

Technical University of Denmark



## Afprøvning af solvarmeanlæg med Nilan Sunshine Ecotec naturgaskedel-soltank-unit til brugsvand og rumopvarmning

Andersen, Elsa

*Publication date:*  
2001

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*

Andersen, E. (2001). Afprøvning af solvarmeanlæg med Nilan Sunshine Ecotec naturgaskedel-soltank-unit til brugsvand og rumopvarmning. (BYG Sagsrapport; Nr. SR 01-12).

## DTU Library

Technical Information Center of Denmark

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

ELSA ANDERSEN

AFPRØVNING AF SOLVARMEANLÆG  
MED NILAN SUNSHINE ECOTEC  
Naturgaskedel-soltank-unit til brugsvands-  
og rumopvarmning

Sagsrapport  
BYG•DTU SR-01-12  
2001  
ISSN 1396-402x

## Indholdsfortegnelse

1.	Indledning.....	2
2.	Anlægsopbygning.....	3
3.	Solvarmeanlæggets prøvningsbetingelser .....	6
4.	Prøvning og validering af EDB-model for solvarmeanlægget .....	10
4.1	Måledata.....	10
4.2	EDB-model af solvarmeanlægget .....	12
4.3	Validering af EDB-model .....	18
4.4	Årsydelse for anlægget.....	23
4.5	Driftserfaringer og sammenfatning .....	27
5.	Konklusion .....	31
	Referencer .....	33

## 1. Indledning

Unitten Nilan Sunshine ecoTEC fra Nilan A/S er tidligere afprøvet i en indendørs lagerprøvestand /4/. Ved afprøvningen af unittens blev varmelagringskapaciteten, varmetabskoefficienten både for unitten og for lagertanken, varmeoverføringen for topspiralen samt omrøringen under tapning af varmt brugsvand målt.

I denne rapport undersøges unitten Nilan Sunshine ecoTEC fra Nilan A/S som en del af et solvarmeanlæg. Anlægget er et 2,78 m<sup>2</sup> solvarmeanlæg, både til brugsvands- og rumopvarmning. Soltanken er en kappetank med et brugsvandsvolumen på 254 l.

Rørføringen i unitten er ændret i forhold til /4/, idet der er indsat en varmfælde i solkredsen mellem den motoriserede trevejsventil og pladevarmeveksleren som forbinder solkredsen og rumvarmekredsen. Varmefælden har til formål at forhindre varmeledning fra solkredsen til rumvarmekredsen, og dermed at forhindre en eventuel selvcirkulation gennem varmevekslerspiralen i toppen af beholderen.

Anlægget er først testet som et solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Dernæst er anlægget testet med rumvarmeforbrug. Under testen har gaskedlen kørt på metangas.

Der er opbygget en model af solvarmeanlægget uden rumvarmeforbrug inklusive naturgaskedlen. Modellen kan ikke tage varmeafgivelsessystem og rumvarmebehovet i beregning. Modellen er valideret med målingerne og med den validerede model, er der foretaget beregninger af årsydelsen for et solvarmeanlæg baseret på den afprøvede unit.

## 2. Anlægsopbygning

Solvarmeanlægget er opført i prøvestanden i februar 2001 af BYG.DTU.

Anlæggets karakteristika ses i Tabel 2-1. Beholderens karakteristika ses i Tabel 2-2.

Prøvestanden er nærmere beskrevet i /1/, hvor en detaljeret beskrivelse af apparatur og målesystem også findes.

Solfangerfabrikant	Thermo Dynamics Ltd.
Absorbertype	Serpentin koblet strip med selektiv belægning (Sunstrips)
Solfangerareal [m <sup>2</sup> ]	2,78
Solfangervæske	40,4 % Propylenglykol/vand
Beholdertype	Kappebeholder
Supplerende energikilde	Naturgaskedel/Varmevekslerspiral

**Tabel 2-1: Solvarmeanlæggets karakteristika.**

Vægt af unit (tom) [kg]	214
Beholdervolumen [l]	254
Beholdervolumen over varmevekslerspiral [l]	75
Beholdervolumen over kappe [l]	89
Beholderhøjde [m]	1,465
Indvendig diameter [m]	0,494
Godstykkelse, beholder [m]	0,003
Kappevolumen [l]	13,8
Kappebredde [m]	0,0105
Godstykkelse, kappe [m]	0,002
Varmeoverførende areal [m <sup>2</sup> ]	1,257
Spiralvolumen [l]	2,9
Spirallængde [m]	10
Spiraldiameter [mm]	22/18,5
Isoleringstykkelse Top/Sider/Bund [mm/mm/mm]	80/37,5-50/0-30 (PUR-skum)

**Tabel 2-2: Data for beholderen.**

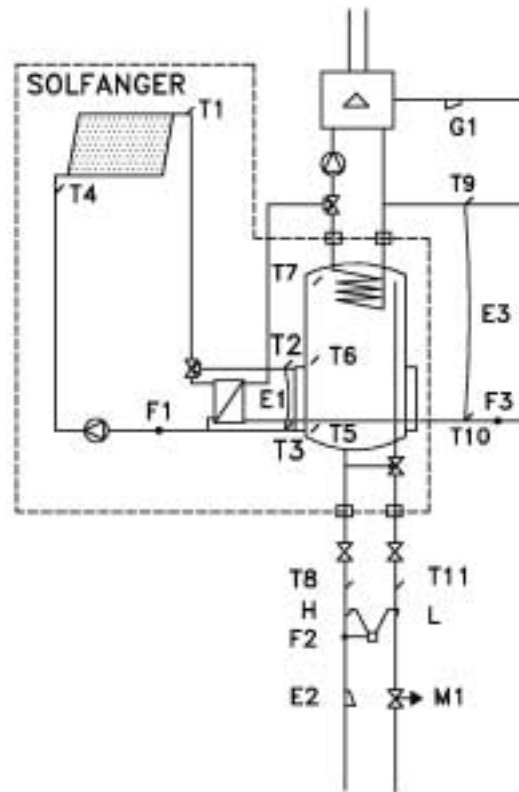
Unitten består af en 5,8 – 13 kW Vaillant kondenserende og modulerende naturgaskedel type ecoTEC VC 106 EU samt en kappebeholder, som både kan opvarmes af solvarme via kappen og af naturgaskedlen via varmevekslerspiralen i toppen af beholderen. Suppleringskredsen er forsynet med en Grundfos cirkulationspumpe (Type VP 5).

Unitten er endvidere forsynet med en pladevarmeveksler, hvor solvarmen kan tilføres returvandet fra radiatorkredsen. Solvarmen tilføres dog kun returvandet fra radiatorkredsen hvis temperaturen i bunden af kappen er større end temperaturen i toppen af solfangeren.

Kappebeholderen har et volumen på 254 l + 13,8 l i kappen.

Solfangeren (Type S 32 fra Thermo Dynamics Ltd.) består af 3,3 mm hærde jernfattigt glas, samt valsedede strips med selektiv belægning som absorber (Sunstrips). Solfangeren er installeret på en 45° hældende sydvendt flade.

Figur 2-1 viser en principskitse af solvarmeanlægget.



Figur 2-1: Principskitse af anlægget med målepunkter.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 11,2 m fremløbsrør til lageret, og 9,7 m returrør fra lageret. Heraf er 8,6 m henholdsvis 8,1 m indendørs. De præisolerede rør mellem solfanger og kabinet er 12/10 mm WICU EXTRA kobberør. Rørene i kabinettet er 15/13 mm kobberør og isoleret med INSUL TUBE.

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 kappen. Differenstermostaten har et start/stop setpunkt på 5/2 K.

Cirkulationspumpernes og styresystemets effektforbrug fremgår af Tabel 2-3.

Enhed	Effektforbrug [W]
Cirkulationspumpe i suppleringskreds	95
Cirkulationspumpe i solkreds	30
Styresystem (on/off)	3,0 / 1,6

**Tabel 2-3: Effektforbrug for pumper og styresystem. On/off refererer til om pumpen i solkredsen er i drift eller står stille.**

Figur 2-2 og Figur 2-3 viser fotos af anlæggets solfanger og varmelager.



**Figur 2-2: Solfangerpanelet på tagfladen**



**Figur 2-3: Solvarmeanlæggets varmelager. Til venstre for varmelageret ses den fiktive radiatorkreds, der anvendes ved simulering af rumvarmeforbrug.**

### 3. Solvarmeanlæggets prøvningsbetingelser

#### Prøvningsbetingelser:

Der tappes brugsvand tre gange dagligt kl.: 7:00, 12:00, 19:00. Aftapningen sker i tre lige store energimængder á 1,525 kWh, i alt svarende til 100 l/dag opvarmet fra 10 °C til 50 °C. Det svarer til en daglig tapning på 4,575 kWh. Temperaturen i toppen af lagertanken holdes på 53 °C.

#### Testperioder:

Solvarmeanlægget er installeret i april 2001 og der er foretaget målinger på anlægget fra april til juni.

Anlægget er prøvet med rumvarmeforbrug i dagene 13. juni til 15. juni 2001. Forbruget er en funktion af udetemperaturen og tilpasset således at forbruget ligger i kedlens moduleringsinterval. Forbruget finder sted fra formiddag før kl. 10 til eftermiddag efter kl. 14.

En EDB-model af solvarmeanlægget inklusive naturgaskedlen er opbygget. Modellen kan dog ikke tage perioder med rumvarmebehov i beregning.

Der er udvalgt en periode til at validere EDB-modellen af solvarmeanlægget med. Perioden løber fra 6. april til 17. april 2001.

Perioden er valgt ud fra følgende krav:

- Der skal være varierende solindfald på solfangerne. Derved undgås systematiske fejl i EDB-modellen.
- Tapningen af brugsvand fra anlægget skal være uden fejl.

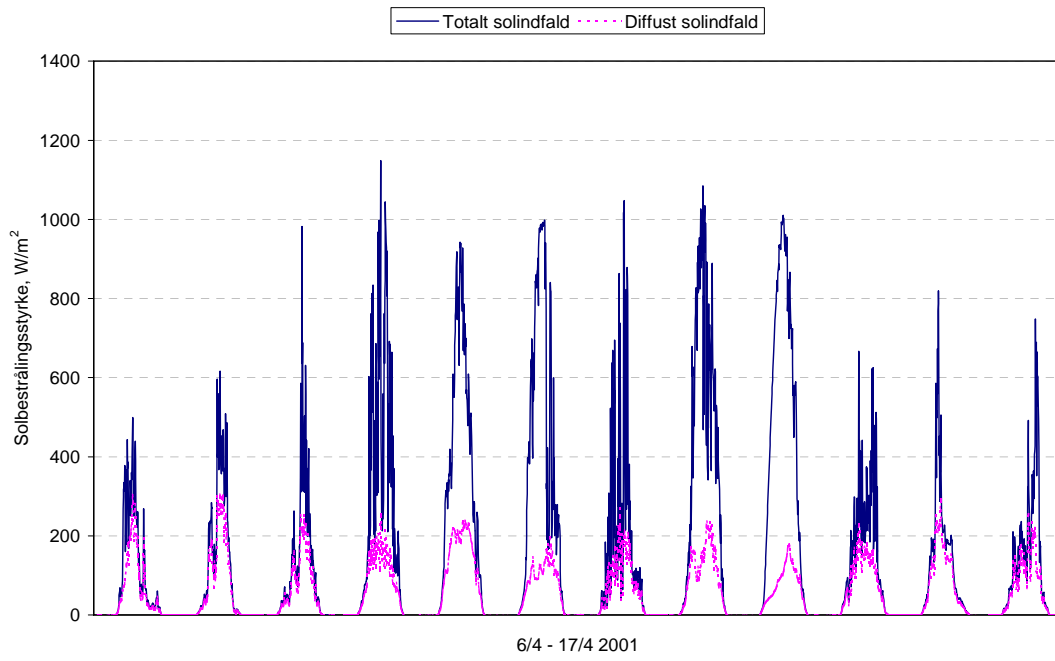
I Figur 3-1 ses solbestrålingsstyrken for perioden 6/4 – 17/4 2001. Det ses at bestrålingsstyrken som ønsket varierer meget.

