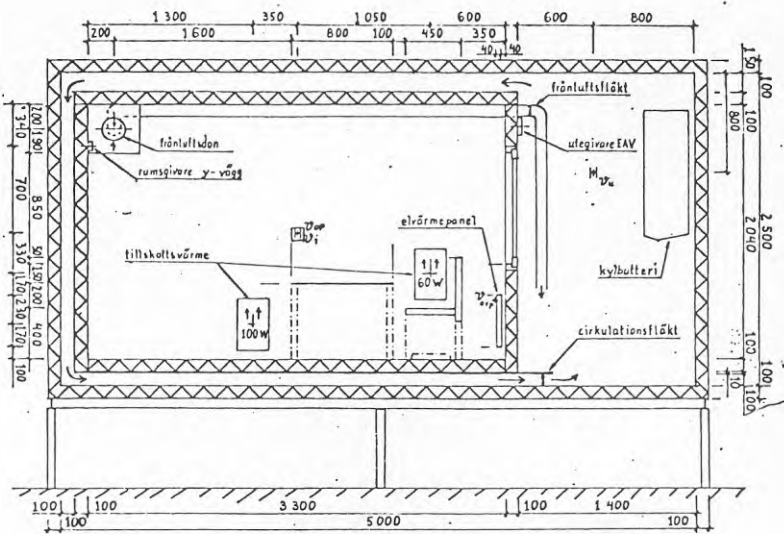


FIG 11 Sektion genom mätrum: 100 mm golvisolering  
 Ventilation  
 Möbler alt II  
 Rumsgivare y-vägg

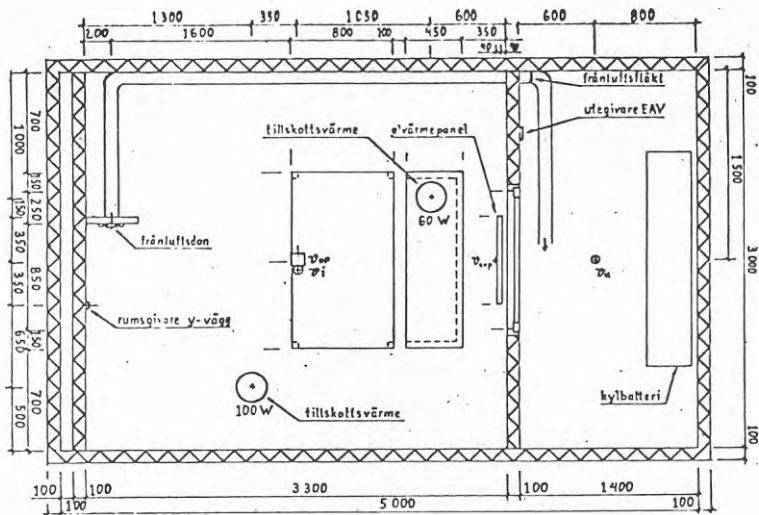


FIG 12 Plan över mätrum: 100 mm golvisolering  
 Ventilation  
 Möbler alt II  
 Rumsgivare y-vägg



Öppning och stängning av fönster samt tillslag och frånslag av frånluftsfläkt skedde synkront med hjälp av tidur, så att frånluftssystemet var i drift endast de perioder då fönstret var öppet.

Möbleringen i rummet bestod av en soffa av 50 mm cellplast och ett bord av 10 mm spånskiva. Två olika placeringar av möblerna förekom vid provningarna. Jämför FIG 9-10 och FIG 11-12.

I vissa skeden av provningarna tillfördes provningsrummet extravärme för att simulera värmeavgivning från personer och maskiner. Dessa värmekällor utgjordes av en 100 W och en 60 W glödlampa. Dessa var försedda med strålnings-skydd bestående av aluminiumcylindrar med höjden 400 mm och diametern 250 mm. Cylindrarna var försedda med 70 mm höga ben. Glödlamporna var placerade centriskt i cylindrarna. Placeringen i rummet framgår av FIG 11-12.



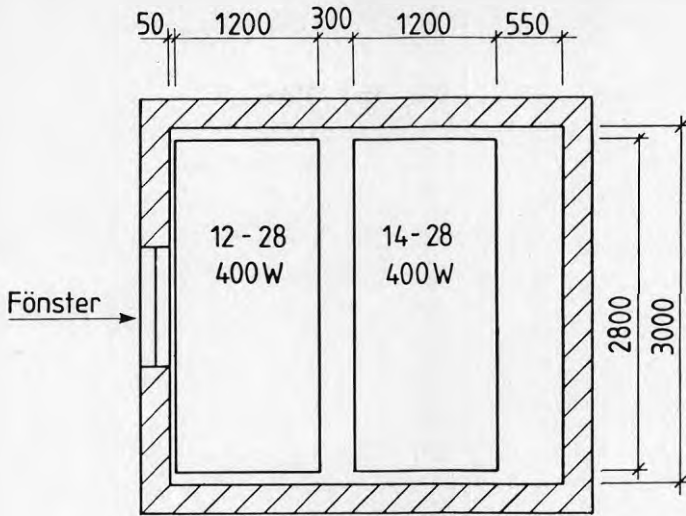


FIG 13 Takvärmesystem I i provningsrum  
 Yteffekt:  $125 \text{ W/m}^2$   
 Installerad effekt: 800 W

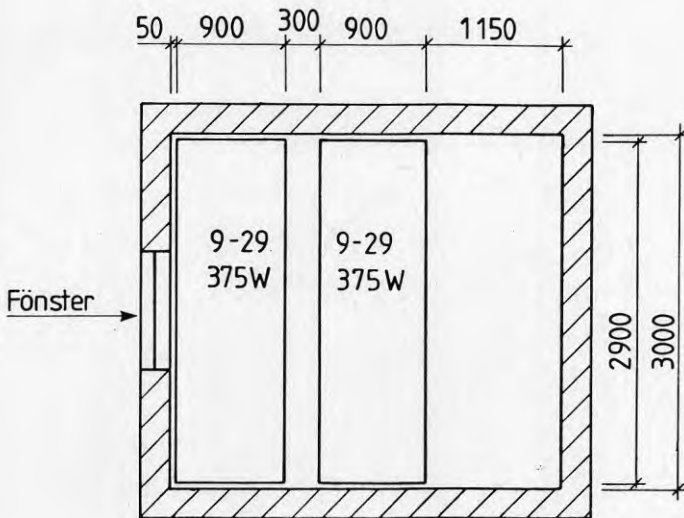


FIG 14 Takvärmesystem II i provningsrum  
 Yteffekt:  $150 \text{ W/m}^2$   
 Installerad effekt: 750 W

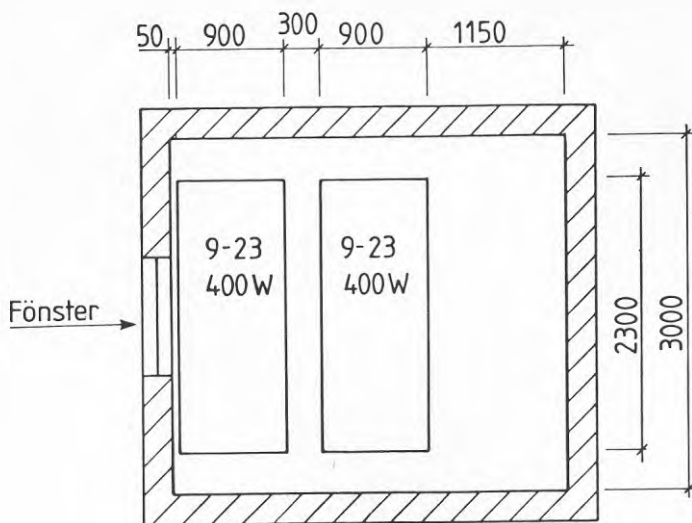


FIG 15 Takvärmesystem III i provningsrum  
 Yteffekt:  $200 \text{ W/m}^2$   
 Installerad effekt: 800 W

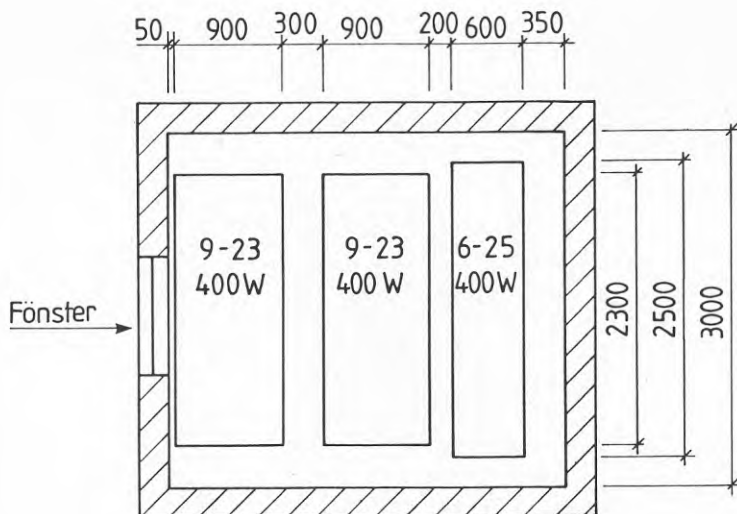


FIG 16 Takvärmesystem IV i provningsrum  
 Yteffekt:  $200 \text{ W/m}^2$   
 Installerad effekt: 1200 W

### 6.3 Reglerutrustning

Takvärmesystemet och elvärmepanelerna reglerades alternativt med följande två reglerutrustningar.

- I Rumstermostat av bimetalldtyp (Landis&Gyr typ 8.1.r) med möjlighet till nattsänkning ca 5°C.
- II Rumstermostat av typ EAV-regulator från Billman, system Albelko, bestående av reglercentral, utomhusgivare, styrenhet och rumsgivare. Givarnas placering framgår av FIG 9-12. EAV-regulatorn gav möjlighet till nattsänkning 0-5°C. Parametrar för utetemperaturens inverkan på reglerfunktionen (reglerkurvas lutning och startpunkt) är justerbara med två rattar på centralenheten. Dessa rattar inställdes före provseriens början i samråd med Billman AB.

Elvärmepanelerna reglerades dels med de sammanbyggda termostaterna, dels med någon av ovan angivna rumstermostater. Termostaterna var utrustade med möjlighet till nattsänkning ca 5°C.

I reglerutrustningarna ingick dessutom dygnsur för tidsstyrning av nattsänkning.

Manövrering av fönster och frånluftsfläkt utfördes med hjälp av tidur.

Den i vissa moment ingående tillskottsvärmen (160 W) styrdes on-off med hjälp av ett separat tidur.

#### 6.4 Mätutrustning

Temperaturmätning skedde med termoelement typ Cu-Ko. Lufttemperaturgivare var avskärmade mot värmestrålning. Vissa temperaturvärden registrerades kontinuerligt med hjälp av flerkanalsskrivare. Övriga värden avlästes vid valda tillfällen med hjälp av voltmeter.

Den riktade operativa temperaturen över en halvsfär uppmättes med hjälp av en "kubtermometer" med kärna av cellplast och med kantlängderna 100 mm. På varje sida var termoelementen kvadratiska kopparbleck monterade. Se FIG 17 . Vid sidan om kubtermometern uppmättes lufttemperaturen med avskärmat termoelement. Kubtermometern var placerad centralt i provrummet (se FIG 9-12).

#### 6.5 Mätprogram

Provning av systemen utfördes vid följande driftsfall

- Stat Stationära förhållanden med innetemperaturen ca  $+22^{\circ}\text{C}$  och utetemperaturen ca  $-15^{\circ}\text{C}$ . Driftfallet betecknas "Stat" i tabellerna.
- Dyn I Behovsstyrd innetemperatur (nattsänkning) mellan  $+22^{\circ}\text{C}$  och  $+17^{\circ}\text{C}$  enligt tidsschema 1 i FIG 18 och med utetemperaturen konstant vid ca  $-15^{\circ}\text{C}$ . Driftfallet betecknas med "Dyn I" i tabellerna.
- Dyn II Behovsstyrd innetemperatur mellan ca  $+22^{\circ}\text{C}$  och ca  $+17^{\circ}\text{C}$  och med utetemperaturen varierande mellan ca  $-15^{\circ}\text{C}$  och ca  $-10^{\circ}\text{C}$  enligt tidsschema 1 resp 2 i FIG 18. Driftfallet betecknas "Dyn II" i tabellerna.
- Dyn III Behovsstyrd innetemperatur mellan ca  $+22^{\circ}\text{C}$  och  $+17^{\circ}\text{C}$  enligt tidsschema 3 i FIG 18 och med utetemperaturen konstant vid  $-5^{\circ}\text{C}$ . Driftfallet betecknas med "Dyn III" i tabellerna.
- Dyn IV Behovsstyrd innetemperatur mellan ca  $+22^{\circ}\text{C}$  och  $+17^{\circ}\text{C}$  och med utetemperaturen varierande mellan  $-5^{\circ}\text{C}$  och  $+5^{\circ}\text{C}$  enligt tidsschema 3 resp 4 i FIG 18. Driftfallet betecknas "Dyn IV" i tabellerna.

- Snabb Snabbuppvärmning med förhöjning av innetemperaturen från bastemperaturen ca  $+12^{\circ}\text{C}$  till ca  $+22^{\circ}\text{C}$ . Utetemperaturen hålles konstant vid ca  $-15^{\circ}\text{C}$ . Driftfallet betecknas "Snabb" i tabellerna.

Vissa mätfall kombinerades med ventilation 0,5 eller 1,0 oms/h. I det stationära fallet förekom ventilation (0,5 eller 1,0 oms/h) under hela mätdygnet. Tilluften togs in via springventil under fönsterkarm. Vid driftsfallet dyn IV förekom ventilation (1,0 oms/h) med frånluftsfläkt och samtidig öppning av fönster under två perioder under mätdygnet enligt tidsschema 5 i FIG 18.

Vid vissa mätfall förekom möblering med soffa och bord enligt avsnitt 6.2.

Provningsrummet golvisolering var dels 50 mm, dels 100 mm tjock.

En del driftsfall kombinerades med inkoppling av tillskottsvärme om 100 + 60 W under två perioder enligt tidsschema 6 i FIG 18.

Varje mätperiod varade ca 24 h efter uppnådd fortvarighet.

Sammanställning av mätprogram med mätfallen 1-40 finns i bilaga 1.

Mättonoggrannheten hos de uppmätta värdena har bedömts vara följande

- luft- och yttemperatur :  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$
- operativ temperatur :  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$
- effekt- och energiförbrukning :  $\pm 2\%$  av angivna värden

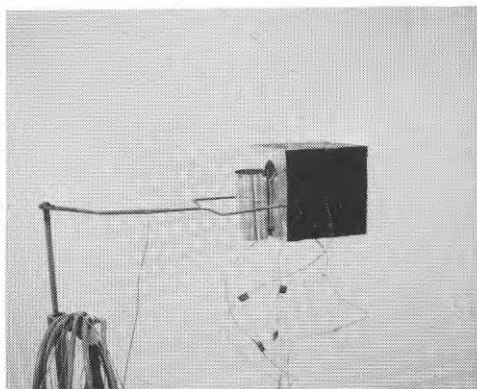
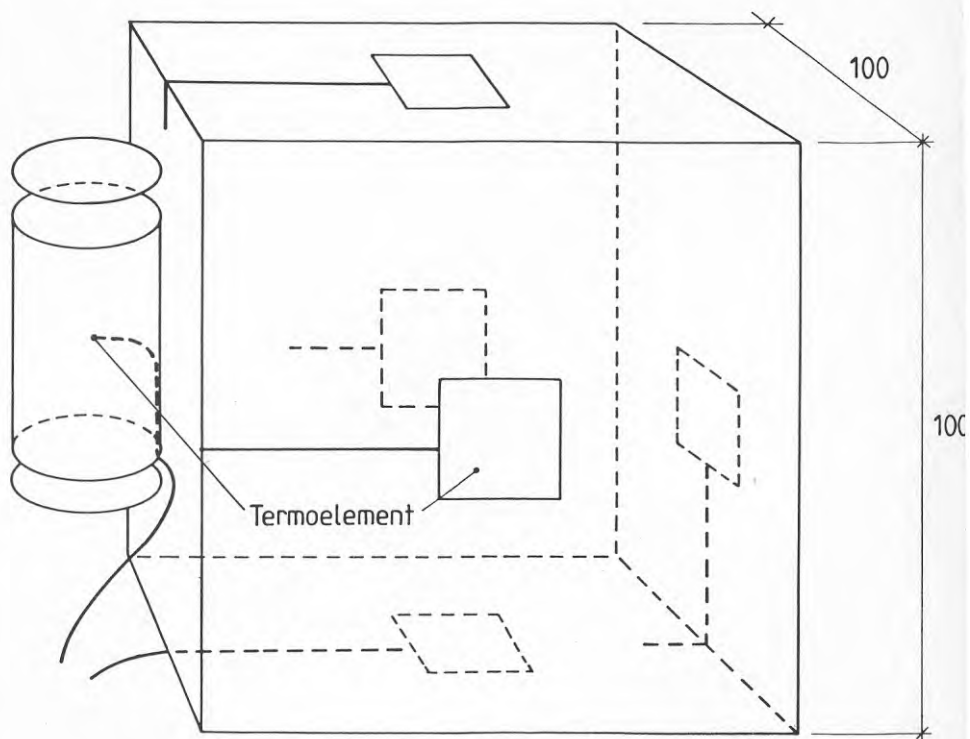


FIG 17 Skiss och fotografi av "kubtermometer" för mätning av operativ temperatur.

## 7 MÄTRESULTAT

### 7.1 Sammanställning av mätresultat

Erhållna resultat beträffande energiförbrukning, temperaturförlopp, kopplingscykel, specifik medeleffekt m m för utvalda mätfall finns redovisade i bilaga 2.

Vissa mätresultat från främst de stationära mätfallen jämförs och diskuteras mera utförligt i avsnitten 7.2 - 7.7.

I bilaga 2 återfinns vissa begrepp som förklaras nedan enligt följande.

#### Mätfall 1-40

Förutsättningarna för de olika mätfallen finns sammanställda i tabellform i bilaga 1. För utförligare beskrivning av mätprogrammet hänvisas till avsnitt 6.

#### Lufttemperatur

Lufttemperaturen har uppmätts med hjälp av strålningsskyddade termoelement i vissa punkter.

#### Pendling och kopplingscykel

Reglersystemen arbetar med mer eller mindre täta till- och frånslag av hela den installerade effekten. Kopplingscykelns periodlängd är tiden mellan två på varandra följande tillslag. Dessa till- och frånslag kan ge upphov till att temperaturen pendlar kring ett medelvärde. Angivna uppgifter på periodlängd och pendling är dygnsmedelvärden.

### Operativ temperatur

Angivna riktade operativa temperaturer är de som uppmätts med den s k "kubtermometern". Global operativ temperatur är beräknad som medelvärdet av uppmätt riktad operativ temperatur i olika riktningar.

### Medeleffekt och energi

Med nettoeffekten avses den energi per tidsenhet som tillförts rummet under mätperioden. Korrektion görs för ev förluster genom rummets långsidor. Rummet kan alltså i sidled anses vara omgivet av likadana rum med samma temperatur. Då speciella värmekällor använts för simulering av tillskottsvarme har även denna effekt räknats in i nettoeffekten.

### Specifik medeleffekt

Uppmätt nettoeffekt enligt ovan har satts i relation antingen till lufttemperaturdifferensen inne-ute eller till differensen mellan operativ temperatur inne och lufttemperatur ute. Här har temperaturer mitt i rummet respektive mitt i kylrummet använts.

### Temperaturfördelning i rummet

Mätpunkternas placering i rummet framgår av skissen i FIG 19 a. Varje mätpunkt kan identifieras med index (x, y, z). Index för de olika mätpunkterna markerar mätpunkternas plats i provrummet. Redovisning av temperatur sker enligt system i FIG 19 b.

### Temperaturförlopp

För de dynamiska driftfallen redovisas hur temperaturen i vissa mätpunkter i provrummet varierar med tiden under mät-dygnet.

