

ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM

SOLVARMEANLÆG MED STORT UDBYTTE -
SYSTEMANALYSE

AF
STEN MELSON
OG
OLE BALSLEV-OLESEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE
MEDDELELSE NR. 153

ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM
RAPPORT NR. 26
APRIL 1984

Konklusion

Denne rapport indeholder en vurdering af ydelsen for store solvarmeanlæg med lille dækningsgrad hovedsagelig til brugsvandsopvarming. Materialet kan benyttes af potentielle brugere og projekterende og kan desuden indgå i en vurdering af mulighederne på landsplan.

Der er gennem simuleringer påvist årlige ydelser på 600 kWh/kvm med en dækningsgrad på ca. 30%. Ud fra et referenceanlæg er der foretaget parametervariationer og indvirkningen på ydelsen er bestemt. Specielt er anlæggets ydelse fundet med forskellige forbrugsstørrelser og -mønstre. Forbrugsmønstrene er dels målt og dels konstrueret ud fra antagelser om hvad der kan forventes ved forskellige forbrugskategorier.

Med udgangspunkt i simuleringsresultaterne er der udarbejdet en simpel beregningsmetode til bestemmelse af et anlægs ydelse. Metoden kræver ikke et avanceret beregningsudstyr eller andre specielle forudsætninger, men benytter alene simple kurve aflæsninger.

Metoden er tænkt til brug i forbindelse med dimensionering og projektering af store solvarmeanlæg, som på en hurtig og relativ nøjagtig måde bestemmer ydelsen. Metoden tager hensyn til anlægsstørrelser, forskellige anlægsparametre og forbrugsstørrelser og -mønstre.

Summary

This report contains an estimation of the performance of big solar heating systems with a small percentage solar mainly for domestic hot water. The material can be used by potential users and planners, and also it can form part of an estimation of the possibilities on a national-wide level.

Through simulations yearly performances of 600 kWh/sqm have been demonstrated with a percentage solar of about 30. From a reference system parameter variations have been made; and the effect on the performance has been determined. Particularly the performance of the system within different consumption quantities and consumption patterns has been found. The patterns are partly measured and partly constructed on the assumption of what can be expected at different consumption categories.

Based on the simulation results a simple calculation method has been worked out for determination of the performance of a system. The method does not require an advanced calculation equipment or other particular conditions, but only utilizes simple curve readings.

The method is intended for use in connection with dimensioning and design of big solar heating systems, determining the performance in a fast and relatively accurate way. The method provides for system sizes, different system parameters and consumption quantities and patterns.

Indholdsfortegnelse

Side

Konklusion

I

Summary

II

1 Indledning

1

2 Baggrund

2

3 Referencesystemet

4

4 Forbrugsdata

11

5 Parametervariationer

19

6 Dimensioneringsgrundlag

27

Bilag 1 Energiministeriets solvarmeprogram

Bilag 2 Oversigt over udsendte rapporter

1. Indledning

Denne rapport afslutter projektet "Solvarme med Stort Udbytte - Systemanalyse". Projektet indgår i Energiministeriets Forskningsprogram (EFP82). Arbejdet er udført på Laboratoriet for Varmeisolering.

Projektets formål er at udarbejde et materiale, som kan benyttes til dimensionering af hårdt belastede solvarmeanlæg, altså anlæg, der kun dækker en mindre del af det samlede varmebehov.

Sideløbende med dette projekt udfører Teknologisk Institut et projekt med titlen "Solvarmeanlæg med Stort Udbytte - Demonstrationsanlæg/Udredning. Udredningsdelen af dette projekt vil blandt andet resultere i forbrugsdata for en række brugerkategorier. Disse forbrugsdata skulle have dannet grundlag for de forbrugsvariationer, der indgår som en del af systemanalyserne i nærværende projekt. Det har imidlertid ikke været muligt at koordinere tidsplanerne for de to projekter. Derfor er de forbrugsvariationer, der er benyttet i systemanalysen, teoretisk begrundede bortset fra målte tappedata fra plejehjemmet Møllehøj i Karlslunde og Materialegården i Rødovre. Forskellen mellem teoretiske og faktiske forbrugsprofiler er diskuteret i kapitel 4.

Projektet er udført i samarbejde med Teknologisk Institut, specielt for så vidt angår valg af systemløsninger og -komponenter til brug i beregningerne. Således ligger det benyttede referencesystem - se kapitel 3 - meget tæt op ad det demonstrationsanlæg, Teknologisk Institut har opført på plejehjemmet i Karlslunde.

2. Baggrund

Arbejdet med solvarmeanlæg har i perioden 1980 - 1982 især givet positive resultater for små brugsvandsanlægs vedkommende. Disse anlæg har en årsydelse på 350-400 kWh/kvm ved dækningsgrader på over 60%. De er dimensioneret med baggrund i en økonomisk optimering. Mindre anlæg har ganske vist højere ydelse pr. kvm solfanger (ved lavere dækningsgrader), men anlægsprisen reduceres ikke tilsvarende.

Kombinationen af lave dækningsgrader og rimelig anlægspris kan opnås ved at opføre anlæg, der målt i kvm solfanger er "store", men som arbejder ved lave dækningsgrader.

I et stort anlæg udgør montagen forholdsmæssigt en mindre del af de samlede udgifter end i et lille anlæg. Der vil muligvis også kunne opnås rabat på visse komponenter.

Små dækningsgrader kombineret med store arealer forudsætter et stort varmebehov. Et stort varmebehov kan findes i følgende brugerkategorier:

- plejehjem og hospitaler
- kommunale institutioner
- svømmehaller
- sportshaller
- campingpladser
- fængsler
- kaserner
- vaskerier
- tekstilindustrier
- hoteller og vandrehjem
- levnedsmiddelindustrien
- mejerier
- bryggerier
- mindre industrier

Det er en fordel, hvis forbruget er rimeligt jævnt fordelt over året eller er størst i sommermånederne.

Ved dækningsgrader på under 50% vil det være nødvendigt med supplerende varme hele året. Der bliver derfor ikke noget tomgangstab at spare på det eksisterende varmesystem, med mindre det er indrettet med flere kedler, hvoraf en eller flere kan slukkes i sommermånederne. Anlægsøkonomien vil derfor ofte baseres alene på solvarmeanlæggets egen ydelse.

De beregninger, der hidtil er lavet over solvarmeanlæg, har skaffet megen information om anlæg med store dækningsgrader. Der mangler imidlertid både beregningsmæssig og dimensioneringsmæssig viden om anlæg med små dækningsgrader. Erfaringerne fra anlæg med store dækningsgrader bør ikke ukritisk overføres til hårdt belastede anlæg. Dette projekt skulle afhjælpe nogle af disse mangler.

Beregningerne tager udgangspunkt i et såkaldt referencesystem, der omfatter solvarmeanlægget med tilhørende komponenter, forbrugsstørrelse og -mønster samt solfangerens orientering og hældning. Ud fra referencesystemet er der lavet en række parametervariationer, hvor alle parametre på nær en fastholdes. Referencesystemet er beskrevet i kapitel 3 og parametervariationerne i kapitel 5.

Beregningerne er udført med beregningsprogrammet EMGP-2 fra European Modelling Group under EF-samarbejdet omkring solvarme. Modellen er grundigt valideret gennem en lang række kørsler på mange anlægsstørrelser og -typer i flere europæiske lande.

Generelt benyttes vejrdata fra det danske referenceår.(TRY). Der er dog også lavet en serie parametervariationer, hvor referencesystemet er regnet igennem med vejrdata fra andre europæiske lande.

Det ligger uden for dette projekts rammer at udføre økonomiske beregninger. Projektet danner imidlertid et værdifuldt grundlag for økonomisk optimering. I præsentationen af resultaterne er der lagt vægt på at fremstille dem så overskueligt som muligt for at lette arbejdet for projekterende teknikere.

En del af resultaterne er angivet med flere cifre, end hvad der ligger inden for nøjagtigheden. Dette er gjort alene for at anskueliggøre variationernes indvirkning på resultaterne, som i mange tilfælde er små.

3. Referencesystemet

Kapitel 5 indeholder en række parametervariationer, hvor en enkelt parameter er varieret inden for en serie af beregninger, mens alle øvrige parametre er fastholdt. Parametervariationerne refererer således alle til et bestemt system, referencesystemet.

Referencesystemet består af:

- anlægsdesign
- anlægskomponenter
- forbrugsdata

Anlægsdesign fremgår af fig. 3.1. Anlægget består af en solfangerkreds, en udvendig varmeveksler og en forvarmebeholder. I forvarmebeholderen forvarmes det kolde brugsvand før det ledes over i en egentlig varmtvandsbeholder. Anlæggets komponenter består dels af variable komponenter (parametre) dels af faste komponenter, som skønnes at være af mindre betydning for anlæggenes årsydelse og derfor er fastholdt i alle parametervariationerne. De variable komponenters referenceværdier fremgår af tabel 3.1, mens de faste komponenters værdier fremgår af tabel 3.2.

Referenceværdierne for vejrdata er det danske referenceår, et "typisk" år, som er sammensat af vejrdata fra 15 år. Beregningsmodellen anvender timeværdier for følgende variable:

- direkte solindfald
- diffust solindfald
- udetemperatur
- vindhastighed.

Referenceforbruget er 10.000 l vand/døgn svarende til 3.650.000 l/år. Koldtvandstemperaturen er sat til 12 gr. C og den ønskede varmtvands-temperatur, som indgår i beregningen af varmebehovet og dermed systemets dækningsgrad, er sat til 50 gr. C. Disse to parametre er faste for alle beregningerne. Referenceforbruget er jævnt fordelt over året, ugen og timerne fra kl. 7 til kl. 24.