Figur 3-2 viser udeluftens og indeluftens temperatur og Figur 3-3 viser den dagligt tappede energimængde fra lagertanken i perioden 6/4 – 17/4 2001. Det ses at den tappede energimængde, som ønsket, ligger nær 4,575 kWh/dag.

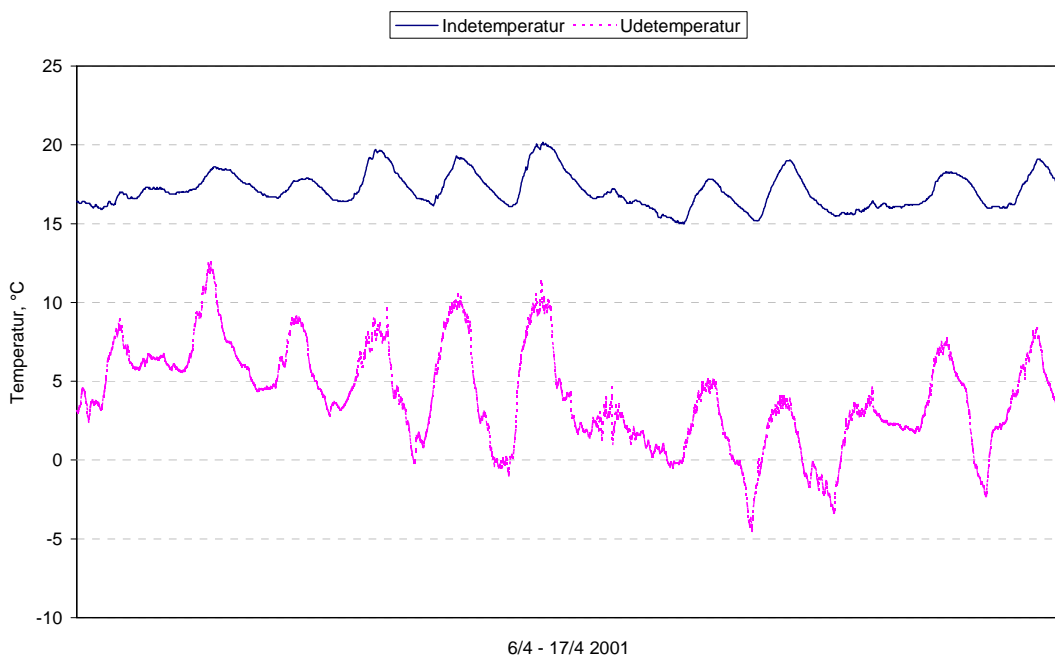
I Figur 3-4 ses solbestrålingsstyrken for perioden 13/6 – 15/6 2001.

Figur 3-5 viser udeluftens og indeluftens temperatur og Figur 3-6 viser den dagligt tappede energimængde fra lagertanken i perioden 13/6 – 15/6 2001. Det ses at den tappede energimængde, som ønsket, ligger nær 4,575 kWh/dag.

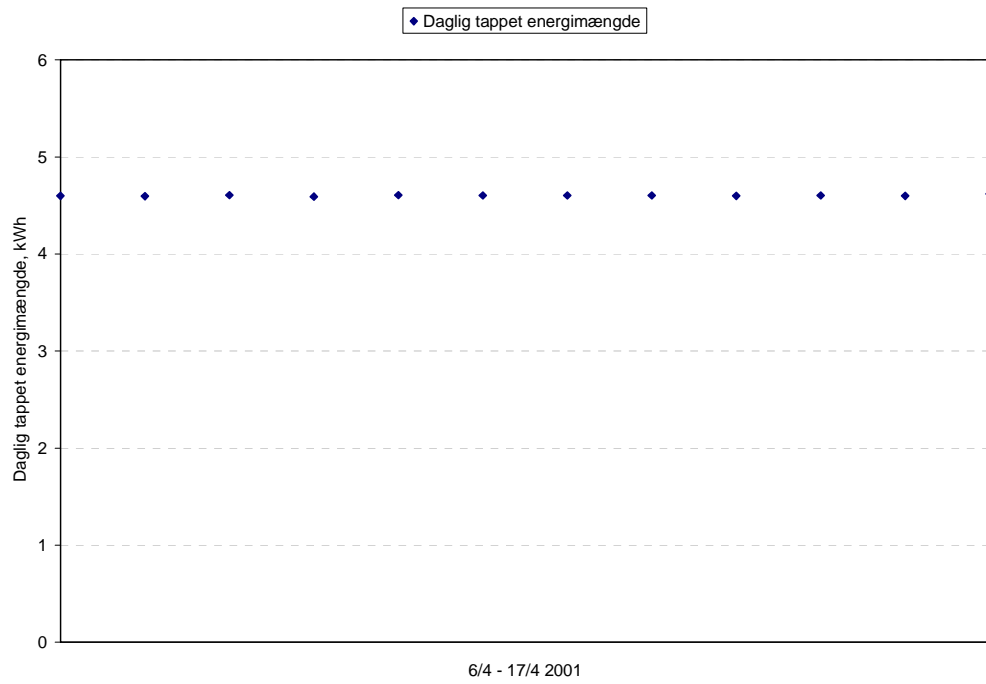




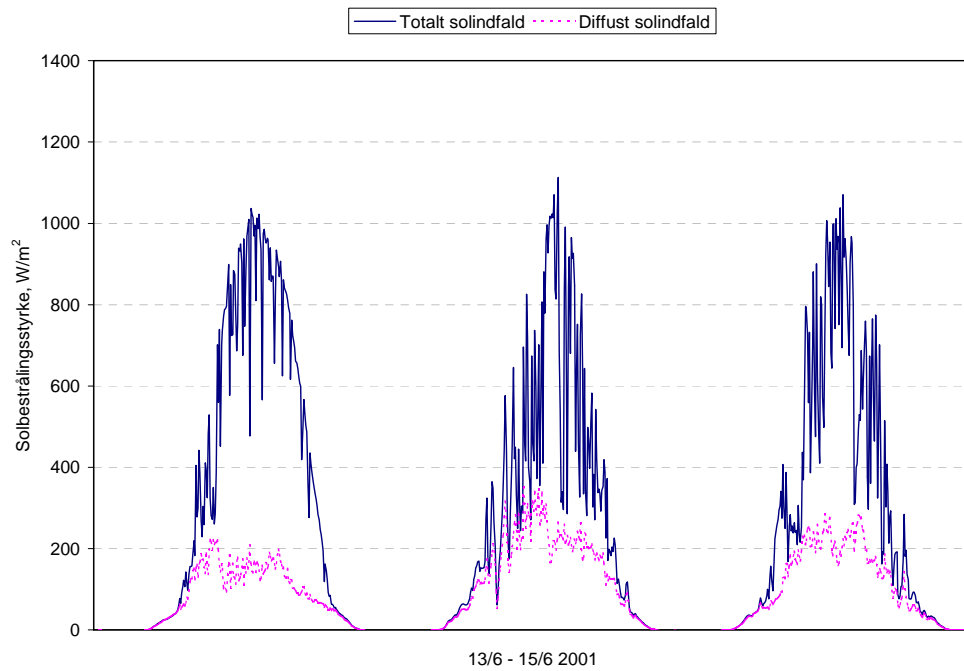
Figur 3-1: Totalt og diffust solindfald i perioden.



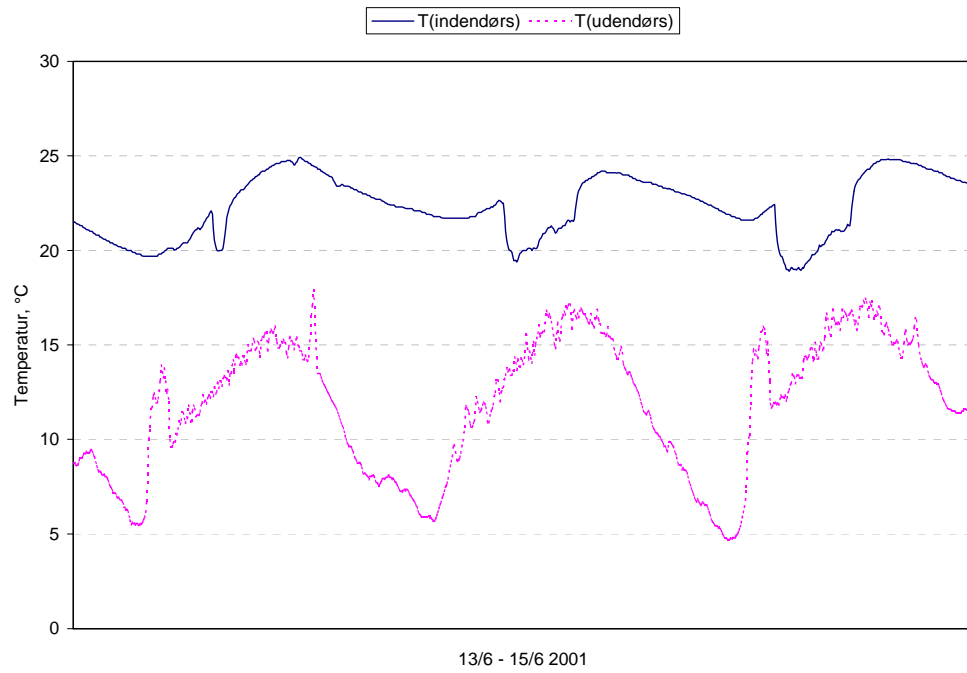
Figur 3-2: Udendørs og indendørs lufttemperatur i perioden.



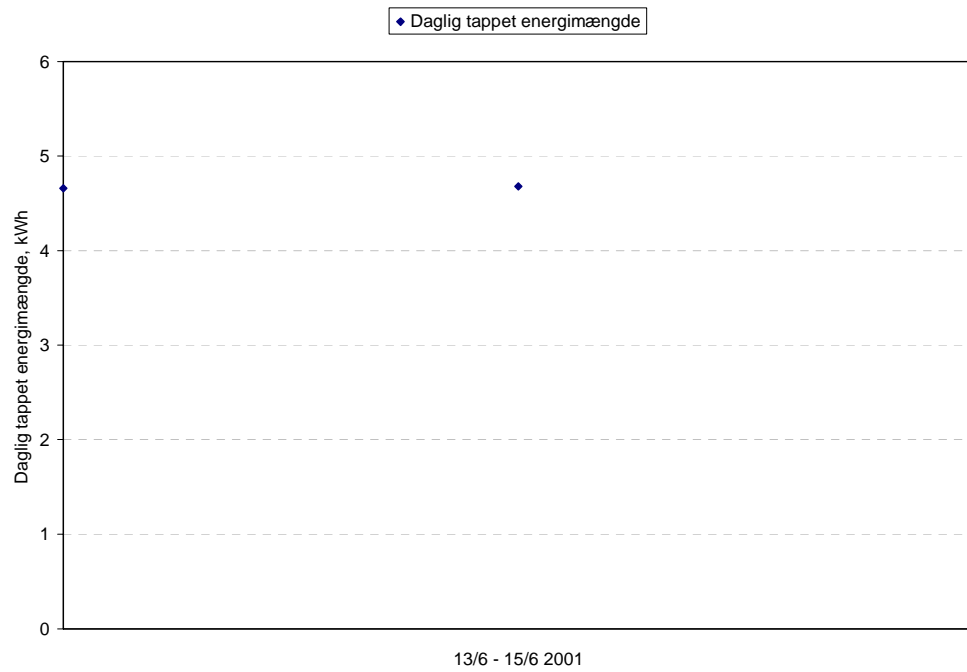
Figur 3-3: Daglig tappet energimængde fra lageret i perioden.



