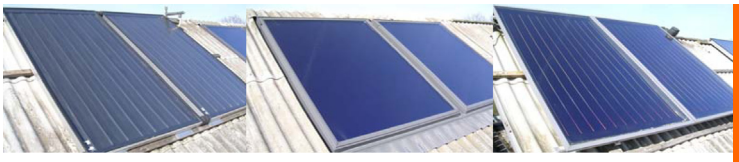
Solvarmeanlæg fra Batec Solvarme A/S, Velux Danmark A/S og Sonnenkraft Scandinavia A/S – målinger og beregninger





Institut for Byggeri og Anlæg

Rapport 2008

Elsa Andersen og Simon Furbo
DTU Byg-Rapport SR-09-01 (DK)
ISSN: 1601-8605
012009

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg

Forord

Rapporten beskriver afprøvningen af tre markedsførte solvarmeanlæg opført i DTU Bygs prøvestand for solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning og kombineret brugsvands- og rumopvarmning. Solvarmeanlæggene er opført af Batec Solvarme A/S, Velux Danmark A/S og Sonnenkraft Scandinavia A/S. Rapporten afslutter energiforskningsprojektet EFP07-Solvarmeanlægs energibesparelser, j.nr. 033001/33033-0046.

I forskningsprojektet, som er støttet af Energistyrelsen, afholdt DTU Byg i samarbejde med Batec Solvarme A/S, Velux Danmark A/S og Sonnenkraft Scandinavia A/S SOLVARMEDAGEN den 17. maj 2008 på DTU med mere end 100 deltagere.

Projektets aktiviteter vil blive videreført i 2009 i forskningsprojektet EFP07-II, Solvarmeanlægs energibesparelser, fase 2, hvor energibesparelserne for en række forskelligt udformede solvarmeanlæg i enfamiliehuse fra Batec Solvarme A/S, Velux Danmark A/S og Sonnenkraft Scandinavia A/S vil blive bestemt.

Projektgruppe:

Elsa Andersen, seniorforsker
Simon Furbo, lektor
Jørgen M. Schultz, lektor
Martin Dandanell, maskinarbejder

Resume

Formålet med nærværende projekt er at afprøve solvarmeanlæg under laboratoriemæssige forhold, og at skabe kontakt mellem solfangerfabrikanter, solvarmeinstallatører og husejere, som ønsker at installere solvarmeanlæg i deres enfamiliehuse.
I nærværende projekt er solfangerfabrikanter blevet indbudt til at opføre state of the art solvarmeanlæg til enfamiliehuse i DTU Bygs prøvestand for solvarmeanlæg. I efteråret 2007 blev der i prøvestanden opført to små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning fra Batec Solvarme A/S og Velux Danmark A/S samt et lille solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning fra Sonnenkraft Scandinavia A/S. Anlæggene blev installeret af fabrikanterne, og de er afprøvet siden starten af 2008 under ensartede prøvningsbetingelser.
Anlæggenes ydelser er målt igennem en langvarig måleperiode, og for en udvalgt periode er de målte ydelser sammenlignet med ydelser, der er beregnet med detaljerede simuleringsprogrammer. Input til simuleringsprogrammerne er valgt, så der for alle tre anlæg er en god overensstemmelse mellem målte og beregnede ydelser.
Med beregningsprogrammerne er der gennemført beregninger af årsydelserne for de tre anlæg med forskellige varmtvandsbehov og med det danske referenceårs vejrdata. Disse ydelser er sammenlignet med ydelser af tidligere afprøvede markedsførte solvarmeanlæg.
De tre afprøvede solvarmeanlæg har ikke ydelser på højde med de bedst ydende solvarmeanlæg. Årsagen er at ingen af de afprøvede anlæg er low flow anlæg med soltanke, som for eksempel kappebeholdere, der kan opbygge en fordelagtig temperaturlagdeling under solfangerdrift.
Desuden har to af anlæggenes varmtvandsbeholdere meget store kuldebroer forårsaget af rørtilslutninger i den øverste del af varmtvandsbeholderne. Det anbefales at benytte en soltank helt uden rørtilslutninger og gennembrydninger af isoleringen i den øverste del af beholderen.
Afprøvningerne kan inspirere fabrikanterne til at forbedre deres anlæg.

Summary

The aim of the project is to test marketed solar heating systems in a laboratory test facility and to establish contact between installers of solar heating systems and house owners wanting to install solar heating systems.
Two small SDHW systems from Batec Solvarme A/S and from Velux Danmark A/S have been tested under realistic conditions side-by-side with a small solar combi system from Sonnenkraft Scandinavia A/S. The thermal performances of the systems have been measured for a long test period. Measured thermal performances have been compared to thermal performances calculated with detailed simulation models for a short period for the three systems. A good agreement between measured and calculated thermal performances was achieved for all the systems.
The yearly thermal performance for the three systems was calculated for different hot water consumptions based on the weather data from the Danish Test ReferenceYear. The thermal performances are compared to the thermal performances of earlier tested marketed solar heating systems.
The thermal performances for the three tested systems are lower than the thermal performances of the most efficient of the earlier tested systems. The reason is that the three systems are high flow systems with a hot water tank with a built in heat exchanger spiral, which equalize temperature differences in the hot water tank during operation periods of the solar collector. Low flow systems with a highly thermal stratified hot water tank, such as a mantle tank, have higher thermal performances than high flow solar heating systems based on spiral tanks. Further, two of the tested systems are based on hot water tanks with pipe connections to the upper part of the tank. These pipe connections results in high thermal bridges and thereby in a low thermal performance of the solar heating system. It is recommended to use hot water tanks with no pipe connections and penetrations through the insulation in the upper part of the tank. The tests form a good basis for development of improved marketed systems.