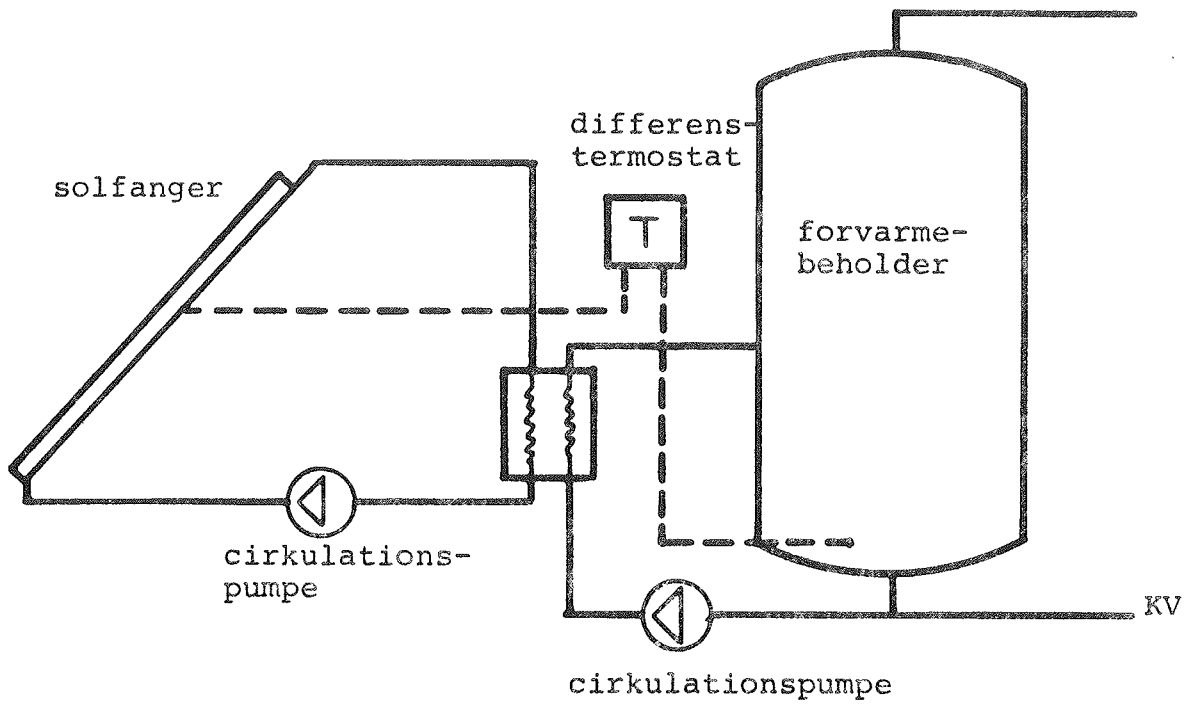


Fig. 3.1 Principdiagram af referenceanlægget.

Komponent	Værdi	Enhed
Solfanger	50	m ²
- maximaleffektivitet	0,78	
- varmetabskoefficient	4,4	W/°C/m ²
- varmetabskoefficient	0,011	W/°C ² /m ²
- hældning	45	°
- orientering	0	° (syd)
Varmevekslereffektivitet	0,6	
Lager		
- volumen	2,5	m ³
- isoleringstykkelse	50	mm
Tappeprofil		
- volumen	10000	l/dag
- jævnt over kl 7-24		
- jævnt over ugen		
- jævnt over året		

Tabel 3.1 Variable parameters (komponenters) referenceværdier.

Komponent	Værdi	Enhed
Solfangerkreds		
- Rør		
Længde/m ² solfanger	2	m/m ²
Dimension	1	tomme
Varmetabskoefficient	0,32	W/°C/m
- Flow	3	m ³ /time
- Cirkulationspumpe	230	W
Solfangervæske		
- Massefylde	1065	kg/m ³
- Varmekapacitet	3,6	kJ/kg/°C
Varmevekslerkreds		
- Rør		
Længde	10	m
Dimension	1	tomme
Varmetabskoefficient	0,32	W/°C/m
- Cirkulationspumpe	180	W
Lager		
- Højde/diameter	1,5	-
- Varmeledningsevne for isolering	0,04	W/°C/m
Koldt vandstemperatur	12	°C
Ønsket varmt vandstemperatur	50	°C

Tabel 3.2 Faste komponenters værdier.

Model af referenceanlægget

På fig. 3.2 er et principdiagram af den anvendte model af referenceanlægget gengivet med angivelse af delkomponenter.

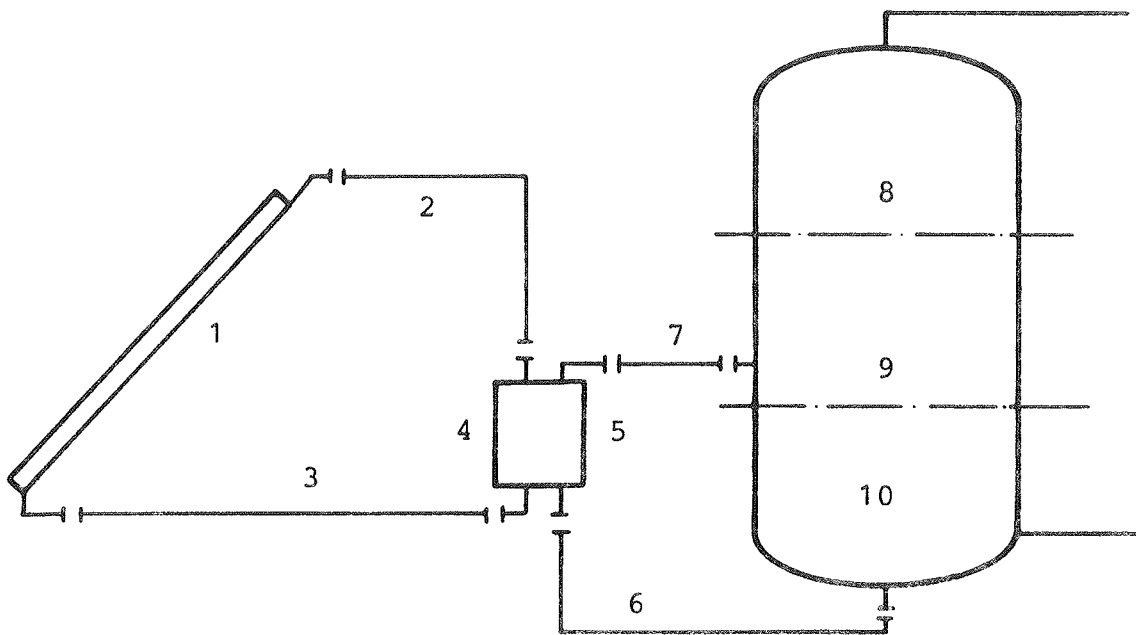
Solfangeren er simuleret som en komponent, hvor ydelsen bestemmes af solfangerkonstanterne fra effektivitetsprøvningen. Der er taget hensyn til solfangerens varmekapacitet i forbindelse med styringen af solfangerkredsen.

Lageret er opdelt i tre komponenter med mulighed for forskellige temperaturer, som svarer til en temperaturlagdeling i lageret. Indledende simuleringer har vist, at netop tre lag er tilstrækkelig detaljeret til at gengive stratificeringen.

Varmetabet fra rørene sker til en omgivelsestemperatur på 20 gr.Celcius.

Referenceanlæggets ydelse er angivet på fig. 3.4, måned for måned. Det samlede forbrug er ligeledes angivet, og det ses, at anlægget har en lav årlig dækningsgrad, ca. 20%. Selv i sommermånederne opnås ikke fuld dækning, så sparet tomgangstab er kun aktuelt, hvor der er flere kedler. Besparelsen ved sparet tomgangstab må derfor vurderes i hvert enkelt tilfælde. Den lave dækningsgrad bevirker, at temperaturen i lageret er relativ lav, maksimalt 30-35 gr.C. Det vil derfor ikke være muligt at dække et tab fra en cirkulationsledning, selv om der her kan forekomme betydelige tab, op til 50% af forbruget.

Anlæggets samlede ydelse er ca. 650 kWh/kvm/år og dermed en ydelse, som er væsentligt højere, end der er opnået med mindre brugsvandsanlæg til enfamiliehuse.



- 1. Solfanger
- 2 rør fra solfanger
- 3 rør til solfanger
- 4 varme side af varmeveksler
- 5 kolde side af varmeveksler
- 6 rør til varmeveksler
- 7 rør fra varmeveksler
- 8 } lagerkomponent
- 9 }
- 10 }

Fig. 3.2 Principdiagram af modellen med angivelse af delkomponenter.

