

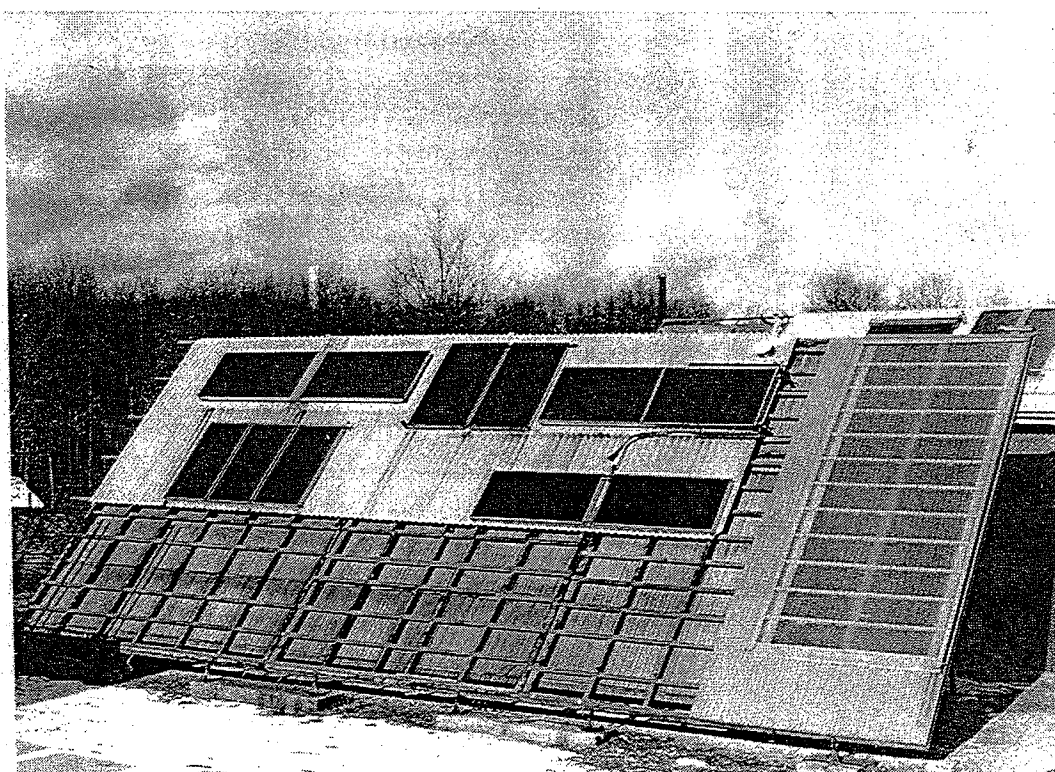


IBE

INSTITUT FOR
BYGNINGER OG ENERGI

DANMARKS TEKNISKE
UNIVERSITET

BYGNING 118
2800 LYNGBY



DTU



LOUISE JIVAN SHAH

UNDERSØGELSE AF SMÅ SOLVARMEANLÆG TIL BRUGSVANDSOPVARMNING

YDELSESMÅLINGER OG BEREKNINGER

IBE-RAPPORT

R-I

1996

Forord

Denne rapport beskriver arbejdet som er udført på Laboratoriet for Varmeisolering under projektet: "Små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning - udvikling", j.nr. 51181/94-0014 og j.nr. 5181/94-0077. Projektet er finansieret af Energistyrelsens Udviklingsprogram for Vedvarende Energi m.v.

Projektets formål er at funktionsafprøve og måle anlægsydelse for de deltagende solfangerfabrikanter små solvarmeanlæg. Desuden er formålet at verificere matematiske modeller, som detaljeret simulerer de termiske forhold for de afprøvede anlæg og at beregne årsydelse for anlæggene med disse modeller under standardbetingelser med referenceårets vejrdata. Ved hjælp af beregninger foreslås forbedrede udformninger af anlæggene. De opstillede anlæg fungerer desuden som reklame for fabrikkerne i forbindelse med rundvisninger og besøg på Laboratoriet.

Rapporten beskriver målinger, beregninger og forbedringsmuligheder for anlæggene.

Projektgruppe:

Louise Jivan Shah, civ.ing.

Simon Furbo, civ.ing., lich.tech.

Lise Boye-Hansen, civ.ing.

Martin Dandanell, maskinarbejder

Lars Kæstel Jørgensen, elektronikmekaniker

Gitte Nellemose, teknisk tegner

Anne Rasmussen, korrespondent

Resumé

Denne rapport beskriver gennemførte undersøgelser af syv danske solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Anlæggene er fra følgende fabrikanten:

Anlæg: Fabrikant:

1	Aidt Miljø A/S
2	Dansk Solvarme A/S
3	Batec A/S
4	Ar-Con Solvarme A/S
5	Solahart Scandinavia ApS
6	Thermo-Sol Aps
7	Sol-Energi Kobbervarefabrikken

Solvarmeanlæggene er installeret på Laboratoriet for Varmeisoleringss forsøgsareal i en prøvestand specielt beregnet til afprøvning af solvarmeanlæg. Anlæggene er monteret i prøvestanden, af installatører valgt af anlægfabrikkerne, omkring årsskiftet 1994/95.

I projektet er der udført målinger på anlæggene i ca. 1 år samt foretaget beregninger af anlægsydelsen med EDB-simuleringsmodeller. Udfra målingerne på anlæggene under forskellige driftsbetingelser, er matematiske modeller, som detaljeret simulerer de termiske forhold for anlæggene, verificeret. Der er her taget højde for de specielle karakteristika for hvert enkelt anlæg. Således er der opnået en god overensstemmelse mellem målte og beregnede ydelser for solvarmeanlæggene.

De detaljerede matematiske modeller er benyttet til at beregne årsydelser for anlæggene. I beregningerne, som er foretaget med det danske referenceårs vejrdato, forudsættes det, at det daglige varmtvandsforbrug er 200 l opvarmet fra 10°C til 45°C. De årlige nettoydelser (tappet energimængde ÷ supplerende energimængde) ligger mellem 1035 kWh og 1670 kWh svarende til dækningsgrader mellem 35,2% og 56,8%. Til sammenligning kan nævnes, at det schweiziske low flow anlæg Solkit, som tidligere er undersøgt på tilsvarende vis, har en nettoydelse på 1790 kWh med en dækningsgrad på 60,9%.

Desuden er det undersøgt hvorledes anlægsydelserne kan forbedres. Resultaterne af dette viste, at alle anlæggene kan forbedres. Hovedårsagen til at anlæggene ikke yder så meget, som de burde, er, at lagertankene har forholdsvis store varmetab. Selv om der for nogle af lagertankene er gjort meget ud af at mindske kuldebroerne ved rørgennemføringer, kan lagrene yderligere forbedres ved at isolere grundigt omkring elpatronen.

Endvidere har beregningerne vist, at ydelserne for fem af anlæggene yderligere kan forøges, hvis lagertankene udskiftes med kappebeholdere og anlæggene kører med low flow drift.

Det kan derfor konkluderes, at der fortsat er gode muligheder for at forbedre ydelsen af de afprøvede anlæg.

Summary

This report describes investigations of seven Danish DHW solar heating systems. The systems are produced and installed by:

System:	Manufacturer:
1	Aidt Miljø A/S
2	Dansk Solvarme A/S
3	Batec A/S
4	Ar-Con Solvarme A/S
5	Solahart Scandinavia ApS
6	Thermo-Sol Aps
7	Sol-Energi Kobbervarefabrikken

The DHW solar heating systems are installed and tested side by side under realistic conditions in a test facility for SDHW systems. The systems were installed at New Year 1994/95.

Measurements of the thermal performance of the systems have been carried out for one year. Furthermore, calculations of the thermal performance of the systems have been carried out with detailed mathematical models. The models that simulate the thermal behaviour of the systems in detail have been validated against the measurements on the systems. A good agreement between measurements and calculations of the thermal performance of the systems has been achieved.

The mathematical models simulating the thermal behaviour of the systems have been used to determine the yearly thermal performance of the systems. Weather data from the Danish Test Reference Year is used in the calculations. A daily hot water consumption of 200 l heated from 10°C to 45°C is assumed. The calculated net utilized solar energy of the seven investigated systems lies between 1035 kWh and 1670 kWh corresponding to a solar fraction (net utilized solar energy/energy tapped from storage) between 35.2% and 56.8%. By comparison the Swiss low flow solar heating system Solkit, investigated in the same way earlier, has a net utilized solar energy of 1790 kWh with a solar fraction of 60.9%.

Additionally, possibilities of improving the systems have been investigated. The results of these investigations showed that all the systems can be improved. The main reason for the relatively low thermal performances is the relatively large heat losses from the heat storages. Even though the pipe layout has been made in a way to decrease the tank heat loss it can be

decreased further by improving the insulating around the electric heating element.

Furthermore the calculations showed that the performances of five of the systems can be increased by replacing the heat storages with mantle tanks combined with low flow operation of the systems.

Thus it can be concluded that improving the thermal performance of all the tested systems is possible.

Indholdsfortegnelse

Forord	I
Resumé	II
Summary	IV
Indholdsfortegnelse	VI
Bilagsfortegnelse	VIII
1. Indledning	1
2. Prøvestanden udformning	3
2.1 Montering af solfangerne	3
2.3 Tappesystem og suppleringsvarme	4
2.4 Måleudstyr	6
2.5 Måle- og styresystem	7
2.6 Prøvningsbetingelser	8
3. Test-perioder	9
4. Solvarmeanlæggene	13
4.1 Anlæg 1: Aidt Miljø A/S	13
4.1.1 Opbygning	13
4.1.2 Måledata	15
4.1.3 EDB-model af solvarmeanlægget	16
4.1.4 Validering af EDB-model	19
4.1.5 Årsydelse for anlægget	28
4.1.6 Driftserfaringer og sammenfatning	31
4.2 Anlæg 2: Dansk Solvarme A/S	32
4.2.1 Opbygning	32
4.2.2 Måledata	34
4.2.3 EDB-model af solvarmeanlægget	35
4.2.4 Validering af EDB-model	38
4.2.5 Årsydelse for anlægget	48
4.2.6 Driftserfaringer og sammenfatning	52
4.3 Anlæg 3: Batec A/S	53
4.3.1 Opbygning	53
4.3.2 Måledata	55
4.3.3 EDB-model af solvarmeanlægget	57
4.3.4 Validering af EDB-model	59
4.3.5 Årsydelse for anlægget	68
4.3.6 Driftserfaringer og sammenfatning	71

4.4	Anlæg 4: Ar-Con Solvarme A/S	72
4.4.1	Opbygning	72
4.4.2	Måledata	74
4.4.3	EDB-model af solvarmeanlægget	75
4.4.4	Validering af EDB-model	78
4.4.5	Årsydelse for anlægget	87
4.4.6	Driftserfaringer og sammenfatning	90
4.5	Anlæg 5: Solahart Scandinavia ApS	91
4.5.1	Opbygning	91
4.5.2	Måledata	93
4.5.3	EDB-model af solvarmeanlægget	94
4.5.4	Validering af EDB-model	97
4.5.5	Årsydelse for anlægget	106
4.5.6	Driftserfaringer og sammenfatning	109
4.6	Anlæg 6: Thermo-Sol ApS	110
4.6.1	Opbygning	110
4.6.2	Måledata	112
4.6.3	EDB-model af solvarmeanlægget	113
4.6.4	Validering af EDB-model	118
4.6.5	Årsydelse for anlægget	127
4.6.6	Driftserfaringer og sammenfatning	130
4.7	Anlæg 7: Sol-Energi Kobbervarefabrikken	132
4.7.1	Opbygning	132
4.7.2	Måledata	134
4.7.3	EDB-model af solvarmeanlægget	135
4.7.4	Validering af EDB-model	139
4.7.5	Årsydelse for anlægget	149
4.7.6	Driftserfaringer og sammenfatning	153
5.	Årsydelser for forskellige afprøvede solvarmeanlæg	154
6.	Konklusion	166
7.	Referencer	168
	Bilag	173

Bilagsfortegnelse

Bilag 4.1:	Aidt Miljø:	175
Bilag 4.1.1:	Datablad, solfanger	176
Bilag 4.1.2:	Datablad, lagertank	177
Bilag 4.1.3:	Ændring af solfangereffektivitet som følge af low flow drift	178
Bilag 4.1.4:	Korrektion, for low flow drift, af nettoydelse	179
Bilag 4.2:	Dansk Solvarme A/S:	181
Bilag 4.2.1:	Bilag 4.2.1-a: Datablad for solfanger målt på LfV	182
	Bilag 4.2.1-b: Effektivitet af solfanger målt på DTI	183
Bilag 4.2.2:	Datablad, lagertank	184
Bilag 4.3:	Batec A/S:	185
Bilag 4.3.1:	Datablad, solfanger	186
Bilag 4.3.2:	Datablad, lagertank	187
Bilag 4.3.3:	Korrektion, for low flow drift, af nettoydelse	188
Bilag 4.4:	Ar-Con Solvarme A/S:	189
Bilag 4.4.1:	Datablad, solfanger	190
Bilag 4.4.2:	Datablad, lagertank	191
Bilag 4.5:	Solahart Scandinavia ApS	193
Bilag 4.5.1:	Datablad, solfanger	194
Bilag 4.5.2:	Datablad, lagertank	195
Bilag 4.6:	Thermo-Sol ApS	197
Bilag 4.6.1:	Datablad, solfanger	198
Bilag 4.6.2:	Datablad, lagertank	199
Bilag 4.7:	Sol-Energi Kobbervarefabrikken	201
Bilag 4.7.1:	Datablad: Sol-Energi Kobbervarefabrikken, solfanger	202
Bilag 4.7.2:	Datablad: Sol-Energi Kobbervarefabrikken, lagertank	203

1. Indledning

Som et led i arbejdet med at videreudvikle og forbedre solvarmeanlæg i Danmark, er det vigtigt at kunne vurdere virkningen af anlægsændringer mht. ydelsen samt at kunne forudsige anlægsydelse under forskellige forhold.

I nærværende projekt er forskellige danske solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning, for syv interesserede solfangerfabrikanter, undersøgt.

Solvarmeanlæggene er installeret på Laboratoriet for Varmeisolerings forsøgareal i en prøvestand specielt beregnet til afprøvning af solvarmeanlæg. Anlæggene er monteret i prøvestanden af installatører valgt af anlægsfabrikanterne. Dermed kan det forventes, at anlæggene er installeret som "normal praksis".

De syv anlæg der behandles i denne rapport er fra følgende fabrikanter:

Anlæg:	Fabrikant:
1	Aidt Miljø A/S
2	Dansk Solvarme A/S
3	Batec A/S
4	Ar-Con Solvarme A/S
5	Solahart Scandinavia ApS
6	Thermo-Sol Aps
7	Sol-Energi Kobbervarefabrikken

I skema 1.1 ses anlæggenes karakteristika.

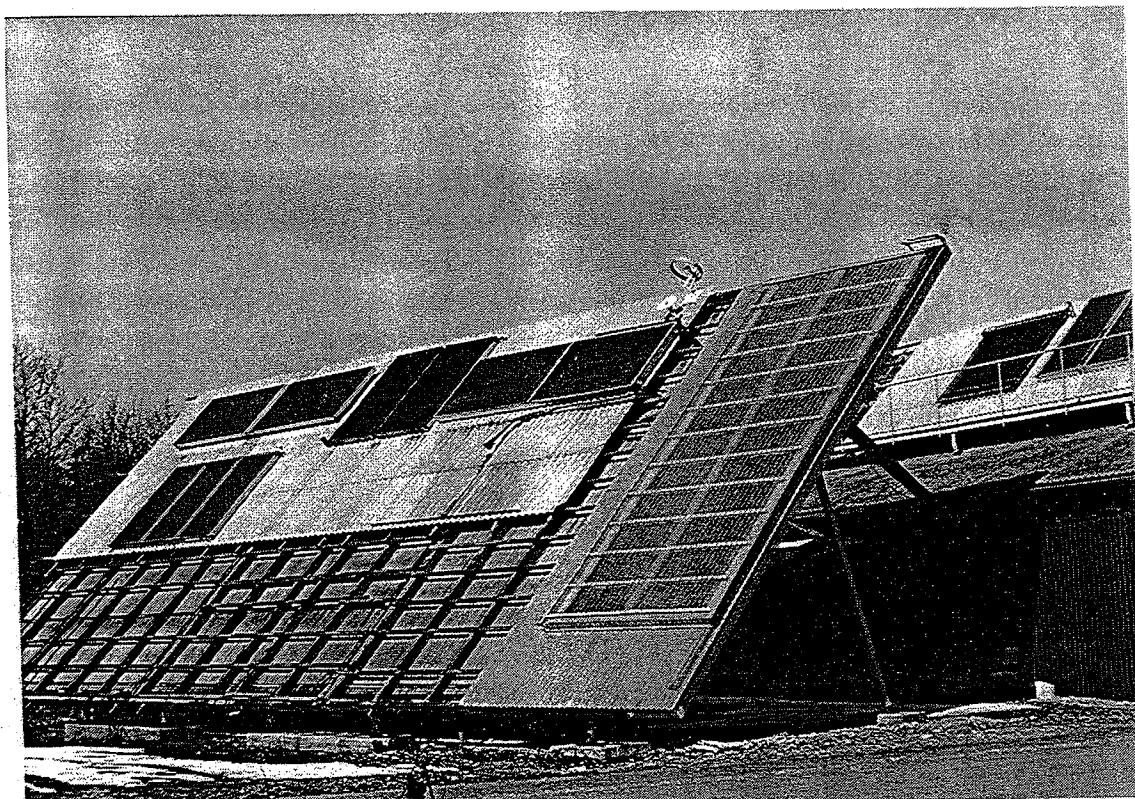
I projektet er der udført målinger på anlæggene i en længere periode samt foretaget beregninger med EDB-simuleringsmodeller. Kombinationen af målinger og beregninger gør det muligt at lave nøjagtige EDB-modeller, hvorved årsydelser for anlægget kan beregnes med god nøjagtighed. Endvidere undersøges det, hvorledes ændringer af anlægsudformningen påvirker ydelsen.

Fabrikat	Aidt Miljø A/S	Dansk Solvarme A/S	Batec A/S	Ar-Con Solvarme A/S	Solahart Scandinavia A/S	Thermo-Sol ApS	Sol-Energi Kobbervarefabrikken
Solfangerareal [m²]	4,83	4,02	4,38	5,02	5,55	3,33	3,82
Beholdertype	Kappebeholder	Spiralbeholder	Kappebeholder	Spiralbeholder	Spiralbeholder	Spiralbeholder	Spiralbeholder
Beholdervolumen [liter]	265/16,5	280	250/50	250	280	280	280
Supplerende energikilde	Elpatron/varmeveksler spiral	Elpatron/varmeveksler spiral	Elpatron/varmeveksler spiral	Elpatron/varmeveksler spiral	Elpatron/varmeveksler spiral	Elpatron/varmeveksler spiral	Elpatron/varmeveksler spiral
Kendetegn	Low flow.		Tømmeanlæg. Low flow. Elpatron i kapten.			Vakuumsol-fanger. To varmevekslere mellem solfanger og lager. Solfangervæske: Sprit og propylenglykol /vand blanding.	Solcelledreven cirkulationspumpe.

Skema 1.1: Solvarmeanlæggenes karakteristika.

2. Prøvestanden udformning

Prøvestanden, der er opbygget på Laboratoriet for Varmeisolerings forsøgsareal /11/, er udbygget til at kunne måle på otte anlæg samtidigt. Prøvestanden består af et stativ til montering af solfangere samt en hal, hvor lagertankene og måleudstyr er placeret. På hallens tag er der også installeret solfangere. Bygningen og stativet er vist i figur 2.1.



Figur 2.1: Prøvestanden på Laboratoriet for Varmeisolerings forsøgsareal.

2.1 Montering af solfangerne

Solfangerne monteres enten på stativet eller på hallens tag (jvf. figur 2.1). Stativet og hallens tag hælder 45° fra vandret. Stativet vender mod syd, hvorimod hallens tag er drejet 10° mod vest fra syd.

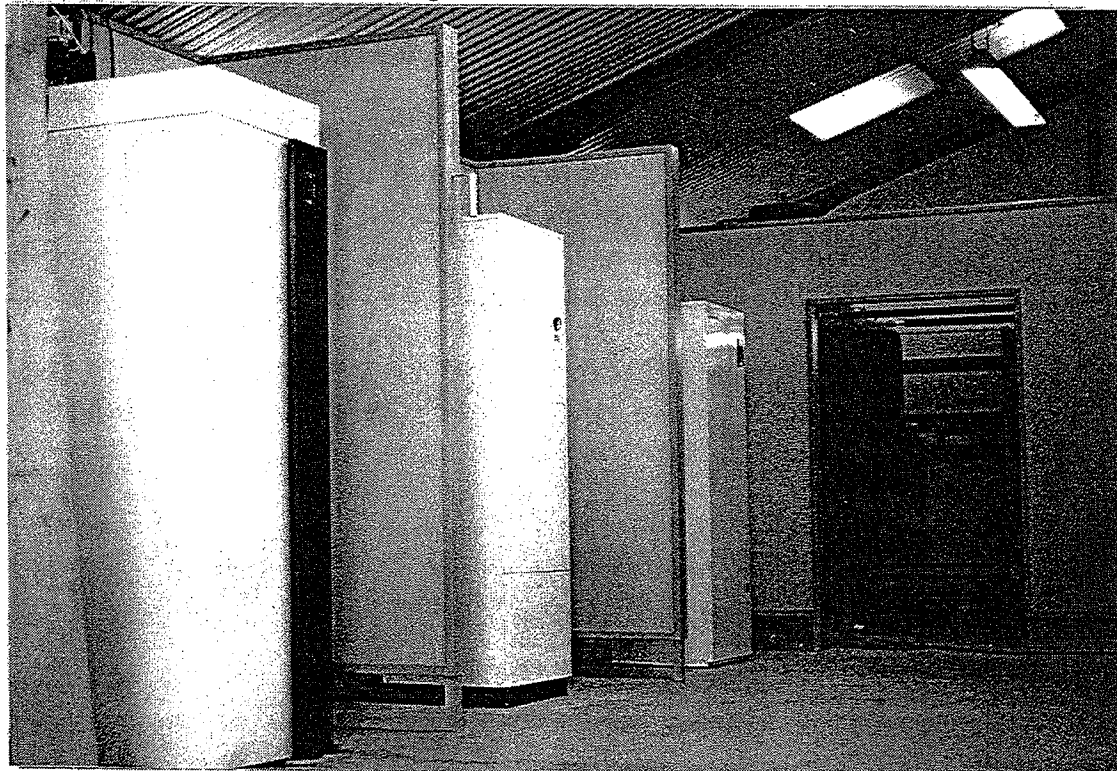
Solfangerne placeres ovenpå en bølgeeternitplade, således at vindeffekterne på bagsiden af solfangerne er som ved en normal placering på et hustag. Rørene fra solfangerne på stativet trækkes ind i bygningen via nogle bjælker til påhæftning. Rørene fra solfangerne på hallens tag føres direkte gennem taget ind i bygningen. Førringsvejen for rørene på stativet er ca. 13 m (hver vej). Heraf er ca. 10 m udendørs. Førringsvejen for rørene på bygningens tag er ca. 7 m (hver vej). Heraf er ca. 2 m udendørs. Det er beregnet, at forskellen i rørføringen

påvirker anlægsydelsen med ca. 2-3%.

2.2 Placering af lagerbeholdere

Beholderne er placeret op ad en skillevæg bag hvilken måle- og tappesystemets tekniske installationer er placeret (se figur 2.3.1). Hver beholder placeres i en bås, hvor der er til- og afgang for brugsvand og suppleringsvarme til beholdere med indbyggede varmevekslerspiraler.

Placeringen af beholderne ses i figur 2.2.1.



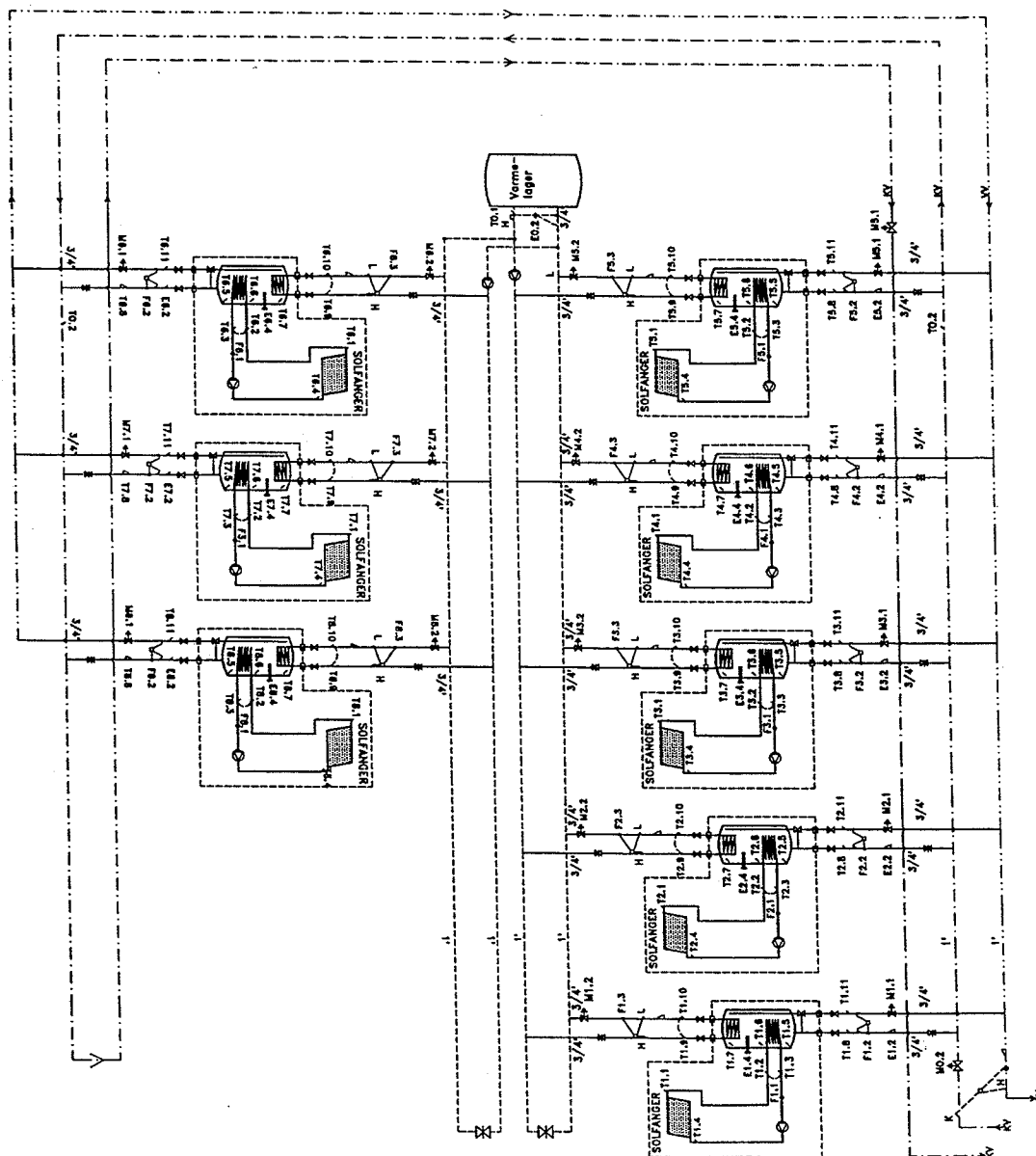
Figur 2.2.1: Foto af prøvestanden indendørs.

2.3 Tappesystem og suppleringsvarme

Der kan for hvert anlæg tappes varmt brugsvand. Aftapningen styres af PC'ere som styrer nogle magnetventiler.

Suppleringsvarmen består af indbyggede el-patroner og varmevekslerspiraler. El-patronerne benyttes uden for fyringssæsonen (9. maj - 22. september, begge dage incl.) og varmevekslerspiralerne benyttes i fyringssæsonen. Suppleringsvarmen til varmevekslerspiralerne tages fra en el-opvarmet lagertank på ca. 3 m³. Lagerbeholderen holdes på 60-70°C. Også

suppleringsvarmen (både el-patron og varmeveksler) styres af PC'ere. Man kan således i PC'ernes programmer fastsætte den ønskede temperatur i toppen af hver solvarmebeholder.



Figur 2.3.1.: De tekniske installationer samt målepunkter.

Figur 2.3.1 viser de tekniske installationer.

2.4 Måleudstyr

Temperaturer

Temperaturerne måles ved hjælp af Kobber/Konstantan termotråd (type TT). Temperaturdifferenserne i solfangerkreds, tappekreds og kreds for suppleringsvarme måles med termosøjler (Kobber/Konstantan) med 5 tråde. Herved opnås større målenøjagtighed. Målepunkterne i væsekredsene er placeret i dykrør. Dykrør i tappekredsene er femdobbelte (der er et rør til hver tråd) for at opnå så hurtig reaktionstid som muligt.

Temperaturmålepunkterne i solvarmetankene er Kobber/Konstantan termotråde placeret i et glasrør, som er ført ind i tanken enten gennem toppen eller bunden. Glasrørsplaceringerne er foretaget i de studse i tankene, der i forvejen har været ledige i beholderne (f.eks. studse til en cirkulationsledning som ikke er tilsluttet). Hvis der ikke har været nogle studse ledige, er anoden afmonteret. Målepunkternes nøjagtige placering er beskrevet i afsnit 4.

Termotråde og termosøjler er ført til dataloggersystemet, som er placeret i et separat kontor i bygningen. Spændingen fra termotrådene og termosøjlerne måles i 5 stk. Fluke Hydra dataloggere (se afsnit 2.5).

Målenøjagtigheden på termotrådene anslås til ca. $\pm 0,5$ K. Målenøjagtigheden på termosøjlerne anslås til ca. $\pm 0,03$ K.

Flow og energi

Flow i solfangerkreds, tappekreds og kreds for suppleringsvarme måles ved hjælp af Clorius Combimeter 1,5 EPD energi- og flowmålere. Målerne udsender pulser, som tælles af dataloggersystemet. I tappekredsene og kredsene for suppleringsvarme udsender målerne 1 puls for hver 0,1 liter. I solfangerkredsene udsender målerne 1 puls for hver liter.

Flowmålerne har en nøjagtighed på under $\pm 2-3\%$.

Energimængderne dannes i dataloggersystemet ud fra flowmålingerne, temperaturdifferenserne over de respektive termosøjler og ud fra funktioner for varmekapacitet og massefylde for væsken. Varmekapaciteten og massefylden for solfangervæsken er afhængig af glycolprocenten. Denne bestemmes med jævne mellemrum.

Målinger fra termosøjlerne samt flowmålingerne indgår i energiberegningerne, og de største

usikkerheder på energiberegningerne, består i målefejl som følge af følerørenes varmekapacitet, varmeledning til omgivelserne samt som følge af tidsskridtet mellem hvert scan (20 sek.). Energimængderne forventes dog at stemme inden for ca. 5%.

Solindfald

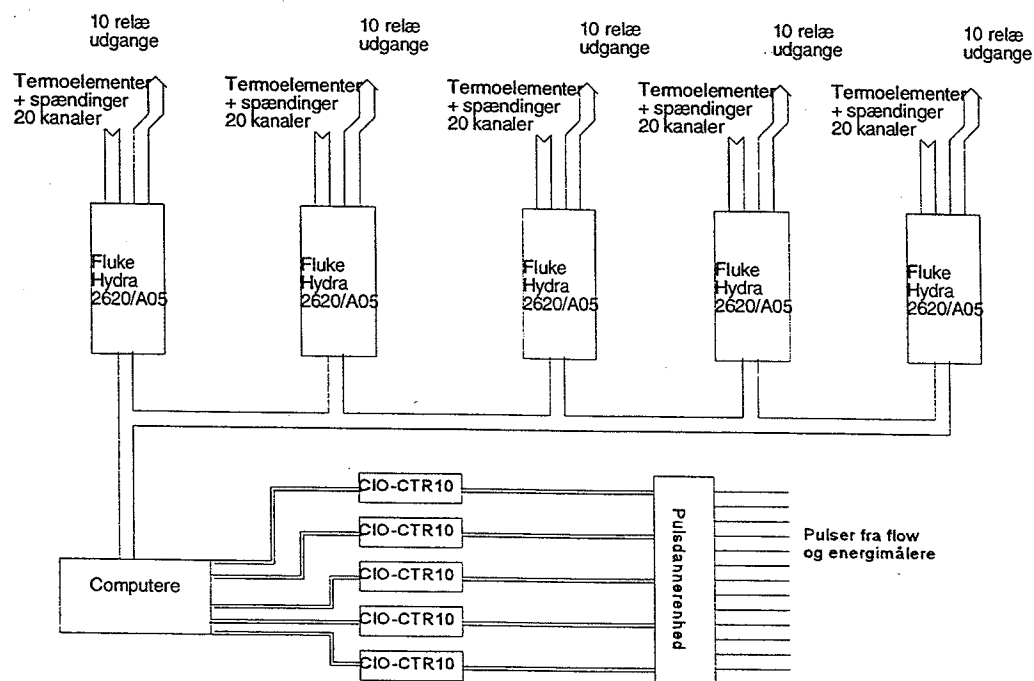
Der måles totalt og diffust solindfald på solfangerstativet i solfangernes plan (45° hældning, syd). Solindfaldet måles med Kipp & Zonen solarimetre Type CM5. Det diffuse solindfald måles ved hjælp af et solarimeter med en skyggering med en diameter på 45 cm og en bredde på 7 cm. Solarimetrene har en nøjagtighed på $\pm 2-3\%$.

2.5 Måle- og styresystem

Datalogningen styres af to PC'ere med udviklet (på Laboratoriet for Varmeisolering) software til formålet. I PC'erne er der et IEEE-488 interface kort for kommunikation med dataloggerne, hvortil termotråde og termosøjler er tilsluttet. Dataloggerne er af typen Fluke Hydra (type 2620A Data Acquisition Unit) og omsætter direkte spændingen fra termotrådene og termoelementerne til temperaturer (idet PC'erens temperatur benyttes som referencetemperatur til termosøjlerne). Derudover aflæses spændingen fra solarimetrene. Denne spænding omregnes til strålingsværdier i PC'erne.

I hver Fluke Hydra er der endvidere 10 relæer, som styres af PC'erne. Relæerne benyttes til at styre magnetventilerne, som åbner og lukker for den automatiske tapning af brugsvandet samt for den supplerende varme. Da kortene i PC'erne er meget (for) fintfølede og har tendens til at medtage støj, har det endvidere været nødvendigt at opbygge en elektronisk enhed, som kan omdanne pulserne fra flow- og el-målerne til klare pulser.

I figur 2.5.1 er et diagram over dataloggersystemet vist.



Figur 2.5.1: Principskitse af dataloggersystemet.

2.6 Prøvningsbetingelser

Solvarmeanlæggene tappes 4 gange dagligt kl. 7:00, 12:00, 17:00 og 19:00. Aftapningen sker i fire lige store energimængder á 2 kWh, i alt svarende til 200 l/dag opvarmet fra 10°C til 45°C = 8 kWh/dag.

Temperaturerne i toppen af lagertankene holdes på 50°C.

Idet omgivelserne, tappetidspunkter og termostatsetpunktet for lagertemperatur i toppen af tankene er ens for alle anlæggene, afprøves anlæggene under ens forhold.

For anlæg der både har varmevekslerspiral og el-patron til suppleringsvarme gælder det, at el-patronen benyttes uden for fyringssæsonen (9. maj - 22. september), og varmevekslerspiralen benyttes i fyringssæsonen.

3. Test-perioder

Der er udvalgt to perioder til at validere EDB-modellerne af solvarmeanlæggene med. Perioderne er følgende:

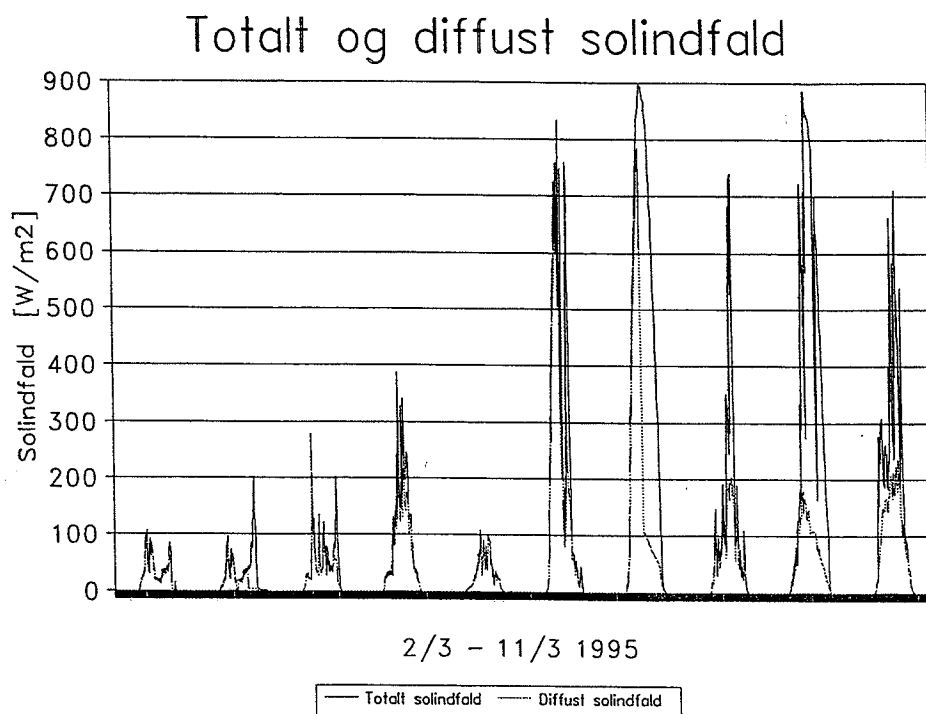
Vinterperiode: 2. marts - 11. marts 1995

Sommerperiode: 5. juni - 16. juni 1995

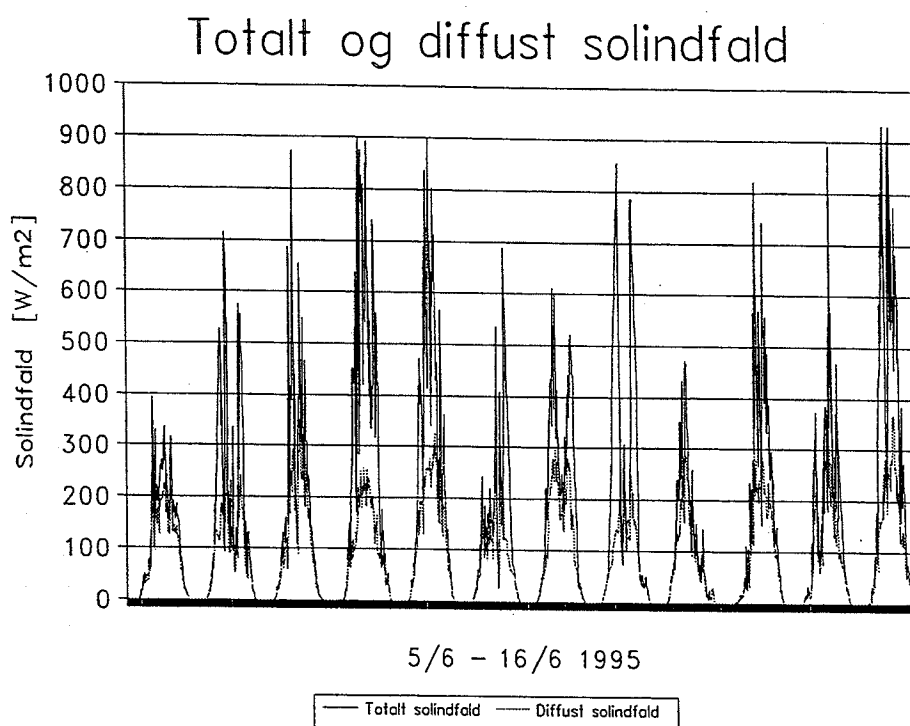
Perioderne er valgt således, at der er en periode, hvor varmevekslerspiralen i toppen af tanken benyttes til suppleringsvarme (vinterperioden), og en periode hvor el-patronen benyttes til suppleringsvarme (sommerperioden).

Endvidere har det været et krav til de to perioder, at der har været varierende solindfald på solfangerne, således at systematiske fejl i EDB-modellerne undgås. Derudover skal tappingen af brugsvand fra anlæggene være uden fejl.

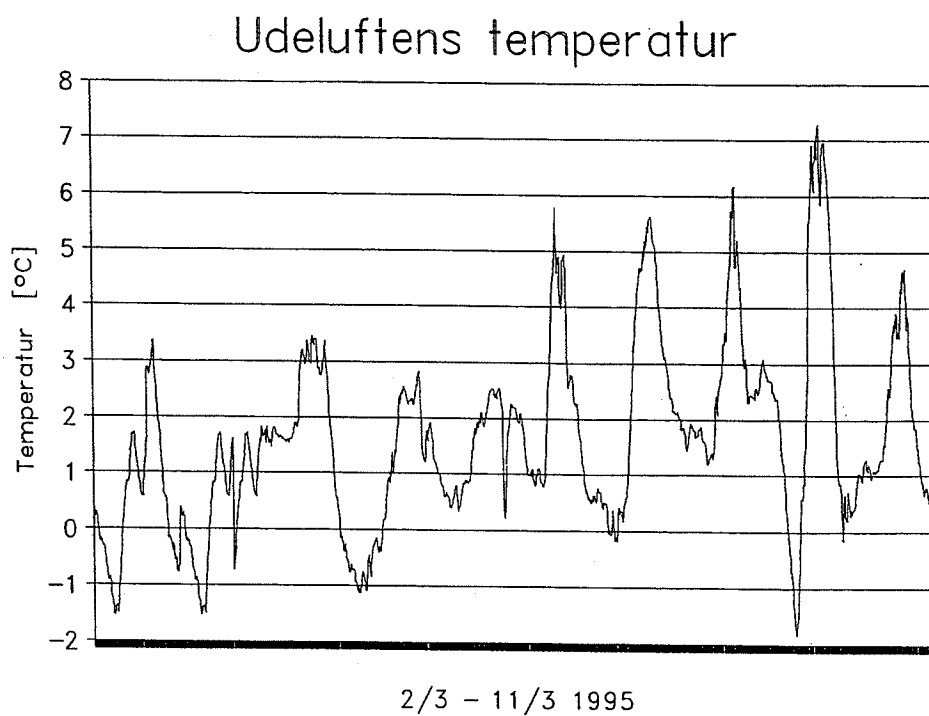
I figur 3.1-2 ses solbestrålingsstyrken for de to perioder. Det ses, at bestrålingsstyrken, som ønsket, varierer meget. Figur 3.3-4 viser udeluftens temperatur i de to perioder. Figur 3.5-6 viser energimængden tappet fra hver af de 7 lagre. Det ses, at den tappede energimængde, som ønsket, ligger omkring 8 kWh pr. dag.



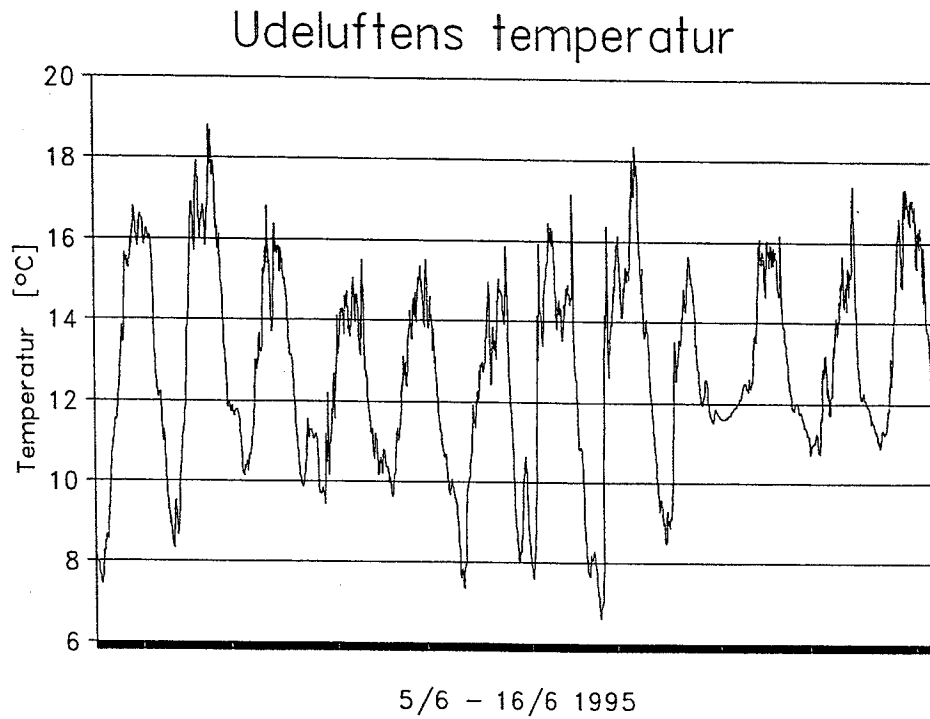
Figur 3.1: Totalt og diffust solindfald i vinterperioden.



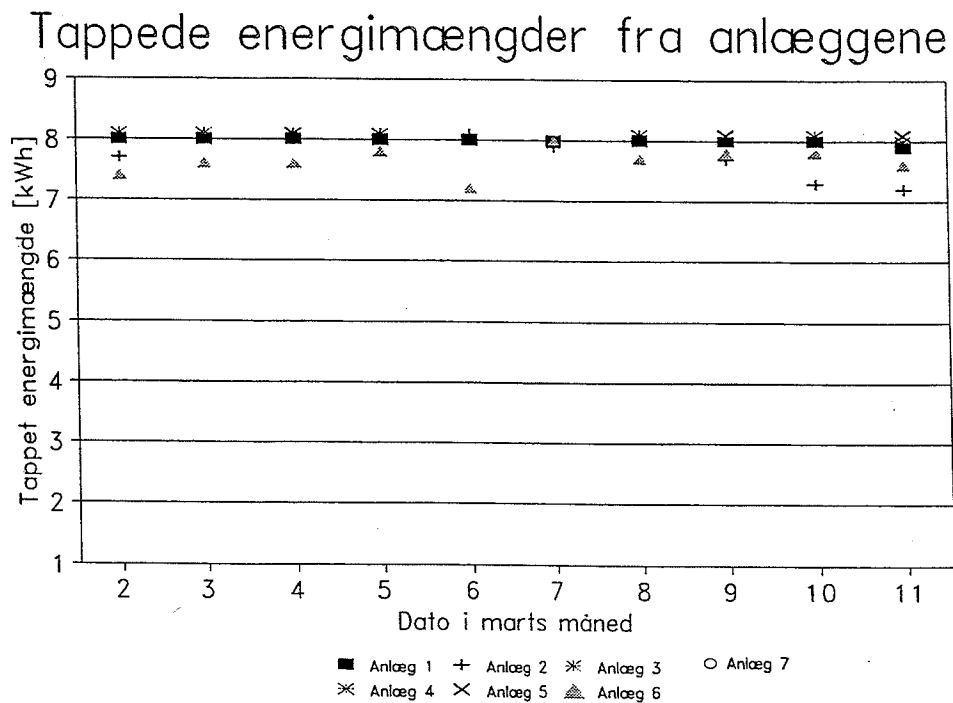
Figur 3.2: Totalt og diffust solindfald i sommerperioden.



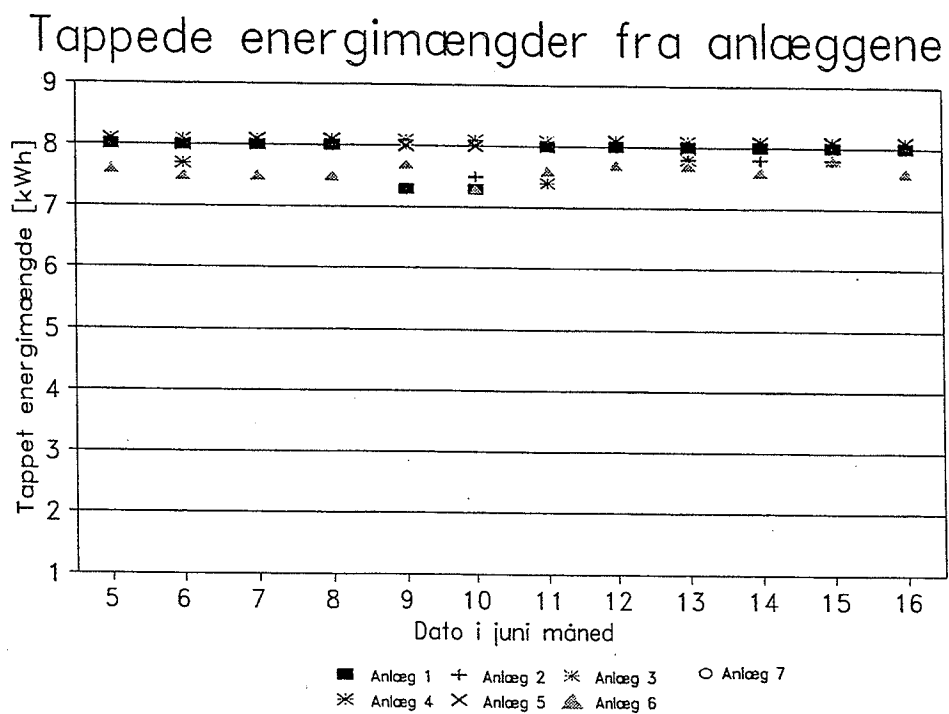
Figur 3.3: Udeluftens temperatur i vinterperioden.



Figur 3.4: Udeluftens temperatur i sommerperioden.



Figur 3.5: Energimængde tappet fra lagrene i vinterperioden.



Figur 3.6: Energimængde tappet fra lagrene i sommerperioden.

4. Solvarmeanlæggene

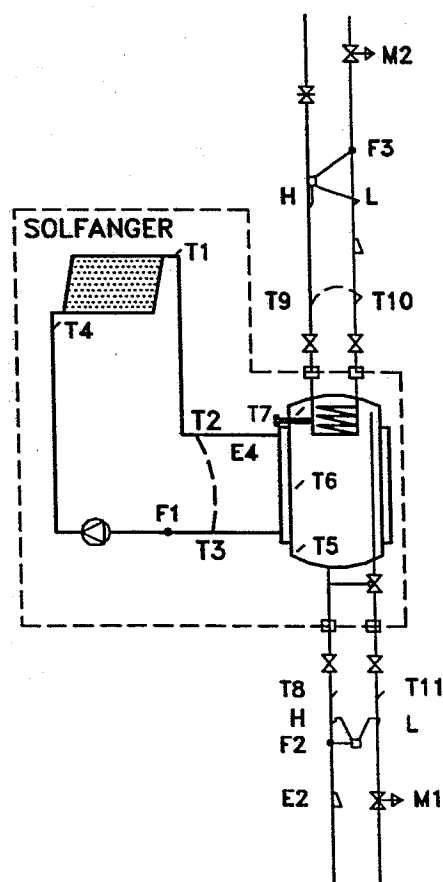
4.1 Anlæg 1: Aidt Miljø A/S

4.1.1 Opbygning

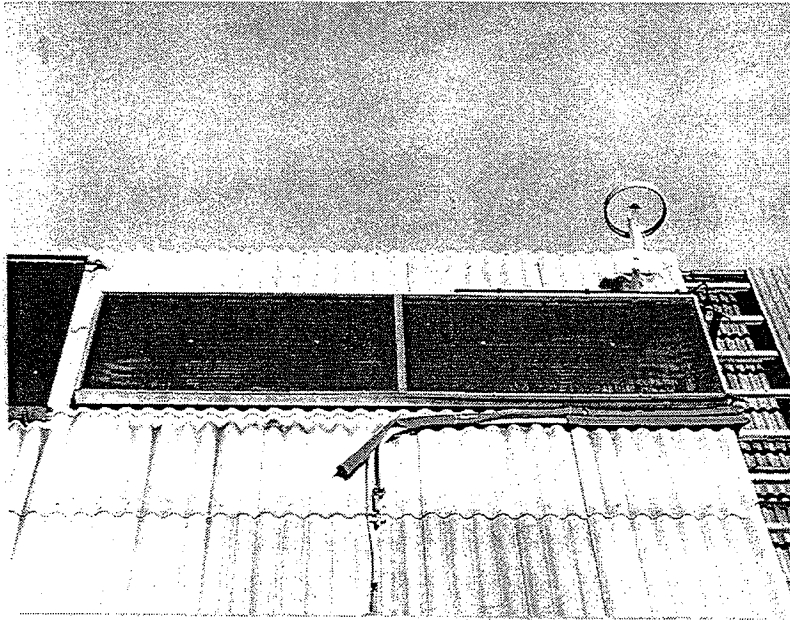
Solvarmeanlægget er opført i prøvestanden i 1993 af Aidt Miljø A/S. Anlægget markedsføres med en anden solfanger i Danmark.

Anlægget er et low flow anlæg, som består af to solfangerpaneler, med et samlet transparent areal på 4,83 m², samt en kappebeholder på 265 l (+16,5 l i kappen). Solfangeren er installeret på en 45° hældende flade orienteret stik syd. Datablade for solfangeren ses i bilag 4.1.1.

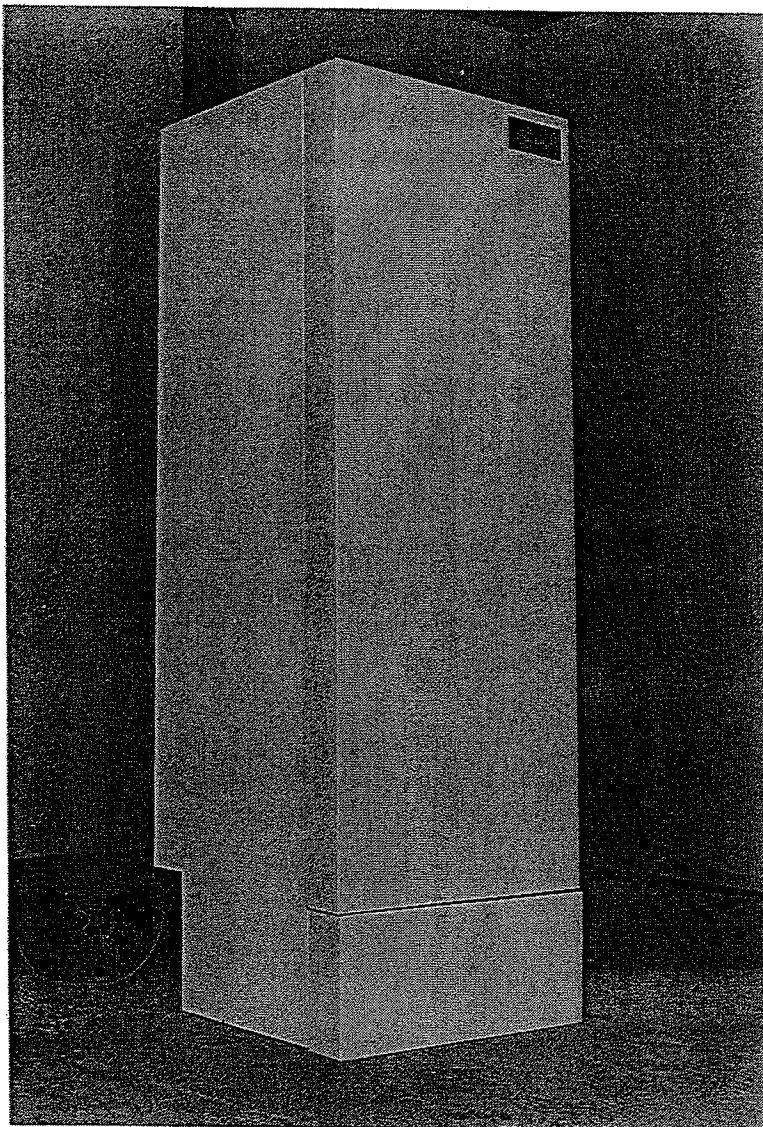
Lagertanken er en lodretstående cylindrisk kappebeholder med en varmevekslerspiral til suppleringsvarme fra f.eks. et fyr. Endvidere er varmetanken forsynet med et el-varmelegeme til brug i sommerperioder. Beholderen er isoleret med hårdt polyurethanskum og indbygget i et stålkabinet. Datablade for lagertanken er vist i bilag 4.1.2.



Figur 4.1.1: Principskitse med målepunkter af anlægget fra Aidt Miljø A/S.



Figur 4.1.2: Solfangerpanelerne på solfangerstativet.



Figur 4.1.3: Solvarmeanlæggets varmelager.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 13,3 m fremløbsrør og 13,3 m returrør (heraf 2 x 2,3 m indendørs). Rørene er 16/12 mm plastikribberør. Fremløbsrøret fra solfangeren til lageret er isoleret med 10 mm skum-isolering. Returrøret fra lageret til solfangeren er uisolert.

Solfangerkredsen er forsynet med en Grundfos cirkulationspumpe (Type UPS 25-40), som igennem hele måleperioden har kørt på trin 1. Dog benyttes trin 3 i forbindelse med opstart af pumpen. Når temperaturen i bunden af lagertanken overstiger 85°C skifter pumpen også til trin 3 indtil temperaturen er faldet til ca. 75°C. Endvidere skifter pumpen til trin 3 når temperaturen i toppen af lageret når op over 60°C.

Cirkulationspumpen styres af en differenstermostat, der måler temperaturforskellen mellem udløbstemperaturen fra solfangeren og temperaturen i bunden af kappen. Differenstermostaten har et start/stop-setpunkt på 15/3 K.

I figur 4.1.1 ses en principskitse af anlægget. Figur 4.1.2 og 4.1.3 viser fotos af anlæggets solfanger og varmelager.

4.1.2 Måledata

I figur 4.1.1 er målepunkterne i anlægget vist.

Målepunkt	Angivelse i figur 4.1.1	Afstand fra bund af tank (mm)
1	T5	20
2	-	345
3	T6	670
4	-	995
5	T7	1320

Tabel 4.1.1: Placering af temperaturfølere i lagertank.

Der er fem målepunkter i tanken. Målepunkterne er anbragt i en glasstav, som er indført i tanken gennem bunden. Målepunkterne 1,3 og 5 registreres hele tiden, mens punkterne 2 og 4 kan udtages midlertidigt. Målepunkterne i tanken er placeret som angivet i tabel 4.1.1.

Cirkulationspumpens og styresystemets effektforbrug blev i en periode målt til hhv. 30 W og 0,7 W. El-patronens effektforbrug blev målt til 1110 W.

I tabel 4.1.2 er følgende målte månedlige værdier gengivet: Solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lager, energiforbrug til

pumpe, energiforbrug til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme÷energiforbrug til pumpe÷energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

Måned	Solindfald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresy- stem [kWh]	Netto- ydelse1 [kWh]	Netto- ydelse2 [kWh]	Dæk- nings- grad1 [%]	Dæk- nings- grad2 [%]
Jan.	114	10	233	226	0,6	0,49	-7	-8	-3,1	-3,5
Feb.	173	37	203	211	1,8	0,47	8	6	3,8	2,8
Mar.	328	85	160	217	3,5	0,47	57	53	26,3	24,4
Apr.	549	142	127	238	6,0	0,50	111	105	46,6	44,1
Maj	745	185	73	239	7,3	0,52	166	158	69,5	66,1
Jun.	660	182	82	237	8,1	0,50	155	146	65,4	61,6
Jul.	849	237	28	238	9,5	0,52	210	200	88,2	84,0
Aug.	889	244	17	238	8,8	0,52	221	212	92,9	89,1
Sep.	404	109	132	222	4,4	0,50	90	85	40,5	38,3
Okt.	363	95	176	240	4,0	0,52	64	59	26,7	24,6
Nov	187	46	215	229	1,8	0,50	14	12	6,1	5,2
Dec	121	27	256	244	1,2	0,52	-12	-14	-4,9	-5,7
Tot.	5382	1399	1702	2779	57	6,05	1077	1014	38,8	36,5

Tabel 4.1.2: Målte månedsværdier for anlægget (1995).

Følgende dage foreligger der ikke data (begge dage incl.):

Januar: 1-2

Marts: 13-15

Det ses af målingerne, at anlægget i måleperioden i 1995 har haft en anlægssydelse (Nettoydelse2) på 1014 kWh med en dækningsgrad på 36,5%. Der er ikke alle dage, som tilstræbt, tappet 8 kWh.

4.1.3 EDB-model af solvarmeanlægget

Til bestemmelse af årlige ydelser samt forbedringsmuligheder for solvarmeanlægget er en EDB-model af anlægget udformet. Modellen bruges i et detaljeret simuleringsprogram udviklet i /22/.

Modellen valideres med målte data fra to perioder: 2/3-11/3 1995 og 5/6-16/6 1995, jvf. afsnit 3. I vinterperioden anvendes varmevekslerspiralen til suppleringsvarme. I sommerperioden anvendes el-patronen til suppleringsvarme. I det følgende er input til EDB-modellen beskrevet:

Solfangerkredsen:

Solfangeren er ikke afprøvet på Laboratoriet. Derfor benyttes effektivitetsudtrykket for en tilsvarende solfanger, hvor kun arealet er anderledes. Effektivitetsudtrykket for denne solfanger er målt på Laboratoriet for Varmeisolering, DTU til /14/:

$$\eta = 0,68 - 5,73 \cdot (T_m - T_a)/G - 0,012 \cdot (T_m - T_a)^2/G$$

hvor

η	er solfangereffektiviteten	[-]
T_m	er middel væsketemperaturen	[°C]
T_a	er lufttemperaturen	[°C]
G	er bestrålingsstyrken på solfangeren	[W/m ²]

Prøvningen er udført under standardbetingelser (ISO 9806-1.2) med en lufthastighed over solfangeren på 5 m/s. Denne lufthastighed er meget større end det, gennemsnitslufthastigheden normalt er udendørs. Derfor er effektivitetsudtrykket korrigeret, til et udtryk svarende til en lufthastighed på 2 m/s, på baggrund af ligningerne i /24, side 108-109/. Korrektionen reducerer solfangerens varmetab til 91,4% af det oprindelige varmetab. Herved fremkommer følgende effektivitetsudtryk for solfangeren:

$$\eta = 0,68 - 5,23 \cdot (T_m - T_a)/G - 0,011 \cdot (T_m - T_a)^2/G$$

Da solfangervæsken i anlægget består af 15% glykol-vand blandning (og ikke en 50% glykol-vand blandning som ved prøvningen) forøges starteffektiviteten for solfangeren med 4%. Dette er beregnet ud fra teori i /28/.

I bilag 4.1.3 ses det, at effektiviteten af solfangeren forøges som følge af low-flow drift. Forøgelsen er målt til 4%. Derfor skal starteffektiviteten yderligere øges med 4%, ligesom varmetabskoefficienten også skal øges med 4%.

Simuleringsprogrammet benytter ikke det egentlige effektivitetsudtryk, men et lineariseret udtryk ved en temperaturdifferens på 50 K. Med ovenstående tilføjelser bliver det endelige udtryk:

$$\eta = 0,74 - 6,01 \cdot (T_m - T_a) / G$$

Effektivitetens vinkelafhængighed i forhold til solindfaldet bestemmes af $a = -0,195$, hvor a indgår i følgende ligning:

$$k_g = 1 + a \cdot (1/\cos(i) - 1)$$

hvor

k_g er indfaldsvinkelkorrektionen

i er indfaldsvinklen

Volumenstrømmen i solfangerkredsen er, ud fra målingerne, bestemt til:

$$v = 0,7 \text{ l/min}$$

Rørene i solfangerkredsen består af 13,3 m 16/12 mm rør fra toppen af solfangeren til lageret (heraf 2,3 m indendørs) og 13,3 m 16/12 mm rør fra lageret til bunden af solfangeren (heraf 2,3 m indendørs). Fremløbsrøret fra solfangeren til lageret er isoleret med 10 mm skum-isolering med en anslået λ -værdi på 0,03 W/m·K. Returrøret fra lageret til solfangeren er uisoleret.

Pumpen i solfangerkredsen har et effektforbrug på 30 W. Solfangerkredsen styres af en differenstermostat med et start/stop-setpunkt på 15/3K.

Lageret:

Lagervolumenet er på 265 l, og kappevolumenet er på 16,5 l. Lageret har en indvendig højde/diameter på 1,494/0,494 m. Lageret er isoleret med ca. 0,080 m PUR-skum på lagerets top og 0,02 mm PUR-skum i bunden. Omkring kappen er der isoleret med 0,037 m PUR-skum. Over kappen er beholderens sider isoleret med 0,05 m PUR-skum. Isoleringens λ -værdi anslås til 0,03 W/m·K.

Der er desuden tillagt en kuldebro i bunden af tanken på 1,5 W/K for at repræsentere rørgennemføringer i isoleringen i bunden af tanken. Parameterstudier har dog vist, at denne kuldebro ikke er af nævneværdig betydning for anlæggets samlede ydelse. Større betydning har til gengæld en ekstra kuldebro i toppen af tanken. Sammenligninger mellem målinger og beregninger, af temperaturen i toppen af lageret, har vist, at der skal tillægges en kuldebro på 0,1 W/K i toppen af tanken. Denne kuldebro er meget lille, hvilket skyldes, at der ikke forekommer rørgennemføringer i toppen af lageret. Kuldebroen er først og fremmest forårsaget af, at el-patronen gennembryder lagertankens isolering.

Lageret er i EDB-modellen inddelt i 37 lag. Kappen starter i lag 13, svarende til ca. 50 cm fra toppen af lageret, og slutter i lag 31, svarende til ca. 20 cm fra bunden. Den supplerende varmevekslerspiral og el-patronen er placeret i lag nr. 10, svarende til ca. 41 cm fra toppen. Herved opnås god overensstemmelse med lagerets faktiske opbygning.

I simuleringerne er anvendt en effekt på 1110 W for suppleringsvarmen. Setpunktet for termostaten er 50°C.

Startværdier for temperaturen i lagertankens forskellige lag er fastlagt ud fra de målte temperaturer.

4.1.4 Validering af EDB-model -

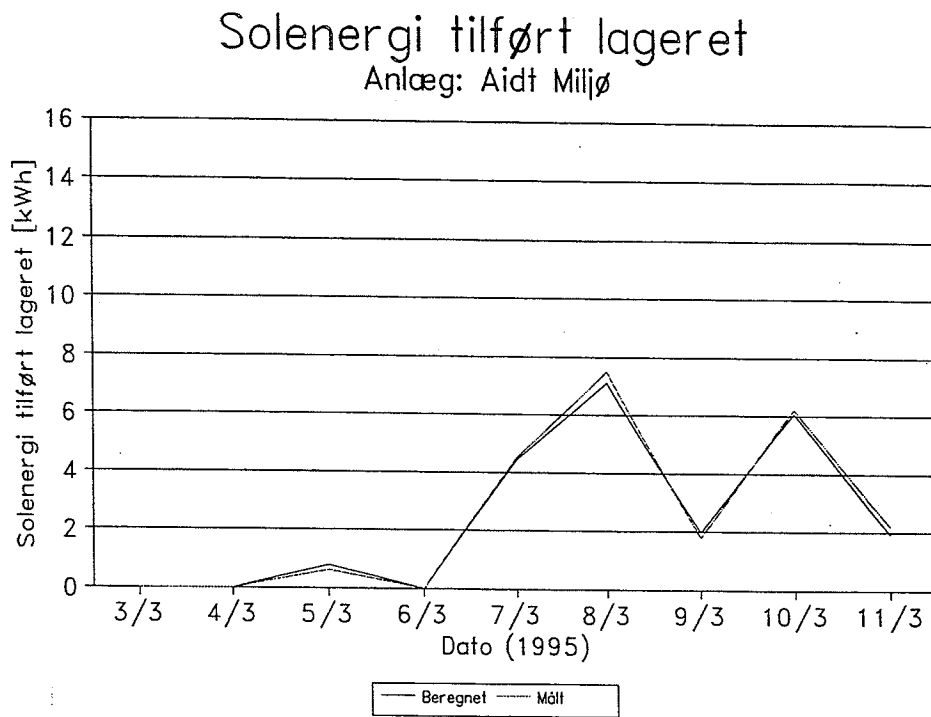
Formålet med valideringen af EDB-modellen er, at udforme en model der svarer så godt til anlægget, at man kan beregne årsydelser. Desuden kan modellen benyttes til at undersøge, hvorledes ændrede anlægsudformninger påvirker ydelsen.

Med de i afsnit 4.1.3 anførte inputdata til simuleringsprogrammet er der gennemført beregninger for to perioder. De to perioder, der er simuleret, er hhv. 2/3-11/3 1995 (vinterperioden) og 5/6-16/6 1995 (sommerperioden), jvf. afsnit 3. Disse to perioder er udvalgt, idet de repræsenterer anlægget med suppleringsvarme fra hhv. varmevekslerspiral og el-patron.

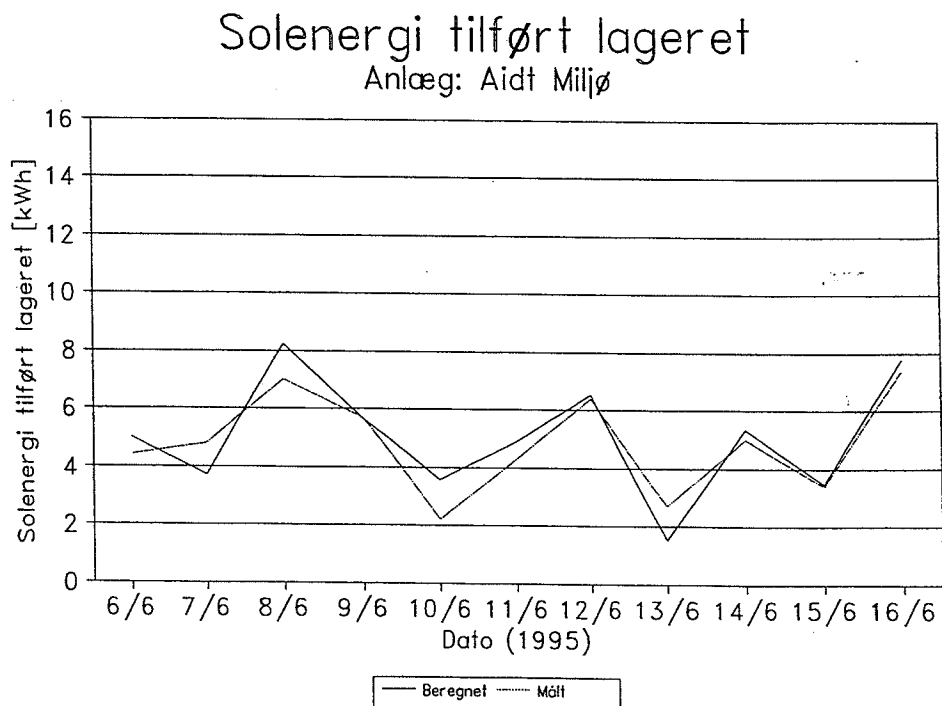
EDB-modellen af anlægget valideres mod målte energistørrelser og temperaturer. Energi-størrelserne er som følger: Solvarme tilført lageret, supplerende varme tilført lageret, energimængde tappet fra lageret og nettoydelse (Nettoydelse₁). Her er nettoydelsen beregnet som energi tappet fra lageret ÷ supplerende energi tilført lageret.

De målte temperaturer der benyttes til valideringen er: Temperatur i toppen af lageret (T7), solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2) og solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3). Angivelserne i paranteserne refererer til signaturerne i figur 4.1.1.