Följande temperaturer redovisas:

Lufttemperatur mitt i kylrum,	$\vartheta_u$					
Lufttemperatur mitt i provrum,	$\vartheta_i$					
Global operativ temperatur mitt i provrum,	$\vartheta_{op}$					
Riktad	"	"	"	"	"	' $\vartheta_{op}$ , tak
"	"	"	"	"	"	' $\vartheta_{op}$ , golv
"	"	"	"	"	"	' $\vartheta_{op}$ , fönster



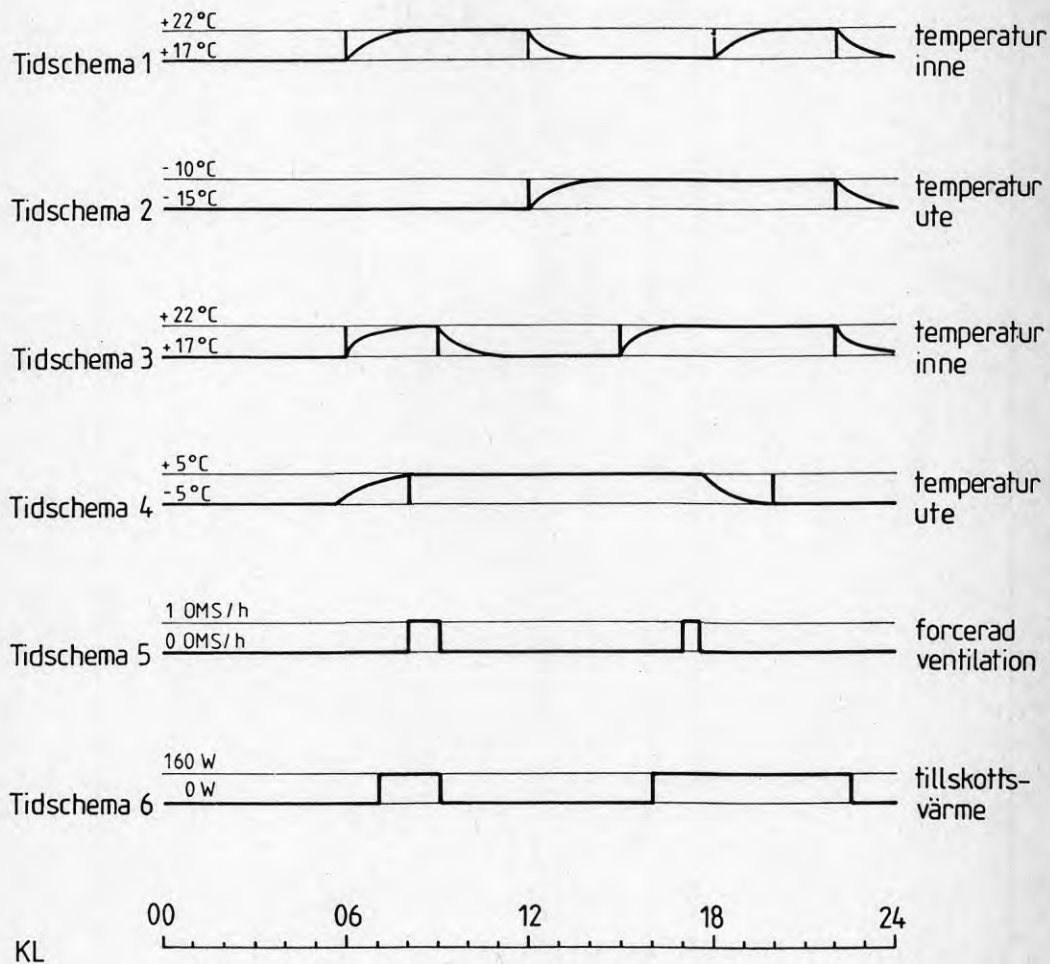


FIG 18 Tidschema över de olika parametrarnas variation under dygnet.



101	201	301
102	202	302
103	203	303
104	204	304

Y = 0

	110	210	310	
011	111	211	311	411
012	112	212	312	412
013	113	213	313	413
014	114	214	314	414
	115	215	315	

Y = 1

	120	220	320	
021	121	221	321	421
022	122	222	322	422
023	123	223	323	423
024	124	224	324	424
	125	225	325	

Y = 2

	130	230	330	
X	131	231	331	X
032	132	232	332	432
033	133	233	333	433
X	134	234	334	X
	135	235	335	

Y = 3

FIG 19b System för mät-  
punkternas pla-  
cering i rummet.  
Uppmätta värden i  
respektive punkt  
anges på mot-  
svarande sätt.

## 7.2 Olika takvärmealternativ vid stationärt driftfall

Studerade mätfall: 1, 5, 7, 10, 13 och 14

Exempel på mätresultat visas i bilaga 2, sid 1-2.

Takvärmefolier med tre olika yteffekter 125, 150 och 200 W/m<sup>2</sup> har studerats. Nominell effekt har varit 750 W och 800 W. Se avsnitt 6.2. Temperaturreglering har skett dels med väggmonterad bimetalltermostat, dels med elektronisk termostat. Se avsnitt 6.3.

### 7.2.1 Temperaturfördelning

Temperaturfördelning i rummet framgår för mätfall 1 i bilaga 2. Angivna temperaturvärden avser differenser mellan temperaturen i en viss mätpunkt och medelvärdet av rummets lufttemperatur. Temperaturgradient 2,0 m framför fönstret för olika takvärmealternativ visas i FIG 20. Uppmätta värden på riktad operativ temperatur i rummets mitt framgår av tabell 1 liksom global operativ temperatur,  $\vartheta_{op}$ , vilken beräknats som medelvärdet av de riktade operativa temperaturerna. Angivna värden avser differenser mellan operativ temperatur och lufttemperatur i rummets mitt.

Takvärmeinstallation: I		II		III								
Yteffekt, W/m <sup>2</sup> : 125		150		200								
Reglersystem: bimetall elektronisk		bimetall elektronisk		bimetall elektronisk								
Mätfall:	1	10	5	13	7	14						
$\vartheta_{op}$	+0,8	+0,3	+0,8	+0,1	+0,9	+0,3	+1,0	+0,2	+1,3	+0,4	+1,4	+0,2
$\vartheta_{op,tak}$	+3,7	+0,7	+3,7	+0,2	+5,0	+0,8	+5,1	+0,3	+5,5	+1,4	+5,8	+0,2
$\vartheta_{op,golv}$	-0,9	+0,1	-0,9	+0,1	± 0	+0,1	-0,1	+0,1	-0,6	+0,15	-0,5	+0,2
$\vartheta_{op,föns}$	+0,3	+0,3	+0,3	+0,1	+1,5	+0,4	+1,5	+0,1	+1,1	+0,5	+1,0	+0,2
$\vartheta_{op,gavel}$	+0,3	+0,3	+0,2	+0,1	+0,5	+0,15	+0,4	+0,1	± 0	+0,15	-0,1	+0,2
$\vartheta_{op,längs}$	+0,7	+0,2	+0,7	+0,1	+1,7	+0,3	+1,8	+0,2	+1,1	+0,2	+1,0	+0,2
$\vartheta_i$	22,2	+0,1	22,2	+0,1	22,0	+0,15	22,4	+0,1	22,7	+0,2	22,6	+0,2

Tabell 1 Differens mellan operativ temperatur (global och riktad) och lufttemperatur samt temperaturpendling centralt i rummet för mätfallen 1, 5, 7, 10, 13 och 14.

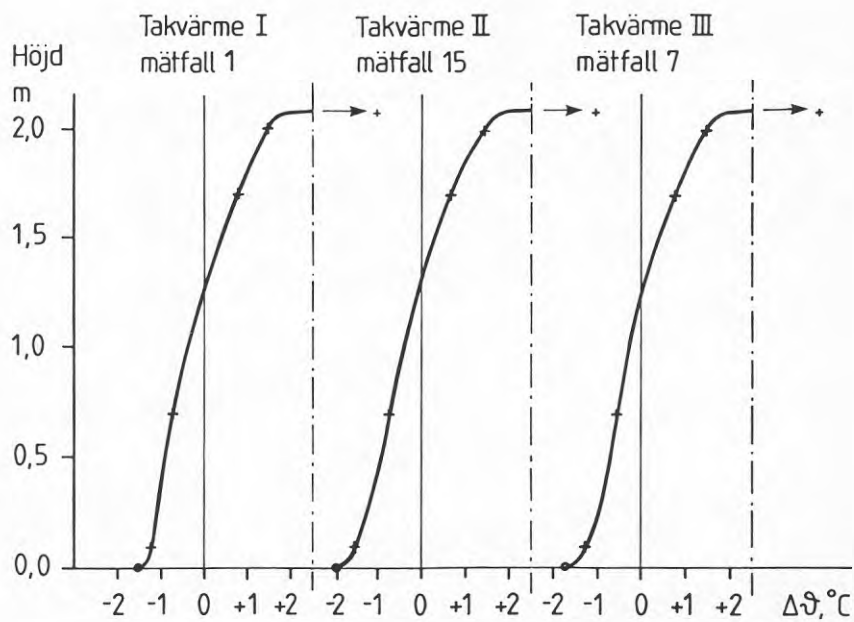


FIG 20 Temperaturgradient för olika takvärmealternativ. Mätpunkterna placerade centralt i rummet 2,0 m från fönster. Stationärt driftfall.

+ lufttemperatur  
o ytemperatur

### 7.2.2 Medeleffekt

Uppmätt energiförbrukning och dygnsmedeltemperatur återfinns för mätfall 1 i bilaga 2.

I tabell 2 anges uppmätt medeleffekt relaterad till differensen mellan lufttemperaturen i provrummets mitt ( $\vartheta_i$ ) respektive global operativ temperatur ( $\vartheta_{op}$ ) och uteluftens temperatur ( $\vartheta_u$ ).

Tabell 2 Specifik medeleffekt,  $W/^\circ C$ . Stationär temperatur

Takvärmesystem:	I		II		III	
Yteffekt, $W/m^2$ :	125		150		200	
Reglersystem:	bi- metall	elektro- nisk	bi- metall	elektro- nisk	bi- metall	elektro- nisk
Mätfall:	1	10	5	13	7	14
$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u)$	14,7	14,5	14,7	14,5	14,7	14,4
$P/(\vartheta_i - \vartheta_u)$	15,0	14,8	15,1	14,9	15,2	15,0

### 7.2.3 Kommentarer

Tidsmedelvärdet av temperaturerna i rummets olika mät-punkter ändrade sig inte nämnvärt vid byte av reglersystem.

Placeringen av takvärmefolierna påverkade geometrin för strålningsutbytet i rummet och därmed temperaturfördelningen. En koncentration av folierna närmare fönstret gav en höjning av riktad operativ temperatur ( $0,5-1^\circ C$  enl tab 6.2) mot golv och fönster samtidigt som golv-temperaturen sjönk något på längre avstånd från fönstret.

En ökning av yteffekten på takvärmefolierna gav en viss ökning av den globala operativa temperaturen men framför allt en ökning av den riktade operativa temperaturen mot taket. Skillnaden mellan den operativa temperaturen i olika riktningar ökade härvid.

Kopplingscykelns periodlängd var ca 8 min för bimetal-termostat och 1,5 min för elektroniskt termostat vilket inverka tydligt på temperaturpendlingen, se tabl. För bimetaltermostat ökade pendlingen med ökad yteffekt vilket var speciellt märkbart för riktad operativ temperatur mot tak och fönster. För den elektroniska termostaten var pendlingen liten.

Den specifika medeleffekten relaterad till skillnaden mellan lufttemperaturen inne och ute ökade något då yteffekten och därmed yttemperaturen på värmefolien ökade. Den specifika medeleffekten relaterad till differensen mellan global operativ temperatur och lufttemperatur ute var däremot konstant för båda typerna av termostater.

Jämfört med bimetaltermostat gav den elektroniska termostaten generellt ca  $0,2 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$  lägre specifik medeleffekt.

#### 7.2.4 Val av takvärmealternativ

För det fortsatta mätprogrammet begränsades mätningarna att omfatta ett takvärmealternativ. Takvärmealternativ I ansågs vara det bästa alternativet för de fortsatta studierna, då en lägre yteffekt syntes ge en jämnare temperaturfördelning och en mindre pendling.



### 7.3 Jämförelse mellan takvärme och elvärmepanel vid stationärt driftfall

Studerade mätfall: 1, 10, 15, 19 och 21 ,

Exempel på mätresultat visas i bilaga 2, sid 1-6.

Takvärmeinstallation I jämfördes med elvärmepanel I (sluten). Samtidigt studeras reglersystemets inverkan.

#### 7.3.1 Temperaturfördelning

Temperaturfördelning i provrummet redovisas för mätfall 1, 15 och 19 i bilaga 2.

Temperaturgradient 2,0 m framför fönstret, centralt i rummet, visas i FIG 21. Temperaturfördelningen i rummets hela vertikala symmetriplan redovisas i FIG 22 och 23 i form av isotermer vilka interpolerats fram från erhållna temperaturer i de olika punkterna. Uppmätta värden på riktad operativ temperatur liksom global operativ temperatur framgår av tabell 3. Angivna värden avser differens mellan operativ temperatur och lufttemperatur i rummets mitt.

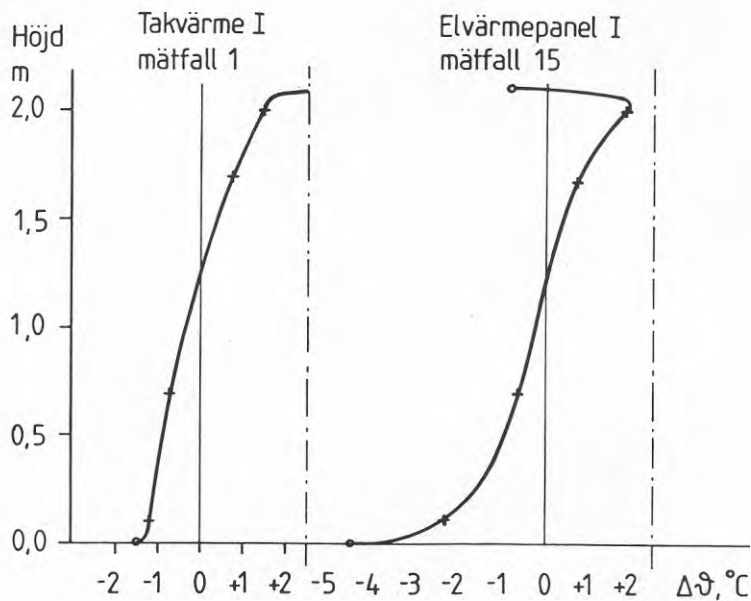


FIG 21 Temperaturgradient för takvärme I respektive elvärmepanel I. Mätpunkterna placerade centriskt 2,0 m från fönster. Stationär temperatur.

+ lufttemperatur  
o yttemperatur

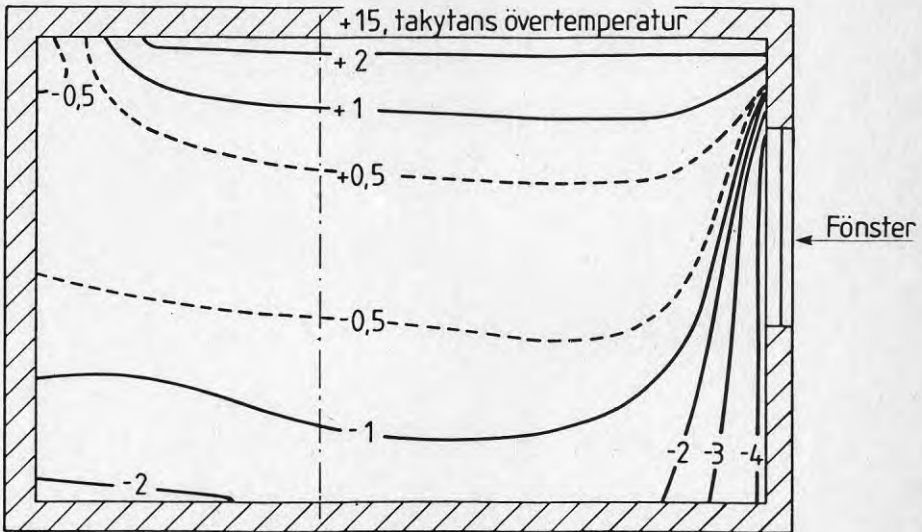


FIG 22 Temperaturfördelning i rummets vertikala symmetriplan, takvärme I - mätfall 1. Punktstreckad linje motsvarar temperaturgradienten i FIG 21.

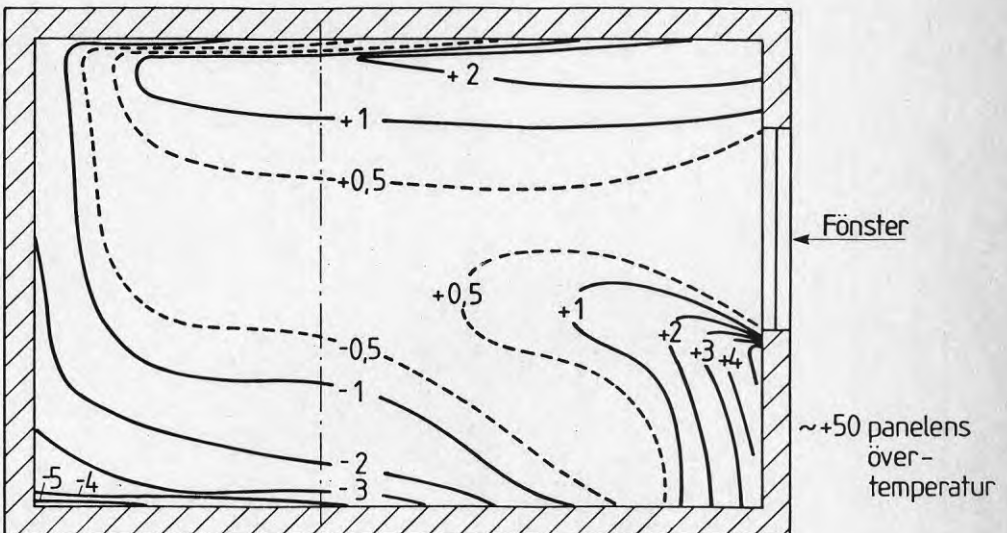


FIG 23 Temperaturfördelning i rummets vertikala symmetriplan, elvärmepanel I - mätfall 15. Punktstreckad linje motsvarar temperaturgradienten i FIG 21.

Tabell 3 Skillnader mellan operativ temperatur (global och riktad) och lufttemperatur samt temperaturpendling. Avser mätfallen 1, 10, 15, 19 och 21.

Reglersystem	Värmeinstallation		elvärmepanel I						
	bimetall	takvärme I	1	10	15	19	21		
∅ <sub>op</sub>	+0,8	+0,3	+0,8	+0,1	-0,5	+0,2	-0,4	+0,2	+0,5 <sup>∅</sup>
∅ <sub>op,tak</sub>	+3,7	+0,7	+3,7	+0,2	-0,5	+0,2	-0,4	+0,2	+0,6 <sup>∅</sup>
∅ <sub>op,golv</sub>	-0,9	+0,1	-0,9	+0,1	-1,1	+0,2	-0,9	+0,2	+0,5 <sup>∅</sup>
∅ <sub>op,föns</sub>	+0,3	+0,3	+0,3	+0,1	+0,4	+0,3	+0,6	+0,2	+0,7 <sup>∅</sup>
∅ <sub>op,gavel</sub>	+0,3	+0,3	+0,2	+0,1	-0,9	+0,2	-0,7	+0,2	+0,5 <sup>∅</sup>
∅ <sub>op,långs</sub>	+0,7	+0,2	+0,7	+0,1	-0,5	+0,2	-0,4	+0,2	+0,5 <sup>∅</sup>
∅ <sub>i</sub>	22,2	+0,1	22,2	+0,1	22,4	+0,2	22,2	+0,2	22,5
									+0,2

∅) Den sammanbyggda termostaten gav upphov till en överlagrad temperatursvängning med periodtiden ca 1 timme.

### 7.3.2 Medeleffekt

Uppmätt energiförbrukning och dygnsmedeltemperaturer för mätfall 1, 15 och 19 framgår av bilaga 2.

I tabell 4 visas en sammanställning över specifik medeleffekt. Uppmätt dygnsmedeleffekt har relaterats till differenser mellan operativ temperatur, global och riktade, och lufttemperatur ute samt till differenser mellan lufttemperatur inne och ute.

Tabell 4 Specifik medeleffekt  $W/^\circ C$

Uppv.system:	takvärme I		elvärmepanel I		
Reglersystem:	bi- metall	elektro- nisk	bi- metall	elektro- nisk	sammanbyggd
Mätfall:	1	10	15	19	21

---

$P/(\dot{\vartheta}_{op} - \dot{\vartheta}_u)$	14,7	14,5	14,5	14,4	14,5
$P/(\dot{\vartheta}_{op, tak} - \dot{\vartheta}_u)$	13,6	13,5	14,5	14,4	14,5
$P/(\dot{\vartheta}_{op, golv} - \dot{\vartheta}_u)$	15,3	15,2	14,7	14,6	14,7
$P/(\dot{\vartheta}_{op, fönst} - \dot{\vartheta}_u)$	14,8	14,7	14,1	14,0	14,1
$P/(\dot{\vartheta}_i - \dot{\vartheta}_u)$	15,0	14,8	14,3	14,2	14,3

---

### 7.3.3 Kommentarer

Valet av reglerutrustning påverkade inte tidsmedelvärdet av temperaturerna i rummets olika mätpunkter. Den elektroniska reglerutrustningen gav dock en minskad temperaturpendling för takvärmealternativet jämfört med den väggmonterade bimetalltermostaten. För elvärmepanelen med dess större tröghet är denna pendling knappt märkbar. Vid användning av den med elvärmepanelen sammanbyggda bimetalltermostaten förekom dessutom en långsam överlagrad temperatursvängning, med periodtiden ca 1 timme, som ej förekom då de väggmonterade termostaterna användes.