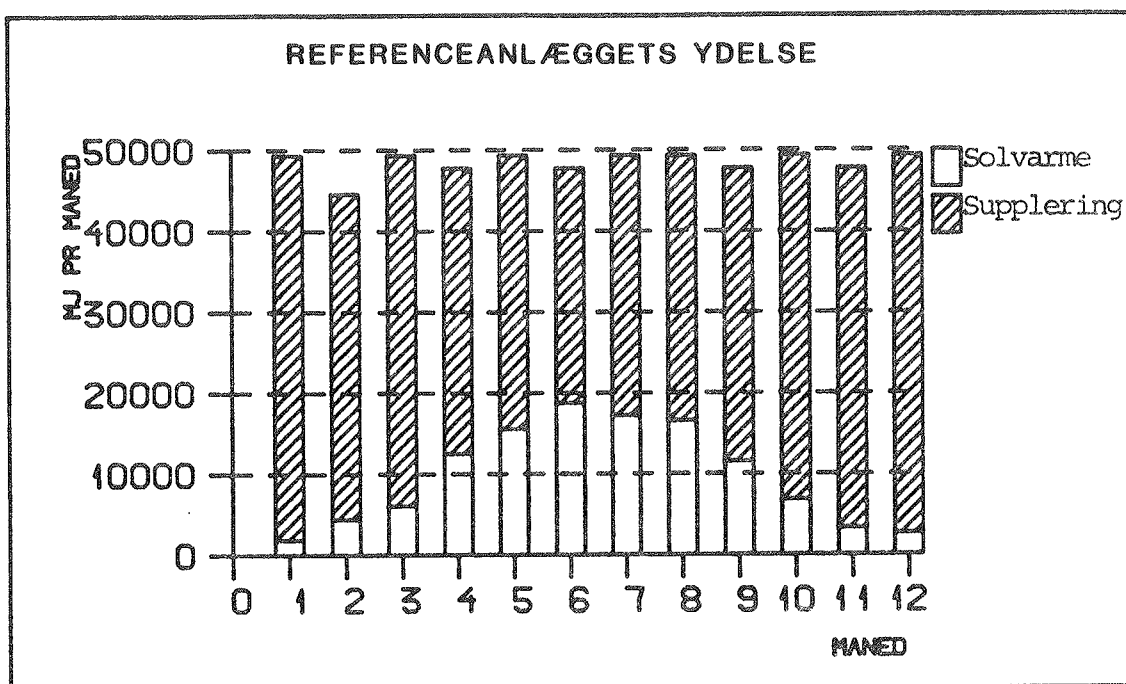


Fig. 3.4 Referenceanlæggets ydelse angivet måned for måned, samt energiforbruget svarende til en opvarmning fra 12-50 grader.

4. Forbrugsdata

Dette afsnit omhandler forskellige behovprofilers indflydelse på et solvarmeanlægs ydelse. I en projekteringssituation vil forbruget ofte ikke være tilgængeligt, så der må derfor antages et teoretisk. Forskellen ved at anvende et teoretisk frem for et målt profil er her vurderet. En lang række forskellige behovprofiler er simuleret og resultatet er angivet i tabel.

Målte forbrug:

Forbruget af varmt vand er målt på Rødovre kommunes materialegård og på et plejehjem i Karlslunde. Behovprofilerne er gennem målinger over et år optegnet, så dels den årlige variation og dels timevariationen er fastlagt.

På plejehjemmet er der konstateret et jævnt forbrug over året, med en mindre variation af det daglige forbrug gennem ugen. For uge 44, 1983 varierer forbruget fra 6600 l/dag til ca. 10000 l/dag med et gennemsnit på ca. 8100 l/dag. Derimod er der konstateret et tydeligt forbrugsmønster gennem dagen, som er gengivet på fig. 4.1. Det fremgår, at forbruget er størst om formiddagen og først på eftermiddagen.

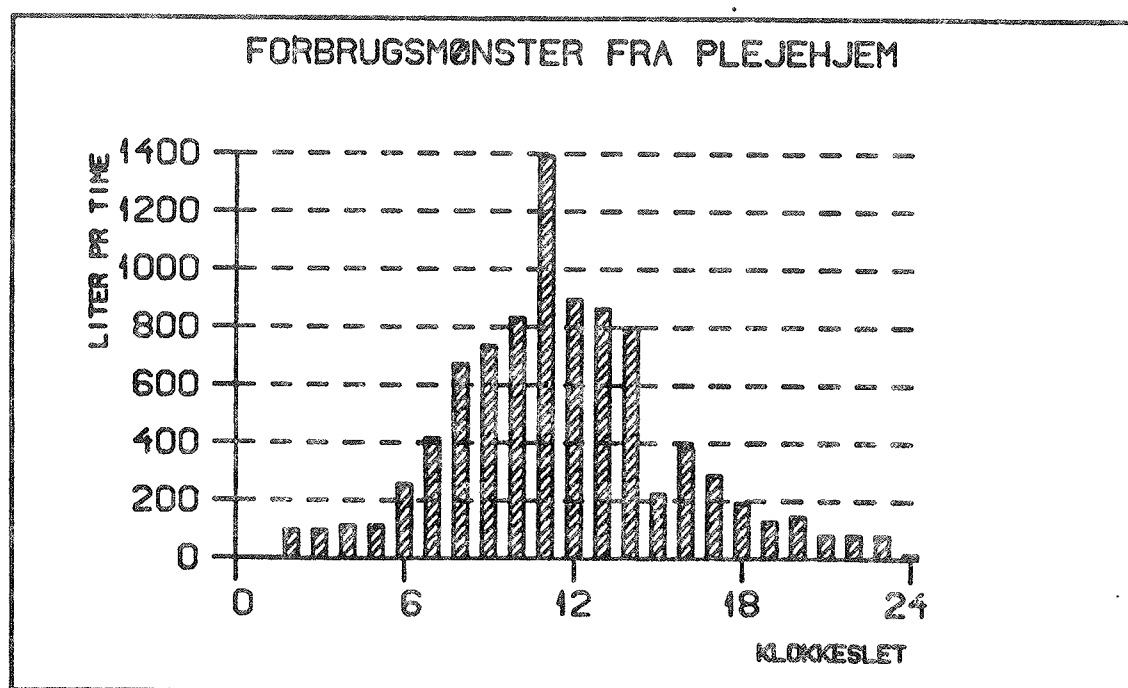


Fig. 4.1 Forbrugsmønster fra Karlslunde plejehjem

Forbrugsmønsteret er først og fremmest bestemt af aktiviteterne i plejehjemmets køkken, som netop lukker ca. kl. 14, svarende til det mindre forbrug som kan findes på fig. 4.1. Yderligere leverer køkkenet varm mad til beboere uden for plejehjemmet, som bevirker et ekstra forbrug af varmt vand.

I materialegården er der konstateret en variation i forbruget over året. Tilsyneladende er variationen bestemt af ferier, da månederne med et mindre forbrug er typiske feriemåneder. På fig. 4.2 er den årlige variation angivet i et søjlediagram. Der er ingen aktiviteter lørdag og søndag i materialegården og dermed ikke noget forbrug. Yderligere er der konstateret et behovprofil time for time, som har en speciel stor tapning mellem kl. 15 og 16. Time for time profilet er angivet på fig. 4.3 som procent af det daglige forbrug.

Teoretiske profiler

I en projekteringssituation vil forbruget og forbrugsmønsteret ofte ikke være tilgængeligt, og der må derfor antages et teoretisk, svarende til hvad der kan forventes. Forskellen mellem at anvende et målt og et teoretisk profil er her vurderet ved en sammenligning af simuleringsresultater, hvor der er anvendt henholdsvis et målt og et teoretisk forbrugsmønster. Det samlede forbrug af varmt vand er det samme for de to tilfælde, så det er alene forbrugsmønsterets indvirkning på resultatet, som her er undersøgt.

De teoretiske profiler er gengivet i fig. 4.4, hvor profilet er gengivet ved "kasser". Ved hver "kasse" er der angivet en procent svarende til andelen af det daglige forbrug.

Der er opnået en ganske god overensstemmelse, og afvigelsen er gengivet på fig. 4.5. Afvigelsen er beskeden, så det må være rimeligt at antage et kasseprofil frem for et målt forbrugsmønster i en given projekteringssituation.

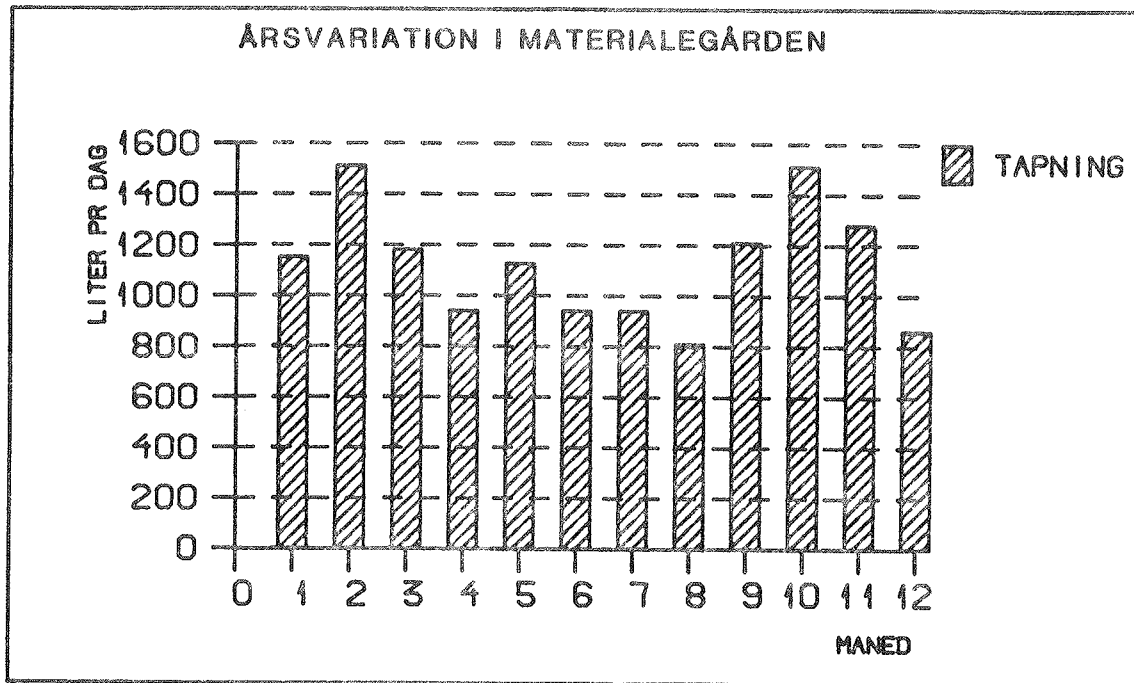


Fig. 4.2 Årsvariationen af forbruget af varmt brugs-
vand målt i materialegården i Rødovre.