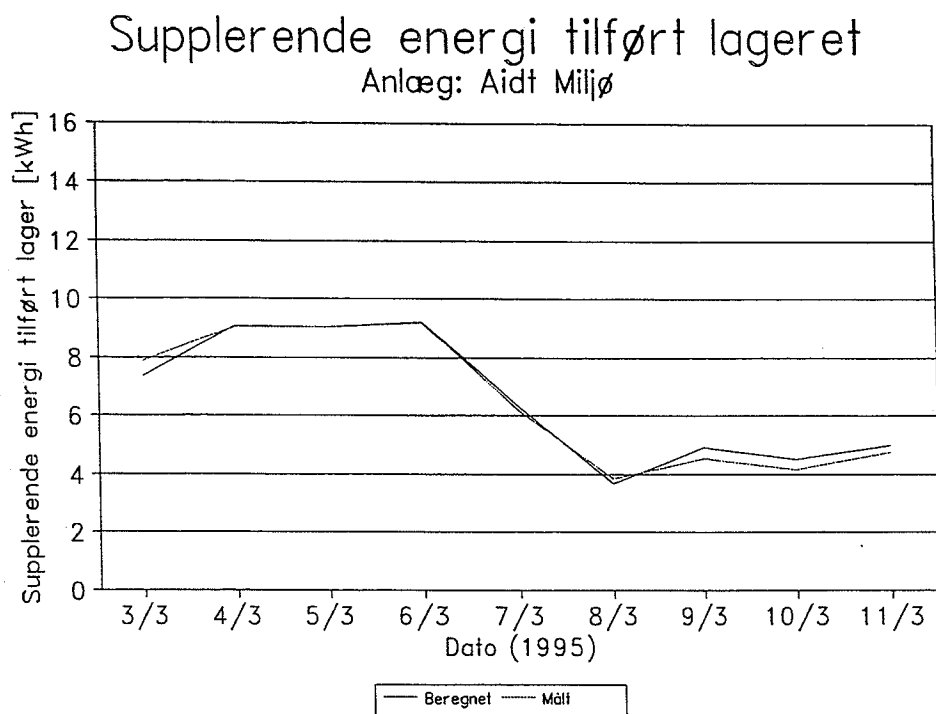
I figur 4.1.4-5 ses den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangeren til lageret i de to perioder. Figur 4.1.6-7 viser den målte og beregnede daglige supplerende energitilførsel til lageret i perioderne. I figur 4.1.8-9 ses den målte og beregnede daglige energimængde tappet fra lageret i begge perioder, mens figur 4.1.10-11 viser den målte og beregnede daglige nettoydelse. Det fremgår, at den første dag i begge perioder ikke er medtaget. Det skyldes, at den første dag benyttes som indsvingningsperiode.



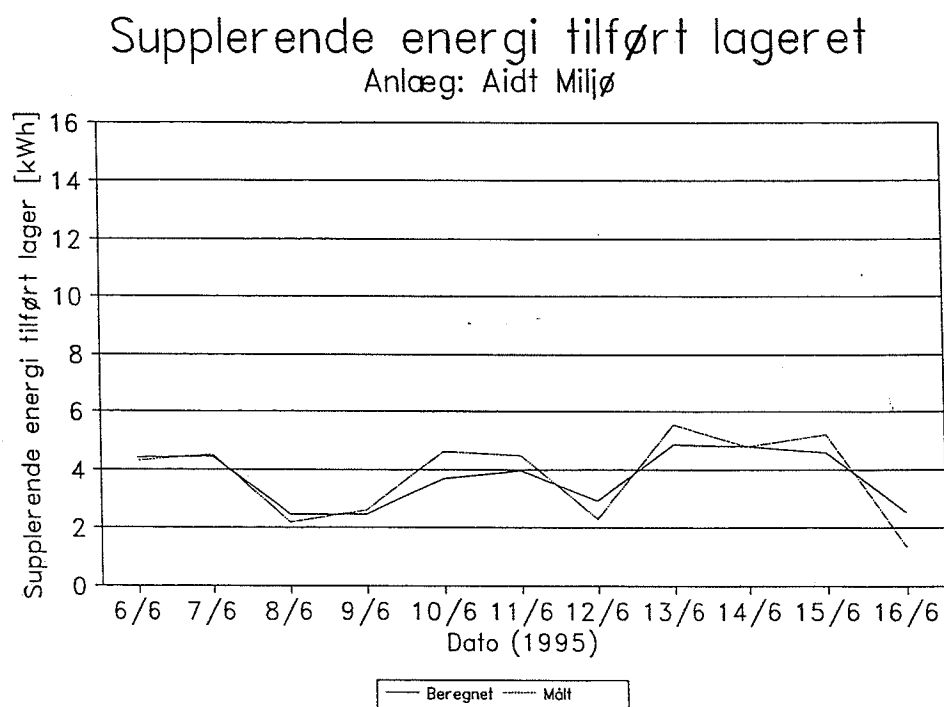
Figur 4.1.4: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i vinterperioden.



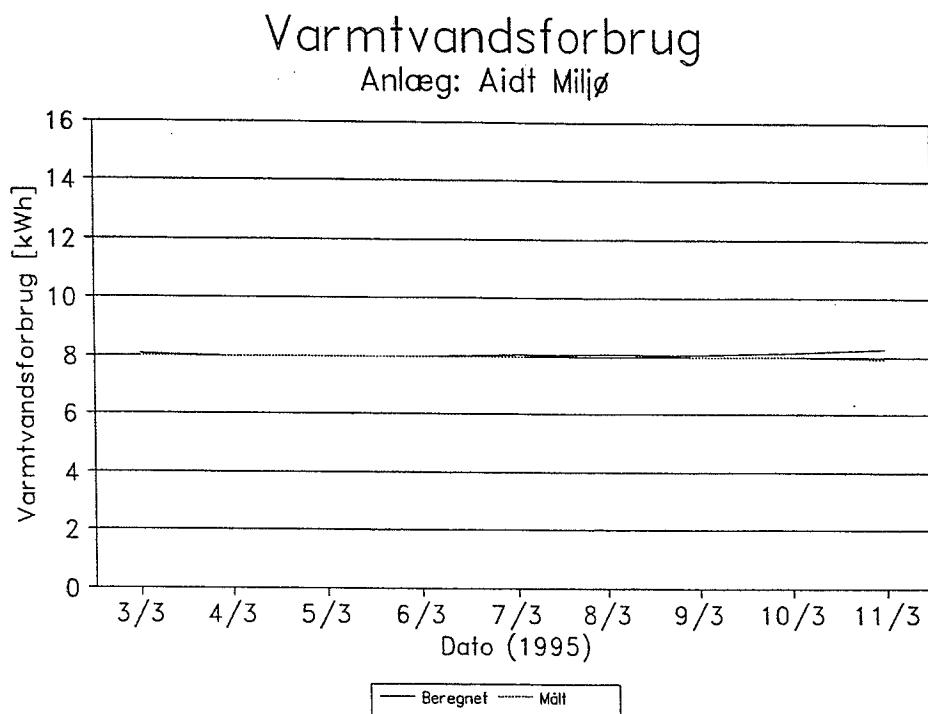
Figur 4.1.5: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i sommerperioden.



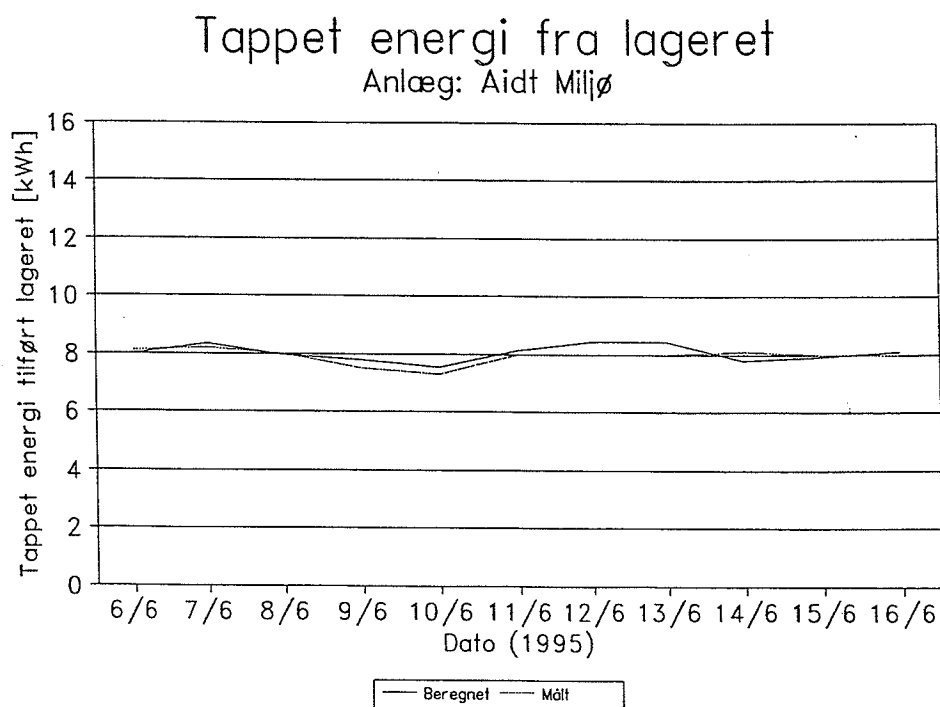
Figur 4.1.6: Supplerende energi tilført lageret i vinterperioden.



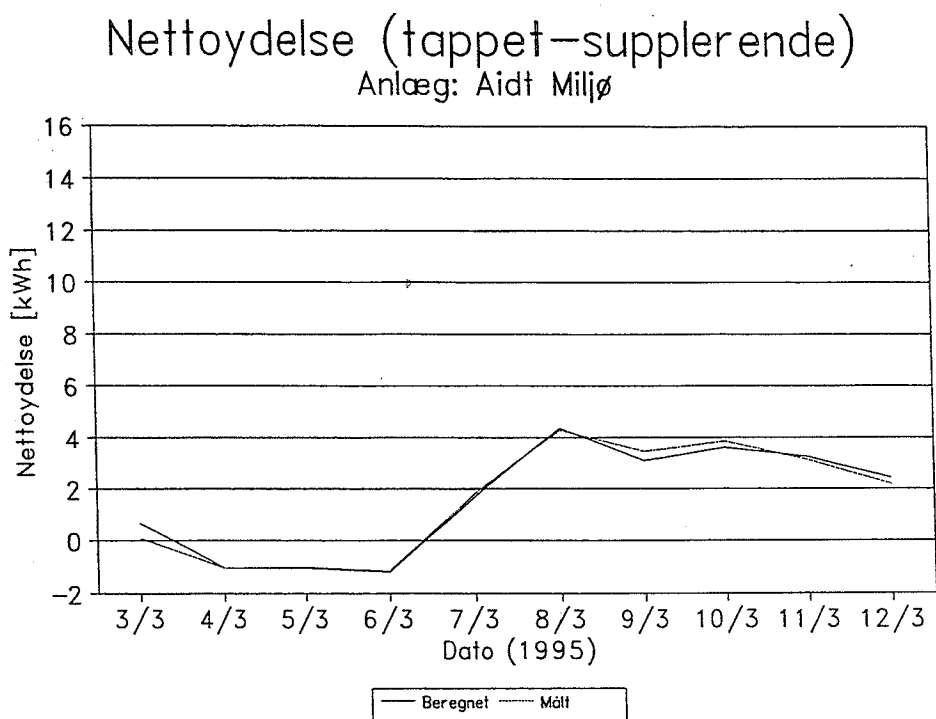
Figur 4.1.7: Supplerende energi tilført lageret i sommerperioden.



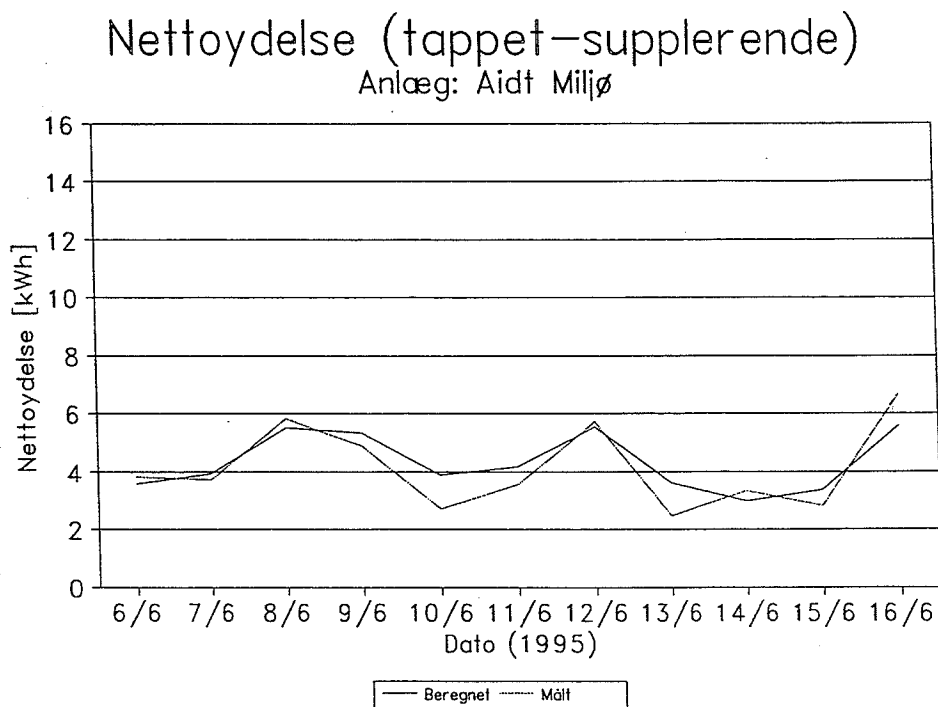
Figur 4.1.8: Energimængde tappet fra lageret i vinterperioden.



Figur 4.1.9: Energimængde tappet fra lageret i sommerperioden.



Figur 4.1.10: Nettoydelse for solvarmeanlægget i vinterperioden.



Figur 4.1.11: Nettoydelsen for solvarmeanlægget i sommerperioden.

Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser. I tabel 4.1.3-4 er energimængderne summeret over perioderne, og det fremgår heraf, at forskellen ligger inden for måleusikkerheden (jvf. afsnit 2).

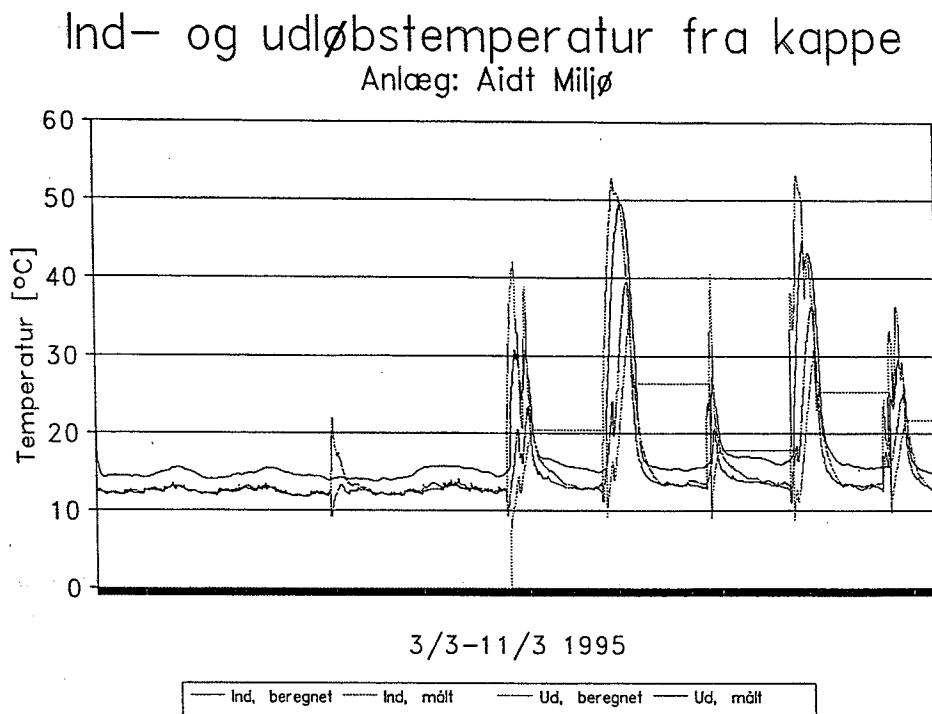
Periode:	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende var- me tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoyddelse1 [kWh]
3/3-11/3 1995				
Målt	22,8	58,6	72,0	13,4
Beregnet	22,3	59,1	72,6	13,5
Afvigelse i%	-2,2	0,9	0,8	0,7

Tabel 4.1.3: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

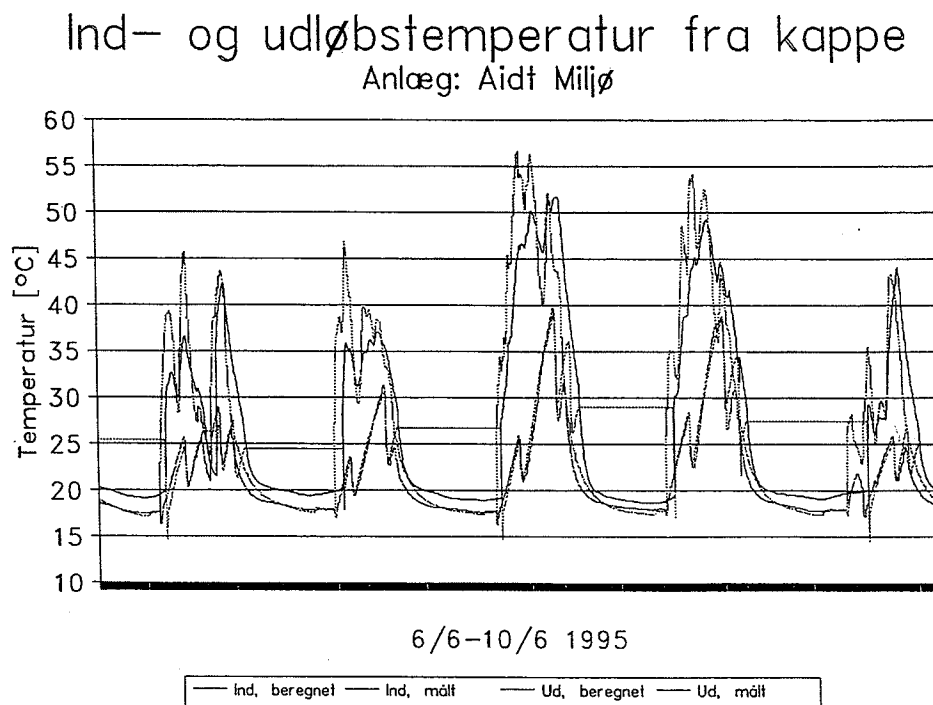
Periode:	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende var- me tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoyddelse1 [kWh]
6/6-16/6 1995				
Målt	53,3	41,8	87,2	45,4
Beregnet	55,4	41,7	88,6	46,9
Afvigelse i%	3,9	-0,2	1,6	3,3

Tabel 4.1.4: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

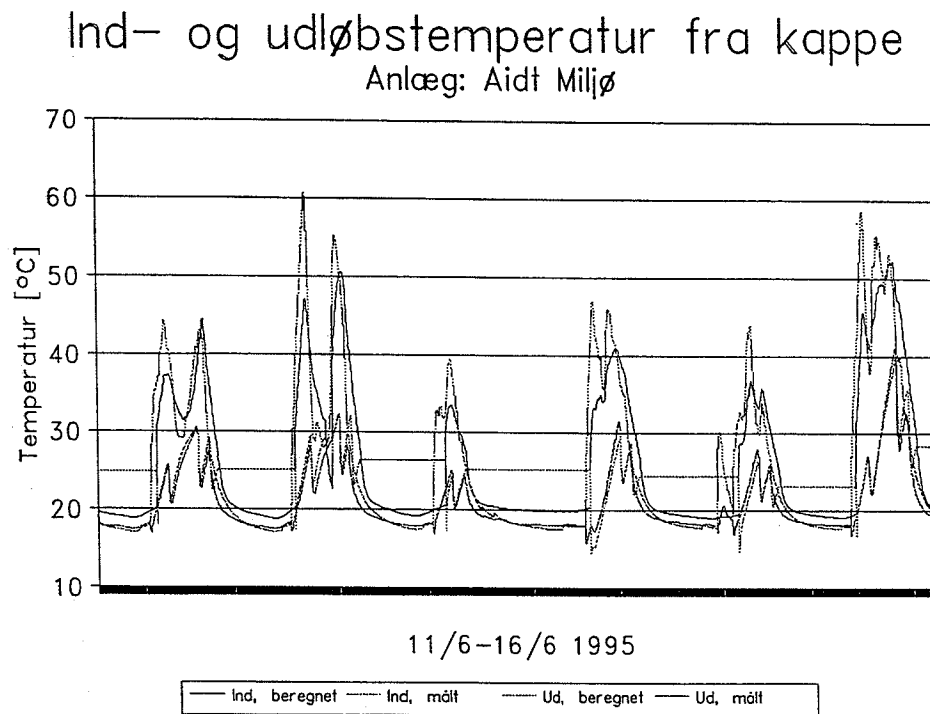
Figur 4.1.12-14 viser fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i de to perioder, mens figur 4.1.15-16 gengiver temperaturen i toppen af lageret. Den beregnede temperatur svarer til temperaturen i lag nr. 4 i lagertanken. Sammenligningen af temperaturerne viser, at temperaturniveauet og dynamikken stemmer godt overens. På grundlag af dette og overensstemmelsen mellem målte og beregnede energimængder vurderes det derfor, at EDB-modellen kan anvendes til simulering af et helt år med referenceåret TRY.



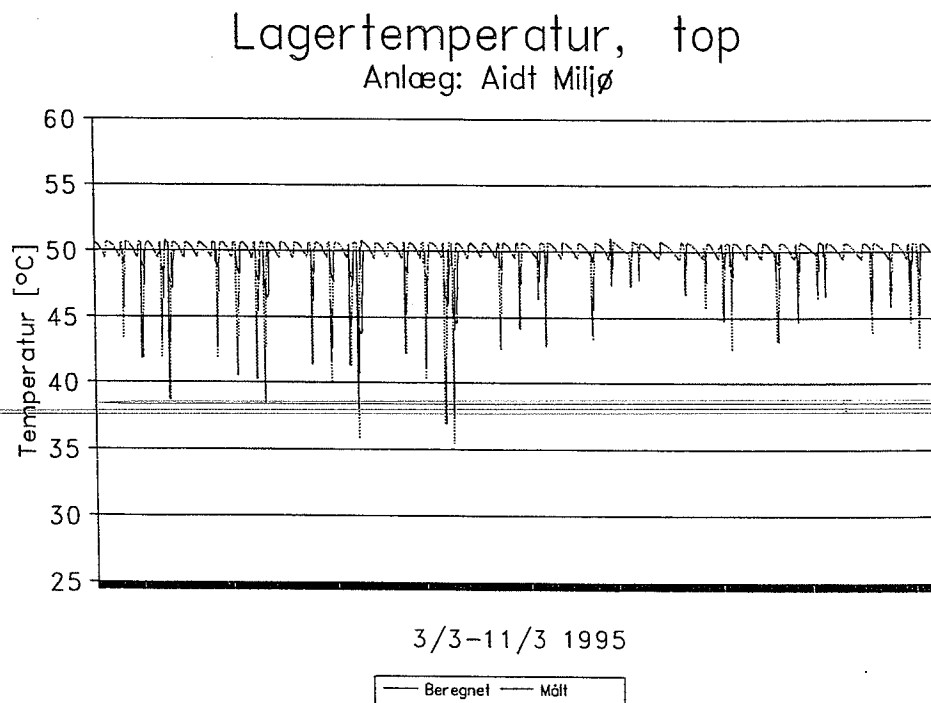
Figur 4.1.12: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i vinterperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



Figur 4.1.13: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i første del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



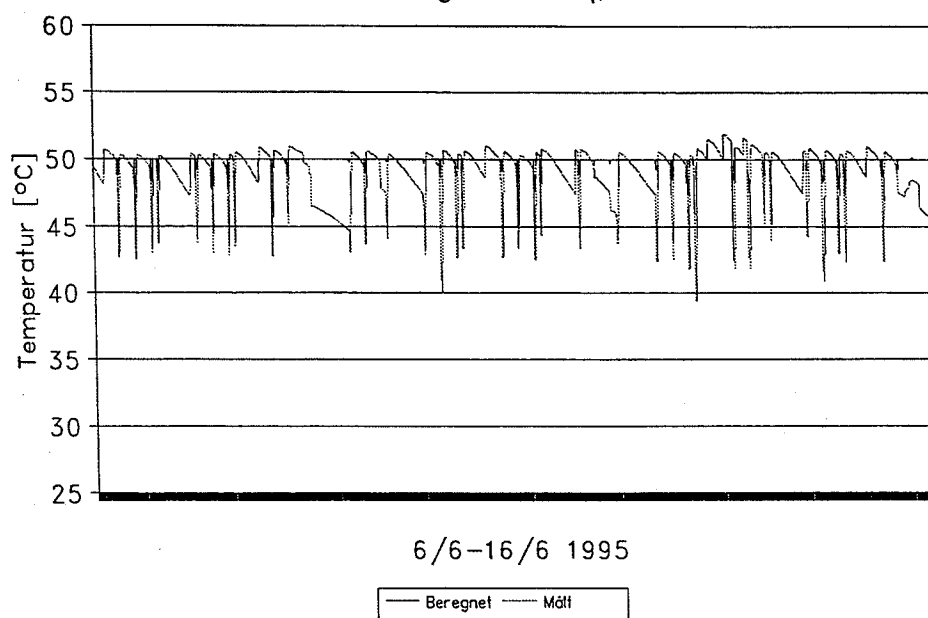
Figur 4.1.14: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i anden del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



Figur 4.1.15: Temperaturen i toppen af lageret i vinterperioden.

Lagertemperatur, top

Anlæg: Aidt Miljø



Figur 4.1.16: Temperaturen i toppen af lageret i sommerperioden.

4.1.5 Årsydelse for anlægget

I følgende beregninger anvendes modellen beskrevet i afsnit 4.1.3 med følgende ændringer: Der tappes 200 l/dag i tre lige store tapninger kl.: 7:00, 12:00 og 19:00. Koldtvandstemperaturen er 10°C og varmtvandstemperaturen er 45°C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5°C. Der tilføres suppleringsvarme fra elpatronen i perioden 9/5-22/9 (begge dage incl.) og fra varmeveksleren i den resterende periode. Disse ændringer svarer til forudsætningerne, som benyttes i forbindelse med bestemmelse af tilskudsydelser for små brugsvandsanlæg /27/.

I tabel 4.1.5 ses de beregnede månedlige værdier for solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energimængde tappet fra lageret, energimængde til pumpe, energimængde til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager-suppleringsvarme), nettoydelse2 (=nettoydelse1÷energiforbrug til pumpe÷ energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

Anlægsydelseerne i tabel 4.1.5 er fundet ved brug af referenceårets vejrdato, som består af timeværdier. I /23/ er det vist, at den beregnede ydelse for low flow anlæg bliver for lille, når solindfaldets fluktuationer ikke tages i betragtning ved ikke at anvende 5-minutværdier for solindfaldet. For dette anlæg, bliver nettoydelsen beregnet ca. 3,9% for lille med referenceårets timeværdier. I bilag 4.1.4 er den ekstra nettoydelse afbildet som funktion af dækningsgrad og varmtvandsforbrug. De 3,9% er bestemt ved at korrigere nettoydelsen for hver måned.

Altså er nettoydelsen, den supplerende varme til lageret og solvarme tilført lageret i tabel 4.1.5 korrigeret ved hjælp af graferne i bilag 4.1.4. Anlægget har en årlig nettoydelse (Nettoydelse1) på **1345 kWh** og en anlægsydelse (Nettoydelse2) på **1296 kWh**. De to ydelser svarer til en dækningsgrad på hhv. **45,7%** og **44,0%**.

Ved sammenligning med de målte resultater i tabel 4.1.2 ses det, at dækningsgraden (dækningsgrad1) er målt 6,9% lavere. Det skyldes først og fremmest, at de supplerende energikilder i forsøgene opvarmer toppen af tanken til en højere temperatur (50°C) end antaget i beregningerne. Derudover er tappemønsteret anderledes, idet det der tappes mindre i aftentimerne og mere ved middagstid, i beregningerne end ved målingerne.

	Solind- fald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresy- stem [kWh]	Netto ydelse1 [kWh]	Netto ydelse2 [kWh]	Dæk- nings- grad1 [%]	Dæk- nings- grad2 [%]
Jan.	129	18	235	250	0,5	0,52	15	14	6,1	5,6
Feb.	286	51	178	226	1,6	0,47	48	46	21,3	20,4
Mar.	360	70	185	250	2,2	0,52	65	62	25,9	24,8
Apr.	646	157	103	242	4,6	0,50	139	134	57,6	55,4
Maj	756	198	67	250	5,7	0,52	183	177	73,3	70,8
Jun.	860	232	37	242	6,5	0,50	205	198	84,9	81,8
Jul.	758	215	50	250	6,3	0,52	200	193	80,0	77,2
Aug.	723	221	51	250	6,2	0,52	199	192	79,5	76,8
Sep.	517	159	95	242	4,8	0,50	147	142	60,9	58,7
Okt.	328	89	165	250	2,5	0,52	85	82	34,0	32,8
Nov	185	38	208	242	1,2	0,50	34	32	14,2	13,2
Dec	165	25	226	250	1,0	0,52	24	22	9,4	8,8
Tot.	5713	1473	1599	2944	43,1	6,1	1345	1296	45,7	44,0

Tabel 4.1.5: Beregnede månedlige energimængder.

Forbedringsmuligheder:

Der er udført beregninger for at undersøge mulighederne for at forbedre anlægget. Alle de nedenstående modeludformninger refererer til ændringer af det nuværende anlæg:

Model 0: Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Model 1: Fremløbsrøret fra lageret til solfangeren isoleres med 10 mm skumisolering.

Model 2: Fremløbsrøret fra lageret til solfangeren isoleres med 10 mm skumisolering.
Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Tabel 4.1.6 viser resultaterne af parametervariationerne.

Model	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Nettoy-delse1 [kWh]	Nettoy-delse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Ref.	5713	1473	1599	2944	43,1	6,1	1345	1296	45,7	44,0
0	5713	1468	1575	2944	43,0	6,1	1369	1320	46,5	44,8
1	5713	1505	1575	2944	43,7	6,1	1369	1319	46,5	44,8
2	5713	1501	1551	2944	43,6	6,1	1393	1343	47,3	45,6

Tabel 4.1.6: Beregnede årlige energimængder for de forskellige udformninger af anlægget. Ref. svarer til anlægget som det står nu.

Model 0: Det ses, at alene ved at fjerne kuldebroen i toppen af tanken, forøges anlægsydelsen (nettoy-delse 2) ca. 2%.

Model 1: Hvis fremløbsrøret i solfangerkredsen isoleres med 10 mm skumisolering, forøges anlægsydelsen (nettoy-delse2) med ca. 2%.

Model 2: Hvis fremløbsrøret i solfangerkredsen isoleres med 10 mm skumisolering, og kuldebroen i toppen af lagertanken fjernes, forøges anlægsydelsen (nettoy-delse2) med knap 4%.

Den mest effektive forbedring af anlægget består altså i, at isolere returløbsrøret fra lageret til solfangeren i solfangerkredsen og fjerne kuldebroen i toppen af tanken. Herved kan anlægsydelsen forøges knap 4%.

Det kan slutteligt bemærkes, at den her beregnede nettoydelse for anlægget, som det står nu i prøvestanden, er mindre end beregnet i /1/. Det skyldes, at korrektionen af solfangereffektiviteten for low flow drift og for lavt glykolindhold i solfangervæsken er bestemt forskelligt. I /1/ er der korrigeret for de to effekter ved at forhøje solbestrålingsstyrken. I nærværende rapport er solfangerens effektivitetsudtryk korrigeret. Da der er en forskel i de to metoder, medfører det forskellige resultater. Årsagen til den reducerede anlægsydelse er sandsynligvis, at dæklaget igennem de sidste par år er blevet snavset, hvorfor ydelsen naturligvis nedsættes. Derudover er volumenstrømmen i solfangerkredsen blevet mindre med tiden. I /1/ er volumenstrømmen bestemt til knap 1 l/min, hvorimod anlægget nu kører med en volumenstrøm på ca. 0,7 l/min. En beregning med den højere volumenstrøm viste, at anlæggets ydelse reduceres ca. 1% på grund af den mindskede volumenstrøm i solfangerkredsen.

4.1.6 Driftserfaringer og sammenfatning

Anlægget har kørt uden problemer i måleperioden.

Ydelsen har, sammenlignet med første år i prøvestanden, været lidt mindre i måleperioden i 1995. Det skyldes sandsynligvis, at volumenstrømmen i solfangerkredsen er blevet mindre, samt at solfangernes dæklag er blevet beskidte.

Hvis anlægget yderligere skal forbedres, foreslås det, at lagertanken isoleres grundigt omkring el-patronen, og at fremløbsrøret fra lagertanken til solfangeren isoleres med f.eks 10 mm skumisolering. Herved kan anlægsydelsen forøges med knap 4%.

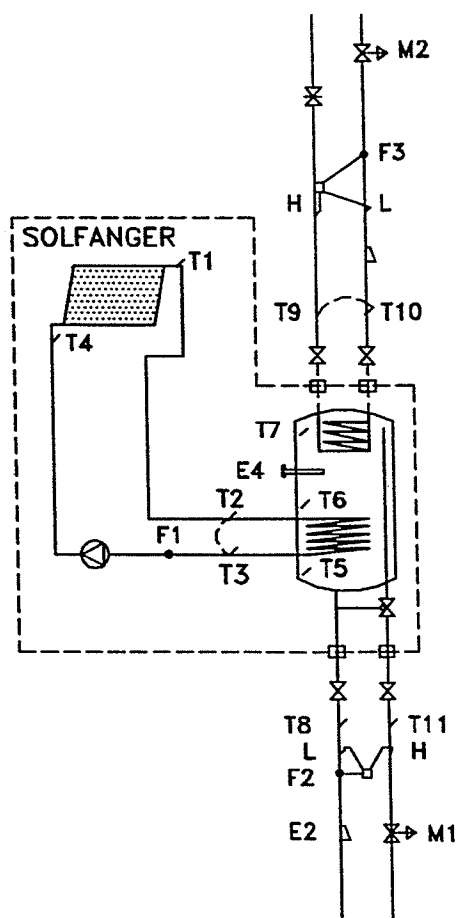
4.2 Anlæg 2: Dansk Solvarme A/S

4.2.1 Opbygning

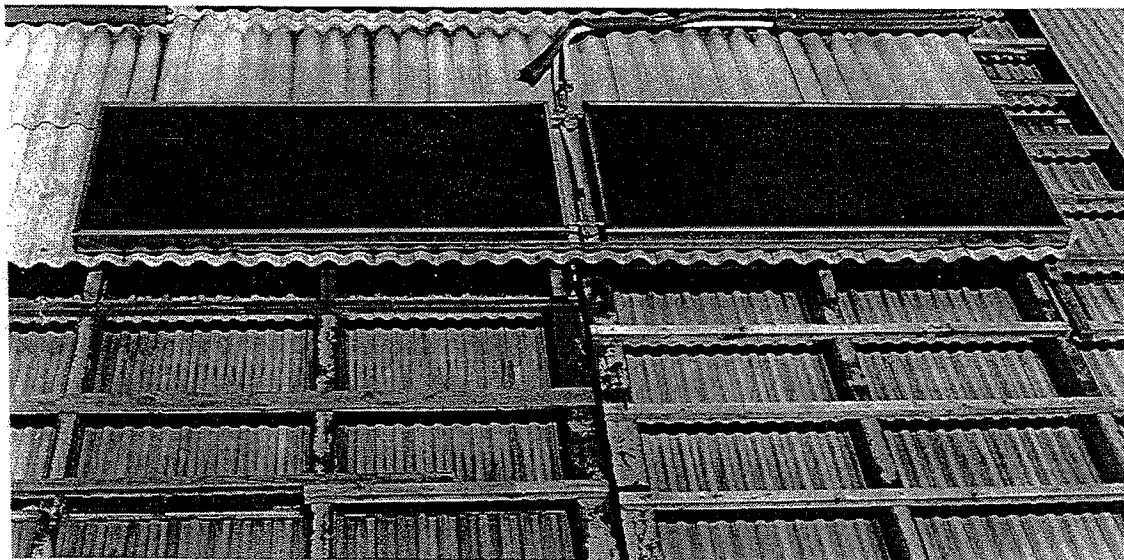
Solvarmeanlægget er opført i prøvestanden i januar 1995 af Dansk Solvarme A/S. Anlægget blev markedsført i Danmark af Dansk Solvarme A/S.

Anlægget består af to solfangerpaneler (Type Dansol 2) med et samlet transparent areal på 4,02 m², samt en lagertank på 280 l. Solfangeren er installeret på en 45° hældende flade orienteret stik syd. Datablade for solfangeren ses i bilag 4.2.1.

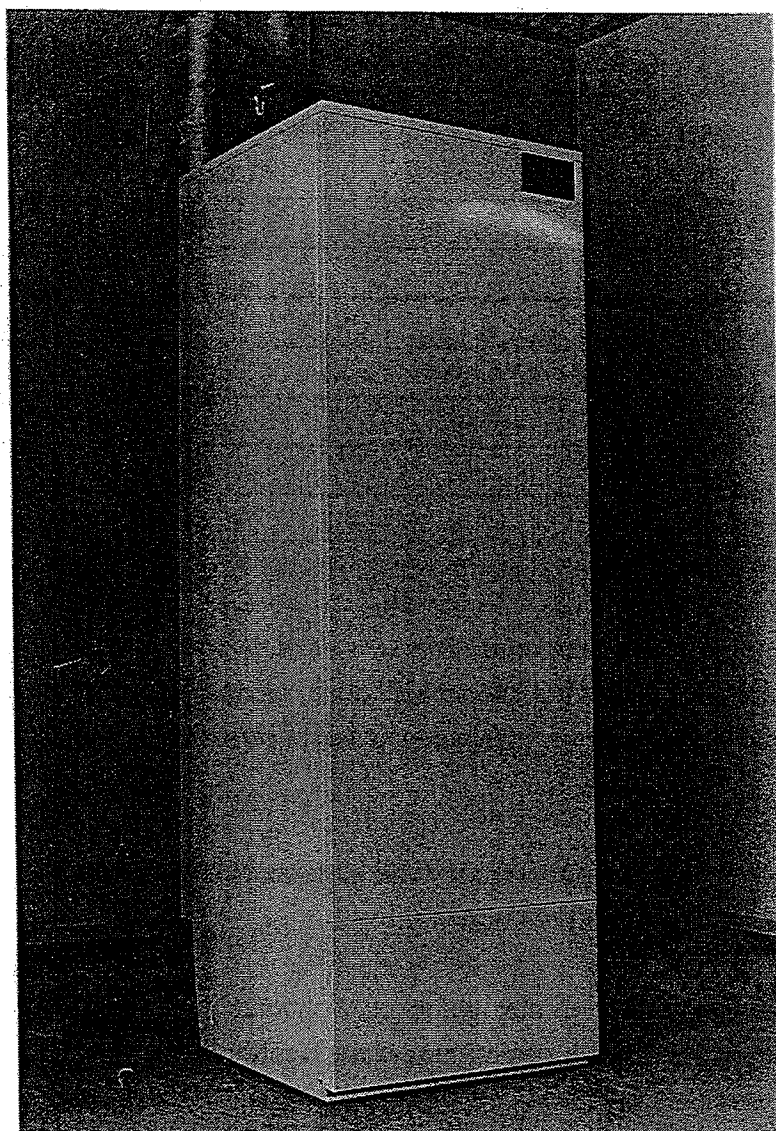
Lagertanken (Nilan, SV300 Combi) er en lodretstående cylindrisk stålbeholder med to varmevekslerspiraler til hhv. solvarme og suppleringsvarme fra f.eks. et fyr. Endvidere er varmetanken forsynet med en el-varmestav til brug i sommerperioder. Beholderen er isoleret med hårdt polyurethanskum og indbygget i et stålkabinet. Datablade for lagertanken er vist i bilag 4.2.2.



Figur 4.2.1: Principskitse med målepunkter af anlægget fra Dansk Solvarme A/S.



Figur 4.2.2: Solfangerpanelerne på solfangerstativet.



Figur 4.2.3: Solvarmeanlæggets varmelager.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 13,3 m fremløbsrør og 11,3 m returrør (heraf 2 x 2,3 m indendørs). Rørene er 15/13 mm kobberør, der er isoleret med 10 mm skumisolering. Solfangerkredsen er forsynet med en Grundfos cirkulationspumpe (Type UPS 25-40), som igennem hele måleperioden har kørt på trin 1. Cirkulationspumpen styres af en differenstermostat, der måler temperaturforskellen mellem udløbstemperaturen fra solfangeren og temperaturen i bunden af lagertanken. Differenstermostaten har et start/stop-setpunkt på 10/0,1 K.

I figur 4.2.1 ses en principskitse af anlægget. Figur 4.2.2 og 4.2.3 viser fotos af anlæggets solfanger og varmelager.

4.2.2 Måledata

I figur 4.2.1 er målepunkterne i anlægget vist.

Målepunkt	Angivelse i figur 4.2.1	Afstand fra bund af tank (mm)
1	T5	77
2	-	268
3	-	475
4	T6	684
5	-	891
6	-	1100
7	T7	1306

Tabel 4.2.1: Placering af temperaturfølere i lagertank.

Der er syv målepunkter i tanken. Målepunkterne er anbragt i en glasstav, som er indført i tanken gennem toppen. Målepunkterne 1,4 og 7 registreres hele tiden, mens punkterne 2,3, 5 og 6 kan udtages midlertidigt. Målepunkterne i tanken er placeret som angivet i tabel 4.2.1.

Cirkulationspumpens og styresystemets effektforbrug blev i en periode målt til hhv. 25 W og 2,6 W. El-patronens effektforbrug blev målt til 1200 W.

I tabel 4.2.2 er følgende målte månedlige værdier gengivet: Solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lager, energiforbrug til pumpe, energiforbrug til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager÷supplerings-

varme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme÷energiforbrug til pumpe÷energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

Måned	Solindfald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Netto- ydelse1 [kWh]	Netto- ydelse2 [kWh]	Dæk- nings- grad1 [%]	Dæk- nings- grad2 [%]
Jan.	59	16	135	133	1,3	1,00	-2	-4	-1,5	-3,0
Feb.	144	49	191	210	2,1	1,75	19	15	9,0	7,1
Mar.	273	108	138	213	3,5	1,75	75	70	35,2	32,9
Apr.	457	181	101	240	5,5	1,87	139	132	57,9	55,0
Maj	620	229	60	239	7,2	1,93	179	170	74,9	71,1
Jun.	549	227	59	236	8,3	1,87	177	167	75,0	70,8
Jul.	707	286	15	241	8,9	1,93	226	215	93,8	89,2
Aug.	740	291	11	243	8,0	1,93	232	222	95,5	91,4
Sep.	336	134	110	217	4,0	1,87	107	101	49,3	46,5
Okt.	302	119	146	238	4,1	1,93	92	86	38,7	36,1
Nov	156	56	205	229	1,6	1,87	24	21	10,5	9,2
Dec	101	38	248	246	1,2	1,93	-2	-5	-0,8	-2,0
Tot.	4444	1734	1419	2685	55,7	21,65	1266	1189	47,2	44,3

Tabel 4.2.2: Målte månedsværdier for anlægget (1995).

Følgende dage foreligger der ikke data (begge dage incl.):

Januar: 1-15

Marts: 13-15

Det ses af målingerne, at anlægget i måleperioden i 1995 har haft en anlægsydelse (Nettoydelse2) på 1189 kWh med en dækningsgrad på 44,3 %. Der er ikke alle dage, som tilstræbt, tappet 8 kWh.

4.2.3 EDB-model af solvarmeanlægget

Til bestemmelse af årlige ydelser samt forbedringsmuligheder for solvarmeanlægget er en EDB-model af anlægget udformet. Modellen bruges i et detaljeret simuleringsprogram udviklet i /21/.

Modellen valideres med målte data fra to perioder: 2/3-11/3 1995 og 5/6-16/6 1995, jvf. afsnit 3. I vinterperioden anvendes varmevekslerspiralen til suppleringsvarme. I sommerperioden anvendes el-patronen til suppleringsvarme. I det følgende er input til EDB-modellen beskrevet:

Solfangerkredsen:

Effektivitetsudtrykket for solfangeren er målt på Laboratoriet for Varmeisolering, DTU til /15/:

$$\eta = 0,79 - 4,75 \cdot (T_m - T_a) / G - 0 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$$

hvor

η	er solfangereffektiviteten	[-]
T_m	er middel væsketemperatur	[°C]
T_a	er lufttemperaturen	[°C]
G	er bestrålingsstyrken på solfangeren	[W/m ²]

Prøvningen er udført under standardbetingelser (ISO 9806-1.2) med en lufthastighed over solfangeren på 5 m/s. Denne lufthastighed er meget større end det, gennemsnitslufthastigheden normalt er udendørs. Derfor er effektivitetsudtrykket korrigeret, til et udtryk svarende til en lufthastighed på 2 m/s, på baggrund af ligningerne i /24, side 108-109/. Korrektionen reducerer solfangerens varmetab til 95,8% af det oprindelige varmetab. Herved fremkommer følgende effektivitetsudtryk for solfangeren:

$$\eta = 0,79 - 4,55 \cdot (T_m - T_a) / G - 0 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$$

Simuleringsprogrammet benytter ikke det egentlige effektivitetsudtryk, men et lineariseret udtryk ved en temperaturdifferens på 50 K (dette har dog ingen betydning ved denne solfanger idet den temperaturafhængige varmetabskoefficient er lig 0). Således bliver det endelige udtryk:

$$\eta = 0,79 - 4,55 \cdot (T_m - T_a) / G$$

En sammenligning mellem målinger og beregninger viste dog, at solfangeren ikke kunne have dette effektivitetsudtryk, idet den beregnede energimængde overført fra solfanger til lageret var alt for lille i forhold til den målte energimængde. Årsagen kunne være, at solfangereffektiviteten var målt med opretstående solfangerpaneler, hvorimod solfangerpanelerne er vandretliggende i forsøgsopstillingen. Prøvestationen for Solenergi, DTI har målt solfangereffektiviteten, for denne solfanger, med vandretliggende paneler til (jvf. bilag 4.2.1):

$$\eta = 0,82 - 3,85 \cdot (T_m - T_a)/G - 0,014 \cdot (T_m - T_a)^2/G$$

Når dette udtryk korrigeres for vindhastighed og lineariseres ved en temperaturdifferens på 50 K, fås det i simuleringerne anvendte udtryk:

$$\eta = 0,82 - 4,35 \cdot (T_m - T_a)/G$$

Effektivitetens vinkelafhængighed i forhold til solindfaldet bestemmes af $a=4,2$, hvor a indgår i følgende ligning:

$$k_g = 1 - (\tan(i/2))^a$$

hvor

k_g er indfaldsvinkelkorrektionen
 i er indfaldsvinklen

Væsken i solfangerkredsen er en propylenglycol/vand-blanding med hhv. 22 vægt% propylenglycol (vinter) og 26 vægt% propylenglycol (sommer).

Volumenstrømmen i solfangerkredsen er, ud fra målingerne, bestemt til:

$$v = 0,8 + 0,02 \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

v er volumenstrømmen i solfangerkredsen [l/min]
 T_{bund} er temperaturen i bunden af lagertanken [°C]

Rørene i solfangerkredsen består af 13,3 m 15/13 mm rør fra toppen af solfangeren til lageret (heraf 2,3 m indendørs) og 11,3 m 15/13 mm rør fra lageret til bunden af solfangeren (heraf 2,3 m indendørs). Rørene er isoleret med 10 mm isolering med en anslået λ -værdi på $0,025 + 0,0001 \cdot T_{\text{rør}}$ W/m·K. Da rørene enkelte steder er særdeles mangelfuldt isoleret, er der tillagt en samlet kuldebro i rørkredsen udendørs på 5,6 W/K.

Pumpen i solfangerkredsen har et effektforbrug på 25 W. Solfangerkredsen styres af en differenstermostat med et start/stop-setpunkt på 10/0,1K.

Lageret:

Lageret er på 280 l med en indvendig højde/diameter på 1,461/0,494 m. Lageret er isoleret med 0,05 m, 0,07 m og 0,02 m PUR-skum på hhv. lagerets sider, top og bund. Isoleringens λ -værdi anslås til $0,025 + 0,0001 \cdot T_{\text{lager}}$ W/m·K. Der er desuden tillagt en kuldebro i bunden af tanken på 0,2 W/K for at repræsentere rørgennemføringer i isoleringen. Parameterstudier

har dog vist, at denne kuldebro ikke er af nævneværdig betydning for anlæggets samlede ydelse. Større betydning har til gengæld en ekstra kuldebro i toppen af tanken. Sammenligninger mellem målinger og beregninger, af temperaturen i toppen af lageret, har vist, at der skal tillægges en kuldebro på 0,7 W/K i toppen af tanken. Årsagen til denne forholdsvis store kuldebro, kan være, at el-patronen gennembryder tankens isolering.

Varmeoverføringsevnen for solkredsens spiral i lagertanken er bestemt ud fra teori udviklet i /26/ til:

$$H = 26,5 + 4,931 \cdot \ln \Delta T + (1,839 + 0,269 \cdot \ln \Delta T) \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

H	er varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen	[W/K]
T_{bund}	er temperaturen af vandet som omgiver spiralen	[°C]
ΔT	er differensen mellem solfangervæskens fremløbstemperatur til beholderen og T_{bund}	[K]

En sammenligning af målte og beregnede temperaturer i solfangerkredsen viste dog, at varmevekslerspiralen i solfangerkredsen ikke kunne have ovenstående varmeoverførings-ejne. En bedre overensstemmelse fremkom, når de fire konstanter blev forhøjet med 50 %. Der er ikke fundet en forklaring på dette. Ved at forhøje de fire konstanter med 50 % fremkom følgende udtryk for varmeoverføringsevnen:

$$H = 39,8 + 7,397 \cdot \ln \Delta T + (2,758 + 0,404 \cdot \ln \Delta T) \cdot T_{\text{bund}}$$

Lageret er i EDB-modellen inddelt i 14 lag. Solkredsens varmevekslerspiral er placeret i det nederste lag, mens den supplerende varmevekslerspiral og el-patronen er placeret i det tredje øverste lag. Herved opnås god overensstemmelse med lagerets faktiske opbygning.

I simuleringerne er anvendt en effekt på 1200 W for suppleringsvarmen. Setpunktet for termostaten er 50°C.

Startværdier for temperaturen i lagertankens forskellige lag er fastlagt ud fra de målte temperaturer.

4.2.4 Validering af EDB-model

Formålet med valideringen af EDB-modellen er, at udforme en model der svarer så godt til anlægget, at man kan beregne årsydelse. Desuden kan modellen benyttes til at undersøge, hvorledes ændrede anlægsudformninger påvirker ydelsen.

Med de i afsnit 4.2.3 anførte inputdata til simuleringsprogrammet er der gennemført beregninger for to perioder. De to perioder, der er simuleret, er hhv. 2/3-11/3 1995 (vinterperioden) og 5/6-16/6 1995 (sommerperioden), jvf. afsnit 3. Disse to perioder er udvalgt, idet de repræsenterer anlægget med suppleringsvarme fra hhv. varmevekslerspiral og el-patron.

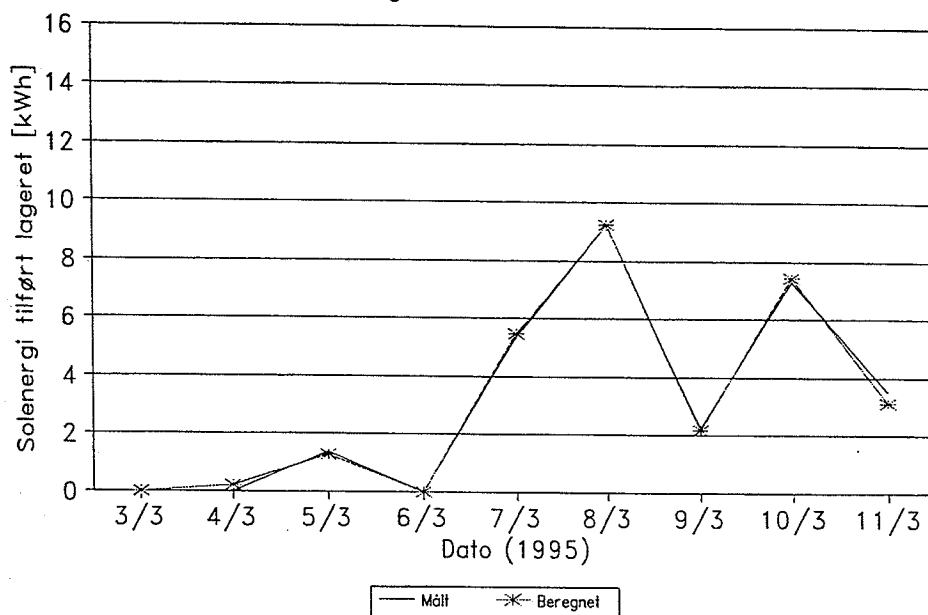
EDB-modellen af anlægget valideres mod målte energistørrelser og temperaturer. Energi-størrelserne er som følger: Solvarme tilført lageret, supplerende varme tilført lageret, energimængde tappet fra lageret og nettoydelse (Nettoydelse1). Her er nettoydelsen beregnet som energi tappet fra lageret ÷ supplerende energi tilført lageret.

De målte temperaturer der benyttes til valideringen er: Temperatur i toppen af lageret (T7), solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2) og solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3). Angivelserne i paranteserne refererer til signaturerne i figur 4.2.1.

I figur 4.2.4-5 ses den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangeren til lageret i de to perioder. Figur 4.2.6-7 viser den målte og beregnede daglige supplerende energitilførsel til lageret i perioderne. I figur 4.2.8-9 ses den målte og beregnede daglige energimængde tappet fra lageret i begge perioder, mens figur 4.2.10-11 viser den målte og beregnede daglige nettoydelse. Det fremgår, at den første dag i begge perioder ikke er medtaget. Det skyldes, at den første dag benyttes som indsvingningsperiode.

Solenergi tilført lageret

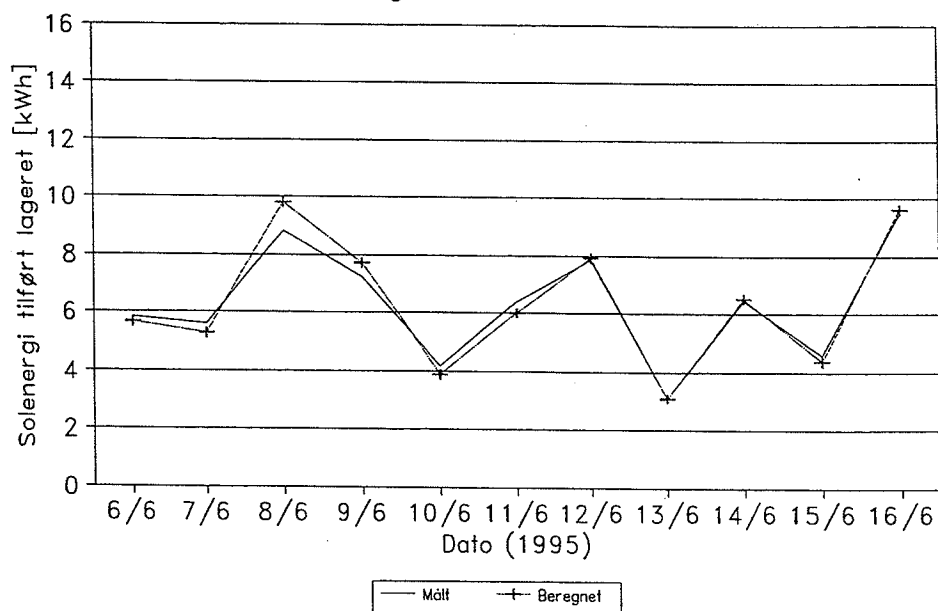
Anlæg: Dansk solvarme



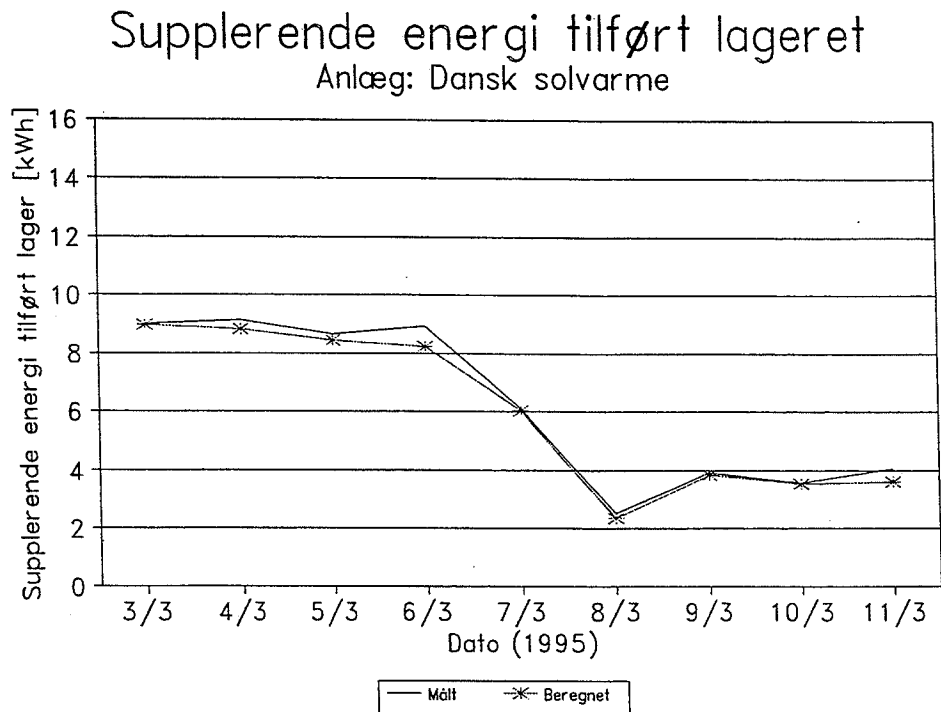
Figur 4.2.4: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i vinterperioden.

Solenergi tilført lageret

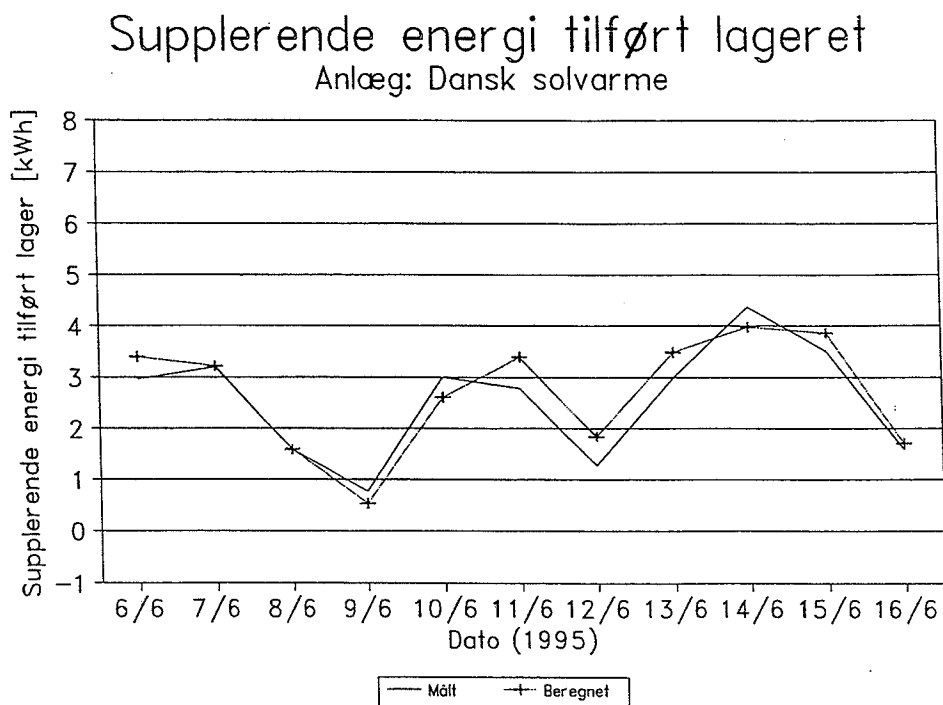
Anlæg: Dansk solvarme



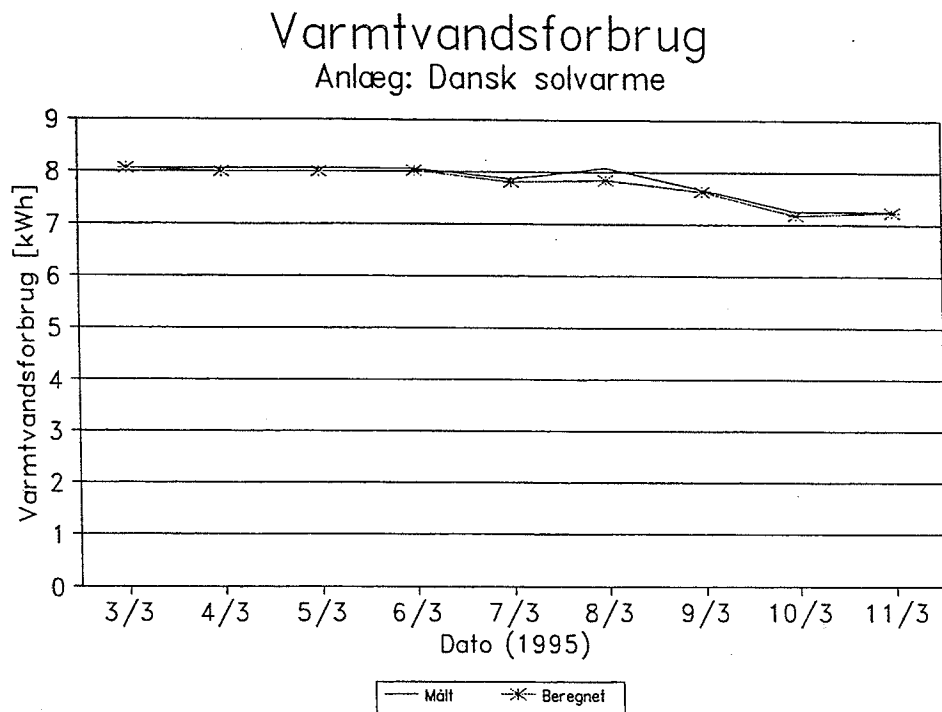
Figur 4.2.5: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i sommerperioden.



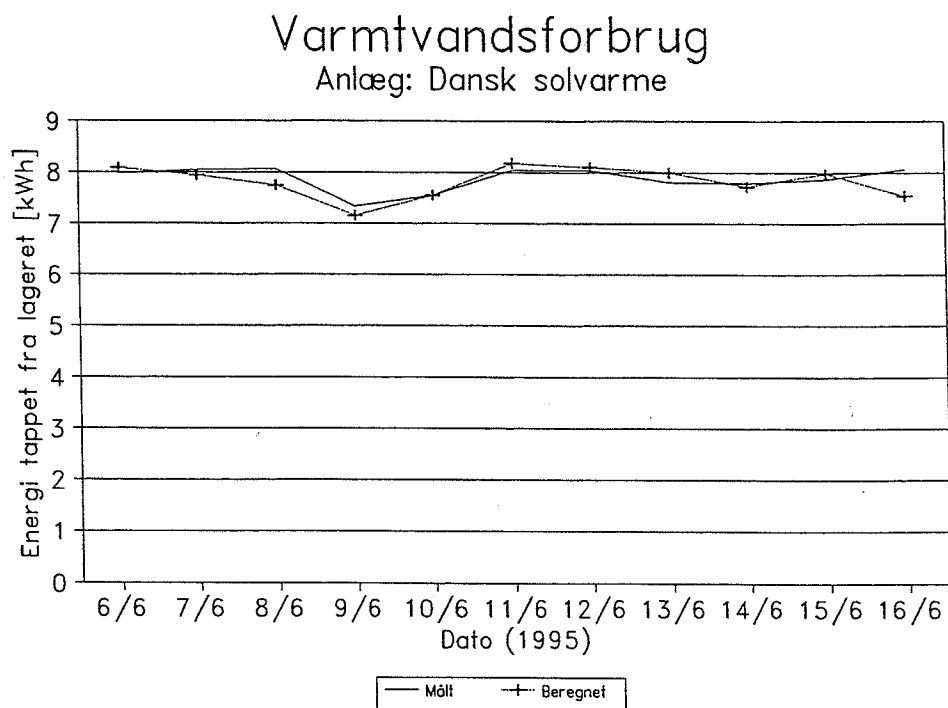
Figur 4.2.6: Supplerende energi tilført lageret i vinterperioden.



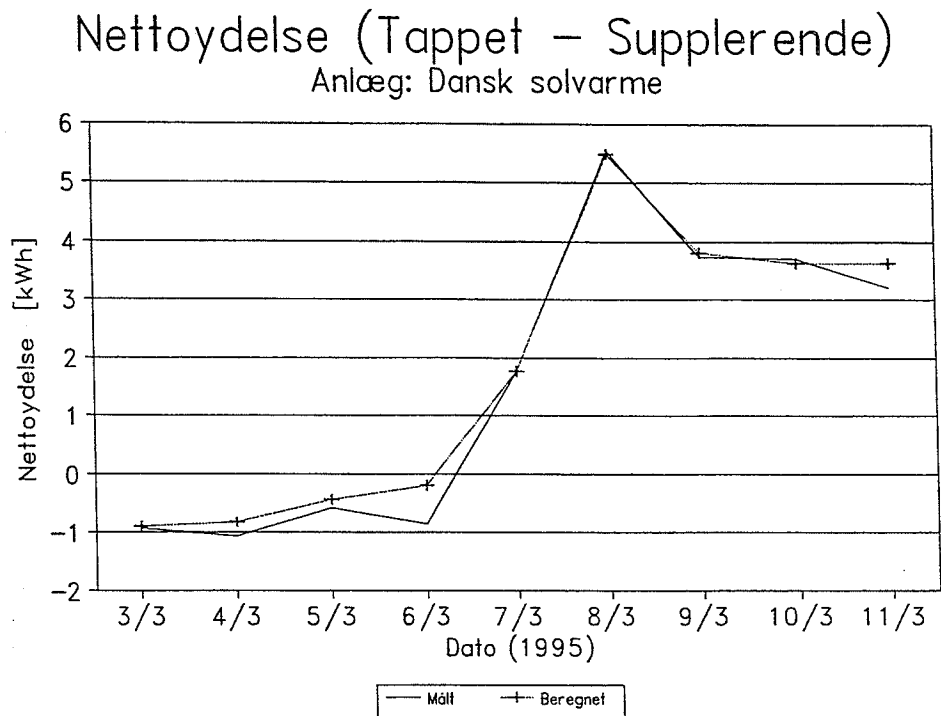
Figur 4.2.7: Supplerende energi tilført lageret i sommerperioden.



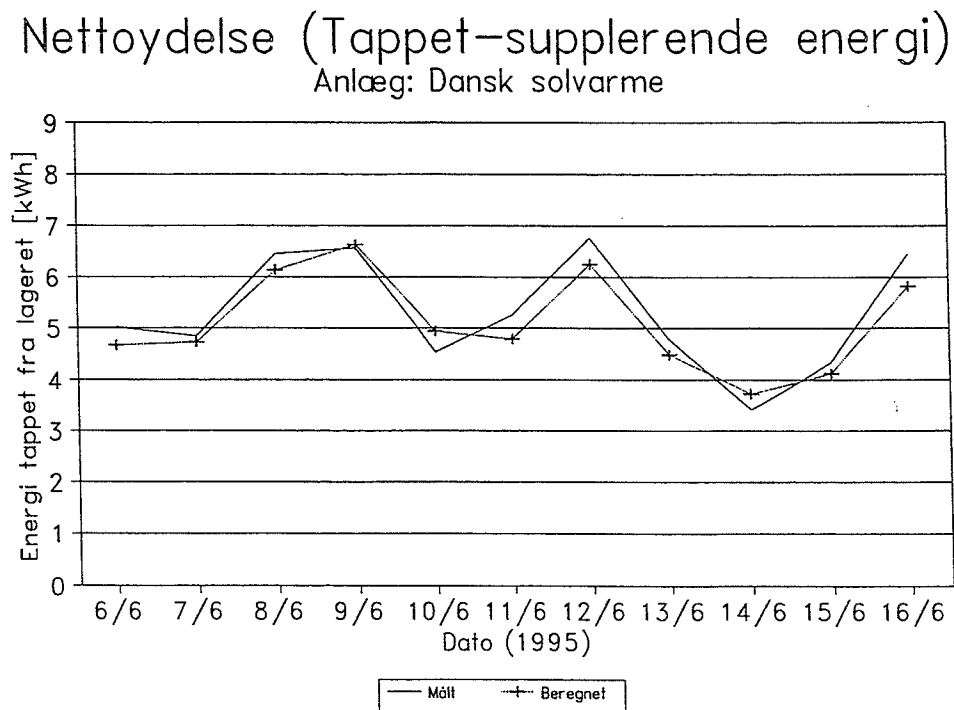
Figur 4.2.8: Energimængde tappet fra lageret i vinterperioden.



Figur 4.2.9: Energimængde tappet fra lageret i sommerperioden.



Figur 4.2.10: Nettoydelse for solvarmeanlægget i vinterperioden.



Figur 4.2.11: Nettoydelsen for solvarmeanlægget i sommerperioden.

Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser. I tabel 4.2.3-4 er energimængderne summeret over perioderne, og det fremgår heraf, at forskellen ligger inden for måleusikkerheden (jvf. afsnit 2).