Vid jämförelse av temperaturfördelningen i rummet mellan de två systemen framgår det att man får en något jämnare temperatur, såväl vertikalt som horisontellt, för takvärme-systemet. Vid respektive värmekälla uppstår en markant höjning av temperaturen.

Temperaturfördelningen i rummet för de två systemen skiljer sig framför allt åt vid rummets begränsningsytor. Takvärme-installationen ger en högre yttemperatur på golv- och väggpartier.

Elvärmepanelen har istället kallt golv och kalla ytor med undantag av en varm zon närmast yttervägg vid fönster medan golvets temperatur är lägre än vid takvärme. I huvuddelen av vستهlezonen är golvtemperaturen  $2-3^{\circ}\text{C}$  lägre för elvärmepanel än för takvärme. För erhållande av lika operativ temperatur måste lufttemperaturen vara ca  $1^{\circ}\text{C}$  högre för elvärmepanel än för takvärme.

Mätningarna avser här stationärt driftfall utan avsiktlig ventilation. De uppmätta energiförbrukningarna avser därför primärt transmissionsförluster i provrummet.

För elvärmepanelsystemet är de varma radiatorytorna vertikala vilket ger upphov till större luftrörelser i rummet än vid takvärmefallet.

Specifik medeleffekt relaterad till global operativ temperatur var ungefär densamma för de två värmekällorna då elektroniskt reglersystem använts. Om uppmätt medeleffekt relateras till differens mellan lufttemperatur inne och ute erhålles en högre specifik medeleffekt för takvärme. Detta är naturligt med hänsyn till högre yttemperaturer för takvärme. Den specifika medeleffekten för takvärme blir lägre än för elvärmepanel om den relateras till den riktade operativa temperaturen mot tak men blir högre om den relateras till den riktade operativa temperaturen mot golv och fönster. Det torde dock vara mest relevant att göra jämförelsen baserad på den globala operativa temperaturen. Till sist noteras att den operativa temperaturen

avviker mindre mellan olika riktningar för elvärmepanel (1,5 °C) än för takvärme (4,5 °C) i rummets mitt. På avstånd närmare fönstervägg med värmepanel torde differenserna vara betydligt större för elvärmepanel.

#### 7.4 Systemens snabbhet vid ändring av temperatur

Studerade mätfall: 2, 6, 8, 9 och 16

Exempel på mätresultatet visas i bilaga 2, sid 7-11.

Vid temporär sänkning av lufttemperaturen t ex nattsänkning är det av intresse att veta hur snabbt man kan lyfta upp temperaturnivån från en låg bastemperatur till en ur komfortsynpunkt acceptabel nivå. Jämförelser har gjorts mellan takvärmesystem IV och elvärmepanel I. I dessa mätfall har bastemperaturen varit relativt låg, ca 10 °C lägre än normal innetemperatur.

Två bimetalltermostater har använts. Den ena har varit inställd på bastemperaturen ca 12 °C, den andra har begränsat temperaturstegringen vid ca 22 °C. Registrerade samband mellan tid och temperatur redovisas för respektive mätfall i bilaga 2. Efter uppnådd stabilitet vid bastemperaturen har respektive system fått arbeta sig upp till den förinställda och önskade lufttemperaturen 22 °C. Vid temperaturstegringen inkopplades full effekt till dess att termostaten som var inställd på den högre nivån trädde i funktion. Denna tidpunkt har samband med såväl värmesystem som placering av termostaten i rummet. Vid denna jämförelse var termostaten placerad på samma ställe och hade samma inställning för samtliga fall. Temperaturstegringen kan därför indelas i två delar dels den del där värmesystemet varit inkopplat en längre period, dels den del där termostaten varit i funktion. Vid jämförelser mellan de olika systemens snabbhet bör därför den första delen av kurvan studeras. Den andra delen kan ses som ett exempel på samspelet mellan värmesystem och termostatplacering.

#### 7.4.1 Jämförelse mellan olika system

Det är svårt att ange något generellt kriterium på ett systems snabbhet. Beroende på typ av lokal och dess huvudsakliga användningsområde varierar betydelsen av olika parametrar.

I FIG 24 visas hur den globala operativa temperaturen,  $\vartheta_{op}$ , stiger som funktion av tiden. Kurvorna har här "nollställt" i figuren så att den lägre basnivån sammanfaller för de olika uppvärmningsalternativen. På motsvarande sätt visas i stegringsförloppet för lufttemperaturen,  $\vartheta_i$ , i FIG 25.

Tabell 5 visar en sammanställning av den tid det tar för olika temperaturer att uppnå vissa nivåer nämligen 3, 6 och 9 °C över utgångsvärdet på lufttemperaturen.

I FIG 26 visas temperaturstegringen under en kortare period 0-60 min för de olika alternativen. För jämförelsens skull har kurvorna nollställt vid periodens början.



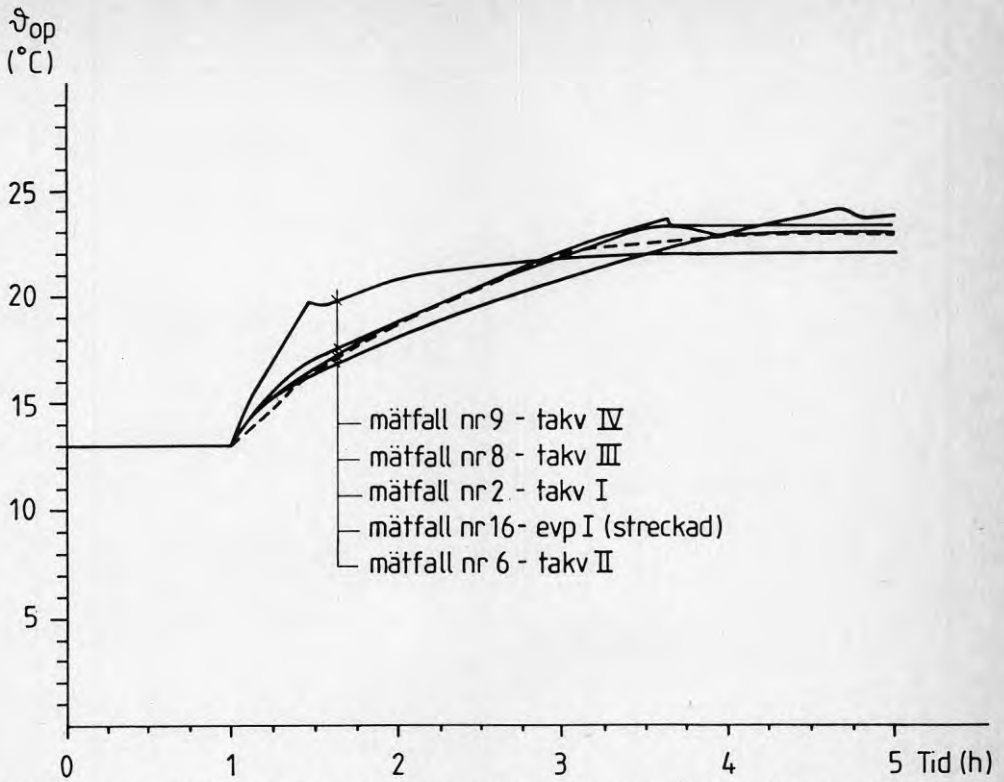


FIG 24 Temperaturförlopp (global operativ temperatur ( $\theta_{op}$ ) vid snabbuppvärmning med takvärmesystem I-IV och elvärmepanel I.

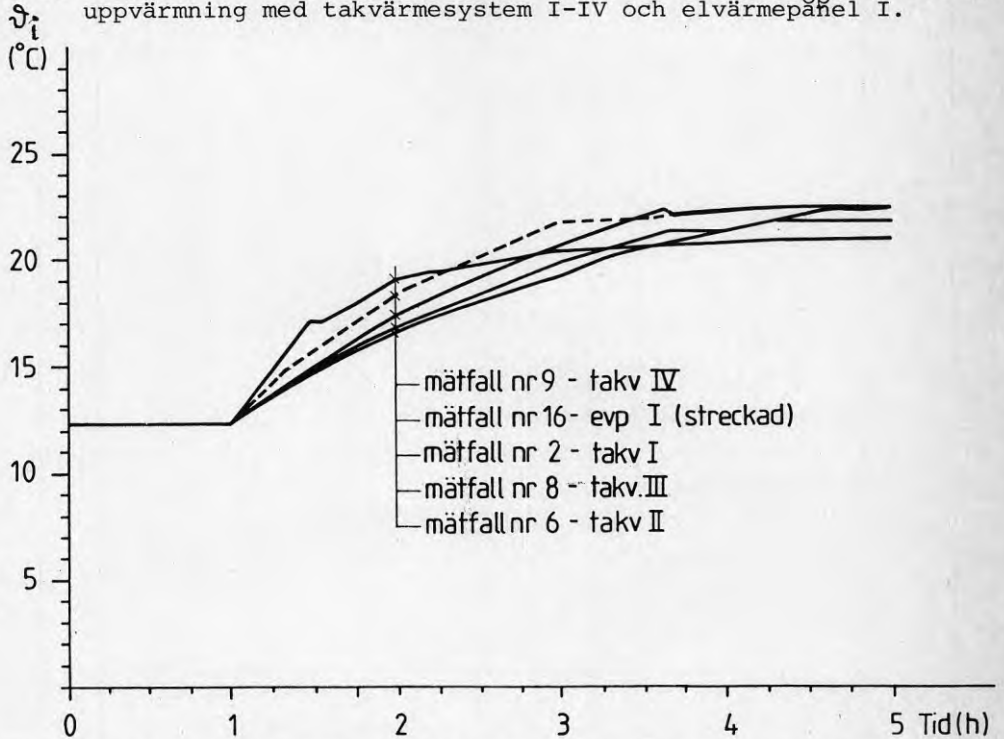


FIG 25 Temperaturförlopp (lufttemperaturen ( $\theta_i$ ) vid snabbuppvärmning med takvärmesystem I-IV och elvärmepanel I.

Tabell 5 Snabbuppvärmning. Tidsåtgång i min för temperaturstegring till vissa nivåer.

Värmesystem	elv.p I (800 W)	takv I (800 W)	takv II (750 W)	takv III (800 W)	takv IV (1200 W)
mätfall:	16	2	6	8	9
Utgångsvärden:					
$\vartheta_i$ , °C	12,4	12,4	11,4	12,6	12,2
$\vartheta_{op,tak}$ , °C	11,9	14,7	14,6	16,6	15,0
$\vartheta_{op,golv}$ , °C	12,5	11,7	10,7	12,0	11,2
$\vartheta_{op,fö}$ , °C	12,4	12,8	11,6	13,0	11,7
Höjning av samtliga temperaturer till $\vartheta_o = \vartheta_i + 3$ °C					
$\vartheta_o$ , °C	15,4	15,4	14,4	15,6	15,2
$\vartheta_i$ , min	26	35	39	34	16
$\vartheta_{op,tak}$ , min	29	2	(0)	(0)	0
$\vartheta_{op,golv}$ , min	33	47	52	46	27
$\vartheta_{op,fö}$ , min	18	20	18	10	16
Höjning av samtliga temperaturer till $\vartheta_o = \vartheta_i + 6$ °C					
$\vartheta_o$ , °C	18,4	18,4	17,4	18,6	18,2
$\vartheta_i$ , min	60	77	97	89	(49) <sup>x</sup>
$\vartheta_{op,tak}$ , min	68	11	6	3	3
$\vartheta_{op,golv}$ , min	76	94	114	97	(73) <sup>x</sup>
$\vartheta_{op,fö}$ , min	48	60	67	29	(49) <sup>x</sup>
Höjning av samtliga temperaturer till $\vartheta_o = \vartheta_i + 9$ °C					
$\vartheta_o$ , °C	21,4	21,4	20,4	21,6	21,2
$\vartheta_i$ , min	113	135	179	156	-
$\vartheta_{op,tak}$ , min	(144) <sup>x</sup>	45	36	14	11
$\vartheta_{op,golv}$ , min	(148) <sup>x</sup>	160	202	-	-
$\vartheta_{op,fö}$ , min	101	112	136	111	-
Termostaten l:a frånslag från start min:					
	120	157	220	160	28

x = Temperaturstegringen har bromsats då termostaten redan börjat arbeta.

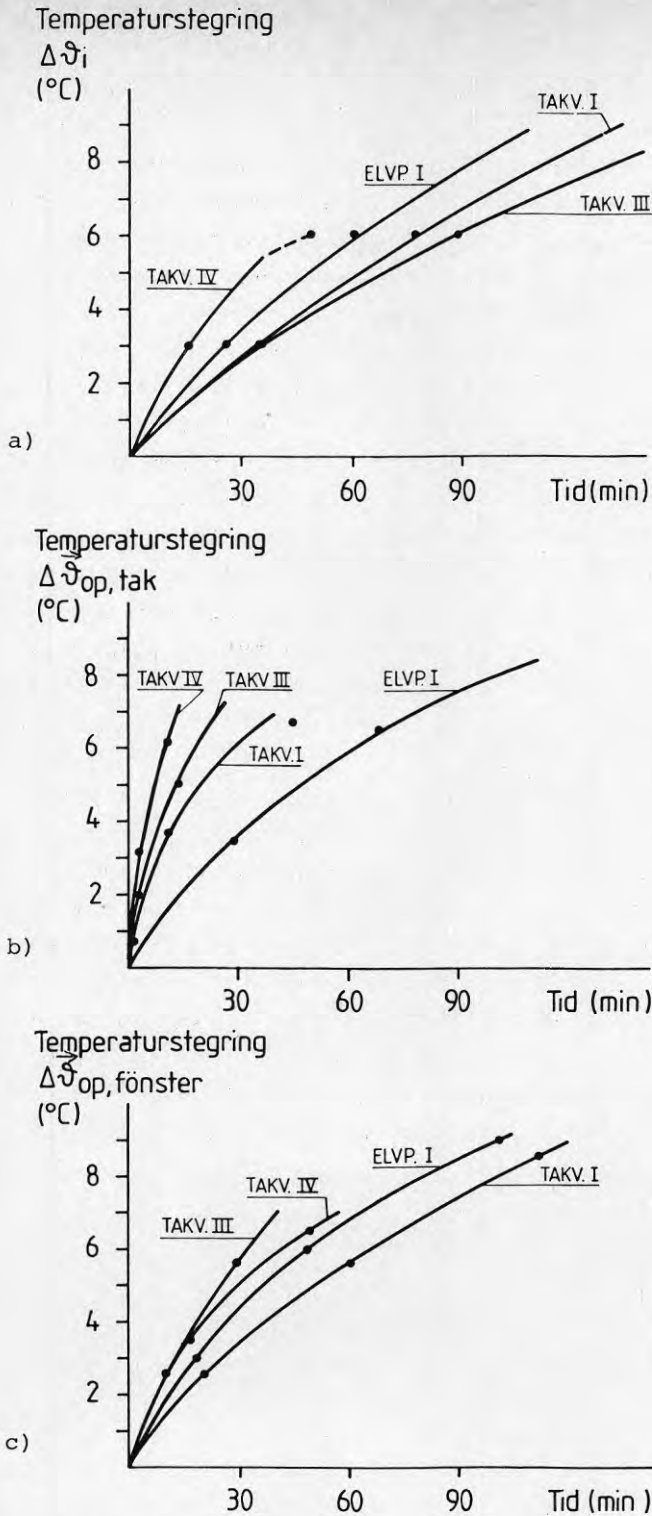


FIG 26 Temperaturstegring hos a) lufttemperatur, b) riktad operativ temperatur mot tak samt c) operativ temperatur mot fönster som funktion av tiden för systemen elvp I, takv I, III och IV.

#### 7.4.2 Kommentarer

Takvärmesystemet medförde att den operativa temperaturen, speciellt den riktade operativa temperaturen mot tak, ökade snabbt, medan rumsluftens temperatur ökade långsammare. Effekten blev att takvärmeinstallationerna gav en högre operativ temperatur i början av uppvärmningsförloppet. Efter ca 30 min var snabbheten ungefär densamma vid lika installerad effekt för de två systemen. Resultatet blev att takvärme höjde temperaturen snabbare till önskad nivå jämfört med elvärmepanelen. Tiden för höjning av riktad operativ temperatur mot tak med ca 5 °C tog ca 18 min för takvärme I (800 W) och ca 50 min för elvärmepanel (800 W). Motsvarande för global operativ temperatur var 40 min för takvärme och 50 min för panelen. Ökas installerad effekt till 1200 W blir motsvarande siffror för takvärme 8 resp 20 min. I praktiken innebär detta att en temperaturhöjning vid t ex nattsänkning kan påbörjas senare för takvärme än för elvärmepanel med energibesparing som följd.

Genom att installera högre effekt kan således snabbheten kraftigt ökas. Detta framgår av temperaturkurvorna i FIG 5-26. Med ett bra reglersystem synes detta kunna ske med bibehållen god värmekomfort och med undvikande av oönskade övertemperaturer och stora pendlingar. Det bör påpekas att mätningarna gäller i ett rum utan ventilation. Vid ventilation torde snabbheten avta något för båda systemen men sannolikt ökar skillnaden ytterligare mellan systemen då den operativa temperaturen betraktas. Ventilationens inverkan på temperaturfördelning och energiförbrukning studeras närmare i avsnitt 7.6.

## 7.5 Inverkan av golvets isoleringsgrad

Studerade mätfall: 1, 15, 30 och 31.

Exempel på resultat visas i bilaga 2, sid 1-4.

Inverkan av golvisoleringens tjocklek (50 resp 100 mm) på temperaturfördelning och energiförbrukning har undersökts för takvärme I och elvärmepanel I. Båda systemen var därvid kopplade till rumstermostat av bimetall.

### 7.5.1 Temperaturfördelning

Temperaturfördelning i rummet framgår för mätfallen 1 och 15 i bilaga 2.

Differens mellan lufttemperatur och operativ temperatur mitt i rummet samt temperaturpendling finns sammanställda i tabell 6.

Vertikal temperaturgradient 2,0 m från och centralt framför fönster framgår av FIG 27 och 23.

Tabell 6 Differens mellan operativ temperatur (global och riktad) och lufttemperatur samt temperaturpendling centralt i rummet. Avser mätfall 1, 15, 30 och 31.

	Värmeinstallation:	Takvärme I		Elvärmepanel I	
		Reglersystem:		Reglersystem:	
		bimetall		bimetall	
	Golvisolering, mm:	50	100	50	100
	Mätfall:	1	30	15	31
$\vartheta_{op}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	+0,8 ±0,3	+0,7 ±0,4	-0,5 ±0,2	-0,4 ±0,1
$\vec{\vartheta}_{op,tak}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	+3,7 ±0,7	+3,5 ±0,9	-0,5 ±0,2	-0,3 ±0,1
$\vec{\vartheta}_{op,golv}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	-0,9 ±0,1	-0,5 ±0,1	-1,1 ±0,2	-0,5 ±0,1
$\vec{\vartheta}_{op,fönst}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	+0,3 ±0,3	+0,2 ±0,3	+0,4 ±0,3	-0,3 ±0,1
$\vec{\vartheta}_{op,gavel}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	+0,3 ±0,3	+0,2 ±0,3	-0,9 ±0,2	-0,5 ±0,1
$\vartheta_{op,långsida}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	+0,7 ±0,2	+0,5 ±0,3	-0,5 ±0,2	-0,3 ±0,1
	$\vartheta_i, ^\circ C$	22,2 ±0,1	21,9 ±0,2	22,4 ±0,2	22,0 ±0,2

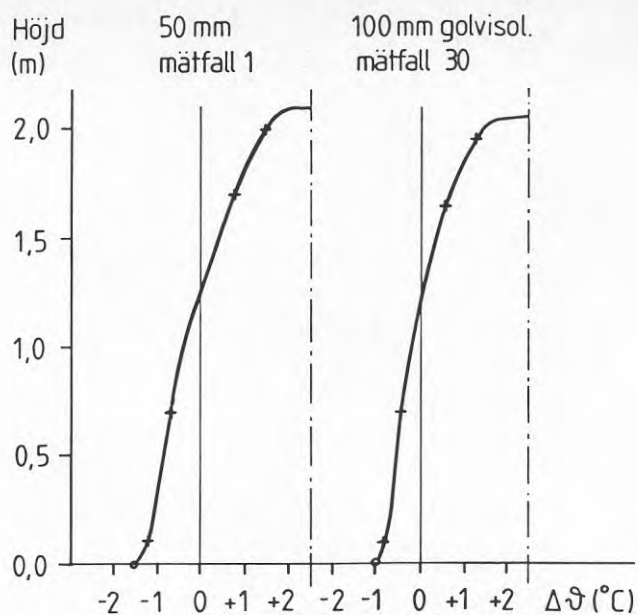


FIG 27 Temperaturgradient 2,0 m framför fönster för takvärme I vid 50 respektive 100 mm golvisolering.