1. Indholdsfortegnelse

1. Indholdsfortegnelse 5
2. Indledning 6
3. Solvarmeanlæggenes prøvningsbetingelser 7
4. Solvarmeanlægget fra Batec Solvarme A/S 11
4.1 Anlægsopbygning 11
4.2 Prøvning og validering af EDB-model for anlægget 14
4.2.1 Måledata 14
4.2.2 EDB-model af solvarmeanlægget 14
4.2.3 Validering af EDB-model 16
4.2.4 Årsydelse for anlægget 20
4.2.5 Driftserfaringer og sammenfatning 22
5. Solvarmeanlægget fra Velux Danmark A/S 23
5.1 Anlægsopbygning 23
5.2 Prøvning og validering af EDB-model for anlægget 26
5.2.1 Måledata 26
5.2.2 EDB-model af solvarmeanlægget 26
5.2.3 Validering af EDB-model 28
5.2.4 Årsydelse for anlægget 33
5.2.5 Driftserfaringer og sammenfatning 34
6. Solvarmeanlægget fra Sonnenkraft Scandinavia A/S 35
6.1 Anlægsopbygning 35
6.2 Prøvning og validering af EDB-model for anlægget 38
6.2.1 Måledata 38
6.2.2 EDB-model af solvarmeanlægget 38
6.2.3 Validering af EDB-model 40
6.2.4 Årsydelse for anlægget 46
6.2.5 Driftserfaringer og sammenfatning 47
7. Sammenligning af anlæggene med tidligere afprøvede anlæg 48
8. Konklusion 50
9. Referencer 52
10. Bilag 53
10.1 Bilag 1: Datablad for lagertank: BATEC 280 54
10.2 Bilag 2: Datablad for solfanger: BA22 55
10.3 Bilag 3: Datablad for lagertank: TFF 300 56
10.4 Bilag 4: Datablad for solfanger: CLI U12 4000 57
10.5 Bilag 5: Datablad for lagertank ELB 300 58
10.6 Bilag 6: Datablad for solfanger: SK500 N/L 59

2. Indledning

Som et led i arbejdet med at videreudvikle, forbedre og billiggøre solvarmeanlæg i Danmark, er det vigtigt at kunne forudsige anlægsydelser under forskellige forhold.

I forbindelse med projektet "Solvarmeanlægs energibesparelser" er der i efteråret 2007 i DTU Byg's prøvestand afprøvet to solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning fra Batec Solvarme A/S og Velux Danmark A/S samt et solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning fra Sonnenkraft Scandinavia A/S. Anlæggene er installeret af fabrikanterne og er afprøvet under ensartede prøvningsbetingelser.

Anlægget fra Batec Solvarme A/S består af to BA22 solfangerpaneler med et transparent areal på 4,38 m^2 samt en 280 liter spiralbeholder type BATEC 280. Anlægget fra Velux Danmark A/S består af to CLI U12 4000 solfangerpaneler med et transparent areal på 4,3 m^2 samt en 300 liter spiralbeholder type TFF 300 0101. Anlægget fra Sonnenkraft Scandinavia A/S består af to SK500 N/L solfangerpaneler med et transparent areal på 4,41 m^2 samt en 300 liter spiralbeholder type ELB 300.

3. Solvarmeanlæggenes prøvningsbetingelser

Prøvningsbetingelser:

Der tappes brugsvand tre gange dagligt kl.: 7:00, 12:00, 19:00. Aftapningen sker i tre lige store energimængder á 1,53 kWh, i alt svarende til 100 l/dag opvarmet fra 10 °C til 50 °C. Det svarer til en daglig tapning på 4,6 kWh. Temperaturen i toppen af lagertanken holdes på ca. 50 °C.

Testperioder:

De perioder hvorfra målinger foreligger, fremgår af Tabel 3-1.

Batec Solvarme A/S	**Velux Danmark A/S**	**Sonnenkraft Scandinavia A/S**
15. marts – 24. marts 2008	15. marts – 24. marts 2008	15. marts – 24. marts 2008
12. april – 29. april 2008	12. april – 29. april 2008	12. april – 17. april 2008
8. maj - 30. maj 2008	8. maj - 30. maj 2008	8. maj - 30. maj 2008
3. juni - 29. juli 2008	3. juni - 29. juli 2008	3. juni - 29. juli 2008
31. juli - 25. august 2008	31. juli - 25. august 2008	31. juli - 25. august 2008
28. august - 5. oktober 2008	28. august - 5. oktober 2008	28. august - 5. oktober 2008
18. oktober - 7. november 2008	18. oktober - 7. november 2008	18. oktober - 7. november 2008
22. november - 4. december 2008	22. november - 4. december 2008	22. november - 4. december 2008
6. december - 31. december 2008	6. december - 31. december 2008	6. december - 31. december 2008

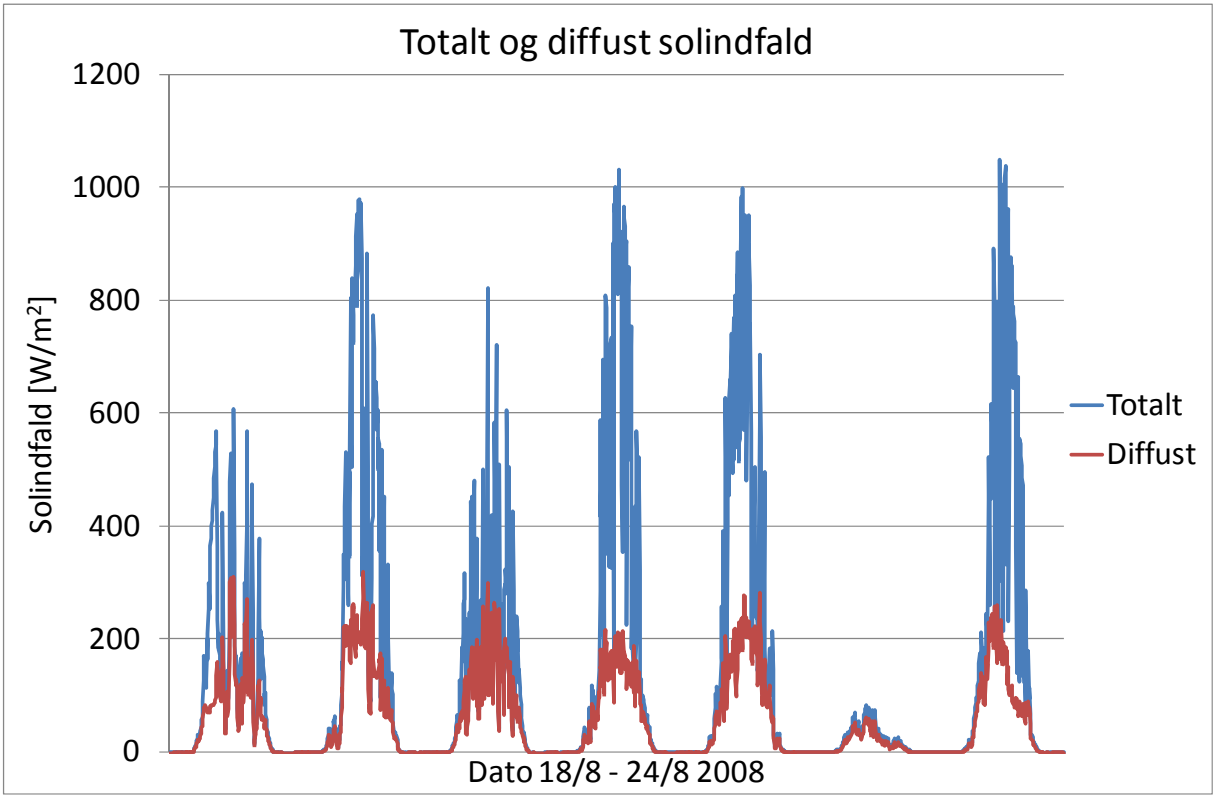
Tabel 3-1: Perioder med målinger.