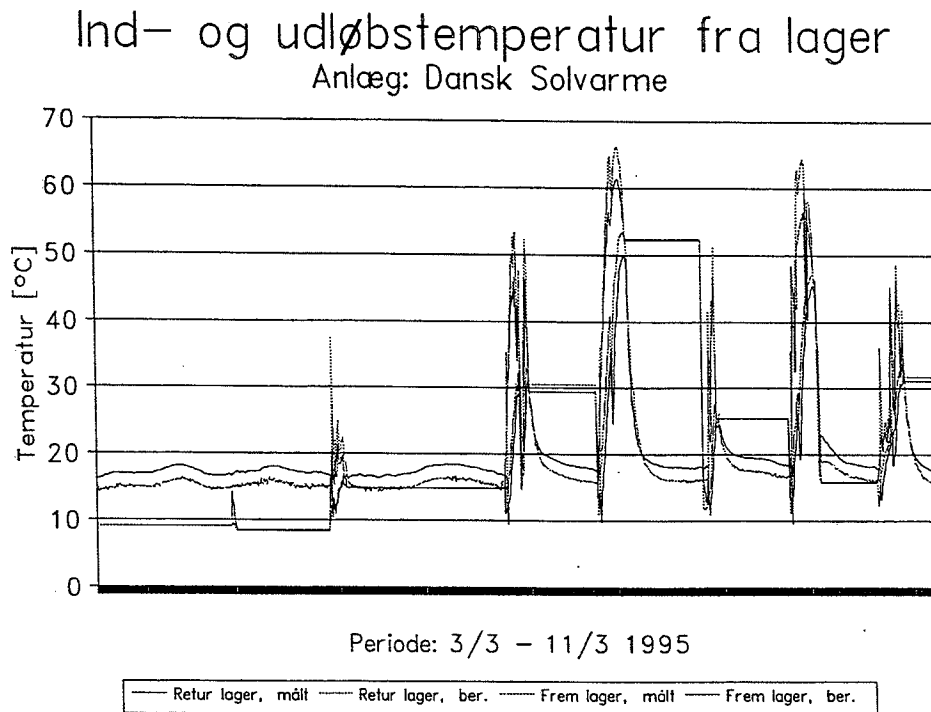
Periode:	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende var- me tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
3/3-11/3 1995				
Målt	29,0	55,8	70,3	14,5
Beregnet	28,9	54,8	69,7	14,9
Afvigelse i %	0,3	1,8	0,8	2,8

Tabel 4.2.3: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

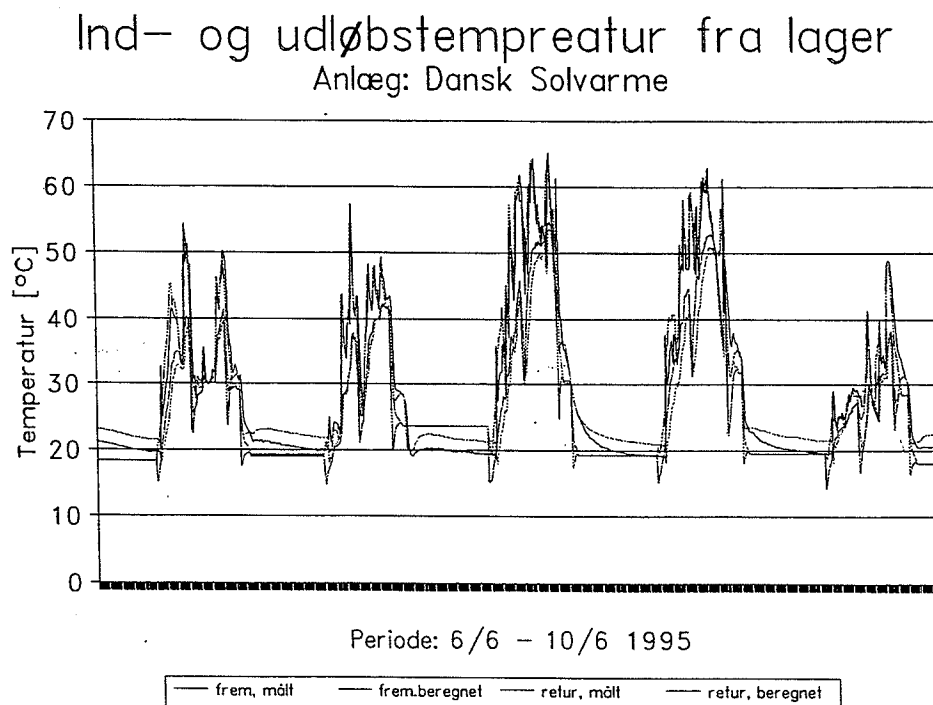
Periode:	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende var- me tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
6/6-16/6 1995				
Målt	69,4	28,4	86,5	58,0
Beregnet	69,7	29,6	85,9	56,3
Afvigelse i %	0,4	4,0	0,7	3,0

Tabel 4.2.4: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

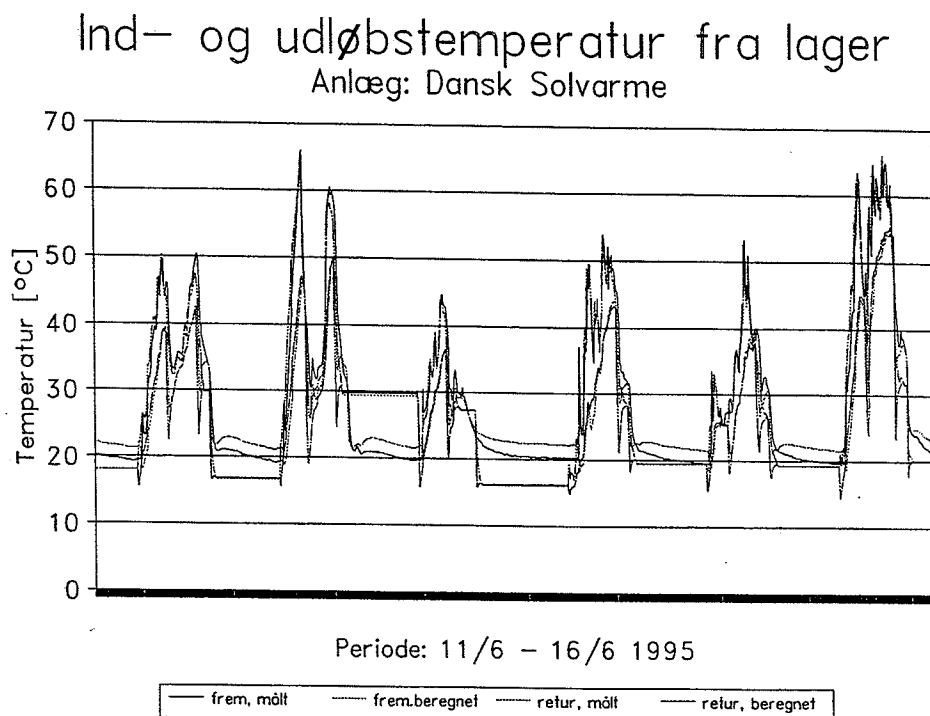
Figur 4.2.12-14 viser fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i de to perioder, mens figur 4.2.15-16 gengiver temperaturen i toppen af lageret. Den beregnede temperatur svarer til temperaturen i lag nr. 12 i lagertanken. Sammenligningen af temperaturerne viser, at temperaturniveauet og dynamikken stemmer godt overens. På grundlag af dette og overensstemmelsen mellem målte og beregnede energimængder vurderes det derfor, at EDB-modellen kan anvendes til simulering af et helt år med referenceåret TRY.



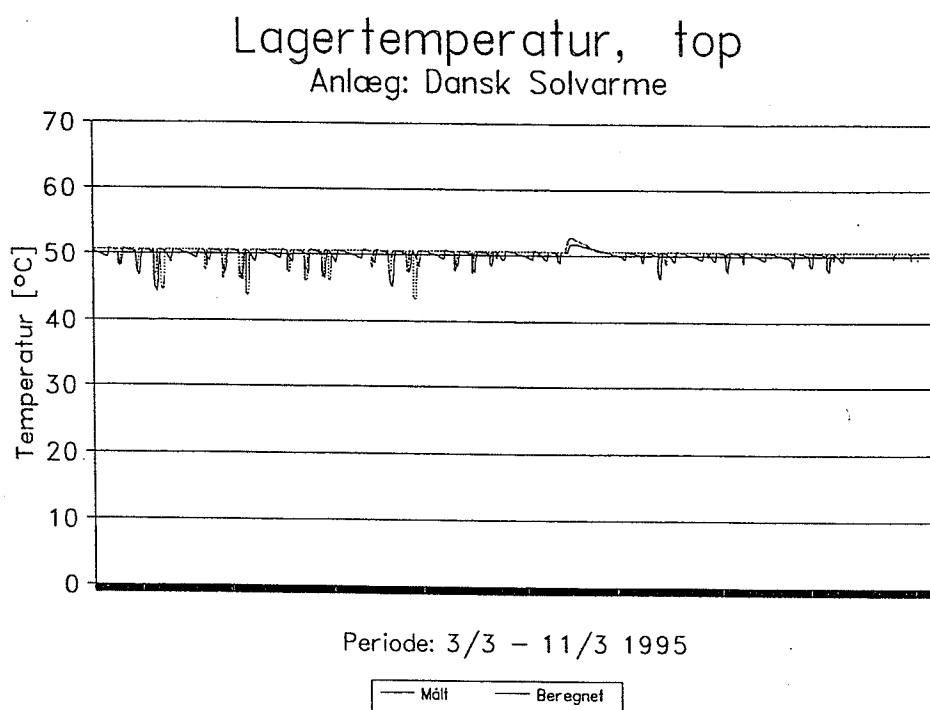
Figur 4.2.12: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i vinterperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



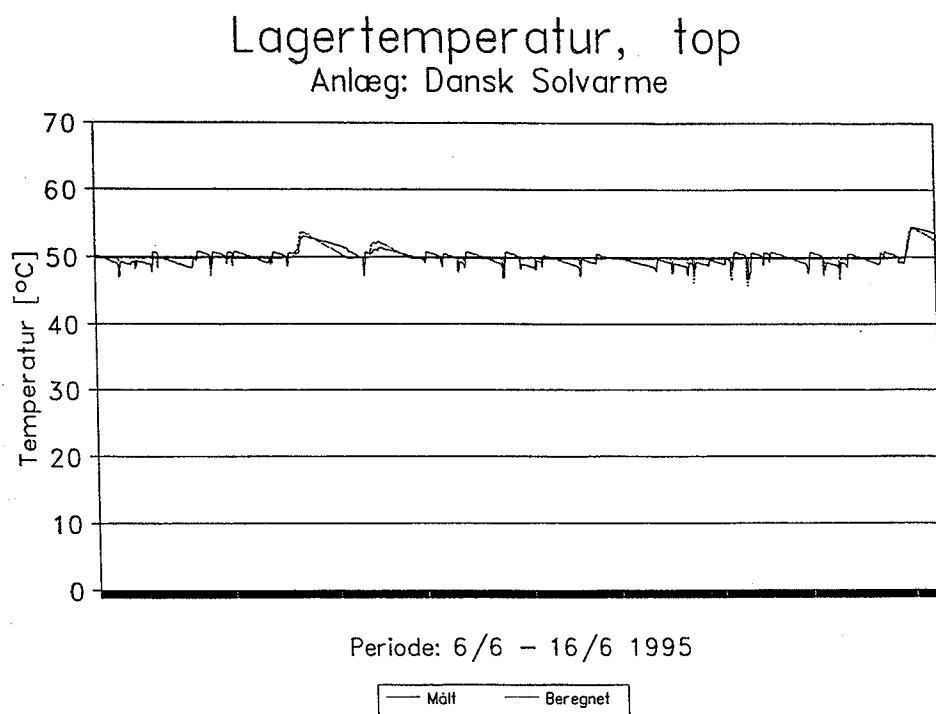
Figur 4.2.13: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i første del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



Figur 4.2.14: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i anden del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



Figur 4.2.15: Temperaturen i toppen af lageret i vinterperioden.



Figur 4.2.16: Temperaturen i toppen af lageret i sommerperioden.

4.2.5 Årsydelse for anlægget

I følgende beregninger anvendes modellen beskrevet i afsnit 4.2.3 med følgende ændringer: Der tappes 200 l/dag i tre lige store tapninger kl.: 7:00, 12:00 og 19:00. Koldtvandstemperaturen er 10°C og varmtvandstemperaturen er 45°C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5 °C. Der tilføres suppleringsvarme fra elpatronen i perioden 9/5-22/9 (begge dage incl.) og fra varmeveksleren i den resterende periode. Disse ændringer svarer til forudsætningerne, som benyttes i forbindelse med bestemmelse af tilskudsydelser for små brugsvandsanlæg /27/.

I tabel 4.2.5 ses de beregnede månedlige værdier for solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energimængde tappet fra lageret, energimængde til pumpe, energimængde til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager-suppleringsvarme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme÷energiforbrug til pumpe÷energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

Det ses, at anlægget har en årlig nettoydelse (Nettoydelse1) på 1472 kWh og en anlægsydelse (Nettoydelse2) på 1388 kWh. De to ydelser svarer til en dækningsgrad på hhv 50,0% og 47,1 %.

Ved sammenligning med de målte resultater i tabel 4.2.2 ses det, at dækningsgraden (dækningsgrad1) er målt knap 3 % lavere. Det skyldes først og fremmest, at de supplerende energikilder i forsøgene opvarmer toppen af tanken til en højere temperatur (50 °C) end antaget i beregningerne. Derudover er tappemønsteret anderledes, idet der tappes mindre i aftentimerne og mere ved middagstid, i beregningerne end ved målingerne.

Tilskudsydelser for et solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning defineres på følgende måde: Energimængde tappet fra lageret÷Suppleringsvarme til lageret÷Cirkulationspumpens energiforbrug +300 kWh (hvis der både er el-patron og varmeveksler til suppleringsvarme). Anlægget vil, med det danske referenceårs vejrdato, da have en tilskudsydelse på:

$$\text{Tilskudsydelse} = 2944 - 1472 - 61,5 + 300 = 1711 \text{ kWh}$$

I Solvarmeoversigten fra april 1995 er tilskudsydelser angivet til 1790 kWh - altså lidt højere end den her beregnede tilskudsydelse.

	Solind- fald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresy- stem [kWh]	Netto ydelse1 [kWh]	Netto ydelse2 [kWh]	Dæk- nings- grad1 [%]	Dæk- nings- grad2 [%]
Jan.	107	31	239	250	1,2	1,93	11	8	4,4	3,2
Feb.	238	80	167	226	2,7	1,75	59	55	26,1	24,3
Mar.	300	102	173	250	3,8	1,93	77	71	30,8	28,4
Apr.	538	200	86	242	6,2	1,87	156	148	64,5	61,2
Maj	629	242	45	250	7,4	1,93	205	196	82,0	78,4
Jun.	716	272	26	242	8,0	1,87	216	206	89,3	85,1
Jul.	631	256	37	250	8,6	1,93	213	202	85,2	80,8
Aug.	602	258	39	250	7,9	1,93	211	201	84,4	80,4
Sep.	430	196	79	242	6,4	1,87	163	155	67,4	64,1
Okt.	273	119	154	250	4,6	1,93	96	89	38,4	35,6
Nov	154	58	204	242	2,7	1,87	38	33	15,7	13,6
Dec	137	45	223	250	2,0	1,93	27	23	10,8	9,2
Tot.	4755	1859	1472	2944	61,5	22,8	1472	1388	50,0	47,1

Tabel 4.2.5: Beregnede månedlige energimængder.

Forberedingsmuligheder:

Der er udført beregninger for at undersøge mulighederne for at forbedre anlægget. Alle de nedenstående modeludformninger refererer til ændringer af det nuværende anlæg:

Model 0: Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Model 1: Rørene i solfangerkreden isoleres bedre, således af kuldebroen på 5,6 W/K fjernes fra modellen.

Model 2: Rørene i solfangerkreden isoleres bedre, således af kuldebroen på 5,6 W/K fjernes fra modellen. Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Under de udførte målinger, har cirkulationspumpen stået på trin 1. Dette blev ændret til trin 3 for at undersøge, hvorvidt solvarmeanlæggets ydelse blev øget. Ændringen betød, at flowet øgedes til:

$$v = 1,0 + 0,03 \cdot T_{\text{bund}}$$

[l/min]

Dette medfører en varmeoverføringsevne for varmevekslerspiralen i solkredsen på:

$$H = 42,8 + 8,332 \cdot \ln \Delta T + (3,435 + 0,596 \cdot \ln \Delta T) \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

H	er varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen	[W/K]
T_{bund}	er temperaturen af vandet som omgiver spiralen	[°C]
ΔT	er differensen mellem solfangervæskens fremløbstemperatur til beholderen og T_{bund}	[K]

hvilket er beregnet udfra teorien udviklet i /26/, idet de fire konstanter igen er forhøjet med 50%. Dette giver mulighed for endnu nogle modelvariationer, idet det forudsættes, at solfangereffektiviteten ikke ændres når fløvet forøges:

- Model 3: Flowet i solfangerkredsen ændres til $v = 1,0 + 0,03 \cdot T_{\text{bund}}$. Varmeoverførings-
evnen for varmevekslerspiralen ændres til ovenstående. Pumpeeffekten ændres
til 68 W (målt ved pumpettrin 3).
- Model 4: Flowet i solfangerkredsen ændres til $v = 1,0 + 0,03 \cdot T_{\text{bund}}$. Varmeoverførings-
evnen for varmevekslerspiralen ændres til ovenstående. Kuldebroen i toppen
af tanken sættes lig med 0 W/K. Pumpeeffekten ændres til 68 W (målt ved
pumpettrin 3).
- Model 5: Flowet i solfangerkredsen ændres til $v = 1,0 + 0,03 \cdot T_{\text{bund}}$. Varmeoverførings-
evnen for varmevekslerspiralen ændres til ovenstående. Pumpeeffekten ændres
til 68 W (målt ved pumpettrin 3). Rørene i solfangerkreden isoleres bedre,
således af kuldebroen på 5,6 W/K fjernes fra modellen.
- Model 6: Flowet i solfangerkredsen ændres til $v = 1,0 + 0,03 \cdot T_{\text{bund}}$. Varmeoverførings-
evnen for varmevekslerspiralen ændres til ovenstående. Pumpeeffekten ændres
til 68 W (målt ved pumpettrin 3). Rørene i solfangerkreden isoleres bedre,
således af kuldebroen på 5,6 W/K fjernes fra modellen. Kuldebroen i toppen
af tanken sættes lig med 0 W/K.

Tabel 4.2.6 viser resultaterne af parametervariationerne.

Model	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]	Nettoydelse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Ref.	4755	1859	1472	2944	61,5	22,7	1472	1388	50,0	47,1
0	4755	1835	1352	2944	61,1	22,7	1592	1508	54,1	51,2
1	4755	2013	1382	2944	61,9	22,7	1562	1477	53,1	50,2
2	4755	1973	1258	2944	61,1	22,7	1686	1602	57,3	54,4
3	4755	1933	1430	2944	168,7	22,7	1514	1323	51,4	44,9
4	4755	1895	1305	2944	167,0	22,7	1639	1449	55,7	49,2
5	4755	2076	1336	2944	170,0	22,7	1608	1415	54,6	48,1
6	4755	2032	1215	2944	167,9	22,7	1729	1538	58,7	52,2

Tabel 4.2.6: Beregnede årlige energimængder for de forskellige udformninger af anlægget. Ref. svarer til anlægget som det står nu.

Model 0: Det ses, at alene ved at fjerne kuldebroen i toppen af tanken, forøges anlægsydelsen (Nettoydelse2) med ca. 9 %.

Model 1: Hvis rørene i solfangerkredsen isoleres ordentligt, forøges anlægsydelsen (Nettoydelse2) med ca. 6 %.

Model 2: Når både rørene isoleres bedre, og kuldebroen i toppen af tanken fjernes, forøges anlægsydelsen (Nettoydelse2) med ca. 15 %.

Model 3-6: Disse modeller svarer til referencemodellen og Model 0-2, idet flowet i solfangerkredsen blot er sat op. Ved at sammenligne resultaterne fra Model 3-6 med referencemodellen og Model 0-2 ses det, at det ikke kan svare sig at sætte cirkulationspumpen på trin 3, idet pumpens ekstra energiforbrug overstiger besparelsen i supplerende energi.

Den mest effektive forbedring af anlægget består altså i, at fjerne kuldebroen i toppen af tanken og isolere rørene i solfangerkredsen ordentligt.

Det kan slutteligt bemærkes, at den her beregnede nettoydelse for anlægget, som det står nu i prøvestanden, er en del større end beregnet i /2/. Det skyldes, at både lagertank og solfanger er udskiftet.

4.2.6 Driftserfaringer og sammenfatning

Anlægget har kørt uden problemer i måleperioden.

På grund af kuldebroen i toppen af tanken samt den dårlige isolering af rørene i solfangerkredsen udendørs, yder anlægget ikke så meget som det burde.

Solfangerpanelerne er ikke regntætte eller har ikke en tilstrækkelig udluftning. Kondens på indersiden af dæklaget forekommer ofte.

For at forbedre anlægsydelsen foreslås det, at solfangerkredsen isoleres ordentligt, samt at beholderen isoleres grundigt ved el-patronen. Herved kan anlægsydelsen forøges med ca. 15 %.

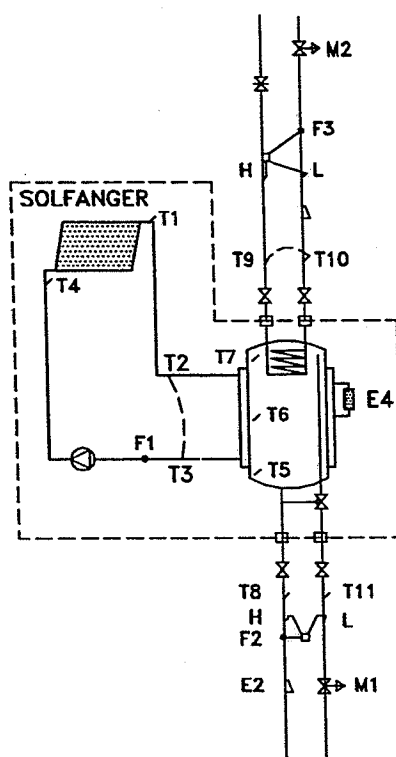
4.3 Anlæg 3: Batec A/S

4.3.1 Opbygning

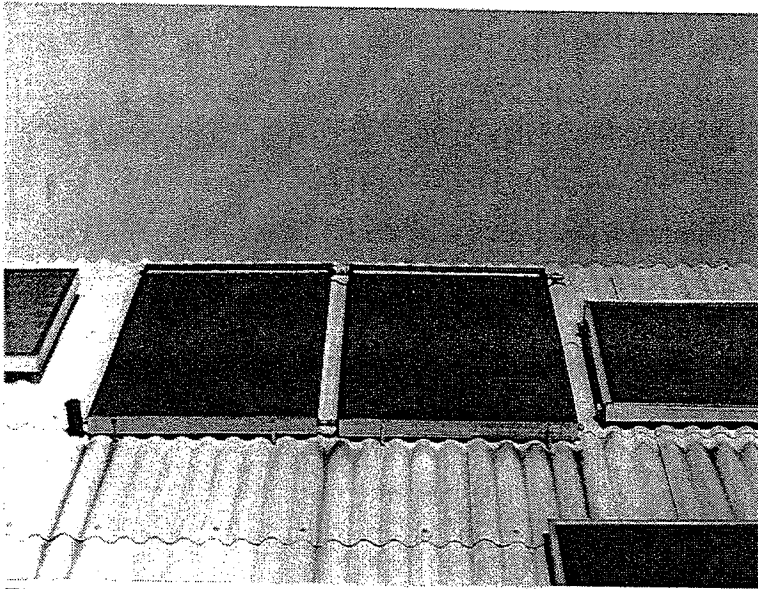
Solvarmeanlægget er opført i prøvestanden i januar 1995 af Batec A/S. Anlægget markedsføres ikke i Danmark.

Anlægget er et low flow tømmeanlæg, som består af to solfangerpaneler, med et samlet transparent areal på 4,38 m², samt en kappebeholder på 250 l (+50 l i kappen). Solfangeren er installeret på en 45° hældende flade orienteret stik syd. Solfangervæsken består af rent vand. Datablade for solfangeren ses i bilag 4.3.1.

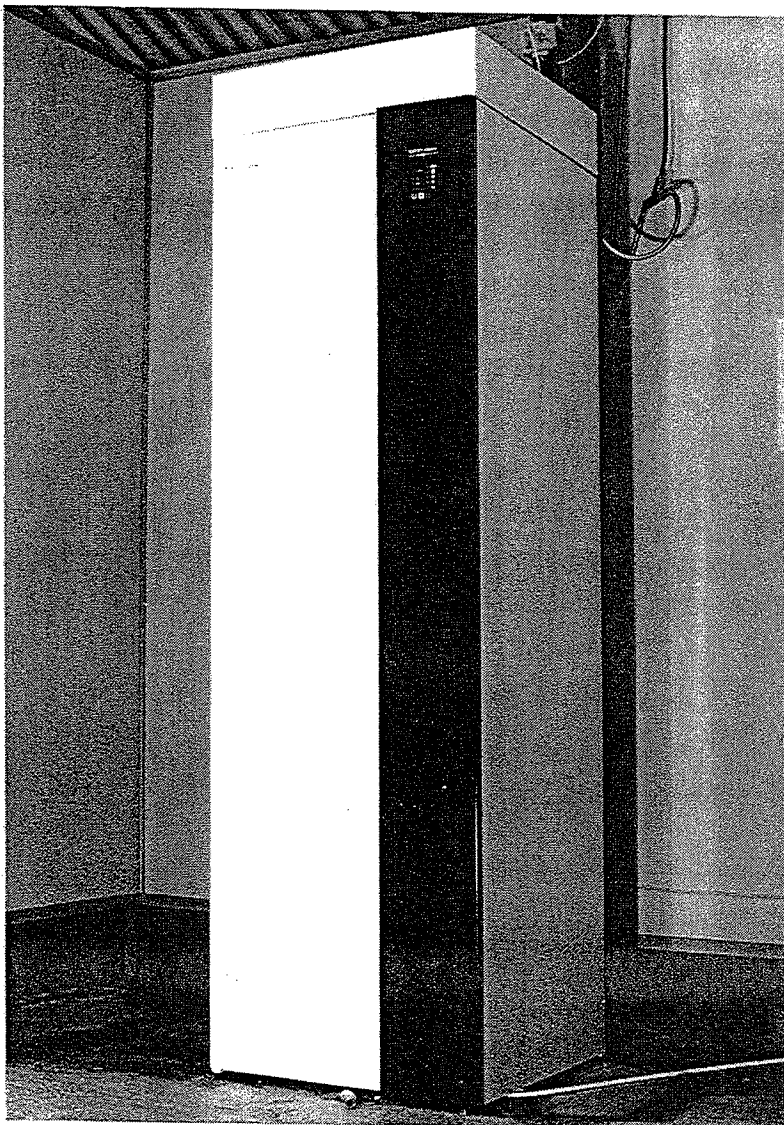
Lagertanken er en lodretstående cylindrisk kappebeholder med en varmevekslerspiral til suppleringsvarme fra f.eks. et fyr. Endvidere er varmetanken forsynet med et el-varmelegeme til brug i sommerperioder. El-varmelegemet sidder uden på kappen (og i forbindelse med denne) og varmer vandet i kappen op, se figur 4.3.1. Kappen har et volumen på 50 l. Da anlægget er et tømmeanlæg, er kappevolumenet større end væskevolumenet i kappen, således at solfangeren kan tømmes når solen ikke skinner. Beholderen er isoleret med hårdt polyurethanskum og indbygget i et stålkabinet. En skitse af lagertanken ses i bilag 4.3.2.



Figur 4.3.1: Principskitse med målepunkter af anlægget fra Batec A/S.



Figur 4.3.2: Solfangerpanelerne på solfangerstativet.



Figur 4.3.3: Solvarmeanlæggets varmelager.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 10 m fremløbsrør og 11 m returrør (heraf 2 x 2 m indendørs). Rørene er 15/13 mm kobberør, der er isoleret med 10 mm skum-isolering. Solfangerkredsen er forsynet med en Grundfos cirkulationspumpe (Type UPS 25-40), som igennem hele måleperioden har kørt på trin 1. I forbindelse med opstart kører pumpen dog på trin 3, indtil solfangerne er fyldt med vand. Når temperaturen i solfangeren overstiger 90°C skifter pumpen også til trin 3.

Cirkulationspumpen styres af en differenstermostat, der måler temperaturforskellen mellem udløbstemperaturen fra solfangeren og temperaturen i bunden af kappen. Differenstermostaten har et start/stop-setpunkt på 15/2 K. Pumpen stopper dog, hvis temperaturen i solfangeren bliver større end 170°C eller mindre end 8°C.

Anlægget er forsynet med et avanceret styresystem, som blandt andet kan sikre, at de supplerende energikilder kun er i drift i perioder, som er bestemt på forhånd. Denne mulighed for at begrænse energiforbruget fra de supplerende energikilder blev dog ikke benyttet i disse undersøgelser.

I figur 4.3.1 ses en principskitse af anlægget. Figur 4.3.2 og 4.3.3 viser fotos af anlæggets solfanger og varmelager.

4.3.2 Måledata

I figur 4.3.1 er målepunkterne i anlægget vist.

Målepunkt	Angivelse i figur 4.3.1	Afstand fra top af tank (mm)
1	T5	1322
2	-	985
3	T6	622
4	-	347
5	T7	32

Tabel 4.3.1: Placering af temperaturfølere i lagertank.

Der er fem målepunkter i tanken. Målepunkterne er anbragt i en glasstav, som er indført i tanken gennem toppen. Målepunkterne 1,3 og 5 registreres hele tiden, mens punkterne 2 og 4 kan udtages midlertidigt. Målepunkterne i tanken er placeret som angivet i tabel 4.3.1.

Cirkulationspumpens og styresystemets effektforbrug blev i en periode målt til hhv. 35 W og 5,2 W. El-patronens effektforbrug blev målt til 1183 W.

I tabel 4.3.2 er følgende målte månedlige værdier gengivet: Solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lager, energiforbrug til pumpe, energiforbrug til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme÷energiforbrug til pumpe÷energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

Måned	Solindfald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Netto- ydelse1 [kWh]	Netto- ydelse2 [kWh]	Dæk- nings- grad1 [%]	Dæk- nings- grad2 [%]
Jan.	64	11	100	95	0,8	2,00	-5	-8	-5,3	-8,4
Feb.	157	37	217	210	2,4	3,49	-7	-13	-3,3	-6,2
Mar.	297	111	148	219	3,0	3,49	71	65	32,4	29,7
Apr.	498	181	108	242	6,2	3,74	134	124	55,4	51,2
Maj	676	215	74	248	7,8	3,87	174	162	70,2	65,3
Jun.	598	209	70	239	8,3	3,74	169	157	70,7	65,7
Jul.	770	260	29	250	9,8	3,87	221	207	88,4	82,8
Aug.	806	262	21	249	9,0	3,87	228	215	91,6	86,3
Sep.	305	116	89	187	4,4	3,12	98	90	52,4	48,1
Okt.	329	115	156	240	4,2	3,87	84	76	35,0	31,7
Nov	34	10	57	56	0,5	0,75	-1	-2	-1,8	-3,6
Dec	46	9	121	106	0,4	1,62	-15	-17	-14,2	-16,0
Tot.	4580	1536	1190	2341	56,8	37,4	1151	1057	49,2	45,2

Tabel 4.3.2: Målte månedsværdier for anlægget (1995).

Følgende dage foreligger der ikke data (begge dage incl.):

Januar: 1-15

Marts: 13-15

September: 26-30

November: 7-30

December: 14-31

Det ses af målingerne, at anlægget i måleperioden i 1995 har haft en anlægsydelse (Nettoydelse2) på 1057 kWh med en dækningsgrad på 45,2%. Der er ikke alle dage, som tilstræbt, tappet 8 kWh.

4.3.3 EDB-model af solvarmeanlægget

Til bestemmelse af årlige ydelser samt forbedringsmuligheder for solvarmeanlægget er en EDB-model af anlægget udformet. Modellen bruges i et detaljeret simuleringsprogram udviklet i /22/.

Modellen valideres med målte data fra to perioder: 2/3-11/3 1995 og 5/6-16/6 1995, jvf. afsnit 3. I vinterperioden anvendes varmevekslerspiralen til suppleringsvarme. I sommerperioden anvendes el-patronen til suppleringsvarme. I det følgende er input til EDB-modellen beskrevet:

Solfangerkredsen:

Effektivitetsudtrykket for solfangeren er målt på Laboratoriet for Varveisolering, DTU til /16/:

$$\eta = 0,75 - 4,85 \cdot (T_m - T_a) / G - 0,016 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$$

hvor

η	er solfangereffektiviteten	[-]
T_m	er middel væsketemperatur	[°C]
T_a	er lufttemperaturen	[°C]
G	er bestrålingsstyrken på solfangeren	[W/m ²]

Prøvningen er udført under standardbetingelser (ISO 9806-1.2) med en lufthastighed over solfangeren på 5 m/s. Denne lufthastighed er meget større end det, gennemsnitslufthastigheden normalt er udendørs. Derfor er effektivitetsudtrykket korrigeret, til et udtryk svarende til en lufthastighed på 2 m/s, på baggrund af ligningerne i /24, side 108-109/. Korrektionen reducerer solfangerens varmetab til 95,8% af det oprindelige varmetab. Herved fremkommer følgende effektivitetsudtryk for solfangeren:

$$\eta = 0,75 - 4,65 \cdot (T_m - T_a) / G - 0,015 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$$

Da solfangervæsken i anlægget består af rent vand (og ikke en 50% vand-glykolblanding som ved prøvningen) forøges starteffektiviteten for solfangeren med 3%, hvorimod varmetabskoefficienten næsten ikke ændres (0,01%). Dette er beregnet ud fra teori udviklet i /25/.

Simuleringsprogrammet benytter ikke det egentlige effektivitetsudtryk, men et lineariseret udtryk ved en temperaturdifferens på 50 K. Med disse tilføjelser bliver det endelige udtryk:

$$\eta = 0,78 - 5,40 \cdot (T_m - T_a) / G$$

Effektivitetens vinkelafhængighed i forhold til solindfaldet bestemmes af $a=4,2$, hvor a indgår i følgende ligning:

$$k_g = 1 - (\tan(i/2))^a$$

hvor

k_g er indfaldsvinkelkorrektionen

i er indfaldsvinklen

Volumenstrømmen i solfangerkredsen er, ud fra målingerne, bestemt til:

$$v = 0,8 \text{ l/min}$$

Rørene i solfangerkredsen består af 11 m 15/13 mm rør fra toppen af solfangeren til lageret (heraf 2 m indendørs) og 9 m 15/13 mm rør fra lageret til bunden af solfangeren (heraf 2 m indendørs). Rørene er isoleret med 10 mm skum-isolering med en anslået λ -værdi på 0,03 W/m·K.

Pumpen i solfangerkredsen har et effektforbrug på 35 W. Solfangerkredsen styres af en differenstermostat med et start/stop-setpunkt på 15/2K.

Lageret:

Lagervolumenet er på 250 l, og kappevolumenet er på 50 l. Lageret har en indvendig højde/diameter på 1,675/0,444 m. Lageret er oprindeligt isoleret med 0,045 m på lagerets sider og top og 0,02 m PUR-skum i bunden. Isoleringens λ -værdi anslås til 0,03 W/m·K. I midten af marts 1995 blev lagerets top yderligere isoleret, med 0,1 m mineraluld. Dette blev gjort for at mindske den store kuldebro i toppen af lagertanken, som rørgennemføringerne medfører. Sammenligninger mellem målinger og beregninger for de to perioder, af temperaturen i toppen af lageret, viste, at den ekstra isolering reducerede kuldebroen i toppen af tanken fra 1,6 W/K til 0,3 W/K.

Der er desuden tillagt en kuldebro i bunden af tanken på 0,2 W/K for at repræsentere rørgennemføringer i isoleringen i bunden af tanken. Parameterstudier har dog vist, at denne kuldebro ikke er af nævneværdig betydning for anlæggets samlede ydelse.

Lageret er i EDB-modellen inddelt i 31 lag. Kappen starter i lag 6, svarende til ca. 25 cm fra toppen, og slutter i lag 29, svarende til ca. 7 cm fra bunden. Den supplerende

varmevekslerspiral er placeret i lag nr. 11, svarende til ca. 56 cm fra toppen. El-patronen er placeret i lag nr. 9, svarende til ca. 43 cm fra toppen. El-patronen er placeret ude i kappen. Herved opnås god overensstemmelse med lagerets faktiske opbygning.

I simuleringerne er anvendt en effekt på 1183 W for suppleringsvarmen. Setpunktet for termostaten er 50°C.

Startværdier for temperaturen i lagertankens forskellige lag er fastlagt ud fra de målte temperaturer.

4.3.4 Validering af EDB-model

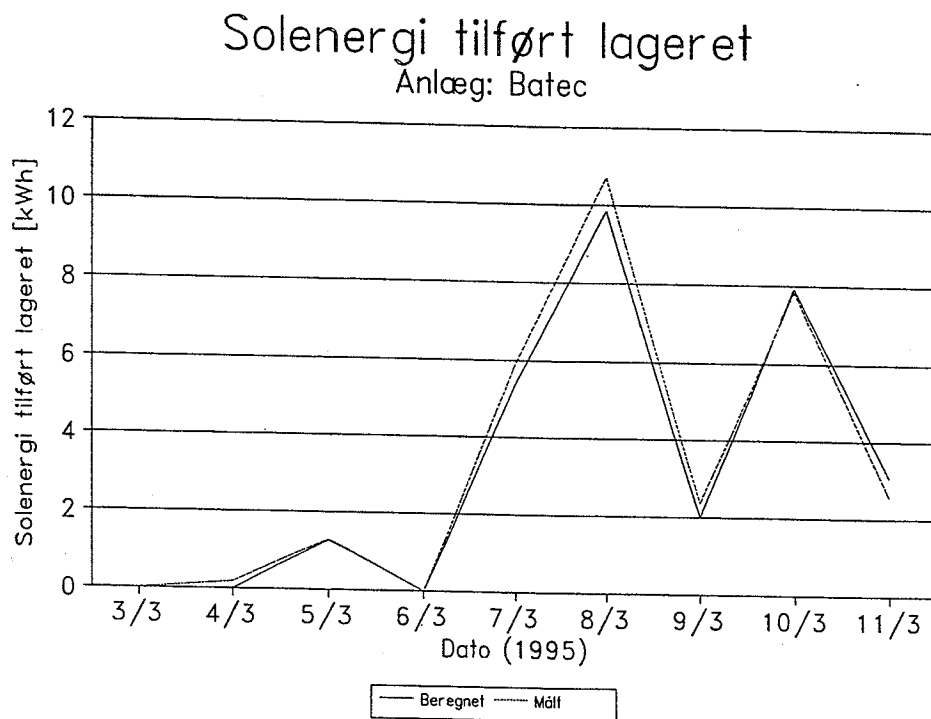
Formålet med valideringen af EDB-modellen er, at udforme en model der svarer så godt til anlægget, at man kan beregne årsydelser. Desuden kan modellen benyttes til at undersøge, hvorledes ændrede anlægsudformninger påvirker ydelser.

Med de i afsnit 4.3.3 anførte inputdata til simuleringsprogrammet er der gennemført beregninger for to perioder. De to perioder, der er simuleret, er hhv. 2/3-11/3 1995 (vinterperioden) og 5/6-16/6 1995 (sommerperioden), jvf. afsnit 3. Disse to perioder er udvalgt, idet de repræsenterer anlægget med suppleringsvarme fra hhv. varmevekslerspiral og el-patron.

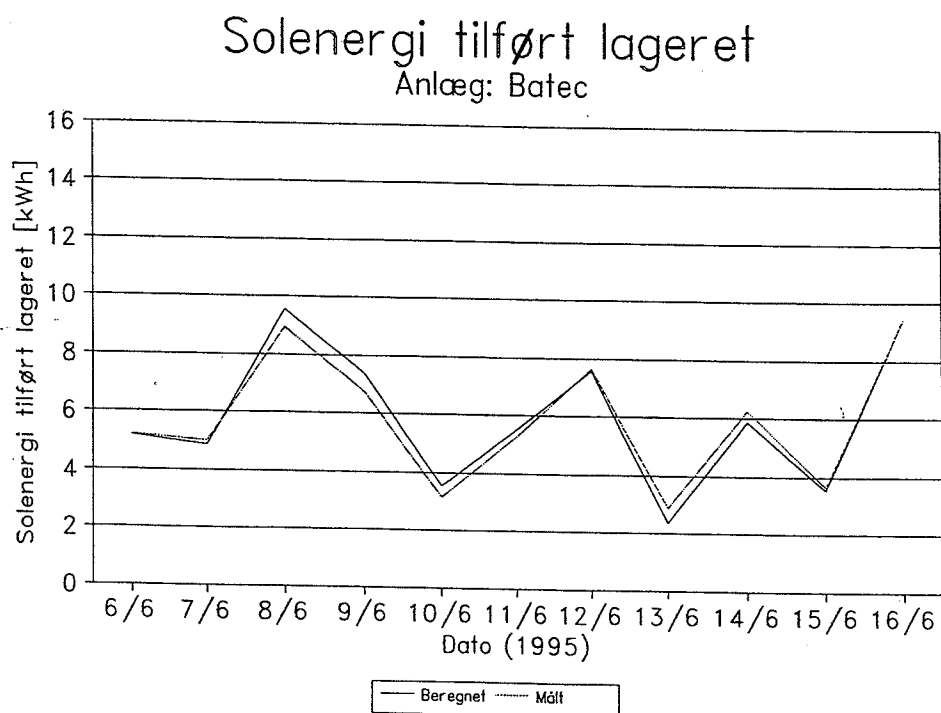
EDB-modellen af anlægget valideres mod målte energistørrelser og temperaturer. Energi-størrelserne er som følger: Solvarme tilført lageret, supplerende varme tilført lageret, energimængde tappet fra lageret og nettoydelse (Nettoydelse1). Her er nettoydelsen beregnet som energi tappet fra lageret ÷ supplerende energi tilført lageret.

De målte temperaturer der benyttes til valideringen er: Temperatur i toppen af lageret (T7), solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2) og solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3). Angivelserne i parenteserne refererer til signaturerne i figur 4.3.1.

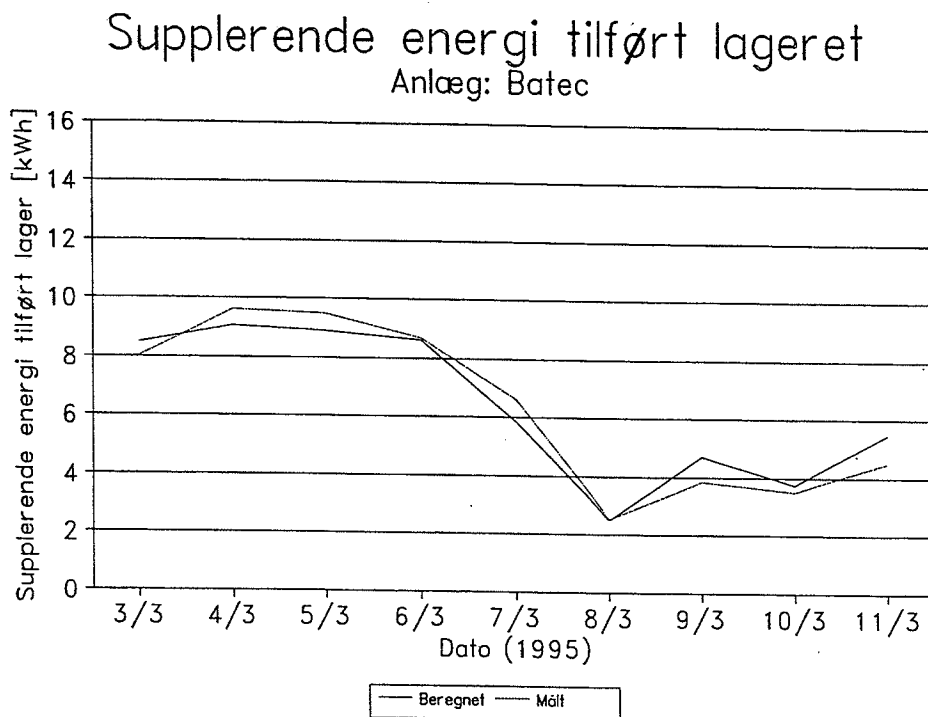
I figur 4.3.4-5 ses den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangeren til lageret i de to perioder. Figur 4.3.6-7 viser den målte og beregnede daglige supplerende energitilførsel til lageret i perioderne. I figur 4.3.8-9 ses den målte og beregnede daglige energimængde tappet fra lageret i begge perioder, mens figur 4.3.10-11 viser den målte og beregnede daglige nettoydelse. Det fremgår, at den første dag i begge perioder ikke er medtaget. Det skyldes, at den første dag benyttes som indsvingningsperiode.



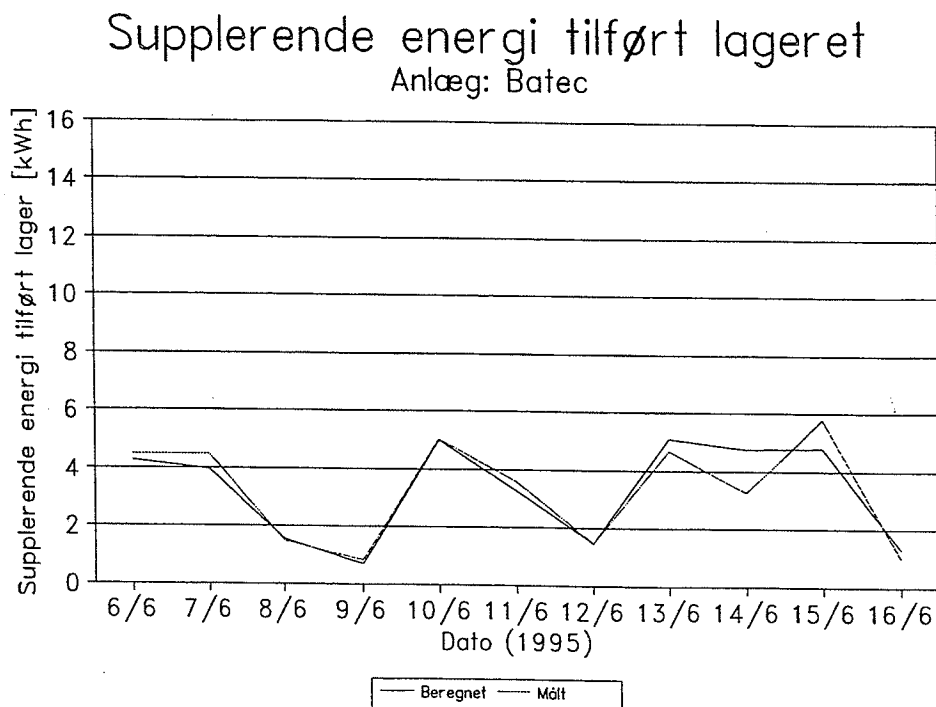
Figur 4.3.4: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i vinterperioden.



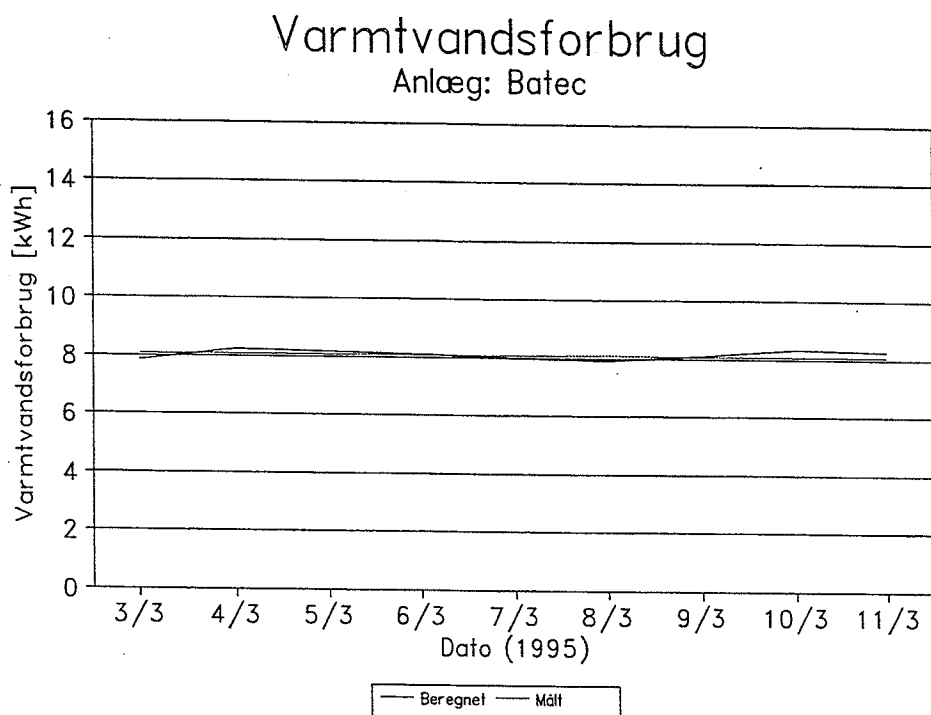
Figur 4.3.5: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i sommerperioden.



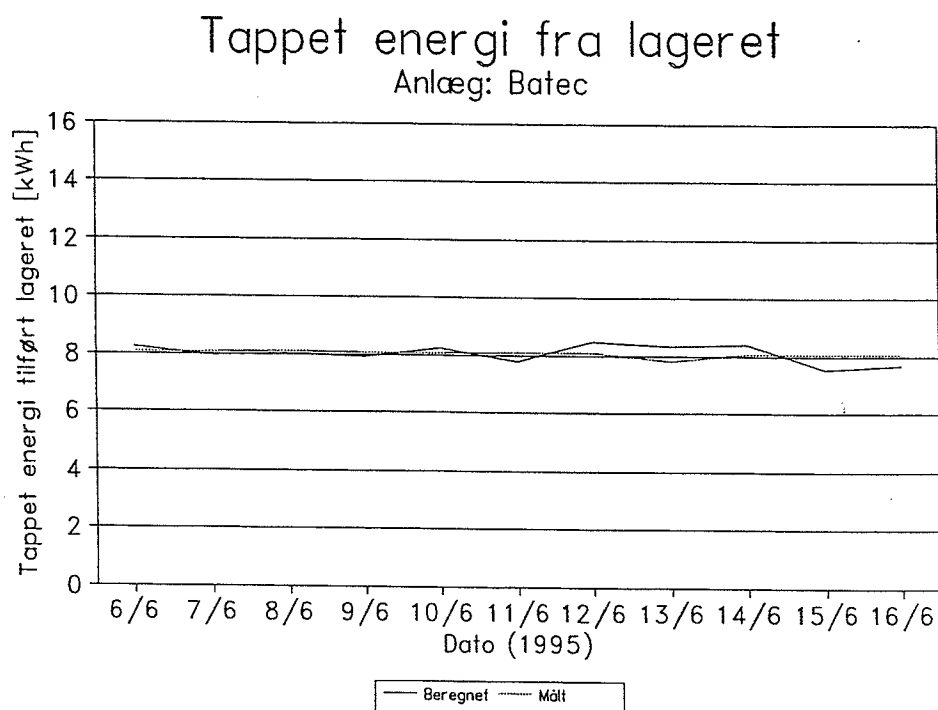
Figur 4.3.6: Supplerende energi tilført lageret i vinterperioden.



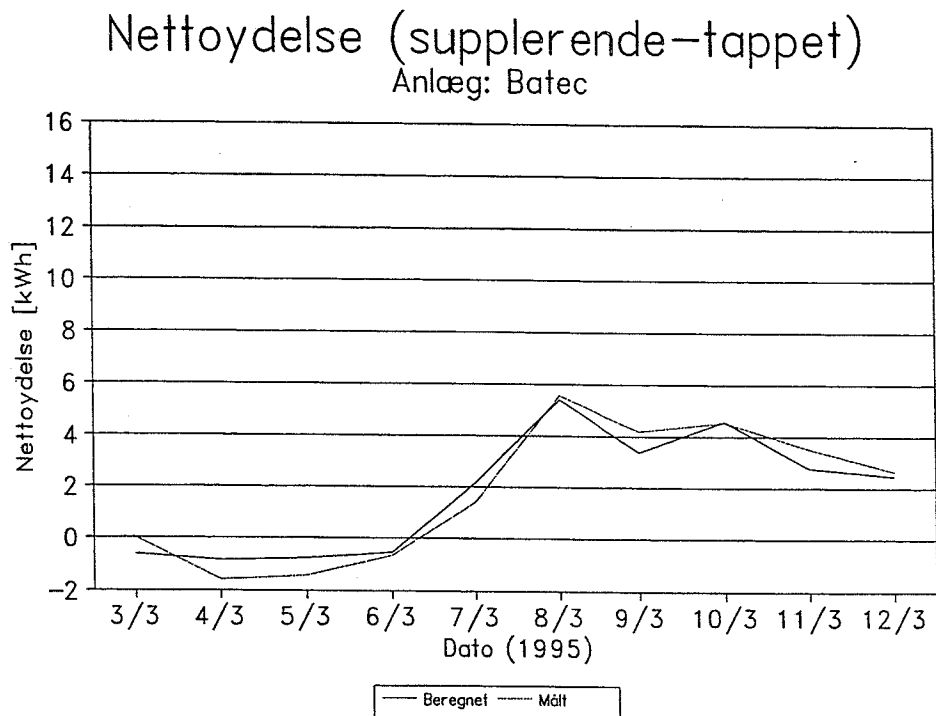
Figur 4.3.7: Supplerende energi tilført lageret i sommerperioden.



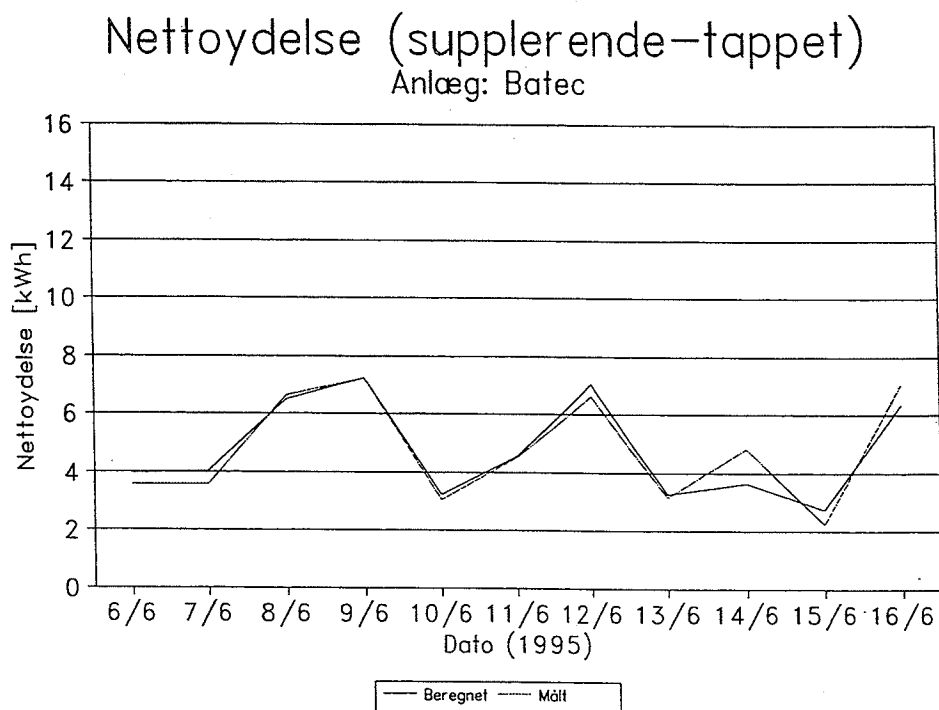
Figur 4.3.8: Energimængde tappet fra lageret i vinterperioden.



Figur 4.3.9: Energimængde tappet fra lageret i sommerperioden.



Figur 4.3.10: Nettoydelse for solvarmeanlægget i vinterperioden.



Figur 4.3.11: Nettoydelsen for solvarmeanlægget i sommerperioden.

Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser. I tabel 4.3.3-4 er energimængderne summeret over perioderne, og det fremgår heraf, at forskellen ligger inden for måleusikkerheden (jvf. afsnit 2).

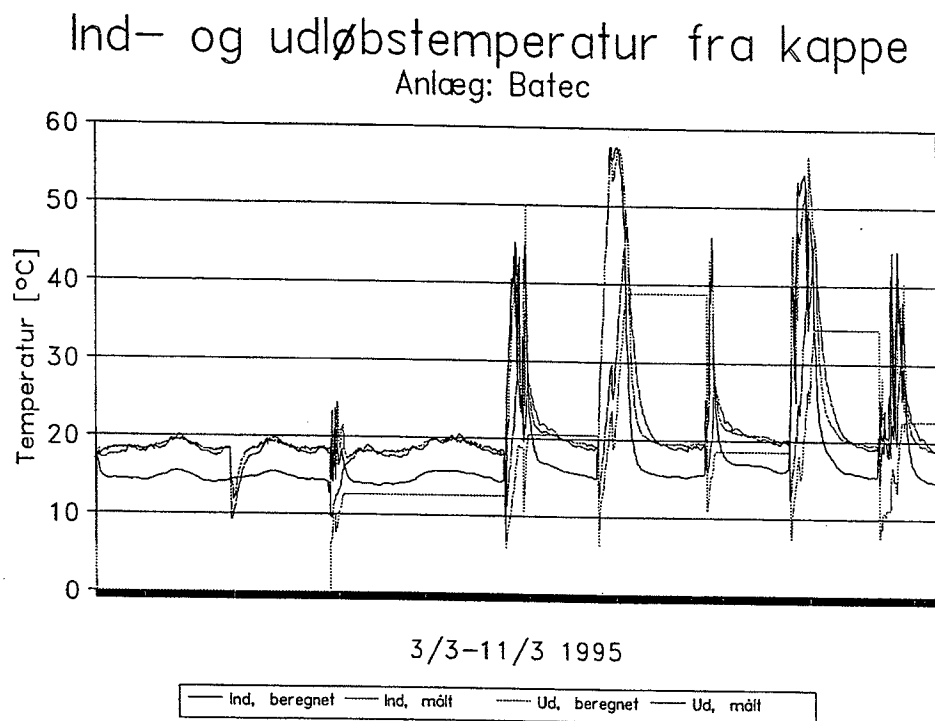
Periode:	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende var- me tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
3/3-11/3 1995				
Målt	30,8	56,8	72,4	15,6
Beregnet	29,5	57,3	72,9	15,6
Afvigelse i%	-4,2	0,9	0,7	0

Tabel 4.3.3: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

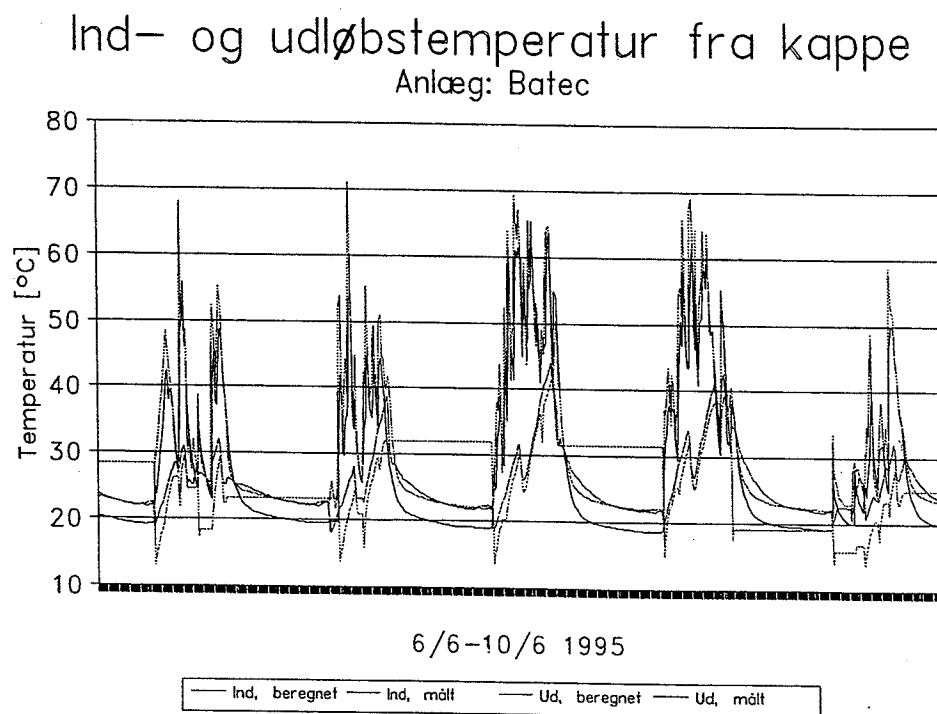
Periode:	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende var- me tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
6/6-16/6 1995				
Målt	64,1	36,0	88,3	52,3
Beregnet	64,7	36,0	88,5	52,5
Afvigelse i%	0,9	0	0,2	0,4

Tabel 4.3.4: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

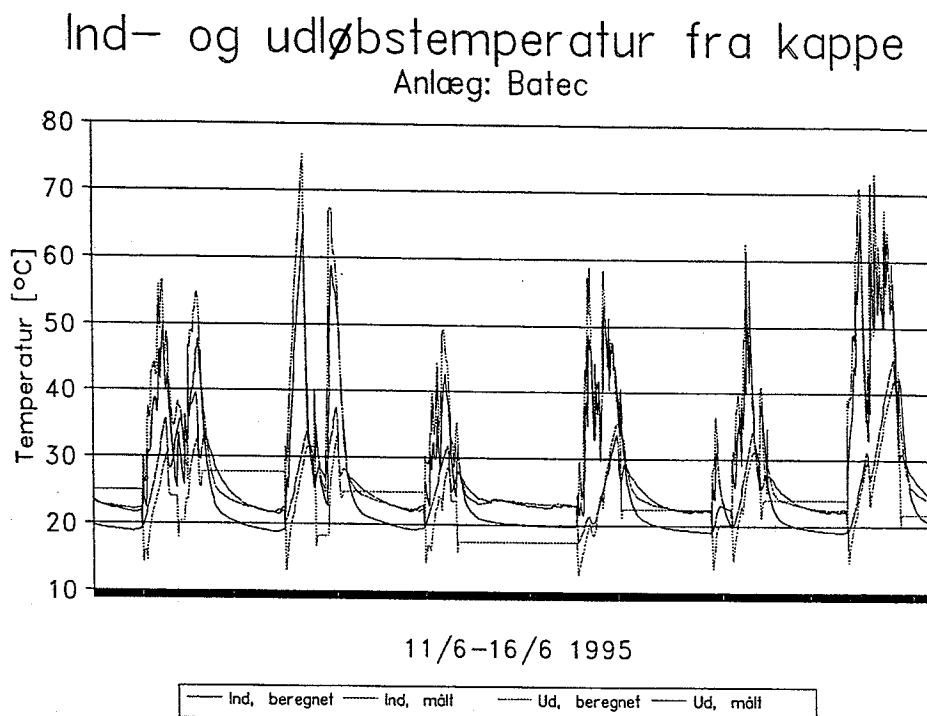
Figur 4.3.12-14 viser fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i de to perioder, mens figur 4.3.15-16 gengiver temperaturen i toppen af lageret. Den beregnede temperatur svarer til temperaturen i lag nr. 9 i lagertanken. Sammenligningen af temperaturerne viser, at temperaturniveauet og dynamikken stemmer godt overens. På grundlag af dette og overensstemmelsen mellem målte og beregnede energimængder vurderes det derfor, at EDB-modellen kan anvendes til simulering af et helt år med referenceåret TRY.



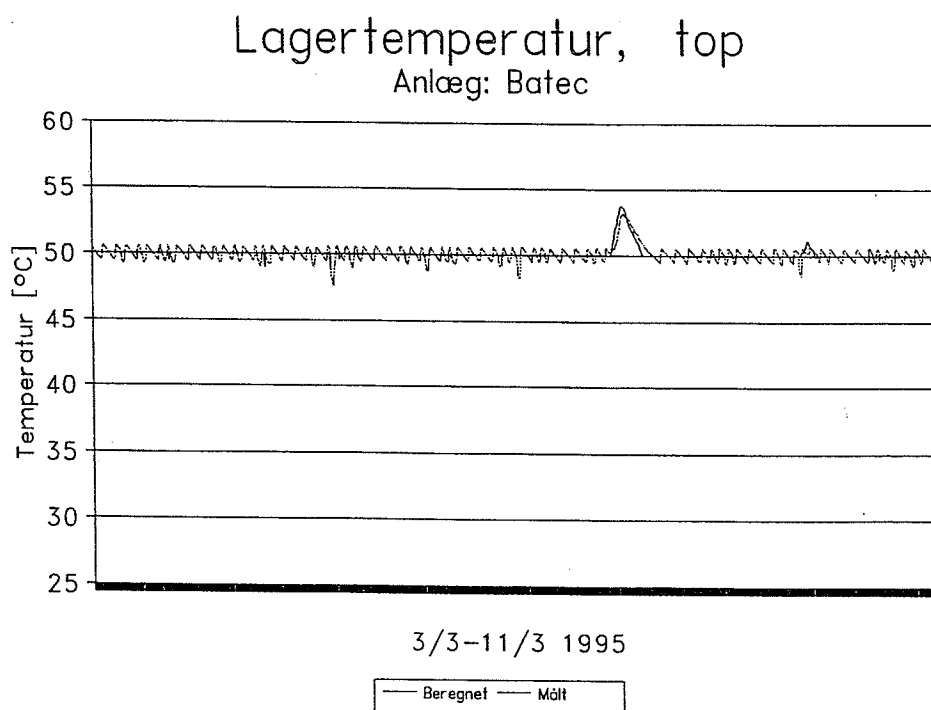
Figur 4.3.12: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i vinterperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



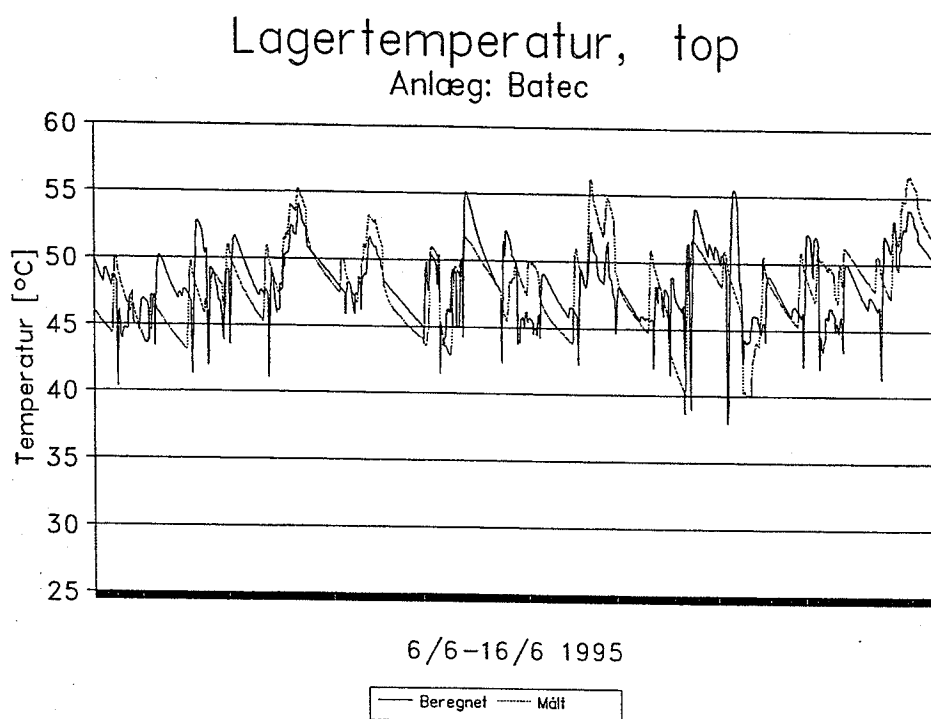
Figur 4.3.13: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i første del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



Figur 4.3.14: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i anden del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



Figur 4.3.15: Temperaturen i toppen af lageret i vinterperioden.



Figur 4.3.16: Temperaturen i toppen af lageret i sommerperioden.

4.3.5 Årsydelse for anlægget

I følgende beregninger anvendes modellen beskrevet i afsnit 4.3.3 med følgende ændringer: Der tappes 200 l/dag i tre lige store tapninger kl.: 7:00, 12:00 og 19:00. Koldtvandstemperaturen er 10°C og varmtvandstemperaturen er 45°C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5 °C. Der tilføres suppleringsvarme fra elpatronen i perioden 9/5-22/9 (begge dage incl.) og fra varmeveksleren i den resterende periode. Disse ændringer svarer til forudsætningerne, som benyttes i forbindelse med bestemmelse af tilskudsydelser for små brugsvandsanlæg /27/.

I tabel 4.3.5 ses de beregnede månedlige værdier for solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energimængde tappet fra lageret, energimængde til pumpe, energimængde til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager-suppleringsvarme), nettoydelse2 (=nettoydelse1÷energiforbrug til pumpe÷ energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

Ovenstående energimængder er fundet ved brug af referenceårets vejrdato, som består af timeværdier. I /23/ er det vist, at den beregnede ydelse for low flow anlæg bliver for lille, når solindfaldets fluktuationer ikke tages i betragtning ved ikke at anvende 5-minutværdier for solindfaldet. For dette anlæg, bliver nettoydelsen beregnet ca. 3,2% for lille med referenceårets timeværdier. I bilag 4.3.3 er den ekstra nettoydelse afbildet som funktion af dækningsgrad og varmtvandsforbrug. De 3,2% er bestemt ved at korrigere nettoydelsen for hver måned.

Altså er nettoydelsen, den supplerende varme til lageret og solvarme tilført lageret i tabel 4.3.5 korrigeret ved hjælp af graferne i bilag 4.3.3. Herved har anlægget en årlig nettoydelse (Nettoydelse1) på **1492 kWh** og en anlægsydelse (Nettoydelse2) på **1391 kWh**. De to ydelser svarer til en dækningsgrad på hhv. **50,7%** og **47,2%**.

Ved sammenligning med de målte resultater i tabel 4.3.2 ses det, at dækningsgraden (dækningsgrad1) er målt 1,5% lavere. Det skyldes først og fremmest, at de supplerende energikilder i forsøgene opvarmer toppen af tanken til en højere temperatur (50 °C) end antaget i beregningerne. Derudover er tappemønsteret anderledes, idet der tappes mindre i aftentimerne og mere ved middagstid, i beregningerne end ved målingerne. Det er dog ikke umiddelbart muligt at sammenligne de beregnede resultater med de målte resultater, idet der er forholdsvis store perioder i 1995, hvor der ikke foreligger målinger.

	Solind- fald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresy- stem [kWh]	Netto- ydelse1 [kWh]	Netto- ydelse2 [kWh]	Dæk- nings- grad1 [%]	Dæk- nings- grad2 [%]
Jan.	117	36	226	250	1,2	3,87	24	19	9,4	7,6
Feb.	259	75	155	226	2,6	3,49	71	65	31,6	28,8
Mar.	327	107	162	250	3,6	3,87	88	81	35,2	32,4
Apr.	586	200	80	242	6,5	3,74	162	152	66,8	62,8
Maj	685	229	59	250	6,6	3,87	191	181	76,3	72,4
Jun.	780	260	37	242	7,1	3,74	205	194	84,9	80,2
Jul.	688	241	48	250	7,2	3,87	202	191	80,8	76,4
Aug.	656	249	48	250	7,1	3,87	202	191	80,6	76,4
Sep.	469	181	92	242	5,8	3,74	150	140	62,0	57,9
Okt.	297	121	144	250	3,0	3,87	106	99	42,4	39,6
Nov	167	63	192	242	2,4	3,74	50	44	20,5	18,2
Dec	149	54	209	250	2,0	3,87	41	35	16,4	14,0
Tot.	5180	1816	1452	2944	55,1	45,6	1492	1391	50,7	47,2

Tabel 4.3.5: Beregnede månedlige energimængder.

Forbedringsmuligheder:

Der er udført beregninger for at undersøge mulighederne for at forbedre anlægget. Alle de nedenstående modeludformninger refererer til ændringer af det nuværende anlæg:

Model 0: Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Model 1: El-patronen flyttes fra kappen ind i varmtvandsbeholderen.

Model 2: El-patronen flyttes fra kappen ind i varmtvandsbeholderen. Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Model 3: Kappens top flyttes fra lag 6 til lag 11 regnet fra toppen. Det svarer til, at kappens højde gøres ca. 27 cm mindre. Formålet med dette er at undersøge, om ydelsen forbedres, når der ikke er "overlap" mellem den supplerende varmevekslerspiral og kappen. El-patronen flyttes fra kappen ind i lagertanken.