Figur 3-4: Totalt og diffust solindfald i perioden.



Figur 3-5: Udendørs og indendørs lufttemperatur i perioden.



Figur 3-6: Daglig tappet energimængde fra lageret i perioden.

## 4. Prøvning og validering af EDB-model for solvarmeanlægget

### 4.1 Måledata

I Figur 2-1 er målepunkterne i anlægget vist.

Der er syv målepunkter i lagertanken hvoraf de tre er vist i Figur 2-1. Målepunkterne er anbragt i en glasstav, som er indført i beholderen gennem bunden. Målepunkternes placering i tanken fremgår af Tabel 4-1.

Målepunkter i lagertanken	Målepunkter jvf. Figur 2-1	Afstand fra bunden af tanken [mm]
G1	T7	1315
G2	-	1106
G3	-	900
G4	T6	688
G5	-	477
G6	-	270
G7	T5	90

**Tabel 4-1: Placering af temperaturfølere i lagertanken.**

I Tabel 4-2 er følgende værdier angivet: Totalt solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme overført til lageret, suppleringsvarme overført til rumvarmekredsen, energi tappet fra lageret, energiforbrug til cirkulationspumperne i solfangerkredsen og suppleringskredsen samt energiforbrug til styresystemet, nettoydelse (=tappet energimængde fra lagertank+supplerende energimængde til lagertank), anlægssydelse (=tappet energimængde fra lagertank+supplerende energimængde til lagertank+energiforbrug til pumper og styresystem), nettodækningsgrad (=nettoydelse/tappet energimængde fra lagertank), anlægsdækningsgrad (=anlægssydelse /tappet energimængde fra lagertank) samt soludnyttelsen (=nettoydelse/solindfald på solfanger).

Det supplerende energiforbrug er bestemt ud fra det målte gasforbrug og energiindholdet for gassen. Der er anvendt metangas ved prøvningen, og der er regnet med et energiindhold for gassen på 9,969 kWh/nm<sup>3</sup> idet den nedre brændværdi for metangas er benyttet.

Normalt indgår kedlens energiforbrug ikke i nettoydelsesbetragtninger jvf. ovenstående definition af nettoydelsen. Imidlertid er den energimængde der overføres fra kedlen til lagertanken ikke målt. Det er kun kedlens gasforbrug der er målt. Derfor er de supplerende energiforbrug reelt mindre og ydelserne reelt større end angivet i Tabel 4-2.

Periode 2001	Solind- fald	Solvarme til lager	Suppl. varme til lager	Suppl. varme til rumvarme- kreds	Energi tappet fra lager	Energi til pumper og styresystem	Netto- ydelse	Anlægs- ydelse	Netto- dæknings- grad	Anlægs- dæknings- grad	Solud- nyttelse
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]	[%]	[%]
6/4-17/4	123	40	34	-	55	6	21	15	38	27	17
13/6-15/6	52	20	0	168	14	4	14	10	100	71	27

**Table 4-2: Measured values for the plant. The plant has in the period 6/4 - 17/4 run as a solar storage plant without room heating consumption and in the period 13/6 - 15/6 as a solar and room heating plant.**

## 4.2 EDB-model af solvarmeanlægget

Til bestemmelse af årlige ydelser samt forbedringsmuligheder for solvarmeanlægget er en EDB-model af anlægget udformet. Modellen bruges i det detaljerede simuleringsprogram, der er omtalt i /2/. Modellen valideres med målte data fra perioden 6/4 – 17/4 2001. I det følgende er input til EDB-modellen beskrevet:

### Solfangerkredsen:

Effektivitetsudtrykket for solfangeren er, ved målinger på DTU.BYG, bestemt til

$$\eta = 0,73 - 3,78 \cdot (T_m - T_a) / G - 0,0144 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$$

hvor

$\eta$	er solfangereffektiviteten	[-]
$T_m$	er solfangervæskens middeltemperatur	[°C]
$T_a$	er den omgivende lufts temperatur	[°C]
$G$	er bestrålingsstyrken på solfangeren	[W/m <sup>2</sup> ]

Prøvningen er udført under standardbetingelser (ISO 9806-1.2) med en lufthastighed over solfangeren på 2-4 m/s samt et flow i solfangerkredsen på 0,15 l/min pr. m<sup>2</sup> solfanger, svarende til low flow drift.

Simuleringsprogrammet benytter ikke det egentlige effektivitetsudtryk, men et lineariseret udtryk ved en temperaturdifferens på 50 K. Med denne tilføjelse bliver det målte og korrigerede effektivitetsudtryk:

$$\eta = 0,73 - 4,5 \cdot (T_m - T_a) / G$$

Effektivitetens vinkelafhængighed, i forhold til solindfaldet, bestemmes af følgende udtryk:

$$k_g = 1 - (\tan(i/2))^{3,9}$$

hvor

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

Væsken i solfangerkredsen er en propylenglykol/vand-blanding med 40,4 vægt% propylenglykol.

Volumenstrømmen i solfangerkredsen er ud fra målingerne bestemt til:

$$0,16 \text{ l/min/m}^2$$

Rørene i solfangerkredsen består af 11,2 m fremløbsrør til lageret, og 9,7 m returrør fra lageret. Heraf er 8,6 m hhv. 8,1 m indendørs. Rørene mellem solfanger og kabinet er 12/10 mm WICU EXTRA kobberrør. Rørene i kabinettet er 15/13 mm kobberrør og isoleret med INSUL TUBE. WICU EXTRA isoleringen har en  $\lambda$ -værdi på 0,026 W/(m·K) og INSUL TUBE isoleringen en  $\lambda$ -værdi på 0,040 W/(m·K).

Undersøgelsen af unitten /4/ viser at unitten har en varmetabskoefficient på 6,2 W/K mens lagertanken har en varmetabskoefficient på 2,7 W/K. Forskellen i varmetabskoefficient er tillagt rørføringen i solkredsen fordelt med 40% på fremløb fra solfanger til lagertank og 60% på returløb fra lagertank til solfanger. Fordelingen af den ekstra varmetabskoefficient i solkredsen er skønnet ud fra hvor de fleste dårligt isolerede eller uisolerede enkeltkomponenter er monteret i rørføringen i unitten.

Pumpen i solfangerkredsen har et effektforbrug på 30 W. Solfangerkredsen styres af en differenstermostat med et start/stop setpunkt på 5/2 K.

#### Lageret:

Beholderen har et volumen på 254 liter med en indvendig højde/diameter på 1,465 m/0,494 m=2,97. Kappen har et volumen på 13,8 liter med en indvendig bredde/højde på 0,0105 m/0,800 m. Godstykkelsen for beholderen er overalt 3 mm mens godstykkelsen på kappen er 2 mm. Beholderen er i toppen isoleret med 80 mm, i bunden med 0-30 mm, og på siderne med 37,5-50 mm hårdt PUR-skum. Isoleringens  $\lambda$ -værdi anslås til 0,035W/(m·K).

I simuleringerne er anvendt er effekt på 13 kW for varmevekslerspiralen. Setpunktet for termostaten i toppen af lageret er 53°C.

Startværdien for temperaturen i lagertanken er 20 °C.

#### Gaskedlen:

Moderne styringsteknik gør det muligt at styre gas- og lufttilførslen til brænderen således at forbrændingen er optimal i hele brænderens moduleringsområde. Dette sikrer en optimal energiudnyttelse, uanset om brænderen arbejder meget (vinter) eller lidt (sommer).

Alligevel er der forskel på hvor godt den forbrugte gas udnyttes hen over året. I praksis svinger nyttevirkningen, dvs. den del af den tilførte gas som nyttiggøres som varmt vand i lagertanken og/eller varme i radiatorerne hen over året. Typisk haves den bedste nyttevirkning i kolde perioder med rumvarmeforbrug og den dårligste nyttevirkning i varme perioder uden rumvarmeforbrug.

Kedlen og rørføringen i kedlen er uisoleret. Det bevirker at en del af den varme der produceres i kedlen ikke overføres til lagertanken, men tabes til omgivelserne i kedlens driftsperioder.

Efter endt opvarmning overføres en del af den energimængde der ligger i kedlen og kedelkredsen til vandet i lagertanken i kedlens efterkøringstid.

Vandet i kedlen og kedelkredsen afkøles imidlertid kun til temperaturniveauet i toppen af lagertanken hvorefter den resterende energimængde der levnes i kedlen og kedelkredsen tabes til omgivelserne. Gaskedlen har et vandvolumen på 3,5 liter og størrelsen af kedlens vandvolumenet er afgørende for størrelsen af det her omtalte varmetab.

I varme perioder uden rumvarmeforbrug udgør tabet fra kedlen og kedelkredsen således en større del af det samlede energiforbrug mens tabet i kolde perioder med rumvarmeforbrug, hvor driftsperioderne er længere og hyppigere, udgør en mindre del af det samlede energiforbrug.

For at få en ide om størrelsen af tabet fra kedlen og kedelkredsen er energibalancen for en udvalgt dag opstillet. Energibalancen er opstillet for forskellige perioder den 6. april 2001. Energibalancen er udtrykt ved følgende størrelser:

$$Q_{sol} + Q_{suppl} + Q_{tap} + \Delta Q + Q_{tab} = 0$$

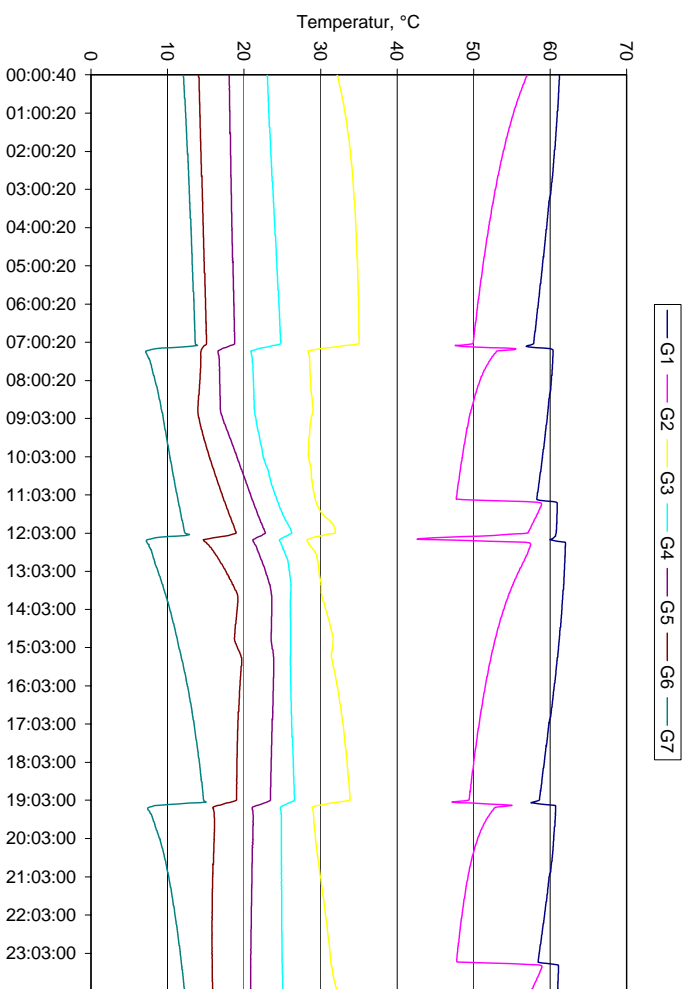
hvor

<b>Q<sub>sol</sub></b>	Solenergi tilført lagertanken, målt	[kWh]
<b>Q<sub>suppl</sub></b>	Supplerende energimængde tilført lagertanken (= energiindholdet i det målte gasforbrug hvor den nedre brændværdi for metangassen på 9,969 kWh/nm <sup>3</sup> er benyttet)	[kWh]
<b>Q<sub>tap</sub></b>	Energimængde tappet fra lagertanken, målt	[kWh]
<b>ΔQ</b>	Energiændringen i lagertanken defineret som: energiindholdet i lagertanken ved start af den betragtede periode ÷ energiindholdet i lagertanken ved afslutning af den betragtede periode. Energiindholdet er beregnet på grundlag af de 7 målte temperaturer, G1 – G7 i lagertanken.	[kWh]
<b>Q<sub>tab</sub></b>	Varmetab fra unitten, beregnet ud fra de 4 øvrige energimængder.	[kWh]