Der er udvalgt en periode til at validere EDB-modellerne af solvarmeanlæggene med. Perioden repræsenterer en sommerperiode med anvendelse af elpatron som supplerende energikilde. Perioden er 18. August – 24. August 2008.

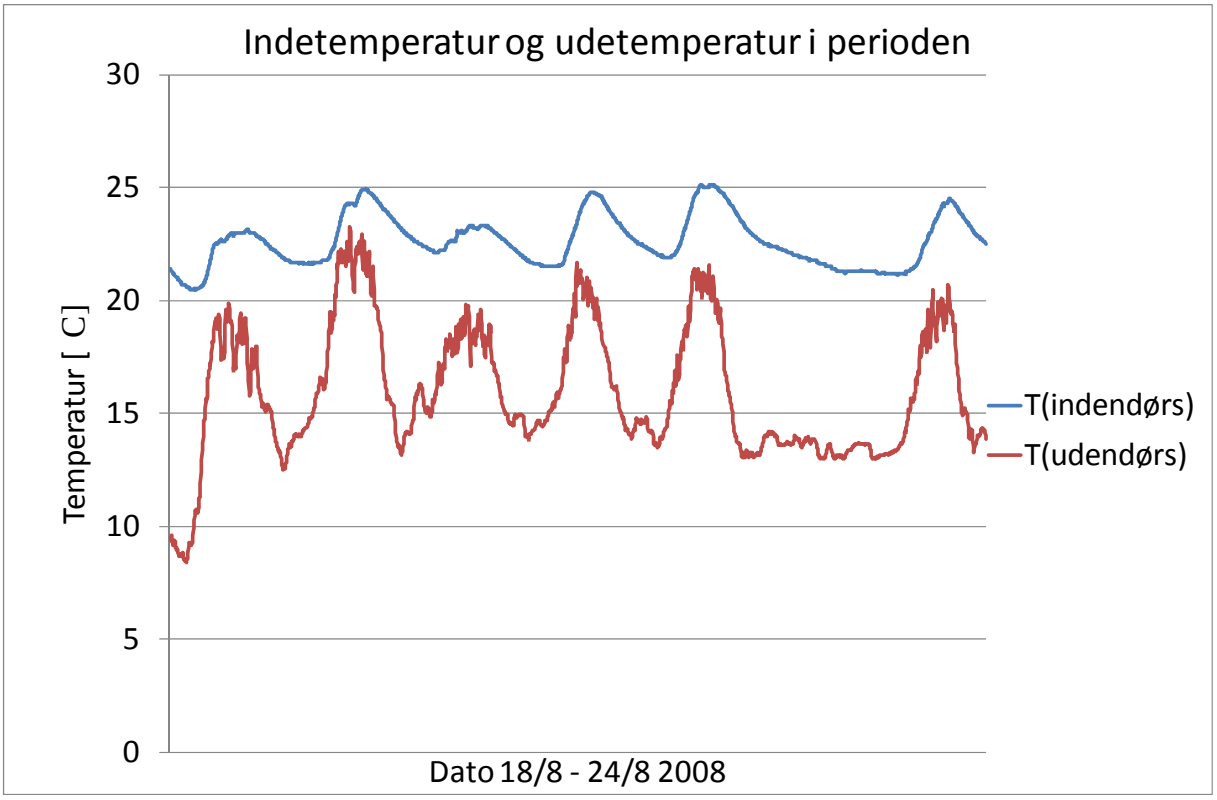
Perioden er valgt ud fra følgende krav:

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

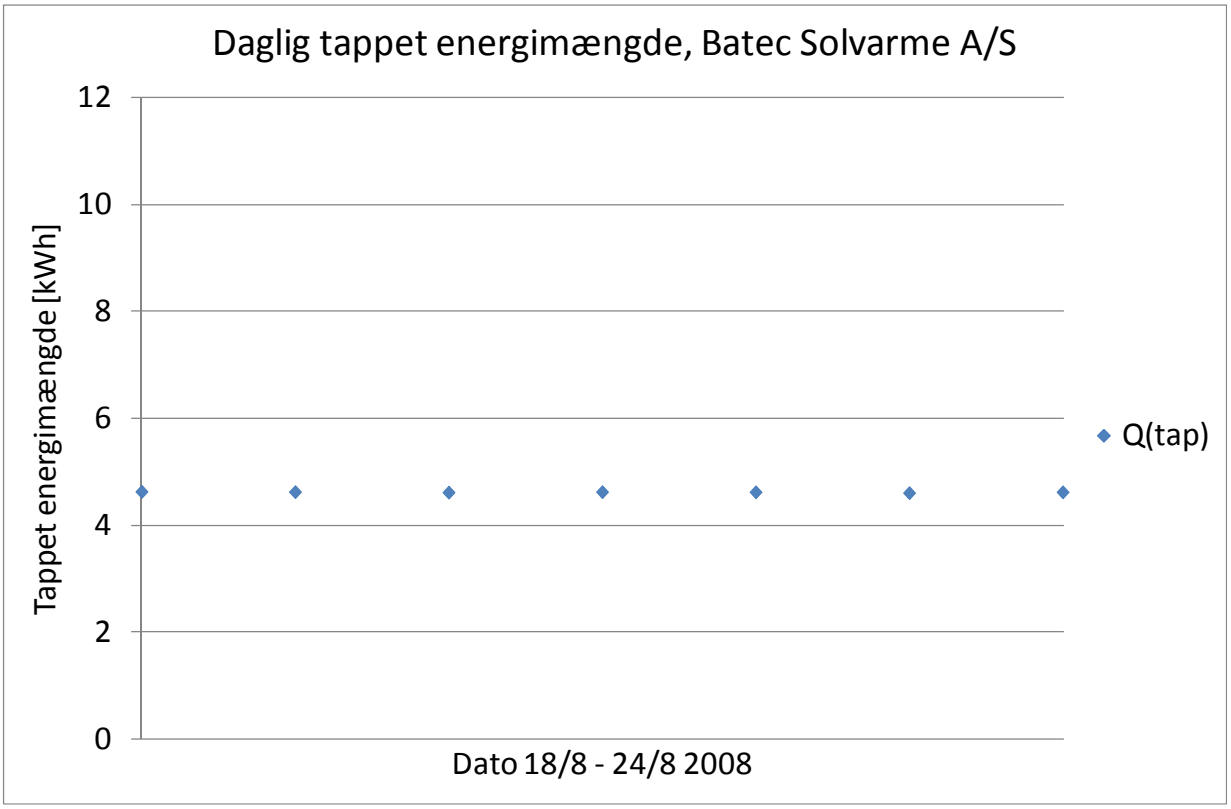
I Figur 3-1 ses solbestrålingsstyrken for perioden. Det ses at bestrålingsstyrken som ønsket varierer meget. Figur 3-2 viser udeluftens og indeluftens temperatur i perioden. Figur 3-3 - Figur 3-5 viser de dagligt tappede energimængder fra anlæggene fra Batec Solvarme A/S, Velux Danmark A/S og Sonnenkraft Scandinavia A/S i perioden. Det ses at de tappede energimængder, som ønsket, ligger nær 4,6 kWh/dag.