Model 4: Kappens top flyttes fra lag 6 til lag 11 regnet fra toppen. Det svarer til, at kappens højde gøres ca. 27 cm mindre. Formålet med dette er at undersøge, om ydelsen forbedres, når der ikke er "overlap" mellem den supplerende varmevekslerspiral og kappen. El-patronen flyttes fra kappen ind i lagertanken. Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Tabel 4.3.6 viser resultaterne af parametervariationerne.

Model	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]	Nettoydelse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Ref.	5180	1816	1452	2944	55,1	45,6	1492	1391	50,7	47,2
0	5180	1823	1437	2944	56,1	45,6	1507	1406	51,2	47,8
1	5180	1893	1366	2944	57,2	45,6	1578	1475	53,6	50,1
2	5180	1883	1351	2944	57,0	45,6	1593	1490	54,1	50,6
3	5180	1890	1366	2944	58,0	45,6	1578	1474	53,6	50,1
4	5180	1899	1351	2944	58,2	45,6	1593	1489	54,1	50,6

Tabel 4.3.6: Beregnede årlige energimængder for de forskellige udformninger af anlægget. Ref. svarer til anlægget som det står nu.

Model 0: Det ses, at alene ved at fjerne kuldebroen i toppen af tanken, forøges anlægsydelsen (Nettoydelse2) med ca. 1%.

Model 1: Hvis el-patronen flyttes ind i tanken, forøges anlægsydelsen (Nettoydelse2) med ca. 6%. Ydelsen øges, fordi lagdelingen i lageret ødelægges, når solfangeren er i drift og el-patronen er tændt. Når el-patronen er tændt, er vandet i toppen af kappen naturligvis meget varmt. Hvis solfangeren samtidig er i drift, sker det, at solfangervæsken presser det (el-opvarmede) varme vand længere ned i kappen. Det betyder, at el-patronen opvarmer et meget større volumen brugsvand, end det er nødvendigt. Når solfangeren ikke er i drift, er det bedre at have el-patronen ude i kappen, idet der herved etableres en bedre lagdeling, men denne gevinst er ikke stor nok til at opveje ovenstående effekt.

Model 2: Hvis el-patronen flyttes ind i tanken, og kuldebroen i toppen af tanken fjernes, forøges anlægsydelsen (Nettoydelse2) med ca. 7%.

Model 3: Når kappen formindskes, og el-patronen er inde i varmtvandsbeholderen,

forøges anlægsydelsen ca. 6%. Dvs. at alene ved at mindske kappen, ændres anlægsydelsen næsten ikke (1 kWh).

Model 4: Når kappen formindskes, kuldebroen i toppen af lagetanken fjernes og el-patronen er inde i varmtvandsbeholderen, forøges anlægsydelsen ca. 7%. Dvs. at alene ved at mindske kappen, ændres anlægsydelsen næsten ikke (1 kWh).

Den mest effektive forbedring af anlægget består altså i, at flytte el-patronen ind i midten af varmtvandsbeholderen og fjerne kuldebroen i toppen af tanken. Herved kan anlægsydelsen forøges ca. 7%.

Det kan slutteligt bemærkes, at den her beregnede nettoydelse for anlægget, som det står nu i prøvestanden, er større end beregnet i /3/. Det skyldes, at anlægget er lavet om til et low flow tømmeanlæg.

4.3.6 Driftserfaringer og sammenfatning

I de to første måneder af 1995 ydede anlægget ikke så meget som det burde. Det skyldes først og fremmest, den store kuldebro, i toppen af lageret, som de mange rørgennemføringer var årsag til. Derfor blev toppen af lagertanken isoleret ekstra med 100 mm mineraluld. Derudover var volumenstrømmen i solfangerkredsen for høj, trods cirkulationspumpen kun stod på trin 1. Dette blev ordnet ved at sætte en ekstra ventil ind i solfangerkredsen. Disse foranstaltninger medførte en meget bedre ydelse for anlægget.

Hvis anlægget yderligere skal forbedres, foreslås det, at el-patronen fjernes fra kappen og føres ind i lageret. Herved kan anlægsydelsen forøges med 6%. Anlægsydelsen kan yderligere forøges med 1%, hvis kuldebroen i toppen af lagertanken fjernes. Selv om lagertanken er blevet ekstra isoleret under måleperioden, er der stadig en kuldebro på ca. 0,3 W/K i toppen af lagertanken. Kuldebroen skyldes først og fremmest de mange rørgennemføringer igennem toppen af beholderen. Derfor skal hele rørføringen i beholderen omstruktureres, således at der ikke bliver ført så mange rør igennem lagerets top.

Endelig viste det sig, at vandet, ikke i alle situationer, tømmes ud af anlægget når solfangeren ikke er i drift. Årsagen er, at ikke alle rørene i solfangerkredsen er installeret med en hældning, som sikrer en fuldstændig tømning. For at forhindre frostproblemer i solfangerkredsen, er det altså vigtigt, at rørene installeres med en hældning hele vejen fra solfangerne til lagertanken.

Desuden blev det bemærket, at sne på solfangernes overflader meget hurtigt smelter om morgenen. Forklaringen er sandsynligvis, at solfangerne termisk set er lette, idet de ikke indeholder solfangervæske om morgenen.

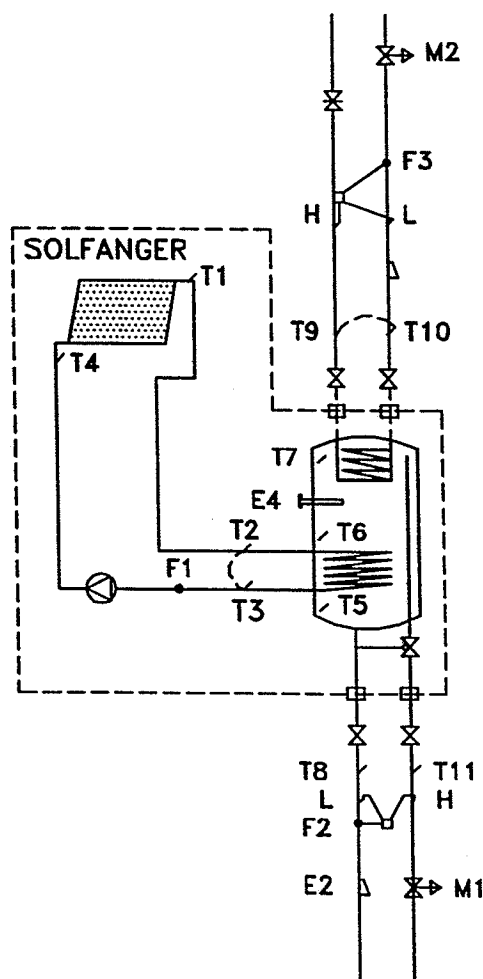
4.4 Anlæg 4: Ar-Con Solvarme A/S

4.4.1 Opbygning

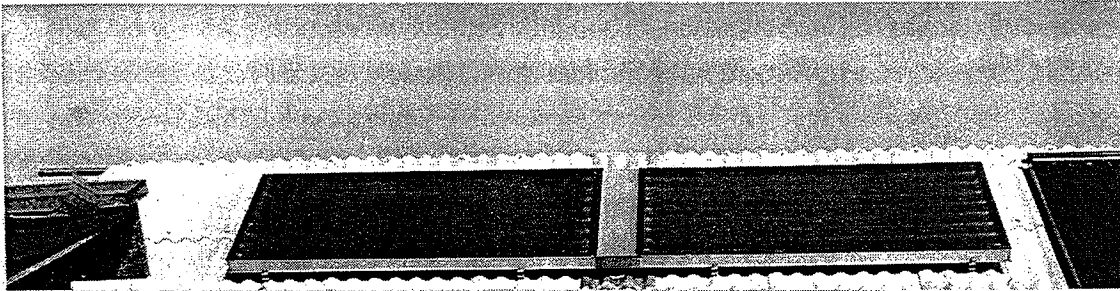
Solvarmeanlægget er opført i prøvestanden i januar 1994 af Ar-Con Solvarme A/S. Anlægget markedsføres i Danmark.

Anlægget består af to solfangerpaneler med et samlet transparent areal på 5,02 m², samt en lagertank på 250 l.

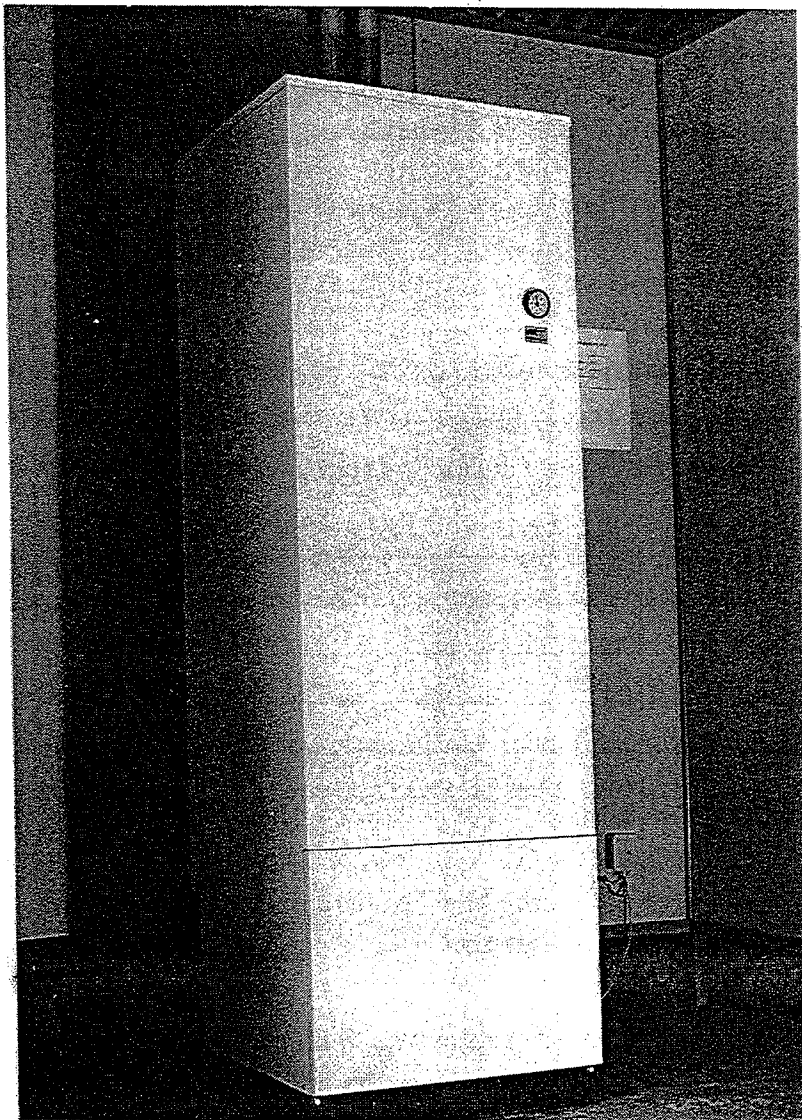
Solfangerpanelerne har to dæklag: Yderst 4 mm hærdet jernfrit glas og herunder en Teflon-folie. Absorberen er opbygget af Sunstrips med selektiv belægning. Solfangeren er installeret på en 45° hældende flade orienteret stik syd. Datablade for solfangeren ses i bilag 4.4.1.



Figur 4.4.1: Principskitse af solvarmeanlægget fra Ar-Con Solvarme A/S.



Figur 4.4.2: Solfangerelementet på solfangerstativet.



Figur 4.4.3: Solvarmeanlæggets varmelager.

Lagertanken (Ar-Con, 250 Combi) er en lodretstående cylindrisk stålbeholder med to varmevekslerspiraler til hhv. solvarme og suppleringsvarme fra f.eks. et fyr. Endvidere er varmetanken forsynet med en el-varmestav til brug i sommerperioder. Beholderen er isoleret med hårdt polyurethanskum samt mineraluld og indbygget i et stål kabinet. Datablade for lagertanken er vist i bilag 4.4.2.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 13,3 m mineralulds-isoleret fremløbsrør og 15,3 m mineralulds-isoleret returrør (heraf 2 x 3,5 m indendørs). Rørene er 15/13 mm kobberør. Solfangerkredsen er forsynet med en Grundfos cirkulationspumpe (Type UPS 25-40), som igennem hele måleperioden har kørt på trin 2. Cirkulationspumpen styres af en differenstermostat, der måler temperaturforskellen mellem udløbstemperaturen fra solfangeren og temperaturen i bunden af lagertanken. Differenstermostaten har et start/stop-setpunkt på 7/1 K.

I figur 4.4.1 ses en principskitse af anlægget. Figur 4.4.2 og 4.4.3 viser fotos af anlæggets solfanger og varmelager.

4.4.2 Måledata

I figur 4.4.4 er målepunkterne i anlægget vist.

Der er fem målepunkter i tanken. Målepunkterne er anbragt i en glasstav, som er indført i tanken gennem toppen. Målepunkterne 1,3 og 5 registreres hele tiden, mens punkterne 2 og 4 kan udtages midlertidigt. Målepunkterne i tanken er placeret som angivet i tabel 4.4.1:

Målepunkt	Angivelse i figur 4.4.1	Afstand fra top af tank (mm)
1	T7	10
2	-	325
3	T6	650
4	-	975
5	T5	1300

Tabel 4.4.1: Placering af temperaturfølere i lagertank.

Cirkulationspumpens og styresystemets effektforbrug blev i en periode målt til hhv. 58 W og 1,8 W. El-patronens effektforbrug blev målt til 870 W.

I tabel 4.4.2 er følgende målte månedlige værdier gengivet: Solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lager, energiforbrug til

pumpe, energiforbrug til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager-suppleringsvarme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme÷energiforbrug til pumpe÷energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]	Nettoydelse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Jan.	144	63	208	229	3,4	1,34	21	16	9,2	7,0
Feb.	181	64	179	200	6,5	1,21	21	13	10,5	6,5
Mar.	341	134	113	219	7,9	1,21	106	97	48,4	44,3
Apr.	571	202	80	240	10,7	1,30	160	148	66,7	61,7
Maj	774	239	52	249	12,2	1,34	197	183	79,1	73,5
Jun.	685	224	14	241	14,2	1,30	227	212	94,2	88,0
Jul.	882	269	16	247	14,4	1,34	231	215	93,5	87,0
Aug.	924	268	93	249	12,7	1,34	156	142	62,7	57,0
Sep.	420	145	117	224	8,2	1,30	107	98	47,8	43,8
Okt.	377	134	116	239	9,0	1,34	123	113	51,5	47,3
Nov	195	69	180	240	4,3	1,30	60	54	25,0	22,5
Dec	98	33	176	194	2,1	1,04	18	15	9,3	7,7
Tot.	5592	1844	1344	2771	105,5	15,3	1427	1306	51,5	47,1

Tabel 4.4.2: Målte månedsværdier for anlægget (1995).

Følgende dage foreligger der ikke målinger (1995):

Marts: 13-15

December: 25-31

Det ses af målingerne, at anlægget i 1995 har haft en anlægsydelse (Nettoydelse2) på 1306 kWh med en dækningsgrad på 47,1 %. Der er ikke alle dage, som tilstræbt, tappet 8 kWh.

4.4.3 EDB-model af solvarmeanlægget

Til bestemmelse af årlige ydelser samt forbedringsmuligheder for solvarmeanlægget er en EDB-model af anlægget udformet. Modellen bruges i et detaljeret simuleringsprogram udviklet i /21/.

Modellen valideres med målte data fra to perioder: 2/3-11/3 1995 og 5/6-16/6 1995, jvf. afsnit 3. I vinterperioden anvendes varmevekslerspiralen til suppleringsvarme. I sommerperioden anvendes el-patronen til suppleringsvarme. I det følgende er input til EDB-modellen beskrevet:

Solfangerkredsen:

Effektivitetsudtrykket for solfangeren er målt på Laboratoriet for Varmeisolering til /17/:

$$\eta = 0,77 - 4,40 \cdot (T_m - T_a) / G - 0 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$$

hvor

η	er solfangereffektiviteten	[-]
T_m	er middel væsketemperatur	[°C]
T_a	er lufttemperaturen	[°C]
G	er bestrålingsstyrken på solfangeren	[W/m ²]

Prøvningen er udført under standardbetingelser (ISO 9806-1.2) med en lufthastighed over solfangeren på 5 m/s. Denne lufthastighed er meget større end det, gennemsnitslufthastigheden normalt er udendørs. Derfor er effektivitetsudtrykket korrigeret, til et udtryk svarende til en lufthastighed på 2 m/s på baggrund af teori udviklet i /24, side 108-109/. Korrektionen reducerer solfangerens varmetab til 98,0% af det oprindelige varmetab. Herved fremkommer følgende effektivitetsudtryk for solfangeren:

$$\eta = 0,77 - 4,31 \cdot (T_m - T_a) / G - 0 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$$

eller

$$\eta = 0,77 - 4,31 \cdot (T_m - T_a) / G$$

Effektivitetens vinkelafhængighed i forhold til solindfaldet er på Laboratoriet for Varmeisolering bestemt til $a=3,0$ /17/, hvor a indgår i følgende ligning:

$$k_g = 1 - (\tan(i/2))^a$$

hvor

k_g	er indfaldsvinkelkorrektionen
i	er indfaldsvinklen

Væsken i solfangerkredsen er en propylenglycol/vand-blanding med hhv. 41 vægt% propylenglycol (vinter) og 60 vægt% propylenglycol (sommer).

Volumenstrømmen i solfangerkredsen er, ud fra målingerne, bestemt til:

$$v = 1,85 + 0,04 \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

v er volumenstrømmen i solfangerkredsen [l/min]
 T_{bund} er temperaturen i bunden af lagertanken [°C]

Rørene i solfangerkredsen består af 13,3 m 15/13 mm kobberrør fra toppen af solfangeren til lageret (heraf 2,3 m indendørs) og 11,3 m 15/13 mm kobberrør fra lageret til bunden af solfangeren (heraf 2,3 m indendørs). Rørene er isoleret med 22 mm mineralulds-isolering med en anslået λ -værdi på $0,03 + 0,0001 \cdot T_{\text{rør}}$ W/m·K.

Pumpen i solfangerkredsen har et effektforbrug på 58 W svarende til en pumpeindstilling på trin 2. Solfangerkredsen styres af en differenstermostat med et start/stop-setpunkt på 7/1K.

Lageret:

Lageret er på 250 l med en indvendig højde/diameter på 1,3/0,494 m. Lageret er isoleret med 0,045 m, 0,09 m og 0,015 m PUR-skum på hhv. lagerets sider, top og bund. Isoleringens λ -værdi anslås til 0,03 W/mK. Der er desuden tillagt en kuldebro i bunden af tanken på 0,3 W/K for at repræsentere rørgennemføringer i isoleringen. Parameterstudier har dog vist, at denne kuldebro ikke er af nævneværdig betydning for anlæggets samlede ydelse. Større betydning har til gengæld en ekstra kuldebro i toppen af tanken. Sammenligninger mellem målinger og beregninger har vist, at der skal tillægges en kuldebro på 0,2 W/K i toppen af tanken. Årsagen til denne kuldebro, kan være, at el-patronen gennembryder tankens isolering.

Varmeoverføringsevnen for solkredsens spiral i lagertanken er bestemt ud fra teori udviklet i /26/ til:

$$H = 37,7 + 9,46 \cdot \ln \Delta T + (2,86 + 0,541 \cdot \ln \Delta T) \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

H er varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen [W/K]
 T_{bund} er temperaturen af vandet som omgiver spiralen [°C]
 ΔT er differensen mellem solfangervæskens fremløbstemperatur til beholderen og T_{bund} [K]

Lageret er i EDB-modellen inddelt i 6 lag. Solkredsens varmevekslerspiral er placeret i det nederste lag, mens den supplerende varmevekslerspiral og el-patronen er placeret i det næstøverste lag. Herved opnås god overensstemmelse med lagerets faktiske opbygning.

I simuleringerne er anvendt en effekt på 870 W for suppleringsvarmen. Setpunktet for

termostaten er 50°C.

Startværdier for temperaturen i lagertankens forskellige lag er fastlagt ud fra de målte temperaturer.

4.4.4 Validering af EDB-model

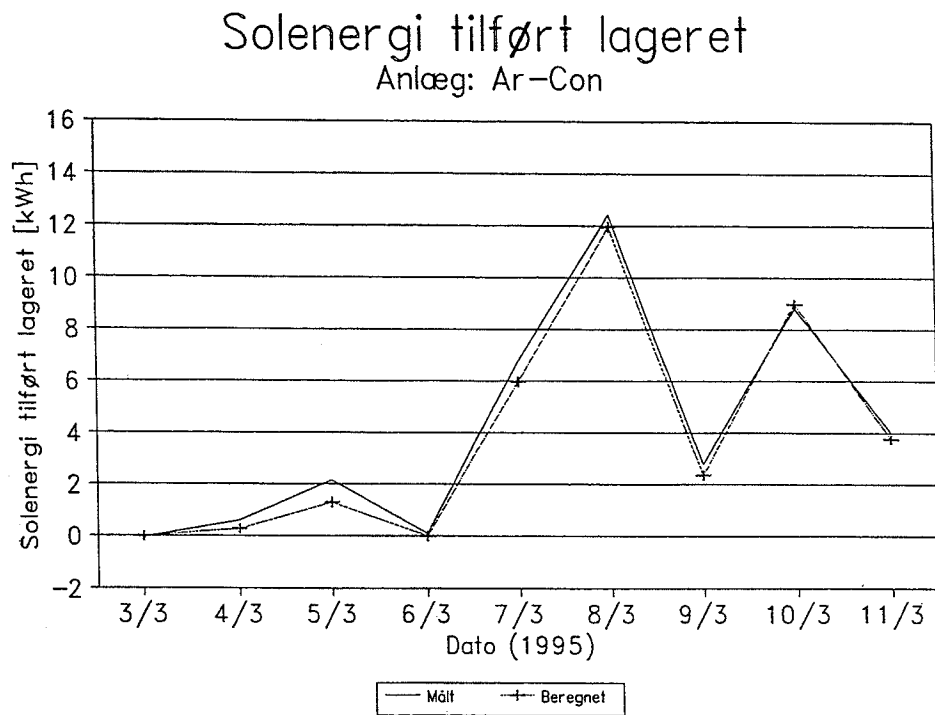
Formålet med valideringen af EDB-modellen er, at udforme en model der svarer så godt til anlægget, at man kan beregne årsydelser. Desuden kan modellen benyttes til at undersøge, hvorledes ændrede anlægsudformninger påvirker ydelser.

Med de i afsnit 4.4.3 anførte inputdata til simuleringsprogrammet er der gennemført beregninger for to perioder. De to perioder, der er simuleret, er hhv. 2/3-11/3 1995 (vinterperioden) og 5/6-16/6 1995 (sommerperioden), jvf. afsnit 3. Disse to perioder er udvalgt, idet de repræsenterer anlægget med suppleringsvarme fra hhv. varmevekslerspiral og el-patron.

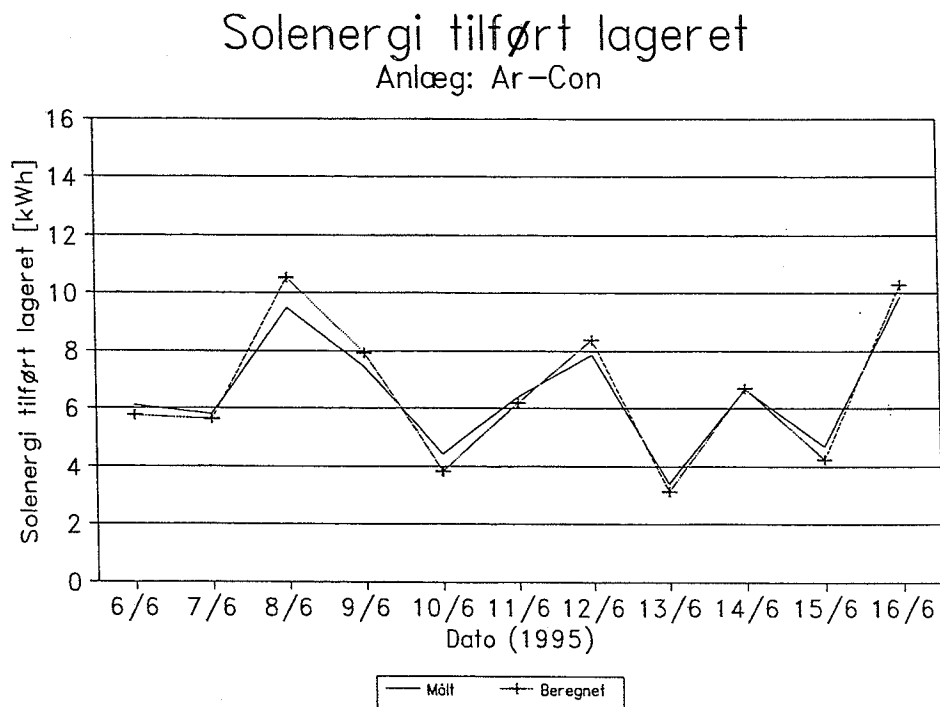
EDB-modellen af anlægget valideres mod målte energistørrelser og temperaturer. Energi-størrelserne er som følger: Solenergi tilført lageret, supplerende energi tilført lageret, energi tappet fra lageret og nettoydelse (Nettoydelse₁). Her er nettoydelsen beregnet som energi tappet fra lageret ÷ supplerende energi tilført lageret.

De målte temperaturer der benyttes til valideringen er: Temperatur i toppen af lageret (T7), solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2) og solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3). Angivelserne i parenteserne refererer til signaturene i figur 4.4.4.

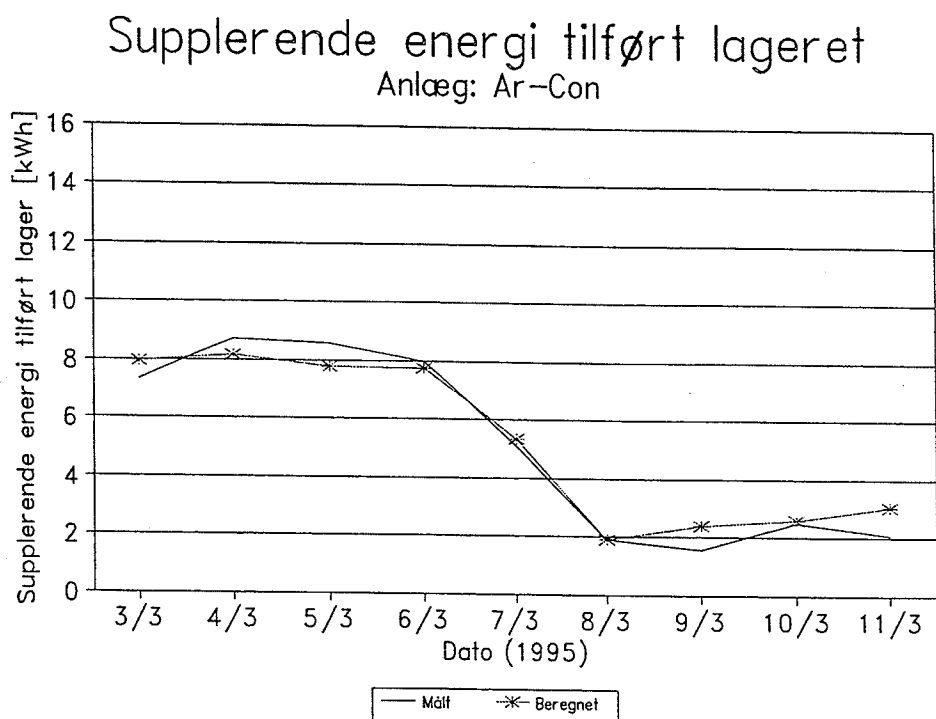
I figur 4.4.4-5 ses den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangeren til lageret i de to perioder. Figur 4.4.6-7 viser den målte og beregnede daglige supplerende energitilførsel til lageret i perioderne. I figur 4.4.8-9 ses den målte og beregnede daglige energimængde tappet fra lageret i begge perioder, mens figur 4.4.10-11 viser den målte og beregnede daglige nettoydelse. Det fremgår, at den første dag i begge perioder ikke er medtaget. Det skyldes, at den første dag benyttes som indsvingningsperiode.



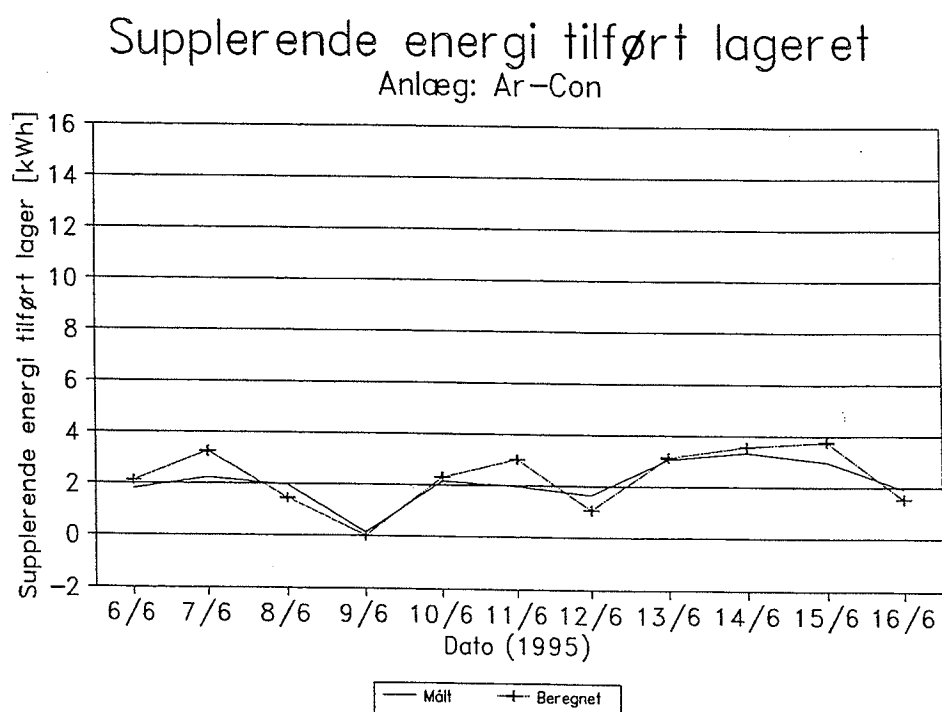
Figur 4.4.4: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i vinterperioden.



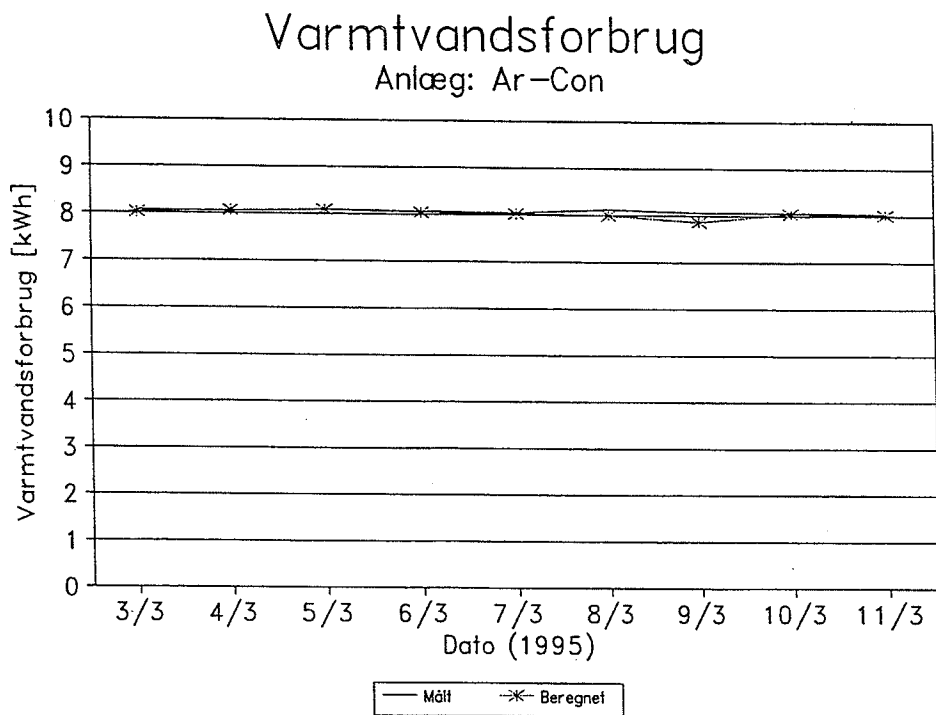
Figur 4.4.5: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i sommerperioden.



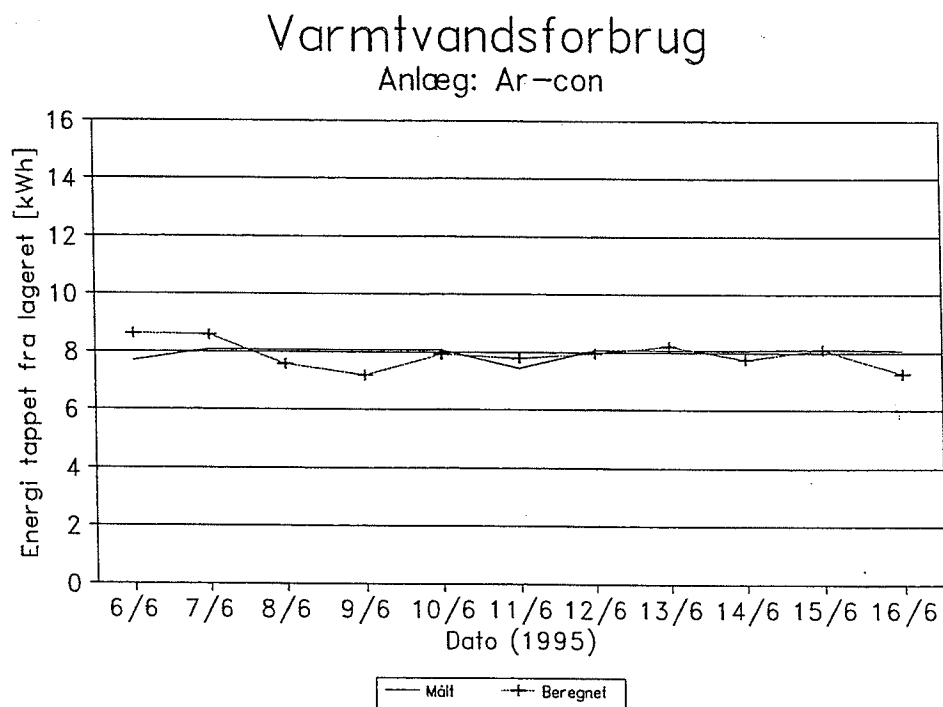
Figur 4.4.6: Supplerende energi tilført lageret i vinterperioden.



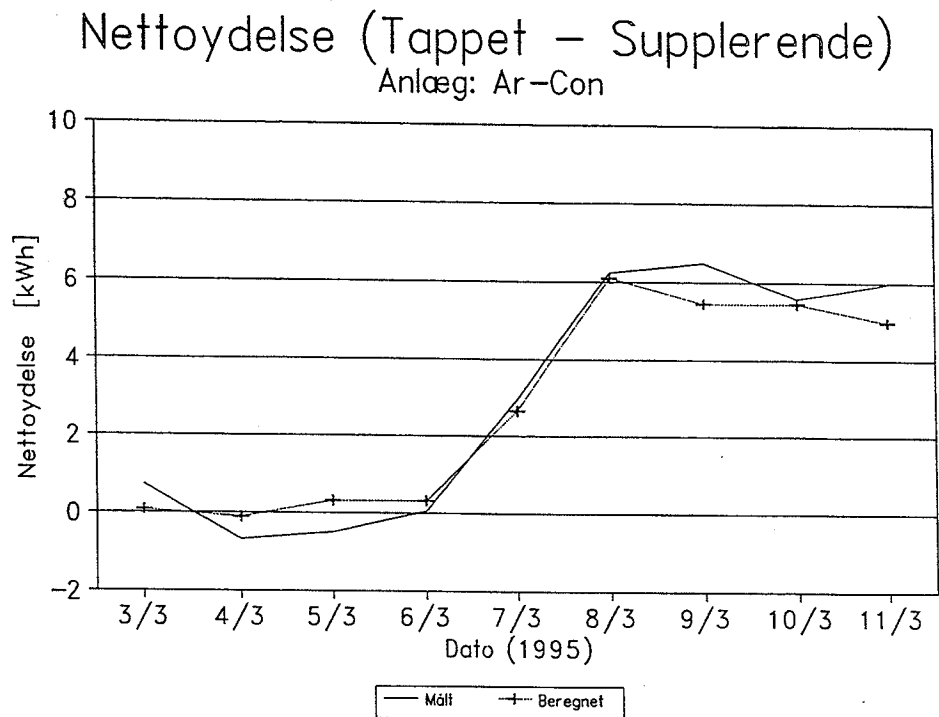
Figur 4.4.7: Supplerende energi tilført lageret i sommerperioden.



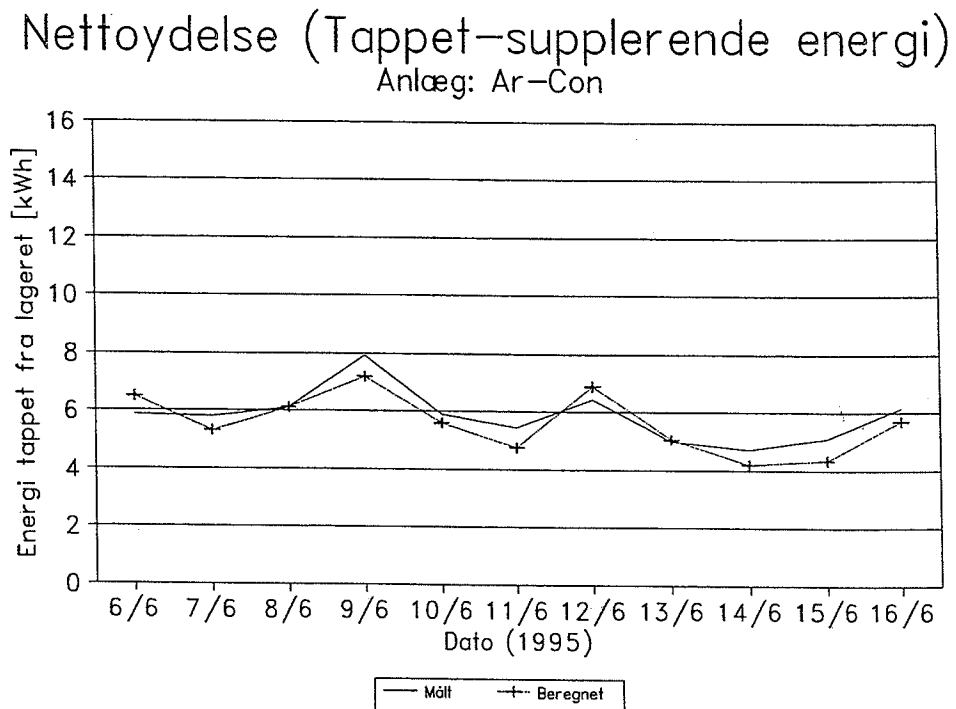
Figur 4.4.8: Energimængde tappet fra lageret i vinterperioden.



Figur 4.4.9: Energimængde tappet fra lageret i sommerperioden.



Figur 4.4.10: Nettoydelse for solvarmeanlægget i vinterperioden.



Figur 4.4.11: Nettoydelsen for solvarmeanlægget i sommerperioden.

Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser. I tabel 4.4.3-4 er energimængderne summeret over perioderne, og det fremgår heraf, at forskellen ligger inden for måleusikkerheden (jvf. afsnit 2).

Periode:	Energimængde fra solfanger til lager [kWh]	Supplerende energimængde tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
3/3-11/3 1995				
Målt	37,6	45,7	72,5	26,8
Beregnet	36,6	46,1	72,1	26,0
Afvigelse i %	-2,7	0,9	-0,6	-3,0

Tabel 4.4.3: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

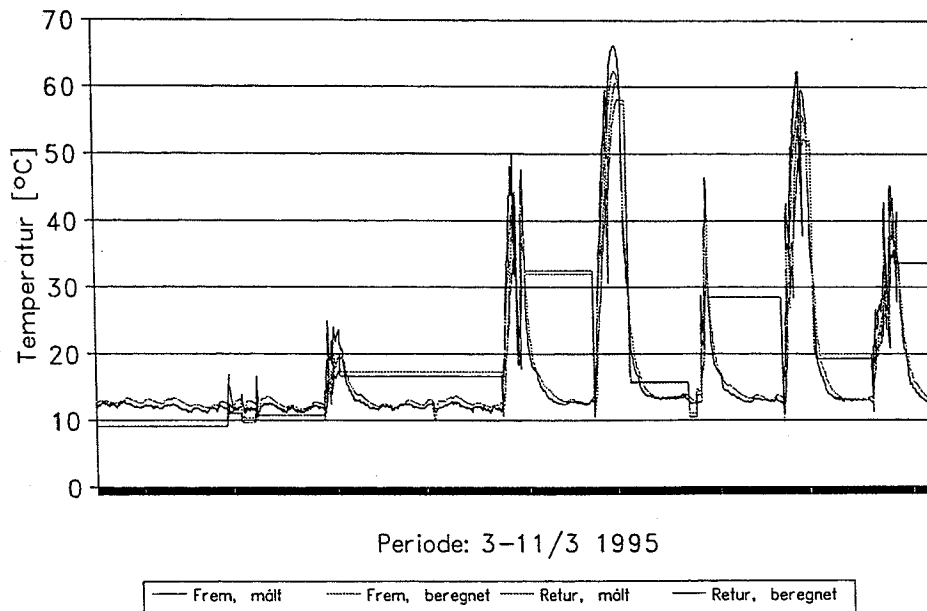
Periode:	Energimængde fra solfanger til lager [kWh]	Supplerende energimængde tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
6/6-16/6 1995				
Målt	71,9	23,3	87,6	64,3
Beregnet	72,5	24,3	86,9	62,6
Afvigelse i %	0,8	4,3	-0,8	-2,6

Tabel 4.4.4: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

Figur 4.4.42-14 viser fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i de to perioder, mens figur 4.4.45-16 gengiver temperaturen i toppen af lageret. Den beregnede temperatur svarer til temperaturen i lag nr. 5 i lagertanken. Sammenligningen af temperaturerne viser, at temperaturniveauet og dynamikken stemmer godt overens. På grundlag af dette og overensstemmelsen mellem målte og beregnede energimængder vurderes det derfor, at EDB-modellen kan anvendes til simulering af et helt år med referenceåret TRY.

Ind- og udløbstemperatur fra lager

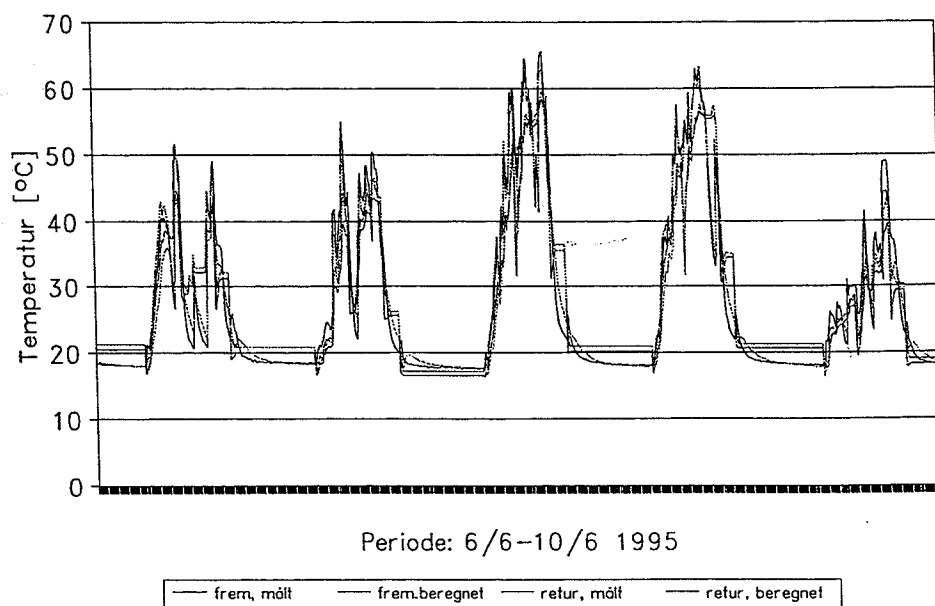
Anlæg: Ar-Con



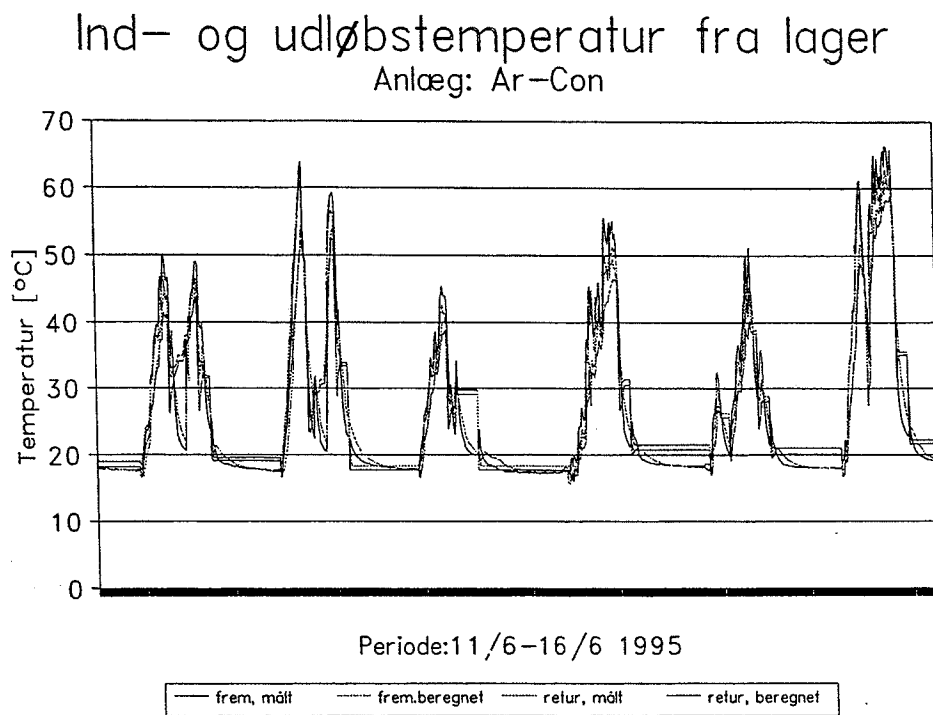
Figur 4.4.12: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i vinterperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.

Ind- og udløbstemperatur fra lager

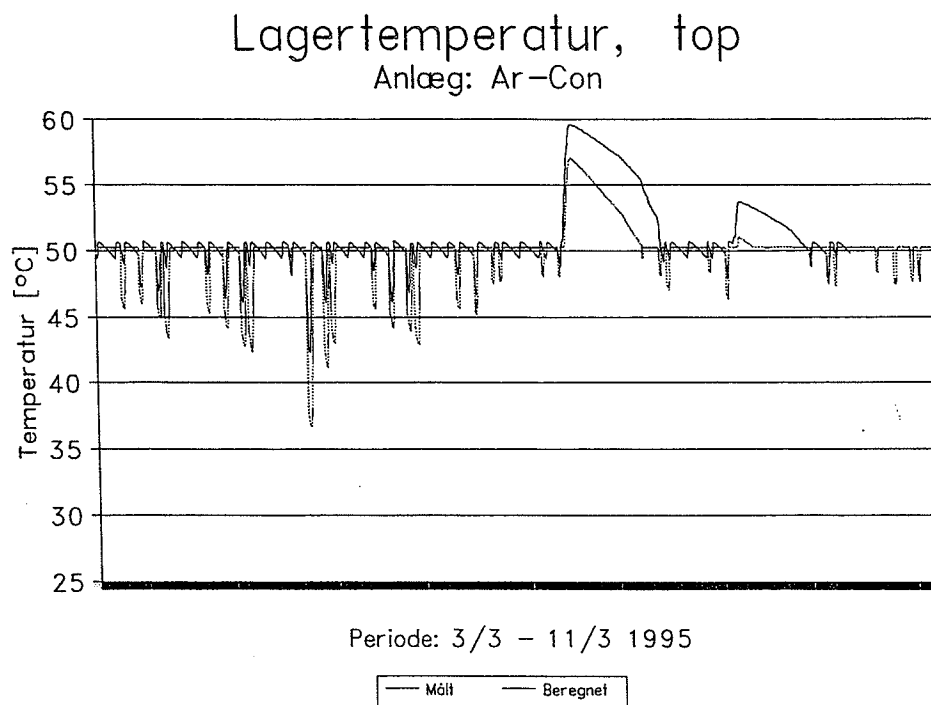
Anlæg: Ar-Con



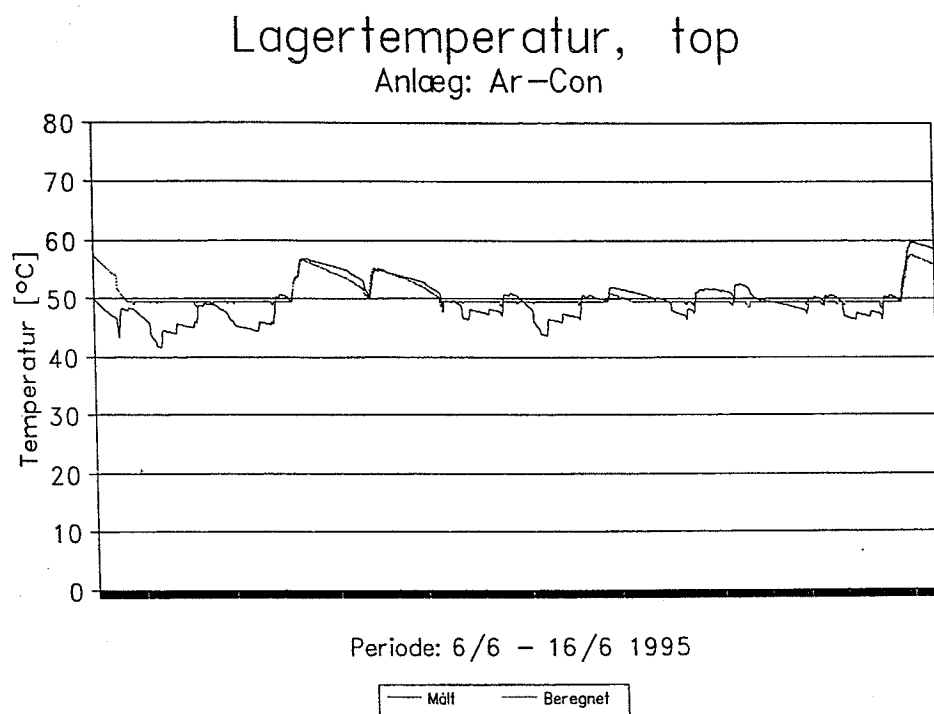
Figur 4.4.13: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i første del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



Figur 4.4.14: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i anden del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



Figur 4.4.15: Temperaturen i toppen af lageret i vinterperioden.



Figur 4.4.16: Temperaturen i toppen af lageret i sommerperioden.

4.4.5 Årsydelse for anlægget

I følgende beregninger anvendes modellen beskrevet i afsnit 4.4.3 med følgende ændringer: Der tappes 200 l/dag i tre lige store tapninger kl.: 7:00, 12:00 og 19:00. Koldtvandstemperaturen er 10°C og varmtvandstemperaturen er 45°C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5 °C. Der tilføres suppleringsvarme fra elpatronen i perioden 9/5-22/9 (begge dage incl.) og fra varmeveksleren i den resterende periode. Disse ændringer svarer til forudsætnin-
gerne, som benyttes i forbindelse med bestemmelse af tilskudsydelse for små brugsvandsanlæg /27/.

I tabel 4.4.5 ses de beregnede månedlige værdier for solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energimængde tappet fra lageret, energimængde til pumpe, energimængde til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager-suppleringsvarme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme÷energiforbrug til pumpe÷energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]	Nettoydelse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Jan.	134	37	223	250	2,5	1,34	27	23	10,8	9,2
Feb.	297	93	148	226	5,4	1,21	78	71	34,5	31,4
Mar.	375	115	153	250	7,5	1,34	97	88	38,8	35,2
Apr.	671	214	70	242	12,8	1,30	172	158	71,1	65,3
Maj	786	259	27	250	14,1	1,34	223	208	89,2	83,2
Jun.	894	277	17	242	15,0	1,30	225	209	93,0	86,4
Jul.	788	259	24	250	15,4	1,34	226	209	90,4	83,6
Aug.	752	270	27	250	14,9	1,34	223	207	89,2	82,8
Sep.	537	212	57	242	12,9	1,30	185	171	76,4	70,7
Okt.	341	132	133	250	8,9	1,34	117	107	46,8	42,8
Nov	192	66	188	242	5,3	1,30	54	47	22,3	19,4
Dec	171	56	206	250	4,2	1,34	44	38	17,6	15,2
Tot.	5938	1990	1273	2944	118,9	15,6	1671	1536	56,8	52,2

Tabel 4.4.5: Beregnede månedlige energimængder.

Det ses, at anlægget har en årlig nettoydelse (Nettoydelse1) på 1671 kWh og en anlægsydelse (Nettoydelse2) på 1536 kWh. De to ydelser svarer til en dækningsgrad på hhv 56,8%

og 52,2%. Ved sammenligning med de målte resultater i tabel 4.4.2 ses det, at anlægsydelsen (Nettoydelse₂) og dækningsgraden (dækningsgrad₂) er målt hhv. ca. 230 kWh og 5% lavere end de er beregnet. Det skyldes først og fremmest, at de supplerende energikilder i forsøgene opvarmer toppen af tanken til en højere temperatur (50°C) end antaget i beregningerne. Derudover er tappemønsteret anderledes, idet det der tappes mindre i aftentimerne og mere ved middagstid, i beregningerne end ved målingerne.

Tilskudsydelsen for et solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning defineres på følgende måde: Energimængde tappet fra lageret ÷ Suppleringsvarme til lageret ÷ Cirkulationspumpens energiforbrug + 300 kWh (hvis der både er el-patron og varmeveksler til suppleringsvarme). Anlægget vil, med det danske referenceårs vejrdata, da have en tilskudsydelse på:

$$\text{Tilskudsydelse} = 2944 - 1273 - 118,9 + 300 = 1852 \text{ kWh}$$

I Solvarmeoversigten fra april 1995 er tilskudsydelsen angivet til 1910 kWh - altså lidt højere end den her beregnede tilskudsydelse.

Forbedringsmuligheder:

Der er udført beregninger for at undersøge mulighederne for at forbedre anlægget. Alle de nedenstående modeludformninger refererer til ændringer af det nuværende anlæg:

Model 0: Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Under de udførte målinger, har cirkulationspumpen stået på trin 2. Dette blev ændret til trin 1 for at undersøge, hvorvidt solvarmeanlæggets ydelse blev øget. Ændringen betød, at flowet reduceredes til:

$$v = 0,1 + 0,04 \cdot T_{\text{bund}} \quad [\text{l/min}]$$

Dette medfører en varmeoverføringsevne for varmevekslerspiralen i solkredsen på:

$$H = -1,55 - 1,634 \cdot \ln \Delta T + (2,13 + 0,274 \cdot \ln \Delta T) \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

H	er varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen	[W/K]
T_{bund}	er temperaturen af vandet som omgiver spiralen	[°C]
ΔT	er differensen mellem solfangervæskens fremløbstemperatur til beholderen og T_{bund}	[K]

hvilket er beregnet ud fra teorien udviklet i /26/. Dette giver mulighed for endnu nogle modelvariationer, idet det forudsættes, at solfangereffektiviteten ikke ændres når flowet

reduceres:

Model 1: Flowet i solfangerkredsen ændres til $v = 0,1 + 0,04 \cdot T_{\text{bund}}$. Varmeoverførings-
evnen for varmevekslerspiralen ændres til ovenstående. Pumpeeffekten ændres
til 36,2 W (målt ved pumpetrim 1).

Model 2: Flowet i solfangerkredsen ændres til $v = 0,1 + 0,04 \cdot T_{\text{bund}}$. Varmeoverførings-
evnen for varmevekslerspiralen ændres til ovenstående. Pumpeeffekten ændres
til 36,2 W (målt ved pumpetrim 1). Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig
med 0 W/K.

Tabel 4.4.6 viser resultaterne af parametervariationerne.

Model	Solind- fald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresy- stem [kWh]	Netto- ydelse1 [kWh]	Netto- ydelse2 [kWh]	Dæk- nings- grad1 [%]	Dæk- nings- grad2 [%]
Ref.	5938	1990	1273	2944	118,9	15,8	1671	1536	56,8	52,2
0	5938	1973	1240	2944	118,5	15,8	1704	1570	57,9	53,3
1	5938	1923	1340	2944	85,5	15,8	1604	1503	54,5	51,1
2	5938	1909	1305	2944	85,5	15,8	1639	1538	55,7	52,2

Tabel 4.4.6: Beregnede årlige energimængder for de forskellige udformninger af anlægget. Ref. svarer til
anlægget som det står nu.

Model 0: Det ses, at anlægsydelsen (Nettoydelse2) forøges ca. 2% når kuldebroen i
toppen af lagertanken fjernes.

Model 1: Ved at sætte pumpen på trin 1 i stedet for trin 2, falder nettoydelsen
(Nettoydelse 1) 67 kWh, mens anlægsydelsen (Nettoydelse2) falder 33 kWh
svarende til en forringelse på ca. 2 %. Dvs. at besparelsen i pumpe-energi ikke
overstiger tabet i tilført solvarme.

Model 2: Ved både at nedsætte flowet i solfangerkredsen og fjerne kuldebroen i toppen
af tanken, ændres anlægsydelsen næsten ikke.

Den mest effektive forbedring af anlægget består altså i, at fjerne kuldebroen i toppen af
tanken.

Det kan slutteligt bemærkes, at den her beregnede nettoydelse for anlægget, som det står

nu i prøvestanden, er noget større end beregnet i /4/. Det skyldes, at den her benyttede EDB-model af anlægget er mere nøjagtig end den i /4/ benyttede model. Forskellen ligger i, at denne model er baseret på målinger med både el-patron og varmevekslerspiral, hvorimod modellen i /4/ kun er baseret på målinger med el-patron. Ved at validere modellen med målinger med både el-patron og varmevekslerspiral, opnås en mere korrekt simulering af solvarmeanlæggets virkemåde.

4.4.6 Driftserfaringer og sammenfatning

Anlægget har kørt uden problemer.

Anlægget har haft en god ydelse i både sommer- og vinterhalvåret.

For at forbedre anlægget foreslås det, at beholderen isoleres grundigt ved elpatronen. Herved kan anlægsydelsen forøges ca. 2 %.

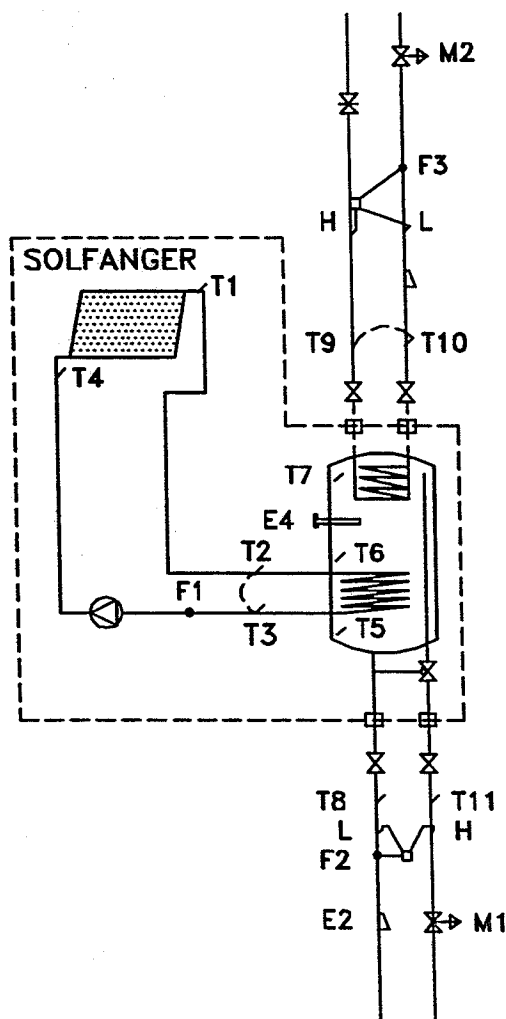
4.5 Anlæg 5: Solahart Scandinavia ApS

4.5.1 Opbygning

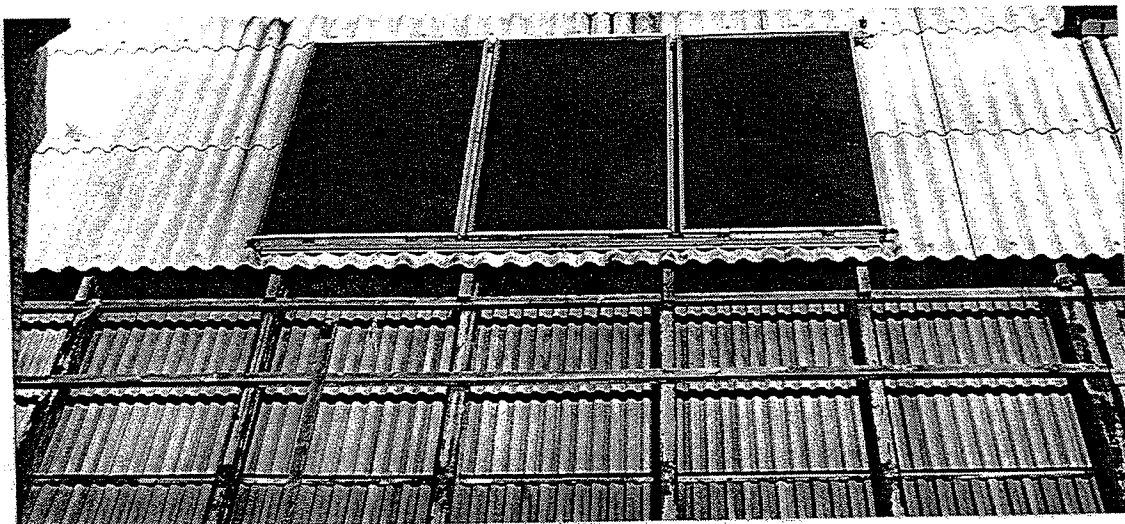
Solvarmeanlægget er opført i prøvestanden i januar 1994 af Solahart Scandinavia ApS. Anlægget er ikke markedsført i Danmark, da en nyere lagertank nu benyttes.

Anlægget består af tre solfangerpaneler med et samlet transparent areal på 5,55 m², samt en lagertank på 280 l.

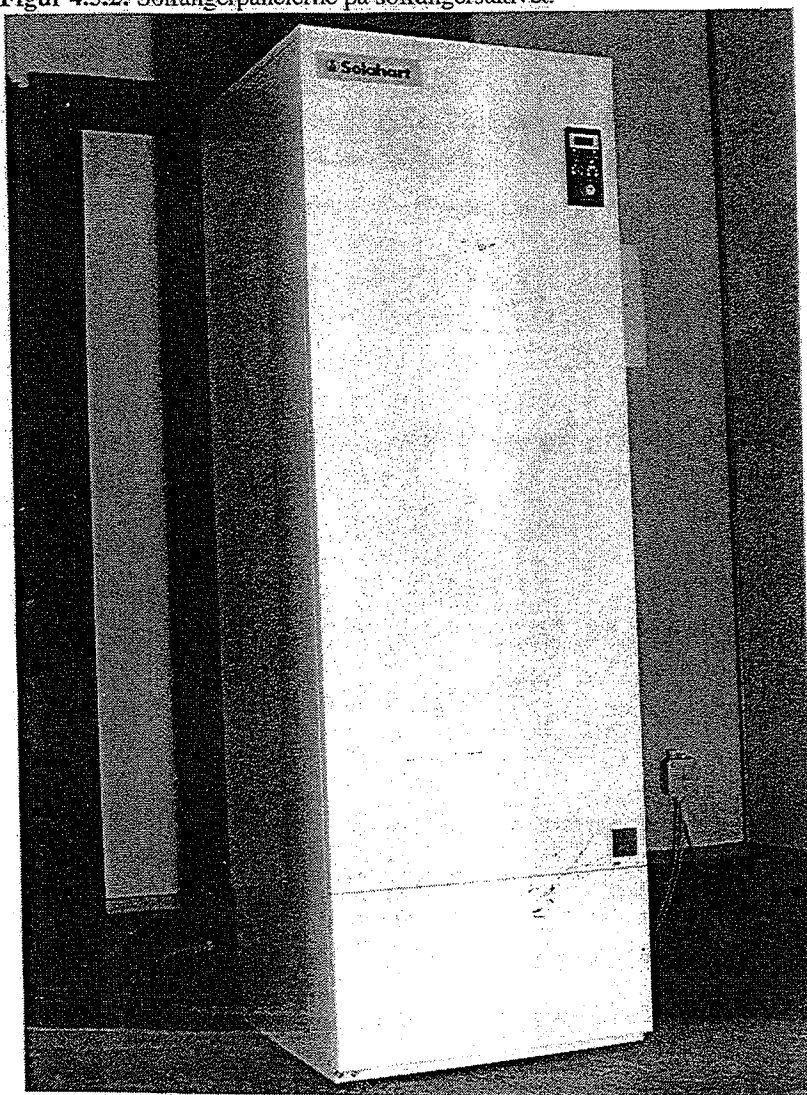
Solfangerpanelerne (Type Solahart k) består af et dæklag af 3,3 mm hærdet jernfrit glas, samt en hydraulisk presset kanalplade med selektiv belægning som absorberer. Solfangeren er installeret på en 45° hældende flade orienteret stik syd. Datablade for solfangeren ses i bilag 4.5.1.



Figur 4.5.1: Principskitse med målepunkter af anlægget fra Solahart Scandinavia ApS.



Figur 4.5.2: Solfangerpanelerne på solfangerstativet.



Figur 4.5.3: Solvarmeanlæggets varmetager.

Lagertanken (Nilan SV 300) er en lodretstående cylindrisk stålbeholder med to varmevekslerspiraler til hhv. solvarme og suppleringsvarme fra f.eks. et fyr. Endvidere er varmetanken forsynet med en el-varmestav til brug i sommerperioder. Beholderen er isoleret med hårdt polyurethanskum samt mineraluld og indbygget i et stålkabinet. Datablade for lagertanken er vist i bilag 4.5.2.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 13,3 m skum-isoleret fremløbsrør og 15,3 m skum-isoleret returrør. Heraf befinder 2 x 3,5 m sig indendørs. Rørene er 18/16 mm kobberrør. Solfangerkredsen er forsynet med en Grundfos cirkulationspumpe (type UPS 25-40), som igennem hele måleperioden har kørt på trin 3. Cirkulationspumpen styres af en differenstermostat, der måler temperaturforskellen mellem udløbstemperaturen fra solfangeren og temperaturen i bunden af lagertanken. Differenstermostaten har et start/stop-setpunkt på 9,5/0 K.

I figur 4.5.1 ses en principskitse af anlægget. Figur 4.5.2 og 4.5.3 viser fotos af anlæggets solfanger og varmelager.

4.5.2 Måledata

I figur 4.5.1 er målepunkterne i anlægget vist.

Der er fem målepunkter i tanken. Målepunkterne er anbragt i en glasstav, som er indført i tanken gennem bunden. Målepunkterne 1,3 og 5 registreres hele tiden, mens punkterne 2 og 4 kan udtages midlertidigt. Målepunkterne i tanken er placeret som angivet i tabel 4.5.1:

Målepunkt	Angivelse i figur 4.5.1	Afstand fra bund af tank (mm)
1	T7	30
2	-	346
3	T6	674
4	-	1005
5	T5	1320

Tabel 4.5.1: Placering af temperaturfølere i lagertank.

Cirkulationspumpens og styresystemets effektforbrug blev i en periode målt til hhv. 87 W og 1,3 W. El-patronens effektforbrug blev målt til 870 W.

I tabel 4.5.2 er følgende målte månedlige værdier gengivet: Solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lager, energiforbrug til

pumpe, energiforbrug til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager-suppleringsvarme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme÷energiforbrug til pumpe÷energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]	Nettoydelse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Jan.	159	45	242	245	4,2	0,97	3	-2	1,2	-0,8
Feb.	199	63	204	211	6,0	0,87	7	0	3,3	0,0
Mar.	417	127	145	218	9,7	0,87	73	62	33,5	28,4
Apr.	632	207	111	240	14,0	0,94	129	114	53,8	47,5
Maj	855	262	56	250	16,1	0,97	194	177	77,6	70,8
Jun.	758	259	64	241	17,7	0,94	177	158	73,4	65,6
Jul.	818	282	1	207	16,7	0,81	206	188	99,5	90,8
Aug.	1021	337	1	250	20,7	0,97	249	227	99,6	90,8
Sep.	465	164	117	233	9,4	0,94	116	106	49,8	45,5
Okt.	417	144	126	239	7,9	0,97	113	104	47,3	43,5
Nov	216	70	212	239	5,0	0,94	27	21	11,3	8,8
Dec	140	46	256	249	4,0	0,97	-7	-12	-2,8	-4,8
Tot.	6097	2006	1535	2822	131,4	11,1	1287	1145	45,6	40,6

Tabel 4.5.2: Målte månedsværdier for anlægget (1995).

Følgende dage foreligger der ikke målinger (1995):

Marts: 13-15

Juli: 4-8

Der er ikke, som tilstræbt, tappet nøjagtigt 8 kWh fra lageret hver dag.

Det ses af målingerne, at anlægget i måleperioden i 1995 har haft en anlægsydelse (Nettoydelse2) på 1145 kWh med en dækningsgrad på 40,6%.

4.5.3 EDB-model af solvarmeanlægget

Til bestemmelse af årlige ydelser samt forbedringsmuligheder for solvarmeanlægget er en EDB-model af anlægget udformet. Modellen bruges i et detaljeret simuleringsprogram udviklet i /21/.

Modellen valideres med målte data fra to perioder: 2/3-11/3 1995 og 5/6-16/6 1995, jvf. afsnit 3. I vinterperioden anvendes varmevekslerspiralen til suppleringsvarme. I sommerperioden anvendes el-patronen til suppleringsvarme. I det følgende er input til EDB-modellen beskrevet:

Solfangerkredsen:

Effektivitetsudtrykket for solfangeren er målt på Laboratoriet for Varveisolering til /18/:

$$\eta = 0,82 - 5,74 \cdot (T_m - T_a) / G - 0,005 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$$

hvor

η	er solfangereffektiviteten	[-]
T_m	er middel væsketemperatur	[°C]
T_a	er lufttemperaturen	[°C]
G	er bestrålingsstyrken på solfangeren	[W/m ²]

Prøvningen er udført under standardbetingelser (ISO 9806-1.2) med en lufthastighed over solfangeren på 5 m/s. Denne lufthastighed er meget større end det, gennemsnitslufthastigheden normalt er udendørs. Derfor er effektivitetsudtrykket korrigeret, til et udtryk svarende til en lufthastighed på 2 m/s på baggrund af ligningerne i /24, side 108-109/. Korrektionen reducerer solfangerens varmetab til 95,8% af det oprindelige varmetab. Herved fremkommer følgende effektivitetsudtryk for solfangeren:

$$\eta = 0,82 - 5,48 \cdot (T_m - T_a) / G - 0,00479 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$$

Simuleringsprogrammet benytter ikke det egentlige effektivitetsudtryk, men et lineariseret udtryk ved en temperaturdifferens på 50 K. Således bliver det endelige udtryk:

$$\eta = 0,82 - 5,73 \cdot (T_m - T_a) / G$$

Effektivitetens vinkelafhængighed i forhold til solindfaldet er på den schweiziske prøvestation i Rapperswil bestemt til $a=3,93/33$, hvor a indgår i følgende ligning:

$$k_g = 1 - (\tan(i/2))^a$$

hvor

k_g	er indfaldsvinkelkorrektionen
i	er indfaldsvinklen

Væsken i solfangerkredsen er en propylenglycol/vand-blanding med hhv. 62 vægt% propylenglycol (vinter) og 60 vægt% propylenglycol (sommer).