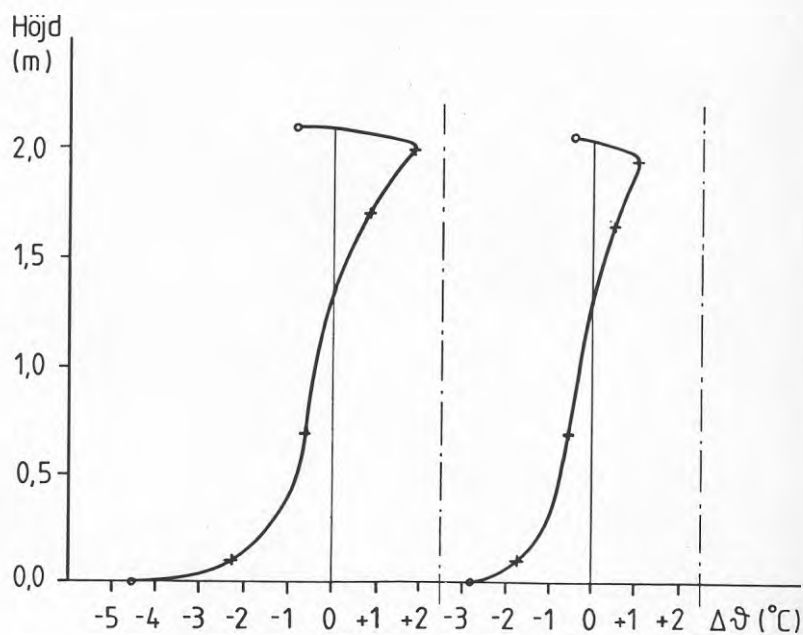


FIG 28 Temperaturgradient 2,0 m framför fönster för elvärmepanel I vid 50 respektive 100 mm golvisolering.

### 7.5.2 Medeleffekt

Uppmätt energiförbrukning och dygnsmedeltemperatur framgår av bilaga 2.

Specifik medeleffekt redovisas i tabell 7. Uppmätt dygnsmedeleffekt har relaterats till differenser mellan operativ temperatur (global och riktade) och lufttemperatur ute, samt differens mellan lufttemperatur inne och ute.

Tabell 7 Specifik medeleffekt  $W/^\circ C$

Uppvärmningssystem : takvärme I		elvärmepanel I		
Reglersystem : bimetall		bimetall		
Golvisolering, mm : 50	100	50	100	
Mätfall :	1 30	15	31	
Ventilation, oms/h: 0	0	0	0	
$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u)$	14,7	12,9	14,5	12,4
$P/(\vartheta_{op,tak} - \vartheta_u)$	13,6	12,0	14,5	12,4
$P/(\vartheta_{op,golv} - \vartheta_u)$	15,3	13,4	14,7	12,5
$P/(\vartheta_{op,fön} - \vartheta_u)$	14,8	13,1	14,1	12,4
$P/(\vartheta_i - \vartheta_u)$	15,0	13,2	14,3	12,3

### 7.5.3 Kommentarer

Temperaturgradienten förändrades på motsvarande sätt för resp system vid ökad golvisolering. Golvtemperaturen höjdes med drygt  $1,5^\circ C$ . Temperaturavvikelsen på en viss höjdnivå gentemot rummets medeltemperatur var generellt ca 50% större vid den tunnare golvisoleringen. Därigenom blev också skillnaderna mellan de operativa temperaturerna för olika riktningar mindre vid den tjockare golvisoleringen.

Från energisynpunkt syntes betydelsen av ökad golvisolering vara något större för elvärmepanelsystemet än för takvärmeinstallationen. Skillnaden ligger dock inom mätonoggrannheten.

## 7.6 Inverkan av ventilation

Studerade mätfall: 1, 28 och 29.

Exempel på resultat visas i bilaga 2, sid 1-2 och 12-13.

Huvuddelen av mätningarna utfördes utan avsiktlig ventilation i provningsrummet. För att studera ventilationens betydelse försågs rummet med ett mekaniskt frånluftssystem. Mätningarna vid en ventilation motsvarande 0, 0,5 respektive 1,0 oms/h gjordes endast för kombinationen Takvärme I och rumstermostat av bimetall.

### 7.6.1 Temperaturfördelning

Temperaturfördelning i rummet för mätfallen 1 och 29 framgår av bilaga 2.

Vertikal temperaturgradient 2,0 m från och centriskt framför fönster visas i FIG 29.

Lufttemperatur och operativa temperaturer uppmätta mitt i rummet samt temperaturpendling finns sammanställda i tabell 8.

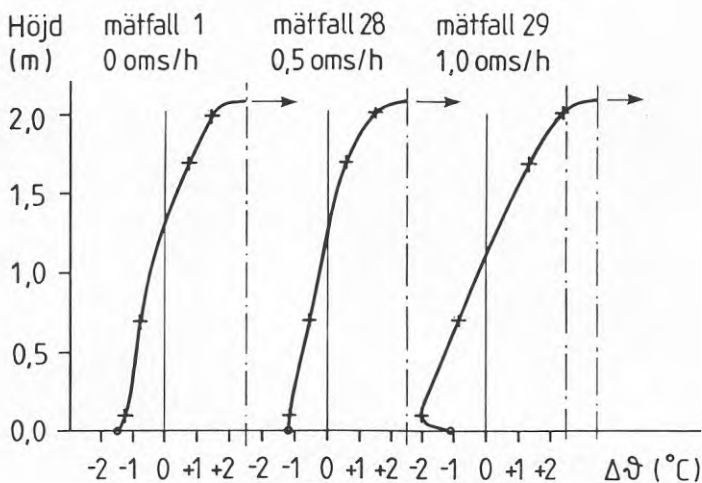


FIG 29 Temperaturgradient 2,0 m framför fönster för takvärme I vid en ventilation motsvarande 0, 0,5 och 1,0 oms/h.



Tabell 8 Differens mellan operativa temperaturer (global och riktade) och lufttemperatur samt temperaturpendling centralt i provrummet. Avser mätfall 1, 28 och 29.

Värmeinstallation :	takvärme I		
Reglersystem :	rumstermostat, bimetall		
Ventilation, oms/h :	0	0,5	1,0
Mätfall :	1	28	29

$\vartheta_{op}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	+0,8 $\pm$ 0,3	+1,0 $\pm$ 0,3	+1,2 $\pm$ 0,5
$\vartheta_{op,tak}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	+3,7 $\pm$ 0,7	+4,4 $\pm$ 0,9	+5,0 $\pm$ 1,1
$\vartheta_{op,golv}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	-0,9 $\pm$ 0,1	-0,8 $\pm$ 0,1	-1,0 $\pm$ 0,2
$\vartheta_{op,fönster}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	+0,3 $\pm$ 0,3	+0,4 $\pm$ 0,3	+0,6 $\pm$ 0,4
$\vartheta_{op,gavel}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	+0,3 $\pm$ 0,3	+0,5 $\pm$ 0,2	+0,8 $\pm$ 0,3
$\vartheta_{op,långs}$	$-\vartheta_i, ^\circ C$	+0,7 $\pm$ 0,2	+0,6 $\pm$ 0,2	+0,8 $\pm$ 0,4
	$\vartheta_i, ^\circ C$	22,2 $\pm$ 0,1	21,6 $\pm$ 0,2	20,6 $\pm$ 0,3)

### 7.6.2 Medeleffekt

Uppmätt energiförbrukning och dygnsmedeltemperaturer för mätfallen 1 och 29 framgår av bilaga 2.

Specifik medeleffekt framgår av tabell 9. Uppmätt dygnsmedeleffekt har relaterats till differensen mellan operativa temperaturen (global och riktade) och lufttemperaturen samt differensen mellan lufttemperaturen inne och ute.

Tabell 9 Specifik medeleffekt  $W/^\circ C$

Uppvärmningssystem:	takvärme		
Reglersystem:	bimetall		
Ventilation, oms/h:	0	0,5	1,0
Mätfall:	1	28	29

---

$P/(\dot{v}_{op} - \dot{v}_u)$	14,7	16,9	19,9
$P/(\dot{v}_{op, tak} - \dot{v}_u)$	13,6	15,4	20,3
$P/(\dot{v}_{op, golv} - \dot{v}_u)$	15,3	17,7	21,2
$P/(\dot{v}_{op, fönst} - \dot{v}_u)$	14,8	17,1	20,3
$P/(\dot{v}_i - \dot{v}_u)$	15,0	17,3	20,6

---

### 7.6.3 Kommentarer

Vid ökad ventilation förändrades temperaturgradienten, och ett för takvärme karaktäristiskt temperatursprång utbildades mellan luften i rummet och den varmare golvytan.

Vid ökning av ventilationen från 0,5 till 1,0 oms/h ökade den specifika medeleffekten relaterad till lufttemperatur med  $3,3 \text{ W/}^\circ\text{C}$  vilket stämmer väl med teoretiska beräkningar.

Vid jämförelse mellan ventilationsgraderna 0 och 0,5 oms/h ökade energiförbrukningen mindre vilket förmodligen hade samband med att rummet hade en viss ofrivillig grundventilation.

### 7.7 Inverkan av möbler vid stationära driftfall

Studerade mätfall: 1, 15, 24 och 26.

Exempel på resultat visas i bilaga 2, sid 1-4 och 14-15.

Hur påverkas temperaturfördelning och energiförbrukning av möblering? Inverkan av ett enkelt möbelemang (se FIG 31-32) har studerats för takvärme I och elvärmepanel I. Båda systemen var försedda med rumstermostat av bimetall placerad på innervägg.

#### 7.7.1 Temperaturfördelning

Temperaturfördelning i rummet för mätfallen 1, 15 och 26 framgår av bilaga 2.

Vertikal temperaturgradient genom bordsskivans centrum återfinns i FIG 30.

Temperaturfördelning i rummets vistelsezon visas med isotermer i FIG 31 och 32.

Lufttemperatur och operativ temperatur (global och riktad) samt temperaturpendling har sammanställts i tabell 10.

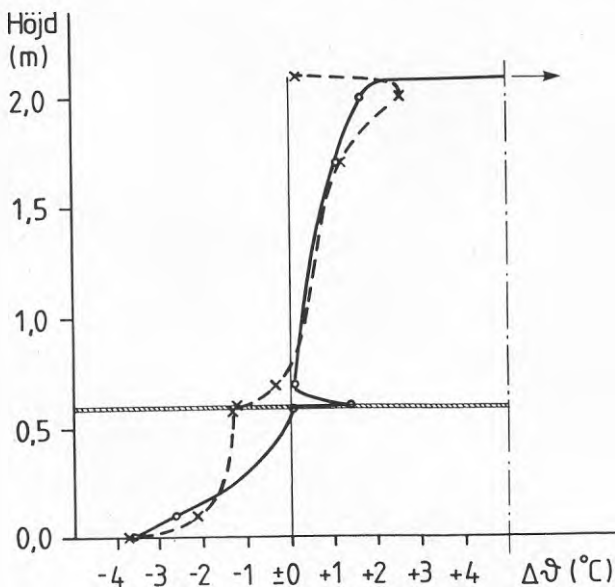
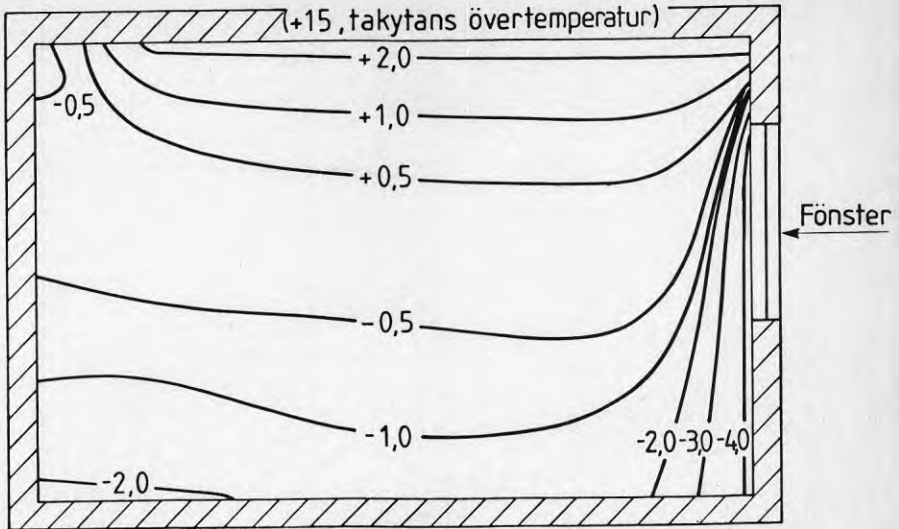
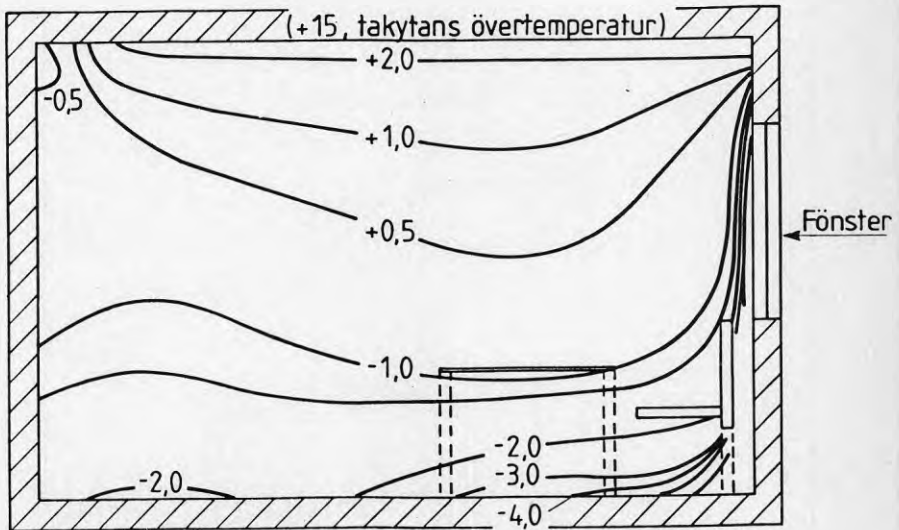


FIG 30 Vertikal temperaturgradient vid radiatoruppvärmning (---) respektive takvärme (—).

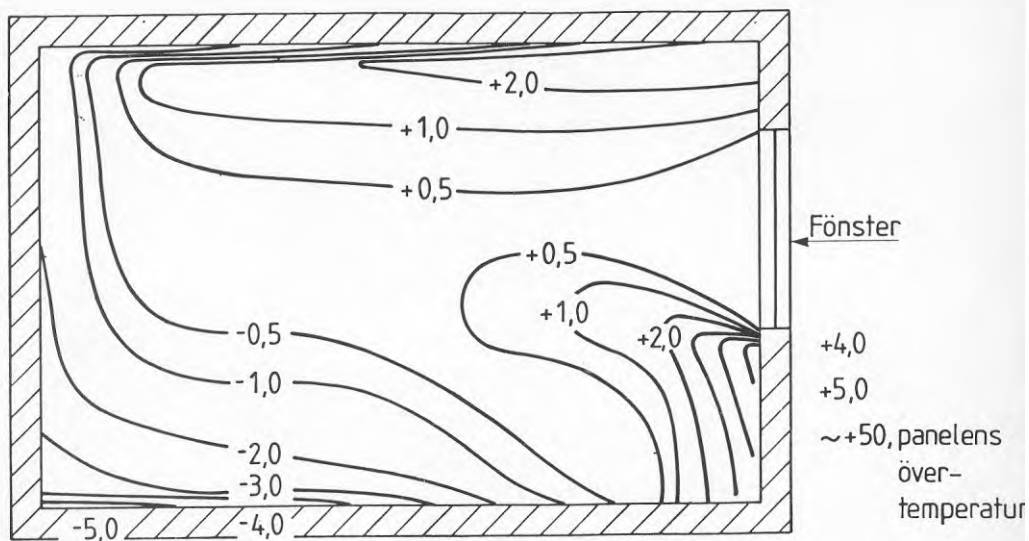


Utan möbler, mätfall 1.

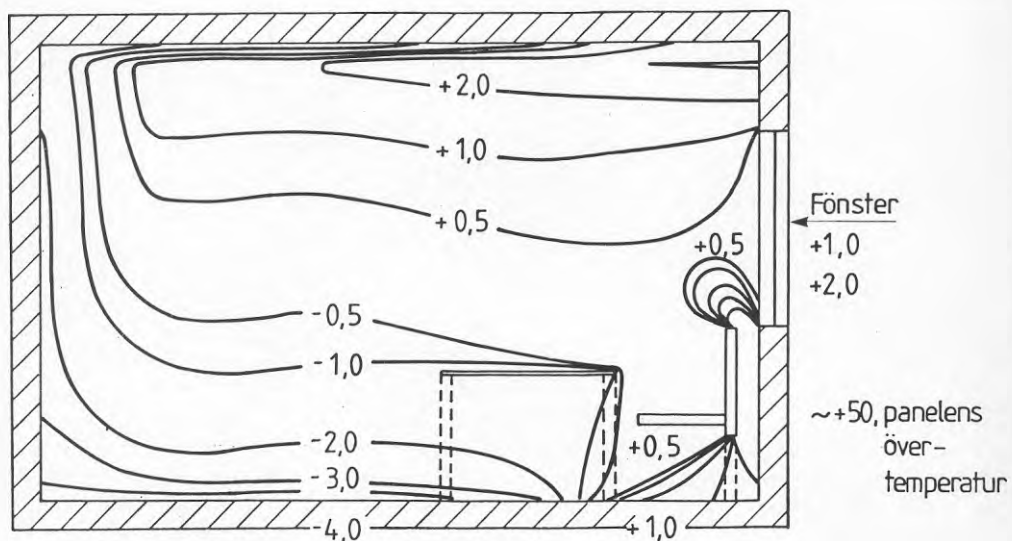


Med möbler, mätfall 24.

FIG 31 Isothermer visande temperaturfördelningen för takvärmeinstallationen med och utan möbler i provningsrummet.



Utan möbler, mätfall 15.



Med möbler, mätfall 26.

FIG 32 Isothermer visande temperaturfördelningen för elvärmepanelen med och utan möbler.

Tabell 10 Differens mellan operativa temperaturer (global och riktade) och lufttemperatur samt temperaturpendling centralt i rummet. Avser mätfall 1, 15, 24 och 25.

Värmeinstallation :	Takvärme I		Elvärmepanel I	
Reglersystem:	Bimetall i-vägg		Bimetall i-vägg	
Möbler:	nej	ja	nej	ja
Mätfall:	1	24	15	26

$\bar{v}_{op}$	$-\bar{v}_i, ^\circ C$	+0,8	$\pm 0,3$	+1,1	$\pm 0,4$	-0,5	$\pm 0,2$	-0,7	$\pm 0,1$
$\bar{v}_{op,tak}$	$-\bar{v}_i, ^\circ C$	+3,7	$\pm 0,7$	+4,2	$\pm 1,0$	-0,5	$\pm 0,2$	-0,5	$\pm 0,1$
$\bar{v}_{op,golv}$	$-\bar{v}_i, ^\circ C$	-0,9	$\pm 0,1$	-0,5	$\pm 0,1$	-1,1	$\pm 0,2$	-1,6	$\pm 0,1$
$\bar{v}_{op,fön}$	$-\bar{v}_i, ^\circ C$	+0,3	$\pm 0,3$	+0,8	$\pm 0,3$	+0,4	$\pm 0,3$	-0,5	$\pm 0,1$
$\bar{v}_{op,gavel}$	$-\bar{v}_i, ^\circ C$	+0,3	$\pm 0,3$	+0,4	$\pm 0,3$	-0,9	$\pm 0,2$	-0,9	$\pm 0,1$
$\bar{v}_{op,längs}$	$-\bar{v}_i, ^\circ C$	+0,7	$\pm 0,2$	+0,8	$\pm 0,3$	-0,5	$\pm 0,2$	-0,5	$\pm 0,1$
$\bar{v}_i, ^\circ C$		22,2	$\pm 0,1$	21,9	$\pm 0,2$	22,4	$\pm 0,2$	22,1	$\pm 0,2$

### 7.7.2 Medeleffekt

Uppmätt energiförbrukning och medeltemperaturer framgår av bilaga 2.