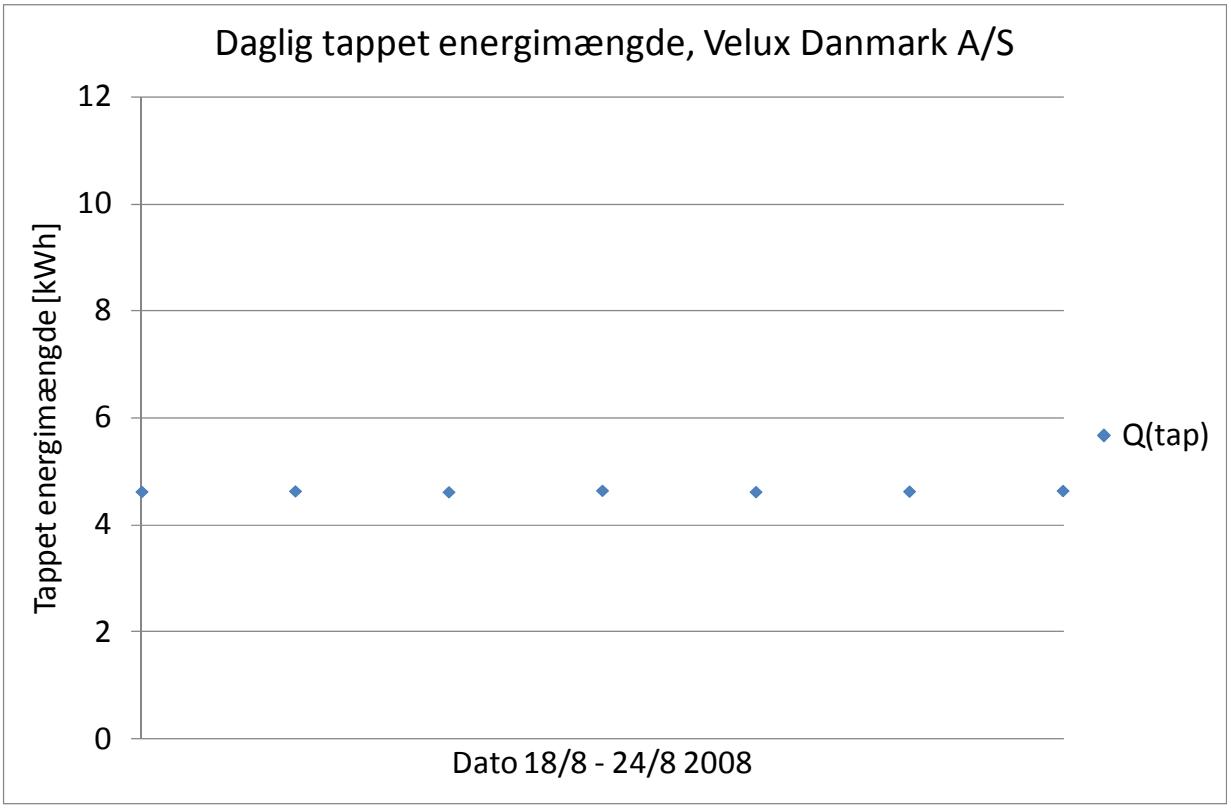
Figur 3-1: Totalt og diffust solindfald på solfangerne i perioden.



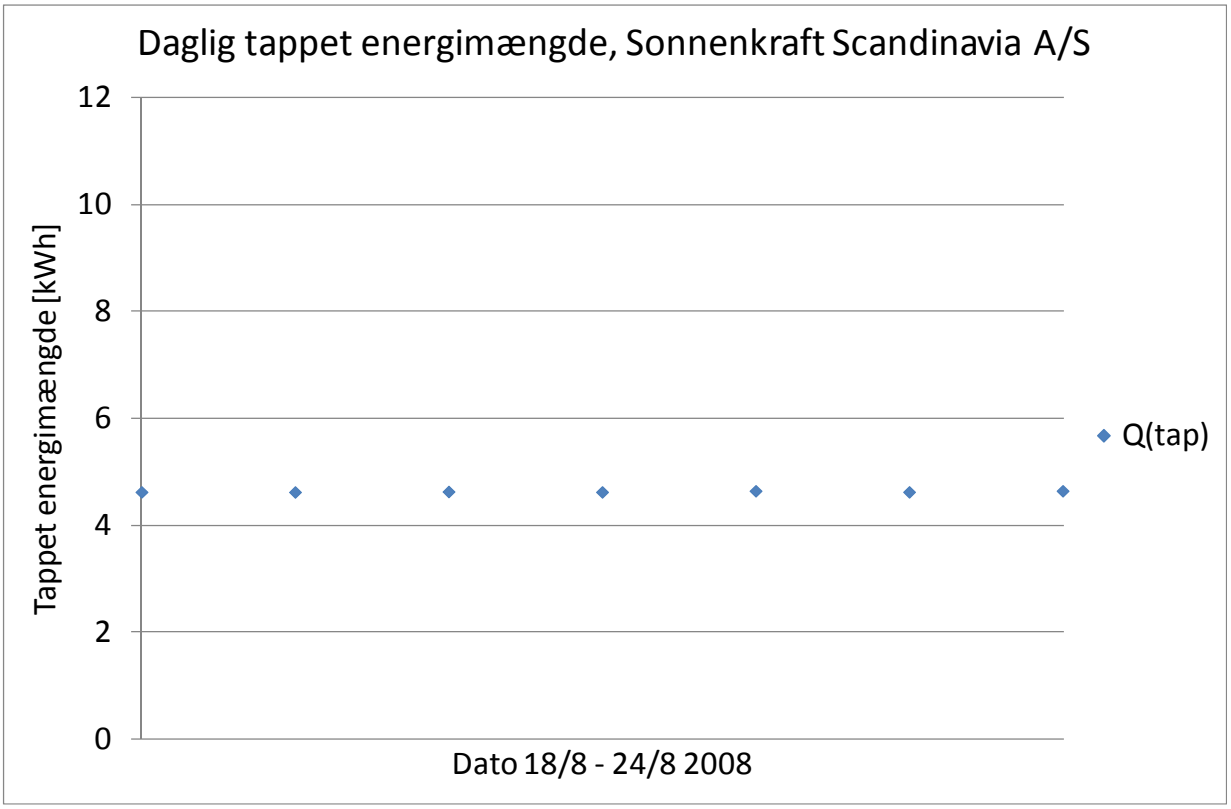
Figur 3-2: Udendørs og indendørs lufttemperatur i perioden.