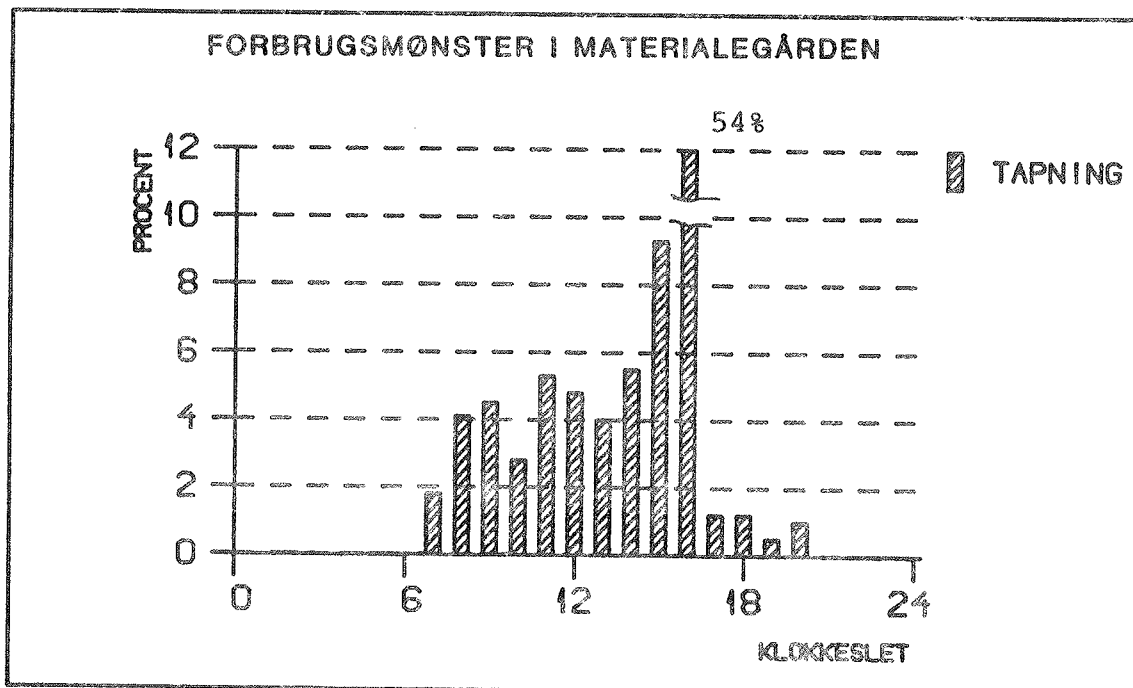


Fig. 4.3 Daglige forbrugsmønstre, målt i materiale-
gården i Rødovre.

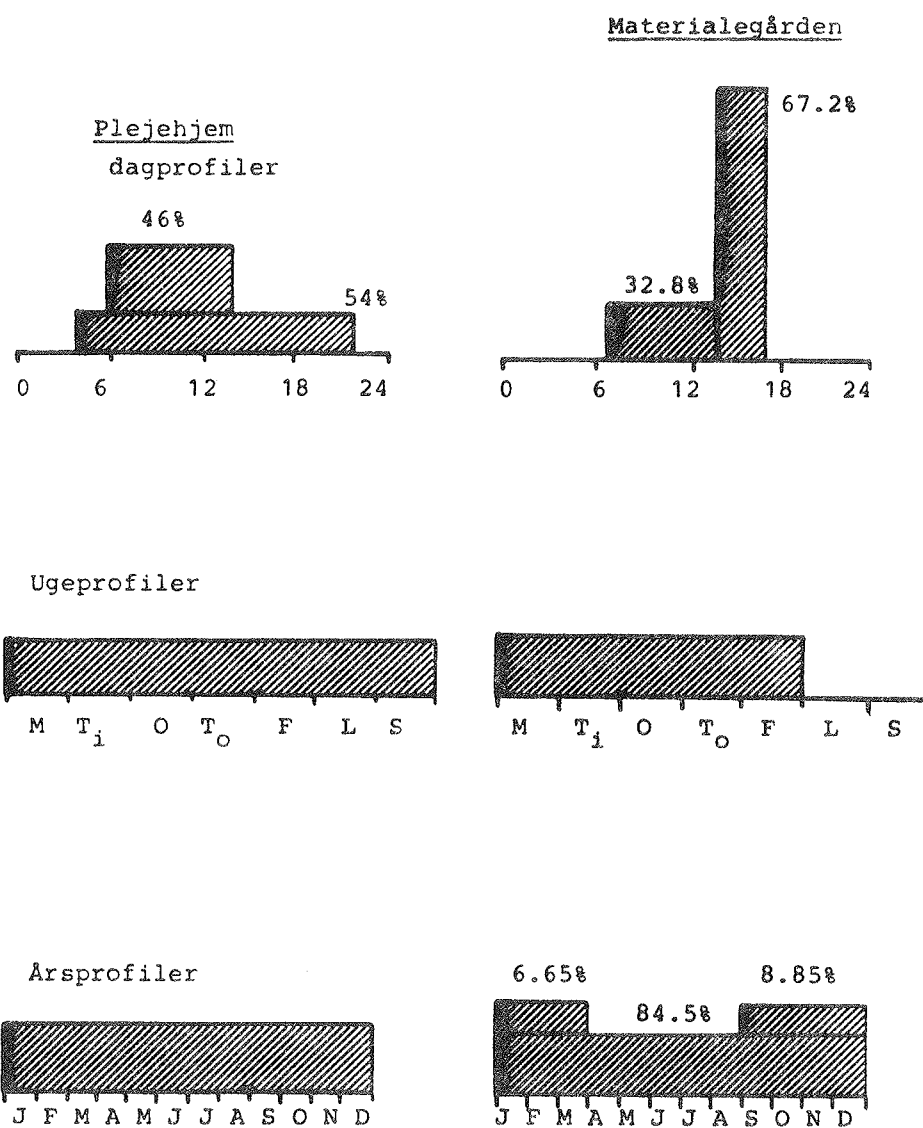


Fig. 4.4 Teoretiske forbrugsmønstre svarende til målte forbrug fra et plejehjem og en materialelegård

Forbrugsmønster	Årsydelse (GJ)	Månedss- afvigelse
Plejehjem (målt)	104,9	
Plejehjem (kasseprofil)	105,3	5%
Materialegård (målt)	95,5	
Materialegård (kasseprofil)	95,2	1%

Fig. 4.5 Afvigelse i anlæggets ydelse mellem et målt og et teoretisk forbrugsmønster.

Der er foretaget en lang række simuleringer med forskellige forbrugsmønstre. Ydelsen er sammenlignet med referenceanlæggets ydelse og en korrektionsfaktor er fundet for hvert forbrugsmønster. Det samlede forbrug har i alle tilfælde været det samme, så det er alene forbrugsmønsterets indvirkning på ydelsen, som her er undersøgt. Ydelsen er fundet for anlæg med en dækningsgrad på ca. 20%, og dersom et aktuelt anlægs ydelse afviger væsentligt skal korrektionen tages med et vist forbehold.

Daglige forbrugsmønstre og korrektionsfaktorer er gengivet på fig. 4.6.

Ugentlige forbrugsmønstre og korrektionsfaktorer er gengivet på fig. 4.7. Det årlige forbrug af varmt vand er det samme i alle tilfælde, så dersom der ikke er noget forbrug om lørdagen og søndagen, vil forbruget de øvrige dage være tilsvarende større.

Årlige forbrugsmønstre og korrektionsfaktorer er gengivet på fig. 4.8.