Volumenstrømmen i solfangerkredsen er, ud fra målingerne, bestemt til:

$$v = 3,0 + 0,06 \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

v er volumenstrømmen i solfangerkredsen [l/min]

T_{bund} er temperaturen i bunden af lagertanken [°C]

Rørene i solfangerkredsen består af 13,3 m 18/16 mm rør fra toppen af solfangeren til lageret (heraf 3,5 m indendørs) og 11,3 m 18/16 mm rør fra lageret til bunden af solfangeren (heraf 3,5 m indendørs). Rørene er isoleret med 22 mm skum-isolering med en anslået λ -værdi på $0,025 + 0,0001 \cdot T_{\text{rør}}$ W/m·K.

Pumpen i solfangerkredsen har et effektforbrug på 87 W svarende til en pumpeindstilling på trin 3. Solfangerkredsen styres af en differenstermostat med et start/stop-setpunkt på 9,5/0 K.

Lageret:

Lageret er på 280 l med en indvendig højde/diameter på 1,46/0,494 m. Lageret er isoleret med 0,055 m, 0,075 m og 0,045 m PUR-skum på hhv. lagerets sider, top og bund. Isoleringens λ -værdi anslås til 0,03 W/mK. Der er desuden tillagt en kuldebro i bunden af tanken på 0,2 W/K for at repræsentere rørgennemføringer i isoleringen. Parameterstudier har dog vist, at denne kuldebro ikke er af nævneværdig betydning for anlæggets samlede ydelse. Større betydning har til gengæld en ekstra kuldebro i toppen af tanken. Sammenligninger mellem målinger og beregninger har vist, at der skal tillægges en kuldebro på 1,1 W/K i toppen af tanken. Årsagen til denne kuldebro er, at rør og el-patron gennembryder isoleringen i toppen af tanken.

Der er anvendt Prøvestationen for Solenergi's (DTI) udtryk for varmeoverføringsevnen for solkredsens varmevekslerspiral i bunden af lagertanken, jvf bilag 4.5.2:

$$H = 146 + 1,59 \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

H er varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen [W/K]

T_{bund} er temperaturen af vandet som omgiver spiralen [°C]

Lageret er i EDB-modellen inddelt i 6 lag. Solkredsens varmevekslerspiral er placeret i det nederste lag, mens den supplerende varmevekslerspiral og el-patronen er placeret i det næstøverste lag. Herved opnås god overensstemmelse med lagerets faktiske opbygning.

I simuleringerne er anvendt en effekt på 870 W for suppleringsvarmen. Setpunktet for termostaten er 50°C.

Startværdier for temperaturen i lagertankens forskellige lag er fastlagt ud fra de målte temperaturer.

4.5.4 Validering af EDB-model

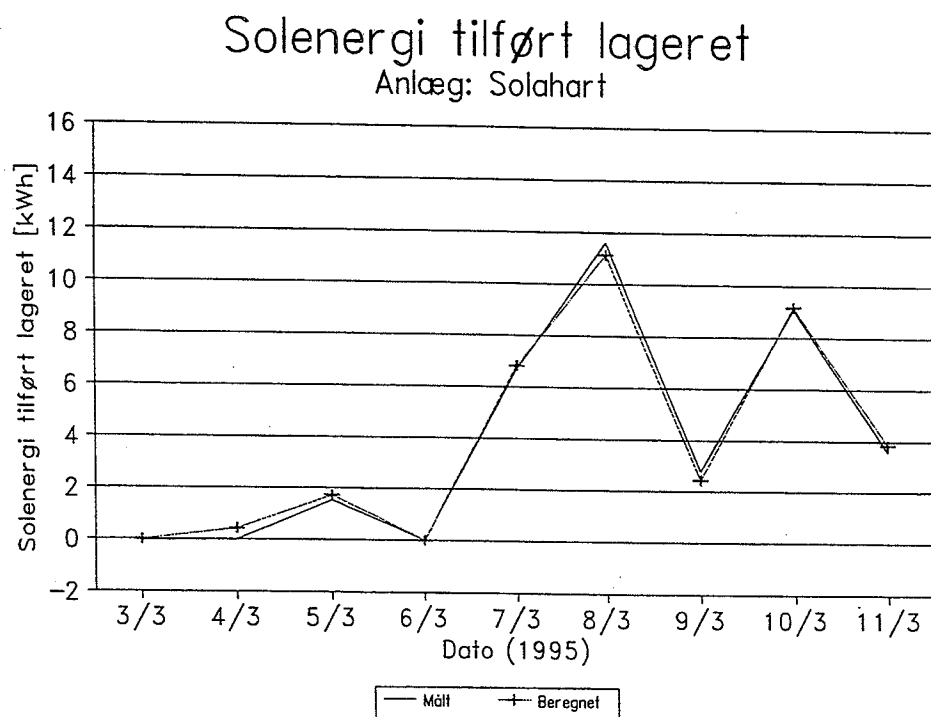
Formålet med valideringen af EDB-modellen er, at udforme en model der svarer så godt til anlægget, at man kan beregne årsydelse. Desuden kan modellen benyttes til at undersøge, hvorledes ændrede anlægsudformninger påvirker ydelsen.

Med de i afsnit 4.5.3 anførte inputdata til simuleringsprogrammet er der gennemført beregninger for to perioder. De to perioder, der er simuleret, er hhv. 2/3-11/3 1995 (vinterperioden) og 5/6-16/6 1995 (sommerperioden), jvf. afsnit 3. Disse to perioder er udvalgt, idet de repræsenterer anlægget med suppleringsvarme fra hhv. varmevekslerspiral og el-patron.

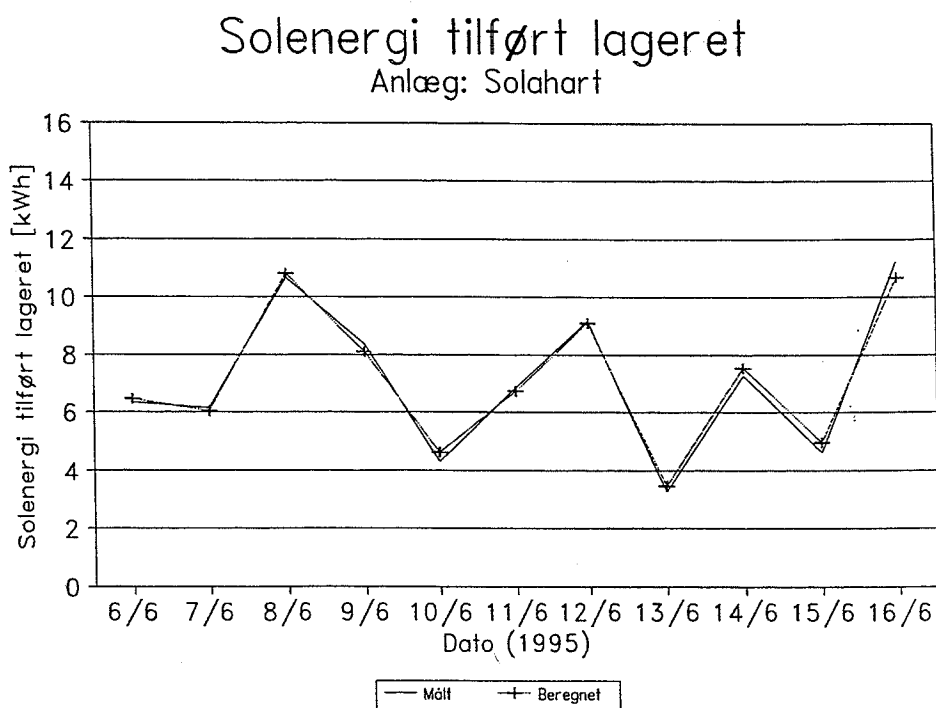
EDB-modellen af anlægget valideres mod målte energistørrelser og temperaturer. Energi-størrelserne er som følger: Solenergi tilført lageret, supplerende energi tilført lageret, energi tappet fra lageret og nettoydelse (Nettoydelse₁). Her er nettoydelsen beregnet som energi tappet fra lageret ÷ supplerende energi tilført lageret.

De målte temperaturer der benyttes til valideringen er: Temperatur i toppen af lageret (T7), solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2) og solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3). Angivelserne i parenteserne refererer til signaturerne i figur 4.5.1.

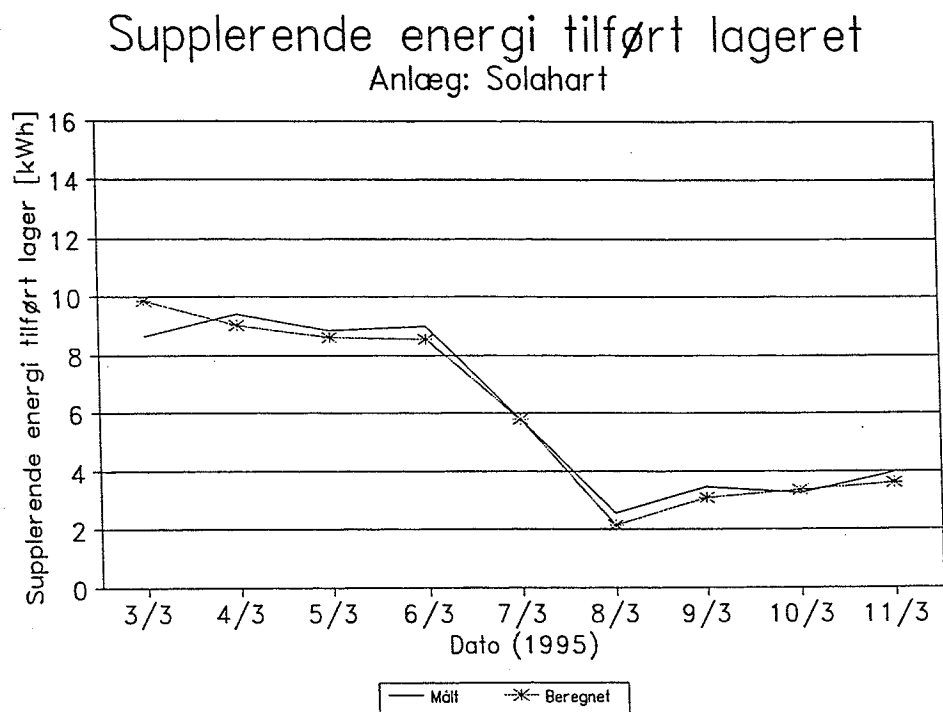
I figur 4.5.4-5 ses den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangeren til lageret i de to perioder. Figur 4.5.6-7 viser den målte og beregnede daglige supplerende energitilførsel til lageret i perioderne. I figur 4.5.8-9 ses den målte og beregnede daglige energimængde tappet fra lageret i begge perioder, mens figur 4.5.10-11 viser den målte og beregnede daglige nettoydelse. Det fremgår, at den første dag i begge perioder ikke er medtaget. Det skyldes, at den første dag benyttes som indsvingningsperiode.



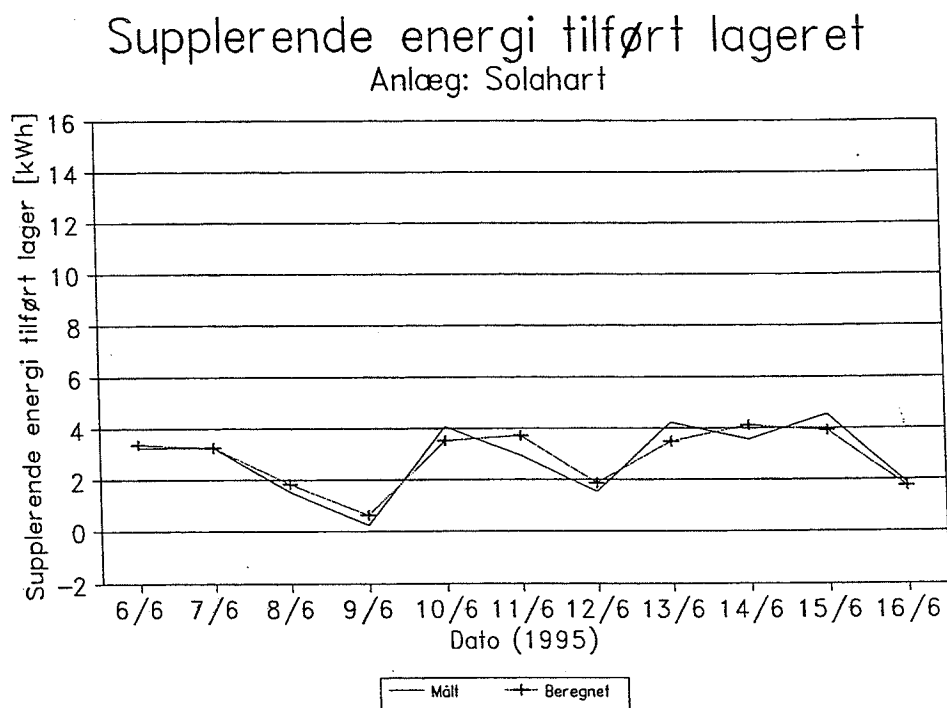
Figur 4.5.4: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i vinterperioden.



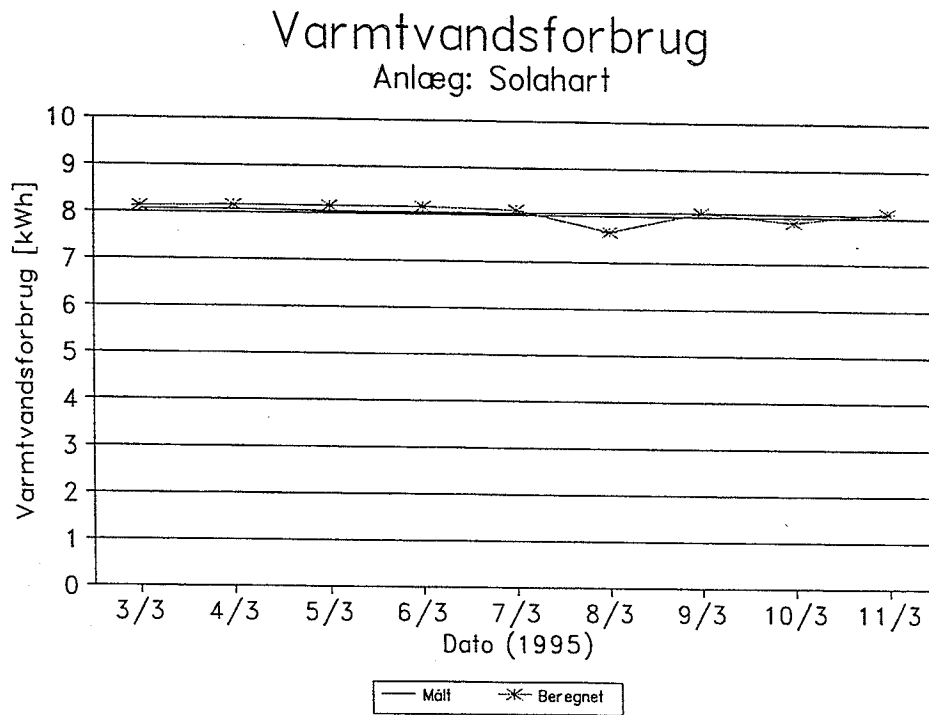
Figur 4.5.5: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i sommerperioden.



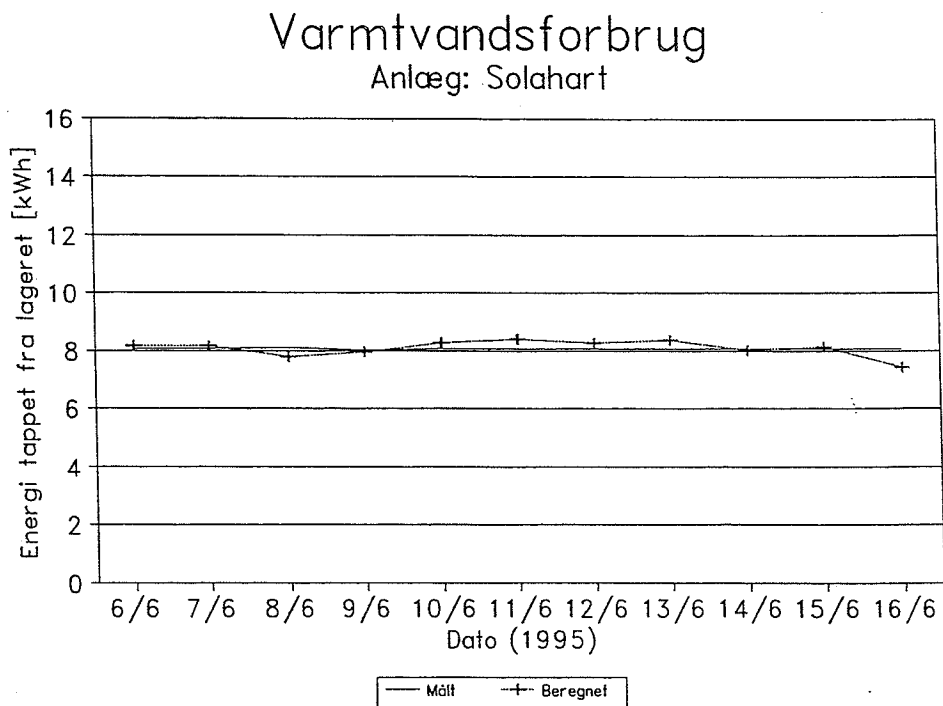
Figur 4.5.6: Supplerende energi tilført lageret i vinterperioden.



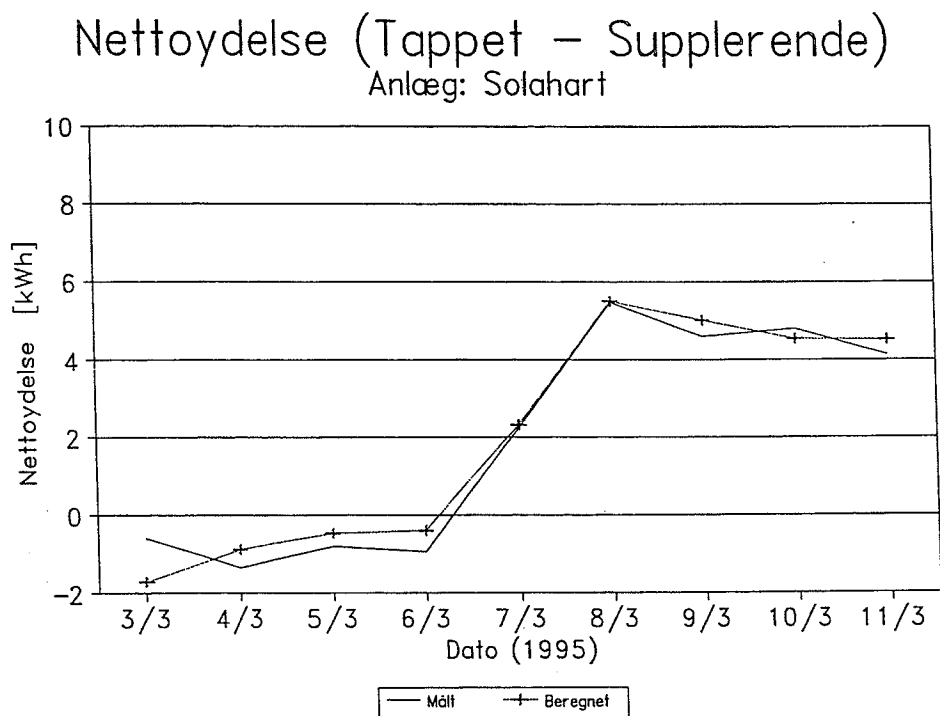
Figur 4.5.7: Supplerende energi tilført lageret i sommerperioden.



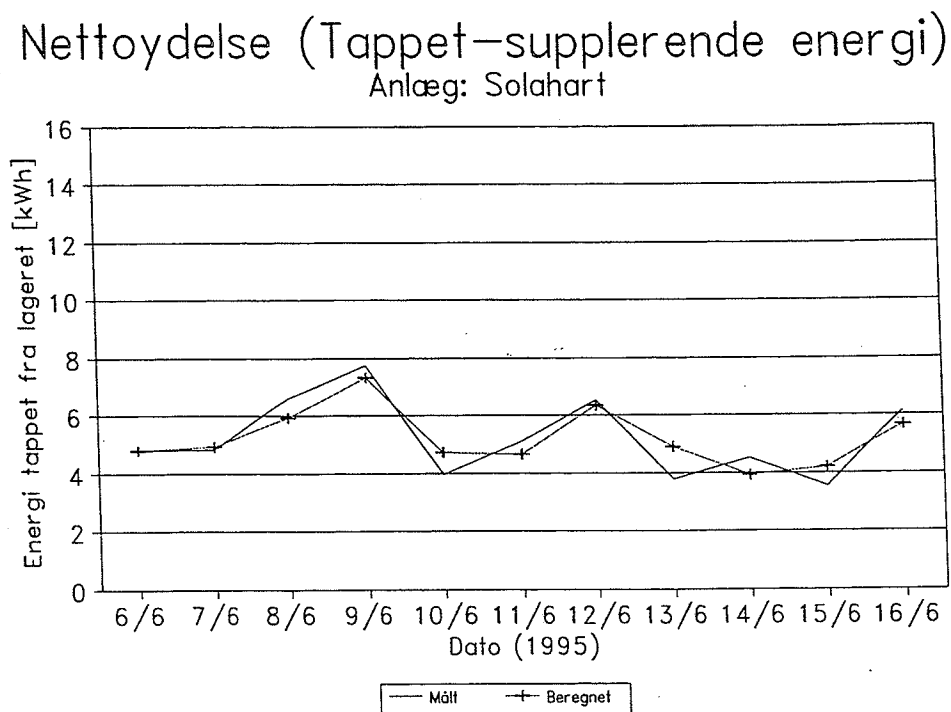
Figur 4.5.8: Energimængde tappet fra lageret i vinterperioden.



Figur 4.5.9: Energimængde tappet fra lageret i sommerperioden.



Figur 4.5.10: Nettoydelse for solvarmeanlægget i vinterperioden.



Figur 4.5.11: Nettoydelsen for solvarmeanlægget i sommerperioden.

Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser. I tabel 4.5.3-4 er energimængderne summeret over perioderne, og det fremgår heraf, at forskellen ligger inden for måleusikkerheden (jvf. afsnit 2).

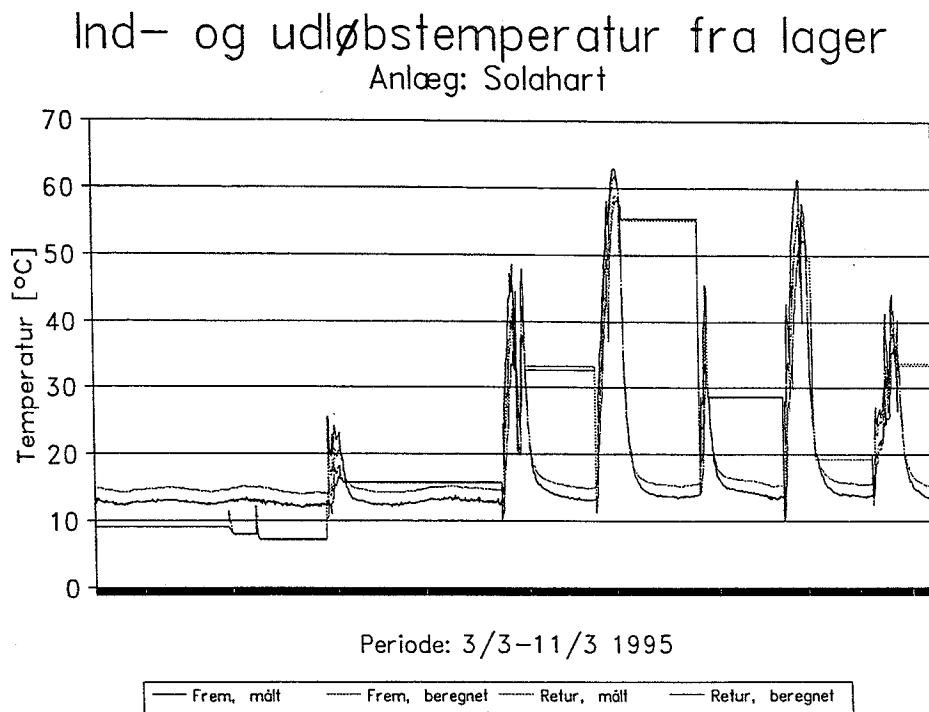
Periode:	Energimængde fra solfanger til lager [kWh]	Supplerende energimængde tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
3/3-11/3 1995				
Målt	35,3	54,9	72,4	17,5
Beregnet	35,6	54,3	72,4	18,1
Afvigelse i %	0,9	-1,1	0,0	3,4

Tabel 4.5.3: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

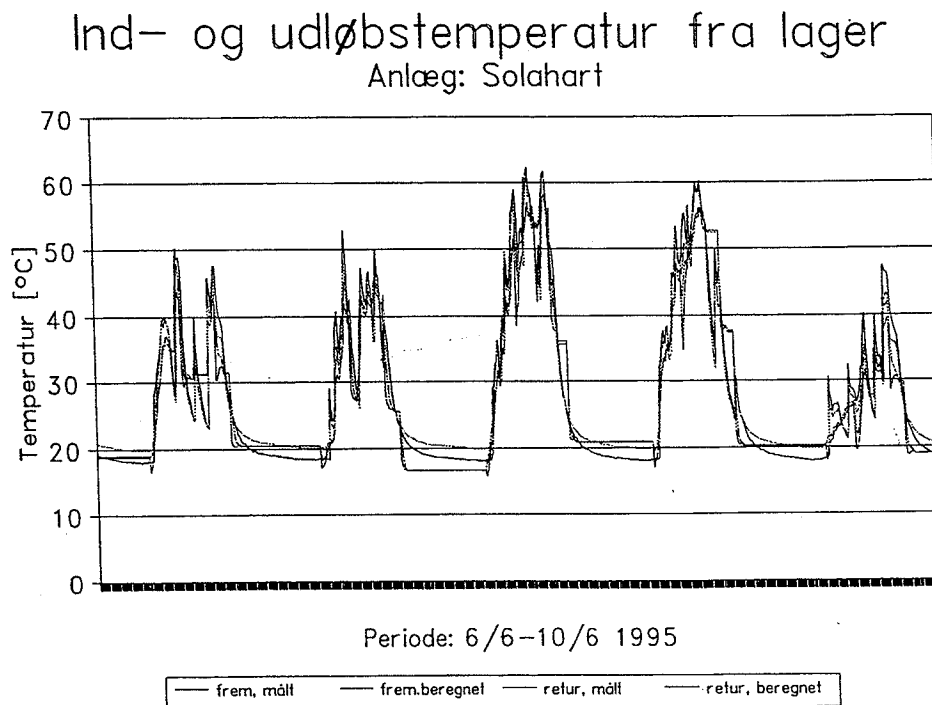
Periode:	Energimængde fra solfanger til lager [kWh]	Supplerende energimængde tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
6/6-16/6 1995				
Målt	78,2	31,1	88,6	57,5
Beregnet	78,4	31,6	88,9	57,3
Afvigelse i %	0,3	1,6	0,3	-0,3

Tabel 4.5.4: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

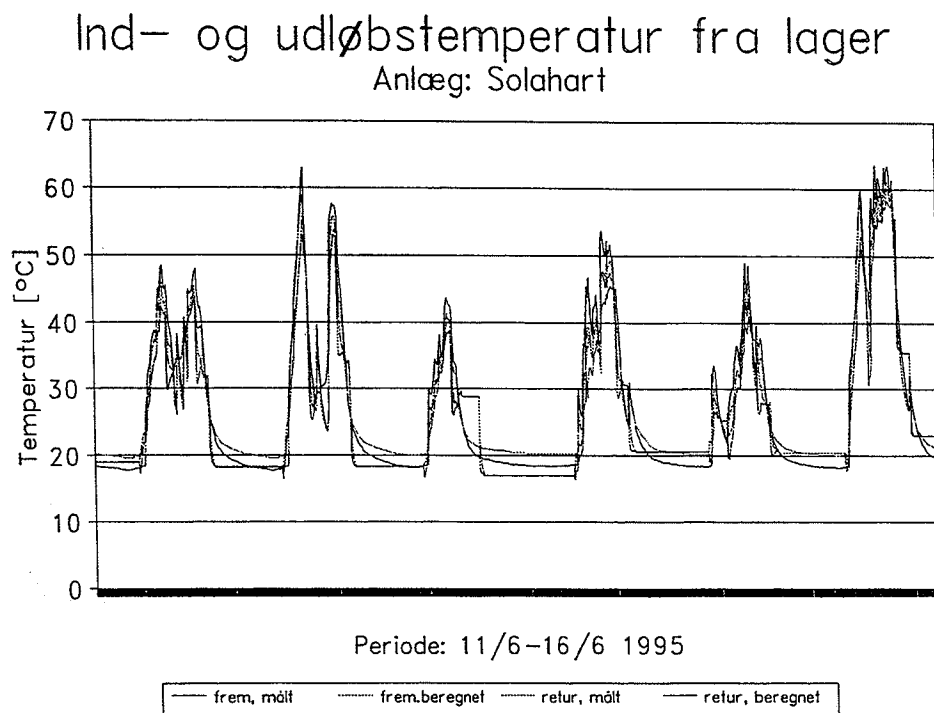
Figur 4.5.12-14 viser fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i de to perioder, mens figur 4.5.15-16 gengiver temperaturen i toppen af lageret. Den beregnede temperatur svarer til temperaturen i lag nr. 5 i lagertanken. Sammenligningen af temperaturerne viser, at temperaturniveauet og dynamikken stemmer godt overens. På grundlag af dette og overensstemmelsen mellem målte og beregnede energimængder vurderes det derfor, at EDB-modellen kan anvendes til simulering af et helt år med referenceåret TRY.



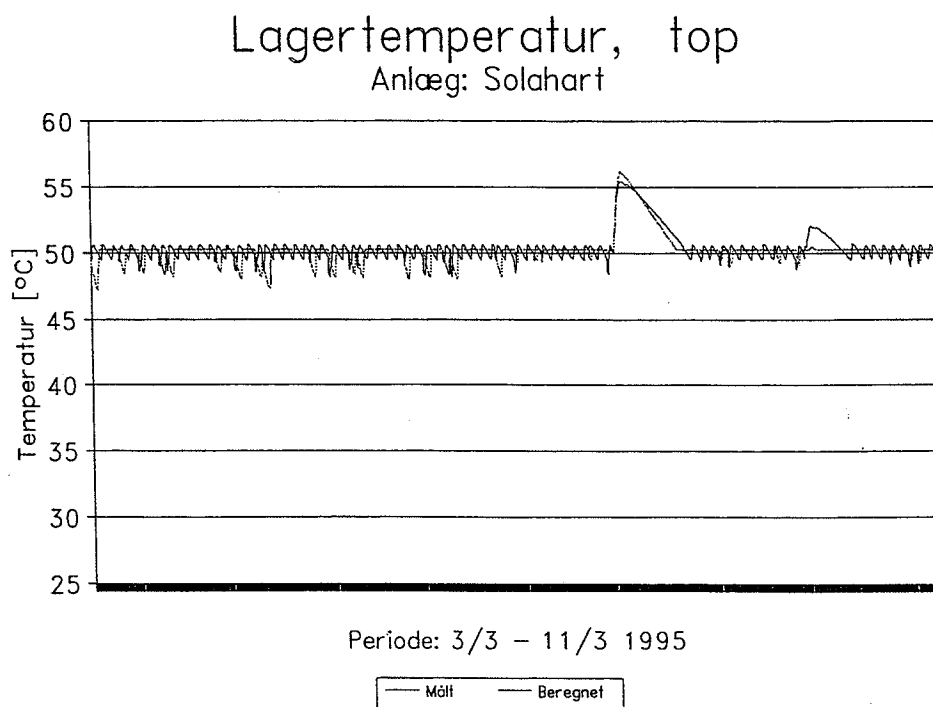
Figur 4.5.12: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i vinterperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



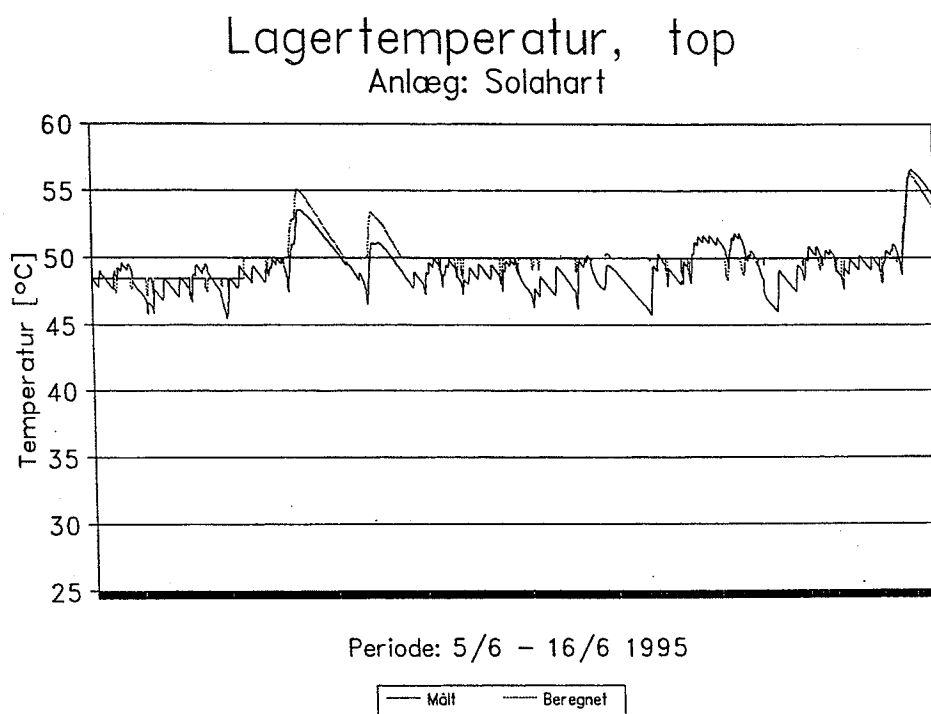
Figur 4.5.13: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i første del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



Figur 4.5.14: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i anden del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



Figur 4.5.15: Temperaturen i toppen af lageret i vinterperioden.



Figur 4.5.16: Temperaturen i toppen af lageret i sommerperioden.

4.5.5 Årsydelse for anlægget

I følgende beregninger anvendes modellen beskrevet i afsnit 4.5.3 med følgende ændringer: Der tappes 200 l/dag i tre lige store tapninger kl.: 7:00, 12:00 og 19:00. Koldtvandstemperaturen er 10°C og varmtvandstemperaturen er 45°C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5 °C. Der tilføres suppleringsvarme fra elpatronen i perioden 9/5-22/9 (begge dage incl.) og fra varmeveksleren i den resterende periode. Disse ændringer svarer til forudsætningerne, som benyttes i forbindelse med bestemmelse af tilskudsydelse for små brugsvandsanlæg /27/.

I tabel 4.5.5 ses de beregnede månedlige værdier for solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energimængde tappet fra lageret, energimængde til pumpe, energimængde til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager-suppleringsvarme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme÷energiforbrug til pumpe÷energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Netto ydelse1 [kWh]	Netto ydelse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Jan.	148	37	238	250	3,1	0,97	12	8	4,8	3,2
Feb.	329	93	162	226	6,9	0,87	64	56	28,3	24,8
Mar.	415	117	167	250	9,6	0,97	83	72	33,2	28,8
Apr.	742	224	79	242	17,2	0,94	163	145	67,4	59,9
Maj	869	274	36	250	19,3	0,97	214	194	85,6	77,6
Jun.	989	303	21	242	20,5	0,94	221	200	91,3	82,6
Jul.	871	282	30	250	20,6	0,97	220	198	88,0	79,2
Aug.	831	289	32	250	20,6	0,97	218	196	87,2	78,4
Sep.	594	223	65	242	17,0	0,94	177	159	73,1	65,7
Okt.	377	137	145	250	11,2	0,97	105	93	42,0	37,2
Nov	213	68	201	242	6,5	0,94	41	34	16,9	14,1
Dec	181	57	220	250	5,3	0,97	30	24	12,0	9,6
Tot.	6559	2104	1396	2944	157,8	11,4	1548	1379	52,6	46,8

Tabel 4.5.5: Beregnede månedlige energimængder.

Det ses, at anlægget har en årlig nettoydelse på 1548 kWh og en anlægsydelse (Nettoydelse1)

se2) på 1379 kWh. De to ydelser svarer til en dækningsgrad på hhv. 52,8 % og 46,8 %. Ved sammenligning med de målte resultater i tabel 4.5.6 ses det, at anlægsydelsen (nettoydelse2) og dækningsgraden (dækningsgrad2) er målt hhv. 234 kWh og ca. 6 % lavere end de er beregnet. Det skyldes først og fremmest, at de supplerende energikilder i forsøgene opvarmer toppen af tanken til en højere temperatur (50 °C) end antaget i beregningerne. Derudover er tappemønsteret anderledes, idet der tappes mindre i aftentimerne og mere ved middagstid, i beregningerne end ved målingerne.

Forbedringsmuligheder:

Der er udført beregninger for at undersøge mulighederne for at forbedre anlægget. Alle de nedenstående modeludformninger refererer til ændringer af det nuværende anlæg:

Model 0: Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Under de udførte målinger, har cirkulationspumpen stået på trin 3. Dette blev ændret til trin 2 for at undersøge, hvorvidt solvarmeanlæggets ydelse blev øget. Ændringen betød, at flowet mindskedes til:

$$v = 0,9 + 0,07 \cdot T_{\text{bund}} \quad [\text{l/min}]$$

Dette medfører en varmeoverføringsevne for varmevekslerspiralen i solkredsen på:

$$H = 5,86 - 0,119 \cdot \ln \Delta T + (1,64 + 0,244 \cdot \ln \Delta T) \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

H er varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen [W/K]

T_{bund} er temperaturen af vandet som omgiver spiralen [°C]

ΔT er differensen mellem solfangervæskens fremløbstemperatur til beholderen og T_{bund} [K]

hvilket er beregnet ud fra teorien udviklet i /26/. Dette giver mulighed for endnu nogle modelvariationer, idet det forudsættes, at solfangereffektiviteten ikke ændres når flowet reduceres:

Model 1: Flowet i solfangerkredsen ændres til $v = 0,9 + 0,07 \cdot T_{\text{bund}}$. Varmeoverførings-
evnen for varmevekslerspiralen ændres til ovenstående. Pumpeeffekten ændres
til 56 W (målt ved pumpetrin 2).

Model 2: Flowet i solfangerkredsen ændres til $v = 0,9 + 0,07 \cdot T_{\text{bund}}$. Varmeoverførings-

evnen for varmevekslerspiralen ændres til ovenstående. Pumpeeffekten ændres til 58 W (målt ved pumpettrin 2). Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Tabel 4.5.6 viser resultaterne af parametervariationerne.

Model	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]	Nettoydelse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Ref.	6569	2104	1396	2944	157,8	11,4	1548	1379	52,6	46,8
0	6569	2029	1211	2944	157,4	11,4	1733	1564	58,9	53,1
1	6569	1888	1562	2944	115,3	11,4	1382	1255	46,9	42,6
2	6569	1832	1366	2944	113,6	11,4	1578	1453	53,6	49,4

Tabel 4.5.6: Beregnede årlige energimængder for de forskellige udformninger af anlægget. Ref. svarer til anlægget som det står nu.

Model 0: Det ses, at anlægsydelsen (Nettoydelse2) forøges ca. 13 % når kuldebroen i toppen af lagertanken fjernes.

Model 1: Ved at sætte pumpen på trin 2 i stedet for trin 3, falder nettoydelse1 166 kWh, mens anlægsydelsen (Nettoydelse2) falder 124 kWh svarende til en forringelse på ca. 9 %. Dvs. at besparelsen i pumpe-energi ikke overstiger tabet i tilført solvarme.

Model 2: Ved både at nedsætte flowet i solfangerkredsen og fjerne kuldebroen i toppen af tanken, forøges anlægsydelsen ca. 5 %.

Den mest effektive forbedring af anlægget består altså i, at fjerne kuldebroen i toppen af tanken.

Det kan slutteligt bemærkes, at den her beregnede nettoydelse for anlægget, som det står nu i prøvestanden, er noget større end beregnet i /5/. Det skyldes, at den her benyttede EDB-model af anlægget er mere nøjagtig end den i /5/ benyttede model. Forskellen ligger i, at denne model er baseret på målinger med både el-patron og varmevekslerspiral, hvorimod modellen i /5/ kun er baseret på målinger med el-patron. Ved at validere modellen med målinger med både el-patron og varmevekslerspiral, opnås en mere korrekt simulering af solvarmeanlæggets virkemåde.

4.5.6 Driftserfaringer og sammenfatning

Anlægget har kørt uden problemer i måleperioden.

Anlæggets ydelse er meget lav pga. den store kuldebro i toppen af tanken. Årsagen til den store kuldebro i toppen af tanken er først og fremmest de mange rørgennemføringer igennem toppen af beholderen. Derfor skal hele rørføringen i beholderen omstruktureres, således at rørene ikke gennembryder isoleringen omkring toppen af tanken.

Anlægget, som det står i prøvestanden bliver ikke længere markedsført i Danmark. Anlægget markedsføres nu med en nyere (og bedre) beholder, hvor der er taget højde for ovenstående problemer.

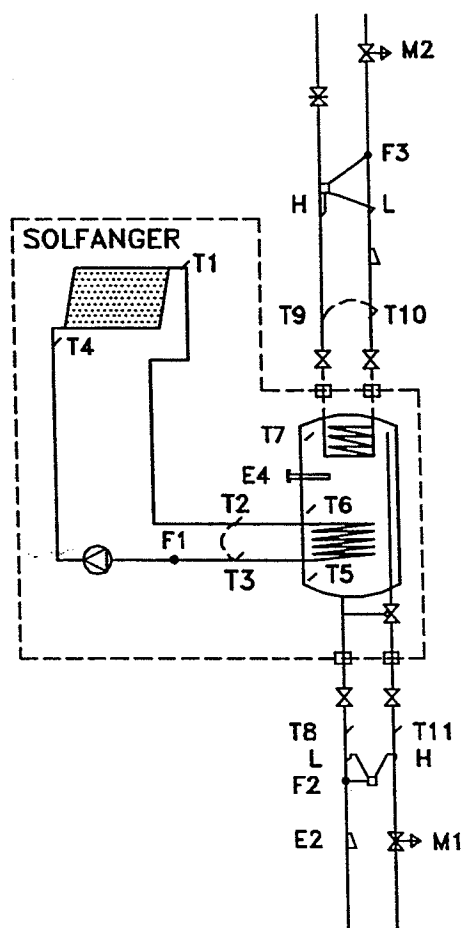
4.6 Anlæg 6: Thermo-Sol ApS

4.6.1 Opbygning

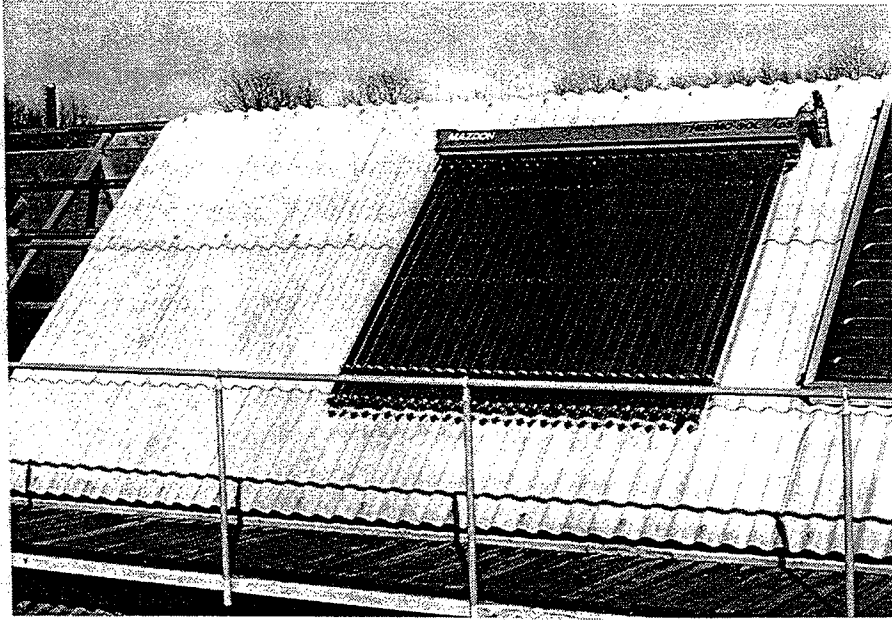
Solvarmeanlægget er opført i prøvestanden i slutningen af 1994 af Thermo-Sol ApS. Anlægget markedsføres i Danmark.

Anlægget består af en solfanger bestående af 30 vakuumrør med et areal på 3,33 m², samt en lagertank på 280 l.

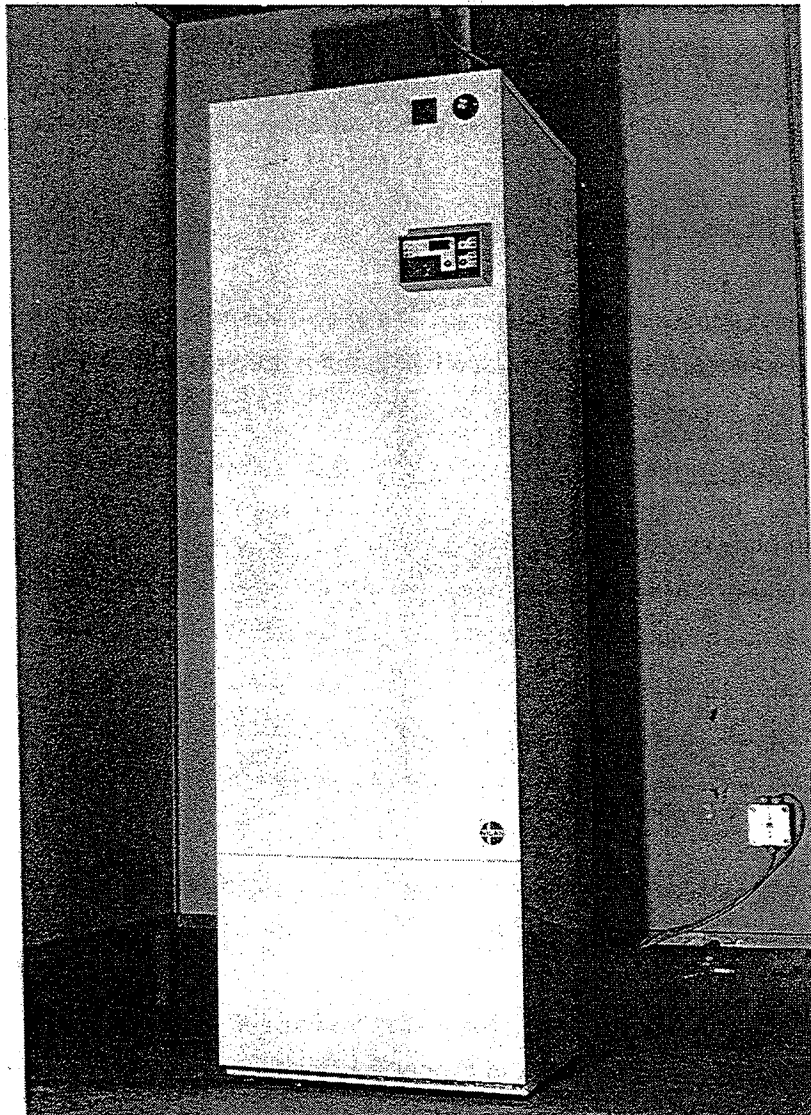
Solfangeren (Mazdon 30) består af vakuumglasrør med indbyggede varmerør, som ved fordampning af methanol fører varmen op til et manifoldrør. I manifoldrøret overføres varmen til solfangervæsken via en kondensator. Absorberen består af kobberlameller med stålør (varmerørene). Absorberen har en selektiv belægning. Solfangeren er installeret på en 45° hældende flade orienteret 10 ° vest fra syd. Datablade for solfangeren ses i bilag 4.6.1.



Figur 4.6.1: Principskitse med målepunkter af anlægget fra Thermo-Sol ApS.



Figur 4.6.2: Solfangeren på solfangerstativet.



Figur 4.6.3: Solvarmeanlæggets varmelager.

Lagertanken (Nilan, SV300 Combi) er en lodretstående cylindrisk stålbeholder med to varmevekslerspiraler til hhv. solvarme og suppleringsvarme fra f.eks. et fyr. Endvidere er varmetanken forsynet med en el-varmestav til brug i sommerperioder. Beholderen er isoleret med hårdt polyurethanskum og indbygget i et stålkabinet. Datablade for lagertanken er vist i bilag 4.6.2.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 7 m skum-isoleret fremløbsrør (heraf 5 m indendørs) og 7,5 m skum-isoleret returrør (heraf 5 m indendørs). Rørene er 15/13 mm kobberrør. Solfangerkredsen er forsynet med en Grundfos cirkulationspumpe (Type UPS 25-40), som igennem hele måleperioden har kørt på trin 1. Cirkulationspumpen styres af en differenstermostat, der måler temperaturforskellen mellem udløbstemperaturen fra solfangeren og temperaturen i bunden af lagertanken. Differenstermostaten har et start/stop-setpunkt på 7/0,1 K.

I figur 4.6.1 ses en principskitse af anlægget. Figur 4.6.2 og 4.6.3 viser fotos af anlæggets solfanger og varmelager.

4.6.2 Måledata

I figur 4.6.1 er målepunkterne i anlægget vist.

Der er fem målepunkter i tanken. Målepunkterne er anbragt i en glasstav, som er indført i tanken gennem bunden. Målepunkterne 1,3 og 5 registreres hele tiden, mens punkterne 2 og 4 kan udtages midlertidigt. Målepunkterne i tanken er placeret som angivet i tabel 4.6.1:

Målepunkt	Angivelse i figur 4.6.1	Afstand fra bund af tank (mm)
1	T7	80
2	-	403
3	T6	727
4	-	1038
5	T5	1350

Tabel 4.6.1: Placering af temperaturfølere i lagertank.

Cirkulationspumpens og styresystemets effektforbrug blev i en periode målt til hhv. 32 W og 5,4 W. El-patronens effektforbrug blev målt til 1050 W.

I tabel 4.6.2 er følgende målte månedlige værdier gengivet: Solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lager, energiforbrug til

pumpe, energiforbrug til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme÷energiforbrug til pumpe÷energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Netto ydelse1 [kWh]	Netto ydelse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Jan.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb.	119	53	163	200	4,1	3,63	37	29	18,5	14,5
Mar.	250	121	121	220	6,7	4,02	99	88	45,0	40,0
Apr.	379	176	83	226	9,0	3,89	143	130	63,3	57,5
Maj	514	219	51	236	10,5	4,02	185	170	78,4	72,0
Jun.	455	212	56	227	11,6	3,89	171	155	75,2	68,3
Jul.	586	259	11	235	12,0	4,02	224	208	95,3	88,5
Aug.	613	262	8	230	10,8	4,02	222	207	96,5	90,0
Sep.	278	124	117	216	6,9	3,89	99	88	45,8	40,7
Okt.	250	114	137	226	5,2	4,02	89	80	39,4	35,4
Nov	129	60	197	241	3,0	3,89	44	37	18,3	15,4
Dec	84	30	222	238	1,9	4,02	16	10	6,7	4,2
Tot.	3657	1630	1166	2495	81,7	43,3	1329	1204	53,3	48,3

Tabel 4.6.2: Målte månedsværdier for anlægget (1995).

Følgende dage foreligger der ikke målinger (1995):

Januar: 1- 31

Det ses af målingerne, at anlægget i måleperioden i 1995 har haft en nettoydelse (Nettoydelse1) på 1329 kWh og en anlægsydelse (Nettoydelse2) på 1204 kWh med en dækningsgrad på 48,3%. Der er ikke alle dage, som tilstræbt, tappet 8 kWh fra lageret.

4.6.3 EDB-model af solvarmeanlægget

Til bestemmelse af årlige ydelser samt forbedringsmuligheder for solvarmeanlægget er en EDB-model af anlægget udformet. Modellen bruges i et detaljeret simuleringsprogram udviklet i /21/.

Modellen valideres med målte data fra to perioder: 2/3-11/3 1995 og 5/6-16/6 1995, jvf.

afsnit 3. I vinterperioden anvendes varmevekslerspiralen til suppleringsvarme. I sommerperioden anvendes el-patronen til suppleringsvarme. I det følgende er input til EDB-modellen beskrevet:

Solfangerkredsen:

Effektivitetsudtrykket for solfangeren er målt på Laboratoriet for Varmeisolering til /19/:

$$\eta = 0,64 - 1,87 \cdot (T_m - T_a)/G - 0,008 \cdot (T_m - T_a)^2/G$$

hvor

η	er solfangereffektiviteten	[-]
T_m	er middel væsketemperatur	[°C]
T_a	er lufttemperaturen	[°C]
G	er bestrålingsstyrken på solfangeren	[W/m ²]

Prøvningen er udført under standardbetingelser (ISO 9806-1.2) med en lufthastighed over solfangeren på 5 m/s. Denne lufthastighed er meget større end det, gennemsnitslufthastigheden normalt er udendørs. Derfor er effektivitetsudtrykket korrigeret, til et udtryk svarende til en lufthastighed på 2 m/s på baggrund af teorien udviklet i /25/. Da solfangerens dæklag er så godt isolerende, har korrektionen for lufthastighed ingen betydning (0,01%).

Simuleringsprogrammet benytter ikke det egentlige effektivitetsudtryk, men et lineariseret udtryk ved en temperaturdifferens på 50 K. Således bliver det endelige udtryk:

$$\eta = 0,64 - 2,27 \cdot (T_m - T_a)/G$$

Effektivitetens vinkelafhængighed i forhold til solindfaldet kan ikke umiddelbart bestemmes, idet vakuumrørene giver anledning til nogle meget komplicerede reflektionsforhold for forskellige indfaldsvinkler. Vinkelafhængigheden er bestemt ud fra det målte effektivitetsudtryk samt målingerne fra anlægget. Solfangerligningen har følgende udseende:

$$Q_{\text{sol}}/G = k_g \cdot \eta_0 - k_0 \cdot \Delta T/G - k_1 \cdot \Delta T^2/G$$

hvor

η_0	er effektiviteten ved temperaturdifferens på 0 K	[-]
k_0	er varmetabskoefficienten	[W/m ² K]
k_1	er den temperaturafhængige varmetabskoefficient	[W/m ² K ²]
G	er bestrålingsstyrken	[W/m ²]

Q_{solf}	er tilført solenergi til solfangerkredsen	[W/m ²]
k_g	er indfaldsvinkelkorrektionen	[-]

Idet η_0 , k_0 og k_1 er bestemt ved effektivitetsprøvningen, og Q_{solf} , ΔT og G måles i forsøgsopstillingen, er k_g den eneste ubekendte i ovenstående ligning. Det er således muligt, ud fra målingerne i forsøgsopstillingen, at bestemme k_g .

Figur 4.6.4-5 viser k_g som funktion af indfaldsvinklen i de to måleperioder. Den fuldt optrukne kurve (k_g) er ved polynomiumsfitting ud fra målepunkterne bestemt til:

$$k_g = 1 + [2,48 \cdot 10^{-2}] \cdot i - [8,50 \cdot 10^{-4}] \cdot i^2 + [5,14 \cdot 10^{-6}] \cdot i^3$$

hvor		
k_g	er indfaldsvinkelkorrektionen	[-]
i	er indfaldsvinklen	[°]

Det ses i figurerne, at korrektionen er større end 1 når indfaldsvinklen ligger i intervallet fra 0° til 40°. Det skyldes, at refleksionerne fra rørene bliver rettet ind mod absorberen, hvorfor bestrålingen udnyttes bedre.

Væsken i solfangerkredsen er en propylenglycol/vand-blanding med hhv. 40 vægt% propylenglycol (vinter) og 43 vægt% propylenglycol (sommer).

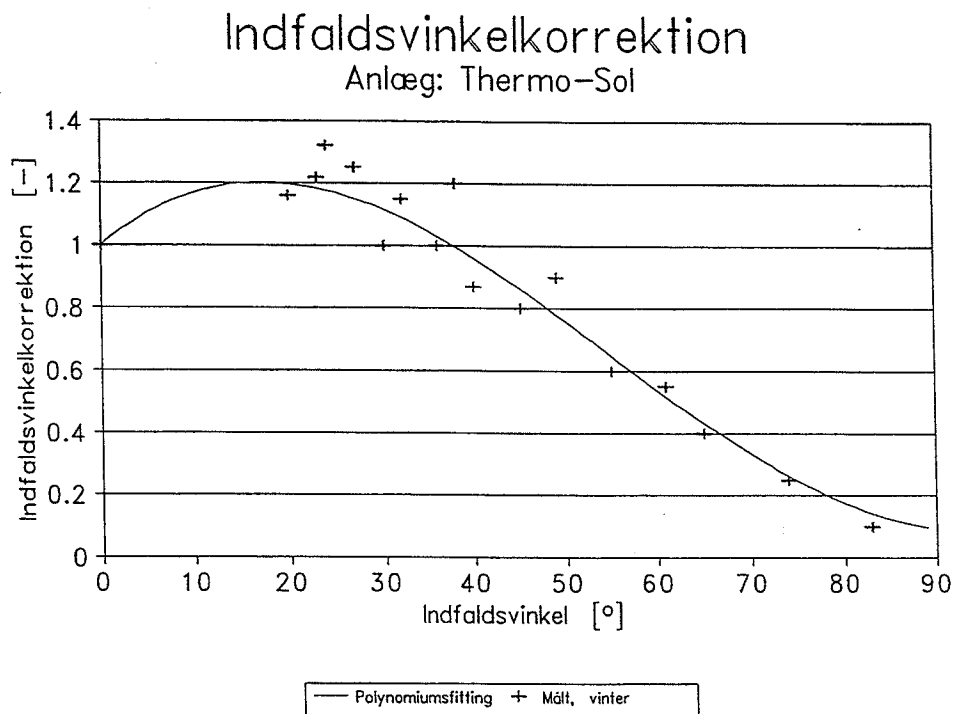
Volumenstrømmen i solfangerkredsen er, ud fra målingerne, bestemt til:

$$v = 1,85 + 0,02 \cdot T_{\text{bund}}$$

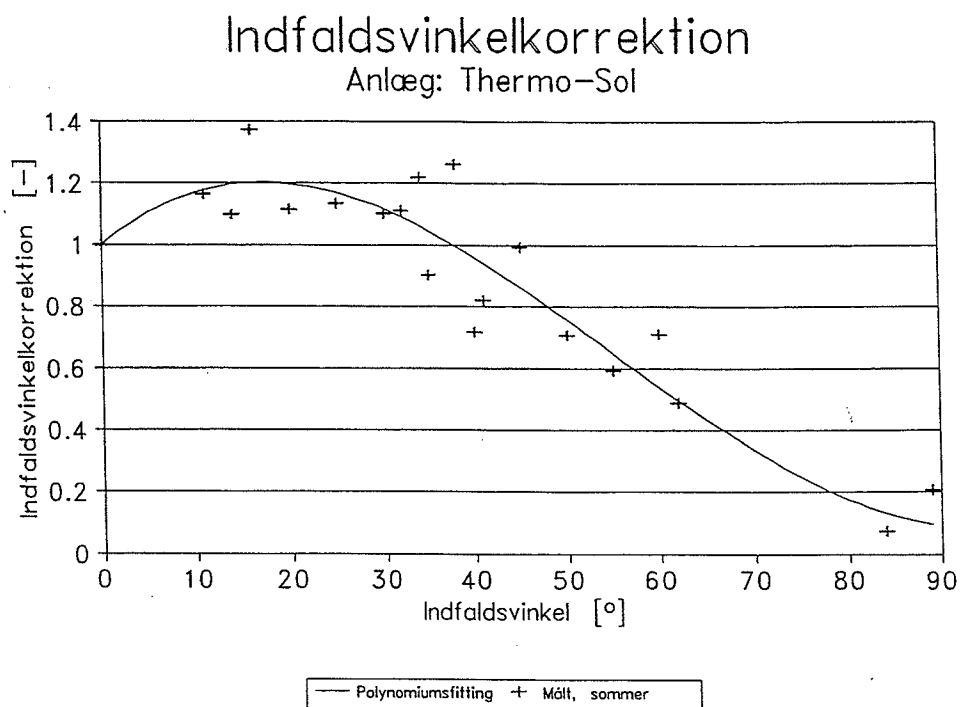
hvor		
v	er volumenstrømmen i solfangerkredsen	[l/min]
T_{bund}	er temperaturen i bunden af lagertanken	[°C]

Rørene i solfangerkredsen består af 7,5 m 15/13 mm kobberør fra toppen af solfangeren til lageret (heraf 5 m indendørs) og 7 m 15/13 mm kobberør fra lageret til bunden af solfangeren (heraf 5 m indendørs). Rørene er isoleret med 10 mm skum-isolering med en anslået λ -værdi på $0,025 + 0,0001 \cdot T_{\text{rør}}$ W/m·K.

Pumpen i solfangerkredsen har et effektforbrug på 32 W svarende til en pumpeindstilling på trin 1. Solfangerkredsen styres af en differenstermostat med et start/stop-setpunkt på 7/0,1 K.



Figur 4.6.4: Indfaldsvinkelkorrektion. Målepunkter fra vinterperioden.



Figur 4.6.5: Indfaldsvinkelkorrektion. Målepunkter fra sommerperioden.

Lageret:

Lageret er på 280 l med en indvendig højde/diameter på 1,461/0,494 m. Lageret er isoleret med 0,05 m, 0,07 m og 0,02 m PUR-skum på hhv. lagerets sider, top og bund. Isoleringens λ -værdi anslås til $0,025 + 0,0001 \cdot T_{\text{lager}}$ W/m·K. Der er desuden tillagt en kuldebro i bunden af tanken på 0,6 W/K for at repræsentere rørgennemføringer i isoleringen. Parameterstudier har dog vist, at denne kuldebro ikke er af nævneværdig betydning for anlæggets samlede ydelse. Større betydning har til gengæld en ekstra kuldebro i toppen af tanken. Sammenligninger mellem målinger og beregninger, af temperaturen i toppen af lageret, har vist, at der skal tillægges en kuldebro på 0,2 W/K i toppen af tanken. Årsagen til denne forholdsvis store kuldebro, kan være, at el-patronen gennembryder tankens isolering.

Varmeoverføringsevnen for solkredsens spiral i lagertanken er bestemt udfra teori udviklet i /26/ til:

$$H = 30,74 + 6,774 \cdot \ln \Delta T + (1,83 + 0,234 \cdot \ln \Delta T) \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

H	er varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen	[W/K]
T_{bund}	er temperaturen af vandet som omgiver spiralen	[°C]
ΔT	er differensen mellem solfangervæskens fremløbstemperatur til beholderen og T_{bund}	[K]

En sammenligning af målte og beregnede temperaturer i solfangerkredsen viste dog, at varmevekslerspiralen i solfangerkredsen ikke kunne have ovenstående varmeoverføringsevne. En bedre overensstemmelse fremkom, når de fire konstanter blev forhøjet med 50%. Der er ikke fundet en forklaring på dette. Ved at forhøje de fire konstanter med 50% fremkom følgende udtryk for varmeoverføringsevnen:

$$H = 46,11 + 10,161 \cdot \ln \Delta T + (2,745 + 0,351 \cdot \ln \Delta T) \cdot T_{\text{bund}}$$

Lageret er i EDB-modellen inddelt i 14 lag. Solkredsens varmevekslerspiral er placeret i det nederste lag, mens den supplerende varmevekslerspiral og el-patronen er placeret i det næst øverste lag. Herved opnås god overensstemmelse med lagerets faktiske opbygning.

I simuleringerne er anvendt en effekt på 1050 W for suppleringsvarmen. Setpunktet for termostaten er 50°C.

Startværdier for temperaturen i lagertankens forskellige lag er fastlagt ud fra de målte temperaturer.

4.6.4 Validering af EDB-model

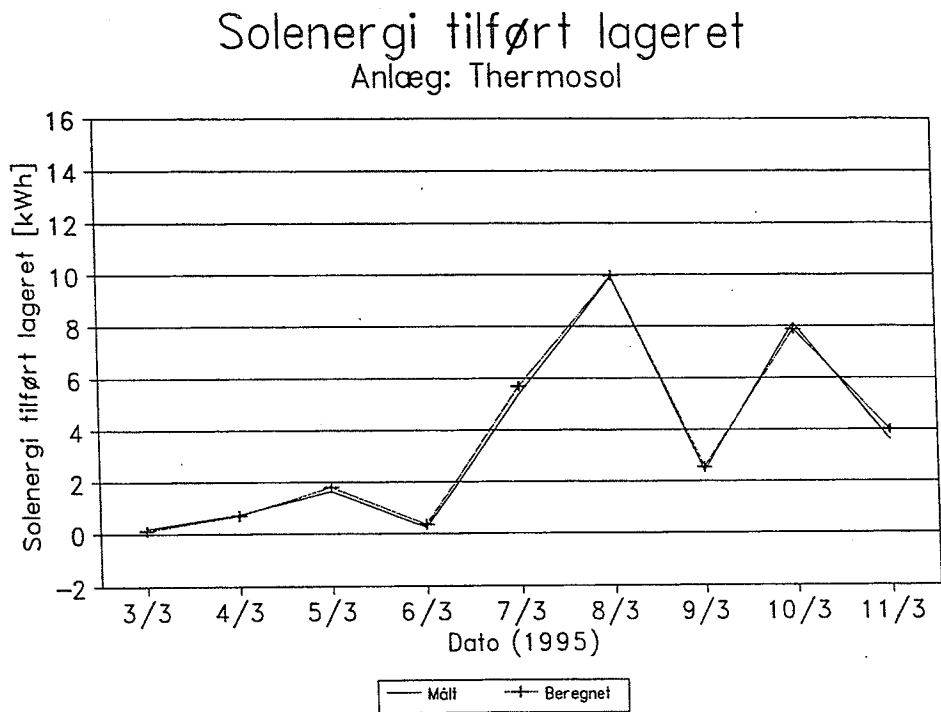
Formålet med valideringen af EDB-modellen er, at udforme en model der svarer så godt til anlægget, at man kan beregne årsydelser. Desuden kan modellen benyttes til at undersøge, hvorledes ændrede anlægsudformninger påvirker ydelsen.

Med de i afsnit 4.6.3 anførte inputdata til simuleringsprogrammet er der gennemført beregninger for to perioder. De to perioder, der er simuleret, er hhv. 2/3-11/3 1995 (vinterperioden) og 5/6-16/6 1995 (sommerperioden), jvf. afsnit 3. Disse to perioder er udvalgt, idet de repræsenterer anlægget med suppleringsvarme fra hhv. varmevekslerspiral og el-patron.

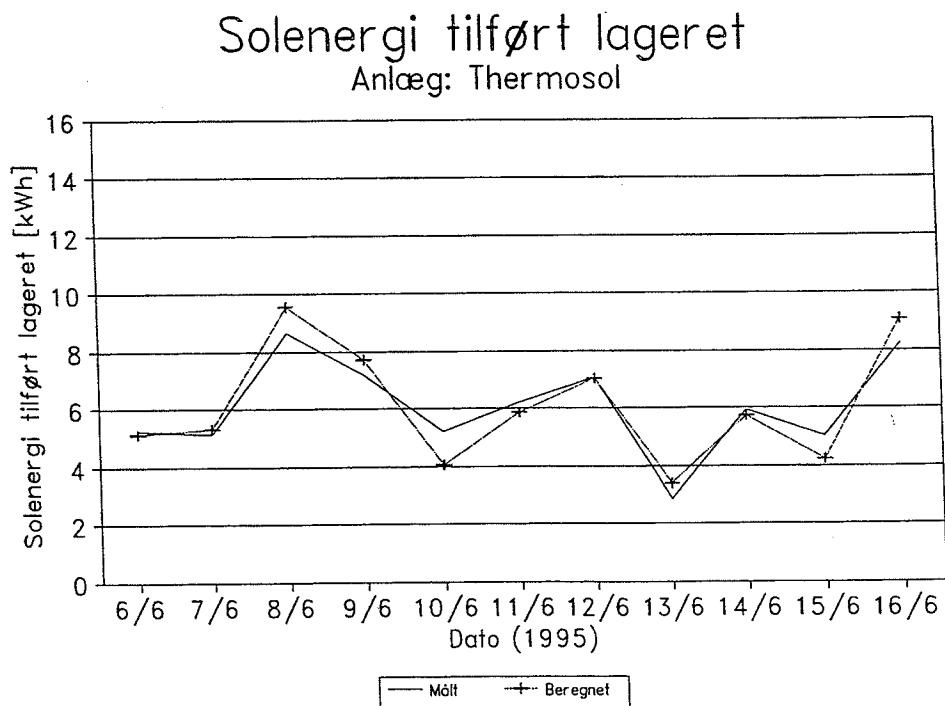
EDB-modellen af anlægget valideres mod målte energistørrelser og temperaturer. Energi-størrelserne er som følger: Solenergi tilført lageret, supplerende energi tilført lageret, energi tappet fra lageret og nettoydelse (Nettoydelse₁). Her er nettoydelsen beregnet som energi tappet fra lageret ÷ supplerende energi tilført lageret.

De målte temperaturer der benyttes til valideringen er: Temperatur i toppen af lageret (T7), solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2) og solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3). Angivelserne i parenteserne refererer til signaturerne i figur 4.6.1.

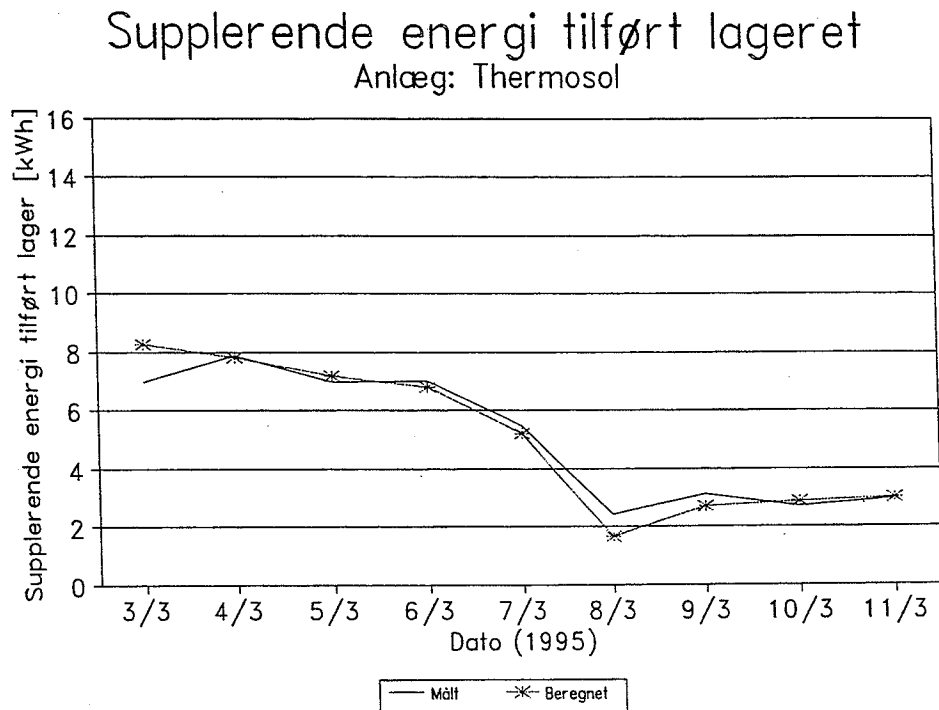
I figur 4.6.6-7 ses den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangeren til lageret i de to perioder. Figur 4.6.8-9 viser den målte og beregnede daglige supplerende energitilførsel til lageret i perioderne. I figur 4.6.10-11 ses den målte og beregnede daglige energimængde tappet fra lageret i begge perioder, mens figur 4.6.12-13 viser den målte og beregnede daglige nettoydelse. Det fremgår, at den første dag i begge perioder ikke er medtaget. Det skyldes, at den første dag benyttes som indsvingningsperiode.