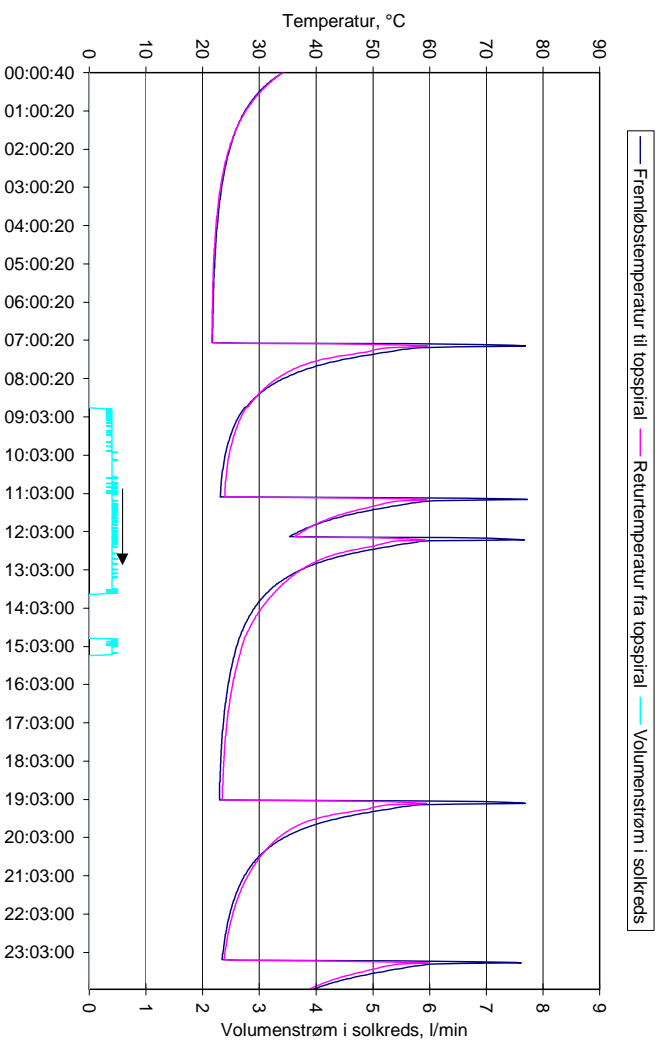
Figur 4-1 viser temperaturerne i lagertanken den 6. april 2001 mens Figur 4-2 viser volumenstrømmen i solkredsen samt kedlens driftsperioder udtrykt ved fremløbstemperaturen til og returtemperaturen fra spiralen i toppen af lagertanken den 6. april 2001.

Tabel 4-3 viser energibalancen for forskellige perioder.





Figur 4-1: Temperaturer i lagerbanken den 6. april 2001.



Figur 4-2: Temperaturer i suppleringskredsen samt volumenstrøm i solkredsen den 6. april 2001.

Periode med	Periode start	Periode slut	Solenergi tilført lageret	Energi tappet fra lageret	Suppl. energimængde tilført lageret (= målt gasforbrug)	Energiændring i lageret	Varmetab fra unitten	Varmetab fra unitten
	[tid]	[tid]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[W]
Stilstand	00:00	07:00	0	0	0	0,03	0,03	4
Tapning og kedel-opvarmning	07:01	07:17	0	1,55	1,13	0,70	0,28	1000
Stilstand og sol	07:18	11:08	0,48	0	0	-0,43	0,05	13
Kedel-opvarmning og sol	11:09	11:17	0,05	0	0,87	-0,62	0,30	2000
Sol	11:18	12:00	0,28	0	0	-0,26	0,02	28
Tapning, kedel-opvarmning og sol	12:01	12:20	0,12	1,53	1,03	0,61	0,23	690
Sol	12:21	19:00	0,34	0	0	-0,44	-0,10	-18
Tapning og kedel-opvarmning	19:01	19:17	0	1,52	1,15	0,67	0,30	1059
Stilstand	19:18	23:14	0	0	0	-0,01	-0,01	-3
Kedel-opvarmning	23:15	23:23	0	0	0,87	-0,58	0,29	1933
Stilstand	23:24	24:00	0	0	0	0,02	0,02	32

**Table 4-3: Energibalace for forskellige perioder den 6. april 2001. Alle energistørrelserne i tabellen er målt eller beregnet på grundlag af målte størrelser.**

Af tabellen fremgår det at tabet fra unitten hver gang kedlen er i drift er ca. 0,3 kWh svarende til ca. 2000 W. Varmetabet for unitten udtrykt i W er ikke det samme i alle perioder med kedeldrift. Det skyldes at perioderne som betragtes har forskellige længder, som f.eks. når kedlen starter i forbindelse med en tapning. Ved opstilling af energibalancen er der inkluderet en efterkøringstid for kedlen på 3 minutter i perioder hvor kedlen er i drift. Den tilførte effekt fra kedlen når kedlen kun leverer varme til lagertanken er ca. 13000 W. Dermed udgør tabet ca. 15% af det samlede energiforbrug og kedlens nyttevirkning er dermed ca. 85% i en periode uden rumvarmeforbrug.

Derfor er der i EDB-modellen af solvarmeanlægget, som anvendes til validering af målingerne, tillagt et varmetab fra kedlen i drift på 2000 W, svarende til en kedelnyttvirkning på 85%.

I en tidligere projekt er der målt på en lignende unit fra Nilan A/S med en gaskedlen af samme type som gaskedlen der måles på i dette projekt. Den eneste forskel på de to units er at solvarmen ikke kan tilføres rumvarmekredsen i den tidligere undersøgte unit /5/. Målingerne viste at gaskedlens nyttevirkning varierede fra ca. 90% om vinteren til ca. 84% om sommeren.

I de efterfølgende simuleringer af årsydelsen for et solvarmeanlæg baseret på den afprøvede unit er der taget højde for kedlens varierende nyttevirkning hen over året, jvf. /5/. Tabel 4-4 viser de kedelnyttvirkninger som er anvendt ved simulering af årsydelsen med den validerede EDB-model.

Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.
90%	89%	89%	87%	86%	84%	85%	85%	89%	90%	90%	90%

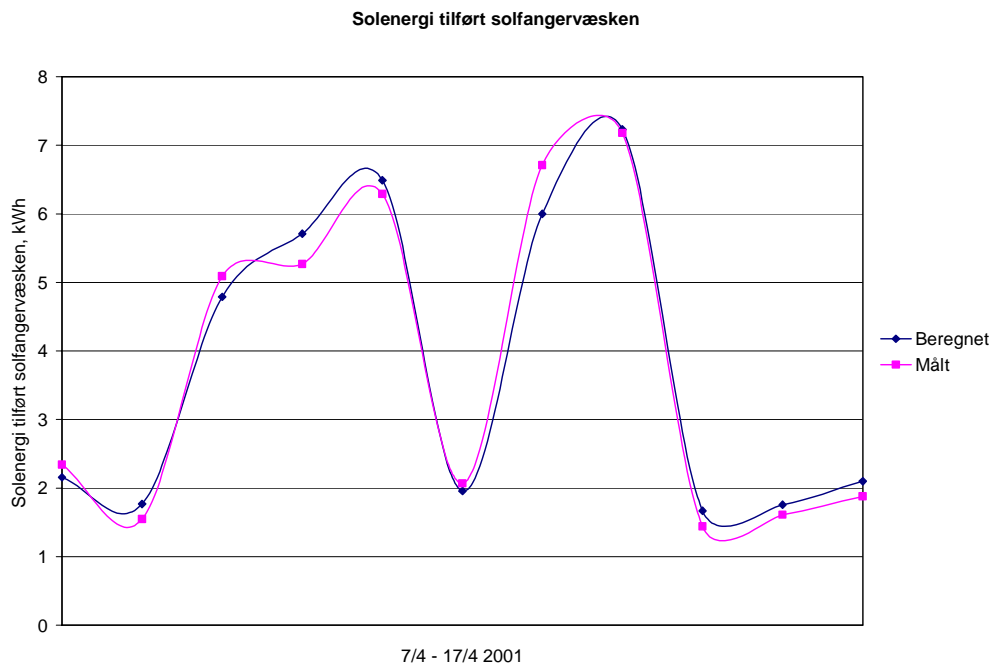
**Tabel 4-4: Kedlens beregningsmæssige nyttevirkning måned for måned, anvendt ved årssimuleringerne med den validerede EDB-model.**

### 4.3 Validering af EDB-model

Formålet med valideringen af EDB-modellen er, at udforme en model der svarer så godt til solvarmeanlægget, at man kan beregne anlæggets årsydelse. Desuden kan modellen benyttes til at undersøge, hvorledes ændringer i anlægsudformningen påvirker ydelsen.

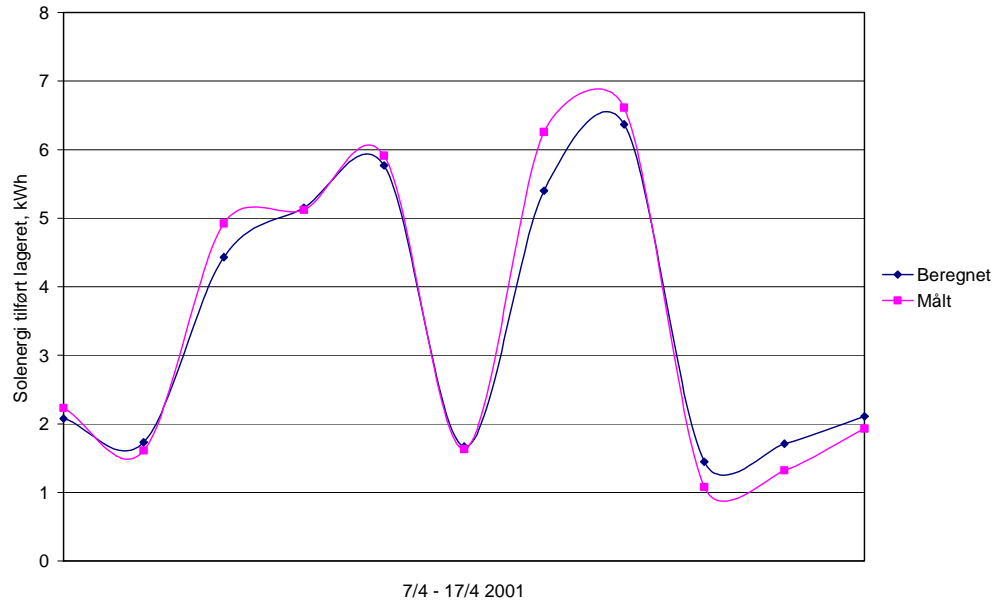
EDB-modellen af anlægget valideres mod målte energistørrelser og temperaturer. Energi størrelserne er som følger: Solvarme tilført solfangervæsken, solvarme tilført lageret, supplerende varme tilført lageret, energimængde tappet fra lageret og anlæggets nettoydelse. De målte temperaturer der benyttes til valideringen er: Solfangervæskens fremløbstemperatur til solfangeren (T4), solfangervæskens returtemperatur fra solfangeren (T1), solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2) og solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3). Angivelserne i parenteserne refererer til signaturerne i Figur 2-1.