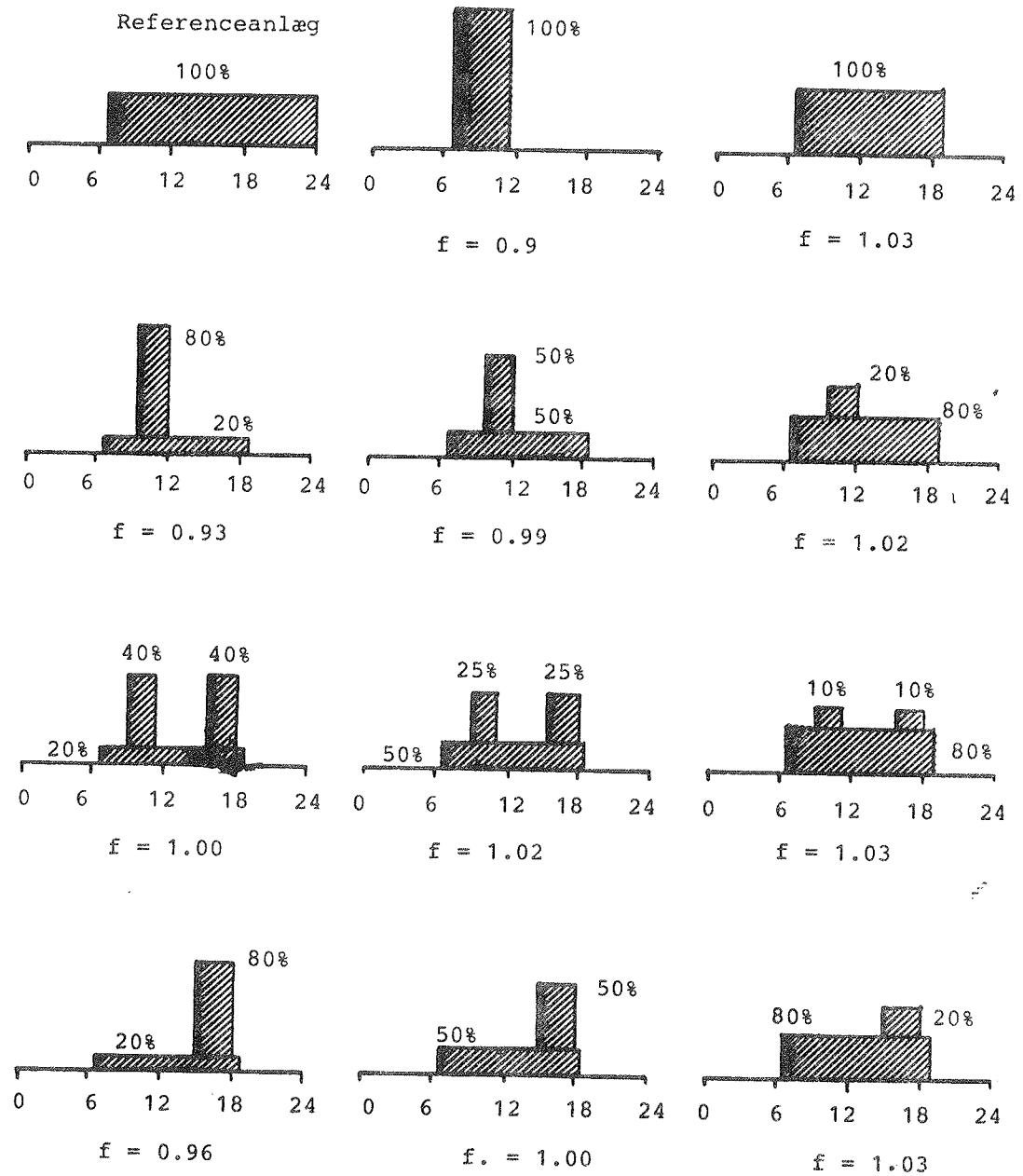


Fig. 4.6

Daglig forbrugsmønster

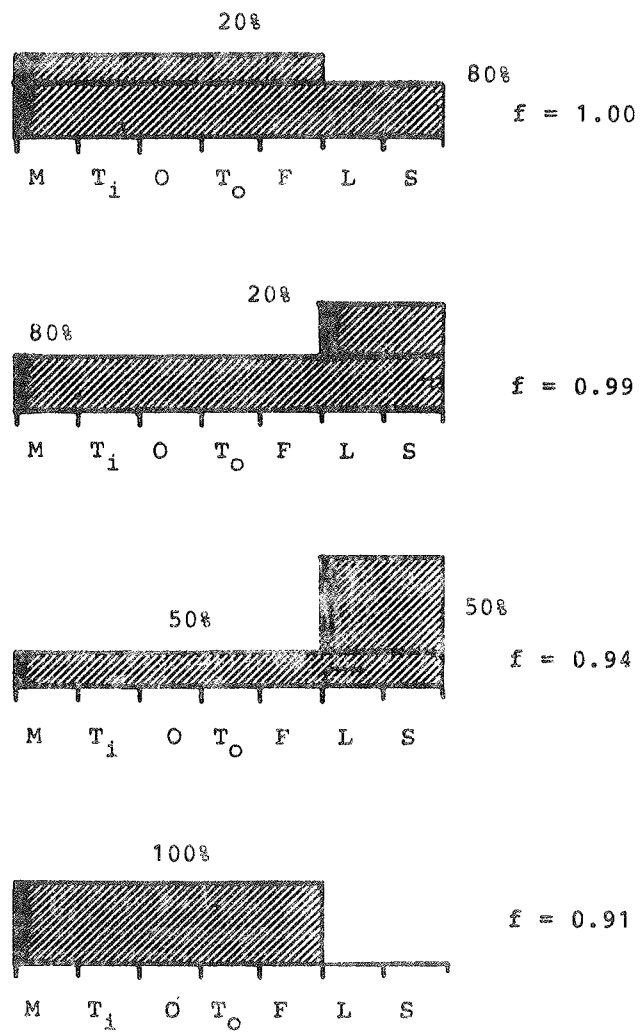


Fig. 4.7

Ugentlige forbrugsmønstre

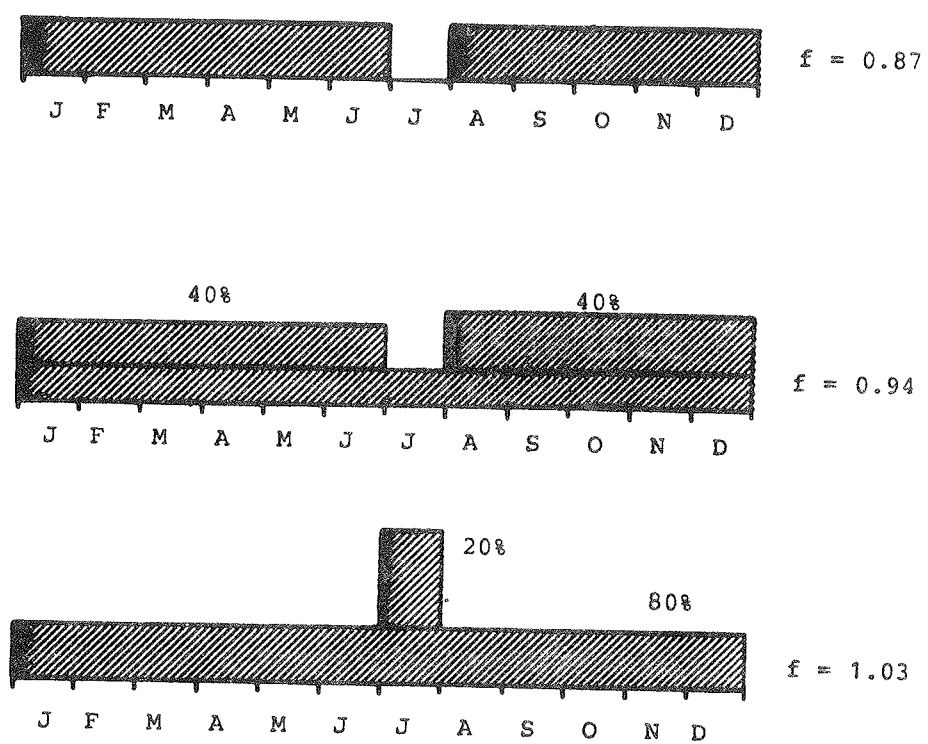


Fig. 4.8 Arlige forbrugsmønstre

5. Parametervariationer

Der er foretaget en række simuleringer med varierende anlægsparametre. Solfangerarealet, forbruget og beholdervolumenet er varieret og dækningsgraden er gengivet i fig. 5.1 som funktion af forholdet mellem arealet og forbruget. Punkterne er spredte, men ved at indføre en tredje parameter, forholdet mellem beholdervolumenet og solfangerarealet, kan en passende sammenhæng findes ved regression. Følgende udtryk er anvendt som regressionsudtryk:

$$D = \frac{a}{A} (1 - \exp(b A X)) \quad (5.1)$$

$$A = 1 + Z/200$$

hvor

D: anlæggets dækningsgrad. Til bestemmelse af dækningsgraden er der forudsat en opvarmning på 38 grader (50-12 gr.).

X: forholdet mellem solfangerarealet og forbruget (m^2/m^3), forbruget er det gennemsnitlige daglige forbrug.

Z: forholdet mellem solfangerarealet og beholdervolumenet (m^2/m^3)

Begrænsning:

solfangerareal > 25 m^2
beholdervolumen > 0.5 m^3
forbrug > 1 m^3 /dag

$X > 3$

$D < 50\%$

$5 < Z < 200$

Regressionen giver følgende konstanter:

$$a = 0.834$$

$$b = \pm 0.0558$$

Ovenstående udtryk er gengivet på fig. 5.2.

Ved at anvende udtrykket eller kurverne på fig. 5.2 til bestemmelse af et anlægs dækningsgrad opnås en relativ nøjagtighed i forhold til simuleringerne på mindre end 5%.

Eksempel 1: bestem et solvarmeanlægs ydelse hvor arealet = 100 kvm, forbruget = 15 m³/dag og beholdertank = 3 m³.

Konstanterne bestemmes

$$X = \frac{\text{arealet}}{\text{forbruget}} = \frac{100}{15} = 6.67$$

$$Z = \frac{\text{arealet}}{\text{volumen}} = \frac{100}{3} = 33.3$$

Indsat i udtrykket fås en dækningsgrad på 25%, som også kan aflæses af fig. 5.2.