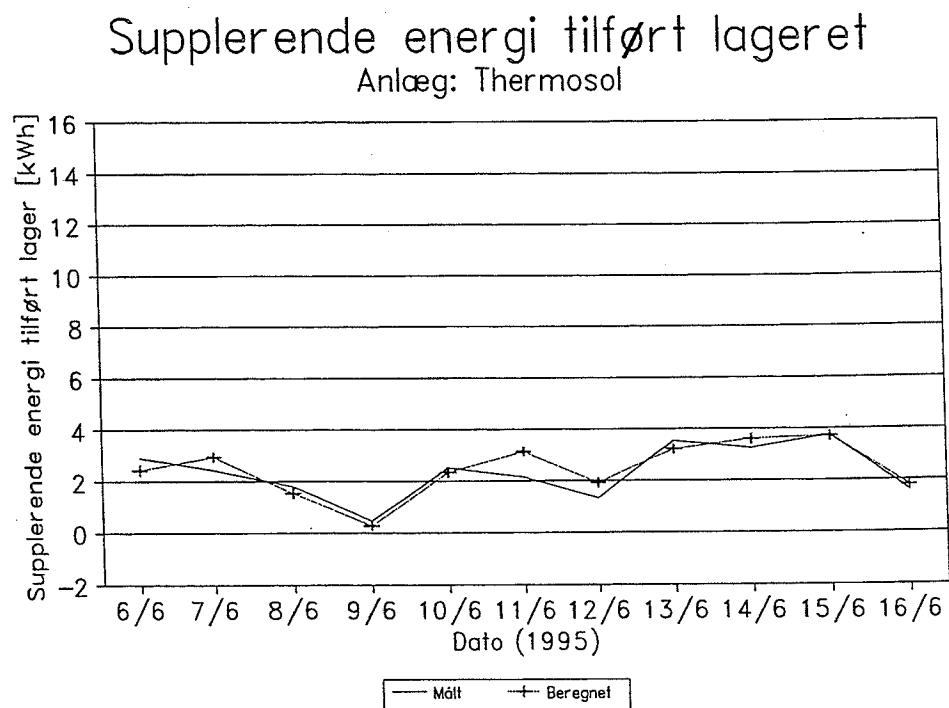
Figur 4.6.6: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i vinterperioden.



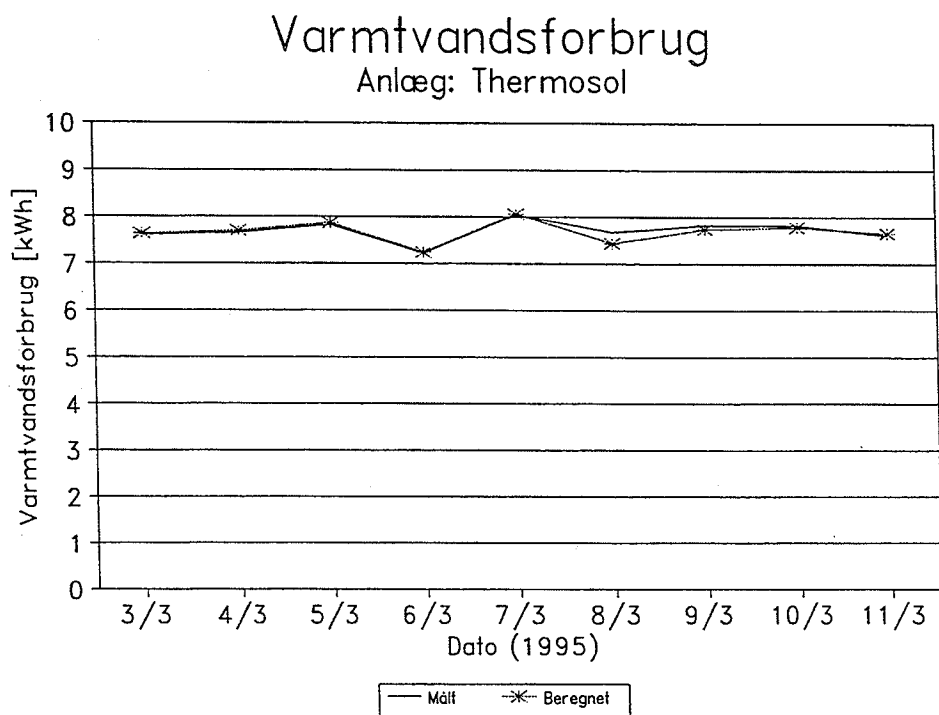
Figur 4.6.7: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i sommerperioden.



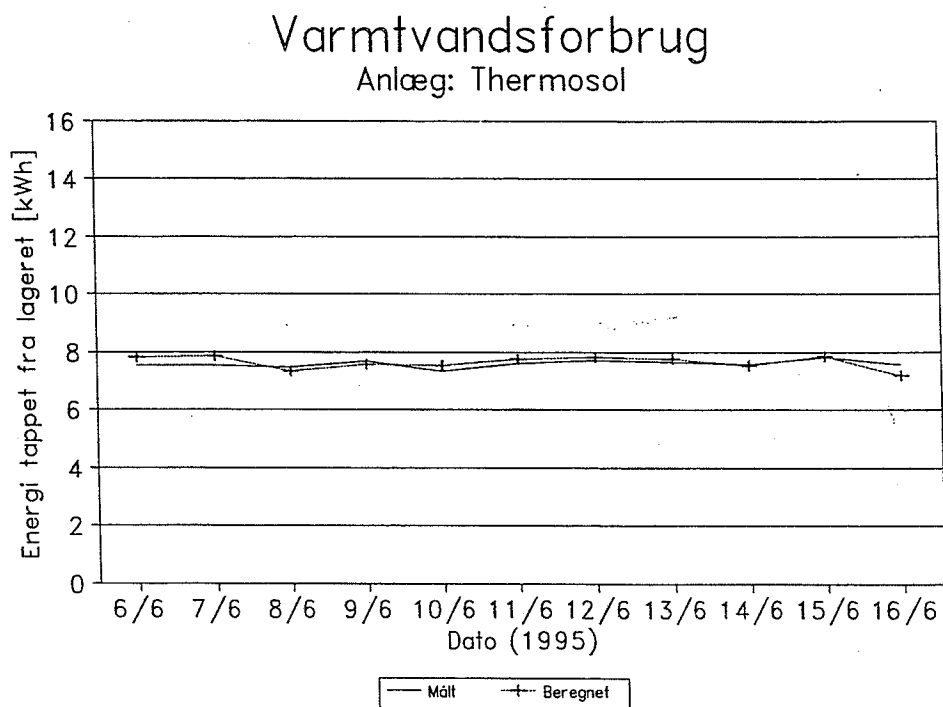
Figur 4.6.8: Supplerende energi tilført lageret i vinterperioden.



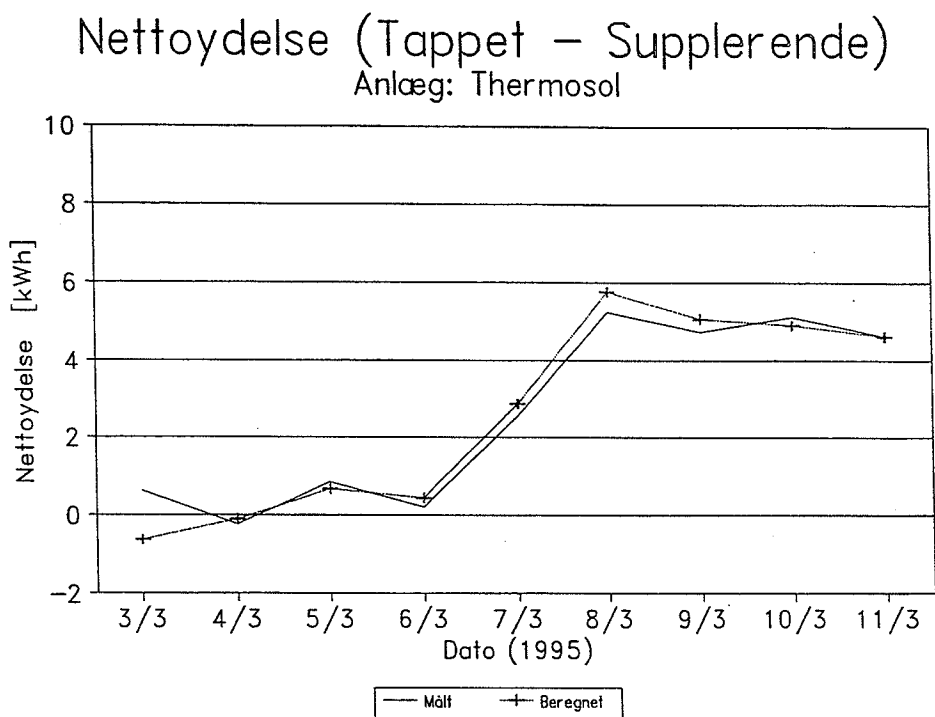
Figur 4.6.9: Supplerende energi tilført lageret i sommerperioden.



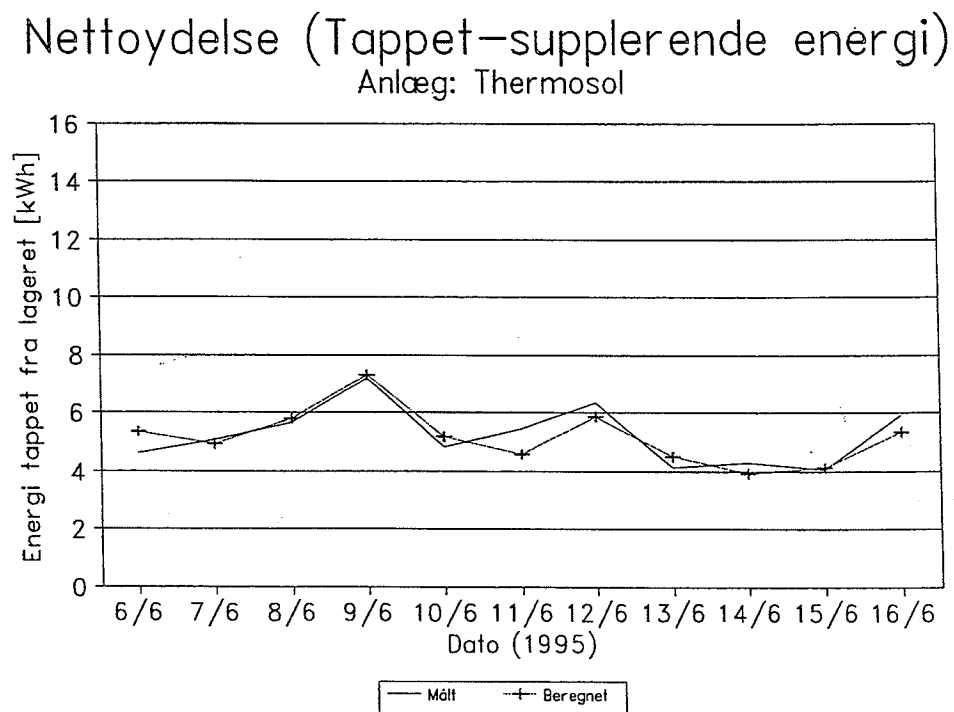
Figur 4.6.10: Energimængde tappet fra lageret i vinterperioden.



Figur 4.6.11: Energimængde tappet fra lageret i sommerperioden.



Figur 4.6.12: Nettoydelse for solvarmeanlægget i vinterperioden.



Figur 4.6.13: Nettoydelsen for solvarmeanlægget i sommerperioden.

Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser. I tabel 4.6.3-4 er energimængderne summeret over perioderne, og det fremgår heraf, at forskellen ligger inden for måleusikkerheden (jvf. afsnit 2).

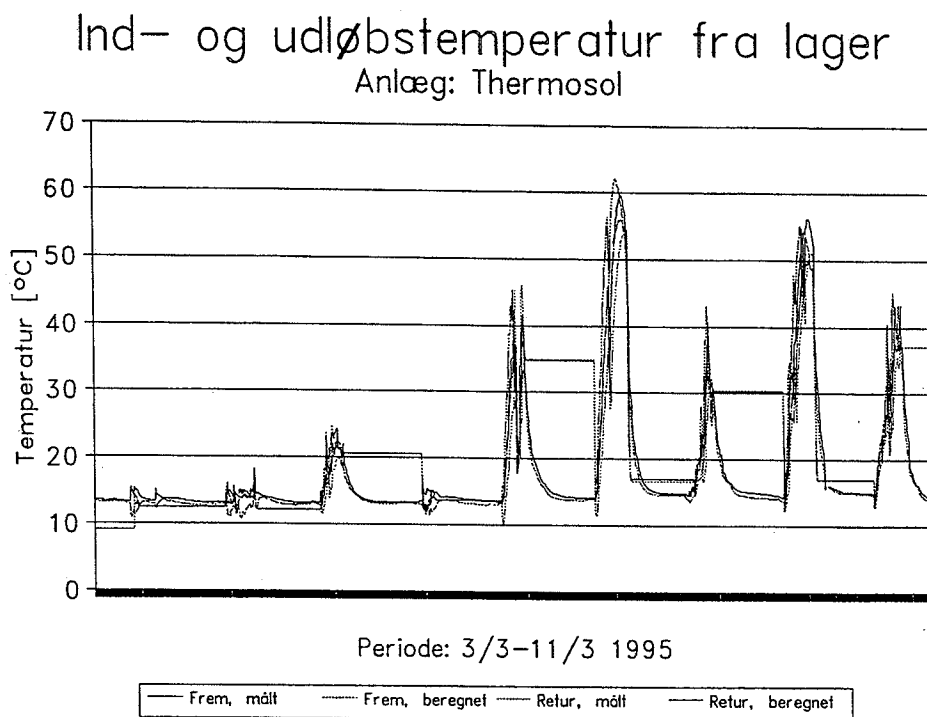
Periode: 3/3-11/3 1995	Energimængde fra solfanger til lager [kWh]	Supplerende energimængde tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
Målt	32,3	44,5	69,2	24,7
Beregnet	33,1	44,4	69,0	24,6
Afvigelse i%	2,5	-0,2	-0,3	-0,4

Tabel 4.6.3: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

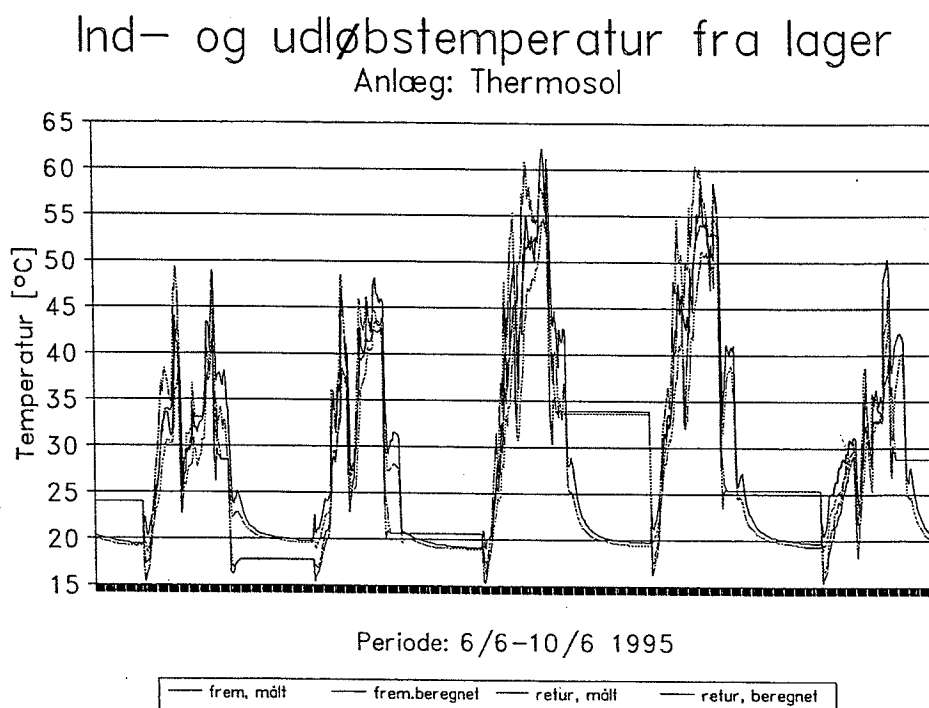
Periode: 6/6-16/6 1995	Energimængde fra solfanger til lager [kWh]	Supplerende energimængde tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
Målt	66,7	25,9	83,5	57,6
Beregnet	67,0	27,1	83,9	56,8
Afvigelse i%	0,5	4,6	0,5	-1,4

Tabel 4.6.4: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

Figur 4.6.14-16 viser fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i de to perioder, mens figur 4.6.17-18 gengiver temperaturen i toppen af lageret. Den beregnede temperatur svarer til temperaturen i lag nr. 13 i lagertanken. Sammenligningen af temperaturerne viser, at temperaturniveauet og dynamikken stemmer godt overens. På grundlag af dette og overensstemmelsen mellem målte og beregnede energimængder vurderes det derfor, at EDB-modellen kan anvendes til simulering af et helt år med referenceåret TRY.



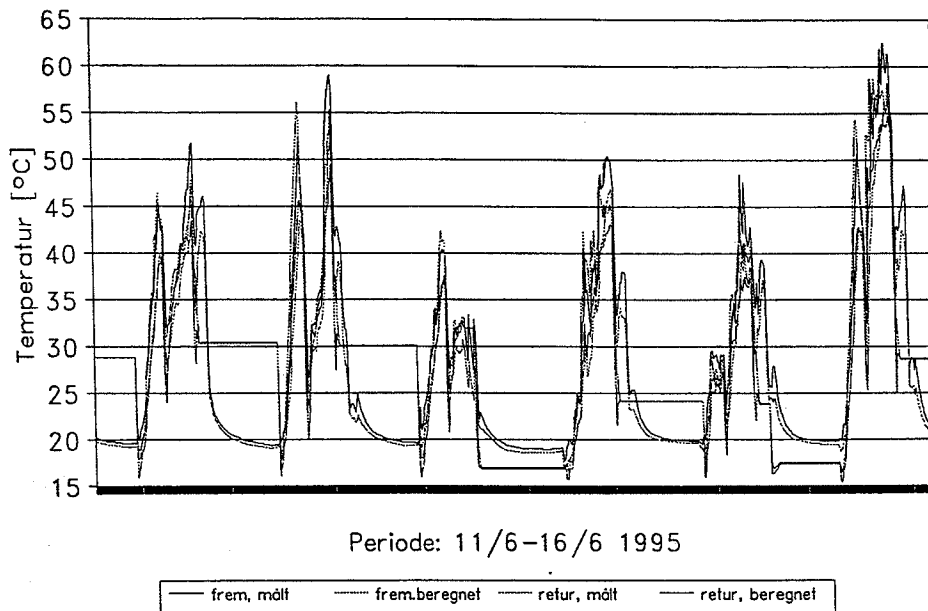
Figur 4.6.14: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i vinterperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.



Figur 4.6.15: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i første del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.

Ind- og udløbstemperatur fra lager

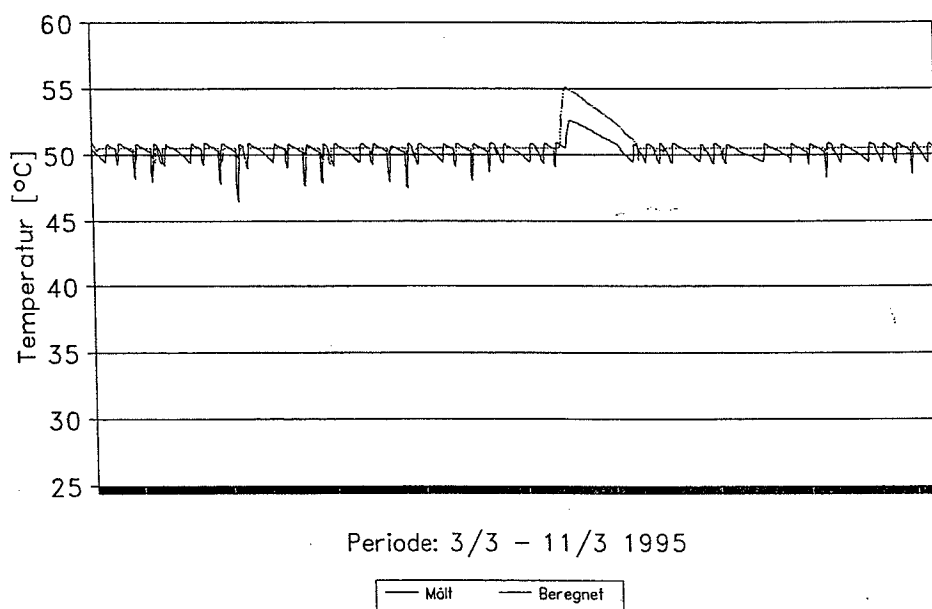
Anlæg: Thermosol



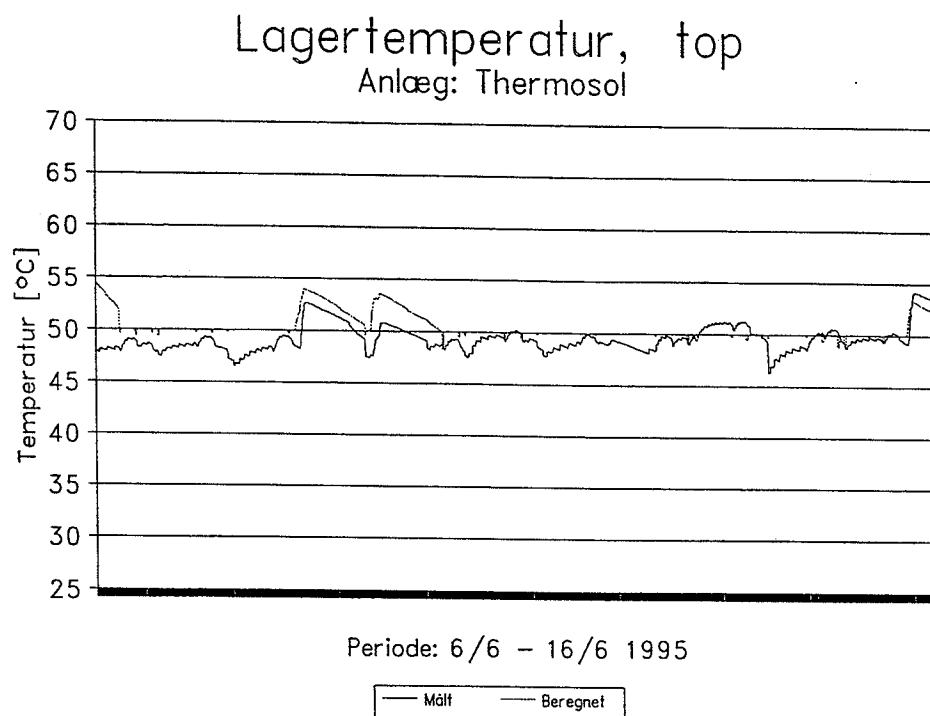
Figur 4.6.16: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i anden del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.

Lagertemperatur, top

Anlæg: Thermosol



Figur 4.6.17: Temperaturen i toppen af lageret i vinterperioden.



Figur 4.6.18: Temperaturen i toppen af lageret i sommerperioden.

4.6.5 Årsydelse for anlægget

I følgende beregninger anvendes modellen beskrevet i afsnit 4.6.3 med følgende ændringer: Der tappes 200 l/dag i tre lige store tapninger kl.: 7:00, 12:00 og 19:00. Koldtvandstemperaturen er 10°C og varmtvandstemperaturen er 45°C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5°C. Der tilføres suppleringsvarme fra elpatronen i perioden 9/5-22/9 (begge dage incl.) og fra varmeveksleren i den resterende periode. Solfangeren vender direkte mod syd. Disse ændringer svarer til forudsætningerne, som benyttes i forbindelse med bestemmelse af tilskudsydelse for små brugsvandsanlæg /27/.

I tabel 4.6.5 ses de beregnede månedlige værdier for solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energimængde tappet fra lageret, energimængde til pumpe, energimængde til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager-suppleringsvarme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme÷energiforbrug til pumpe÷energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Netto ydelse1 [kWh]	Netto ydelse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Jan.	89	32	227	250	2,1	4,02	23	17	9,0	6,8
Feb.	197	86	153	226	4,1	3,63	73	65	32,4	28,8
Mar.	248	113	153	250	6,9	4,02	97	86	38,8	34,4
Apr.	445	205	74	242	8,7	3,89	168	155	69,3	64,1
Maj	521	244	36	250	10,1	4,02	214	200	85,6	80,0
Jun.	593	269	23	242	10,0	3,89	219	205	90,4	84,7
Jul.	523	252	32	250	11,0	4,02	218	203	87,0	81,2
Aug.	499	251	37	250	10,8	4,02	213	198	85,3	79,2
Sep.	356	190	75	242	9,9	3,89	167	153	68,9	63,2
Okt.	226	116	146	250	7,4	4,02	104	93	41,4	37,2
Nov	128	59	194	242	4,4	3,89	48	40	20,0	16,5
Dec	113	47	213	250	2,9	4,02	37	30	14,6	12,0
Tot.	3938	1864	1363	2944	88,3	47,3	1581	1445	53,7	49,1

Tabel 4.6.5: Beregnede månedlige energimængder.

Det ses, at anlægget har en årlig beregnet nettoydelse (Nettoydelse1) på 1581 kWh og en

anlægssydelse (Nettoyedelse₂) på 1445 kWh. De to ydelser svarer til en dækningsgrad på hhv. 53,7% og 49,1%. Ved sammenligning med de målte resultater i tabel 4.6.2 ses det, at anlægssydelsen (nettoyedelse₂) og dækningsgraden (dækningsgrad₂) er målt hhv. ca. 241 kWh og 0,8% lavere end de er beregnet. Det skyldes, at de supplerende energikilder i forsøgene opvarmer toppen af tanken til en højere temperatur (50°C) end antaget i beregningerne. Derudover tappes der mindre i aftentimerne og mere ved middagstid i beregningerne, end der tappes ved målingerne. Desuden foreligger der ikke målinger for januar måned.

Tilskudsydelsen for et solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning defineres på følgende måde: Energimængde tappet fra lageret ÷ Suppleringsvarme til lageret ÷ Cirkulationspumpens energiforbrug + 300 kWh (hvis der både er el-patron og varmeveksler til suppleringsvarme). Anlægget vil, med det danske referenceårs vejrdata, da have en tilskudsydelse på:

$$\text{Tilskudsydelse} = 2944 - 1363 - 88 + 300 = 1793 \text{ kWh}$$

I Solvarmeoversigten fra april 1995 er tilskudsydelsen angivet til 1790 kWh - altså lidt lavere end den her beregnede tilskudsydelse.

Forbedringsmuligheder:

Der er udført beregninger for at undersøge mulighederne for at forbedre anlægget. Alle de nedenstående modeludformninger refererer til ændringer af det nuværende anlæg:

Model 0: Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Under de udførte målinger, har cirkulationspumpen stået på trin 1. Dette blev ændret til trin 2 for at undersøge, hvorvidt solvarmeanlæggets ydelse blev øget. Ændringen betød, at flowet øgedes til:

$$v = 1,85 + 0,04 \cdot T_{\text{bund}} \quad [\text{l/min}]$$

Dette medfører en varmeoverføringsevne for varmevekslerspiralen i solkredsen på:

$$H = 43,29 + 9,572 \cdot \ln \Delta T + (3,405 + 0,588 \cdot \ln \Delta T) \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

H er varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen [W/K]

T_{bund} er temperaturen af vandet som omgiver spiralen [°C]

ΔT er differensen mellem solfangervæskens fremløbstemperatur til beholderen og T_{bund} [K]

hvilket er beregnet ud fra teorien udviklet i /26/, idet de fire konstanter igen er forhøjet med 50%. Dette giver mulighed for endnu nogle modelvariationer, idet det forudsættes, at solfangereffektiviteten ikke ændres når flowet forøges:

Model 1: Flowet i solfangerkredsen ændres til $v = 1,85 + 0,04 \cdot T_{\text{bund}}$. Varmeoverførings-
evnen for varmevekslerspiralen ændres til ovenstående. Pumpeeffekten ændres
til 52 W (målt ved pumpettrin 2).

Model 2: Flowet i solfangerkredsen ændres til $v = 1,85 + 0,04 \cdot T_{\text{bund}}$. Varmeoverførings-
evnen for varmevekslerspiralen ændres til ovenstående. Pumpeeffekten ændres
til 52 W (målt ved pumpettrin 2). Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med
0 W/K.

Tabel 4.6.6 viser resultaterne af parametervariationerne.

Model	Solind- fald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresy- stem [kWh]	Nettoy- delse1 [kWh]	Nettoy- delse2 [kWh]	Dæk- nings grad1 [%]	Dæk- nings grad2 [%]
Ref.	3938	1864	1363	2944	88,3	47,3	1581	1445	53,7	49,1
0	3938	1857	1310	2944	88,0	47,3	1634	1499	55,5	50,9
1	3938	1909	1328	2944	146,9	47,3	1616	1422	54,9	48,3
2	3938	1902	1275	2944	146,3	47,3	1669	1476	56,7	50,1

Tabel 4.6.6: Beregnede årlige energimængder for de forskellige udformninger af anlægget. Ref. svarer til anlægget som det står nu.

Model 0: Det ses, at anlægsydelsen (Nettoydel2) forøges ca. 4% når kuldebroen i
toppen af lagertanken fjernes.

Model 1: Ved at sætte pumpen på trin 2 i stedet for trin 1, stiger nettoydelsen
(Nettoydel1) 35 kWh, mens anlægsydelsen (Nettoydel2) falder 23 kWh
svarende til en forringelse på ca. 2%. Dvs. at besparelsen i supplerende energi
ikke overstiger den ekstra energitilførsel til pumpen.

Model 2: Ved både at øge flowet i solfangerkredsen og fjerne kuldebroen i toppen af
tanken, forøges anlægsydelsen ca. 2%.

Dvs. at anlægget yder mest ved pumpettrin 1. Anlæggets samlede ydelse kan øges ved at fjer-

ne kuldebroen i toppen af tanken.

Anlæggets ydelse er endvidere beregnet med en rørføring svarende til de i afsnit 4.1-4.5 behandlede anlæg. Dvs. fremløbsrøret fra solfangeren til lagertanken ændres til 13 m (heraf 3 m indendørs) og returrøret fra lagertanken til solfangeren ændres til 13 m (heraf 3 m indendørs). Isoleringen af rørene er uændret. Denne ekstra beregning er foretaget, for at man bedre kan sammenligne anlæggene.

	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Netto ydelse1 [kWh]	Netto ydelse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Jan.	89	28	230	250	2,0	4,02	20	14	8,0	5,6
Feb.	197	78	155	226	3,9	3,63	71	63	31,4	27,9
Mar.	248	103	157	250	6,6	4,02	93	82	37,2	32,8
Apr.	445	192	78	242	8,6	3,89	164	152	67,8	62,8
Maj	521	230	41	250	9,8	4,02	209	195	83,6	78,0
Jun.	593	254	26	242	9,9	3,89	216	202	89,3	83,5
Jul.	523	240	35	250	10,9	4,02	215	200	86,0	80,0
Aug.	499	241	39	250	10,7	4,02	211	196	84,4	78,4
Sep.	356	182	78	242	9,7	3,89	164	150	67,8	62,0
Okt.	226	109	147	250	7,2	4,02	103	92	41,2	36,8
Nov	128	54	193	242	4,2	3,89	49	41	20,3	16,9
Dec	113	42	217	250	2,8	4,02	33	26	13,2	10,4
Tot.	3938	1753	1396	2944	86,3	47,3	1548	1414	52,6	48,0

Tabel 4.6.7: Beregnede månedlige energimængder, når rørføringen i solfangerkredsen er som i anlæg 1-5.

Det ses, at ved at ændre rørføringen i solfangerkredsen, reduceres anlægsydelsen (nettoydelse2) ca. 2%. Værdierne i tabel 4.6.7 benyttes ved sammenligningen af anlæggene i afsnit 5.

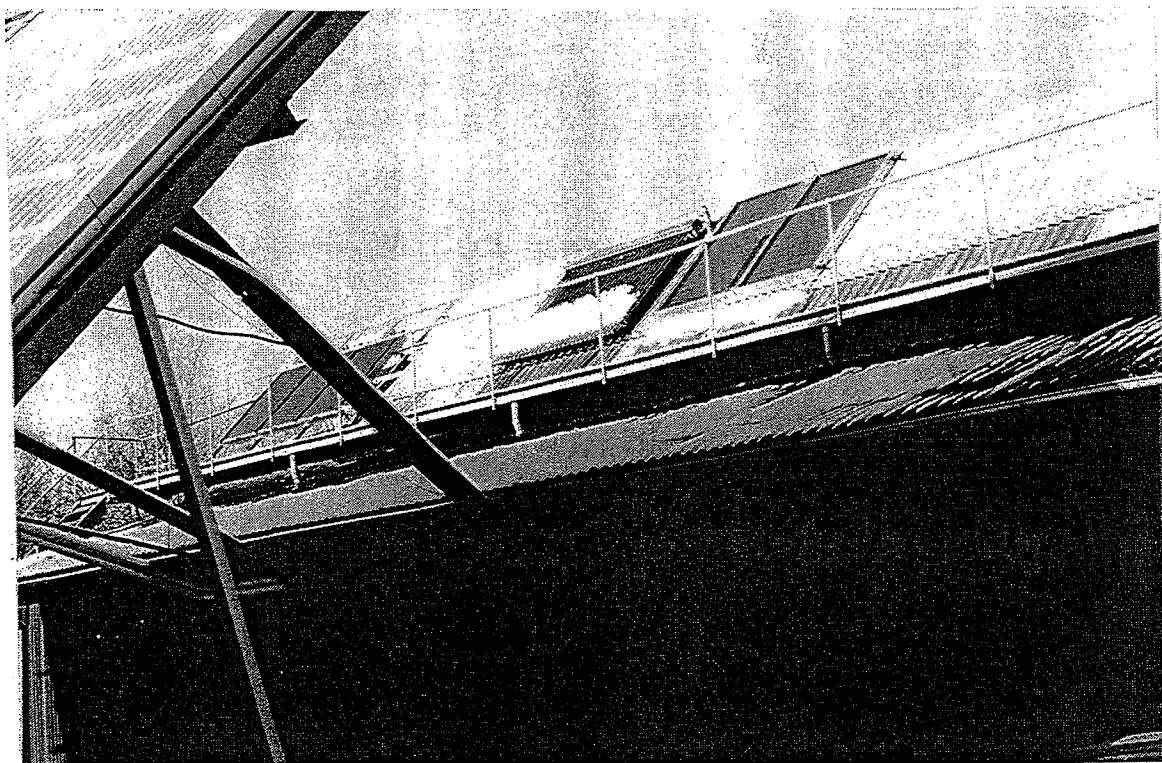
4.6.6 Driftserfaringer og sammenfatning

Anlægget har kørt uden problemer i måleperioden.

Anlægget har, især om vinteren, haft en god ydelse. Dog forringes ydelsen i forbindelse med snefald, da sneen er lang tid om at smelte af dæklaget. Det skyldes at dæklaget har en meget

lav varmetabskoefficient. Figur 4.6.19 viser solfangeren på en vinterdag med solskin. Det ses, at der ligger sne på solfangeren.

For at forbedre anlægget foreslås det, at lagertanken isoleres grundigt omkring el-patronen. Herved kan anlægsydelsen forøges ca. 4%.



Figur 4.6.19: Solfangerpanelerne på en vinterdag med solskin. Sneen er lang tid om at smelte af solfangeren.

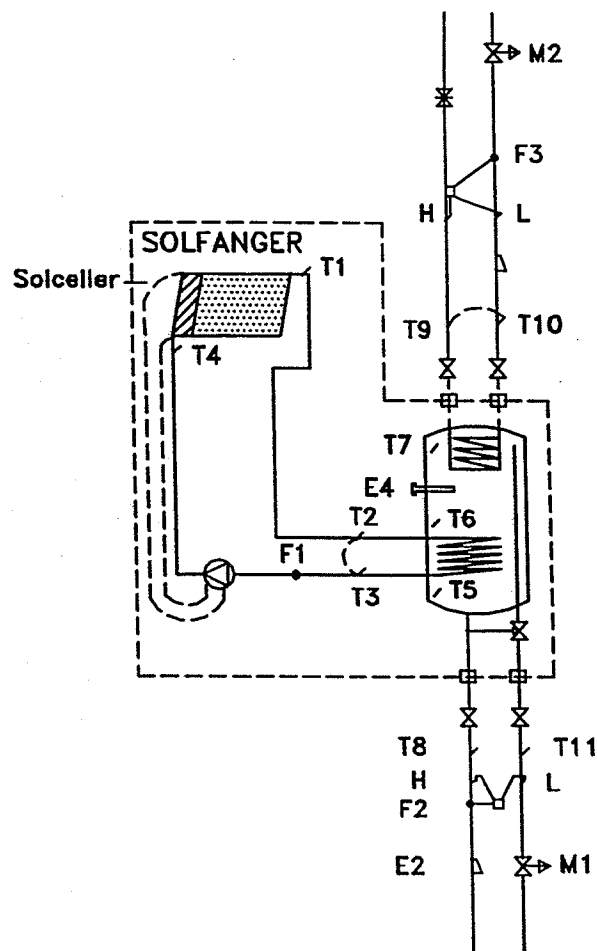
4.7 Anlæg 7: Sol-Energi Kobbervarefabrikken

4.7.1 Opbygning

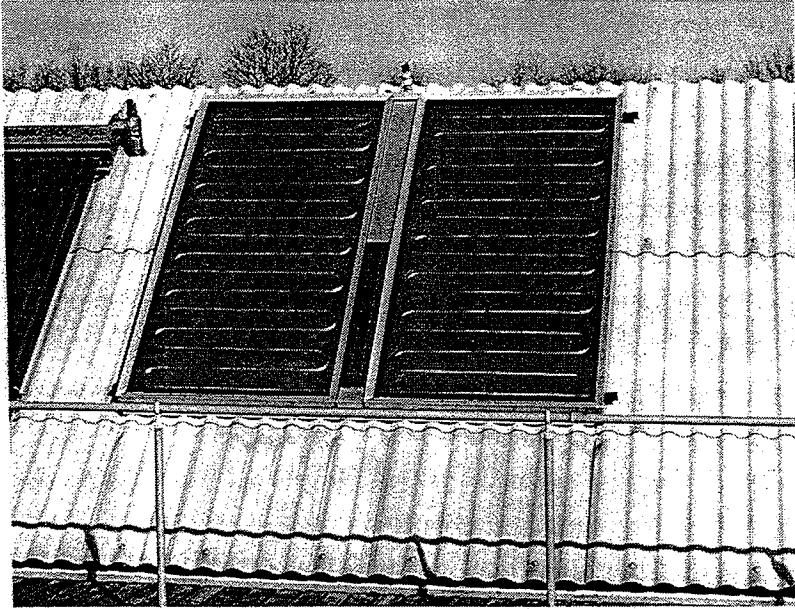
Solvarmeanlægget er opført i prøvestanden i januar 1995 af Sol-Energi Kobbervarefabrikken. Anlægget markedsføres i Danmark.

Anlægget består af to solfangerpaneler med et samlet transparent areal på 3,82 m², samt en lagertank på 280 l. Solfangeren er installeret på en 45° hældende flade orienteret 10° mod vest fra syd. Datablade for solfangeren ses i bilag 4.7.1.

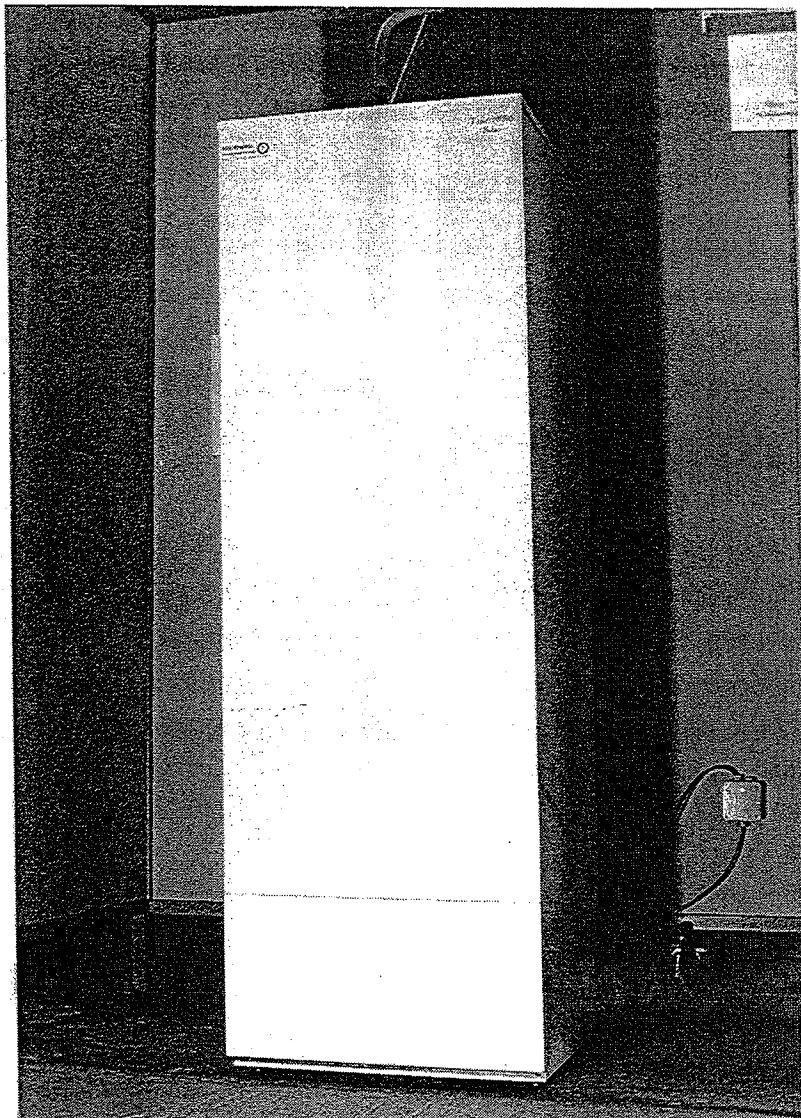
Lagertanken (Nilan, SV300 Combi) er en lodretstående cylindrisk stålbeholder med to varmevekslerspiraler til hhv. solvarme og suppleringsvarme fra f.eks. et fyr. Endvidere er varmetanken forsynet med en el-varmestav til brug i sommerperioder. Beholderen er isoleret med hårdt polyurethanskum og indbygget i et stålkabinet. Datablade for lagertanken er vist i bilag 4.7.2.



Figur 4.7.1: Principskitse med målepunkter af anlægget fra Sol-Energi Kobbervarefabrikken.



Figur 4.7.2: Solfangerne på bygningens tag.



Figur 4.7.3: Solvarmeanlæggets varmelager.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 7,5 m skum-isoleret fremløbsrør fra solfangeren til lagertanken (heraf 5 m indendørs) og 6 m skum-isoleret returrør fra lageret til solfangeren (heraf 5 m indendørs). Rørene er 15/13 mm kobberør. Cirkulationspumpen i solfangerkredsen er en solcelledrevet jævnstrømspumpe med en spidseffekt på 8 W. Solcellepanelet er på ca. 0,085 m². Cirkulationspumpen styres således alene af solbestrålingsstyrken, og starter/stopper ved en solbestrålingsstyrke på hhv. ca 250 W/m² og 75 W/m². Ved at benytte en solcelledrevet pumpe, fjernes energiforbruget til pumpe og styresystem. I figur 4.7.1 ses en principskitse af anlægget. Figur 4.7.2 og 4.7.3 viser fotos af anlæggets solfanger og varmelager.

4.7.2 Måledata

I figur 4.7.1 er målepunkterne i anlægget vist.

Der er fem målepunkter i tanken. Målepunkterne er anbragt i en glasstav, som er indført i tanken gennem bunden. Målepunkterne 1,3 og 5 registreres hele tiden, mens punkterne 2 og 3 kan udtages midlertidigt. Målepunkterne i tanken er placeret som angivet i tabel 4.7.1:

Målepunkt	Angivelse i figur 4.7.1	Afstand fra bund af tank (mm)
1	T5	20
2	-	355
3	T6	695
4	-	1030
5	T7	1362

Tabel 4.7.1: Placering af temperaturfølere i lagertank.

I tabel 4.7.2 er følgende målte månedlige værdier gengivet: Solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lager, energiforbrug til pumpe, energiforbrug til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager÷suppleringsvarme÷energiforbrug til pumpe÷energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

Følgende dage foreligger der ikke data (begge dage incl.):

Januar: 1-13
Marts: 26

Det ses af målingerne, at anlægget i måleperioden i 1995 har haft en anlægssydelse

(Nettoydelse2) på 958 kWh med en dækningsgrad på 35,6 %. Der er ikke, som tilstræbt, tappet 8 kWh fra lageret hver dag.

Måned	Solindfald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresy- stem [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]	Nettoydelse2 [kWh]	Dæknings- grad1 [%]	Dæknings- grad2 [%]
Jan.	65	10	118	113	0	0	-5	-5	-4,4	-4,4
Feb.	137	32	207	214	0	0	7	7	3,3	3,3
Mar.	287	72	169	227	0	0	58	58	25,6	25,6
Apr.	434	128	146	241	0	0	95	95	39,4	39,4
Maj	589	170	104	245	0	0	141	141	57,6	57,6
Jun.	522	161	101	236	0	0	135	135	57,2	57,2
Jul.	671	217	46	234	0	0	188	188	80,3	80,3
Aug.	703	229	31	234	0	0	203	203	86,8	86,8
Sep.	320	92	147	220	0	0	73	73	33,2	33,2
Okt.	287	79	188	242	0	0	54	54	22,3	22,3
Nov	149	40	230	238	0	0	8	8	3,4	3,4
Dec	97	24	246	247	0	0	1	1	0,4	0,4
Tot.	4261	1254	1733	2691	0	0	958	958	35,6	35,6

Tabel 4.7.2: Målte månedsværdier for anlægget (1995).

4.7.3 EDB-model af solvarmeanlægget

Til bestemmelse af årlige ydelser samt forbedringsmuligheder for solvarmeanlægget er en EDB-model af anlægget udformet. Modellen bruges i et detaljeret simuleringsprogram udviklet i /21/.

Modellen valideres med målte data fra to perioder: 2/3-11/3 1995 og 5/6-16/6 1995 (jvf. afsnit 3). I vinterperioden anvendes varmevekslerspiralen til suppleringsvarme. I sommerperioden anvendes el-patronen til suppleringsvarme. I det følgende er input til EDB-modellen beskrevet:

Solfangerkredsen:

Effektivitetsudtrykket for solfangeren er målt på Laboratoriet for Varmeisolering til /20/:

$$\eta = 0,51 - 4,49 \cdot (T_m - T_a)/G - 0,004 \cdot (T_m - T_a)^2/G$$

hvor

η	er solfangereffektiviteten	[-]
T_m	er middel væsketemperatur	[°C]
T_a	er lufttemperaturen	[°C]
G	er bestrålingsstyrken på solfangeren	[W/m ²]

Prøvningen er udført under standardbetingelser (ISO 9806-1.2) med en lufthastighed over solfangeren på 5 m/s. Denne lufthastighed er meget større end det, gennemsnitslufthastigheden normalt er udendørs. Derfor er effektivitetsudtrykket korrigeret, til et udtryk svarende til en lufthastighed på 2 m/s, på baggrund af ligningerne i /24, side 108-109/. Korrektionen reducerer solfangerens varmetab til 95,8% af det oprindelige varmetab. Herved fremkommer følgende effektivitetsudtryk for solfangeren:

$$\eta = 0,51 - 4,30 \cdot (T_m - T_a)/G - 0,0038 \cdot (T_m - T_a)^2/G$$

Simuleringsprogrammet benytter ikke det egentlige effektivitetsudtryk, men et lineariseret udtryk ved en temperaturdifferens på 50 K. Således bliver det endelige udtryk:

$$\eta = 0,51 - 4,49 \cdot (T_m - T_a)/G$$

En sammenligning mellem målinger og beregninger viste dog, at solfangeren ikke kunne have dette effektivitetsudtryk, idet den beregnede energimængde overført fra solfanger til lageret var for lille i forhold til den målte energimængde.

Årsagen kan være, at absorberens karakteristika ikke er helt ens for solfangermodulerne. Absorberen er lavet af en kobberplade med presset rende ilagt rør. Netop varmeovergangen mellem plade og rør kan variere en smule, hvilket kan medføre en forskydning af starteffektiviteten for solfangerpanelerne. Sammenligningen mellem målinger og beregninger viste, at nedenstående udtryk for den lineariserede solfangereffektivitet er mere passende for de anvendte solfangerpaneler:

$$\eta = 0,53 - 4,49 \cdot (T_m - T_a)/G$$

Effektivitetens vinkelafhængighed i forhold til solindfaldet er bestemt på Laboratoriet for Varmerisolerings til $a=5,9$ /20/, hvor a indgår i følgende ligning:

$$k_g = 1 - (\tan(i/2))^a$$

hvor

k_g	er indfaldsvinkelkorrektionen	[-]
i	er indfaldsvinklen	[°]

Væsken i solfangerkredsen er en propylenglycol/vand-blanding med hhv. 40 vægt% propylenglycol (vinter) og 42 vægt% propylenglycol (sommer).

Volumenstrømmen i solfangerkredsen er styret af solcellepanelet. Volumenstrømmen er afhængig af solbestrålingsstyrken på solcellepanelet, solfangervæskens temperatur samt udelufttemperaturen. Solfangervæskens temperatur har betydning, idet viskositeten, og dermed tryktabet i solfangerkredsen, er afhængig af væskens temperatur. Udelufttemperaturen er af betydning, idet effektiviteten af solcellepanelet reduceres ca. 0,2-0,7% pr K. Ud fra målingerne er volumenstrømmen i solfangerkredsen bestemt til:

$$v = [0,0006 \cdot (Q_{sol})^{1,09} + 0,0008 \cdot (T_{bund})^{1,82}] \cdot [1 - 0,0067 \cdot T_{ude}]$$

hvor

v	er volumenstrømmen i solfangerkredsen	[l/min]
Q_{sol}	er bestrålingsstyrken på solcellepanelet	[W/m ²]
T_{bund}	er temperaturen i bunden af lagertanken	[°C]
T_{ude}	er udelufttemperaturen	[°C]

Flowet i solfangerkredsen starter ved en bestrålingsstyrke på ca. 250 W/m² og stopper ved en bestrålingsstyrke på ca. 75 W/m². Forskellen mellem start- og stopbestrålingsstyrken skyldes, at der skal en ekstra effekt til at sætte væsken i cirkulation. I afsnit 4.7.4 ses en sammenligning af den målte - og modellerede volumenstrøm.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 7,5 m rør fra toppen af solfangeren til lagertanken (heraf 5 m indendørs) og 6 m returrør fra bunden af lageret til solfangeren (heraf 5 m indendørs). Rørene er 15/13 mm kobberør. Rørene er isoleret med 10 mm skumisolering med en anslået λ -værdi på $0,025 + 0,0001 \cdot T_{rør}$ W/m·K. Der er ikke tillagt en kuldebro i rørkredsen. Da der ved målingerne er konstateret selvcirkulation i solfangerkredsen, når solen ikke skinner, er selvcirkulationen medtaget i EDB-modellen.

Lageret:

Lageret er på 280 l med en indvendig højde/diameter på 1,461/0,494 m. Lageret er isoleret med 0,05 m, 0,07 m og 0,02 m PUR-skum på hhv. lagerets sider, top og bund. Isoleringens λ -værdi anslås til $0,025 + 0,0001 \cdot T_{lager}$ W/m·K. Der er desuden tillagt en kuldebro i bunden af tanken på 0,6 W/K for at repræsentere rørgennemføringer i isoleringen. Parameterstudier har dog vist, at denne kuldebro ikke er af større betydning for anlæggets samlede ydelse. Større betydning har til gengæld en ekstra kuldebro i toppen af tanken. Sammenligninger

mellem målinger og beregninger, af temperaturprofilen i toppen af lagertanken, har vist, at der skal tillægges en kuldebro på 0,2 W/K i toppen af tanken. Årsagen til denne kuldebro, kan være, at el-patronen gennembryder tankens isolering.

Da flowet i solfangerkredsen ikke alene kan beskrives som en funktion af temperaturen i bunden af lagertanken, kan varmeoverføringsevnen for solkredsens spiral i lagertanken ikke umiddelbart bestemmes efter nedenstående formel som benyttes i simuleringsprogrammet (fra teorien udviklet i /26/):

$$H = A_1 + A_2 \cdot \ln \Delta T + (B_1 + B_2 \cdot \ln \Delta T) \cdot T_{\text{bund}}$$

hvor

H er varmeoverføringsevnen for varmevekslerspiralen [W/K]

T_{bund} er temperaturen af vandet som omgiver spiralen [°C]

ΔT er differensen mellem solfangervæskens fremløbstemperatur til beholderen og T_{bund} [K]

A_1 , A_2 , B_1 og B_2 er konstanter.

Derfor er konstanterne A_1 , A_2 , B_1 og B_2 beregnet ved forskellige volumenstrømme. Simuleringsprogrammet er modificeret således, at konstanterne ændres, svarende til volumenstrømmen i solfangerkredsen, for hvert tidsskridt. I tabel 4.7.3-a ses konstanterne A_1 , A_2 , B_1 og B_2 for forskellige volumenstrømme i solfangerkredsen:

Volumenstrøm [l/min]	A_1 [W/K]	A_2 [W/K]	B_1 [W/K ²]	B_2 [W/K ²]
0,05	4,0	0,40	0,21	-0,025
2,5	41,1	0,21	1,66	0,139
5,0	46,5	-0,025	2,4	0,315

Tabel 4.7.3-a: Varmeoverføringskonstanter for tre volumenstrømme: Den mindste, midterste og største antagede volumenstrøm. Konstanterne er i simuleringsprogrammet bestemt for tyve forskellige volumenstrømme fra 0,05 l/min til 5,0 l/min.

En sammenligning af målte og beregnede temperaturer i solfangerkredsen viste dog, at varmevekslerspiralen i solfangerkredsen ikke kunne have ovenstående varmeoverføringsevne. En bedre overensstemmelse fremkom, når de fire konstanter blev forhøjet med 50 %. Der er ikke fundet en forklaring på dette. Ved at forhøje konstanterne med 50 %, fås størrelserne gengivet i tabel 4.7.3-b. Disse konstanter benyttes i beregningerne.

Lageret er i EDB-modellen inddelt i 14 lag. Solkredsens varmevekslerspiral er placeret i det nederste lag, mens den supplerende varmevekslerspiral og el-patronen er placeret i det øverste lag. Herved opnås god overensstemmelse med lagerets faktiske opbygning.

Volumenstrøm [l/min]	A ₁ [W/K]	A ₂ [W/K]	B ₁ [W/K ²]	B ₂ [W/K ²]
0,05	6,00	0,6	0,315	-0,0375
2,5	61,65	0,315	2,49	0,2085
5,0	69,75	-0,0375	3,6	0,4725

Tabel 4.7.3-b: Varmeoverføringskonstanter for tre volumenstrømme: Den mindste, midterste og største antagede volumenstrøm, idet konstanterne er forhøjet med 50 %.

I simuleringerne er anvendt en effekt på 1650 W for suppleringsvarmen. Setpunktet for termostaten er 50°C.

Startværdier for temperaturen i lagertankens forskellige lag er fastlagt ud fra de målte temperaturer.

4.7.4 Validering af EDB-model

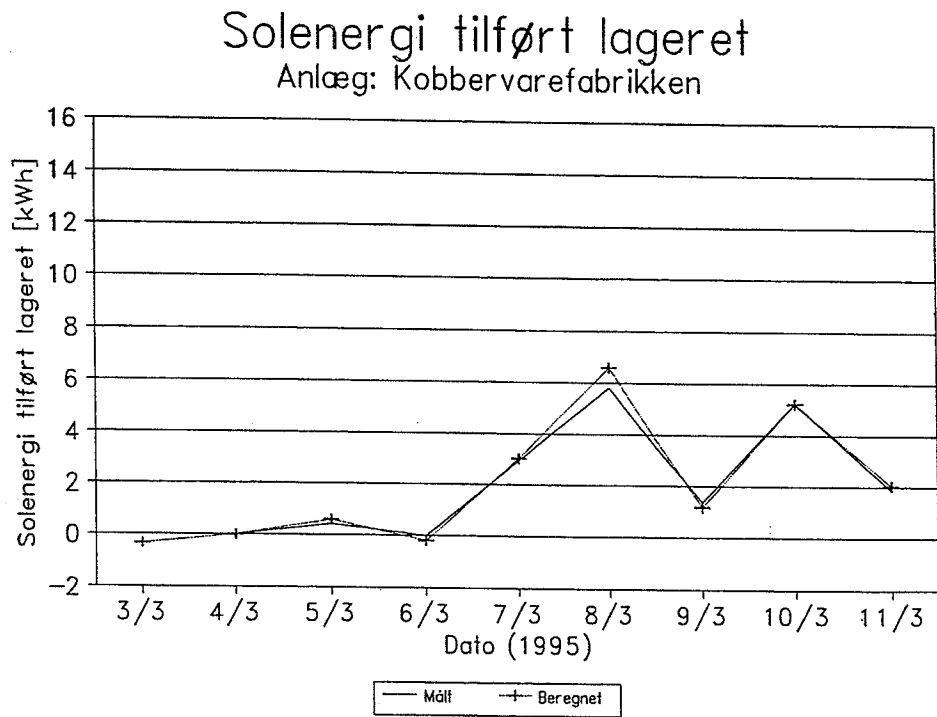
Formålet med valideringen af EDB-modellen er, at udforme en model der svarer så godt til anlægget, at man kan beregne årsydelse. Desuden kan modellen benyttes til at undersøge, hvorledes ændrede anlægsudformninger påvirker ydelsen.

Med de i afsnit 4.7.3 anførte inputdata til simuleringsprogrammet er der gennemført beregninger for to perioder. De to perioder, der er simuleret, er hhv. 2/3-11/3 1995 (vinterperioden) og 5/6-16/6 1995 (sommerperioden) jvf. afsnit 3. Disse to perioder er udvalgt, idet de repræsenterer anlægget med suppleringsvarme fra hhv. varmevekslerspiral og el-patron.

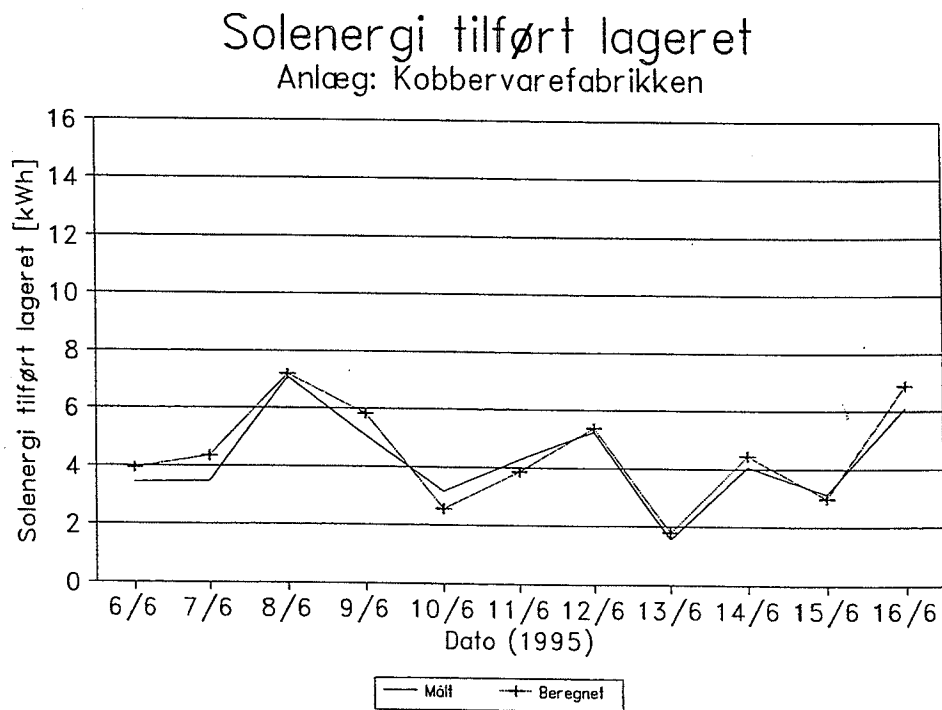
EDB-modellen af anlægget valideres mod målte energistørrelser og temperaturer. Energi-størrelserne er som følger: Solenergi tilført lageret, supplerende energi tilført lageret, energi tappet fra lageret og nettoydelse (Nettoydelse₁). Her er nettoydelsen beregnet som energi tappet fra lageret ÷ supplerende energi tilført lageret.

De målte temperaturer der benyttes til valideringen er: Temperatur i toppen af lageret (T7), solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2) og solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3). Angivelserne i parenteserne refererer til signaturerne i figur 4.7.1.

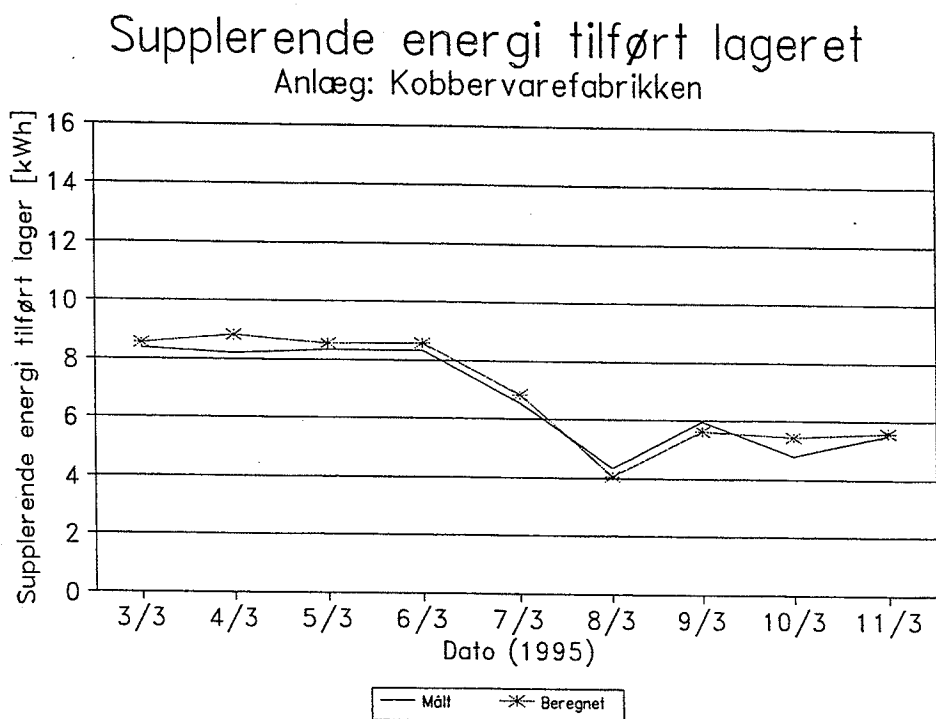
I figur 4.7.4-5 ses den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangeren til lageret i de to perioder. Figur 4.7.6-7 viser den målte og beregnede daglige supplerende energitilførsel til lageret i perioderne. I figur 4.7.8-9 ses den målte og beregnede daglige energimængde tappet fra lageret i begge perioder, mens figur 3.7.10-11 viser den målte og beregnede daglige nettoydelse. Det fremgår, at den første dag i begge perioder ikke er medtaget. Det skyldes, at den første dag benyttes som indsvingningsperiode.



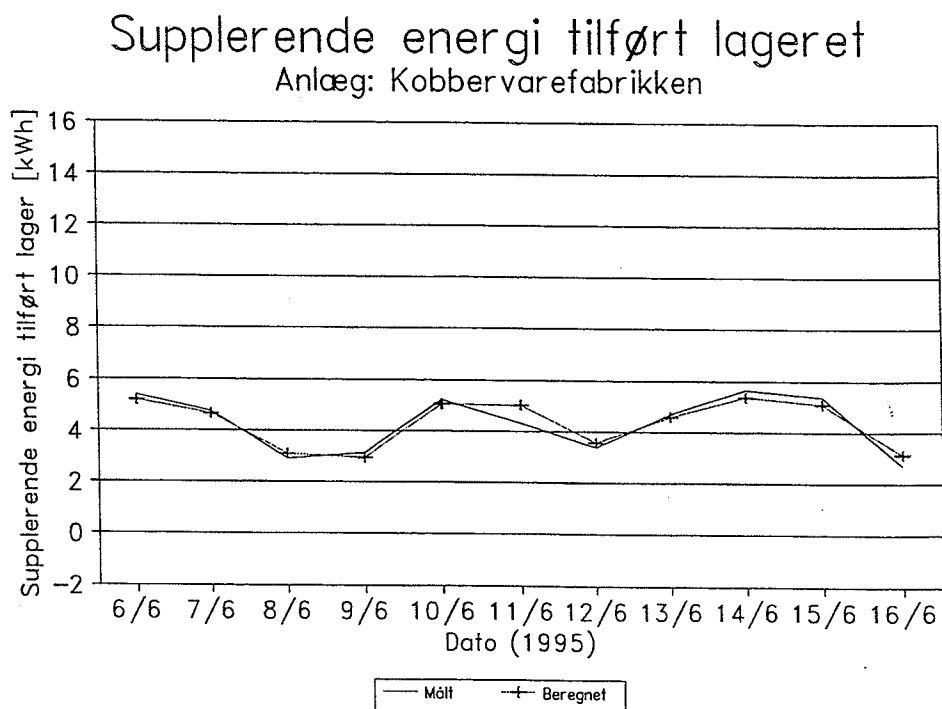
Figur 4.7.4: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i vinterperioden.



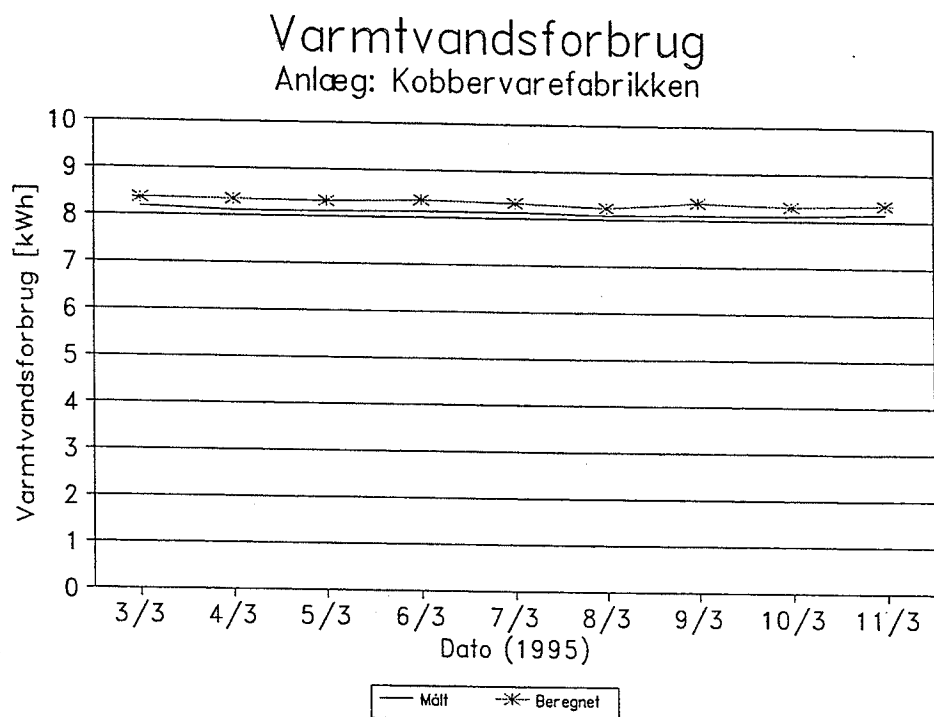
Figur 4.7.5: Energioverførsel fra solfangeren til lageret i sommerperioden.



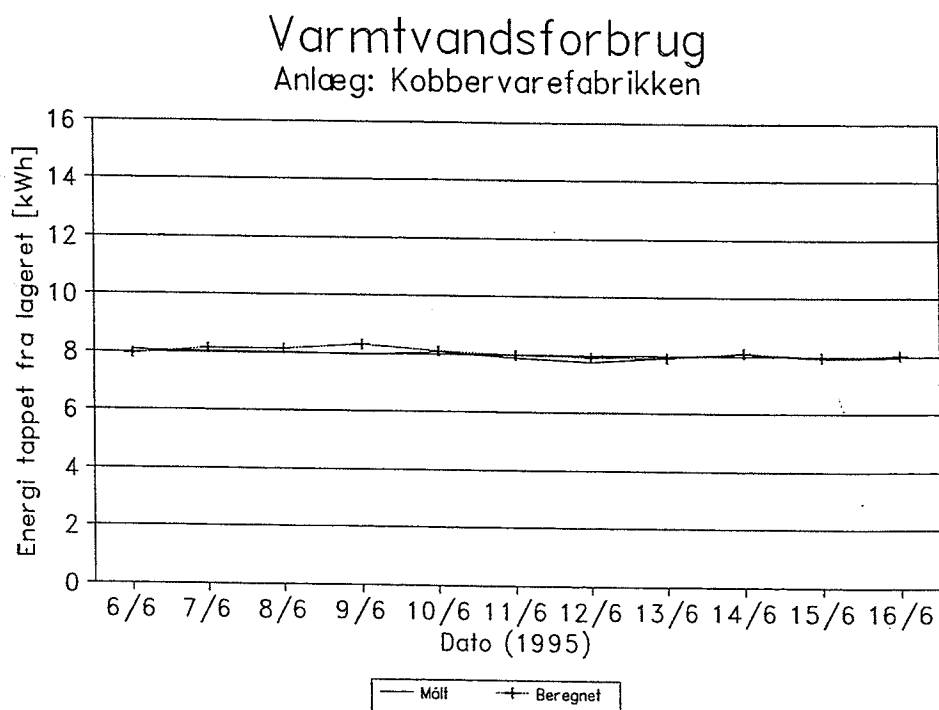
Figur 4.7.6: Supplerende energi tilført lageret i vinterperioden.