Specifik medeleffekt redovisas i tabell 11. Uppmätt dygnsmedeleffekt har relaterats till differensen mellan global operativ temperatur (global och riktade) och lufttemperaturer ute samt till differensen mellan lufttemperatur inne och ute.

Tabell 11 Specifik medeleffekt vid olika alternativ.

Uppvärmningssystem:	Takvärme I		Elvärmepanel I	
Reglersystem:	Bimetall i-vägg		Bimetall i-vägg	
Möbler:	nej	ja	nej	ja
Mätfall:	1	23	15	25
$P/(\dot{\vartheta}_{op} - \dot{\vartheta}_u)$	14,7	15,1	14,5	15,4
$P/(\dot{\vartheta}_{op,tak} - \dot{\vartheta}_u)$	13,6	14,0	14,5	15,3
$P/(\dot{\vartheta}_{op,golv} - \dot{\vartheta}_u)$	15,3	15,8	14,7	15,8
$P/(\dot{\vartheta}_{op,fön} - \dot{\vartheta}_u)$	14,8	15,3	14,1	15,3
$P/(\dot{\vartheta}_i - \dot{\vartheta}_u)$	15,0	15,6	14,3	15,1

### 7.7.3 Kommentarer

Yttemperatur på centrala delar av golv var högre vid takvärme. Inverkan på temperaturfördelningen på och invid golvytan pga bordets närvaro var relativt liten för båda uppvärmningssystemen. Golvytan centralt under bordet hade samma temperatur för båda systemen. Inverkan av soffan p g a dess utformning och placering var dock större och påverkade systemen olika. För takvärmesystemet erhöles en temperatursänkning vid ytterväggshörnet bakom soffan p g a bl a soffans avskärmande effekt. För elvärmepanelen stängdes istället värme in i utrymmet mellan soffan och ytterväggen och värmetransporten ut i rummet försämrades. Detta märks även vid jämförelse av möbleringens inverkan på specifik medeleffekt. För de båda systemen ökade den specifika medeleffekten relaterad till den operativa temperaturen (global) mitt i rummet vid möblering. Ökningen var något större för elvärmepanel (6 %) än för takvärme (3 %).



### 7.8 Jämförelse mellan takvärme och elvärmepanel vid dynamiska driftfall

Studerade mätfall: 3, 4, 11, 12, 17, 18 och 20  
Exempel på resultat visas i bilaga 2 sid 16-20.

Takvärmeinstallation I jämförs här med elvärmepanel I försedd med dels bimetalltermostat, dels elektronisk termostat.

Följande kan noteras:

- vid takvärme är temperaturskillnaden

$$\begin{array}{rclcl}
 \dot{v}_{op} & -\dot{v}_i & \approx +0,5 \text{ } ^\circ\text{C} & (\dot{v}_{op} & > \dot{v}_i) \\
 \vec{\dot{v}}_{op,tak} & \vec{-\dot{v}}_{op,fönst.} & \approx +(2-3) \text{ } ^\circ\text{C} & (\vec{\dot{v}}_{op,tak} & > \vec{\dot{v}}_{op,fönst.}) \\
 \vec{\dot{v}}_{op,fönst.} & \vec{-\dot{v}}_{op,golv} & \approx +1 \text{ } ^\circ\text{C} & (\vec{\dot{v}}_{op,fönst.} & > \vec{\dot{v}}_{op,golv})
 \end{array}$$

- vid elvärmepanel är temperaturskillnaden

$$\begin{array}{rclcl}
 \dot{v}_{op} & -\dot{v}_i & \approx -0,5 \text{ } ^\circ\text{C} & (\dot{v}_{op} & < \dot{v}_i) \\
 \vec{\dot{v}}_{op,tak} & \vec{-\dot{v}}_{op,fönst.} & \approx -1 \text{ } ^\circ\text{C} & (\vec{\dot{v}}_{op,tak} & \approx \vec{\dot{v}}_{op,fönst.}) \\
 \vec{\dot{v}}_{op,fönst.} & \vec{-\dot{v}}_{op,golv} & \approx +2 \text{ } ^\circ\text{C} & (\vec{\dot{v}}_{op,fönst.} & > \vec{\dot{v}}_{op,golv})
 \end{array}$$

Den globala operativa temperaturen och lufttemperaturen var relativt konstanta under respektive period. De riktade operativa temperaturerna hade däremot en tendens att öka eller minska något (ca 1 °C) beroende på vilken temperaturperiod som betraktas. Detta syntes vara mera påtagligt när elektronisk termostat användes än när bimetalltermostat användes. Variation i utetemperaturen påverkar temperaturregleringen.

Skillnaderna mellan de olika temperaturerna försvinner snabbt vid sänkingsperioderna för båda uppvärmningssystemen. Beträffande regleringen började bimetalltermostaten att arbeta tidigare vid nattsänkning och man får en mjuk insvängning till den lägre nivån. Den elektroniska termostaten

började arbeta först efter det att temperaturen sjunkit under bastemperaturen  $1-2^{\circ}\text{C}$  varvid temperaturkurvan fick en karakteristisk sänkning i början av varje sådan period. Vid förändring till den högre temperaturnivån arbetade den elektroniska termostaten upp temperaturen till en viss nivå under en viss tillslagstid (ca 30 min) varefter en långsam insvängning med täta till- och frånslag (periodlängden 90 s) mot innetemperatur skedde. Temperaturerna blev i regel ej konstanta vid den högre temperaturen med detta system utan temperaturen kunde stiga  $2-3^{\circ}\text{C}$  vid den högre nivån. Det förelåg ej någon skillnad mellan takvärme och elvärmepanel härvidlag. Bimetalltermostaten arbetade däremot med ett längre tillslag upp temperaturen till önskad nivå efter ca 1 h och blev relativt konstant efter ca 2 h. Termostaten arbetade härvid med periodlängden motsvarande ca 8 min.

Medelvärde av specifika medeleffekt för respektive system vid mätfallet dyn I visas i nedanstående tabell. Ventilationen var här 0 oms/h.

Tabell 12

Specifik effekt $\text{W}/^{\circ}\text{C}$	Takvärmesystem I Dyn I		Elvärmepanel II Dyn I	
	bimetall	elektronisk	bimetall	elektronisk
$P/(\vartheta_{\text{op}} - \vartheta_{\text{u}})$	15,0	13,9	15,5	15,0
$P/(\vartheta_{\text{i}} - \vartheta_{\text{u}})$	15,2	14,2	15,2	14,8

Av tabellen framgår att vid det dynamiska fallet är energiförbrukningen lägre vid elektronisk termostat än vid utnyttjandet av bimetalltermostat för båda värmesystemen.

### 7.9 Inverkan av möblering vid dynamiska driftfall

Studerade mätfall nr: 4, 18, 25 och 27

Exempel på resultat visas i bilaga 2, sid 17, 19 och 21-22.

Möblernas inverkan på systemen vid det dynamiska mätfallet (dyn II) jämfört med det stationära synes vara främst på energiförbrukningen vilket framgår av följande tabell.

Tabell 13

Specifik medeleffekt $W/^\circ C$	Takvärmesystem I		Elvärmepanel I	
	utan möbler	med möbler	utan möbler	med möbler
$P/(\dot{\vartheta}_{op} - \dot{\vartheta}_u)$	15,3	15,0	15,4	15,2
$P/(\dot{\vartheta}_i - \dot{\vartheta}_u)$	15,7	15,4	15,2	14,9

Möblering av ett rum synes ha en isolerande effekt och bidra till minskad energiförbrukning. Minskningen verkar vara lika för båda systemen.

### 7.10 Inverkan av rumstermostatens placering

Studerade mätfall nr: 1, 4, 22 och 23

Exempel på mätresultat visas i bilaga 2, sid 1-2 och 17.

Termostatens placering vid innervägg eller yttervägg medförde ej någon entydig skillnad av betydelse. Det kan dock noteras att man erhöll något kortare kopplingscykler vid placering på yttervägg (8,8 min vid innervägg och 8,1 min vid ytterväggspacering). Av temperaturkurvorna framgår en tendens till långsammare insvängningsförlopp vid övergång från den lägre till den högre nivån.

7.11 Inverkan av störningar på reglersystemet

Studerade mätfall: 32-40

Exempel på resultat visas i bilaga 2, sid 23-26.

Nyttjad medeleffekt samt temperaturdifferenser och specifik medeleffekt visas i nedanstående tabell.

Tabell 14

Mätfall	Termostat- typ	Medeleffekt P (W)	Temperatur- differens	P
			$\vartheta_{op}-\vartheta_u$ (°C)	$\vartheta_{op}-\vartheta_u$ (W/°C)
{ 32	EAV	344	26,9	12,8
{ 37	bimetall	343	26,0 <sup>1)</sup>	13,2 <sup>1)</sup>
{ 33	EAV	304	23,9	12,7
{ 38	bimetall	301	22,8	13,2
{ 34	EAV	255	19,5	13,1
{ 35	EAV	255	19,8	12,9
{ 39	bimetall	255	19,5	13,1
{ 36	EAV	272	19,3	14,1
{ 40	bimetall	295	19,9	14,8

1) Värdet är relaterat till skillnaden mellan lufttemperatur inne och ute. Registrering av den operativa temperaturen misslyckades vid detta mätfall.

Resultaten visar en tendens till lägre specifik medeleffekt för den elektroniska termostaten (EAV) vid olika form av störningar. Skillnaderna varierar mellan 0,3 och 0,7 W/°C. Mätoslagrannheten bedöms här vara  $\pm 0,2$  W/°C. En klar skillnad mellan de två reglersystemens sätt att arbeta framgår av diagrammen i bilaga 2. EAV-regulatorn ger vid vädring en betydligt mindre ökning i effektförbrukningen (17 W) än vad den sammanbyggda termostaten ger (40 W).

Vid vädring begränsar EAV-regulatorn effekttillförseln till elvärmepanelen medan den sammanbyggda termostaten påverkas av den inströmmande kalla uteluften och arbetar för fullt med temperaturhöjning inne som följd.

Störningar i form av tillskottsvärme och ventilation påverkar märkbart båda reglersystemen. Av temperaturkurvorna framgår att den sammanbyggda bimetaltermostaten är mera känslig för sådana störningar med oönskade övertemperaturer och förhöjd energiförbrukning som följd.

## 8 SAMMANFATTNING

Genom en jämförande undersökning mellan elektrisk takvärme och system med väggmonterade elvärmepaneler har projektet sökt att klarlägga hur systemen fungerar vid olika driftfall såväl stationära som dynamiska. Systemen har provats i ett provrum med två väggar samt golv och tak kyllda, de två övriga väggarna utgjorde innerväggar. Rummet, som var försett med fönster och mekaniskt frånluftssystem, kan betraktas som en fullskalemodell av ett normalt bostadsrum. Av provningstekniska skäl valdes takhöjden dock något mindre (2,1 m) än vad som är normalt.

För olika driftfall har de två systemen jämförts med avseende på energiförbrukning, lufttemperaturfördelning och operativ temperatur. Inverkan av golvisoleringens tjocklek, möbler, tillskottsvärme, ventilation, olika installerad effekt samt typ av styr- och reglersystem har undersökts.

Resultaten av mätningarna kan sammanfattas enligt följande.

#### Temperaturfördelning

Vid takvärme erhöles en jämnare temperaturfördelning i rummet såväl vertikalt som horisontellt jämfört med elvärmepanelsystem.

Takvärme gav en högre yttemperatur på väggar och golv jämfört med elvärmepanel vid samma lufttemperatur. Speciellt noterades att golvtemperaturen var 2-3°C högre för takvärme jämfört med elvärmepanel vid de aktuella mätfallen. Golvets isolergrad visade sig ha större inverkan på dess yttemperatur (i absoluta tal) vid elvärmepanelfallet än vid takvärmefallet.

Takvärmefoliernas placering och yteffekt påverkade temperaturfördelningen i rummet. Om folie med högre yteffekt placerades närmare fönstret erhöles en förhöjd fönstertemperatur samtidigt som temperaturen sjönk något på längre avstånd från fönstret i de delar av rummet där takvärmefolier saknades.

Sådan installation kan vara fördelaktig från kallras- och dragsynpunkt vid dåligt isolerade partier t ex fönster, men den ger upphov till större skillnad mellan operativ temperatur i olika riktningar. Lufttemperaturen var vid de olika mätfallen ca 1 °C lägre, vid lika operativ (global) temperatur, för takvärmesystemet jämfört med systemet med elvärmepanel.

Möbler och andra inredningar kan påverka temperaturfördelningen på ett påtagligt sätt. Härvid uppstår kalla eller varma "fickor" beroende på uppvärmningssystem och placering. Vid t ex takvärme erhålls en temperatursänkning vid ytterväggen bakom en soffa p g a dess avskärmande och isolerande effekt. Vid elvärmepanel som är placerad vid yttervägg bakom en soffa bildas istället en värmekudde mellan soffa och vägg och värmedistributionen ut i rummet försämras p g a soffan.

Ventilationen och luftrörelserna i rummet påverkade temperaturfördelningen på ett betydande sätt. Vid ventilation blev temperaturgradienten i rummet större vid ökad ventilation. Undersökningen gjordes härvid enbart med takvärme.

#### Systemens snabbhet

Undersökning av hur snabbt man kan höja temperaturen från en låg bastemperatur vid t ex nattsänkning av lufttemperaturen till en normal innetemperatur visade att takvärme gav en snabbare temperaturhöjning till önskad nivå om man betraktar den operativa temperaturen. Den tid det tar att nå en önskad innetemperatur varierade beroende på dels installerad effekt, dels vilken riktad operativ temperatur som betraktades. Vid takvärme ökar den riktade operativa temperaturen mot tak snabbast. T ex var tiden för en temperaturhöjning av global operativ temperatur med 5 °C 20 min för takvärmealternativ IV (1200 W) och 50 min för elvärmepanel I (800 W). För takvärmealternativ I (800 W) var tiden 40 min. Betraktar man lufttemperaturen gav elvärmepanelen en snabbare temperaturhöjning vid lika installerad effekt.

### Effekt och energiförbrukning

Eftersom takvärme och elvärmepaneler vid lika effektinstallation ger olika lufttemperaturer, operativa temperaturer och golvtemperaturer blir energiförbrukningen olika beroende på vilka av dessa tre temperaturer som utgör grund för jämförelsen.

Nyttjad medeleffekt och energiförbrukning vid stationärt fall och utan ventilation blir ungefär densamma för de två systemen om jämförelsen baseras på operativ temperatur medan den blir högre för takvärme vid lika lufttemperatur. Baseras jämförelsen på den riktade operativa temperaturen mot tak ger takvärme lägre energiförbrukning. Om jämförelsen görs under förutsättning att de två systemen skall ge samma golvtemperatur blir skillnaden mellan energiförbrukning för de två systemen större. Exempelvis erfordras då för systemet med elvärmepanel 2-3 °C högre lufttemperatur än för takvärme.

Ventilationen påverkar energiförbrukningen på ett märkbart sätt. Provning gjordes här enbart med takvärmealternativet. Ventilationen torde få en större inverkan på energiförbrukningen vid elvärmepaneler och typ konvektionsvärme p g a en högre lufttemperatur för ett sådant system.

För båda systemen erhöles vid stationära förhållanden en mindre ökning i energiförbrukning när möbler förekom i rummet. Ökningen var något större för systemet med elvärmepanel. Vid de dynamiska driftfallen hade möbleringen en gynnsam effekt jämfört med stationära förhållanden.

I övrigt noterades att takvärme gav en något lägre energiförbrukning vid de dynamiska driftfallen speciellt då elektrokonvektionsvärmestats användes och då jämförelsen baseras på den operativa temperaturen. Skillnaden i energiförbrukning mellan systemen varierande därvid från några enstaka procent till ca 7 % mellan olika mätfall. Dessa värden på energibesparing med takvärme synes motsvara de som anges i referenslitteraturen från KTH, men mindre än de som erhållits vid praktiska mät-



ningar i hus där takvärme installerats. Inverkan av ventilation och otätheter i byggnaden samt temperaturvariationer inomhus kan emellertid i praktiken ge upphov till andra skillnader i energiförbrukning än vad som här uppmätts. Jämförelsen med ventilation gjordes ej för elvärmealternativet. Den högre lufttemperaturen (ca 1 °C) för detta alternativ medför dock att energiförbrukningen ökar mera för elvärmepanel än för takvärme vid ventilation (ventilationsförlusterna blir ca 5 % större vid en temperaturskillnad av 20 °C inne-ute).

### Styr- och reglersystem

Termostatplacering på innervägg eller yttervägg syntes ej ha någon märkbar skillnad i funktion. Störningar i form av tillskottsvärme och vädring kan inverka betydligt på termostats funktion och möjlighet att hålla lufttemperaturen jämn. Därvid påverkas även energiförbrukningen i rummet. Den elektroniska termostaten syntes dock ge en snabbare reglering med bättre temperaturhållning.

Den största skillnaden mellan elektronisk reglering typ EAV med utegivare och bimetalltermostat framkom vid vädring där den senare gav en betydligt större ökning i energiförbrukningen än vad EAV-termostaten gav upphov till. Skillnaden var närmare 10 % av den totala förbrukningen i det aktuella driftfallet.

Sammanfattningsvis kan sägas att strålningsvärme i form av takvärme kan ge ett jämnare inomhusklimat i ett rum och en lägre energiförbrukning jämfört med väggmonterade elvärmepaneler. Detta synes bero på att strålningsvärme jämfört med konvektionsvärme ger

- jämnare temperaturfördelning i rummet
- lägre lufttemperatur vid samma operativa temperatur
- högre yttemperaturer, främst golvtemperaturer, vilket medför att lufttemperaturen kan hållas lägre vid takvärme
- snabbare reglerbarhet

Från energisynpunkt får dessa egenskaper ökad betydelse i lokaler med hög ventilation, behov av hög golvtemperatur samt vid intermitterent uppvärmning.

Slutligen kan sägas att de erhållna resultaten ej är direkt överförbara till verkliga bostadsrum och hela byggnader.

Skillnaderna mellan de två systemen torde dock kvarstå i sådana fall även om den kan variera vid olika förhållanden.

Det vore därför av värde att kunna prova och jämföra de två uppvärmningssystem i full skala i ett experimentbyggnadsprojekt för att verifiera erhållna resultat under verkliga förhållanden.

## 9. LITTERATUR

1. Adamsson, B & Lövestedt, B, 1971, Takvärme, Temperaturfördelning och behaglighet, Byggforskningen R12: 1971, Stockholm.
2. Amundsen, A, 1974, Temperaturfördelning vid olika elvärmesystem, ERA 1974:4.
3. Fanger, P.O., 1967, Calculation of Thermal Comfort, Introduction of a Basic Comfort Equation, ASHRE Vol. 3.
4. Isfält, E & Peterson, F, 1973, Val av värmesystem - ett sätt att minska energiförlusten från byggnader, Tekniska Meddelanden nr 29, KTH, Uppvärmnings- och ventilationsteknik, Stockholm.
5. Mundt, E, 1978, Riktad operativ temperatur, KTH, Uppvärmnings- och ventilationsteknik, Stockholm.
6. Malmström, T-G, 1975, Radiatorers yttemperatur, Tekniska Meddelanden nr 73, KTH, Uppvärmnings- och ventilationsteknik, Stockholm.
7. Peterson, F, 1975, Om linearisering av ekvationer för konvektiv värmeöverföring, Tekniska Meddelanden nr 72, KTH, Uppvärmnings- och ventilationsteknik, Stockholm.
8. Peterson, F, 1975, Beräkning av rumsytors temperatur, Tekniska Meddelanden nr 69, KTH, Uppvärmnings- och ventilationsteknik, Stockholm.
9. Peterson, F, 1975, Temperaturgradienter vid olika uppvärmningssystem, Tekniska Meddelanden nr 65, KTH, Uppvärmnings- och ventilationsteknik, Stockholm.
10. Scunca, I, 1973, Wärmetechnischer Vergleich zwischen Warmluft und Strahlungsheizung, Gaswärme International.
11. Sundell, J, 1975, Klimatnormer, teknisk komfort, riktad operativ temperatur, Tekniska Meddelanden nr 71, KTH, Uppvärmnings- och ventilationsteknik, Stockholm.