Ydelsen bliver nu:

$$\begin{aligned} Q &= 4.2 \cdot 365 \cdot 15 \cdot (50-12) \cdot 0.25 \\ &= 218000 \text{ MJ} = 60680 \text{ kWh/år} \end{aligned}$$

4.2	vands varmekapacitet	[kJ/kg·gr.]
365	antal dage i året	[dag/år]
15	forbrug	[m ³ /dag]
0.25	dækningsgrad	[-]

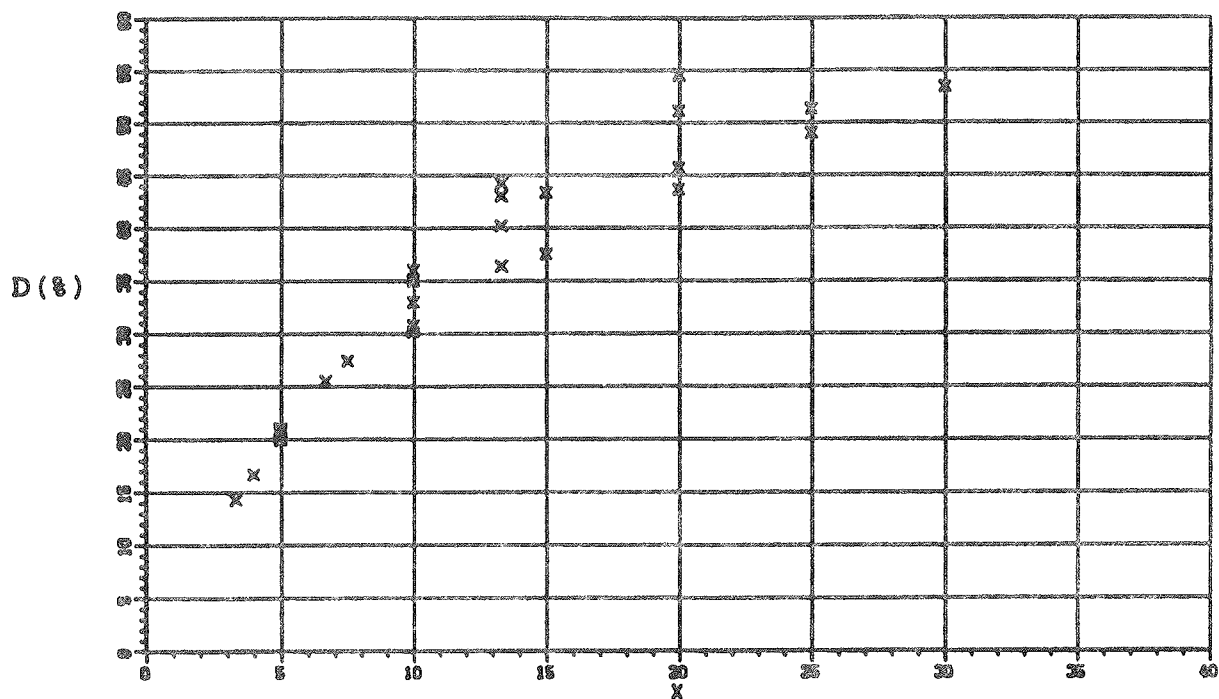


Fig. 5.1 Simuleringsresultater med varierende solfangerareal, forbrug og beholdervolumen.

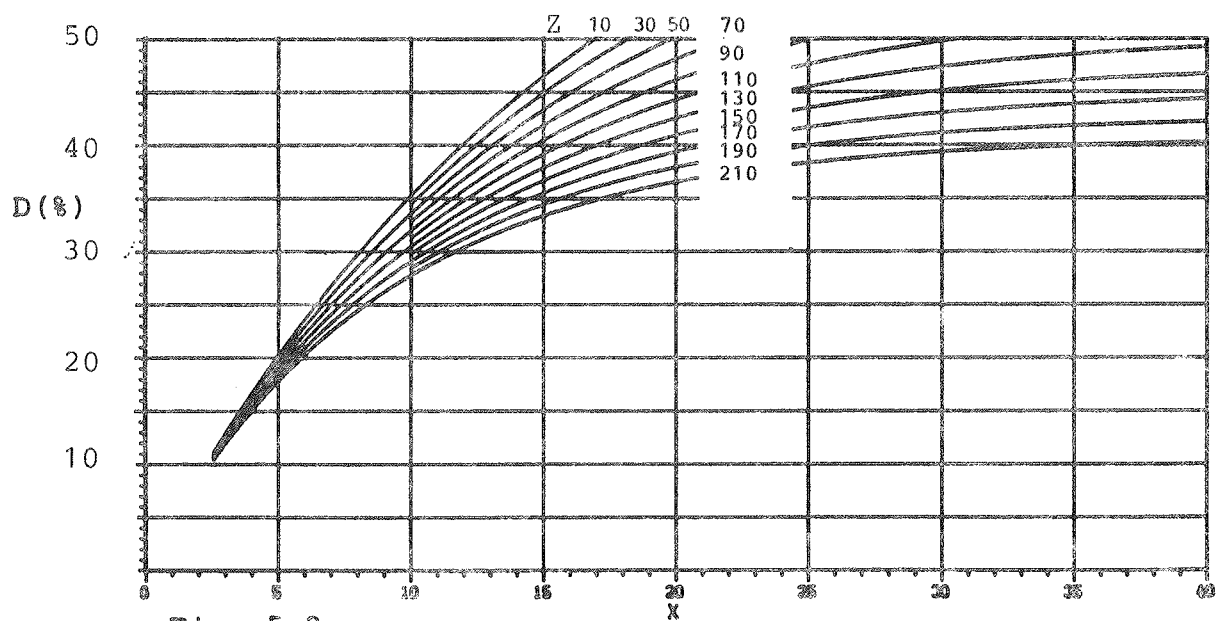


Fig. 5.2

Z : solfangerareal/beholdervolumen (m^2/m^3)
 X : solfangerareal/forbrug pr. dag (m^2/m^3 dag)
 D : dækningsgrad (%)

Solfangerhældning:

Solfangerhældningens indvirkning på anlæggets dækningsgrad er undersøgt og resultater er gengivet på fig. 5.3. Resultatet gælder for referenceanlægget, som har en dækningsgrad på ca. 20%, og dersom det aktuelle anlægs dækningsgrad afviger væsentligt, vil hældningens indvirkning være anderledes, end hvad der fremgår af figuren. Det årlige forbrugsmønster kan også ændre forholdet for hældningens indvirkning på dækningsgraden. Derfor skal resultatet fra fig. 5.3 anvendes med et vist forbehold, hvis det aktuelle anlæg afviger væsentligt fra referenceanlægget på de to nævnte punkter.

Solfangerorientering:

Solfangerorienteringens indvirkning på anlæggets dækningsgrad er undersøgt og resultatet er gengivet på fig. 5.4. Her gælder det samme som for solfangerhældningen, at hvis det aktuelle anlæg afviger væsentligt fra referenceanlægget skal fig. 5.4 anvendes med et vist forbehold.

Varmeveksler:

Varmevekslerens temperatureffektivitet er varieret og resultatet er gengivet på fig. 5.5.

Isoleringen af lagertanken er varieret fra 50 mm til 200 mm. Det gav ikke nogen ændring i ydelsen for referenceanlægget. Det skyldes den relative lave middeltemperatur i lagertanken, som rent faktisk medvirker til et negativt varmetab til omgivelserne. Ved isolering af lagertanken bør det nøje overvejes, om der opnås en besparelse, da isoleringsarbejdet kan være relativt dyrt. Således vil en dækningsgrad mindre end 20% give et negativt varmetab, og isolering af varmebeholderen kan med fordel undlades.

Solfanger

Referenceanlæggets solfanger er en almindelig god solfanger med et dæklag og med en selektiv absorberbelægning. Ved anvendelse af en anden type solfanger kan der korrigeres for maximaleffektiviteten () og for

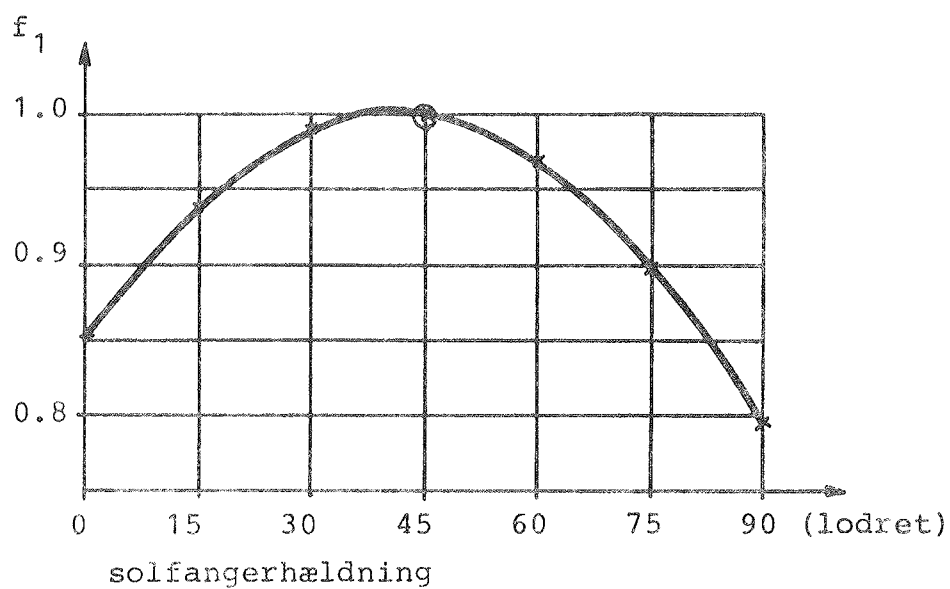


Fig. 5.3 Korrektionsfaktor for solfangerhældning

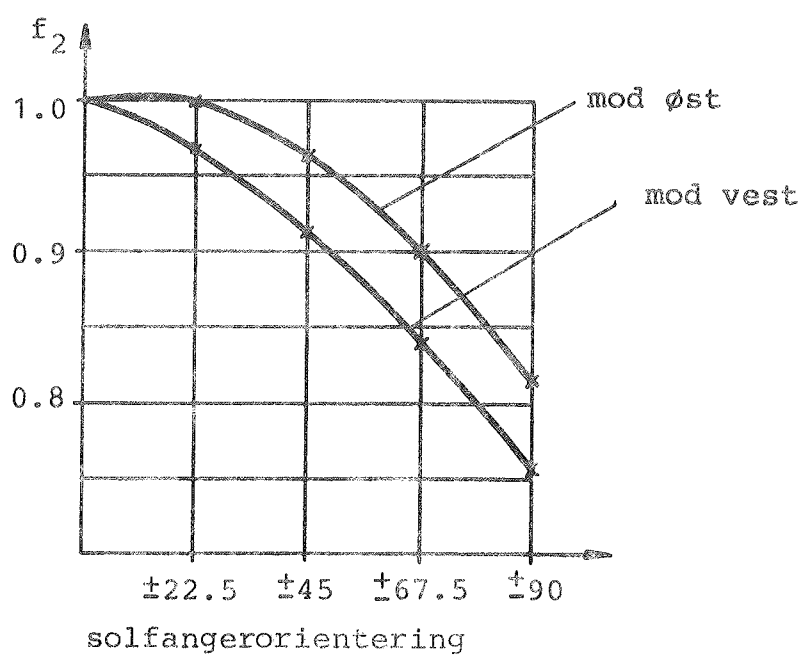


Fig. 5.4 Korrektionsfaktor for solfangerorientering.