Figur 3-3: Daglig tappet energimængde fra anlægget fra Batec Solvarme A/S.



Figur 3-4: Daglig tappet energimængde fra anlægget fra Velux Danmark A/S.



Figur 3-5: Daglig tappet energimængde fra anlægget fra Sonnenkraft Scandinavia A/S.

4. Solvarmeanlægget fra Batec Solvarme A/S

4.1 Anlægsopbygning

Solvarmeanlægget er opført i prøvestanden i efteråret 2007 af Batec Solvarme A/S. Anlæggets enkeltkomponenter markedsføres i Danmark.

Anlæggets karakteristika ses i Tabel 4-1. Beholderens karakteristika ses i Tabel 4-2.

Prøvestanden er nærmere beskrevet i /2/, hvor en detaljeret beskrivelse af apparatur og målesystem også findes.

Anlægsfabrikant	Batec Solvarme A/S
Solfanger	BA22
Solfangerareal [m²]	4,38
Solfangervæske	40% propylenglykol/vand
Beholder	BATEC 280
Beholdertype	Spiralbeholder
Supplerende energikilde	Elpatron/Varmevekslerspiral

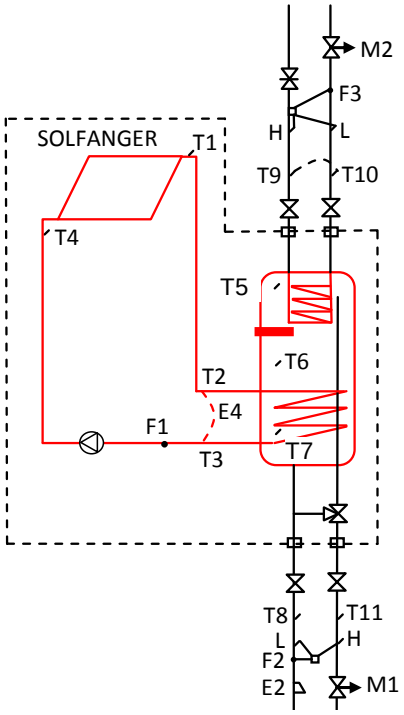
Tabel 4-1: Solvarmeanlæggets karakteristika.

Vægt (tom) [kg]	170
Effektivt brugsvandsvolumen [l]	265
Beholdervol. over el-patron [l]	80
Effekt af elpatron [W]	3000
Beholderhøjde [m]	1,581
Indvendig diameter [m]	0,490
Godstykkelse, beholder [m]	0,003
Volumen af solvarmevekslerspiral [l]	5,9
Længde af spiral [m]	16
indre/ydre diameter [m]	0,0217/0,0257
Isoleringstykkelse Top/Sider/Bund [m/m/m]	0,075/0,052/0,037 (PUR-skum)

Tabel 4-2: Data for beholderen.

Anlægget er et high flow anlæg, med et solfangerfelt bestående af to BA22 solfangerpaneler, med et samlet transparent areal på 4,38 m², samt en lagertank, BATEC 280 med et effektivt brugsvandsvolumen på 265 l. Datablad for lagertank ses i bilag 1. Solfangeren er installeret på en 45° hældende sydvendt flade. Datablad for solfangeren ses i bilag 2.

Figur 4-1 viser en principskitse af solvarmeanlægget.



Figur 4-1: Principskitse af anlægget med målepunkter.

Lagertanken er en lodretstående cylindrisk spiralbeholder med et el-varmelegeme til suppleringsvarme om sommeren og en varmevekslerspiral til suppleringsvarme om vinteren. Beholderen er isoleret med hårdt polyurethanskum og omsluttet af et stålkabinet.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 10,8 m fremløbsrør til lageret, og 12,3 m returrør fra lageret. Heraf er 7,3 m indendørs. Rørene er præisolerede 12/10 mm kobberrør, type wicu extra med en isoleringstykkelse på 7,5 mm.

Solfangerkredsen er forsynet med en Grundfos cirkulationspumpe (Type UPS 15-40), som igennem hele måleperioden har kørt på trin 3.

Cirkulationspumpen styres af en differenstermostat, der måler temperaturforskellen mellem udløbstemperaturen fra solfangeren og temperaturen i tanken ud for solvarmevekslerspiralen. Differenstermostaten har start/stop setpunkt på 5/2 K.

Figur 4-2 og Figur 4-3 viser fotos af anlæggets solfanger og varmelager.



Figur 4-2: Solfangerpanelerne på tagfladen.



Figur 4-3: Solvarmeanlæggets varmelager.

4.2 Prøvning og validering af EDB-model for anlægget

4.2.1 Måledata

I Figur 4-1 er målepunkterne i anlægget vist.

Der er tre målepunkter i lagertanken i toppen (T7), i midten (T6) og i bunden (T5). Målepunkterne er anbragt i en glasstav, som er indført i tanken gennem bunden.

I Tabel 4-3 er følgende værdier gengivet: Solvarme fra solfangeren, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lageret, driftstid for cirkulationspumpen i solfangerkredsen, nettoydelse (=tappet energimængde÷supplerende energimængde) samt nettodækningsgrad (=nettoydelse/tappet energimængde).

Periode 2008	Sol-varme fra solfanger [kWh]	Sol-varme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Driftstid for pumpe [timer]	Netto-ydelse [kWh]	Netto-dæknings grad [%]
Marts	53	45	14	46	51	32	70
April	155	126	4	84	126	80	95
Maj	232	186	0	111	170	111	100
Juni	227	184	3	130	207	127	98
Juli	278	227	3	143	235	140	98
August	203	173	8	135	179	127	94
September	198	167	10	140	186	130	93
Oktober	65	60	39	88	71	49	56
November	21	18	60	74	24	14	19
December	14	13	138	138	26	0	0

Tabel 4-3: Målte værdier for anlægget fra Batec Solvarme A/S for hele måleperioden.