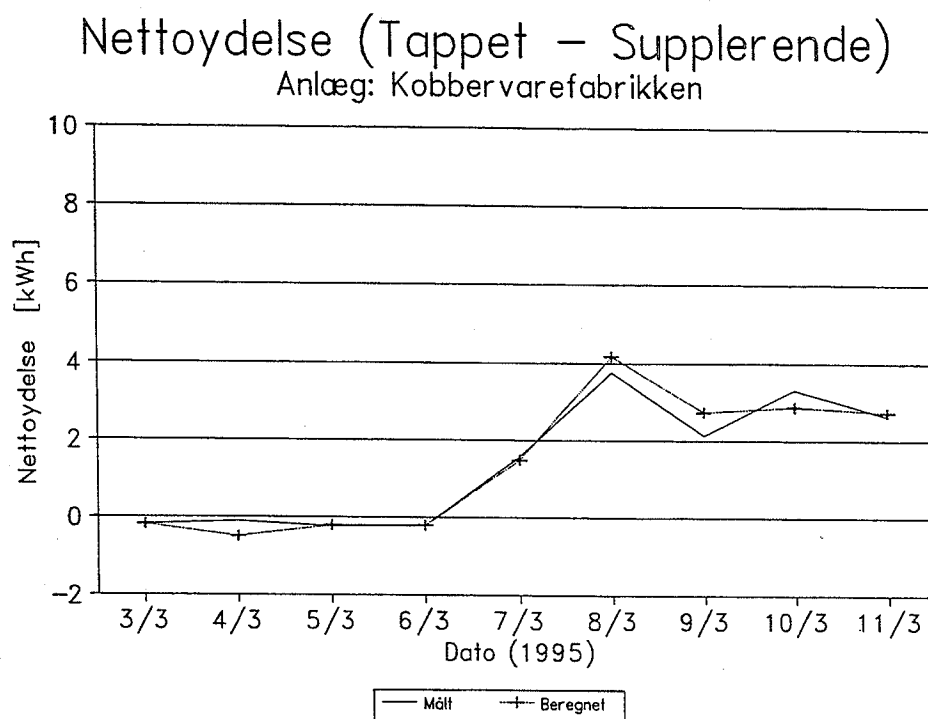
Figur 4.7.7: Supplerende energi tilført lageret i sommerperioden.



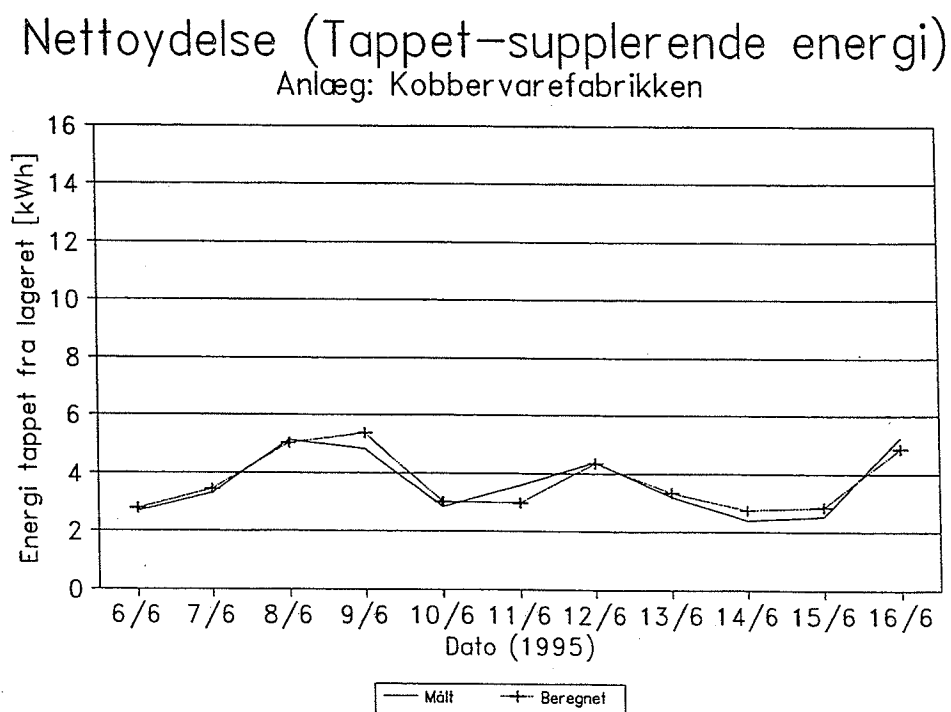
Figur 4.7.8: Energimængde tappet fra lageret i vinterperioden.



Figur 4.7.9: Energimængde tappet fra lageret i sommerperioden.



Figur 4.7.10: Nettoydelse for solvarmeanlægget i vinterperioden.



Figur 4.7.11: Nettoydelsen for solvarmeanlægget i sommerperioden.

Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser. I tabel 4.7.4-5 er energimængderne summeret over perioderne, og det fremgår heraf, at forskellen ligger inden for måleusikkerheden (jvf. afsnit 2).

Periode:	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende var- me tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
3/3-11/3 1995				
Målt	17,7	60,3	73,0	12,7
Beregnet	18,2	62,0	74,9	12,9
Afvigelse i %	2,8	2,8	2,6	1,6

Tabel 4.7.4: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

Periode:	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende var- me tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse1 [kWh]
6/6-16/6 1995				
Målt	46,5	47,6	87,7	40,1
Beregnet	47,5	47,6	88,4	40,8
Afvigelse i %	2,2	0,0	0,8	1,7

Tabel 4.7.5: Summerede energimængder over måleperioden, målt og beregnet.

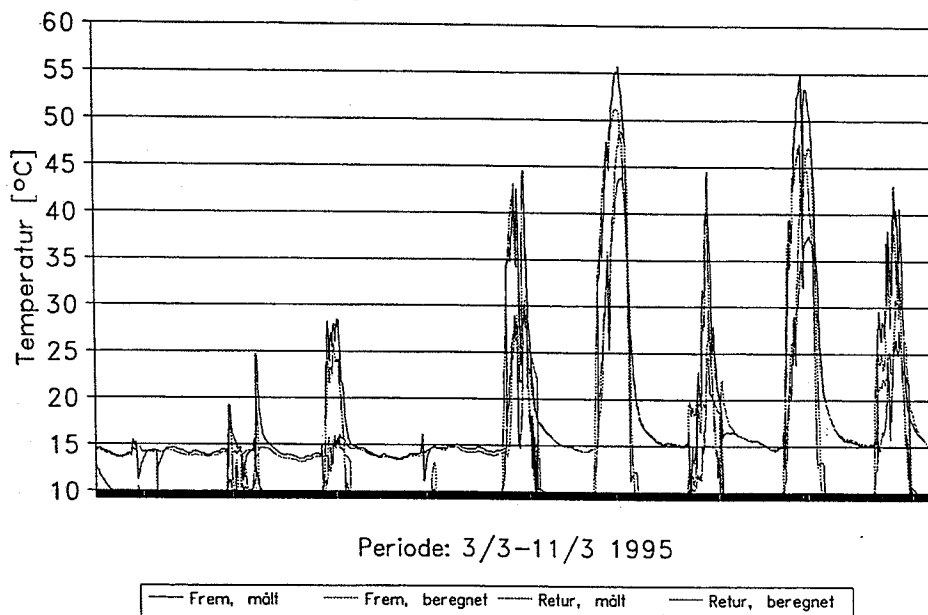
Figur 4.7.12-14 viser fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i de to perioder, mens figur 4.7.15-16 gengiver temperaturen i toppen af lageret. Den beregnede temperatur svarer til temperaturen i lag nr. 14 i lagertanken. Endelig ses i figur 4.7.17-19 sammenligningen mellem den målte og modellerede volumenstrøm i solfangerkredsen.

Det har været svært at få god overensstemmelse mellem målinger og beregninger, da flowet i solfangerkredsen, pga. den solcelledrevne pumpe, er stærkt afhængig af bestrålingsstyrken. Målingerne af anlægget er baseret på midlede 10 min. værdier. Da der inden for en 10 min. periode kan forekomme betydelige variationer i bestrålingsstyrken kan det give problemer at modellere anlægget på basis af 10 min. værdier. En nøjagtigere model kunne udvikles, hvis dataopsamlingen fandt sted f.eks. hvert 2. minut. Derved kunne der i højere grad tages højde for variationerne i bestrålingsstyrken.

Sammenligningen af temperaturerne samt volumenstrømmen i solfangerkredsen viser alligevel, at temperaturniveauet og dynamikken stemmer godt overens. På grundlag af dette og overensstemmelsen mellem målte og beregnede energimængder vurderes det derfor, at EDB-modellen kan anvendes til simulering af et helt år med referenceåret TRY.

Ind- og udløbstemperatur fra lager

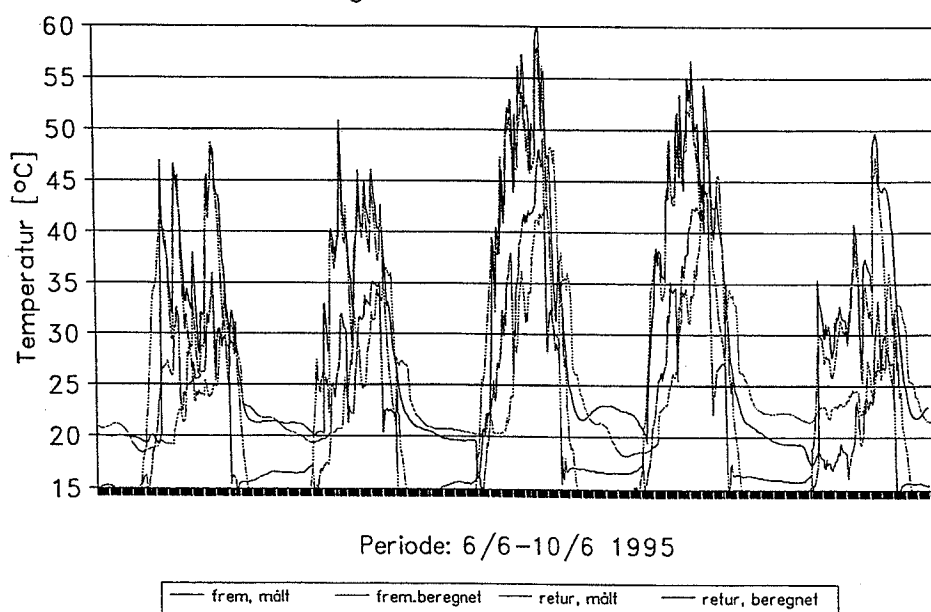
Anlæg: Kobbervarefabrikken



Figur 4.7.12: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i vinterperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.

Ind- og udløbstemperatur fra lager

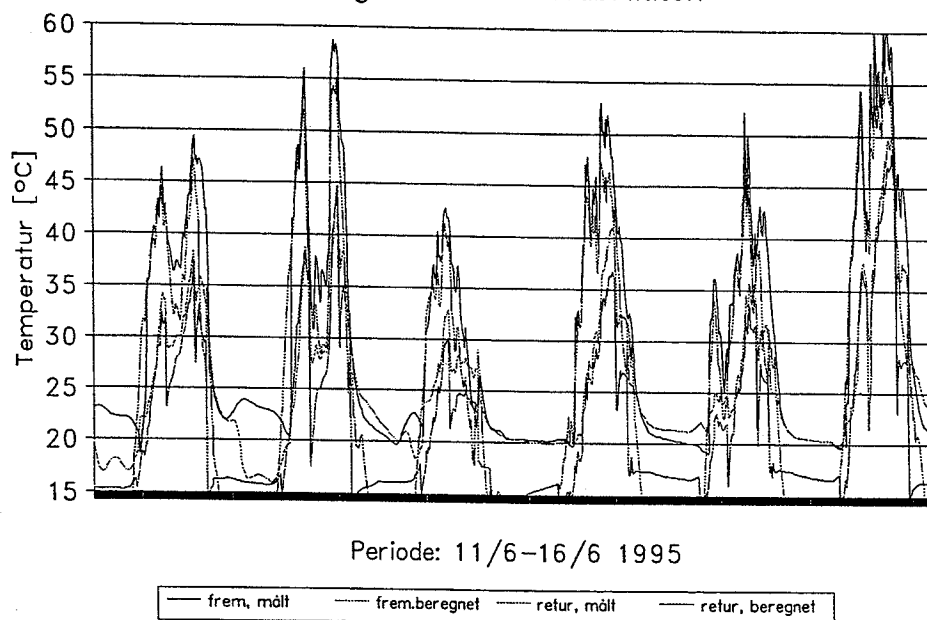
Anlæg: Kobbervarefabrikken



Figur 4.7.13: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i første del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.

Ind- og udløbstemperatur fra lager

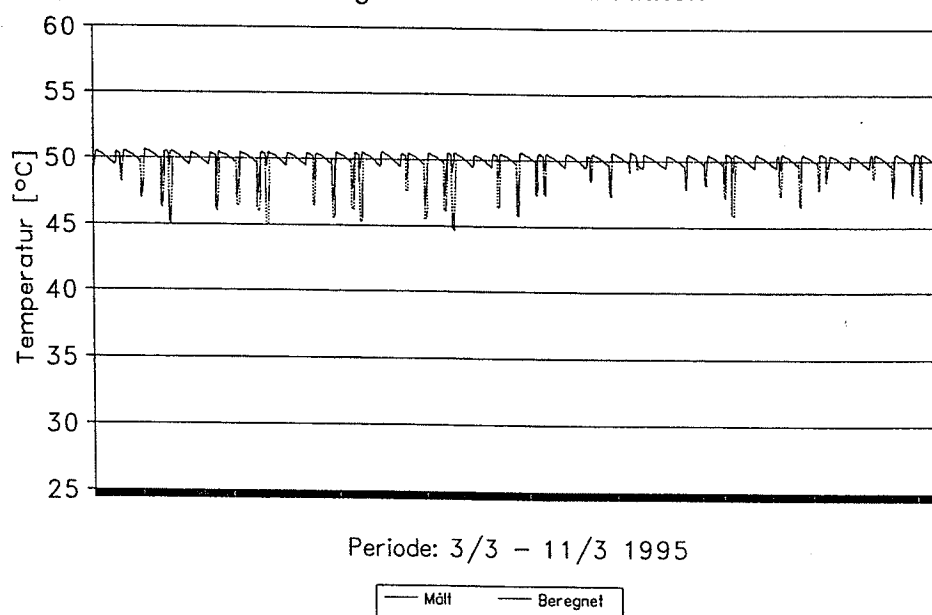
Anlæg: Kobbervarefabrikken



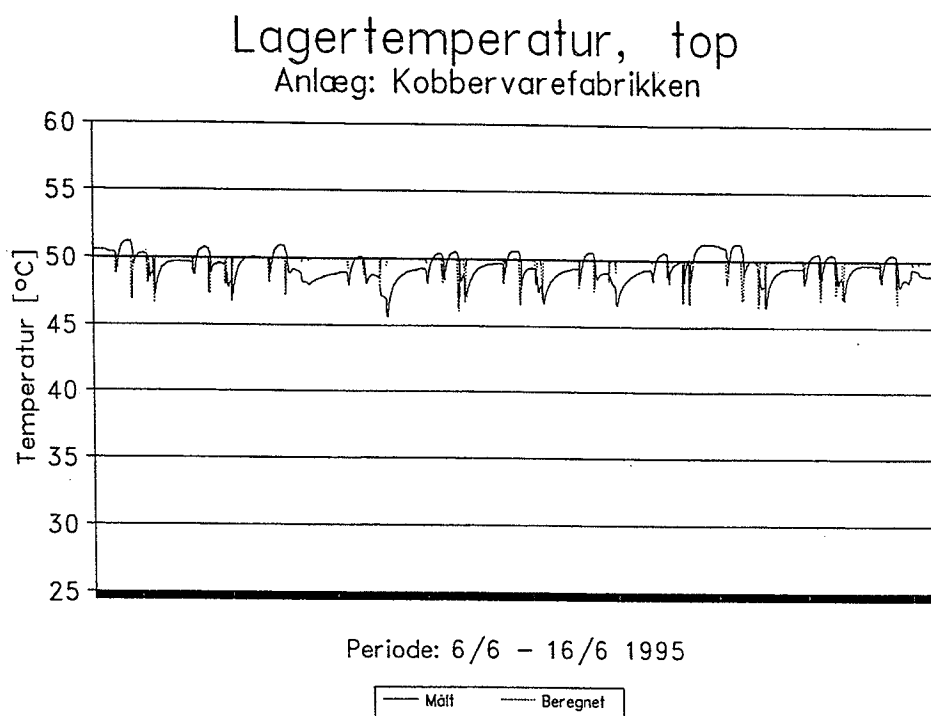
Figur 4.7.14: Fremløbstemperaturen til lageret og returtemperaturen fra lageret i anden del af sommerperioden. De vandrette streger indikerer, at solfangeren ikke har været i drift.

Lagertemperatur, top

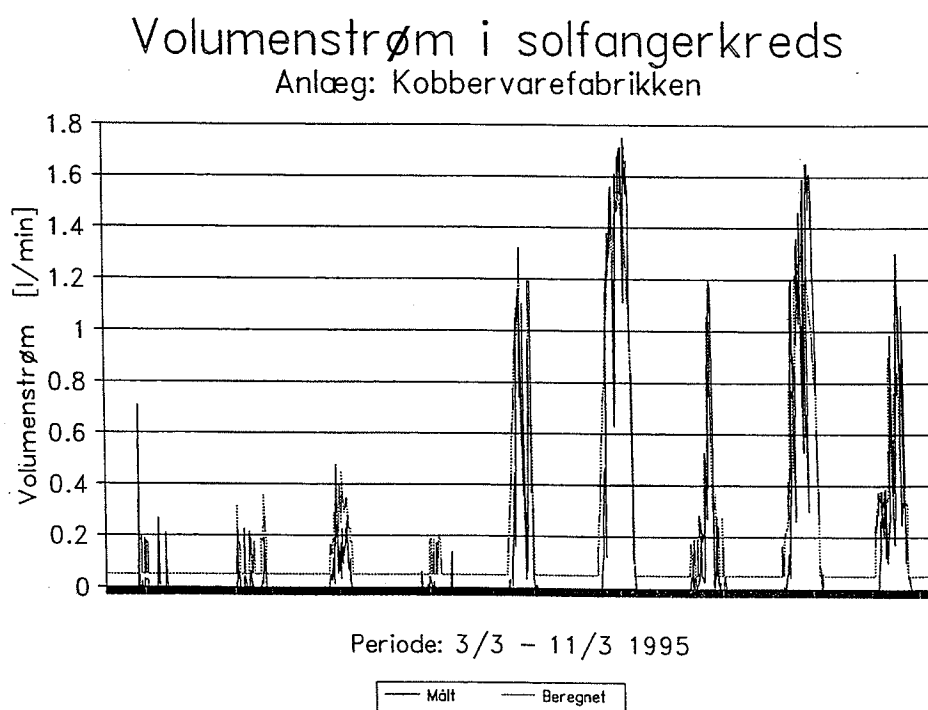
Anlæg: Kobbervarefabrikken



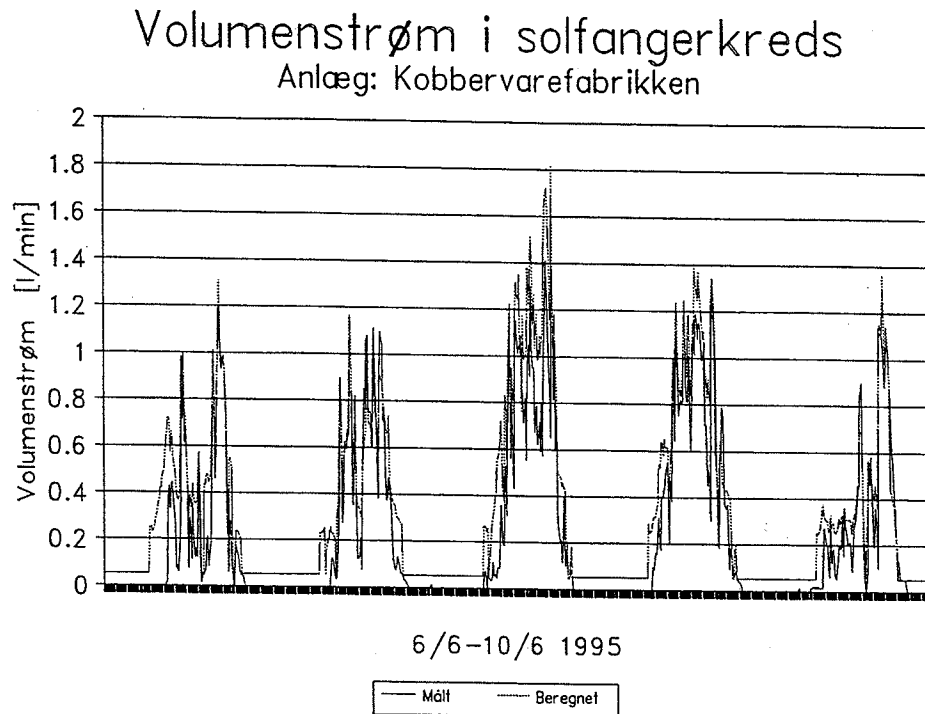
Figur 4.7.15: Temperaturen i toppen af lageret i vinterperioden.



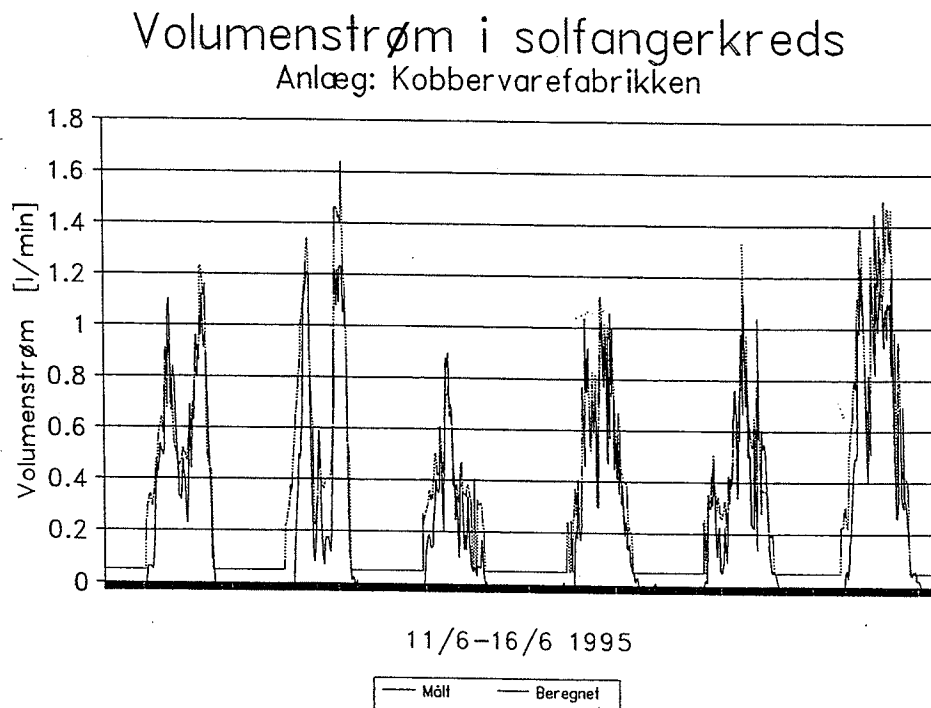
Figur 4.7.16: Temperaturen i toppen af lageret i sommerperioden.



Figur 4.7.17: Volumenstrømmen i solfangerkredsen i vinterperioden.



Figur 4.7.18: Volumenstrømmen i solfangerkredsen i første del af sommerperioden.



Figur 4.7.19: Volumenstrømmen i solfangerkredsen i anden del af sommerperioden.

4.7.5 Årsydelse for anlægget

I følgende beregninger anvendes modellen beskrevet i afsnit 4.7.3 med følgende ændringer: Solfangerne vender direkte mod syd. Der tappes 200 l/dag i tre lige store tapninger kl.: 7:00, 12:00 og 19:00. Koldtvandstemperaturen er 10°C og varmtvandstemperaturen er 45°C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5 °C. Der tilføres suppleringsvarme fra elpatronen i perioden 9/5-22/9 (begge dage incl.) og fra varmeveksleren i den resterende periode. Disse ændringer svarer til forudsætningerne, som benyttes i forbindelse med bestemmelse af tilskudsydelsen for små brugsvandsanlæg /27/.

I tabel 4.7.6 ses de beregnede månedlige værdier for solindfald på solfangeren, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energimængde tappet fra lageret, energimængde til pumpe, energimængde til styresystem, nettoydelse1 (=energi tappet fra lager ÷ suppleringsvarme), nettoydelse2 (=energi tappet fra lager ÷ suppleringsvarme ÷ energiforbrug til pumpe ÷ energiforbrug til styresystem), dækningsgrad1 (=nettoydelse1/energi tappet fra lager) og dækningsgrad2 (=nettoydelse2/energi tappet fra lager).

Det ses, at anlægget har en årlig nettoydelse på 1072 kWh. Der er ingen forskel på Nettoydelse1 og Nettoydelse2, da energiforbruget til pumpe og styresystem er lig 0 (pga. solcellepanelet). Nettoydelsen svarer til en dækningsgrad på 36,4 %.

	Solindfald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Netto- ydelse1 [kWh]	Netto- ydelse2 [kWh]	Dæk- nings- grad1 [%]	Dæk- nings- grad2 [%]
Jan.	102	20	249	250	0,0	0,00	1	1	0,4	0,4
Feb.	226	50	193	226	0,0	0,00	33	33	14,6	14,6
Mar.	285	64	203	250	0,0	0,00	47	47	18,8	18,8
Apr.	511	133	126	242	0,0	0,00	116	116	47,9	47,9
Maj	598	166	99	250	0,0	0,00	151	151	60,4	60,4
Jun.	681	196	60	242	0,0	0,00	182	182	75,2	75,2
Jul.	599	179	80	250	0,0	0,00	170	170	68,0	68,0
Aug.	572	176	84	250	0,0	0,00	166	166	66,4	66,4
Sep.	409	126	129	242	0,0	0,00	113	113	46,7	46,7
Okt.	259	76	189	250	0,0	0,00	61	61	24,4	24,4
Nov	146	35	221	242	0,0	0,00	21	21	8,7	8,7
Dec	130	30	239	250	0,0	0,00	11	11	4,4	4,4
Tot.	4518	1251	1872	2944	0,0	0,00	1072	1072	36,4	36,4

Tabel 4.7.6: Beregnede månedlige energimængder.

Af tabellen fremgår det endvidere, at varmetabet fra lagertanken er størst om vinteren. Det skyldes, at selvcirkulationen i solfangerkredsen medfører større varmetab om vinteren end om sommeren.

Ved sammenligning med de målte resultater i tabel 4.7.2 ses det, at dækningsgraden er målt ca. 0,8 % lavere. Forskellen er meget lille, men kan skyldes, at de supplerende energikilder i forsøgene opvarmer toppen af tanken til en højere temperatur (50 °C) end antaget i beregningerne. Derudover vender solfangeren direkte mod syd i beregningerne, hvorimod solfangeren, i forsøgsopstillingen, er drejet 10° mod vest fra syd. Desuden er tappemønsteret anderledes, idet der tappes mindre i aften timerne og mere ved middagstid, i beregningerne end ved målingerne.

Tilskudsydelsen for et solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning defineres på følgende måde: Energimængde tappet fra lageret ÷ Suppleringsvarme til lageret ÷ Cirkulationspumpens effektforbrug + 300 kWh (hvis der både er el-patron og varmeveksler til suppleringsvarme). Anlægget vil, med det danske referenceårs vejrdata, da have en tilskudsydelse på:

$$\text{Tilskudsydelse} = 2944 - 1872 - 0,0 + 300 = 1372 \text{ kWh}$$

I Solvarmeoversigten fra april 1995 er tilskudsydelsen angivet til 1540 kWh - altså lidt højere end den her beregnede tilskudsydelse.

Forbedringsmuligheder:

Der er udført beregninger for at undersøge mulighederne for at forbedre anlægget:

Model 0: Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Model 1: Muligheden for selvcirkulation fjernes.

Model 2: Muligheden for selvcirkulation fjernes. Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K.

Model 3: Flowet i solfangerkredsen forøges 50% svarende til et større solcellepanel. Programmet er modificeret således, at varmeoverføringsevnen automatisk sættes op når flowet øges (jvf. afsnit 4.7.3). Muligheden for selvcirkulation fjernes. Her forudsættes det, at solfangereffektiviteten ikke ændres når flowet forøges.

Model 4: Flowet i solfangerkredsen forøges 50% svarende til et større solcellepanel.

Programmet er modificeret således, at varmeoverføringsevnen automatisk sættes op når flowet øges (jvf. afsnit 4.7.3). Her forudsættes det, at solfangereffektiviteten ikke ændres når flowet forøges. Kuldebroen i toppen af tanken sættes lig med 0 W/K. Muligheden for selvcirkulation fjernes.

Model 5: Anlægget beregnes med en normal cirkulationspumpe med en effekt på 50 W. Volumenstrøm i solfangerkreds=3 l/min. Programmet er modificeret således, at varmeoverføringsevnen automatisk ændres når flowet ændres (jvf. afsnit 4.7.3). Der benyttes en SETA-styring med en start/stop-differens på 10/0,2 K. Her forudsættes det, at solfangereffektiviteten ikke ændres når flowet forøges. Styresystemet antages at have en effekt på 2 W. Muligheden for selvcirkulation fjernes.

Tabel 4.7.7 viser resultaterne af parametervariationerne.

Model	Solindfald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Nettoy-delse1 [kWh]	Nettoy-delse2 [kWh]	Dæk-nings grad1 [%]	Dæk-nings grad2 [%]
Ref.	4518	1251	1872	2944	0,0	0,00	1072	1072	36,4	36,4
0	4518	1237	1812	2944	0,0	0,00	1132	1132	38,5	38,5
1	4518	1317	1814	2944	0,0	0,00	1130	1130	38,4	38,4
2	4518	1315	1757	2944	0,0	0,00	1187	1187	40,3	40,3
3	4518	1323	1812	2944	0,0	0,00	1132	1132	38,5	38,5
4	4518	1321	1750	2944	0,0	0,00	1194	1194	40,6	40,6
5	4518	1359	1782	2944	88,0	18,00	1162	1056	39,5	35,9

Tabel 4.7.7: Beregnede årlige energimængder for de forskellige udformninger af anlægget. Ref. svarer til anlægget med den nuværende udformning.

Model 0: Det ses, at nettoydelsen forøges med ca. 6% hvis kuldebroen i toppen af lagertanken fjernes.

Model 1: Ved at fjerne muligheden for selvcirkulation forøges nettoydelsen ca. 5%.

Model 2: Ved både at fjerne kuldebroen i toppen af lagertanken og fjerne selvcirkulationen forøges nettoydelsen ca. 11%.

Model 3: Hvis volumenstrømmen i solfangerkredsen øges 50%, og selvcirkulationen

fjernes, forøges nettoydelsen ca. 6%. Det ses desuden, ved sammenligning med model 1, at ændringen i volumenstrømmen medfører en forøgelse af nettoydelsen på kun 0,2%.

Model 4: Hvis volumenstrømmen i solfangerkredsen øges 50%, selvcirkulationen fjernes og kuldebroen i toppen af lagertanken sættes lig med 0 W/K, forøges nettoydelsen ca. 11%. Det ses desuden, ved sammenligning med model 2, at ændringen i volumenstrømmen medfører en forøgelse af nettoydelsen på kun 0,6%.

Model 5: Ved at anvende en normal pumpe med tilsvarende styresystem forringes anlægsydelsen (Nettoydelse₂) ca. 1,5%. Dvs. at det anslåede ekstra energiforbrug til pumpe og styresystem overstiger besparelsen i supplerende energi.

Den mest effektive forbedring består i, at fjerne kuldebroen i toppen af tanken og fjerne muligheden for selvcirkulation i solfangerkredsen ved at forsyne solfangerkredsen med en kontraventil med et lille tryktab. Herved forøges nettoydelsen ca. 11%.

En anden mulighed for at forbedre anlægget kan være, at skifte den traditionelle lagertank ud med en kappebeholder. Kappebeholdere er især velegnede til low flow solvarmeanlæg, og da volumenstrømmen i dette anlæg er forholdsvis lille, er det sandsynligt, at en sådan ændring vil forbedre anlæggets ydelse væsentligt. Se mere herom i afsnit 5.

Anlæggets ydelse er endvidere beregnet med en rørføring svarende til de i afsnit 4.1-4.5 behandlede anlæg. Dvs. fremløbsrøret fra solfangeren til lagertanken ændres til 13 m (heraf 3 m indendørs) og returrøret fra lagertanken til solfangeren ændres til 13 m (heraf 3 m indendørs). Isoleringen af rørene er uændret. Denne ekstra beregning er foretaget, for at man bedre kan sammenligne anlæggene.

Det ses, at ved at ændre rørføringen i solfangerkredsen, reduceres anlægsydelsen (nettoydelse₂) ca. 3,5%. Værdierne i tabel 4.7.8 benyttes ved sammenligningen af anlæggene i afsnit 5.

	Solindfald på solfanger [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Netto ydelse1 [kWh]	Netto ydelse2 [kWh]	Dækningsgrad1 [%]	Dækningsgrad2 [%]
Jan.	102	9	249	250	0,0	0,00	1	1	0,4	0,4
Feb.	226	40	196	226	0,0	0,00	30	30	13,3	13,3
Mar.	285	56	206	250	0,0	0,00	44	44	17,6	17,6
Apr.	511	128	130	242	0,0	0,00	112	112	46,3	46,3
Maj	598	160	103	250	0,0	0,00	147	147	58,8	58,8
Jun.	681	190	63	242	0,0	0,00	179	179	74,0	74,0
Jul.	599	174	82	250	0,0	0,00	168	168	67,2	67,2
Aug.	572	167	87	250	0,0	0,00	163	163	65,2	65,2
Sep.	409	119	133	242	0,0	0,00	109	109	45,0	45,0
Okt.	259	63	193	250	0,0	0,00	57	57	22,8	22,8
Nov	146	27	225	242	0,0	0,00	17	17	7,0	7,0
Dec	130	19	242	250	0,0	0,00	8	8	3,2	3,2
Tot.	4518	1152	1909	2944	0,0	0,0	1035	1035	35,2	35,2

Tabel 4.7.8: Beregnede månedlige energimængder. Rørlængderne er som for anlæg 1-5.

4.7.6 Driftserfaringer og sammenfatning

Anlægget har kørt uden problemer. Der er konstateret naturlig cirkulation i solfangerkredsen, når solen ikke skinner.

På grund af den naturlige cirkulation i solfangerkredsen, yder anlægget ikke så meget som det burde.

For at forbedre anlægsydelsen foreslås det, at beholderen isoleres grundigt ved el-patronen, samt at der indsættes en kontraventil i solfangerkredsen, således at den naturlige cirkulation i solfangerkredsen ikke kan forekomme. Med disse forbedringer burde anlæggets nettoydelse forøges ca. 11% svarende til en forøget nettoydelse på ca. 100 kWh/år.

5. Årsydelser for forskellige afprøvede solvarmeanlæg

De 7 solvarmeanlæg blev afprøvet i prøvestanden under realistiske prøvningsbetingelser i 1995. Tidligere er der afprøvet 5 andre markedsførte solvarmeanlæg på samme måde: 3 udenlandske anlæg fra Canada /30/, Holland /31/ og Schweiz /29/ samt 2 danske anlæg hhv. fra Dansk Solvarme A/S /12/ og Batec A/S /12/. Disse to danske anlæg blev før afprøvnin-
gerne i 1995 erstattet af nyere anlæg fra samme firmaer.

De bestemte årlige anlægsydelser for de 12 afprøvede anlæg er angivet i tabel 5.1. Der er regnet med, at længden af alle solfangerkredsene er ca. 26 m. Desuden er der for de udenlandske anlæg regnet med, at de supplerende energikilder opvarmer toppen af varmelageret til 45,5°C, ligesom tilfældet er for de danske anlæg. Egnetheden af de forskellige anlæg afhænger af anlæggenes ydelser, priser, statstilskud og holdbarhed. Det er vanskeligt umiddelbart at vurdere, om ydelser af hvert enkelt anlæg er så stor, som det kan forventes, idet såvel solfangerareal som solfanger effektivitet varierer meget fra anlæg til anlæg. Figur 5.1 viser målte solfanger effektiviteter for de 12 anlægs solfangere ved en bestrålingsstyrke på 800 W/m², og figur 5.2 og 5.3 viser teoretisk beregnede effektafgivelser fra anlæggenes solfangere ved bestrålingsstyrker på hhv. 800 W/ m² og 400 W/ m².

Det ses, at der både er stor forskel på solfanger effektiviteterne og på effektafgivelserne for de forskellige anlægs solfangere. Jo større solfangerens effektafgivelser er, des større er anlægsydelsen, alt andet lige. På basis af figur 5.2 og 5.3 må det eksempelvis forventes, at anlæggene fra Ar-Con Solvarme og Solahart Scandinavia er de bedst ydende og at anlægget fra Sol-Energi Kobbervarefabrikken ydelsesmæssigt er det dårligste anlæg. Årsagen til at det schweiziske anlæg fra Bürgenmeier-Krismer er det bedst ydende anlæg er altså ikke at solfangeren er specielt højtydende eller stor.

Figur 5.4 viser de årlige nettoydelser - både nettoydelse1 og nettoydelse2, pr. m² solfanger som funktion af dækningsgrad1 for de 12 afprøvede anlæg. De højeste nettoydelser pr. m² solfanger har anlæggene fra Thermo-Sol ApS, ZEN B.V. og Bürgenmeier-Krismer. Forskellene mellem nettoydelserne pr. m² solfanger for de øvrige anlæg er små.

Ydelserne af forskellige "standard" solvarmeanlæg er beregnet. Herved er det muligt at sammenligne ydelserne for de 12 afprøvede anlæg med ydelserne af forskellige standard anlæg.

Standardanlæggets varmelager er en lodretstående cylindrisk stålbeholder med en varmevekslerspiral til solvarme. Varmevekslerspiralen er placeret nederst i beholderen. Beholderen er isoleret med 0,05 m PUR-skum på lagerets top, sider og bund. Isoleringen

Fabrikat	Aidt Miljø A/S	Dansk Solvarme A/S	Batec A/S	Ar-Con Solvarme A/S	Solahart Scandinavia ApS	Thermo-Sol ApS	Sol-Energi Kobbervarefabrikken	Thermo Dynamics Ltd. (Canada)	ZEN B.V. (Holland)	Bürgenmeier-Krismer Solartechnik (Schweiz)	Dansk Solvarme A/S	Batec A/S
Solfangerareal, m ²	4,83	4,02	4,38	5,02	5,55	3,33	3,82	5,56	2,70	4,36	4,00	4,38
Beholdertype	Kappe-beholder	Spiral-beholder	Kappe-beholder	Spiral-beholder	Spiral-beholder	Spiral-beholder	Spiral-beholder	Varmtvandsbeholder med eksterne varmeveksler	115 l forvarmetank med indbyrdes spiraler. 120 l eftervarmetank. 20 l tørrimetank	276 l varmtvandsbeholder neddykket i 129 l trykløst tank	Spiral-beholder	Spiral-beholder
Beholdervolumen, l	265/16,5	280	250/50	250	280	280	280	270	255	405	290	295
Supplerende energikilde	Elpatron	Elpatron	Elpatron	Elpatron	Elpatron	Elpatron	Elpatron	-	Elpatron	Elpatron	Elpatron	Elpatron
Kendetegn	Low flow anlæg	-	Tørrimetlæng Low flow anlæg	-	-	Vakuumsolfanger	Solelledrevet cirkulationspumpe	Low flow anlæg. Forvarmeanlæg. Lifeline solfangerkreds	Tørrimetlæng	Low flow anlæg. Flexitube solfangerkreds	-	-
Nettoydelse1, kWh/år	1345	1472	1492	1671	1548	1548	1035	1643	1308	1792	1353	1453
Dækningsgrad1, %	45,7	50,0	50,7	56,8	52,6	52,6	35,2	55,8	44,4	60,9	46,0	49,4
Pumpeenergi + energi til styresystem, kWh/år	49	84	101	135	169	134	0	120*	111*	116	155	172
Nettoydelse2, kWh/år	1296	1388	1391	1536	1379	1414	1035	1523	1197	1676	1198	1281
Dækningsgrad2, %	44,0	47,1	47,2	52,2	46,8	48,0	35,2	51,7	40,7	56,9	40,7	43,5

Tabel 5.1: Anlægsydelse for 12 afprøvede solvarmeanlæg. * Effektforbruget for styresystemet skønnet til 4 W.

antages at have en varmeledningsevne på $0,025+0,0001 \cdot T$ W/m·K. Lagerets volumen er 295 l, hvoraf de øverste 49 l opvarmes til $45,5^\circ\text{C}$ af den supplerende energikilde.

Solfangerne i standardanlægget er forbundet til lagertanken via 13 m fremløbsrør fra solfangerne til lagertanken og 13 m returrør fra lagertanken til solfangerne (heraf 2×3 m indendørs). Rørene er 15/13 mm kobberør, der er isoleret med 10 mm skumisolering med en antaget varmeledningsevne på $0,025+0,0001 \cdot T$ W/m·K.

Standardanlæggets cirkulationspumpe i solfangerkredsen styres af en differenstermostat, der måler temperaturforskellen mellem udløbstemperaturen fra solfangerne og temperaturen i bunden af lagertanken. Differenstermostaten har et start/stop-setpunkt på $10/0,1$ K. Volumenstrømmen i solfangerkredsen er $1 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$.

Varmtvandsforbruget for standardanlægget er 200 l/dag. Koldtvandstemperaturen er 10°C og varmtvandstemperaturen er 45°C .

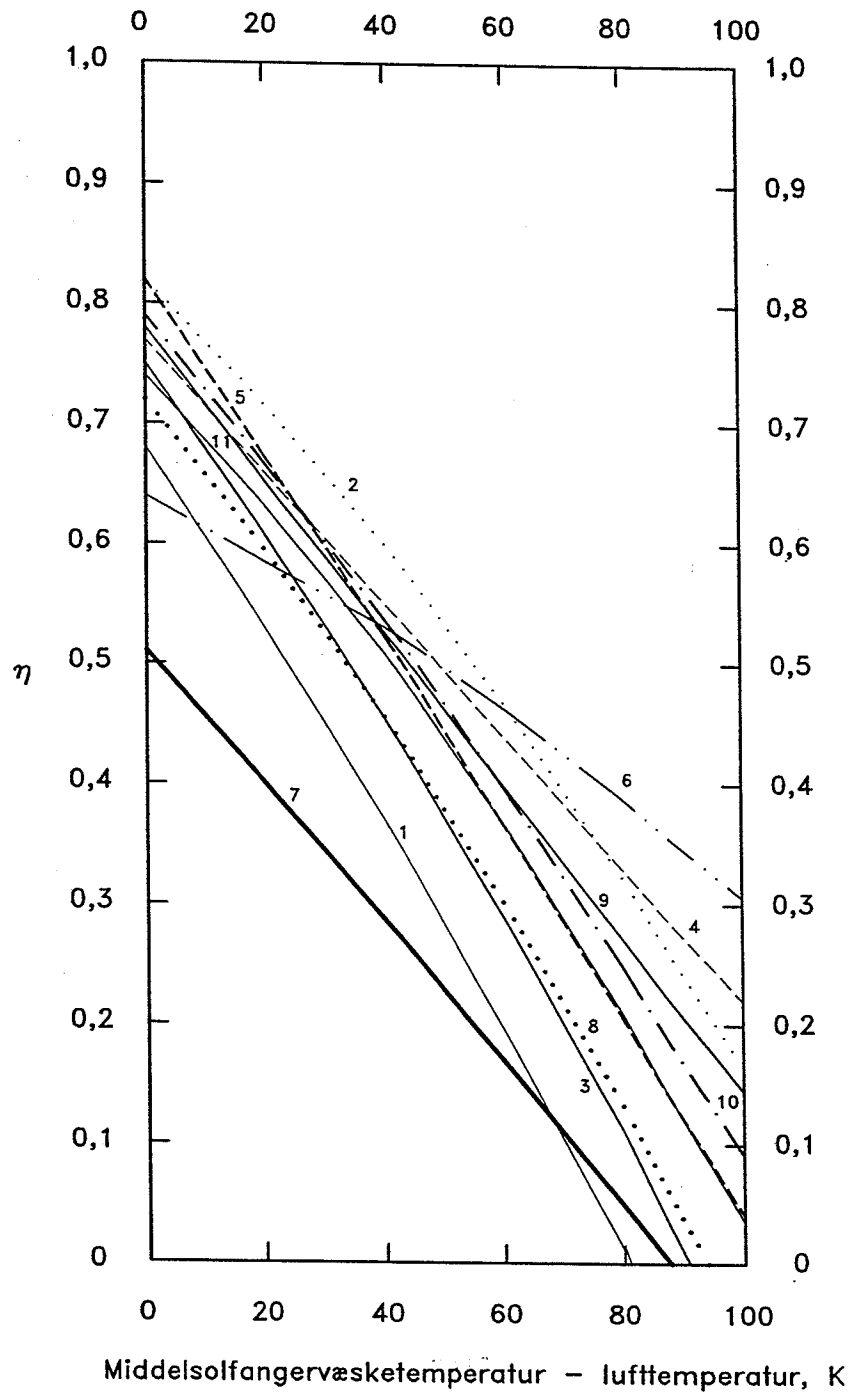
Figur 5.5-5.8 viser nettoydelse pr. m^2 solfanger for de 12 afprøvede anlæg, og beregnede nettoydelse pr. m^2 solfanger for standard solvarmeanlægget, med to forskellige solfangertyper. De to solfangere, som blev taget i beregning er LF4 solfangerelementet fra Aidt Miljø og Dansol 2 solfangerelementet fra Dansk Solvarme. Kurverne i figurerne angiver altså beregnede ydelser for standardanlægget med hhv. Dansol 2 og LF4 solfangerne. Kurverne er fremkommet ved i beregningerne at variere solfangerarealet, hvorved dækningsgraden ændres.

Af figur 5.5 ses det, at ydelserne af 9 af de afprøvede anlæg er forholdsvis små. Kun ydelserne af anlæggene fra ZEN B.V., Thermo-Sol og Bürgenmeier-Krismer er forholdsvis høje.

Figur 5.6 viser forholdene for det samme standardanlæg. Blot er varmtvandsbeholderen nu forsynet med en kuldebro på 1 W/K i toppen af beholderen. Sådan en kuldebro reducerer anlægsydelsen stærkt. De fleste af de afprøvede anlægs varmelagre har forholdsvis store varmetab. Dette er hovedårsagen til de forholdsvis små anlægsydelser.

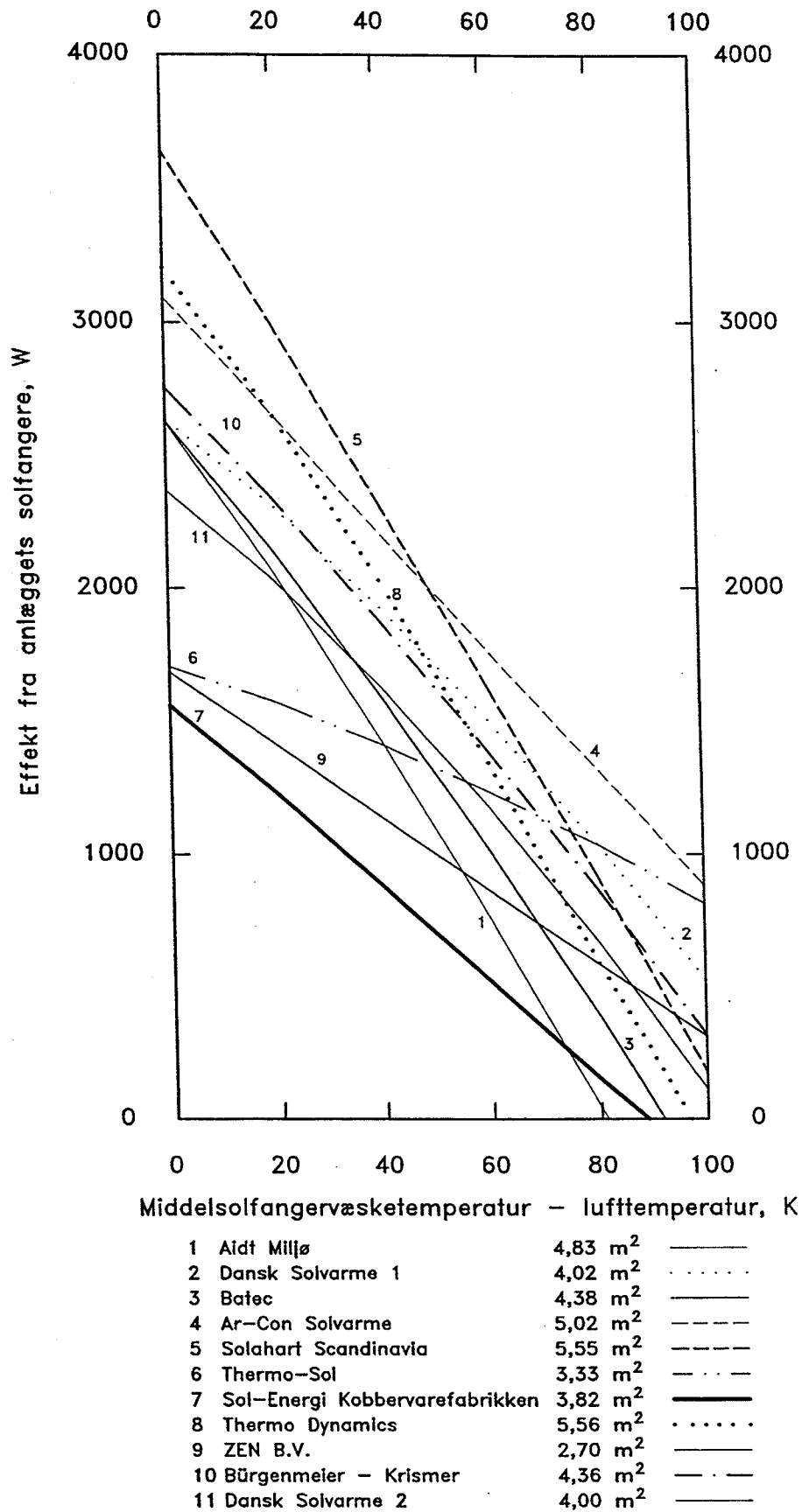
Standardanlægget i figur 5.7 er identisk med standardanlægget fra figur 5.5 bortset fra, at toppen af varmtvandsbeholderen ikke opvarmes af den supplerende energikilde. Der er altså tale om et forvarmeanlæg. Herved forøges anlægsydelserne. Som det fremgår af tabel 5.1 er det canadiske anlæg det eneste af de afprøvede anlæg som er et forvarmeanlæg. Det kunne derfor forventes, at ydelsen af dette anlæg er større end ydelsen af de øvrige anlæg.

Standardanlægget i figur 5.8 er identisk med standardanlægget fra figur 5.5 bortset fra, at anlægget nu fungerer som et normalt low flow anlæg baseret på en kappebeholder. Kappebeholderen har, i beregningerne, samme varmetabskoefficient som den almindelige varmtvandsbeholder. Det ses, at anlægsydelsen forøges ved anvendelse af low flow princippet. 4 af de afprøvede anlæg benytter low flow princippet. Ydelsen af disse anlæg er noget mindre end ydelsen af low flow standard anlægget med den højeffektive solfanger (Dansol 2). Der er altså fortsat gode muligheder for at forbedre ydelsen af alle de afprøvede solvarmeanlæg.

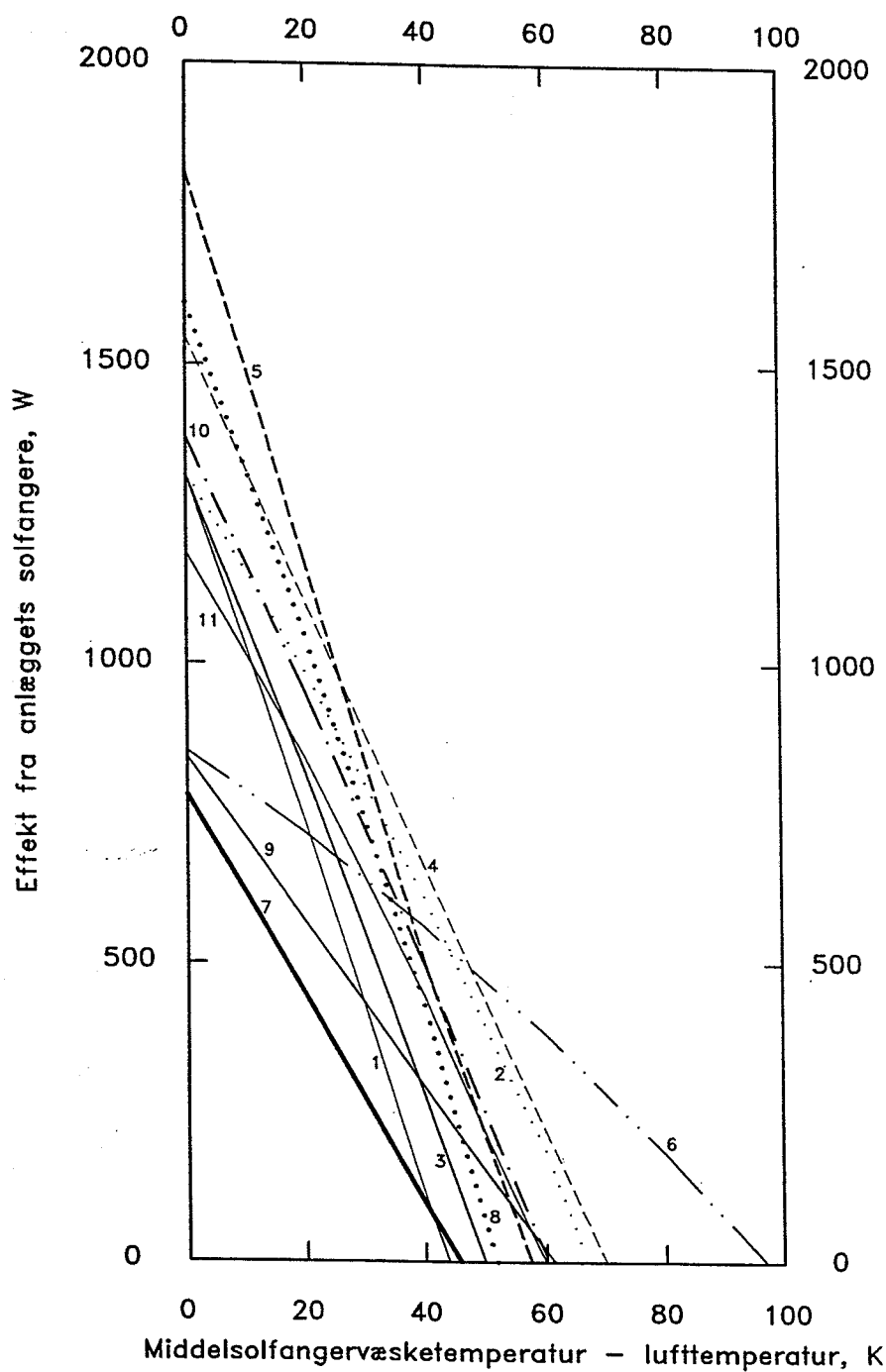


1	Aldt Miljø	4,83 m ²	—————
2	Dansk Solvarme 1	4,02 m ²	
3	Batec	4,38 m ²	—————
4	Ar-Con Solvarme	5,02 m ²	-----
5	Solahart Scandinavia	5,55 m ²	-----
6	Thermo-Sol	3,33 m ²	— · — · —
7	Sol-Energi Kobbervarefabrikken	3,82 m ²	—————
8	Thermo Dynamics	5,56 m ²	
9	ZEN B.V.	2,70 m ²	—————
10	Bürgeleier – Krismer	4,36 m ²	— · — · —
11	Dansk Solvarme 2	4,00 m ²	—————

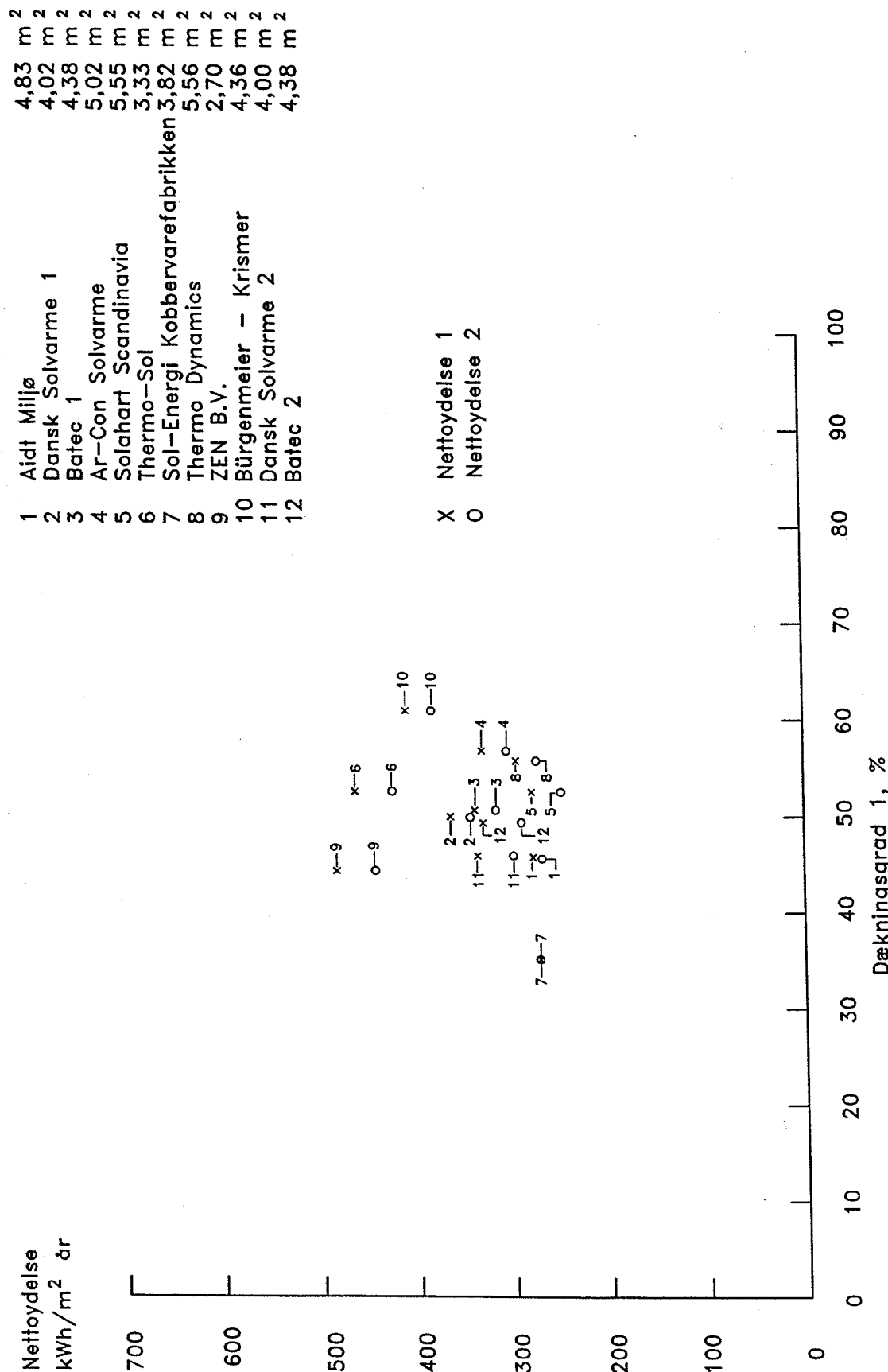
Figur 5.1: Målte solfangereffektiviteter for 11 solfangere, ved en bestrålingsstyrke på 800 W/m², som funktion af forskellen mellem middelsolfangervæsketemperaturen og lufttemperaturen.



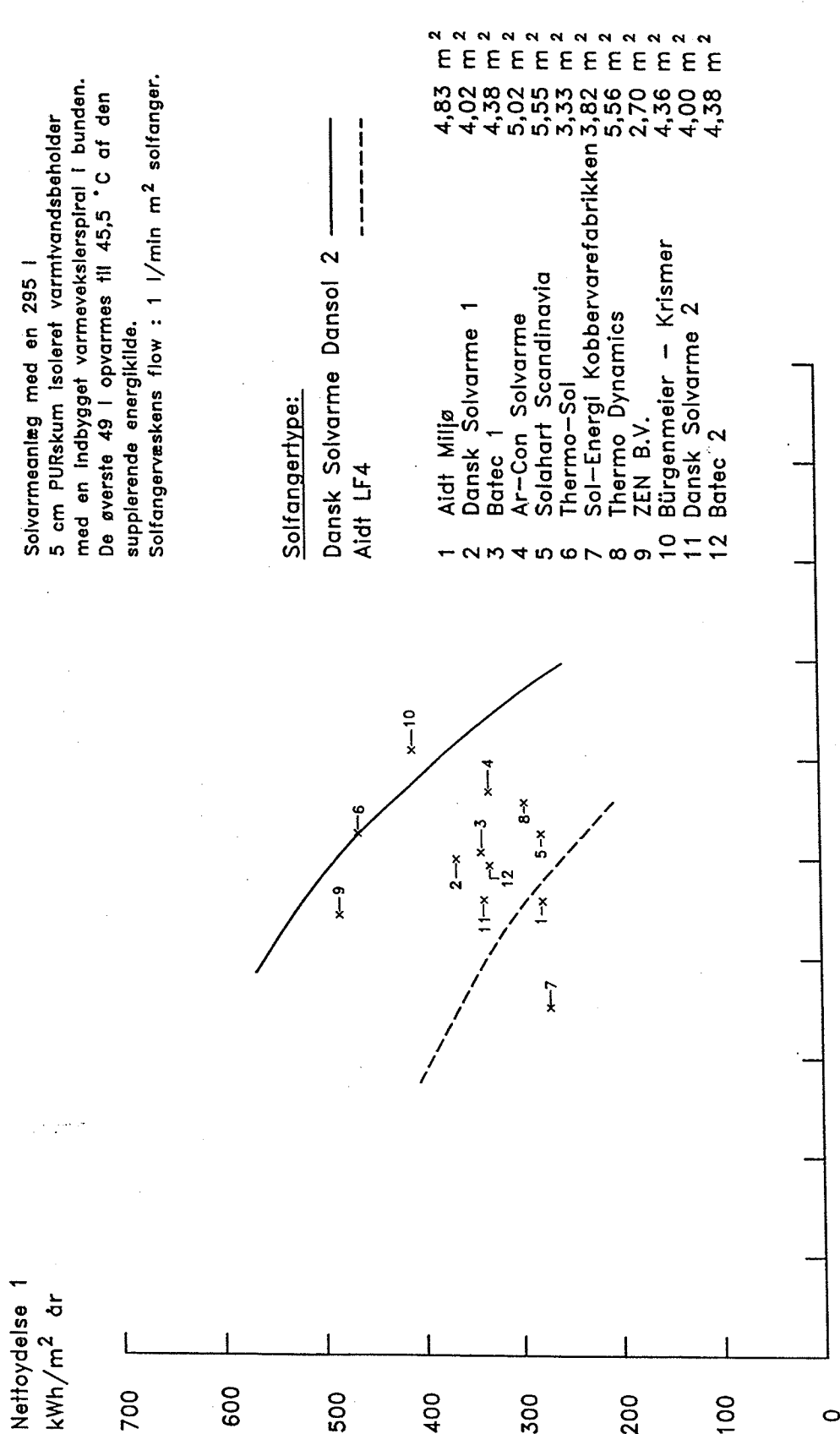
Figur 5.2: Effekt fra de afprøvede anlægs solfangere, ved en bestrålingsstyrke på 800 W/m², som funktion af forskellen mellem middelsolfangervæsketemperaturen og lufttemperaturen.



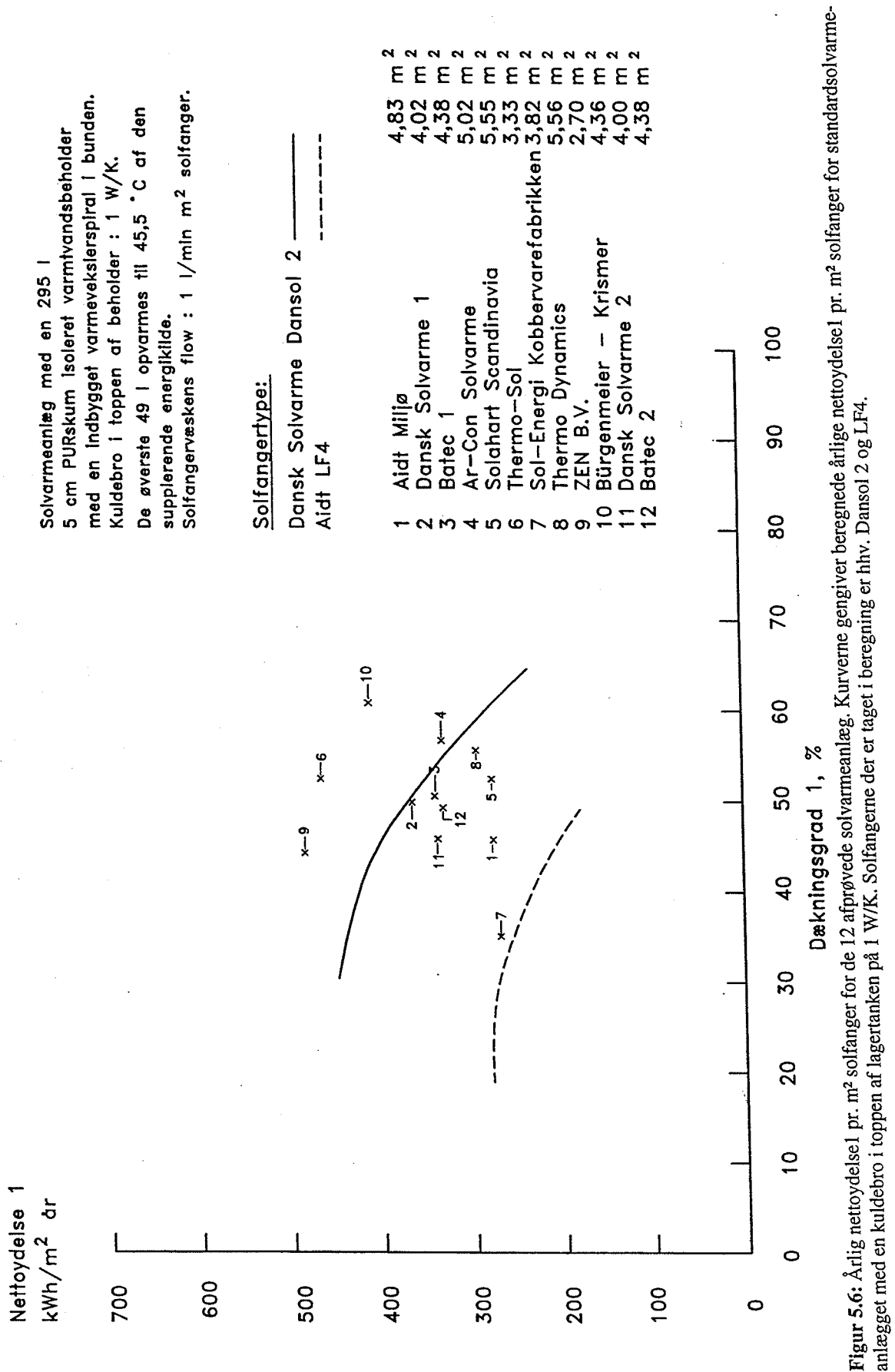
Figur 5.3: Effekt fra de afprøvede anlægs solfangere, ved en bestrålingsstyrke på 400 W/m^2 , som funktion af forskellen mellem middelsolfangervæsketemperaturen og lufttemperaturen.



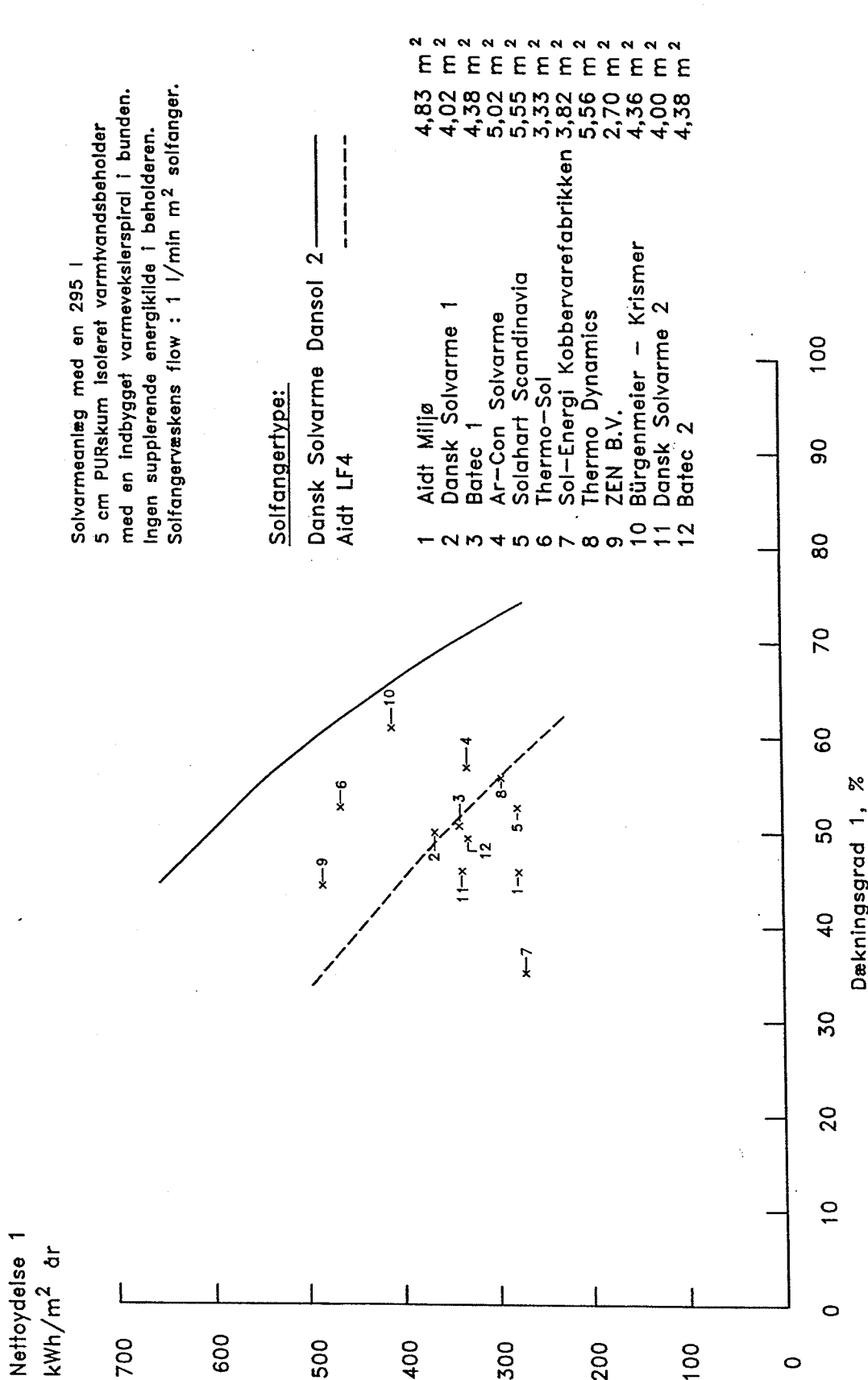
Figur 5.4: Årlige nettoydelser pr. m² solfanger, som funktion af dækningsgrad1, for de 12 afprøvede solvarmeanlæg.