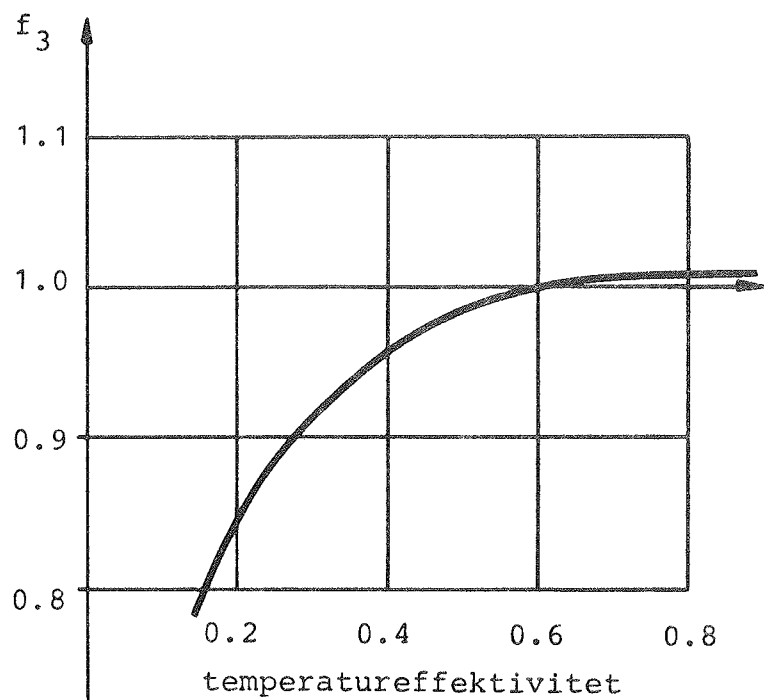


fig. 5.5 Korrektionsfaktor for varmevekslereffektivitet.

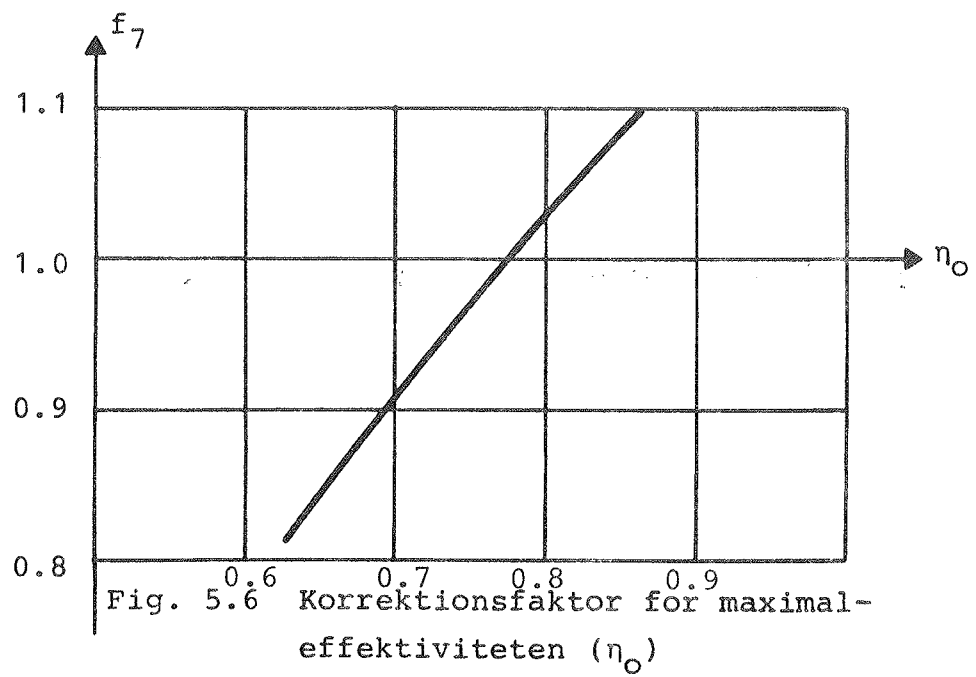


Fig. 5.6 Korrektionsfaktor for maximal-effektiviteten (η_o)

varmetabskoefficienten (k_0). Resultatet er gengivet i fig. 5.6 og 5.7.

Solfangerens ydelse bestemmes af effektivitetskurven optegnet ud fra prøvningsresultater.

Følgende udtryk anvendes:

hvor maximaleffektiviteten og varmetabet k_0 er varieret. For referenceanlægget gælder der:

$$x_0 = 0.78$$

$$k_0 = 4.4$$

Klimadata:

Referenceanlægget er simuleret med en belastning svarende til det danske referenceår, TRY, som repræsenterer et dansk gennemsnitsklima.

Anlæggets dækningsgrad er yderligere undersøgt med forskellige klimadata, repræsenterende forskellige klimaer i Europa. Resultatet er gengivet i fig. 5.8, og det fremgår, at ydelsen næsten er den samme undtagen for Carpentras, hvor der opnås en ydelse på mere end 1000 kWh/kvm/år. Forholdet mellem ydelsen og solindfaldet er for alle klimadata den samme ca. 0.57.

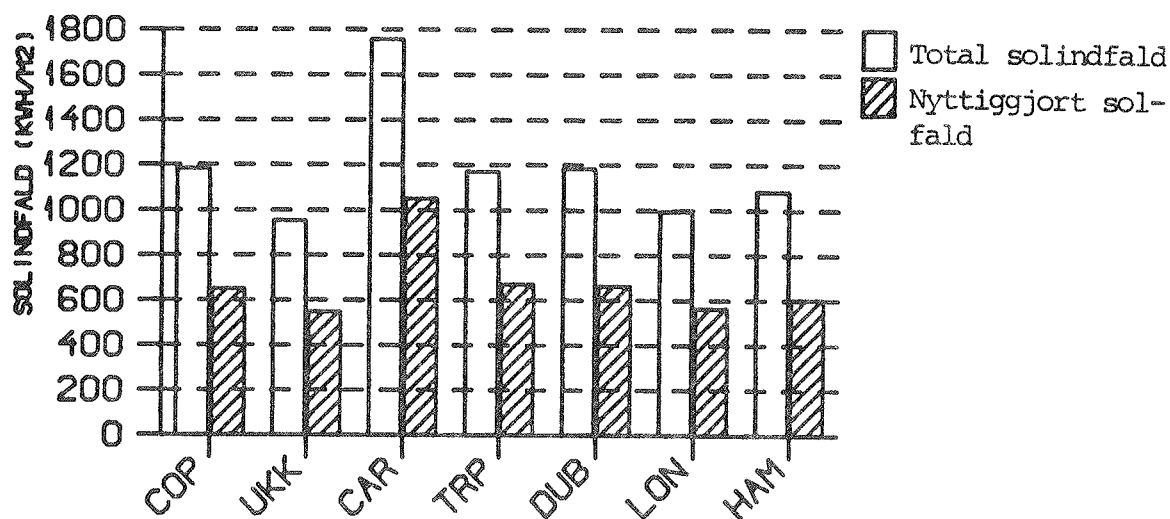
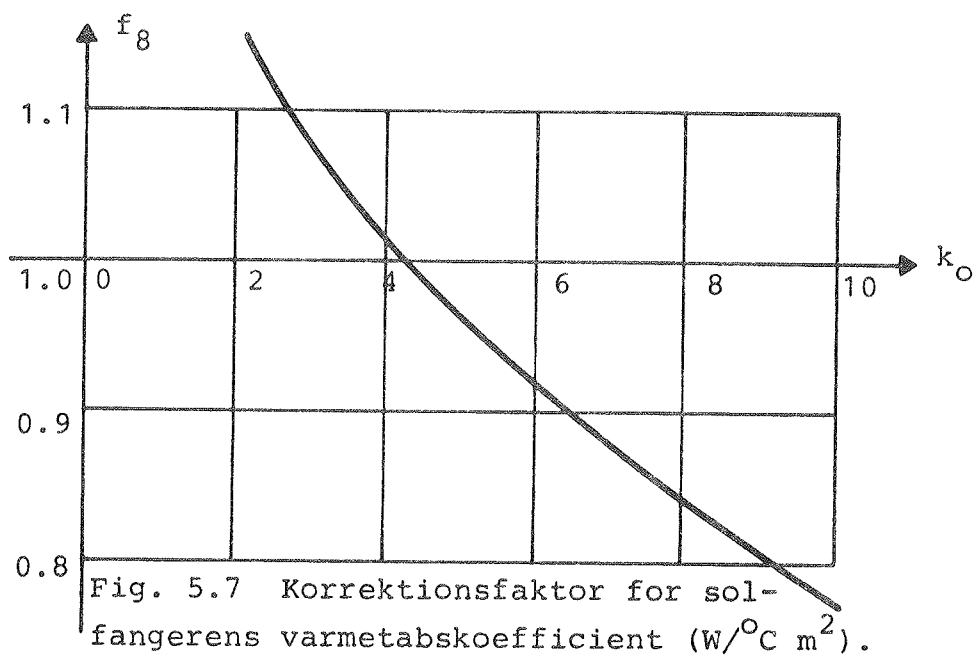


Fig. 5.8. Ydelsen med forskellige klima i Europa.