4.2.2 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 /1/. Modellen valideres med målte data fra perioderne d. 18/8-24/8 2008. I det følgende er input til EDB-modellen beskrevet:

<u>Solfangerkredsen:</u>

Effektivitetsudtrykket for solfangeren er, ved målinger på SP /3/, bestemt til

$$\eta = 0{,}767 - 3{,}327\cdot(T_m-T_a)/G - 0{,}01\cdot(T_m-T_a)^2/G$$

hvor

η	er solfangereffektiviteten	[-]
T_m	er solfangervæskens middeltemperatur	[°C]
T_a	er den omgivende lufts temperatur	[°C]
G	er bestrålingsstyrken på solfangeren	[W/m²]

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 1,2 l/min pr. m^2 solfanger, svarende til high flow drift.

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

$$\eta = 0{,}767 - 3{,}627 \cdot (T_m - T_a)/G$$

Effektivitetens vinkelafhængighed, i forhold til solindfaldet er ved måling på SP /3/, bestemt til a=3,6, 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 propylenglykol/vand-blanding med 40 vægt% propylenglykol.

Volumenstrømmen i solfangerkredsen er ud fra målingerne bestemt til:

$$v = 2{,}7 + 0{,}0216 \cdot T_l \text{ l/min}$$

hvor

v	er volumenstrømmen i solfangerkredsen	[l/min]
T_l	er temperaturen i lagertanken ud for spiralen	[°C]

Rørene i solfangerkredsen består af 10,8 m fremløbsrør til lageret, og 12,3 m returrør fra lageret. Heraf er 7,3 indendørs. Rørene er præisolerede 12/10 mm kobberrør, type wicu extra med en isoleringstykkelse på 7,5 mm. Isoleringen antages at have en λ-værdi på 0,037 W/mK. For at opnå god overensstemmelse mellem målinger og beregninger ved valideringen er følgende ændringer foretaget.

- Der er tillagt en kuldebro på 1 W/K i solfangerkredsen på fremløb til lager både ude og inde

Pumpen starter når temperaturdifferensen mellem temperaturen i toppen af solfangeren og i lagertanken ud for spiralen overstiger 10 K og pumpen stopper igen når temperaturdifferensen mellem indløb og udløb fra spiralen er 0 K.

<u>Lageret:</u>

Beholderen har et volumen på 265 liter med en indvendig højde/diameter på 1,4/0,49=2,86. Godstykkelsen er overalt 3 mm. Solvarmevekslerspiralen er 16 m med indvendig og udvendig diameter på henholdsvis 0,0217 m og 0,0257 m. Beholderen er i toppen isoleret med 75 mm, i bunden med 37 mm, og på siderne med 52 mm hårdt PUR-skum. Isoleringens λ-værdi anslås til 0,037W/mK. For at opnå god overensstemmelse mellem målinger og beregninger ved valideringen er følgende ændringer foretaget.

- Der er tillagt en kuldebro på 0,34 W/K i toppen af lagertanken

I simuleringerne er anvendt er effekt på 3000 W for el-patronen. Setpunktet for termostaten for toppen af lageret er 50°C.

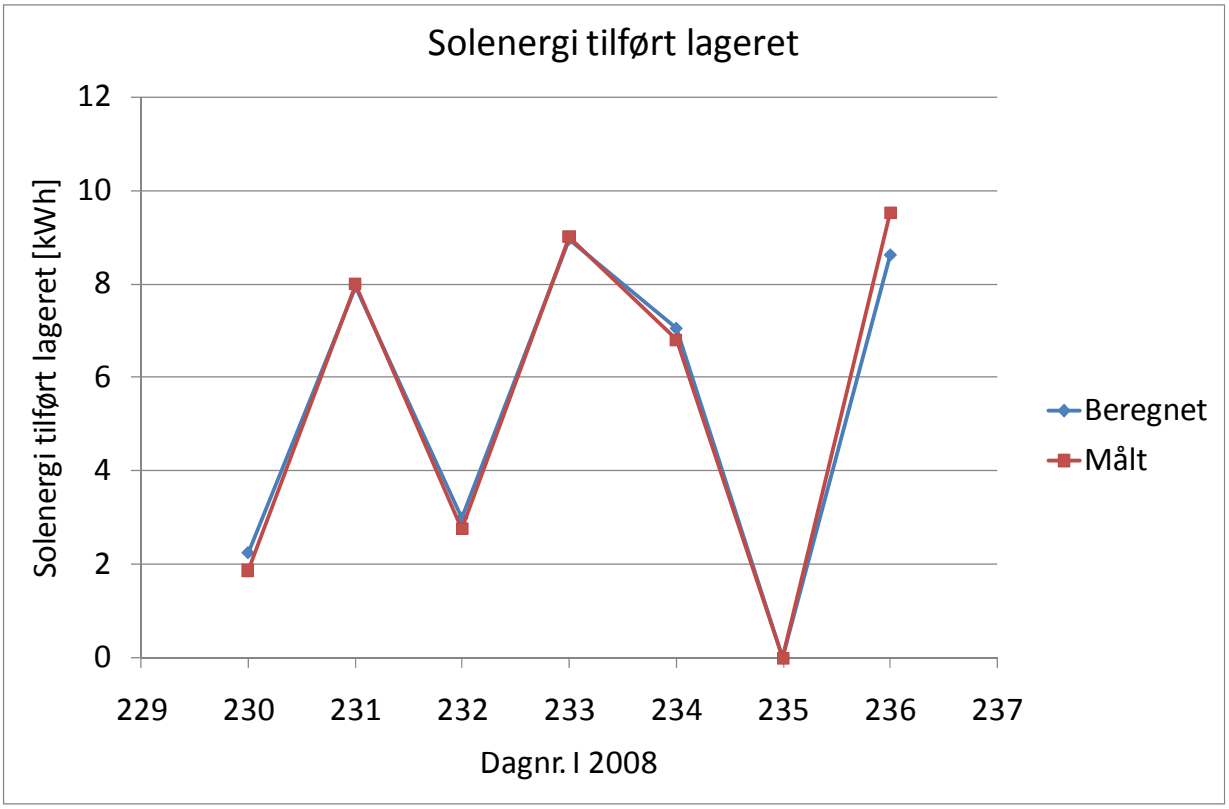
Startværdier for temperaturen i lagertankens forskellige lag er fastlagt ud fra de målte temperaturer.