UPPVÄRMNINGSSYSTEM	REGLERSYSTEM termo- stat	placering	VENT. oms/h	MÖBLE- RING	GOLV- ISOL. mm	TILLSK.- VÄRME	D R I F T F A L L				Dvn IV
							Stat	Snabb	Dyn I	Dyn II	
Takvärme I	rumsterm	i-vägg	0	nej	50	0	1	2	3	4	
"	bim	"	0	nej	50	0	5	6			
"	"	"	0	nej	50	0	7	8			
"	"	"	0	nej	50	0		9			
Takvärme I	EAV	"	0	nej	50	0	10		11	12	
"	EAV	"	0	nej	50	0	13				
"	EAV	"	0	nej	50	0	14				
Elv.panel I	rumsterm	"	0	nej	50	0	15	16	17	18	
"	bim	"	0	nej	50	0			20		
Elv.panel I	EAV	"	0	nej	50	0	19				
Elv.panel I	bim	sam.by.	0	nej	50	0	21				
Takvärme I	rumsterm	y-vägg	0	nej	50	0	22			23	
Takvärme I	"	i-vägg	0	alt 1	50	0	24			25	
Elv.panel I	"	"	0	alt 1	50	0	26			27	
Takvärme I	"	"	0,5 <sup>1)</sup>	nej	50	0	28				
Takvärme I	"	"	1,0 <sup>1)</sup>	nej	50	0	29				
Takvärme I	"	"	0	nej	100	0	30				
Elv.panel I	"	"	0	nej	100	0	31				
Elv.panel II	EAV	y-vägg	0	alt 2	100	0	32				33
"	"	"	0	"	100	0					34
"	"	"	0	"	100	0 <sup>3)</sup>					35
"	"	"	0	"	100	160					36
"	"	"	1,0 <sup>2)</sup>	"	100	160 <sup>3)</sup>					
Elv.panel II	bim	sam.by.	0	"	100	0	37				
"	"	"	0	"	100	0					38
"	"	"	0	"	100	160 <sup>3)</sup>					39
"	"	"	1,0 <sup>2)</sup>	"	100	160 <sup>3)</sup>					40

1) Ventilation under hela mätdygnet FIG 18

2) Ventilation enligt tidsschema 5

3) Tillskottsvärme enligt tidsschema 6 FIG 18

alt 1 möblering, se FIG 9-10

alt 2 möblering, se FIG 11-12

Mätfall 1

Uppvärmningssystem	takvärme I	.....
Reglersystem, typ	rumstermostat bimetall	.....
- " - plac	innervägg	.....
Tillskottsvärme, W	-	.....
Ventilation, oms/h	-	.....
Golvisolering, mm	50	.....
Möblering	-	.....
Driftsfall	stationär temperatur	

Lufttemperatur och pendling

Mitt i provningsrum	- $\vartheta_i$ , °C	22,2 ± 0,1
Mitt i kylrum	- $\vartheta_u$ , °C	-14,6

Operativ temperatur och pendling

Global operativ temp	- $\vartheta_{op}$ , °C	23,0 ± 0,3
Riktad mot tak	- $\vartheta_{tak}$ , °C	25,9 ± 0,7
- " - golv	- $\vartheta_{golv}$ , °C	21,3 ± 0,1
- " - fönster	- $\vartheta_{fö}$ , °C	22,5 ± 0,3
- " - gavel	- $\vartheta_{gav}$ , °C	22,5 ± 0,3
- " - långs.	- $\vartheta_{lång}$ , °C	22,9 ± 0,2

Kopplingscykel

Periodlängd ..... 8 ..... min ..... 49 ..... sek

Energiförbrukning

Nettoeffekt, W	551	.....
därav tillskottsvärme, W	-	.....

Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_i - \vartheta_u)$ , W/°C	.15,0.
$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u)$ , W/°C	.14,7.
$P/(\vartheta_{tak} - \vartheta_u)$ , W/°C	.13,6.
$P/(\vartheta_{golv} - \vartheta_u)$ , W/°C	.15,3.
$P/(\vartheta_{fö} - \vartheta_u)$ , W/°C	.14,8.

0,6	-2,3	1,2
1,4	1,8	1,9
0,0	0,2	-0,1
-1,1	-0,6	-

Uppvärmningssystem: takvärme I

Reglersystem/placering: rumstermostat  
bimetall/innervägg

Driftsfall, mm: stationär temperatur

	0	15	16	
-1,5	1,2	1,8	1,7	1,9
-0,7	0,7	0,8	0,9	0,8
-1,0	-0,7	-0,5	-0,6	-1,4
-2,4	-1,8	-1,1	-1,4	-2,3
	-2,5	-1,1	-1,2	

Medelvärde av de i rummet uppmätta lufttemperaturerna

$$\bar{\vartheta}_1 = 21,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

I figuren angivna temperaturer avser differenser till medelvärdet av de i rummet uppmätta lufttemperaturerna d v s

$$\vartheta_{xyz} - \bar{\vartheta}_1$$

	2	15	16	
-0,9	1,2	1,5	1,8	1,6
-0,1	0,5	0,8	0,9	-3,0
-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-
-2,0	-1,7	-1,2	-1,8	-4,2
	-2,5	-1,5	-1,8	

	3	15	15	
-	1,2	1,6	1,8	
-0,6	0,4	0,8	0,9	0,6
-0,8	-0,9	-0,7	-0,7	-1,2
-	-1,7	-1,2	-1,3	-
	-2,0	-1,4	-1,3	

Mätfall 15

Uppvärmningssystem .. elvärmepanel I .....

Reglersystem, typ .. rumstermostat, bimetall .....

- " - plac .. innervägg .....

Tillskottsvärme, W ..... - .....

Ventilation, oms/h ..... - .....

Golvisolering, mm ... 50 .....

Möblering ..... - .....

Driftsfall .. stationär temperatur

Lufttemperatur och pendling

Mitt i provningsrum -  $\vartheta_i$ , °C .. 22,4 ± 0,2 .....

Mitt i kylrum -  $\vartheta_u$ , °C .. -15,9 .....

Operativ temperatur och pendling

Global operativ temp -  $\vartheta_{op}$ , °C .. 21,9 ± 0,2 .....

Riktad mot tak -  $\vartheta_{tak}$ , °C .. 21,9 ± 0,2 .....

- " - golv -  $\vartheta_{golv}$ , °C .. 21,3 ± 0,2 .....

- " - fönster -  $\vartheta_{fö}$ , °C .. 22,8 ± 0,3 .....

- " - gavel -  $\vartheta_{gav}$ , °C .. 21,5 ± 0,2 .....

- " - långs. -  $\vartheta_{lång}$ , °C .. 21,9 ± 0,2 .....

Kopplingscykel

Periodlängd .. 8 .. min .. 17 .. sek

Energiförbrukning

Nettoeffekt, W .. 547 ..

därav tillskottsvärme, W ..... - .....

Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_i - \vartheta_u)$ , W/°C .. 14,3 ..

$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u)$ , W/°C .. 14,5 ..

$P/(\vartheta_{tak} - \vartheta_u)$ , W/°C .. 14,5 ..

$P/(\vartheta_{golv} - \vartheta_u)$ , W/°C .. 14,7 ..

$P/(\vartheta_{fö} - \vartheta_u)$ , W/°C .. 14,1 ..

-0,4	-1,7	0,1
-0,4	-0,2	0,1
-1,1	-0,8	-0,3
-2,4	-2,1	-1,4

Uppvärmningssystem: elvärmepanel I

Reglersystem/placering: bimetall  
innervägg

Driftsfall, mm: stationär temperatur

	-1,4	-0,9	-	
-1,6	0,8	1,5	2,0	-0,6
-1,8	0,7	0,9	1,0	-1,6
-2,0	-0,6	-0,5	0,1	-2,5
-3,5	-2,7	-2,4	-1,7	-3,5
	-4,7	-4,3	-2,8	

Medelvärde av de i rummet uppmätta lufttemperaturerna

$$\bar{t}_1 = 22,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

I figuren angivna temperaturer avser differenser till medelvärdet av de i rummet uppmätta lufttemperaturerna d v s

$$t_{xyz} - \bar{t}_1$$

	-1,2	-0,8	1,4	
-1,9	1,3	1,9	2,8	2,7
-1,8	0,6	0,8	0,9	0,4
-2,2	-0,8	-0,6	1,2	5,6
-3,6	-3,0	-2,3	0,0	3,9
	-5,1	-4,5	0,1	

	-0,9	-0,8	-0,2	
	1,2	1,7	1,6	
-1,8	0,9	1,0	0,7	-1,8
-2,1	-0,7	-0,5	-0,1	-2,5
	-3,0	-2,6	-1,8	
	-4,3	-4,1	-3,5	



Mätfall 19

Uppvärmningssystem	elvärmepanel I
Reglersystem, typ	elektroniskt m rumstermostat
- " - plac	innervägg
Tillskottsvärme, W	.....
Ventilation, oms/h	.....
Golvisolering, mm	50
Möblering	.....
Driftsfall	stationär temperatur

Lufttemperatur och pendling

Mitt i provningsrum	- $\vartheta_i$ , °C	22,2	+ 0,2
Mitt i kylrum	- $\vartheta_u$ , °C	-15,5	

Operativ temperatur och pendling

Global operativ temp	- $\vartheta_{op}$ , °C	21,8	± 0,2
Riktad mot tak	- $\vartheta_{tak}$ , °C	21,8	± 0,2
- " - golv	- $\vartheta_{golv}$ , °C	21,3	± 0,2
- " - fönster	- $\vartheta_{fö}$ , °C	22,8	± 0,2
- " - gavel	- $\vartheta_{gav}$ , °C	21,5	± 0,2
- " - långs.	- $\vartheta_{lång}$ , °C	21,8	± 0,2

Kopplingscykel

Periodlängd ..... min .27... sek

Energiförbrukning

Nettoeffekt, W ..... 537  
därav tillskottsvärme, W ..... -

Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_i - \vartheta_u)$ , W/°C 14,2  
 $P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u)$ , W/°C 14,4  
 $P/(\vartheta_{tak} - \vartheta_u)$ , W/°C 14,4  
 $P/(\vartheta_{golv} - \vartheta_u)$ , W/°C 14,6  
 $P/(\vartheta_{fö} - \vartheta_u)$ , W/°C 14,0

-0,4	-1,7	0,1
-0,4	-0,2	0,1
-1,1	-0,8	-0,2
-2,4	-2,0	-1,3

Uppvärmningssystem: elvärmepanel I

Reglersystem/placering: elektroniskt med rumsgivare, innervägg

Driftsfall, mm: dyn I

	-1,3	-0,9	-0,3	
-1,5	0,8	1,4	1,9	-0,6
-1,7	0,7	0,8	0,9	-1,6
-1,9	-0,7	-0,5	0,1	-2,5
-3,5	-2,7	-2,4	-1,7	-3,5
	-4,5	-4,0	-2,7	

Medelvärde av de i rummet uppmätta lufttemperaturerna

$$\bar{t}_1 = 22,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

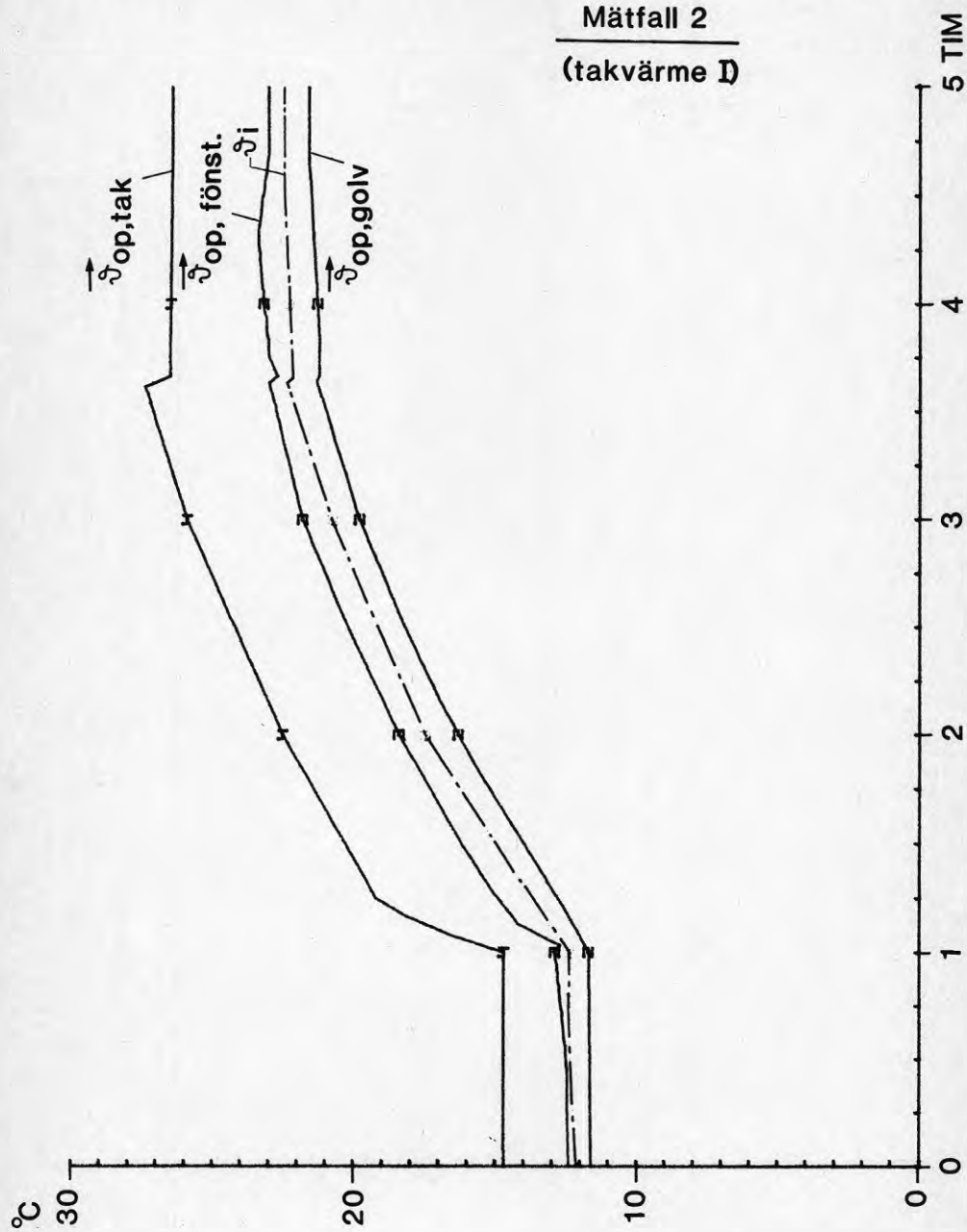
I figuren angivna temperaturer avser differenser till medelvärdet av de i rummet uppmätta lufttemperaturerna d v s

$$t_{xyz} - \bar{t}_1$$

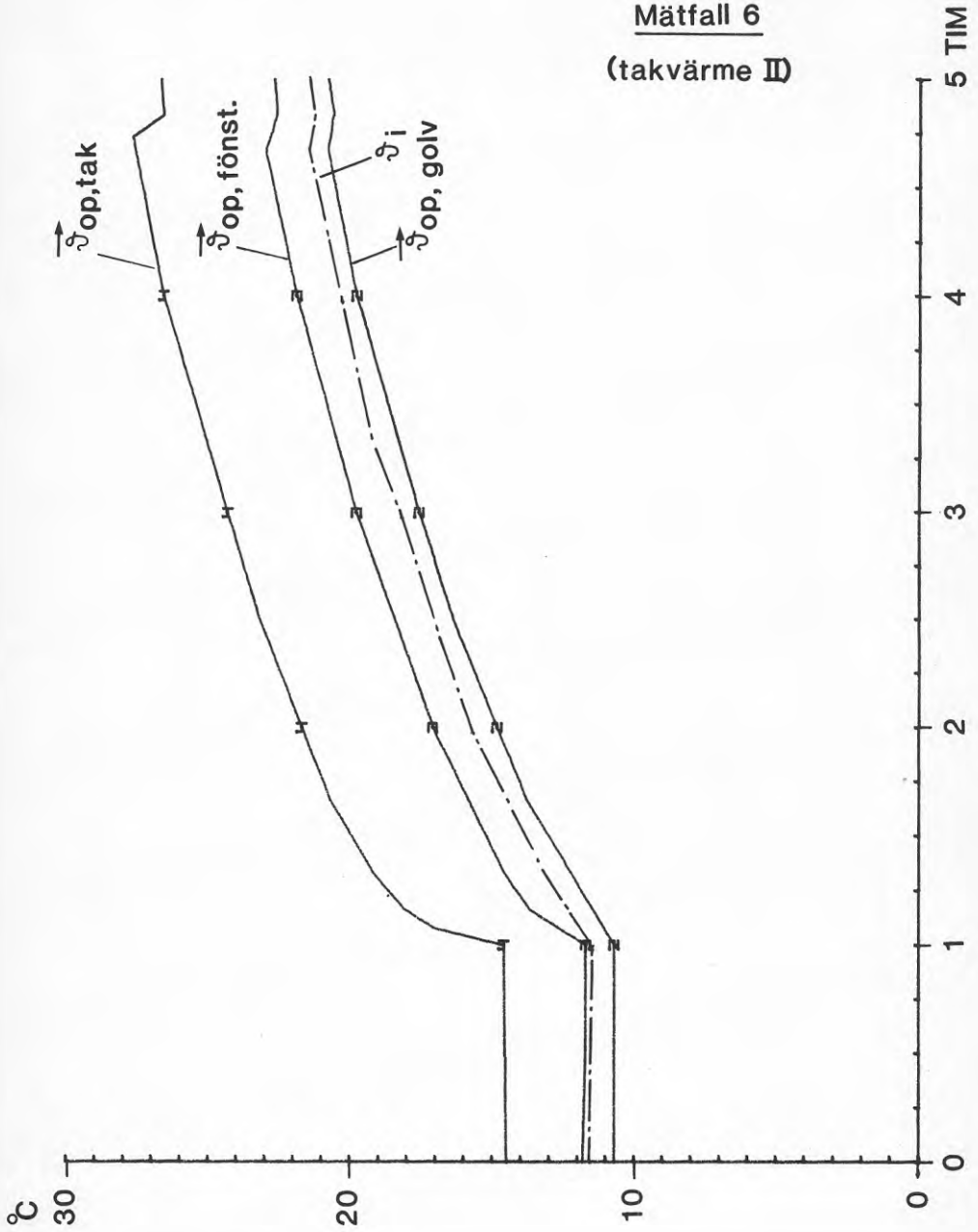
	-1,1	-0,7	1,5	
-1,8	1,3	1,8	2,6	2,7
-1,7	0,6	0,8	0,8	0,4
-2,1	-0,9	-0,7	1,1	-
-3,5	-3,0	-2,3	0,0	4,2
	-5,0	-4,5	0,1	

	-0,8	-0,8	-0,2	
	1,2	1,6	1,5	
-1,7	0,9	0,8	0,7	-1,8
-1,9	-0,7	-0,5	-0,2	-2,4
	-2,9	-2,6	-1,8	
	-4,2	-4,0	-3,4	

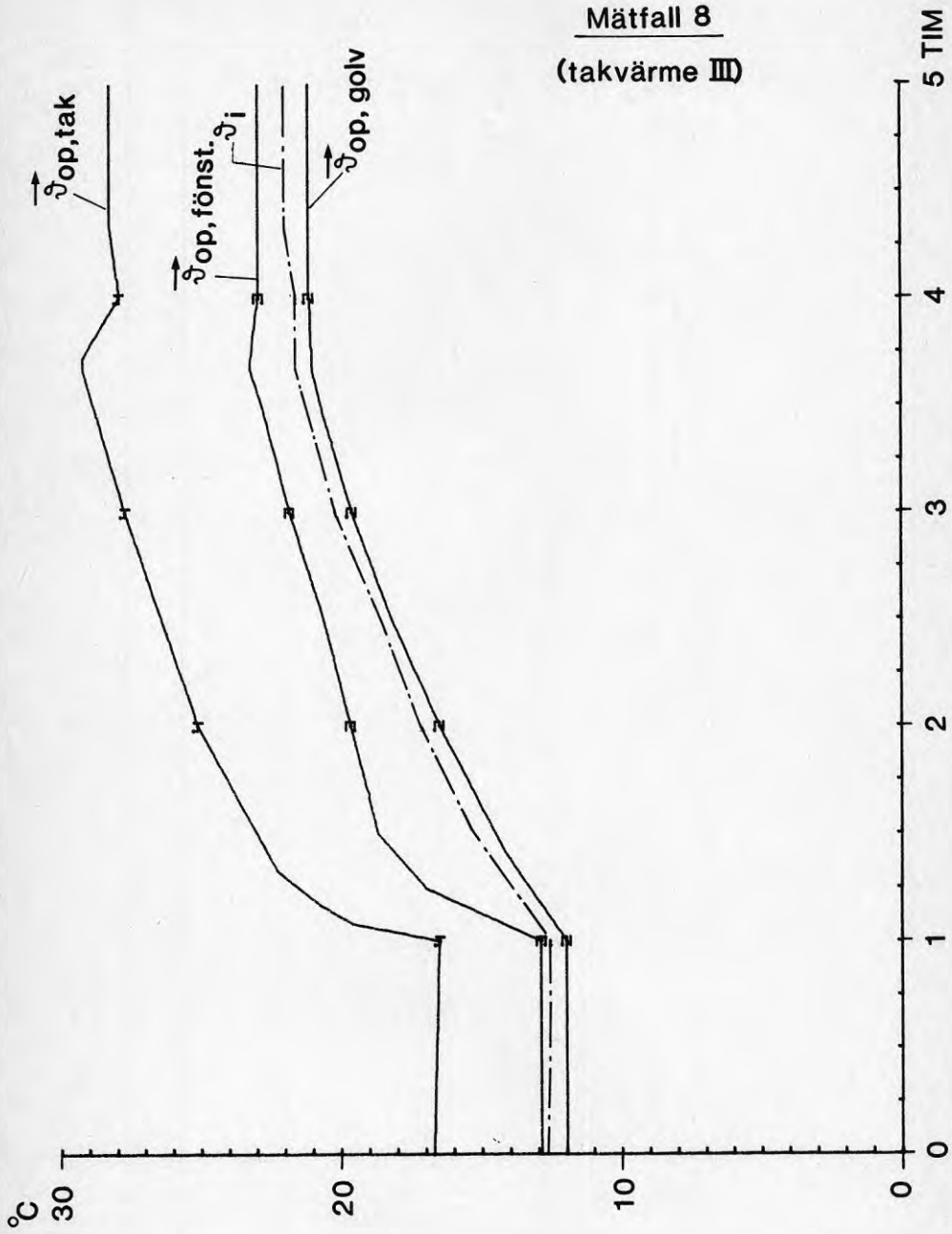
Mätfall 2  
(takvärme D)