I Figur 4-3 ses den målte og beregnede daglige energitilførsel, i solfangeren, til solfangervæsken. Figur 4-4 viser den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangervæsken til lageret. I Figur 4-5 ses den målte og beregnede daglige supplerende energimængde tilført lageret, og Figur 4-6 viser den målte og beregnede daglige tappede energimængde. Endelig viser Figur 4-7 den målte og beregnede daglige nettoydelse for anlægget. Det fremgår, at den første dag i forsøgsperioden ikke er medtaget i graferne. Det skyldes, at denne dag benyttes som en beregningsmæssig indsvingningsperiode.



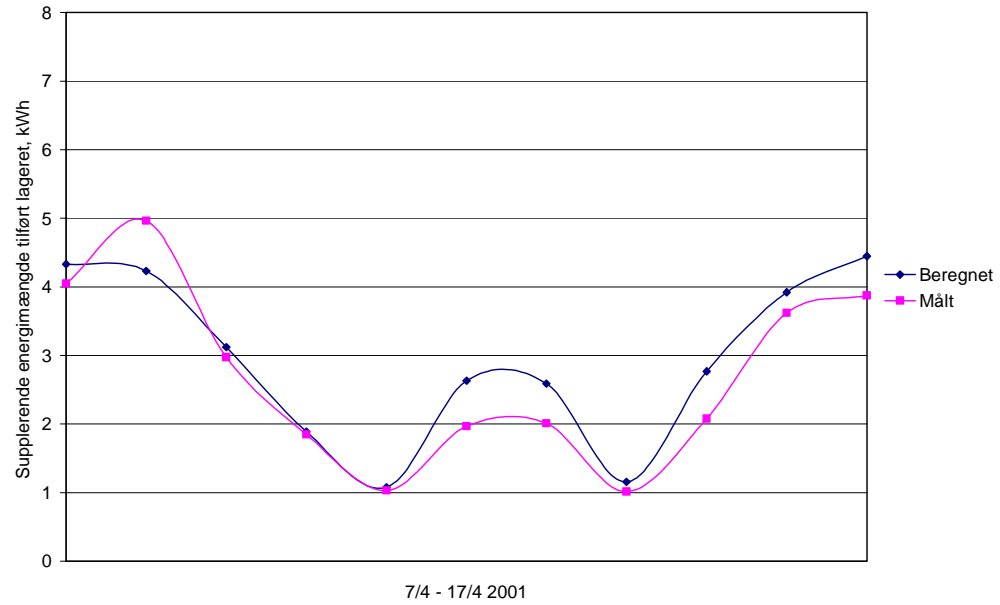
**Figur 4-3: Solenergi tilført solfangervæsken i solfangeren.**

Solenergi tilført lageret

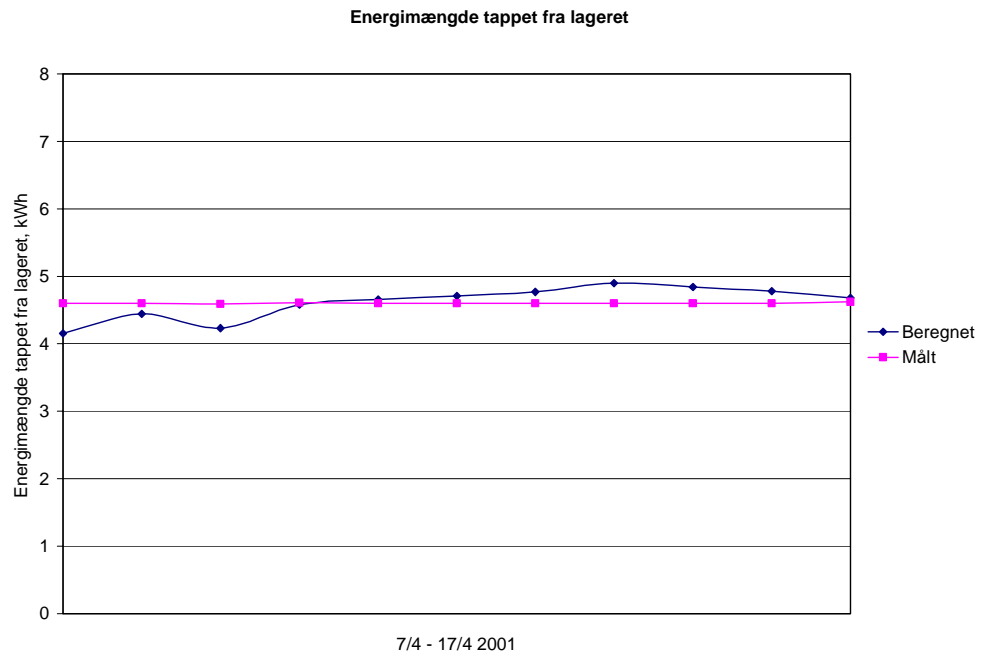


Figur 4-4: Solenergi tilført lageret .

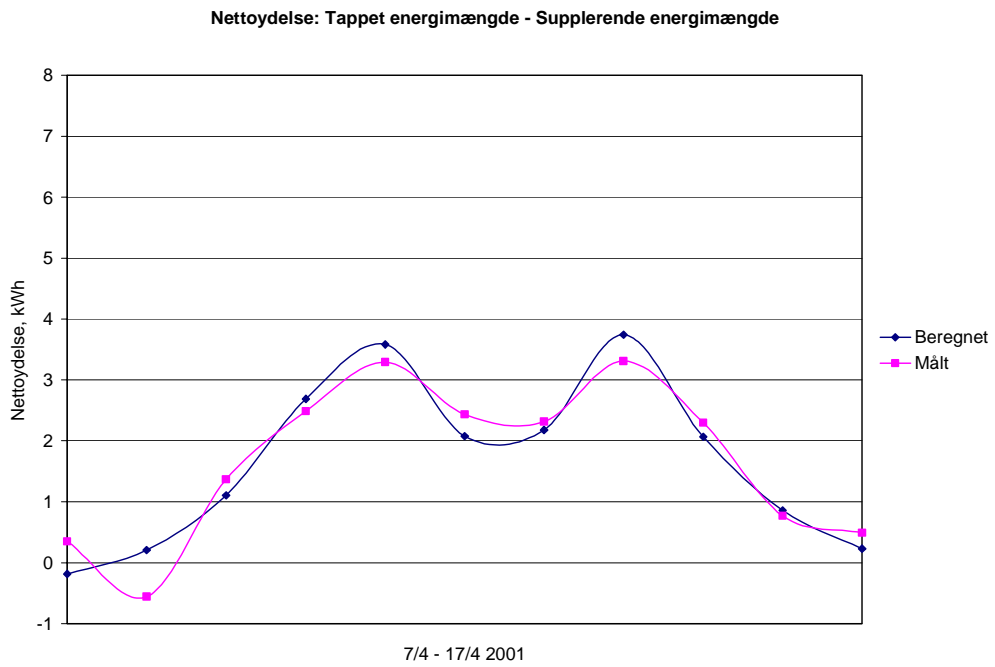
Supplerende energimængde tilført lageret



Figur 4-5: Supplerende energi tilført lageret.



**Figur 4-6: Energimængde tappet fra lageret.**



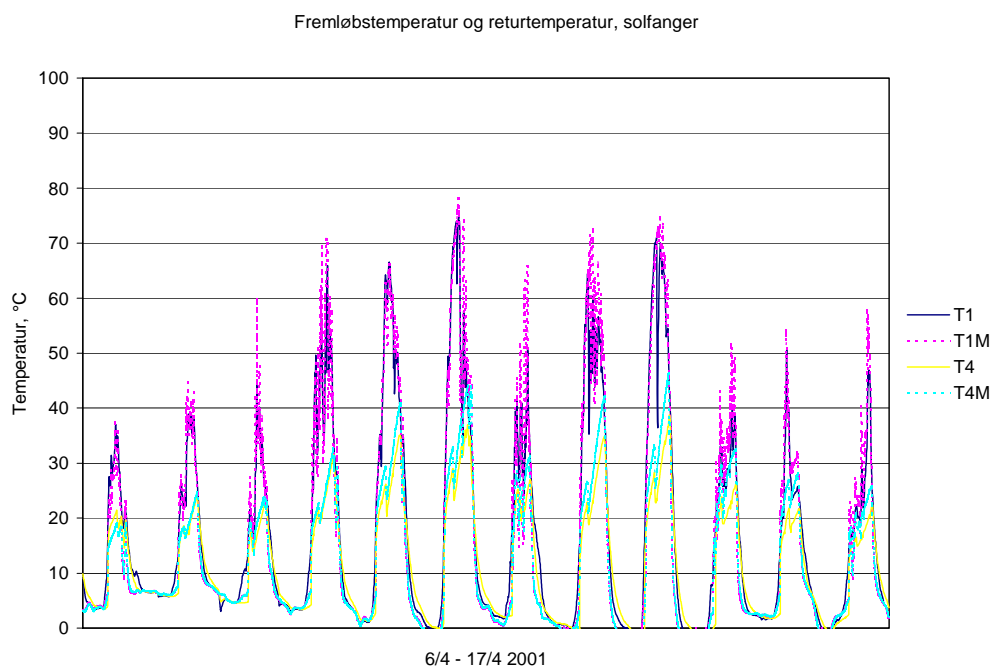
**Figur 4-7: Nettoyedelse for anlægget.**

Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser. I Tabel 4-5 er energimængderne summeret over hele perioden, og det fremgår heraf, at forskellene ligger inden for måleusikkerhederne på energistørrelserne, jvf. /1/.