4.2.3 Validering af EDB-model

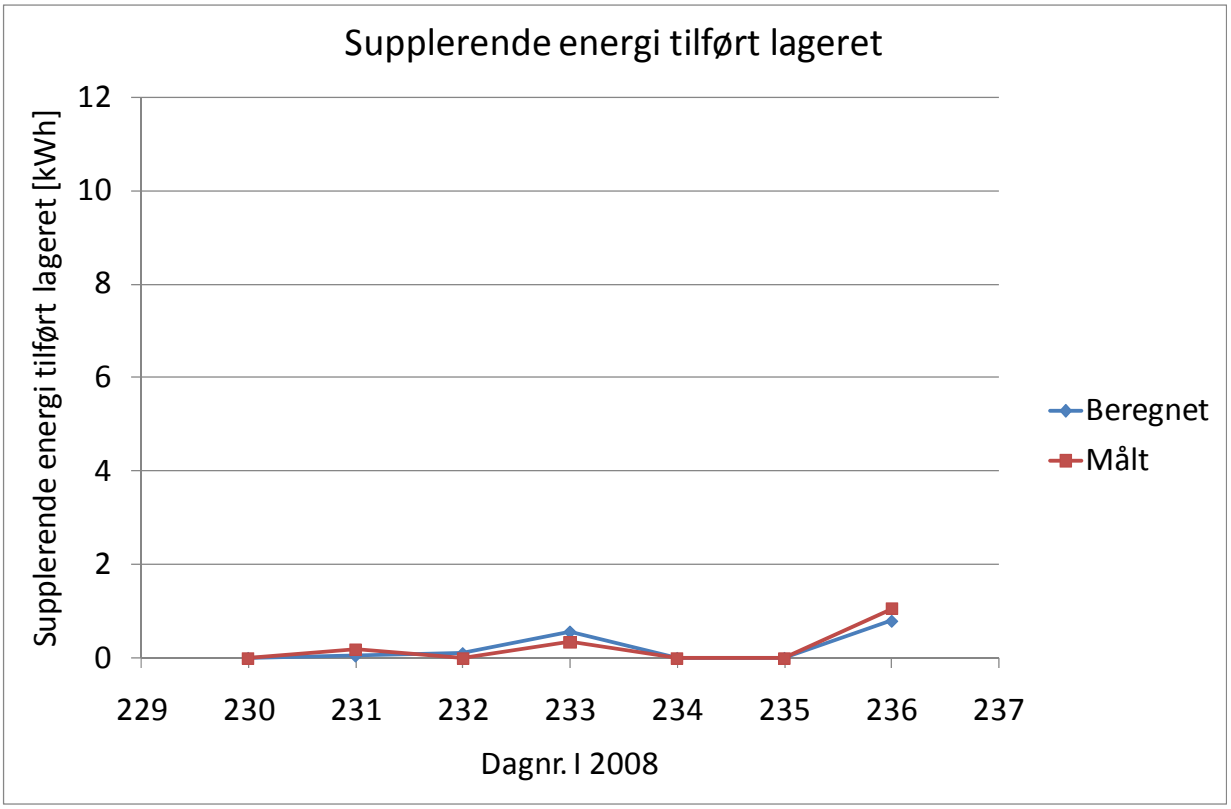
Formålet med valideringen af EDB-modellen er, at udforme en model der svarer så godt til solvarmeanlægget, at man kan beregne anlæggets årsydelser.

EDB-modellen af anlægget valideres mod målte energistørrelser og temperaturer. Energistørrelserne er som følger: Solvarme tilført lageret, supplerende varme tilført lageret, energimængde tappet fra lageret og anlæggets nettoydelse. De målte temperaturer der benyttes til valideringen er: Temperaturen i toppen af lageret (T7), solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2) og solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3). Angivelserne i parenteserne refererer til signaturerne i Figur 4-1.

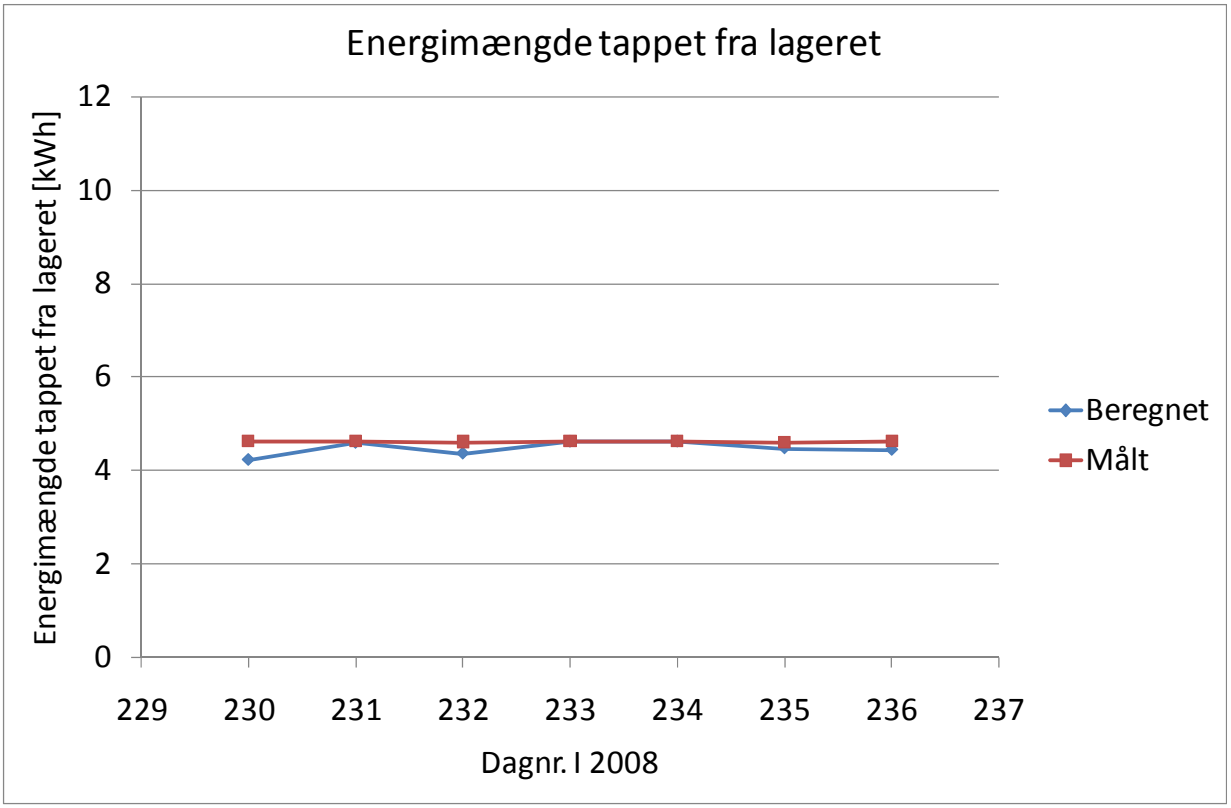
I Figur 4-4 ses den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangervæsken til lageret. Figur 4-5 viser den målte og beregnede daglige supplerende energimængde tilført lageret, og Figur 4-6 viser den målte og beregnede daglige tappede energimængde. Figur 4-7 viser driftstiden for pumpen i solfangerkredsen. Endelig viser Figur 4-8 den målte og beregnede daglige nettoydelse for anlægget defineret som: Tappet energi – supplerende energi.