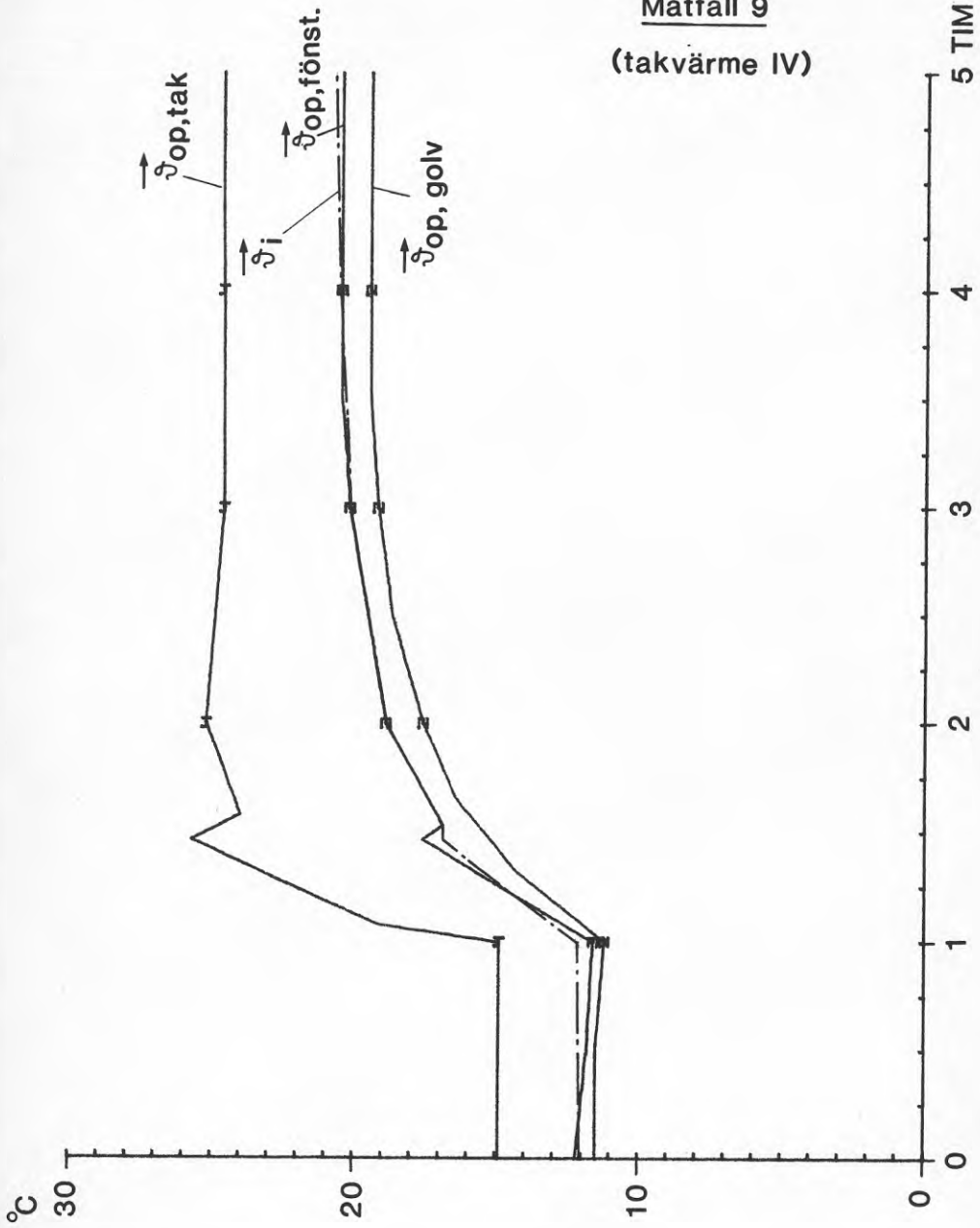
Mätfall 6  
(takvärme II)



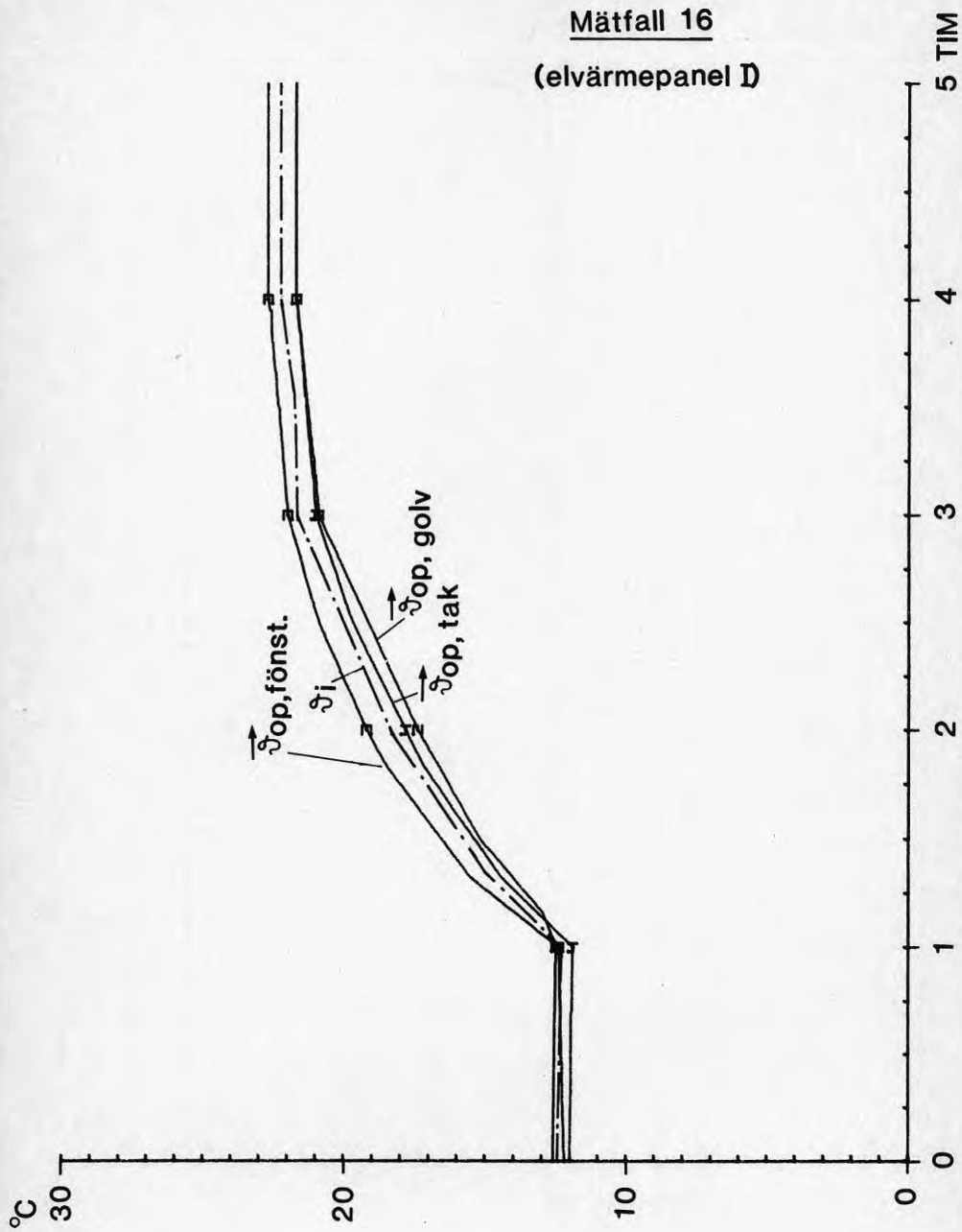
Mätfall 8  
(takvärme III)



**Mätfall 9**  
**(takvärme IV)**



Mätfall 16  
(elvärmepanel D)



Mätfall 29

Uppvärmningssystem	..takvärme I .....
Reglersystem, typ	..rumstermostat, bimetall .....
- " - plac	..innervägg .....
Tillskottsvärme, W	.....
Ventilation, oms/h	..1,0 .....
Golvisolering, mm	..50 .....
Möblering	.....
Driftsfall	stationär temperatur

Lufttemperatur och pendling

Mitt i provningsrum - $\vartheta_i$ , °C	..20,6 .. ± 0,3
Mitt i kylrum - $\vartheta_u$ , °C	..-14,4 .....

Operativ temperatur och pendling

Global operativ temp - $\vartheta_{op}$ , °C	..21,8 .. ± 0,4
Riktad mot tak - $\vartheta_{tak}$ , °C	..25,6 .. ± 1,1
- " - golv - $\vartheta_{golv}$ , °C	..19,6 .. ± 0,2
- " - fönster - $\vartheta_{fö}$ , °C	..21,2 .. ± 0,4
- " - gavel - $\vartheta_{gav}$ , °C	..21,4 .. ± 0,3
- " - långs. - $\vartheta_{lång}$ , °C	..21,4 .. ± 0,3

Kopplingscykel

Periodlängd	...15... min ...27... sek
-------------	---------------------------

Energiförbrukning

Nettoeffekt, W	..721 .....
därav tillskottsvärme, W	.....

Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_i - \vartheta_u)$ , W/°C	..20,6..
$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u)$ , W/°C	..19,9..
$P/(\vartheta_{tak} - \vartheta_u)$ , W/°C	..20,3..
$P/(\vartheta_{golv} - \vartheta_u)$ , W/°C	..21,2..
$P/(\vartheta_{fö} - \vartheta_u)$ , W/°C	..20,3..



-0,2	-2,6	0,4
2,2	3,0	2,9
0,6	0,9	0,5
-0,4	-0,2	1,7

Uppvärmningssystem: takvärme I

Reglersystem/placering: rumstermostat, bimetall

Driftsfall, mm: stationär temperatur, ventilation 1,0 oms/h

	-	14	16	
-0,4	1,9	2,7	2,4	1,7
0,0	1,1	1,5	1,4	1,3
-0,9	-1,0	-0,6	-0,9	-1,2
-2,2	-2,2	-1,5	-3,3	-3,3
	-0,9	-1,4	-1,8	

Medelvärdet av de i rummet uppmätta lufttemperaturerna

$$\bar{\vartheta}_1 = 20,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

I figuren angivna temperaturer avser differenser till medelvärdet av de i rummet uppmätta lufttemperaturerna  $d$  v s

$$\vartheta_{xyz} - \bar{\vartheta}_1$$

	4	16	15	
-0,8	2,0	2,4	2,3	2,1
0,2	1,1	1,4	1,0	-3,4
-0,6	-0,9	-0,8	-1,2	
-1,8	-1,9	-2,0	-3,7	-9,9
	-1,2	-1,1	-3,1	

	4	7	11	
-	1,7	2,3	2,3	
-0,3	1,2	1,4	1,3	1,1
-0,7	-1,0	-0,8	-1,0	-1,0
-	-2,2	-2,1	-3,3	
	-1,3	-1,6	-1,7	

Mätfall 26

Uppvärmningssystem .. elvärmepanel I .....

Reglersystem, typ .. rumstermostat, bimetall .....

- " - plac .. innervägg .....

Tillskottsvärme, W ..... -

Ventilation, oms/h ..... -

Golvisolering, mm ..... 50

Möblering .. ja, alt 1

Driftsfall .. stationär temperatur

Lufttemperatur och pendling

Mitt i provningsrum -  $\vartheta_i$ , °C .. 22,1 .. ± 0,2

Mitt i kylrum -  $\vartheta_u$ , °C .. -14,5 ..

Operativ temperatur och pendling

Global operativ temp -  $\vartheta_{op}$ , °C .. 21,4 .. ± 0,1

Riktad mot tak -  $\vartheta_{tak}$ , °C .. 21,6 .. ± 0,1

- " - golv -  $\vartheta_{golv}$ , °C .. 20,5 .. ± 0,1

- " - fönster -  $\vartheta_{fö}$ , °C .. 21,6 .. ± 0,1

- " - gavel -  $\vartheta_{gav}$ , °C .. 21,2 .. ± 0,1

- " - långs. -  $\vartheta_{lång}$ , °C .. 21,6 .. ± 0,1

Kopplingscykel

Periodlängd .. 7 .. min .. 43 .. sek

Energiförbrukning

Nettoeffekt, W .. 553

därav tillskottsvärme, W .. -

Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_i - \vartheta_u)$ , W/°C .. 15,1

$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u)$ , W/°C .. 15,4

$P/(\vartheta_{tak} - \vartheta_u)$ , W/°C .. 15,3

$P/(\vartheta_{golv} - \vartheta_u)$ , W/°C .. 15,8

$P/(\vartheta_{fö} - \vartheta_u)$ , W/°C .. 15,3

-0,4	-2,3	0,6
-0,4	-0,1	0,4
-1,2	-	-0,5
-2,5	-2,3	-1,6

Uppvärmningssystem: elvärmepanel I

Reglersystem/placering: rumstermostat, bimetall

Driftsfall, mm: dyn II

	-	-0,9	-0,4	
-2,0	1,2	1,9	1,9	0,3
-1,9	1,0	1,1	1,2	-1,1
-2,0	-0,7	-0,6	-0,1	-2,2
-3,6	-2,8	-2,5	-2,1	-3,2
	-4,6	-4,1	-3,3	

Medelvärdet av de i rummet uppmätta lufttemperaturerna

$$\bar{\vartheta}_1 = 21,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

I figuren angivna temperaturer avser differenser till medelvärdet av de i rummet uppmätta lufttemperaturerna  $\vartheta_{xyz} - \bar{\vartheta}_1$

$$\vartheta_{xyz} - \bar{\vartheta}_1$$

	-1,3	-1,1	1,7	
-1,9	1,5	2,0	3,0	3,1
-2,0	1,0	1,0	1,1	1,1
-2,2	-0,9	-0,8	-0,1	-
-3,7	-3,0	-2,5	0,3	4,4
	-5,0	-4,5	2,5	

Temperaturer längs vertikal genom bordsmitt

0,2
2,6
1,2
-0,3
-1,2
-1,3
-2,1
-3,7

översida } bordsyta  
undersida }

	-1,1	X	0,5	
-	1,5	X	2,1	-
X	1,2	X	1,0	-1,3
X	-0,8	X	-0,3	-2,1
-	-3,0	X	-2,1	-
	-4,6	X	-4,0	

Mätfall 3

Uppvärmningssystem ..takvärme I.....

Reglersystem ..bimetall innervägg...

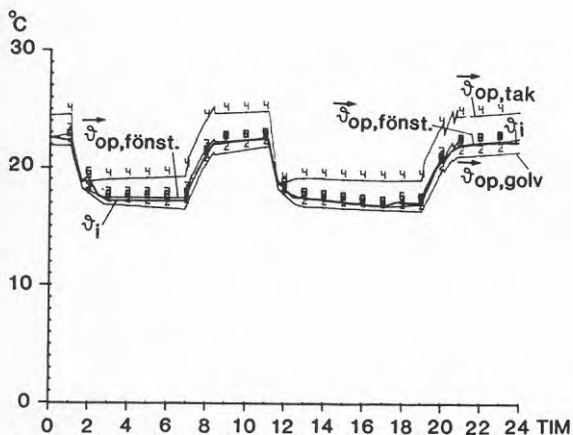
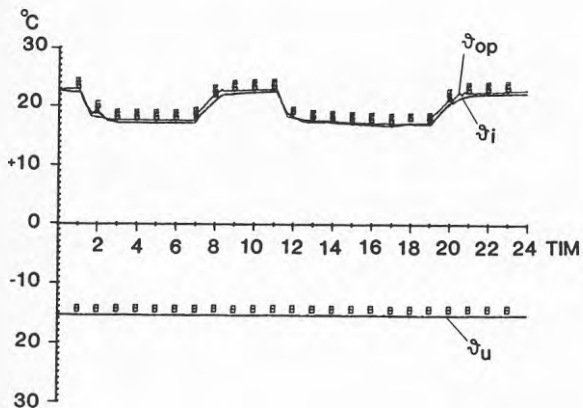
Tillskottsvärme, W .....

Ventilation, oms/h .....

Golvisolering, mm .....50...

Möblering .....

Driftfall ..dyn I.....

Specifik medeleffekt $P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u), W/^\circ C$  ..15,0... $P/(\vartheta_i - \vartheta_u), W/^\circ C$  ..15,2...Medeltemperaturer $\vartheta_{op}, ^\circ C$  .....19,8... $\vartheta_i, ^\circ C$  .....19,3... $\vartheta_u, ^\circ C$  .....-15,5...

Mätfall 4

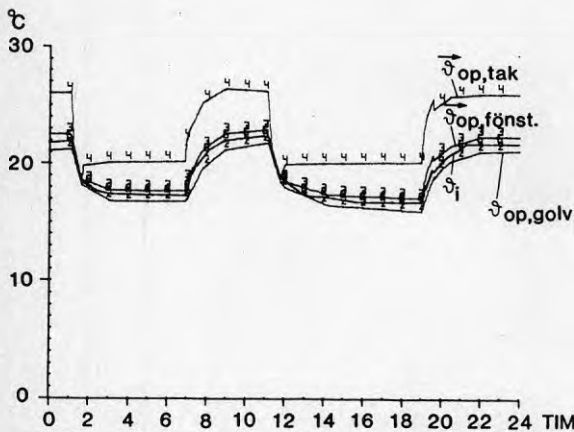
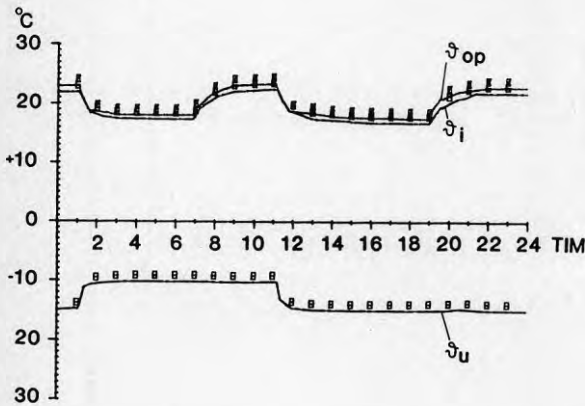
Uppvärmningssystem ..... takvärme I  
 Reglersystem ..... bimetall innervägg  
 Tillskottsvärme, W .....  
 Ventilation, oms/h .....  
 Golvisolering, mm ... 50 ...  
 Möblering .....  
 Driftfall ..... dyn. II ..

Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u), W/^\circ C$  15.3 .....  
 $P/(\vartheta_i - \vartheta_u), W/^\circ C$  15.7 .....

Medeltemperaturer

$\vartheta_{op}, ^\circ C$  ..... 20,0 .....  
 $\vartheta_i, ^\circ C$  ..... 19,2 .....  
 $\vartheta_u, ^\circ C$  ..... -12,9 .....



## Mätfall 17

Uppvärmningssystem ..... elvärmepanel I  
 Reglersystem ..... bimetall innervägg .....

Tillskottsvärme, W .....

Ventilation, oms/h .....

Golvisolering, mm ...50...

Möblering .....

Driftfall ..... dyn.I

## Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u), W/^\circ C$  15,5 .....