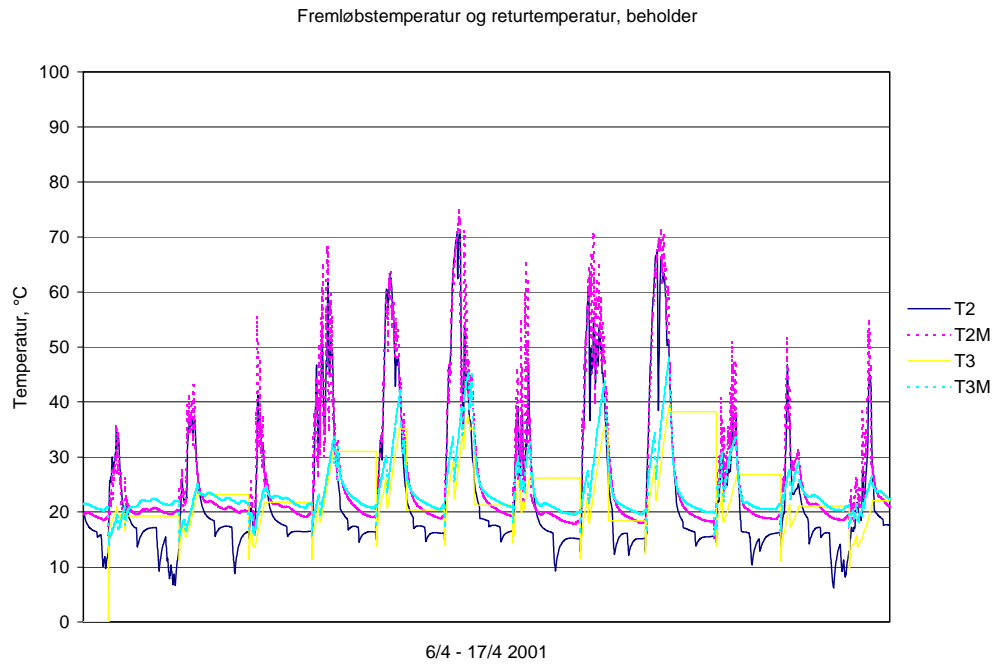
	Solvarme tilført solfangervæsken [kWh]	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende energi tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Nettoydelse [kWh]
Målt	41,4	37,9	32,0	50,6	18,6
Beregnet	41,6	38,6	32,2	50,7	18,6
Afvigelse [%]	-0,5	-1,9	-0,6	-0,2	0

**Tabel 4-5: Summerede energimængder over forsøgsperioden, målt og beregnet.**

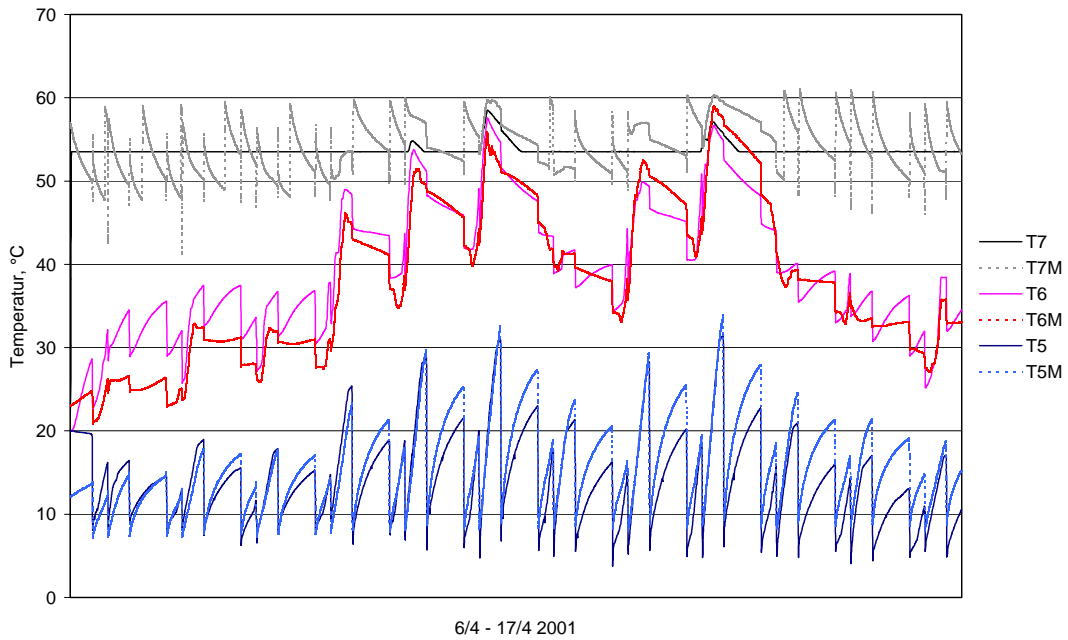
Figur 4-8 og Figur 4-9 viser de målte og beregnede fremløbstemperaturer og returtemperaturer for hhv. solfanger og lager. Figur 4-10 viser de målte og beregnede temperaturer i toppen, midten og bunden af lageret. Sammenligningen af temperaturerne viser, at temperaturniveauet og dynamikken stemmer godt 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 de danske referencevejrdata TRY /3/.



**Figur 4-8: Fremløbstemperatur til solfangeren og returtemperatur fra solfangeren. Signaturerne i figuren svarer til signaturerne i Figur 2-1.**



**Figur 4-9: Frømløbstemperatur til lageret og returtemperatur fra lageret. Signaturereme i figuren svarer til signaturereme i Figur 2-1.**



**Figur 4-10: Lagertemperaturer. Signaturereme i figuren svarer til signaturereme i Figur 2-1.**



#### 4.4 Årsydelse for anlægget

I det følgende beregnes anlæggets årsydelse. Modellen beskrevet i afsnit 4.2 anvendes med den ændring, at koldt vandstemperaturen er konstant 10°C (før blev den målte koldt vandstemperatur benyttet).

Beregningerne udføres for følgende tre driftssituationer. For alle driftssituationer gælder at der foretages tre lige store tapninger kl.: 7:00, 12:00, 19:00.

1. Der tappes 100 l/dag. Det varme brugsvand tappes ved 50 °C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 50,5 °C.
2. Der tappes 160 l/dag. Det varme brugsvand tappes ved 50 °C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 50,5 °C.
3. Der tappes 200 l/dag. Det varme brugsvand tappes ved 45 °C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5 °C.

I Tabel 4-6 til Tabel 4-8 er følgende månedlige værdier gengivet: Totalt solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, supplerende energi til gaskedlen (bruttoforbrug), supplerende energi overført til lageret (nettoforbrug), energi tappet fra lageret, energiforbrug til cirkulationspumpen i solfangerkredsen, energiforbrug til styresystemet, nettoydelse (=tappet energimængde fra lageret+supplerende energimængde tilført lageret), anlægsydelse (=tappet energimængde fra lageret+supplerende energimængde tilført lageret+energiforbrug til pumpe og styresystem), nettodækningsgrad (=nettoydelse/tappet energimængde fra lageret) samt anlægsdækningsgrad (=anlægsydelse/tappet energimængde fra lageret).

	Solindfald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. energi til gaskedel [kWh]	Suppl. energi til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styre- system [kWh]	Netto- ydelse [kWh]	Anlægs- ydelse [kWh]	Netto- dæknings- grad [%]	Anlægs- dæknings- grad [%]
Jan.	74	20	160	143	142	1,4	1,3	-1	-4	-0,7	-2,8
Feb.	165	51	112	100	128	2,6	1,2	28	24	21,9	18,8
Mar.	208	64	118	105	142	4,0	1,4	37	32	26,1	22,5
Apr.	374	124	63	55	138	6,8	1,5	83	75	60,1	54,4
Maj	439	150	37	32	142	7,9	1,6	110	101	77,5	71,1
Juni	497	169	24	20	138	8,3	1,5	118	108	85,5	78,3
Juli	440	156	33	28	142	8,8	1,6	114	104	80,3	73,2
Aug.	419	159	34	29	142	8,2	1,6	113	103	79,6	72,5
Sep.	299	117	61	54	138	6,8	1,5	84	76	60,9	55,1
Okt.	190	72	105	95	142	5,0	1,4	47	41	33,1	28,9
Nov.	107	37	135	122	138	2,8	1,3	16	12	11,6	8,7
Dec.	95	31	147	133	142	2,2	1,3	9	6	6,3	4,2
<b>Totalt</b>	<b>3307</b>	<b>1150</b>	<b>1029</b>	<b>916</b>	<b>1674</b>	<b>65,0</b>	<b>17,2</b>	<b>758</b>	<b>678</b>	<b>45,3</b>	<b>40,5</b>

Tabel 4-6: Beregnede månedlige energimængder for anlægget med 2,78 m<sup>2</sup> solfanger og tapning af 100 liter/dag ved 50°C.

Det ses, at anlægget i driftssituation 1 har en årlig nettoydelse på 758 kWh og en årlig anlægsydelse på 678 kWh. De to ydelser svarer til dækningsgrader på hhv. 45,3% og 40,5%.

	Solindfald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. energi til gaskedel [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styre- system [kWh]	Netto- ydelse [kWh]	Anlægs- ydelse [kWh]	Netto- dæknings grad [%]	Anlægs- dæknings grad [%]
Jan.	74	22	249	224	228	1,4	1,3	4	1	1,8	0,4
Feb.	165	57	187	167	206	2,7	1,2	39	35	18,9	17,0
Mar.	208	72	199	177	228	4,4	1,4	51	45	22,4	19,7
Apr.	374	146	122	106	220	7,2	1,5	114	105	51,8	47,7
Maj	439	177	96	83	228	8,7	1,6	145	135	63,6	59,2
Juni	497	208	61	51	220	9,5	1,6	169	158	76,8	71,8
Juli	440	190	82	70	228	10,1	1,7	158	146	69,3	64,0
Aug.	419	190	85	73	228	9,3	1,6	155	144	68,0	63,2
Sep.	299	137	124	110	220	7,4	1,5	110	101	50,0	45,9
Okt.	190	83	183	165	228	5,5	1,4	63	56	27,7	24,6
Nov.	107	42	218	196	220	3,0	1,3	24	20	12,2	9,1
Dec.	95	34	235	211	228	2,3	1,3	17	13	7,5	5,7
<b>Totalt</b>	<b>3307</b>	<b>1358</b>	<b>1841</b>	<b>1633</b>	<b>2682</b>	<b>71,5</b>	<b>17,4</b>	<b>1049</b>	<b>959</b>	<b>39,1</b>	<b>35,8</b>

**Tabel 4-7: Beregnede månedlige energimængder for anlægget med 2,78 m<sup>2</sup> solfanger og tapning af 160 liter/dag 50°C.**

Det ses, at anlægget i driftssituation 2 har en årlig nettoydelse på 1049 kWh og en årlig anlægsydelse på 959 kWh. De to ydelser svarer til dækningsgrader på hhv. 39,1% og 35,8%.

	Solindfald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. energi til gaskedel [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styre- system [kWh]	Netto- ydelse [kWh]	Anlægs- ydelse [kWh]	Netto- dæknings grad [%]	Anlægs- dæknings grad [%]
Jan.	74	23	266	239	249	1,4	1,3	10	7	4,0	2,8
Feb.	165	59	201	179	225	2,8	1,2	46	42	20,4	18,7
Mar.	208	75	213	189	249	4,5	1,4	60	54	24,1	21,7
Apr.	374	153	129	112	241	7,4	1,5	129	120	53,5	49,8
Maj	439	187	101	87	249	9,1	1,6	162	151	65,1	60,6
Juni	497	221	63	53	241	9,9	1,6	188	177	78,0	73,4
Juli	440	203	84	72	249	10,6	1,7	177	165	71,1	66,3
Aug.	419	202	88	75	249	9,7	1,6	174	163	69,9	65,5
Sep.	299	145	131	117	241	7,6	1,5	124	115	51,5	47,7
Okt.	190	88	196	176	249	5,6	1,5	73	66	29,3	26,5
Nov.	107	43	234	210	241	3,0	1,3	31	27	12,9	11,2
Dec.	95	35	251	226	249	2,4	1,3	23	19	9,2	7,6
<b>Totalt</b>	<b>3307</b>	<b>1434</b>	<b>1957</b>	<b>1735</b>	<b>2932</b>	<b>74,0</b>	<b>17,5</b>	<b>1197</b>	<b>1106</b>	<b>40,8</b>	<b>37,7</b>

**Tabel 4-8: Beregnede månedlige energimængder for anlægget med 2,78 m<sup>2</sup> solfanger og tapning af 200 liter/dag 45°C.**

Det ses, at anlægget i driftssituation 3 har en årlig nettoydelse på 1197 kWh og en årlig anlægsydelse på 1106 kWh. De to ydelser svarer til dækningsgrader på hhv. 40,8% og 37,7%.