COP: København

DUB: Dublin, Irland

UKK: Ukkel, Belgien

LON: London, England

CAR: Carpentras, syd Frankrig

HAM: Hamburg, Tyskland

TRP: Trappes, nord Frankrig

6. Dimensioneringsgrundlag

Der er udarbejdet en metode til bestemmelse af dækningsgraden for et solvarmeanlæg med stort udbytte. Metoden er enkel og angiver dækningsgraden med en rimelig nøjagtighed, som i de fleste tilfælde er tilstrækkelig. Metoden gælder kun for store brugsvandsanlæg med en lille dækningsgrad. Dersom et aktuelt anlæg afviger væsentligt fra referenceanlægget eller de grænser, som er angivet skal metoden anvendes med et vist forbehold.

Et anlægs dækningsgrad kan bestemmes af følgende udtryk:

$$D : f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6 \cdot f_7 \cdot f_8 \cdot D_{\text{ref}}$$

hvor

D_{ref} : Anlæggets dækningsgrad fra fig. 5.2 eller lign 5.1.

f_1 : Korrektion for solfangerhældning, fig. 5.3.

f_2 : Korrektion for solfangerens orientering fig. 5.4.

f_3 : Korrektion for anlæggets varmeveksler fig. 5.5.

f_4 : Korrektion for dagligt forbrugsmønster fig. 4.6

f_5 : Korrektion for ugentligt forbrugsmønster fig. 4.7

f_6 : Korrektion for årligt forbrugsmønster fig. 4.8

f_7 : Korrektion for maximaleffektiviteten fig. 5.6

f_8 : Korrektion for solfangerens varmetab fig. 5.7

I en aktuell projekteringssituation kan et anlægs dækningsgrad bestemmes ved først at finde D_{ref} og derefter finde korrektionerne ved kurveaflysningerne.

Hvis der ønskes en bestemt dækningsgrad kan anlæggets størrelse ligeledes bestemmes ved kurveaflysninger alene.

I det følgende er der vist et eksempel på metodens anvendelse. Eksemplet er kontrolleret ved en detaljeret årssimulering af samme anlæg.

Eksempel 2: Bestem solvarmeanlæggets ydelse

Solfangerareal 100 m²

Beholdervolumen: 2,5 m³
Forbrug (gennemsnit): 12 m³/dag
Solfangerhældning: 30 grader
Forbrugsmønster: ingen forbrug lørdag og søndag

Anlæggets referencedækningsgrad bestemmes af lign. (5.1) hvor

$$X = \frac{100 \text{ m}}{12 \text{ m}} = 8,33$$

$$Z = \frac{100 \text{ m}}{2,5 \text{ m}} = 40$$

$$D_{\text{ref}} = \frac{0,834}{1 + \frac{40}{200}} (1 - \exp(-0,0558 \cdot (1 + \frac{40}{200}) \cdot 8,33))$$

$$= 0,297$$

Korrektion for det ugentlige forbrugsmønster fås af fig. 4.7 til $f = 0,91$.

Korrektion for hældning fås af fig. 5.3 til $f_1 = 0,99$.

Den aktuelle dækningsgrad bliver nu:

$$\begin{aligned} D &= D_{\text{ref}} \cdot 0,91 \cdot 0,99 \\ &= 0,297 \cdot 0,91 \cdot 0,99 = 0,267 \end{aligned}$$

Solvarmeanlæggets årlige ydelse bliver nu:

$$\begin{aligned} Q &= 4,2 \cdot 365 \cdot 12 \cdot (50-12) \cdot 0,267 = 187000 \text{ MJ} \\ &\quad 51800 \text{ kWh} \quad 518 \text{ kWh/m}^2 \end{aligned}$$

En årssimulering af samme anlæg gav en dækningsgrad på 25,3%, dvs en årlig ydelse på 49100 kWh.

Styregruppe:

Energiministeriet har fra september 1981 udpeget følgende styregruppe for solvarmeprogrammet:

- V. Korsgaard, professor, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, (formand)
- P. Ahrenst, kontorchef, Boligselskabernes Landsforening
- P. Alling, direktør, Dansk Solvarme K/S
- E. Christoffersen, afdelingsleder, Statens Byggeforskningsinstitut
- P. Dirks, afdelingsingeniør, Dansk Kedelforening
- P. Dorph-Petersen, Energiministeriet
- K. Hallgren, ingeniør, Danfoss A/S
- E. Jerking, Byggestyrelsen, Energikontoret
- N.I. Meyer, professor, Fys.Lab. III, DTH
- J.S.R. Nielsen, civilingeniør, Birch og Krogboe K/S
- V.S. Pejtersen, civilingeniør, Risø
- E. Petersen, lektor, Kem. Lab. I, H.C. Ørstedes Instituttet
- P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut
- P. J. Snare, civilingeniør, Energistyrelsen

Projektmedarbejdere:

Laboratoriet for Varmeisolering:

- N.B. Andersen, civilingeniør
- O. Balslev-Olesen, civilingeniør
- O. Dyrnum, civilingeniør
- K. Ellehauge, civilingeniør
- S. Furbo, civilingeniør
- K. Kielsgaard Hansen, akademiingeniør, lic.techn.
- S. Østergård Jensen, civilingeniør
- S. Melson, civilingeniør
- S.E. Mikkelsen, civilingeniør
- L. Olsen, civilingeniør, stud.lic.techn.
- P. Vejsig Pedersen, civilingeniør
- V. Ussing, civilingeniør

Teknologisk Institut:

B. Bøhm, civilingeniør, lic.techn., HD
P. Engkjær, ingeniør
M. Grimming, arkitekt, m.a.a.
L. Hallgreen, ingeniør, lic.techn.
M. Lange, ingeniør
H. Lawaetz, akademiingeniør, lic.techn., HD
O. Paulsen, civilingeniør, lic.techn.
E. Petersen, civilingeniør, lic.techn.
P. Steensen, civilingeniør

I forbindelse med demonstrationsanlæggene har endvidere medvirket de pågældende byggeriers arkitekt og rådgivende ingeniør.

Adresser

Laboratoriet for Varmeisolering, Bygning 118, Danmarks tekniske Højskole, 2800 Lyngby - telf. 02-883511.

Teknologisk Institut, Varmeteknik, Gregersensvej, 2630 Tåstrup - telf. 02-996611.

1. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg.
Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse.
2. Solvarme-fjernvarmeanlæg.
Beregning af et centralt anlæg med og uden varmelager.
3. Solvarmeanlæg i Gentofte.
Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand.
Årsrapport.
4. Beregningsprogram til solvarmeanlæg.
For TI59 programmerbar lommeregnemaskine.
5. Solvarmeanlæg i Herfølge.
Brugsvand, $\frac{1}{2}$ års målinger
6. Solvarmeanlæg i Greve.
Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand.
Årsrapport.
7. Solfangeres langtidsholdbarhed.
Erfaringer med solfangere udsat for det naturlige vejrlig
under kontrollerede, realistiske, ens driftsforhold i 3 år
på prøvestand.
8. Solvarmesystemprøvestand.
Resultater fra det første projekt på prøvestanden.
9. Solvarmeanlæg på Juelsminde campingplads.
Brugsvand, 3 års målinger.
10. Energiministeriets solvarmeprogram
Statusrapport, august 1980.
11. Energiministeriets solvarmeprogram.
Projektforslag - langtidsplanlægning, oktober 1980.
12. To solvarmeanlæg til varmt brugsvand.
En beskrivelse og vurdering efter 4 måneders drift af
anlæggene.
13. To solvarmeanlæg til varmt brugsvand.
En beskrivelse og vurdering efter 4 måneders drift af
anlæggene.
14. Solvarmeanlæg i Blovstrød.
 $2\frac{1}{2}$ års målinger på 10 m^2 brugsvandsanlæg.

15. Solvarmeanlæg til rumopvarmning.
En udredning baseret på 2 års målinger på anlæg i Greve og Gentofte.
16. Solvarmeanlæg baseret på 1 års målinger på 2 anlæg.
17. Solvarmeanlæg i Herfølge.
Varmtvandsanlæg i tæt-lav byggeri.
18. Korrosion i solfangerabsorbere.
En undersøgelse af korrosionsforholdene i solfangeres væskekanaler.
19. Fokuserende solfanger med klimaskærm.
Forundersøgelse.
20. Solfangeres driftssikkerhed og holdbarhed.
21. Solvarme - fjernvarmeanlæg.
Teknisk - økonomisk analyse af systemkombinationer.
22. Solfangerabsorberes overfladebestandighed.
23. Solvarmeanlæg i Rødovre.
24. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand i Gl-Holte.
En vurdering efter et års målinger.
26. Solvarmeanlæg med stort udbytte - systemanalyse.