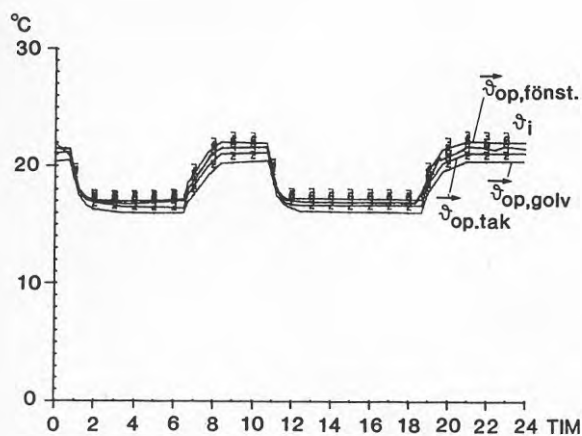
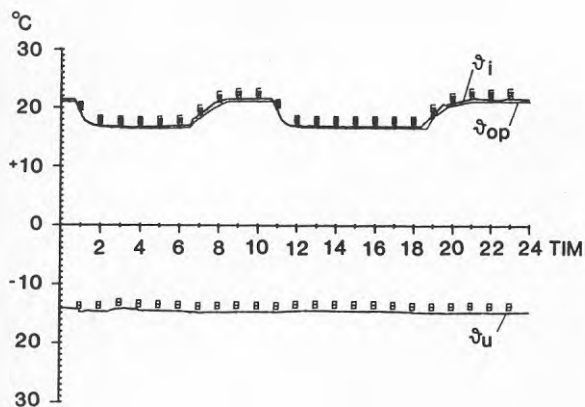
$P/(\vartheta_i - \vartheta_u), W/^\circ C$  15,2 .....

## Medeltemperaturer

$\vartheta_{op}, ^\circ C$  ..... 18,4 .....

$\vartheta_i, ^\circ C$  ..... 18,9 .....

$\vartheta_u, ^\circ C$  ..... -14,6 .....



## Mätfall 18

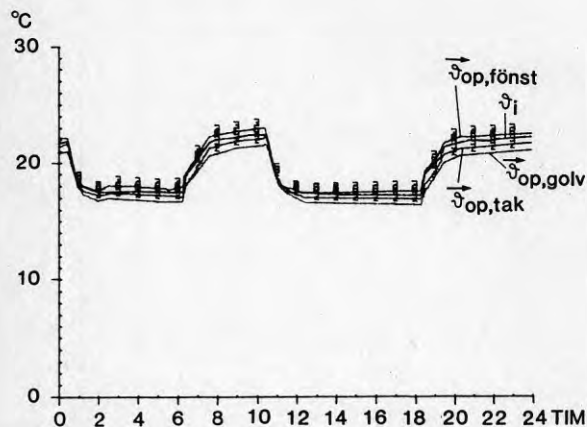
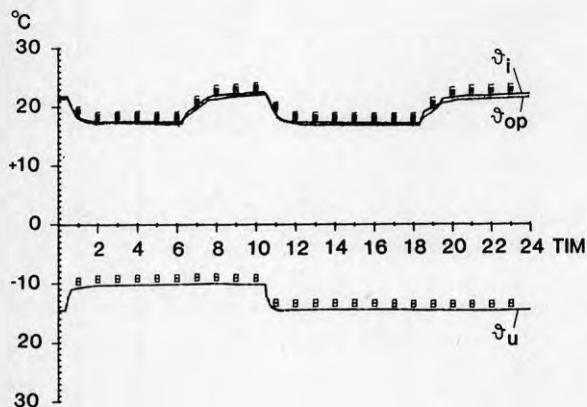
Uppvärmningssystem .. elvärmepanel I .....  
 Reglersystem .. bimetall innervägg .....  
 Tillskottsvärme, W .....  
 Ventilation, oms/h .....  
 Golvisolering, mm ..50....  
 Möblering .....  
 Driftfall ..dyn.II

## Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u), W/^\circ C$  15,4 .....  
 $P/(\vartheta_i - \vartheta_u), W/^\circ C$  15,2 .....

## Medeltemperaturer

$\vartheta_{op}, ^\circ C$  ..18,9..  
 $\vartheta_i, ^\circ C$  ..19,3..  
 $\vartheta_u, ^\circ C$  ..-12,8..



## Mätfall 20

Uppvärmningssystem . elvärmepanel I.....  
 Reglersystem . elektroniskt m rumsgivare innervägg.....  
 Tillskottsvärme, W .....  
 Ventilation, oms/h .....  
 Golvisolering, mm ... 50...  
 Möblering .....  
 Driftfall . dyn I...

## Specifik medeleffekt

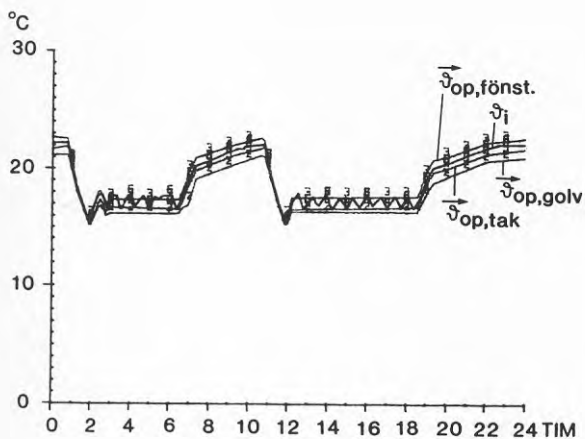
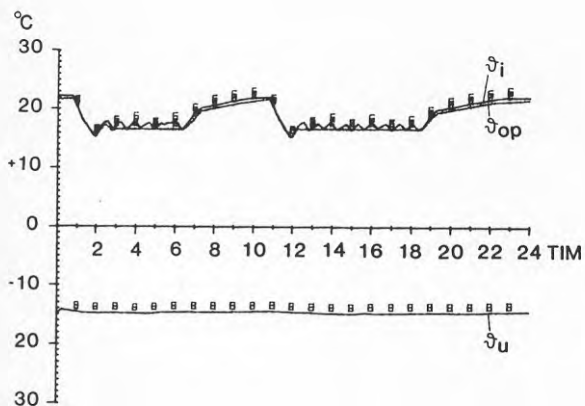
$$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u), W/^\circ C . 15,0...$$

$$P/(\vartheta_i - \vartheta_u), W/^\circ C . 14,8...$$

## Medeltemperaturer

$$\vartheta_{op}, ^\circ C . 18,5...$$

$$\vartheta_i, ^\circ C . 19,0...$$

$$\vartheta_u, ^\circ C . -14,6...$$


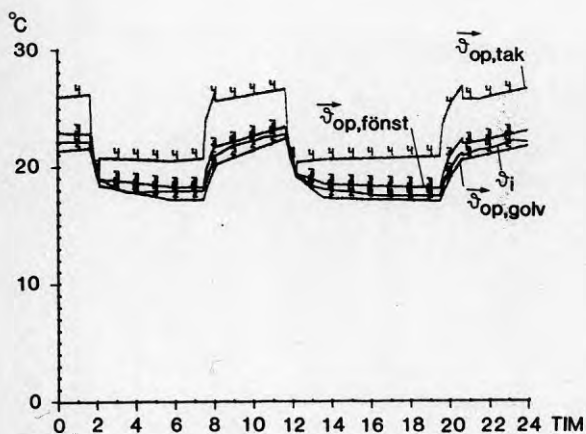
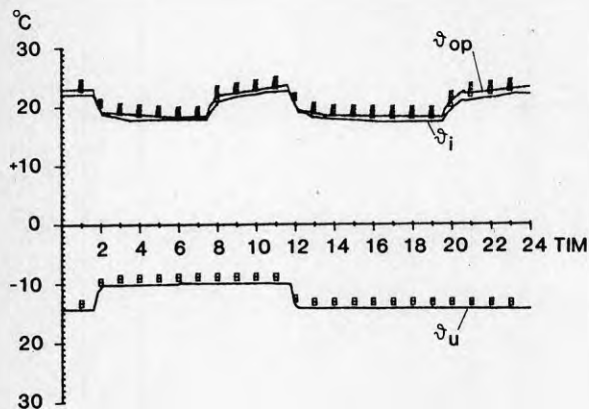


## Mätfall 25

Uppvärmningssystem ..takvärme I.....  
 Reglersystem ..bimetall innervägg.....  
 Tillskottsvärme, W .....  
 Ventilation, oms/h .....  
 Golvisolering, mm ..... 50  
 Möblering ..... ja, alt 1  
 Driftfall ..... .dyn .II.

Specifik medeleffekt
 $P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u), W/^\circ C .15,0...$ 
 $P/(\vartheta_i - \vartheta_u), W/^\circ C .15,4...$ 
Medeltemperaturer

$\vartheta_{op}, ^\circ C$  ..... ..20,4..  
 $\vartheta_i, ^\circ C$  ..... ..19,5..  
 $\vartheta_u, ^\circ C$  ..... ..-12,6..



Mätfall 27

Uppvärmningssystem . . . elvärmepanel I . . . . .

Reglersystem . . . . . bimetall innervägg . . . . .

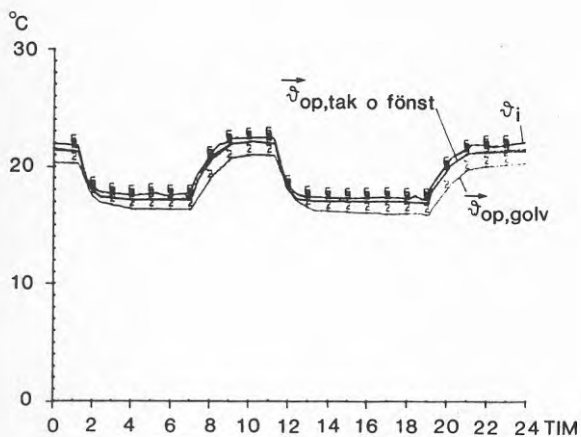
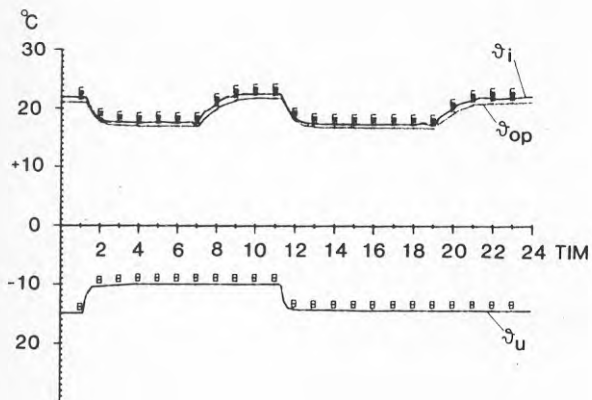
Tillskottsvärme, W . . . . .

Ventilation, oms/h . . . . .

Golvisolering, mm . . . . . 50

Möblering . . . . . ja . . . . .

Driftfall . . . . . dyn II

Specifik medeleffekt $P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u), W/^\circ C$  .15,2... $P/(\vartheta_i - \vartheta_u), W/^\circ C$  .14,9...Medeltemperaturer $\vartheta_{op}, ^\circ C$  . . . . . 18,7 $\vartheta_i, ^\circ C$  . . . . . 19,3 $\vartheta_u, ^\circ C$  . . . . . -12,7

## Mätfall 35

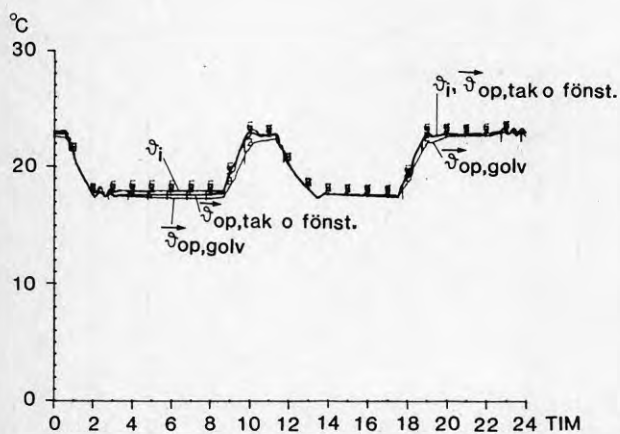
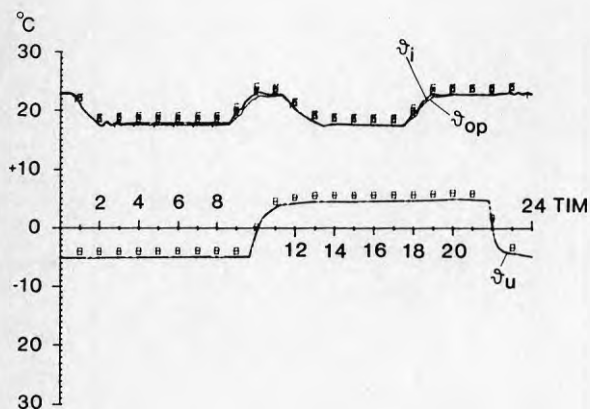
Uppvärmningssystem . . . elvärmepanel II  
 Reglersystem . . . elektroniskt m rumsgivare yttervägg  
 Tillskottsvärme, W . . . 160..  
 Ventilation, oms/h . . . 5..  
 Golvisolering, mm . . . 100..  
 Möblering . . . ja...  
 Driftfall . . . dyn.IV..

## Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u), W/^\circ C$  .12,9....  
 $P/(\vartheta_i - \vartheta_u), W/^\circ C$  .12,7....

## Medeltemperaturer

$\vartheta_{op}, ^\circ C$  . . . 19,6..  
 $\vartheta_i, ^\circ C$  . . . 19,9..  
 $\vartheta_u, ^\circ C$  . . . -0,2..



## Mätfall 36

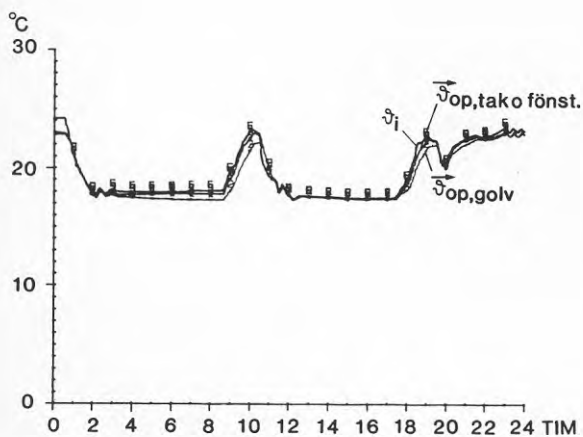
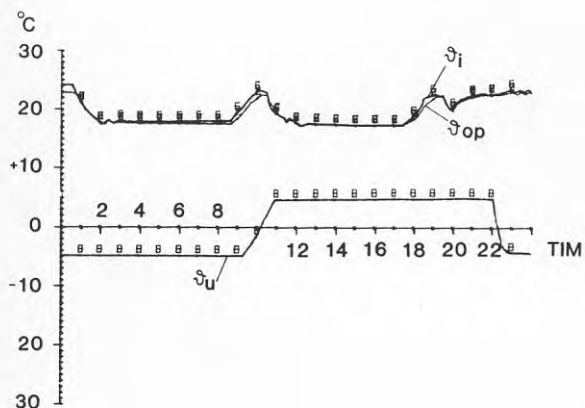
Uppvärmningssystem . elvärmepanel II .....  
 Reglersystem . elektroniskt m rumsgivare yttervägg .....  
 Tillskottsvärme, W . 160 .....  
 Ventilation, oms/h . 1,0 .....  
 Golvisolering, mm . 100 .....  
 Möblering . ja .....  
 Driftfall . dyn.IV.

Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u), W/^\circ C$  . 14,1 .....  
 $P/(\vartheta_i - \vartheta_u), W/^\circ C$  . 13,9 .....

Medeltemperaturer

$\vartheta_{op}, ^\circ C$  . 19,3 ...  
 $\vartheta_i, ^\circ C$  . 19,6 ...  
 $\vartheta_u, ^\circ C$  . 0,0 ...



Mätfall 39

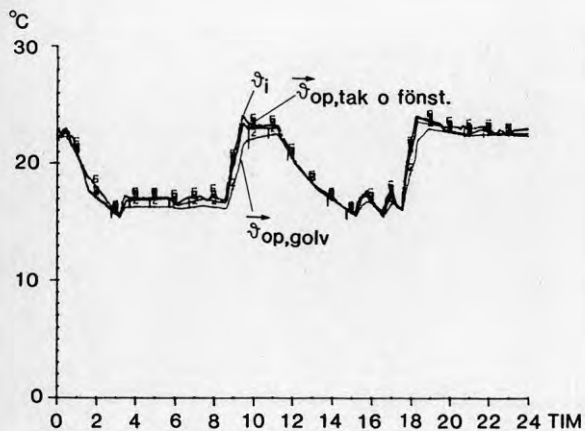
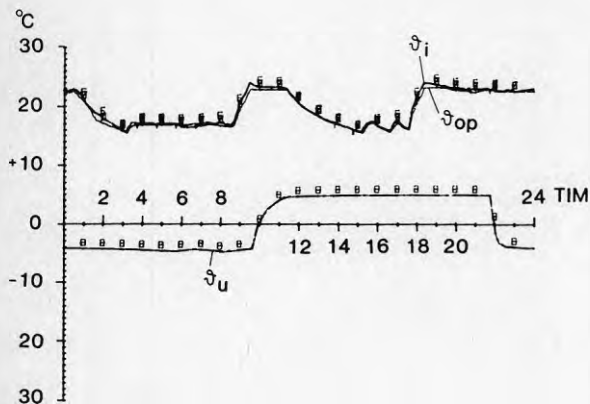
Uppvärmningssystem ..... elvärmepanel II  
 Reglersystem ..... bimetall sammanbyggd  
 Tillskottsvärme, W ..... 160  
 Ventilation, oms/h ..... -  
 Golvisolering, mm ..... 100  
 Möblering ..... ja.....  
 Driftfall ..... dyn.IV.

Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u), W/^\circ C$  ..... 13,1  
 $P/(\vartheta_i - \vartheta_u), W/^\circ C$  ..... 12,8

Medeltemperaturer

$\vartheta_{op}, ^\circ C$  ..... 19,3...  
 $\vartheta_i, ^\circ C$  ..... 19,8...  
 $\vartheta_u, ^\circ C$  ..... 0,2...



## Mätfall 40

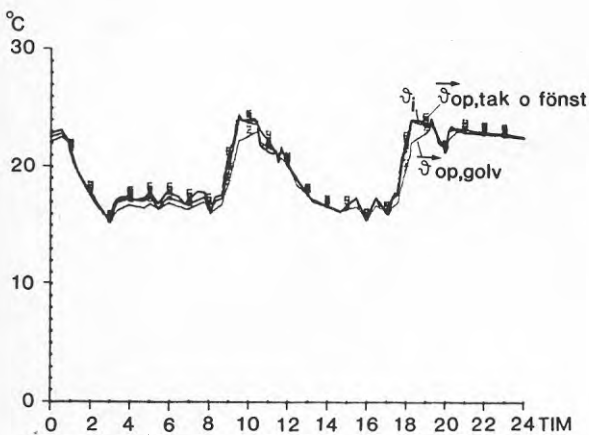
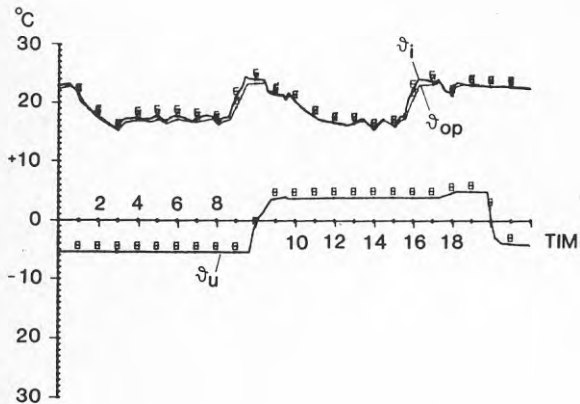
Uppvärmningssystem ..... elvärmepanel II  
 Reglersystem ..... bimetall sammanbyggd  
 Tillskottsvärme, W ... 160..  
 Ventilation, oms/h ... 1,0..  
 Golvisolering, mm ... 100..  
 Möblering ... ja..  
 Driftfall dyn. IV..

## Specifik medeleffekt

$P/(\vartheta_{op} - \vartheta_u), W/^\circ C$  ..... 14,8  
 $P/(\vartheta_i - \vartheta_u), W/^\circ C$  ..... 14,5...

## Medeltemperaturer

$\vartheta_{op}, ^\circ C$  ..... 19,3..  
 $\vartheta_i, ^\circ C$  ..... 19,7..  
 $\vartheta_u, ^\circ C$  ..... -0,6..













**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
780944-6 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Statens provningsanstalt, Borås.**

**R12: 1984**

**ISBN 91-540-4074-4**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 670412**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

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

**Cirka pris: 40 kr exkl moms**