Den højere årlige ydelse for anlægget ved tapning af en større mængde varmt brugsvand pr. dag ved en lavere temperatur skyldes både det forøgede varmtvandsforbrug og det lavere, og dermed gunstigere temperaturniveau ved hvilket tapningen foregår.

Årsydelsen er også beregnet for anlægget med et solfangerareal på 5 m<sup>2</sup> som passer til lagertankens størrelse. Beregningerne er foretaget for de tre nævnte driftssituationer.

I Tabel 4-9 er følgende årlige værdier gengivet: Totalt solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, supplerende energi til gaskedlen (bruttoforbrug), supplerende energi overført til lageret (nettoforbrug), energi tappet fra lageret, energiforbrug til cirkulationspumpen i solfangerkredsen, energiforbrug til styresystemet, nettoydelse (=tappet energimængde fra lageret+supplerende energimængde tilført lageret), anlægsydelse (=tappet energimængde fra lageret+supplerende energimængde tilført lageret+energiforbrug til pumpe og styresystem), nettodækningsgrad (=nettoydelse/tappet energimængde fra lageret) samt anlægsdækningsgrad (=anlægsydelse/tappet energimængde fra lageret).

Driftssituation	Solindfald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Suppl. energi til gaskedel [kWh]	Suppl. energi til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styresystem [kWh]	Nettoydelse [kWh]	Anlægsydelse [kWh]	Nettodækningsgrad [%]	Anlægsdækningsgrad [%]
1.	5950	1511	815	688	1674	62,6	16,9	986	907	58,9	54,2
2.	5950	1832	1496	1260	2682	69,3	17,3	1422	1335	53,0	49,8
3.	5950	1937	1590	1337	2932	71,5	17,4	1595	1506	54,4	51,4

**Tabel 4-9: Beregnede årlige energimængder for anlægget med 5 m<sup>2</sup> solfanger.**

Ved at øge solfangerarealet fra 2,78 m<sup>2</sup> til 5 m<sup>2</sup> øges anlæggets årlige nettoydelse og dækningsgrad med ca. 25 %. Ydelsen pr. m<sup>2</sup> solfanger falder tilsvarende med ca. 25 %.

Endelig er ydelsen beregnet for anlægget med et solfangerareal på 2,78 m<sup>2</sup> og elpatron som supplerende energikilde i sommermånederne 1. maj – 30. september. I sommermånederne er gaskedlen slukket.

Det supplerende energiforbrug når en elpatron anvendes i sommermånederne er sammenlignet med gaskedlens supplerende energiforbrug som på grund af tab fra kedlen og kedelkredsen er større end den supplerende energimængde der overføres til lagertanken.

Tabel 4-10 viser det supplerende energiforbrug i sommerperioden 1. maj – 30. september når naturgaskedlen anvendes som supplerende energikilde (bruttoforbrug) og når en elpatron anvendes som supplerende energikilde mens naturgaskedlen er slukket. Beregningerne er igen foretaget for de tre nævnte driftssituationer mens kedlens nyttevirkningen er 85% i hele den betragtede sommerperiode.

Drifts-situation	Suppl. gasforbrug i sommerperioden [kWh]	Suppl. elforbrug i sommerperioden [kWh]	Gasforbrug ÷ elforbrug [kWh]	Pris for det forbrugte gas (59 øre/kWh) [kr.]	Pris for det forbrugte el (139 øre/kWh) [kr.]	Gaspris ÷ elpris [kr.]
1.	192	163	29	113	227	-114
2.	455	385	70	268	535	-267
3.	473	401	72	279	557	-278

**Tabel 4-10: Beregnede supplerende energimængder for anlægget med 2,78 m<sup>2</sup> solfanger i perioden 1. maj – 30. september.**

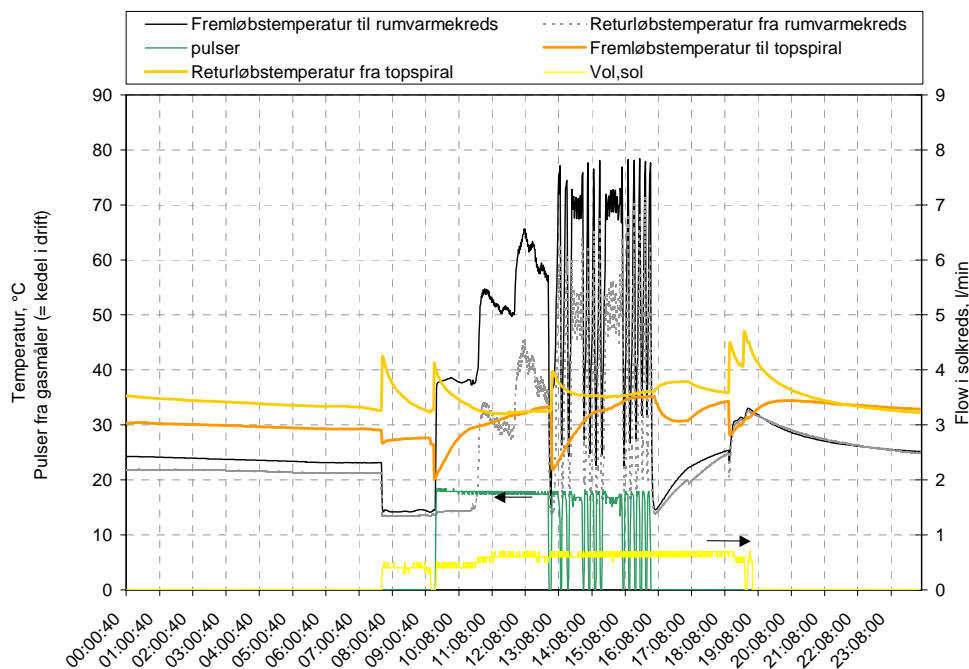
Af Tabel 4-10 fremgår det, at det supplerende energiforbrug kan reduceres med henholdsvis 29 kWh, 70 kWh og 72 kWh hvis kedlen slukkes i sommermånederne 1. maj – 30. september og en elpatron anvendes som supplerende energikilde. På grund af den høje elpris vil løsningen med en elpatron om sommeren imidlertid fordoble driftsomkostningerne om sommeren og det er derfor ikke en fordel at anvende en elpatron som sommersuppleringsvarme.

## 4.5 Driftserfaringer og sammenfatning

Anlægget har kørt uden problemer i hele prøvningsperioden.

Ved normal drift med anlægget tabes der lidt varme fra lagertanken i det øjeblik hvor solvarmen fra solkredsen tilføres rumvarmekredsen. Der sidder en trevejsventil og styrer cirkulationsretningen i suppleringskredsen, men det ser ud som om ventilen i sin standardposition er indstillet til cirkulation igennem varmevekslerspiralen i toppen af beholderen og at cirkulationen i et kort øjeblik fra cirkulationspumpen startes og indtil trevejsventilen er indstillet rigtigt, dvs. til cirkulation i rumvarmekredsen, går gennem varmevekslerspiralen i toppen af beholderen.

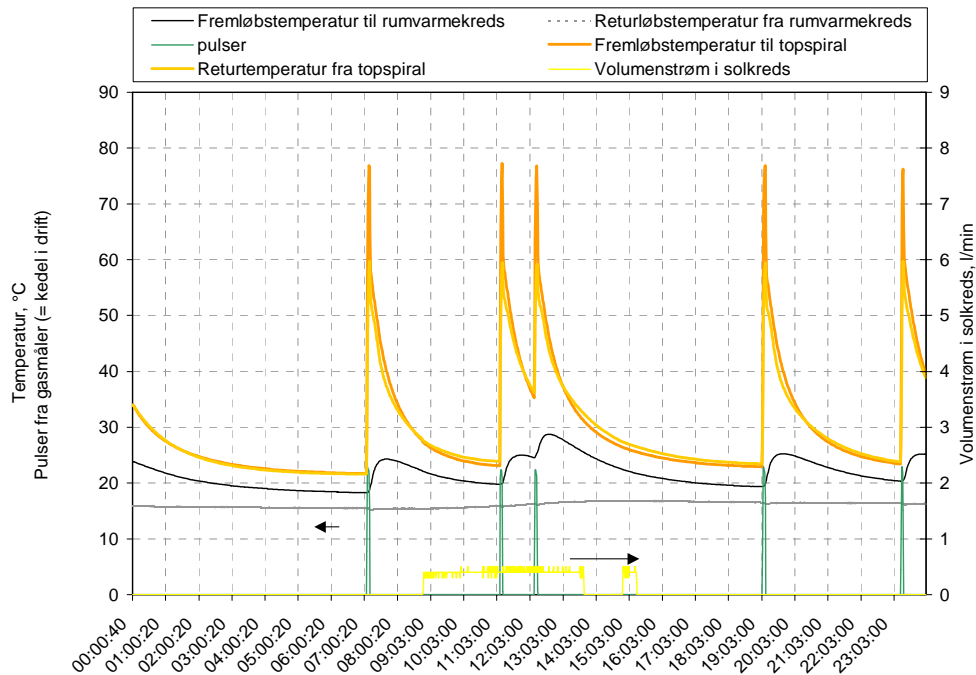
Figur 4-11 viser temperaturerne i suppleringskredsen, kedlens driftsperiode samt solkredsens driftsperiode. Det ses at returløbstemperaturen fra topspiralen stiger (får tilført varmt vand fra lagertanken) og at fremløbstemperaturen til topspiralen falder (får tilført koldt vand fra kedlen) i starten af perioder hvor solkredsen leverer varme til rumvarmekredsen.



Figur 4-11: Temperaturer i suppleringskredsen samt kedlens og solkredsens driftsperioder en dag med rumvarmeforbrug.

Når der via varmevekslerspiralen køres varme ind i toppen af beholderen kører en lille del af varmen fra kedlen ud i rumvarmekredsen. Det kan lade sig gøre fordi der er monteret en trykeksansionsbeholder i rumvarmekredsen.

Figur 4-12 viser temperaturerne i suppleringskredsen, kedlens driftsperiode samt solkredsens driftsperiode. Det ses at fremløbstemperaturen til rumvarmekredsen stiger (får tilført varmt vand fra kedlen) i perioder hvor kedlen opvarmer toppen af lagertanken.



Figur 4-12: Temperaturer i suppleringskredsen samt kedlens og solkredsens driftsperioder en dag uden rumvarmeforbrug.

Det vurderes at det varmetab der forekommer i starten af perioder hvor pumpen i suppleringskredsen er i drift, enten for at overføre varme fra solkredsen til rumvarmekredsen eller for at opvarme toppen af beholderen er i størrelsesordenen 50 – 75 kWh/år, afhængig af hvor ofte pumpen i suppleringskredsen startes. Det vurderes endvidere at halvdelen af varmetabet kan henføres til perioder hvor kedlen opvarmer lagertanken mens den anden halvdel kan henføres til perioder hvor solvarme overføres til rumvarmekredsen.

Varmetabet fra rumvarmekredsen i perioder hvor kedlen opvarmer lagertanken er svært at undgå idet en undgåelse fordrer at adgangen fra rumvarmekredsen til ekspansionsbeholderen forhindres. Varmetabet fra lagertanken når rumvarmekredsen er i drift kan derimod undgås hvis trevejsventilen får lov til at indstille sig i den rigtige position før cirkulationen i suppleringskredsen startes.

De observerede varmetab som følge af drift med cirkulationspumpen i suppleringskredsen er der ikke taget højde for i valideringen af EDB-modellen af solvarmeanlægget baseret på den undersøgte unit og heller ikke i modellen der benyttes til simulering af årsydelsen.