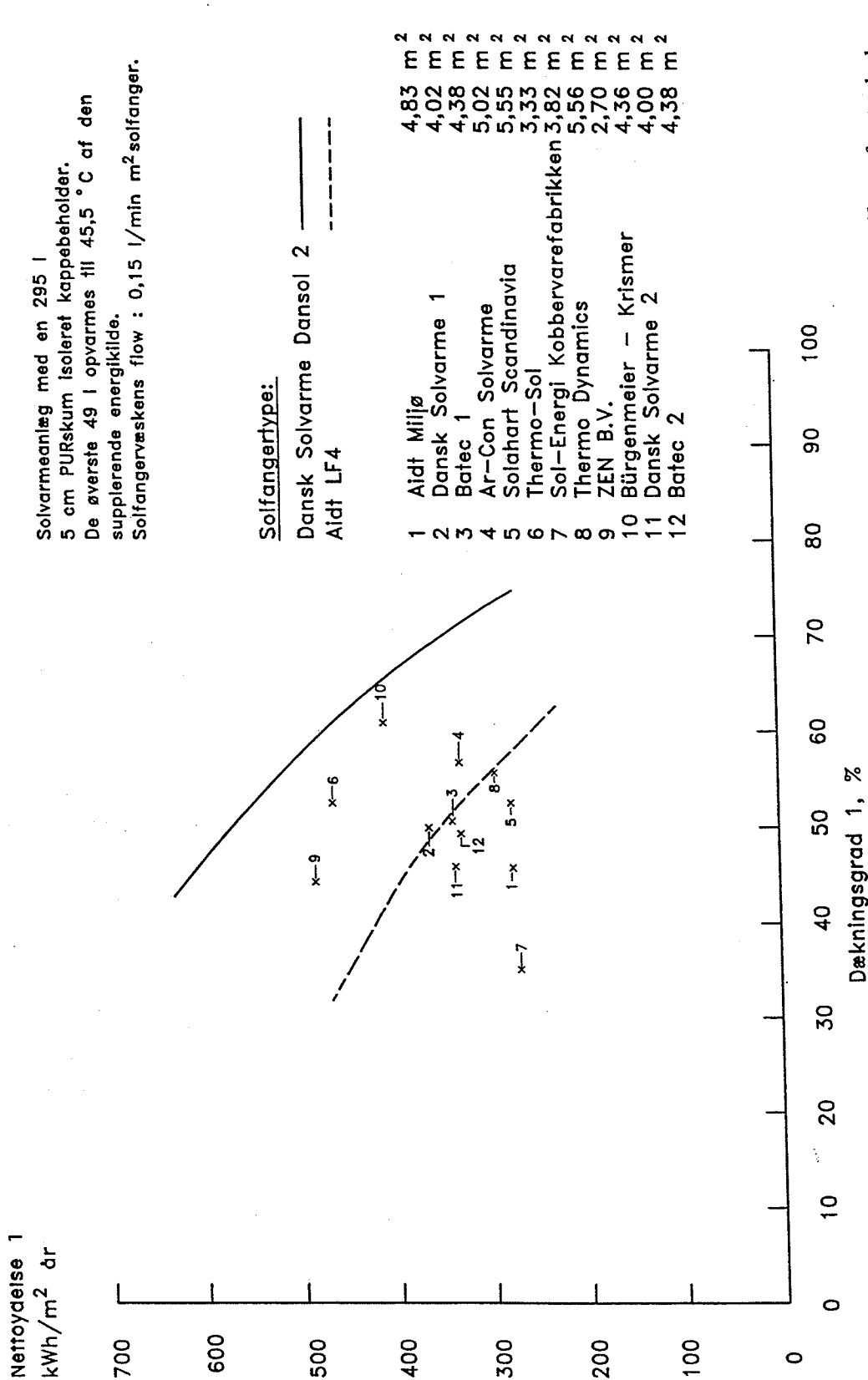
Figur 5.5: Årlig nettoydelse 1 pr. m² solfanger for de 12 afprøvede solvarmeanlæg. Kurverne giver beregnede årlige nettoydelse 1 pr. m² solfanger for standard solvarmeanlægget. Solfangerne der er taget i beregning er hhv. Dansol 2 og LF4.



Figur 5.6: Årlig nettoydelse 1 pr. m² solfanger for de 12 afprøvede solvarmeanlæg. Kurverne gengiver beregnede årlige nettoydelse 1 pr. m² solfanger for standardsolvarmeanlægget med en kuldebro i toppen af lagertanken på 1 W/K. Solfangerne der er taget i beregning er hhv. Dansol 2 og LF4.



Figur 5.7: Årlig nettoydelse l pr. m² solfanger for de 12 afprøvede solvarmeanlæg. Kurverne gengiver beregnede årlige nettoydelse l pr. m² solfanger for standardsolvarmeanlægget uden supplerende energikilder. Solfangerne der er taget i beregning er hhv. Dansol 2 og LF4.



Figur 5.8: Årlig nettoydelse pr. m² solfanger for de 12 afprøvede solvarmeanlæg. Kurverne gengiver beregnede årlige nettoydelse pr. m² solfanger for standard-solvarmeanlægget, hvor lagertanken er udskiftet med en kappebeholder og anlægget ændres til et low flow solvarmeanlæg. Solfangerne der er taget i beregning er hhv. Dansol 2 og LF4.

6. Konklusion

Denne rapport beskriver gennemførte undersøgelser af syv danske solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Anlæggene er fra følgende fabrikanter:

Anlæg:	Fabrikant:
1	Aidt Miljø A/S
2	Dansk Solvarme A/S
3	Batec A/S
4	Ar-Con Solvarme A/S
5	Solahart Scandinavia ApS
6	Thermo-Sol Aps
7	Sol-Energi Kobbervarefabrikken

Solvarmeanlæggene er installeret på Laboratoriet for Varmeisoleringss forsøgsareal i en prøvestand specielt beregnet til afprøvning af solvarmeanlæg. Anlæggene er monteret i prøvestanden, af installatører valgt af anlægfabrikanterne, omkring årsskiftet 1994/95. Anlæggene er testet under ens forhold med realistiske prøvningsbetingelser, således at en direkte sammenligning af anlæggene er mulig.

I projektet er der udført målinger på anlæggene i ca. 1 år samt foretaget beregninger med detaljerede EDB-simuleringsmodeller. Ud fra målingerne på anlæggene, i både sommer- og vinterperioder, er de matematiske modeller, som detaljeret simulerer de termiske forhold for anlæggene, verificeret. Der er her taget højde for de specielle karakteristika for hvert enkelt anlæg.

De matematiske modeller er verificeret mod de målte energimængder, dvs. energimængde fra solfangerne til lageret, supplerende energimængde til lageret, energimængde tappet fra lageret og nettoydelsen for anlægget. Derudover er modellerne verificeret mod de målte temperaturer i både solfangerkreds og lager. Der er opnået en god overensstemmelse både mellem målte og beregnede energimængder og temperaturniveauer for solvarmeanlæggene.

Modellerne er benyttet til at beregne årsydelser, med vejrdata fra det danske referencår TRY, for anlæggene. I beregningerne forudsættes det, at det daglige varmtvandsforbrug er 200 l opvarmet fra 10°C til 45°C. De årlige nettoydelser (tappet energimængde ÷ supplerende energimængde) ligger mellem 1035 kWh og 1670 kWh svarende til dækningsgrader mellem 35,2% og 56,8%. Til sammenligning kan nævnes, at det schweiziske low flow anlæg Solkit, som tidligere er undersøgt på samme måde, har en nettoydelse på 1790 kWh

med en dækningsgrad på 60,9%.

Endvidere er det ved beregninger undersøgt, hvorledes anlægsydelse kan forbedres. Disse undersøgelser viste, at alle anlæggene kan forbedres. Hovedårsagen til at anlæggene ikke yder så meget, som de burde, er, at lagertankene har forholdsvis store varmetab. Selv om der for nogle af lagertankene er gjort meget ud af at mindske kuldebroerne ved rørgennemføringer, kan lagrene yderligere forbedres ved at isolere grundigt omkring elpatronen.

Endvidere har beregningerne vist, at ydelserne for fem af anlæggene yderligere kan forøges, hvis lagertankene udskiftes med kappebeholdere og anlæggene kører med low flow drift.

Det kan derfor konkluderes, at der fortsat er gode muligheder for at forbedre ydelsen af de afprøvede anlæg.

7. Referencer

/1/ Søren Østergaard Jensen:

Afprøvning af solvarmeanlæg fra Aidt Miljø A/S, Ydelsesberegning.

Rapport 93-38

Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet, December 1993

/2/ Søren Østergaard Jensen:

Afprøvning af solvarmeanlæg fra Dansk Solvarme A/S, Ydelsesberegning.

Rapport 93-39

Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet, December 1993

/3/ Søren Østergaard Jensen:

Afprøvning af solvarmeanlæg fra Batec Solvarme A/S, Ydelsesberegning.

Rapport 93-40

Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet, December 1993

/4/ Søren Østergaard Jensen:

Afprøvning af solvarmeanlæg fra Ar-Con Solvarme A/S, Ydelsesberegning.

Rapport 93-41

Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet, December 1993

/5/ Søren Østergaard Jensen:

Afprøvning af solvarmeanlæg fra Solahart Scandinavia ApS, Ydelsesberegning.

Rapport 93-42

Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet, December 1993

/6/ Klaus Ellehauge:

Små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandopvarmning - funktionsafprøvning og ydelsesmålinger, Målinger på solvarmeanlæg fra Aidt Miljø A/S.

Rapport 93-43

Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet, December 1993

/7/ Klaus Ellehauge:

Små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandopvarmning - funktionsafprøvning og ydelsesmålinger, Målinger på solvarmeanlæg fra Dansk Solvarme A/S.

Rapport 93-44

Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet, December 1993

/8/ Klaus Ellehauge:

Små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandopvarmning - funktionsafprøvning og ydelsesmålinger, Målinger på solvarmeanlæg fra Batec Solvarme A/S.

Rapport 93-45

Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet, December 1993

/9/ Klaus Ellehauge:

Små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandopvarmning - funktionsafprøvning og ydelsesmålinger, Målinger på solvarmeanlæg fra Ar-Con Solvarme A/S.

Rapport 93-46

Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet, December 1993

/10/ Klaus Ellehauge:

Små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandopvarmning - funktionsafprøvning og ydelsesmålinger, Målinger på solvarmeanlæg fra Solahart Scandinavia ApS.

Rapport 93-47

Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet, December 1993

/11/ Klaus Ellehauge:

Små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning - funktionsafprøvning og ydelsesmålinger. Opbygning af prøvestand.

Rapport 93-37

Laboratoriet for Varmeisolering

Danmarks Tekniske Universitet, December 1993

/12/ Klaus Ellehauge:

Små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning - funktionsafprøvning og ydelsesmålinger. Sammenfatning af måle- og simuleringsresultater.

Rapport 94-12

Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, Marts 1994

/13/ Leichtigungsdaten thermischer Sonnenkollektoren
Solarenergie, Prüf- und Forschungsstelle
Technikum Rapperswil, 1995

/14/ Finn Kristiansen:
Prøvning af solfangeres effektivitet foretaget for Prøvestationen for Solenergi
Solfangerfabrikant: Aidt Miljø A/S
Rapport 92-30
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, Oktober 1992

/15/ Ole Holck:
Prøvning af solfangeres effektivitet foretaget for Prøvestationen for Solenergi
Solfangerfabrikant: Dansk Solvarme
Rapport 94-16
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, 1994

/16/ Ole Holck:
Prøvning af solfangeres effektivitet foretaget for Prøvestationen for Solenergi
Solfangerfabrikant: Batec
Rapport 93-15
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, Maj 1993

/17/ Ole Holck:
Prøvning af solfangeres effektivitet foretaget for Prøvestationen for Solenergi
Solfangerfabrikant: Ar-Con Solvarme A/S
Rapport 94-34
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, November 1993

/18/ Ole Holck:
Prøvning af solfangeres effektivitet foretaget for Prøvestationen for Solenergi
Solfangerfabrikant: Dansk Solvarme
Rapport 93-12

Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, Marts 1993

/19/ Ole Holck:

Prøvning af solfangeres effektivitet foretaget for Prøvestationen for Solenergi
Solfangerfabrikant: Thermo-Sol Aps
Rapport 94-24
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, August 1994

/20/ Ole Holck:

Prøvning af solfangeres effektivitet foretaget for Prøvestationen for Solenergi
Solfangerfabrikant: Kobbervarefabrikken
Rapport 94-25
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, September 1994

/21/ Simon Furbo:

Varmelagring til solvarmeanlæg.
Meddelelse 162
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, September 1984

/22/ Peter Berg:

Højtydende solvarmeanlæg med små volumenstrømme. Teoretiske undersøgelser.
Meddelelse 209
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, August 1991

/23/ Simon Furbo, Peter Fagerlund Carlson:

Små Low Flow solvarmeanlægs ydelser.
Meddelelse 221
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, August 1991

/24/ Svend Svendsen

Solfangeres effektivitet - målt og beregnet
Meddelelse 109

Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, Maj 1981

/25/ Svend Svendsen & Per Rasmussen:
SOLEFF, Program til beregning af solfangeres effektivitet.
Brugervejledning og generel programdokumentation
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, Februar 1995

/26/ Søren Østergaard Jensen:
Varmeovergang for varmevekslere neddykket i vand.
Rapport 84-10
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, Maj 1984

/27/ Forudsætninger ved beregning af tilskudsydelse for solvarmeanlæg.
Prøvestationen for Solenergi
Danmarks Teknologiske Institut, Marts 1993

/28/ Anthony F. Mills:
Heat Transfer
International Student Edition
Irwin Inc., 1992

/29/ Simon Furbo:
Undersøgelse af solvarmeanlægget Solkit fra Schweiz
Meddelelse 278
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, Juli 1995

/30/ Simon Furbo og Klaus Ellehauge:
Undersøgelse af solvarmeanlæg fra Thermo Dynamics Ltd.
Meddelelse 260
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, Maj 1994

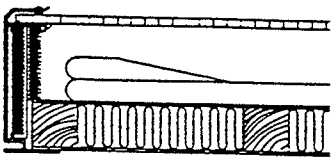
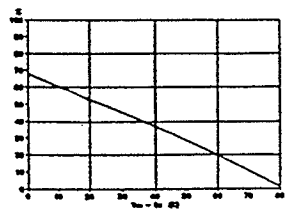
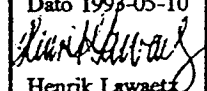
/31/ Simon Furbo og Klaus Ellehauge:
Undersøgelse af solvarmeanlæg fra ZEN B.V.
Meddelelse 261
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Universitet, Maj 1994

Bilag

Bilag 4.1

Aidt Miljø A/S

Bilag 4.1.1

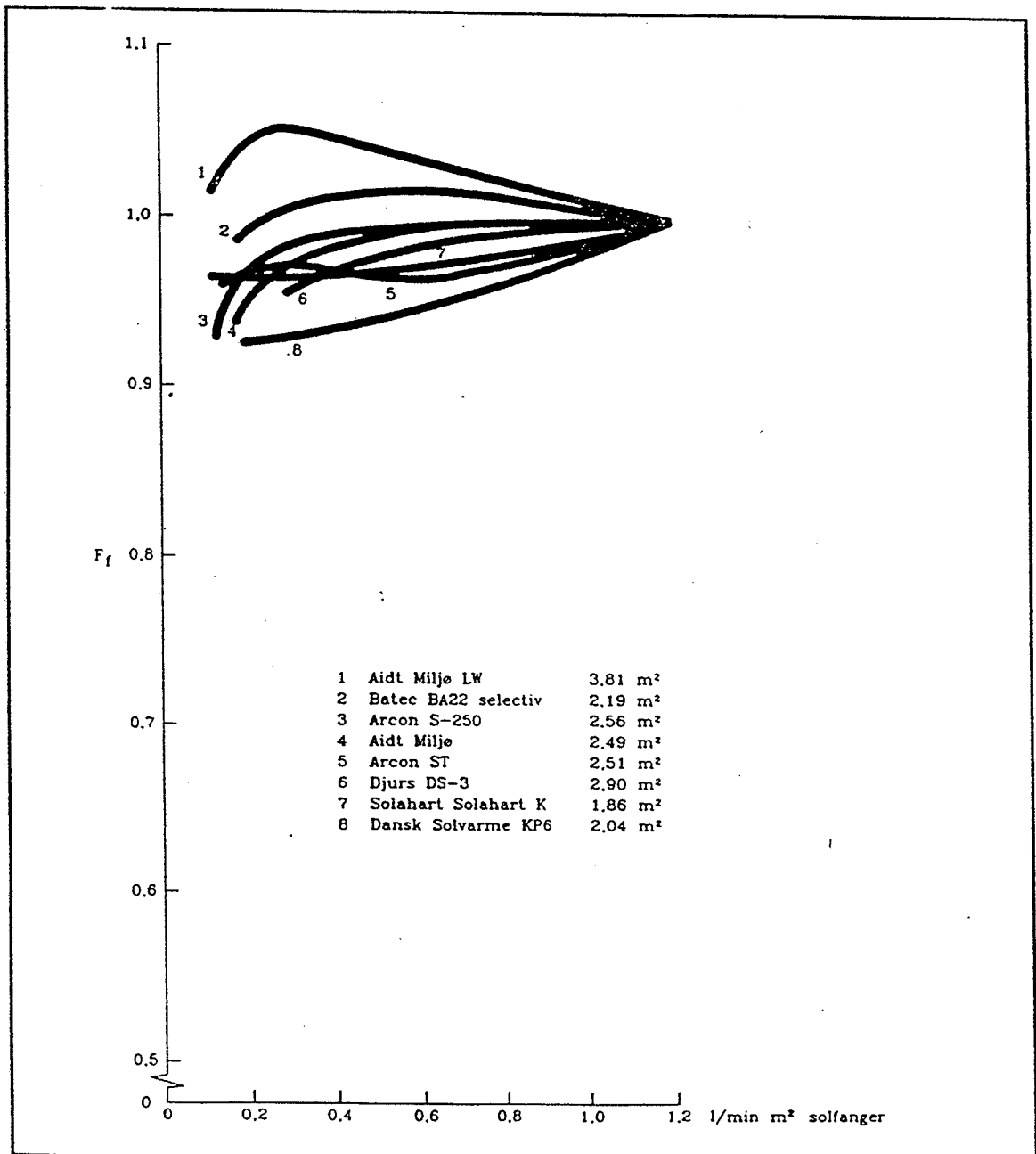
DATABLAD FOR SOLFANGER - EFFEKTIVITET		D 2061
Fabrikat/forhandler Aidt Miljø A/S, Kongensbrovej, Aidt, 8881 Thorsø tlf.:86 96 67 00		Type LF 4
Prøvelaboratorium Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Bygning 118, 2800 Lyngby		Id.nr. 230
SOLFANGER DATA		
 Snit af solfanger Udvendige dimensioner 2.00 x 2.00 x 0.10 m Areal Udvendigt 4.00 m² Transparent 3.81 m²	Vægt 40.2 kg Væskeindh. 20.8 liter Dæklag Type ribbeplade Materiale acrylbelagt poly-carbonat Tykkelse 6 mm Absorber Type ribberør 2 parallelle rørslange på sort træfiberplade Materiale sort polypropylen 16/12 mm	Isolering Bagside 30 mm glasuld Sider 20 mm filt Solfangerkasse Bagside træfiberplade Sider aluminiumsprofiler Tætning EPDM gummi Prøvetryk 150 kPa Varmekapacitet Excl. væske 12.8 kJ/°C Incl. væske 88.7 kJ/°C
	PRØVNING OG RESULTATER	
Prøvning Metode ISO/DIS 9806-1 Periode Juli 1992 Prøvningbetingelser Væske 50 % glycol Vind 5 m/s Væskestrøm 0.02 kg/s/m² Bestråling ca. 951 W/m² Beregnet stagnationstemperatur T_{STAG} 128 °C ved: G 1000 W/m² T_A 30 °C	Effektivitet η₀ = 0.68 k₀ = 5.73 W/K/m² k₁ = 0.012 W/K²/m² Væskestrømskorrektion m₀ = 1.047 m₁ = -0.623 s/kg M > 0.0025 kg/s/m² Hældningskorrektion s₀ = 1.015 s₁ = -0.0003 pr. grad Indfaldsvinkelkorrektion Ikke målt	G = 800 W/m²  Effektivitetskurve (baseret på transparent areal)
FORMLER OG SYMBOLER		
Effektivitet : $\eta = \eta_0 - k_0 \cdot (T_m - T_a) / G - k_1 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$ Korr. effektivitet : $\eta_k = k_M \cdot [\eta_0 - k_0 \cdot k_s \cdot (T_m - T_a) / G - k_1 \cdot k_s \cdot (T_m - T_a)^2 / G]$ Væskestrømskorr. : $k_M = m_0 + m_1 \cdot M$ Hældningskorr. : $k_s = s_0 + s_1 \cdot S$ Indfaldsvinkelkorr. : $k_G = [k_v(v) \cdot G_{DIF} + k_v(60^\circ) \cdot G_{DIF}] / G$ hvor $k_v(v) = 1 - \tan^2(v/2)$	T_a Lufttemperatur [°C] T_m Væsketemperatur [°C] M Massestrøm [kg/s] S Hældning fra vandret [°] v Indfaldsvinkel [°] G Bestrålingsstyrke [W/m²]	
BEMÆRKNINGER		Dato 1993-05-10  Henrik Lawaetz

Bilag 4.1.2

DATABLAD FOR VARMELAGRE TIL SOLVARMEANLÆG		Prøvenr.: D 3029
Fabrikat: Aidt Miljø ApS, Kongensbrovej, Aidt, 8881 Thorsø		Type: Model 300
Rekvirent: Aidt Miljø ApS		VA-godk.nr.: 3.21/DK6993
<u>DATA FOR VARMELAGERET:</u> <u>Udformning:</u> Cylindrisk stålbeholder med to varmevekslere, den nederste en kappe til solvarme, den øverste en spiral til suppleringsvarme. Endvidere er der indbygget en elvarmestav til supplement om sommeren. Beholderen er isoleret med hårdt polyurethanskum beklædt med PVC folie. Evt. kan stål kabinet medleveres. Dimensioner : 600 x 600 x 1800 mm Tomvægt : ca. 125 kg <u>Varmtvandsbeholder:</u> Type : Cylinder med hvælvede endebunde. Diameter x højde : 500 x 1500 mm Volumen : 265 liter Materiale : Stål 37.2 Korrosionsbeskyttelse : Emalje + magnesiumanode <u>Varmevekslere (solvarme/suppleringsvarme):</u> Type : kappe / spiral Dimensioner : ø525 x 850 mm / ø3/4" x 7500 mm Materiale : Stål / stål Veskeindhold : 16.5 / 2.5 liter Volumen over vekslerbund : 240 / 80 liter <u>Elvarmelegeme:</u> Type : Stav m. termostat Forsyningspænding : 220 eller 380 V(AC) Effekt : 1.1 eller 3.3 kW Volumen over varmelegeme : 79 liter <u>Isolering:</u> Bund : 20 mm polyurethanskum Sider : 37-50 mm - Top : 70-115 mm - <u>PRØVNINGSFORHOLD:</u> Rumtemperatur : ca. 20°C Væske i solfangerkreds : Vand med 40 % propylenglycol Benyttet væskestrøm : ca. 1 liter/minut <u>RESULTATER:</u> Varmekapacitet : 1127 kJ/K Varmetabkoefficient i drift v. 60°C : 2.3 W/K Varmetabkoefficient i hvile : 1.8 W/K Varmeoverførselsvne (UA) fra solfangerkreds til lager ved en lagertemperatur på 50°C : 271 W/K Afhængighed af lagertemperatur: $UA = 133 + 2.75 \cdot T_{\text{lager}} \text{ [W/K]}$ Tryktab (ΔP) i solvarmekreds ved en væskestrøm (v) på 5 liter/minut : 3.9 kPa Afhængighed af væskestrøm: $\Delta P = 0.77 \cdot v \text{ [kPa]}$ <u>PRINCIPSKITSE AF LAGER:</u>		

Bilag 4.1.3

Figuren er fra /238/.



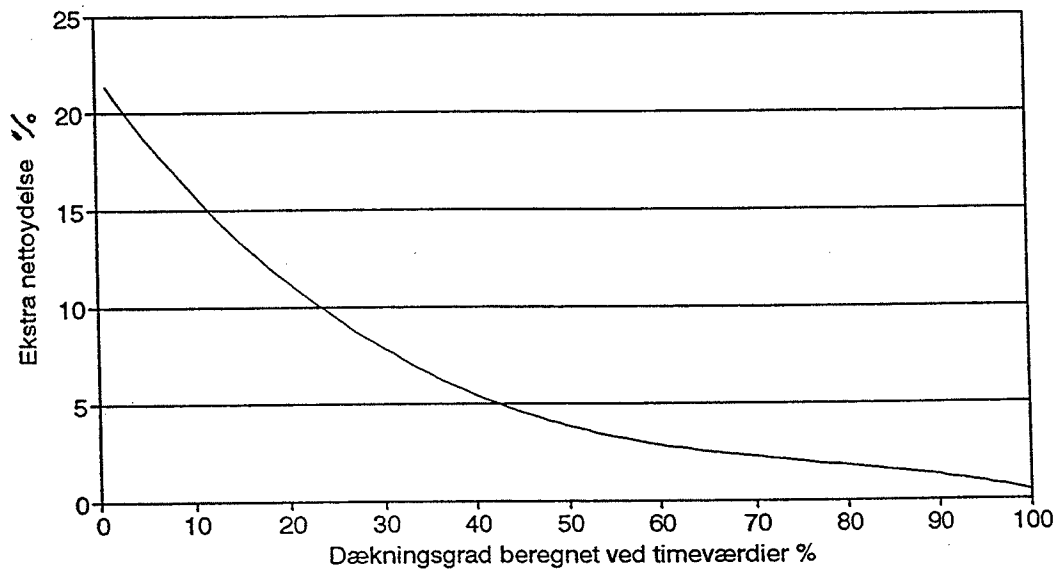
Korrektionsfaktor for volumenstrømmen F_f som funktion af volumenstrømmen for forskellige markedsførte solfangere.

Bilag 4.1.4

Figuren er lavet ud fra teori udviklet i /221/.

Korrektion for tidsskridt, Aids anlæg

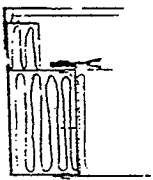
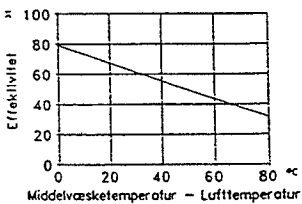
Varmtvandsforbrug: 41,4 l/dag pr. m²



Bilag 4.2

Dansk Solvarme A/S

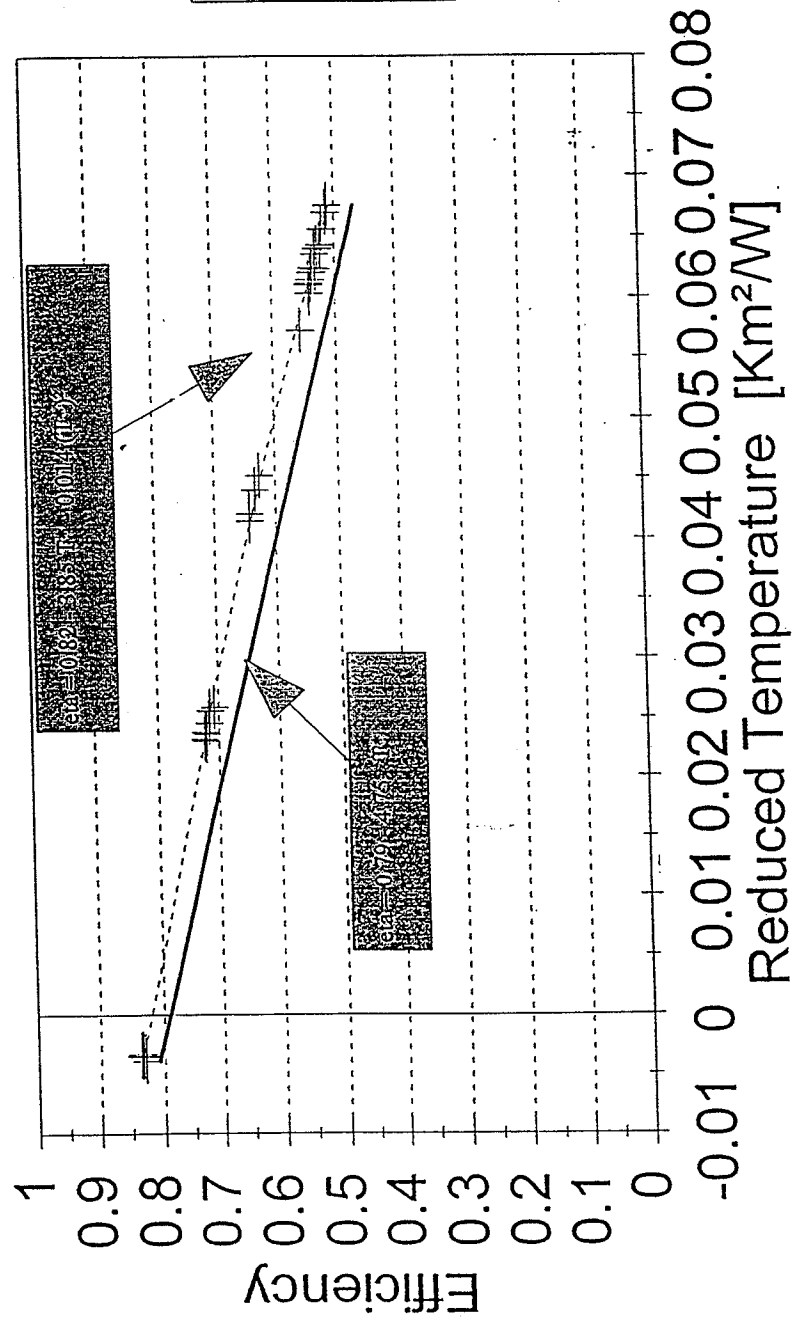
Bilag 4.2.1-a

DATABLAD FOR SOLFANGER - EFFEKTIVITET		
Fabrikat/forhandler DANSK SOLVARME AF 10/8-92 A/S, Dyssevej 14, Kongsted, 4683 Rønnede, tlf.: 53 71 13 21		Type DANSOL 2
Prøvelaboratorium Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Bygning 118, 2800 Lyngby		Id.nr. 255
SOLFANGER DATA		
 <i>Snit i solfanger</i> Udvendige dimensioner i m 2,055 x 1,050 x 0,095 Areal Udvendigt 2,16 m² Transparent 2,01 m²	Vægt 49 kg Væskeindh. 4,6 liter Dæklag Type 1 lag glas Materiale Hærdet jernfattigt glas Tykkelse 4 mm Absorber Type Kanalplade Diagonalstrømning Materiale Rustfrit stål Tykkelse 0,6 mm Belægning Selektiv folie Maxorb	Isolering Bagside 60 mm glasuld Sider 20 mm glasuld Solfangerkasse Bagside 0,6 mm aluminiums-plade Sider Rustfrit stål Tætning EPDM liste Prøvetryk 300 kPa Anbef.max.tryk 250 kPa
PRØVNING OG RESULTATER		
Prøvning Periode Oktober 1993 Prøvningbetingelser Væske 50 % glycol Vind 5 m/s Væskestrøm 0,02 kg/s/m² Bestråling Ca. 840 W/m² Tryktab $P_d = 107,8 \text{ M}^{1,39}$ Tryktab ved 0,02 kg/(s · m²) $P_d = 1,23 \text{ kPa}$	Effektivitet $\eta_0 = 0,79$ $k_0 = 4,75 \text{ W/(K m}^2\text{)}$ $k_1 = 0 \text{ W/(K}^2 \text{ m}^2\text{)}$ Hældningskorrektur $s_0 = 1,127$ $s_1 = -0,0028 \text{ pr. grad}$ <i>4,08-22</i> <i>0,60-2</i>	$G = 800 \text{ W/m}^2$  Effektivitetskurve (baseret på transparent areal)
FORMLER OG SYMBOLER		
Effektivitet : $\eta = \eta_0 - k_0 (T_m - T_a)/G - k_1 (T_m - T_a)^2/G$ Korr. effektivitet : $\eta_K = k_M [\eta_0 - k_0 k_S (T_m - T_a)/G - k_1 k_S (T_m - T_a)^2/G]$ Væskestrømskorr. : $k_M = m_0 + m_1 M$ Hældningskorr. : $k_S = s_0 + s_1 S$ Indfaldsvinkelkorr. : $k_G = [k_v(V) G_{DIR} + k_v(60^\circ) G_{DIR}] / G$ hvor $k_v(V) = 1 - \tan^2(V/2)$	T_a Lufttemperatur [°C] T_m Væsketemp. [°C] M Massestrøm [kg/s] S Hældning fra vandret [°] V Indfaldsvinkel [°] G Bestrålingsstyrke [W/m²]	
BEMÆRKNINGER		DATO
		Erik S Nielsen

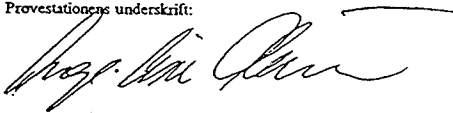
Bilag 4.2.1-b

Collector Instantaneous Efficiency

Dansk Solvarme



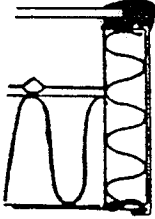
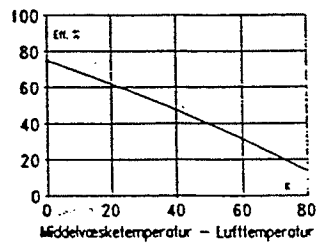
Bilag 4.2.2

DATABLAD FOR VARMELAGRE TIL SOLVARMEANLÆG		Provenr.: D 3049
Fabrikat: Nilan A/S, Nilanvej 2, 8722 Hedensted		Type: SV300 Combi
Rekvirent: Nilan A/S, Nilanvej 2, 8722 Hedensted		VA-godk.nr: 3.21/DK6227
<u>DATA FOR VARMELAGERET (Fabr. oplysni):</u> <u>Udformning:</u> Cylindrisk, lodretstående stålbeholder med to varmevekslere, den nederste til solvarme, den øverste til suppleringsvarme. Endvidere kan beholderen leveres med elvarmestav for supplement om sommeren. Beholderen er isoleret med hårdt vandbaseret polyuret-hanskum og er indbygget i et lakeret stål kabinet. Pumpe, ekspansionsbeholder m.v. kan indbygges i kabinettets nederste del. Dimensioner : 600 x 600 x 1780 mm Tomvægt incl. spiraler : ca. 105 kg <u>Varmtvandsbeholder:</u> Type : Cylinder med hvælvede endebunde. Diameter x højde : 500 x 1450 mm Volumen : 280 liter Materiale : Stål 37.2 Korrosionsbeskyttelse : Emalje+andre <u>Varmvekslere (solvarme/suppleringsvarme):</u> Type : Spiral / spiral Dimensioner : ø22 x 10000 x 1.5 mm Materiale : Emaljeret stål Væskeindhold : 2.8/2.8 liter Volumen over vekslerbund : ca. 270 / 96 liter <u>Elvarmelegeme:</u> Type : Indbygget stav Forsyningsspænding : 230 V(AC) / 400 V(AC) Effekt : 1.2 / 3.6 kW Volumen over varmelegeme : 96 liter <u>Isolering:</u> Bund : ca. 20 mm PUR Sider : ca. 50 mm - Top : ca. 70 mm - <u>PRØVNINGSFORHOLD:</u> Rumtemperatur : ca. 25°C Væske i solfangerkreds : 40% propylenglycol i vand Benyttet væskestrøm : ca. 1 - 5 liter/minut <u>RESULTATER:</u> Varmekapacitet : 1138 kJ/K Varmetabskoefficient i drift v. 60°C : 2.3 W/K Varmetabskoefficient i hvile : 2.0 W/K Varmeoverførselssevne (UA) fra solfangerkreds til lager ved en lager-temperatur på 50°C : 162 W/K Udtryk : $UA = 122.9 + 0.79 \cdot T_{\text{hcr}}$ [W/K] Tryktab (ΔP) i solfangerkreds ved en væskestrøm (v) på 5 liter/minut : 6.9 kPa Udtryk : $\Delta P = 0.53 \cdot v + 0.17 \cdot v^2$ [kPa] <u>PRINCIPSKITSE AF LAGER:</u>		
Bemærkninger til prøvningen:		Dato: 1995.02.09 Provestationens underskrift:  Inge-Lise Clausen

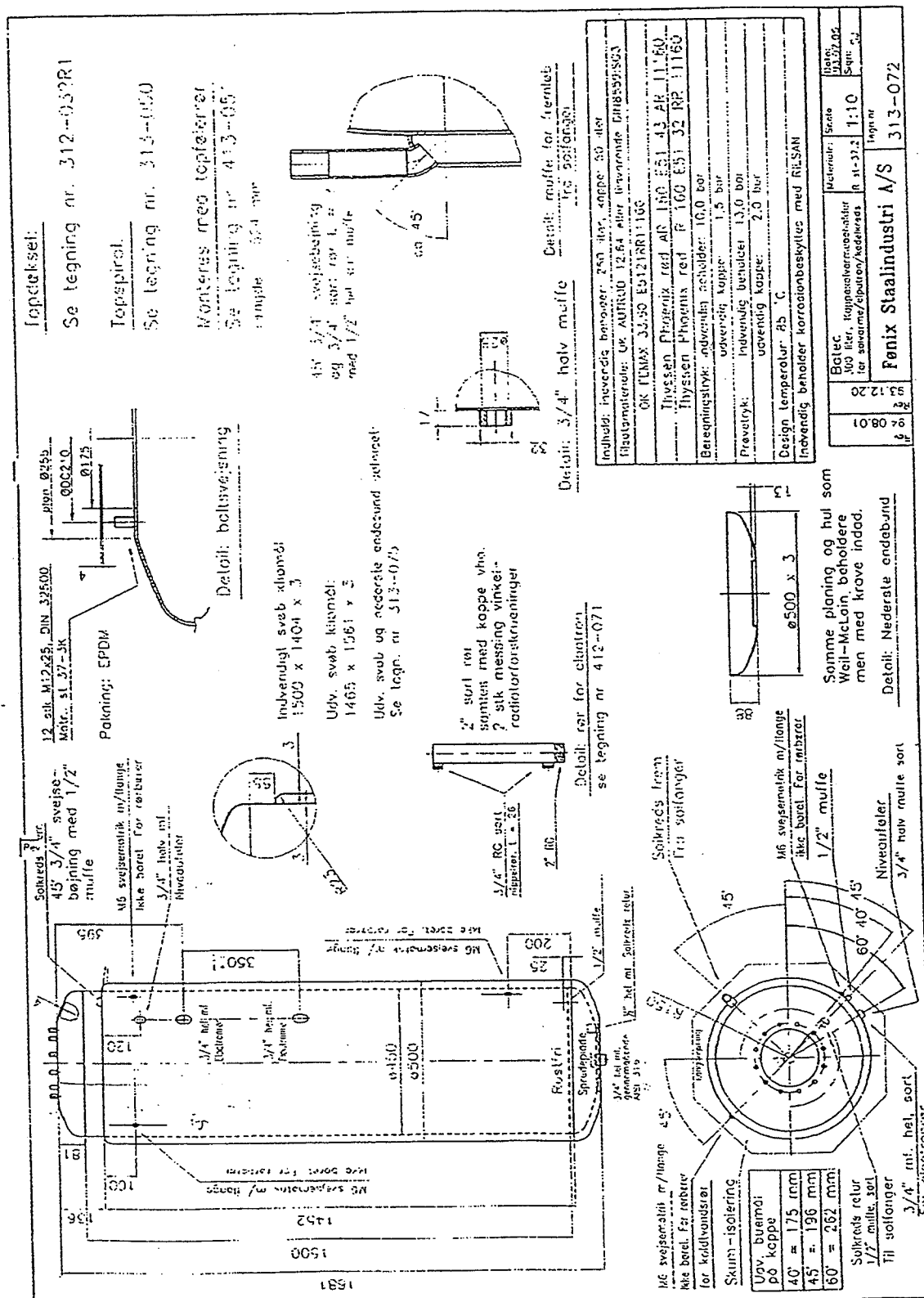
Bilag 4.3

Batec A/S

Bilag 4.3.1

DATABLAD FOR SOLFANGER - EFFEKTIVITET		
Fabrikat/forhandler BATEC Solvarme, Danmarksvej 8, 4681 Herfølge tlf.: 56 27 50 50		Type BA 22 selektiv
Prøvelaboratorium Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Bygning 118, 2800 Lyngby		Id.nr. 246
SOLFANGER DATA		
 <i>Snit i solfanger</i> Udvendige dimensioner 2,07 x 1,12 x 0,09 m Areal Udvendigt 2,32 m² Transparent 2,19 m²	Vægt 39 kg Væskeindh. 1,9 liter Dæklag Type Et lag glas Materiale Jernfanget glas Tykkelse 4 mm Absorber Type Sunstrip 8 langsgående parallelforbundne rør med ford.rør Materiale alu. og kobber Tykkelse 0,5 mm Belægning selektiv, sort nikkel	Isolering Bagside 50 mm mineraluld Sider 15 mm mineraluld Solfangerkasse Bagside 1,5 mm alu.profil 0,5 mm alu. plade Tætning butylbånd og silicone Prøvetryk 1000 kPa Anbef.max.tryk 250 kPa
PRØVNING OG RESULTATER		
Prøvning Periode Maj 1993 Prøvningbetingelser Væske 50 % glycol Vind 5 m/s Vækestrøm 0,02 kg/s/m² Bestråling Ca. 840 W/m² Tryktab $P_d = 27,32 \text{ M}^{1,42}$ Tryktab ved 0,02 Kg/(s m²) $P_d = 0,32 \text{ Kpa}$	Effektivitet $\eta_0 = 0,75$ $k_0 = 4,85 \text{ W/(K m}^2\text{)}$ $k_1 = 0,016 \text{ W/(K}^2\text{ m}^2\text{)}$ Hældningskorrektur $s_0 = 1,111$ $s_1 = -0,002 \text{ pr. grad}$	$G = 800 \text{ W/m}^2$  Effektivitetskurve (baseret på transparent areal)
FORMLER OG SYMBOLER		
Effektivitet : $\eta = \eta_0 - k_0 (T_m - T_a)/G - k_1 (T_m - T_a)^2/G$ Korr. effektivitet : $\eta_K = k_M [\eta_0 - k_0 (T_m - T_a)/G - k_1 (T_m - T_a)^2/G]$ Vækestrømskorr. : $k_M = m_0 + m_1 M$ Hældningskorr. : $k_s = s_0 + s_1 S$ Indfaldsvinkelkorr. : $k_G = [k_v(V) G_{DIR} + k_r(60^\circ) G_{DIF}]/G$ hvor $k_v(V) = 1 - \tan^2(V/2)$		T_a Lufttemperatur [°C] T_m Væsketemp. [°C] M Massestrøm [kg/s] S Hældning fra vandret [°] V Indfaldsvinkel [°] G Bestrålingsstyrke [W/m²]
BEMÆRKNINGER		DATO
		Henrik Lawaetz

Bilag 4.3.2

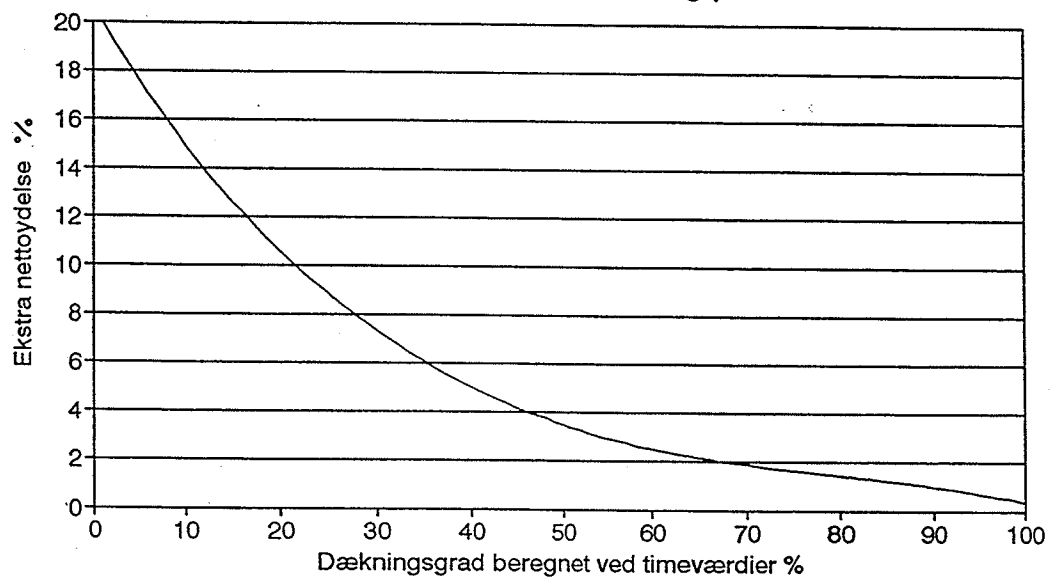


Bilag 4.3.3

Figuren er lavet udfra teori udviklet i /221/.

Korrektion for tidsskridt, Batec anlæg

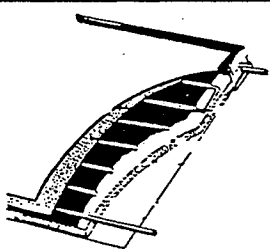
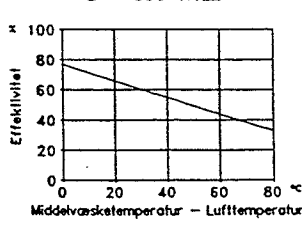
Varmtvandsforbrug: 45,5l/dag pr. m²



Bilag 4.4

Ar-Con Solvarme A/S

Bilag 4.4.1

DATABLAD FOR SOLFANGER - EFFEKTIVITET		
Fabrikat/forhandler AR-CON SOLVARME A/S, Jyttevej 18, 9520 Skørping tlf.: 98 39 14 77		Type ST
Prøvelaboratorium Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Bygning 118, 2800 Lyngby		Id.nr. 257
SOLFANGER DATA		
 <i>Snit i solfanger</i> Udvendige dimensioner 2,27 x 1,22 x 0,105 m Areal Udvendigt 2,77 m² Transparent 2,51 m²	Vægt 52 kg Væskeindh. 1,4 liter Dæklag Yderst Materiale hærdet jernfrit glas Tykkelse 4 mm Inderst Teflonfolie (25 µm) Absorber Type Sunstrip 8 langsgående rør i serie Materiale Alu og kobber Belægning selektiv overflade	Isolering Bagside 40 mm glasuld Sider 10 mm do Solfangerkasse Bagside Aluminium profileret 0,5 mm alu. plade Tætning T-formet profil af EPDM-gummi Prøvetryk 1300 kPa Anbef. max. tryk 1000 kPa
PRØVNING OG RESULTATER		
Prøvning Metode ISO/DIS 9806-1 Periode Nov 1993 Prøvningbetingelser Væske 50 % glycol Vind 5 m/s Væskestrøm 0,02 kg/s/m² Bestråling Ca. 880 W/m² Tryktab P_d = 570 M^{0,95} Tryktab ved 0,02 kg/(s/m²) P_d = 33 kPa	Effektivitet η₀ = 0,77 W/(K m²) k₀ = 4,40 W/(K m²) k₁ = 0,00 W/(K² m²) Hældningskorrektur s₀ = 1,127 s₁ = -0,0028 pr. grad Indfaldsvinkelkorrektur a = 3,0	G = 800 W/m²  Effektivitetskurve (baseret på transparent areal)
FORMLER OG SYMBOLER		
Effektivitet : η = η₀ - k₀ (T_m - T_a)/G - k₁ (T_m - T_a)²/G Korr. effektivitet : η_K = k_M [η₀ - k₀ (T_m - T_a)/G - k₁ (T_m - T_a)²/G] Væskestrømskorr. : k_M = m₀ + m₁ M Hældningskorr. : k_S = s₀ + s₁ S Indfaldsvinkelkorr. : k_G = [k_v (V) G_{DIR} + k_v (60°) G_{DIF}]/G hvor k_v(V) = 1 - tan⁴ (V/2)	T_a Lufttemperatur [°C] T_m Væsketemp. [°C] M Massestrøm [kg/s] S Hældning fra vandret [°] V Indfaldsvinkel [°] G Bestrålingsstyrke [W/m²]	
BEMÆRKNINGER		DATO Erik S. Nielsen

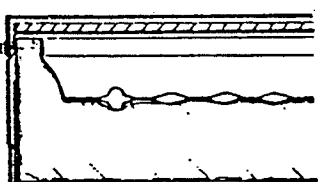
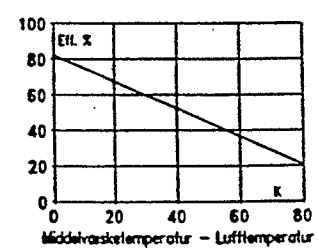
Bilag 4.4.2

DATABLAD FOR VARMELAGRE TIL SOLVARMEANLÆG		Prøvenr.: D 3034
Fabrikat: Ar-Con Solvarme A/S, Jyttevej 18, 9520 Skørping		Type: 250 C
Rekvirent: Ar-Con Solvarme		VA-godk.nr.: 3.21/DK6942
DATA FOR VARMELAGERET: <u>Udformning:</u> Cylindrisk stålbeholder med to varmevekslere, den nederste til solvarme, den øverste til suppleringsvarme. Endvidere er der indbygget en elvarmestav til supplement om sommeren. Beholderen er isoleret med hårdt polyurethanskum samt mineraluld, og er indbygget i et lakeret stål kabinet. Pumpe, ekspansions-beholder m.m. er placeret nederst i kabinettet. Dimensioner : 600 x 600 x 1900 mm Tomvægt : ca. 125 kg <u>Varmtvandsbeholder:</u> Type : Cylinder med hvælvede endebunde. Diameter x højde : 500 x 1380 mm Volumen : 250 liter Materiale : Stål 37.2 Korrosionsbeskyttelse : Emalje + magnesiumanode <u>Varmevekslere (solvarme/suppleringsvarme):</u> Type : Spiral Dimensioner : ø1/2" x 12000 mm Materiale : Stål Væskeindhold : 2.4 liter Volumen over vekslerbund : 240 / 80 liter <u>Elvarmelegeme:</u> Type : Stav m. termostat Forsyningsspænding : 220 eller 380 V(AC) Effekt : 1 eller 3 kW Volumen over varmelegeme : 80 liter <u>Isolering:</u> Bund : 10-60 mm polyurethanskum Sider : 40-60 mm - - Top : 50-70 mm polyurethanskum & 50 mm mineraluld PRØVNINGSFORHOLD: Rumtemperatur : ca. 25°C Væske i solfangerkreds : Vand med 40 % propylenglycol Benyttet væskestrøm : ca. 5 liter/minut RESULTATER: Varmekapacitet : 1062 kJ/K Varmetabskoefficient i drift v. 60°C : 2.7 W/K Varmetabskoefficient i hvile : 1.8 W/K Varmeoverføringsevne (UA) fra solfangerkreds til lager ved en lagertemperatur på 50°C : 258 W/K Afhængighed af lagertemperatur: $UA = 127 + 2.62 \cdot T_{\text{lager}} \text{ [W/K]}$ Tryktab (ΔP) i solvarmekreds ved en væskestrøm (v) på 5 liter/minut : 10.2 kPa Afhængighed af væskestrøm: $\Delta P = 0.94 \cdot v + 0.22 \cdot v^2 \text{ [kPa]}$ PRINCIPSKITSE AF LAGER:		
<u>Bemærkninger til prøvningen:</u> Varmetabet er målt uden pumpe, ekspansionsbeholder og fittings som var afmonteret lagerunit'en.		Dato: 1991-08-07 Prøvestationens underskrift: <i>Henrik Lawacz</i> Henrik Lawacz

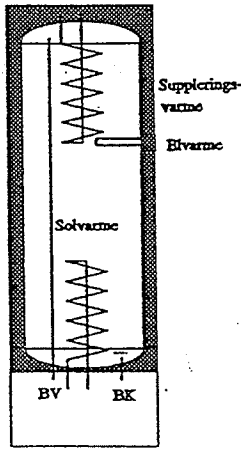
Bilag 4.5

Solahart Scandinavia ApS

Bilag 4.5.1

DATABLAD FOR SOLFANGER - EFFEKTIVITET			
Fabrikat/forhandler SOLAHART SCANDINAVIA ApS. Kongensgade 44, 9293 Kongerslev. tlf.: 98 33 22 00		Type Solahart k	
Prøvelaboratorium Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Bygning 118, 2800 Lyngby		Id.nr. 242	
SOLFANGER DATA			
 Snit i solfanger	Vægt	40 kg	Isolering Bagside mineraluld og polyurethanskum Sider mineraluld og polyurethanskum
	Væskeindh.	3,9 liter	
Udvendige dimensioner 1,94 x 1,02 x 0,08 m	Dæklag		Solfangerkasse 0,7mm Alumin. Tætning PVC fugebånd
	Type	1 plant lag	
Areal Udvendigt 1,98 m² Transparent 1,85 m²	Materiale	Hærdet jernfrit glas	Prøvetryk 600 kPa Anbef.max.tryk 400 kPa Varmekapacitet: Excl. væske 12 kJ/K Incl. væske 26 kJ/K
	Tykkelse	3,3 mm	
	Absorber		
	Type	Hydraulisk presset kanalplade 36 integrerede kanaler i plade	
	Materiale	Nikkelbehandlet stål 0,6 mm	
	Belægning	selektiv, sort krom	
PRØVNING OG RESULTATER			
Prøvning	Effektivitet	G = 800 W/m²	
Periode Feb. + Mar.1993	η₀ = 0,82 k₀ = 5,73 W/(K m²) k₁ = 0,005 W/(K² m²)		
Prøvningsbetingelser	Hældningskorrektur s₀ = 1,105 s₁ = -0,002 pr. grad		
Væske 50 % glycol Vind 5 m/s Vækestrøm 0,02 kg/s/m² Bestråling Ca. 840 W/m²	Indfaldsvinkelkorrektur a = 1,8 Varmekapacitet C = 26 kJ/K		
Tryktab Pₛ = 67,23 M ^{1.875} Tryktab ved 0,02 kg/s/m² Pₛ = 0,13 kPa		Effektivitetskurve (baseret på transparent areal)	
FORMLER OG SYMBOLER			
Effektivitet : η = η₀ - k₀ (Tₘ - Tₐ)/G - k₁ (Tₘ - Tₐ)²/G	Tₐ Lufttemperatur [°C]		
Korr. effektivitet : ηₖ = kₘ [η₀ - k₀ kₛ (Tₘ - Tₐ)/G - k₁ kₛ (Tₘ - Tₐ)²/G]	Tₘ Væsketemp. [°C]		
Vækestrømskorr. : kₘ = m₀ + m₁ M	M Massestrøm [kg/s]		
Hældningskorr. : kₛ = s₀ + s₁ S	S Hældning fra vandret [°]		
Indfaldsvinkelkorr. : k_G = [kₐ(V) G_DIR + kₐ(60°) G_DIR] / G	V Indfaldsvinkel [°]		
	hvor kₐ(V) = 1 - tan² (V/2)	G Bestrålingsstyrke [W/m²]	
BEMÆRKNINGER		DATO Henrik Lawactz	

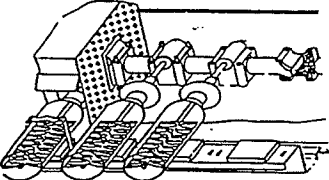
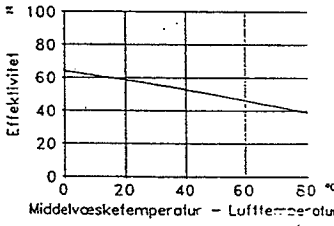
Bilag 4.5.2

DATABLAD FOR VARMELAGERE TIL SOLVARMEANLÆG		Prøve nr.: D 3044
Fabrikat: Nilan A/S, Nilanvej 2, 8722 Hedensted		Type: SV 300
Rekvirent: Nilan		VA-godk.n.r.: 3.21/DK6227
DATA FOR VARMELAGERET (Fabr. oplys.): <u>Udformning:</u> Cylindrisk, lodretstående stålbeholder med to varmevekslere, den nederste til solvarme, den øverste til suppleringsvarme. Endvidere kan beholderen leveres med elvarmestav for supplement om sommeren. Beholderen er isoleret med hårdt polyurethanskum og er indbygget i et lakeret stål kabinet. Pumpe, ekspansionsbeholder m.v. kan indbygges i kabinettets nederste del. Dimensioner : 600 x 600 x 1900 mm Tomvægt : ca. 175 kg <u>Varmtvandsbeholder:</u> Type : Cylinder med hvælvede endebunde. Diameter x højde : 500 x 1500 mm Volumen : 280 liter Materiale : Stål 37.2 Korrosionsbeskyttelse : Emaljeret og magnesiumanode <u>Varmevekslere (solvarme/suppleringsvarme):</u> Type : Spiral / spiral Dimensioner : ø22 x 7200 mm Materiale : Emaljeret stål Væskeindhold : 2 liter Volumen over vekslerbund : ca. 265 / 100 liter <u>Elvarmelegeme:</u> Type : Indbygget stav Forsyningsspænding : 230 V(AC) Effekt : 2 kW Volumen over varmelegeme : 100 liter <u>Isolering:</u> Bund : ca. 45 mm PUR Sider : ca. 55 mm - Top : ca. 75 mm -		
PRØVNINGSFORHOLD: Rumtemperatur : ca. 25°C Væske i solfangerkreds : 40% propylenglycol i vand Benyttet væskestrøm : ca. 5 liter/minut RESULTATER: Varmekapacitet : 1130 kJ/K Varmetabskoefficient i drift v. 60°C : 2.3 W/K Varmetabskoefficient i hvile : 1.7 W/K Varmeoverføringsevne (UA) fra solfangerkreds til lager ved en lagertemperatur på 50°C : 226 W/K Udtryk: $UA = 146 + 1.59 \cdot T_{\text{lager}}$ [W/K] Tryktab (ΔP) i solfangerkreds ved en væskestrøm (v) på 5 liter/minut : 8.4 kPa Udtryk: $\Delta P = 0.94 \cdot v + 0.15 \cdot v^2$ [kPa] PRINCIPSKITSE AF LAGER: 		
Bemærkninger til prøvningen: Beholderen er prøvet uden elvarmelegeme og kabinet.		Dato: 1993.10.18 Prøvestationens underskrift: Henrik Lawaetz

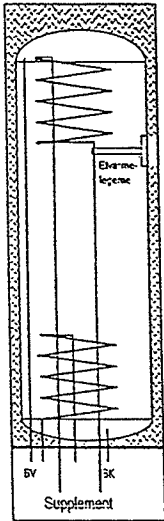
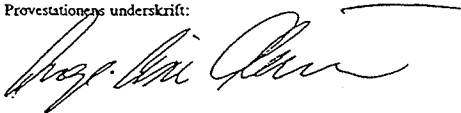
Bilag 4.6

Thermo-Sol ApS

Bilag 4.6.1

DATABLAD FOR SOLFANGER - EFFEKTIVITET		
Fabrikat/forhandler Thermo-sol Aps Tåstruphøj 16 4300 Holbæk tlf.: 59 44 13 49		Type Mazdon 20
Prøvelaboratorium Laboratoriet for Varmeisolering, DTU, Bygning 118, 2800 Lyngby		Id.nr. 272
SOLFANGER DATA		
 <i>Snit i solfanger</i> Udvendige dimensioner i m 2,07 x 1,50 x 0,163 Areal Udvendigt 3,06 m² Transparent 2,22 m²	Vægt 57 kg Væskeindh. 0.6 liter Dæklag Type Vakuums rør Materiale Glas Tykkelse 1,6 mm Diameter 65 mm Absorber Type Heatpipe med methanol Materiale Kobberlameller med stålør Belægning selektiv, sortkrom på nikkel og kobber Kanalsystem Manifold med 20 vakuumsrør	Tilslutning 22 mm rør indgang og udgang Isolering Manifold 50 mm polyuretan skum og rockwool Absorber Vakuums Manifold 28 mm kobberør med udvendig kappe Kobling Aluminiumsklods med varmeledende pasta Tætning EPDM gummipak. Fabrikantoplysninger: Prøvetryk 1300 Kpa Anbef.max.tryk 230 kPa
PRØVNING OG RESULTATER		
Prøvning Metode ISO/DIS 9806-1 Periode Aug. 1994 Prøvningbetingelser Væske 50 % glycol Vind 5 m/s Vækestrøm 0,02 kg/s/m ² Bestråling Ca. 900 W/m ² Tryktab (ved 25°C) P _d = 109 M ^{1.68} Tryktab ved 0,02 kg/s/m ² (Fabrikant anbefalet flow) P _d = 0,58 kPa	Effektivitet $\eta_0 = 0,64$ $k_0 = 1,87 \text{ W/(K m}^2\text{)}$ $k_1 = 0,008 \text{ W/(K}^2\text{ m}^2\text{)}$	G = 800 W/m²  Effektivitetskurve (baseret på transparent areal)
FORMLER OG SYMBOLER		
Effektivitet : $\eta = \eta_0 - k_0 (T_m - T_a)/G - k_1 (T_m - T_a)^2/G$ Korr. effektivitet : $\eta_K = k_M [\eta_0 - k_0 (T_m - T_a)/G - k_1 (T_m - T_a)^2/G]$ Vækestrømskorr. : $k_M = m_0 + m_1 M$ Hældningskorr. : $k_S = s_0 + s_1 S$ Indfaldsvinkelkorr. : $k_G = [k_v(V) G_{DIR} + k_v(60^\circ) G_{DIF}]/G$ hvor $k_v(V) = 1 - \tan^2(V/2)$	T _a Lufttemperatur [°C] T _m Væsketemp. [°C] M Massestrøm [kg/s] S Hældning fra vandret [°] V Indfaldsvinkel [°] G Bestrålingsstyrke [W/m ²]	
BEMÆRKNINGER		DATO Erik S Nielsen

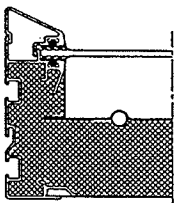
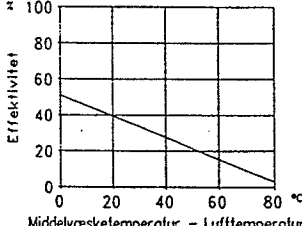
Bilag 4.6.2

DATABLAD FOR VARMELAGERE TIL SOLVARMEANLÆG		Provenr.: D 3049
Fabrikat: Nilan A/S, Nilanvej 2, 8722 Hedensted		Type: SV300 Combi
Rekvirent: Nilan A/S, Nilanvej 2, 8722 Hedensted		VA-godk.nr.: 3.21/DK6227
<u>DATA FOR VARMELAGERET (Fabr. oplys.):</u> <u>Udformning:</u> Cylindrisk, lodretstående stålbeholder med to varmevekslere, den nederste til solvarme, den øverste til suppleringsvarme. Endvidere kan beholderen leveres med elvarmestav for supplement om sommeren. Beholderen er isoleret med hårdt vandbaseret polyuretanskum og er indbygget i et lakeret stål kabinet. Pumpe, ekspansionsbeholder m.v. kan indbygges i kabinettets nederste del. Dimensioner : 600 x 600 x 1780 mm Tomvægt incl. spiraler : ca. 105 kg <u>Varmtvandsbeholder:</u> Type : Cylinder med hvælvede endebunde. Diameter x højde : 500 x 1450 mm Volumen : 280 liter Materiale : Stål 37.2 Korrosionsbeskyttelse : Emalje+andre <u>Varmvekslere (solvarme/suppleringsvarme):</u> Type : Spiral / spiral Dimensioner : ø22 x 10000 x 1.5 mm Materiale : Emaljeret stål Væskeindhold : 2.8/2.8 liter Volumen over vekslerbund : ca. 270 / 96 liter <u>Elvarmelegeme:</u> Type : Indbygget stav Forsyningsspænding : 230 V(AC) / 400 V(AC) Effekt : 1.2 / 3.6 kW Volumen over varmelegeme : 96 liter <u>Isolering:</u> Bund : ca. 20 mm PUR Sider : ca. 50 mm - Top : ca. 70 mm - <u>PRØVNINGSFORHOLD:</u> Rumtemperatur : ca. 25°C Væske i solfangerkreds : 40% propylen glycol i vand Benyttet væskestrøm : ca. 1 - 5 liter/minut <u>RESULTATER:</u> Varmekapacitet : 1138 kJ/K Varmetabskoefficient i drift v. 60°C : 2.3 W/K Varmetabskoefficient i hvile : 2.0 W/K Varmeoverføringsevne (UA) fra solfangerkreds til lager ved en lagertemperatur på 50°C : 162 W/K Udtryk : $UA = 122.9 + 0.79 \cdot T_{\text{lager}}$ [W/K] Tryktab (ΔP) i solfangerkreds ved en væskestrøm (v) på 5 liter/minut : 6.9 kPa Udtryk : $\Delta P = 0.53 \cdot v + 0.17 \cdot v^2$ [kPa] <u>PRINCIPSKITSE AF LAGER:</u> 		
Bemærkninger til provningen:		Dato: 1995.02.09 Provestationens underskrift:  Inge-Lise Clausen

Bilag 4.7

Sol-Energi Kobbervarefabrikken A/S

Bilag 4.7.1

DATABLAD FOR SOLFANGER - EFFEKTIVITET		
Fabrikat/forhandler Kobbervarefabrikken, Lindevej 2, Vester Sottrup, 6400 Sønderborg tlf.: 74 46 76 11		Type
Prøvelaboratorium Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Bygning 118, 2800 Lyngby		Id.nr. 266
SOLFANGER DATA		
 <i>Snit i solfanger</i> Udvendige dimensioner 2,05 x 1,055 x 0,122 m Areal Udvendigt 2,16 m² Transparent 1,91 m²	Vægt 50 kg Væskeindh. 1,05 liter Dæklag Type Et lag glas Materiale jernfattigt glas Tykkelse 4 mm Absorber Type Plade med presset rende, ilagt rør Materiale kobber Tykkelse 0,4 mm Belægning selektiv Kanalsystem Et gennemgående spiralrør	Tilslutning 10 mm kobberør Isolering Bagside 50 mm PU-skum Sider 30 mm PU-skum Solfangerkasse 1,5 mm alu.profil Bagside 0,7 mm alu. plade Tætning Gummilister Fabrikantoplysninger: Prøvetryk 2500 kPa Anbef.max.tryk 250 kPa
PRØVNING OG RESULTATER		
Prøvning Metode ISO/DIS 9806-1 Periode Maj, sept. 1994 Prøvningbetingelser Væske 50 % glykol Vind 5 m/s Væskestrøm 0,02 kg/s/m ² Bestråling Ca. 890 W/m ² Tryktab (ved 25°C) P _d = 1416 M ^{1,24} Tryktab ved 0,02 Kg/(s m²) (Fabrikant anbefalet flow) P _d = 24,8 kPa	Effektivitet η ₀ = 0,51 k ₀ = 4,49 W/(K m ²) k ₁ = 0,004 W/(K ² m ²) Hældningskorrektur s ₀ = 1,070 s ₁ = -0,002 pr. grad Indfaldsvinkelkorrektur a = 5,9	G = 800 W/m²  Effektivitetskurve (baseret på transparent areal)
FORMLER OG SYMBOLER		
Effektivitet : $\eta = \eta_0 - k_0 (T_m - T_a)/G - k_1 (T_m - T_a)^2/G$ Korr. effektivitet : $\eta_K = k_M [\eta_0 - k_0 (T_m - T_a)/G - k_1 (T_m - T_a)^2/G]$ Væskestrømskor. : $k_M = m_0 + m_1 M$ Hældningskor. : $k_S = s_0 + s_1 S$ Indfaldsvinkelkor. : $k_G = [k_v(V) G_{DIR} + k_v(60^\circ) G_{DIF}] / G$ hvor $k_v(V) = 1 - \tan^2(V/2)$		T _a Lufttemperatur [°C] T _m Væsketemp. [°C] M Massestrøm [kg/s] S Hældning fra vandret [°] V Indfaldsvinkel [°] G Bestrålingsstyrke [W/m ²]
BEMÆRKNINGER		DATO Erik S Nielsen

Bilag 4.7.2

DATABLAD FOR VARMELAGER TIL SOLVARMEANLÆG		Provenr.: D 3049
Fabrikat: Nilan A/S, Nilanvej 2, 8722 Hedensted		Type: SV300 Combi
Rekvirent: Nilan A/S, Nilanvej 2, 8722 Hedensted		VA-godk.nr.: 3.21/DK6227
<u>DATA FOR VARMELAGERET (Fabr. oplysni):</u> <u>Udformning:</u> Cylindrisk, lodretstående stålbeholder med to varmevekslere, den nederste til solvarme, den øverste til suppleringsvarme. Endvidere kan beholderen leveres med elvarmestav for supplement om sommeren. Beholderen er isoleret med hårdt vandbaseret polyuret-hanskum og er indbygget i et lakeret stål kabinet. Pumpe, ekspansionsbeholder m.v. kan indbygges i kabinettets nederste del. Dimensioner : 600 x 600 x 1780 mm Tomvægt incl. spiraler : ca. 105 kg <u>Varmtvandsbeholder:</u> Type : Cylinder med hvælvede endebunde. Diameter x højde : 500 x 1450 mm Volumen : 280 liter Materiale : Stål 37.2 Korrosionsbeskyttelse : Emalje + andre <u>Varmvekslere (solvarme/suppleringsvarme):</u> Type : Spiral / spiral Dimensioner : $\varnothing 22 \times 10000 \times 1.5$ mm Materiale : Emaljeret stål Væskeindhold : 2.8/2.8 liter Volumen over vekslerbund : ca. 270 / 96 liter <u>Elvarmelegeme:</u> Type : Indbygget stav Forsyningsspænding : 230 V(AC) / 400 V(AC) Effekt : 1.2 / 3.6 kW Volumen over varmelegeme : 96 liter <u>Isolering:</u> Bund : ca. 20 mm PUR Sider : ca. 50 mm - Top : ca. 70 mm - <u>PRØVNINGSFORHOLD:</u> Rumtemperatur : ca. 25°C Væske i solfangerkreds : 40% propylenglycol i vand Benyttet væskestrøm : ca. 1 - 5 liter/minut <u>RESULTATER:</u> Varmekapacitet : 1138 kJ/K Varmetabskoefficient i drift v. 60°C : 2.3 W/K Varmetabskoefficient i hvile : 2.0 W/K Varmeoverførselssevne (UA) fra solfangerkreds til lager ved en lagertemperatur på 50°C : 162 W/K Udtryk : $UA = 122.9 + 0.79 \cdot T_{\text{lag}} \text{ [W/K]}$ Tryktab (ΔP) i solfangerkreds ved en væskestrøm (v) på 5 liter/minut : 6.9 kPa Udtryk : $\Delta P = 0.53 \cdot v + 0.17 \cdot v^2 \text{ [kPa]}$ <u>PRINCIPSKITSE AF LAGER:</u>		
Bemærkninger til prøvningen:		Dato: 1995.02.09 Provestationens underskrift: <i>Inge-Lise Clausen</i> Inge-Lise Clausen