### Forbedringsmuligheder

Undersøgelsen af unittens lagertank /4/ viser at den er udmærket. Varmetabskoefficienten fra lagertanken er målt til 2,7 W/K hvilket svarer til den teoretisk beregnede varmetabskoefficient. Derimod er den målte varmetabskoefficient for unitten på 6,2 W/K urimelig stor. Den større varmetabskoefficient for unitten ligger i solkredsrørføringen og specielt i de dårligt isolerede eller uisolerede enkeltkomponenter som pumpe, ekspansionsbeholder, ventiler og følere. I den validerede EDB-model af anlægget er der tillagt det ekstra varmetab i solkredsen som her omtales.

Der er foretaget beregninger af årsydelsen for anlægget uden det ekstra tillagte varmetab i solkredsen samt beregninger af årsydelsen helt uden varmetab i solkredsen. Tabel 4-11 viser resultatet af beregningerne med varmetab i solkredsen, men uden det ekstra tillagte varmetab mens Tabel 4-12 viser resultatet af beregningerne helt uden varmetab i solkredsen. Beregningerne er foretaget for de tre nævnte driftssituationer.

Ved at sammenligne de beregnede ydelser angivet i Tabel 4-11 og Tabel 4-12 med de beregnede ydelser i Tabel 4-6, Tabel 4-7 og Tabel 4-8 ses det, at ydelsen for anlægget kan øges med beskedne ca. 1% hvis alle komponenter i solkredsen i unitten isoleres godt mens ydelsen for anlægget kan øges med ca. 7% hvis der slet ikke forekommer varmetab i solkredsen.

Drifts-situation	Solind-fald [kWh]	Sol-varme til lager [kWh]	Suppl. energi til gaskedel [kWh]	Suppl. energi til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styre-system [kWh]	Netto-ydelse [kWh]	Anlægs-ydelse [kWh]	Netto-dæknings grad [%]	Anlægs-dæknings grad [%]
1.	3307	1165	1019	906	1674	65,0	17,1	768	686	45,9	41,0
2.	3307	1368	1832	1624	2682	71,6	17,4	1058	969	39,5	36,1
3.	3307	1444	1948	1728	2932	73,9	17,5	1204	1113	41,1	38,0

**Tabel 4-11: Beregning uden ekstra varmetab i solkredsen. Solfangerarealet er 2,78 m<sup>2</sup>.**

Drifts-situation	Solind-fald [kWh]	Sol-varme til lager [kWh]	Suppl. energi til gaskedel [kWh]	Suppl. energi til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Energi til pumpe [kWh]	Energi til styre-system [kWh]	Netto-ydelse [kWh]	Anlægs-ydelse [kWh]	Netto-dæknings grad [%]	Anlægs-dæknings grad [%]
1.	3307	1244	960	855	1674	63,7	17,0	819	738	48,9	44,1
2.	3307	1445	1759	1562	2682	70,8	17,3	1120	1032	41,8	38,5
3.	3307	1515	1880	1669	2932	73,2	17,4	1263	1172	43,1	40,0

**Tabel 4-12: Beregning uden varmetab i solkredsen. Solfangerarealet er 2,78 m<sup>2</sup>.**

Undersøgelsen viser endvidere at der haves et stort varmetab fra gaskedlen og kedelkredsen både når kedlen er i drift og i perioden efter kedeldrift. Kedlen og kedelkredsen er uisolerede hvilket bevirker at tabet herfra er betydeligt imens kedlen er i drift. Derudover levnes der varme både i kedlen og i kedelkredsen efter endt opvarmning. Kedlens efterkøringstid køler vandet i kedlen og i kedelkredsen, men vandet køles kun til temperaturniveauet i toppen af beholderen som typisk ligger mellem 50°C og 60°C. Det varme vand i kedlen og kedelkredsen tabes herefter til omgivelserne. I vinterperioder kan dette tab komme boligen til gode men om sommeren hvor der typisk ikke er behov for rumvarme er varmetabet ikke hensigtsmæssigt. Dette vurderes at være hovedårsagen til kedlens varierende nyttevirkning hen over året.

Unitten kan ud fra ovenstående betragtninger forbedres ved at:

- isolere kedel og kedelkreds godt
- ændre rørføringen i kedelkredsen således at al overskudsvarmen i kedlen og kedelkredsen overføres til beholderen. Dette kan f.eks. gøres ved at have to efterkøringsperioder: en hvor vandet i kedlen og kedelkredsen køles via spiralen i toppen af beholderen og en hvor vandet køles via en ekstra spiral i bunden af beholderen.
- ændre overstyringen af pumpen i suppleringskredsen, i forbindelse med at solvarme overføres fra solkredsen til rumvarmekredsen, således at trevejsventilen i suppleringskredsen kan indstille sig til den ønskede cirkulationsretning før pumpen i suppleringskredsen starter.



## 5. Konklusion

Rapporten beskriver gennemførte undersøgelser af et solvarmeanlæg til brugsvands- og rumopvarmning. Anlægget er installeret i DTU.BYG's prøvestand i april 2001.

Anlægget er baseret på en solfanger med et solfangerareal på  $2,78 \text{ m}^2$  samt naturgaskedel/soltank-unitten Nilan Sunshine ecoTEC fra Nilan A/S. Soltanken er en kappebeholder med et beholdervolumen på  $254 \text{ l} + 13,8 \text{ l}$  i kappen. Beholderen er forsynet med en topvarmevekslerspiral til suppleringsvarme. Unitten er endvidere forsynet med en pladevarmeveksler, hvor solvarmen kan tilføres returvandet fra radiatorkredsen. Når temperaturen i toppen af solfangeren er  $5 \text{ K}$  varmere end temperaturen i bunden af kappen eller temperaturen på returvandet fra rumvarmekredsen starter pumpen i solkredsen. Solvarmen tilføres enten lagertanken eller rumvarmekredsen. Solstyringen prioriterer varmtvandsbeholderen hvis temperaturen i toppen af solfangeren er  $5 \text{ K}$  større end både temperaturen på returvandet fra radiatorkredsen og temperaturen i bunden af kappen, dog ikke i de tilfælde hvor temperaturen i bunden af kappen er større end termostatindstillingen i toppen af beholderen.

Målingerne viser at anlægget fungerer som tilsigtet, men også at der tabes meget energi til omgivelserne fra gaskedlen og kedelkredsen både når gaskedlen er i drift og ved den efterfølgende afkøling af gaskedlen og kedelkredsen. Det samlede varmetab fra kedlen og kedelkredsen for hver driftsperiode er målt til ca.  $0,3 \text{ kWh}$ .

Validering af en EDB-model af solvarmeanlægget uden rumvarmeforbrug viser at forskellen på målinger og beregninger ligger indenfor usikkerheden på målingerne.

Der er gennemført årssimuleringer med den validerede EDB-model med et solfangerareal på  $2,78 \text{ m}^2$  der svarer til prøvningsbetingelserne og et solfangerareal på  $5 \text{ m}^2$  der passer til beholderens størrelse. Simuleringerne er foretaget for tre forskellige driftsbetingelser: tapning af  $100 \text{ l/dag}$  ved  $50^\circ\text{C}$ , tapning af  $160 \text{ l/dag}$  ved  $50^\circ\text{C}$  og tapning af  $200 \text{ l/dag}$  ved  $45^\circ\text{C}$ . For alle driftsbetingelser gælder at der foretages tre lige store tapninger kl.:  $7:00$ ,  $12:00$  og  $19:00$ .

Årssimulering med den validerede EBD-model med tapning af  $100 \text{ l/dag}$  ved  $50^\circ\text{C}$  viser, at  $2,78 \text{ m}^2$  anlægget vil have en årlig nettoydelse på  $758 \text{ kWh}$  samt en årlig anlægsydelse på  $678 \text{ kWh}$  svarende til en nettodækningsgrad  $45,3 \%$  og en anlægsdækningsgrad på  $40,5 \%$  mens  $5 \text{ m}^2$  anlægget vil have en årlig nettoydelse på  $986 \text{ kWh}$  samt en årlig anlægsydelse på  $907 \text{ kWh}$  svarende til en nettodækningsgrad  $58,9 \%$  og en anlægsdækningsgrad på  $54,2 \%$ .

Årssimulering med den validerede EBD-model med tapning af  $160 \text{ l/dag}$  ved  $50^\circ\text{C}$  viser, at  $2,78 \text{ m}^2$  anlægget vil have en årlig nettoydelse på  $1049 \text{ kWh}$  samt en årlig anlægsydelse på  $959 \text{ kWh}$  svarende til en nettodækningsgrad  $39,1 \%$  og en anlægsdækningsgrad på  $35,8 \%$  mens  $5 \text{ m}^2$  anlægget vil have en årlig nettoydelse på  $1422 \text{ kWh}$  samt en årlig anlægsydelse på  $1335 \text{ kWh}$  svarende til en nettodækningsgrad  $53,0 \%$  og en anlægsdækningsgrad på  $49,8 \%$ .

Årssimulering med den validerede EBD-model med tapning af  $200 \text{ l/dag}$  ved  $45^\circ\text{C}$  viser, at  $2,78 \text{ m}^2$  anlægget vil have en årlig nettoydelse på  $1197 \text{ kWh}$  samt en årlig anlægsydelse på  $1106 \text{ kWh}$

svarende til en nettodækningsgrad 40,8 % og en anlægsdækningsgrad på 37,7 % mens 5 m<sup>2</sup> anlægget vil have en årlig nettoydelse på 1595 kWh samt en årlig anlægsydelse på 1506 kWh svarende til en nettodækningsgrad 54,4 % og en anlægsdækningsgrad på 51,4 %.

Beregninger med den validerede model viser at det ikke kan svare sig at slukke kedlen om sommeren og anvende en elpatron som sommersuppleringsvarme fordi elektricitet er 2,4 gange dyrere end naturgas.

På baggrund af undersøgelsen vurderes det at unitten kan forbedres ved at:

- isolere kedel og kedelkreds godt
- ændre rørføringen i kedelkredsen således at al overskudsvarmen i kedlen og kedelkredsen overføres til beholderen. Dette kan f.eks. gøres ved at have to efterkøringsperioder: en hvor vandet i kedlen og kedelkredsen køles via spiralen i toppen af beholderen og en hvor vandet køles via en ekstra spiral i bunden af beholderen.
- ændre overstyringen af pumpen i suppleringskredsen, i forbindelse med at solvarme overføres fra solkredsen til rumvarmekredsen, således at trevejsventilen i suppleringskredsen kan indstille sig til den ønskede cirkulationsretning før pumpen i suppleringskredsen starter.

## Referencer

- /1/ *Undersøgelse af små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning - Ydelsesmålinger og beregninger.* Louise Jivan Shah. Institut for Bygninger og Energi. Danmarks Tekniske Universitet. Rapport R-001. Februar 1996.
- /2/ *Små low flow solvarmeanlæg med kappebeholdere.* Louise Jivan Shah. Institut for Bygninger og Energi. Danmarks Tekniske Universitet. Rapport R-009. 1997.
- /3/ *Vejrdata for VVS og energi. Dansk referenceår TRY.* Statens Byggeforskningsinstitut. 1982.
- /4/ *Undersøgelse af Nilan Sunshine ecoTEC i lagerprøvestanden.* Niels Kristian Vejen. Institut for Bygninger og Energi. Danmarks Tekniske Universitet. SR-0024. 2000.
- /5/ *Solvarmeanlæg med naturgas/solbeholder-unit og oliefyr/solbeholder-unit, ydelser og erfaringer fra praksis.* Simon Furbo, Niels Kristian Vejen. Institut for Bygninger og Energi. Danmarks Tekniske Universitet. Karsten Vinkler Fredriksen. Dansk Gastekniske Center a/s. SR-0024. 2000.