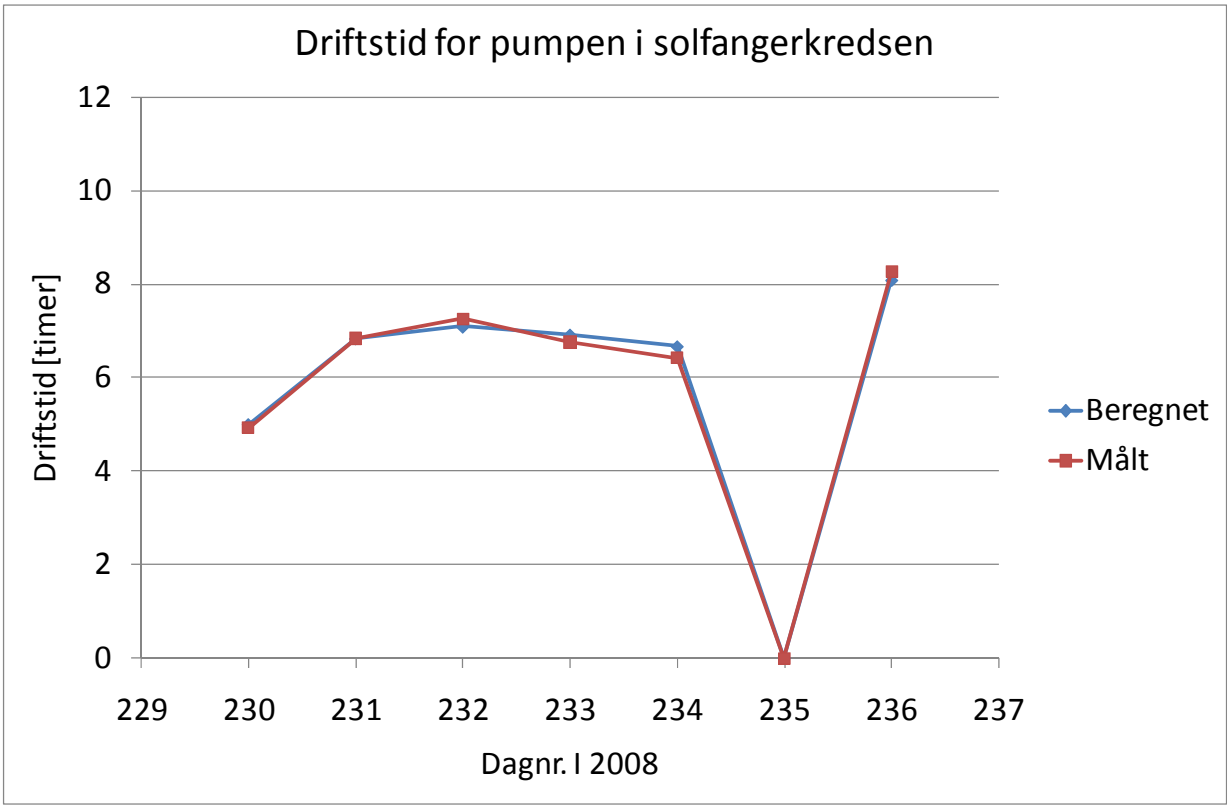
Figur 4-4: Solenergi tilført lageret i perioden.



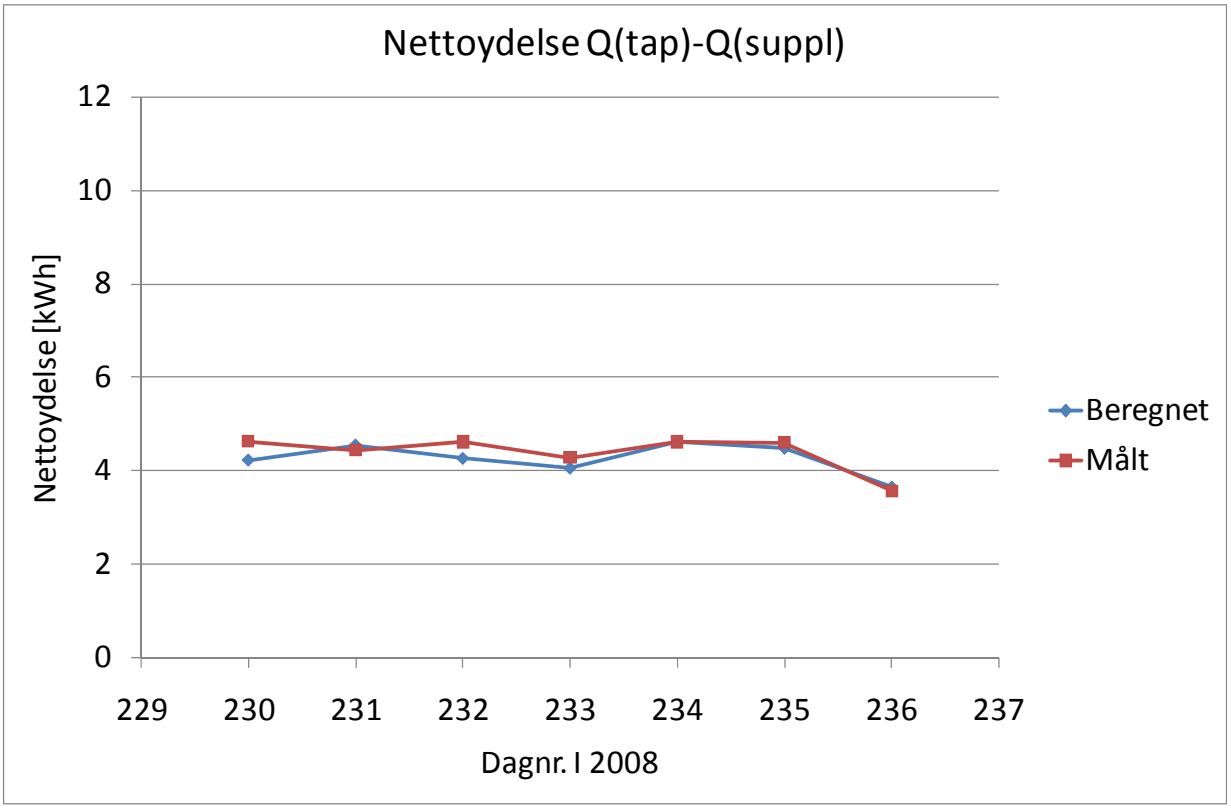
Figur 4-5: Supplerende energi tilført lageret i perioden.



Figur 4-6: Energimængde tappet fra lageret i perioden.



Figur 4-7: Driftstid for pumpen i solfangerkredsen i perioden.



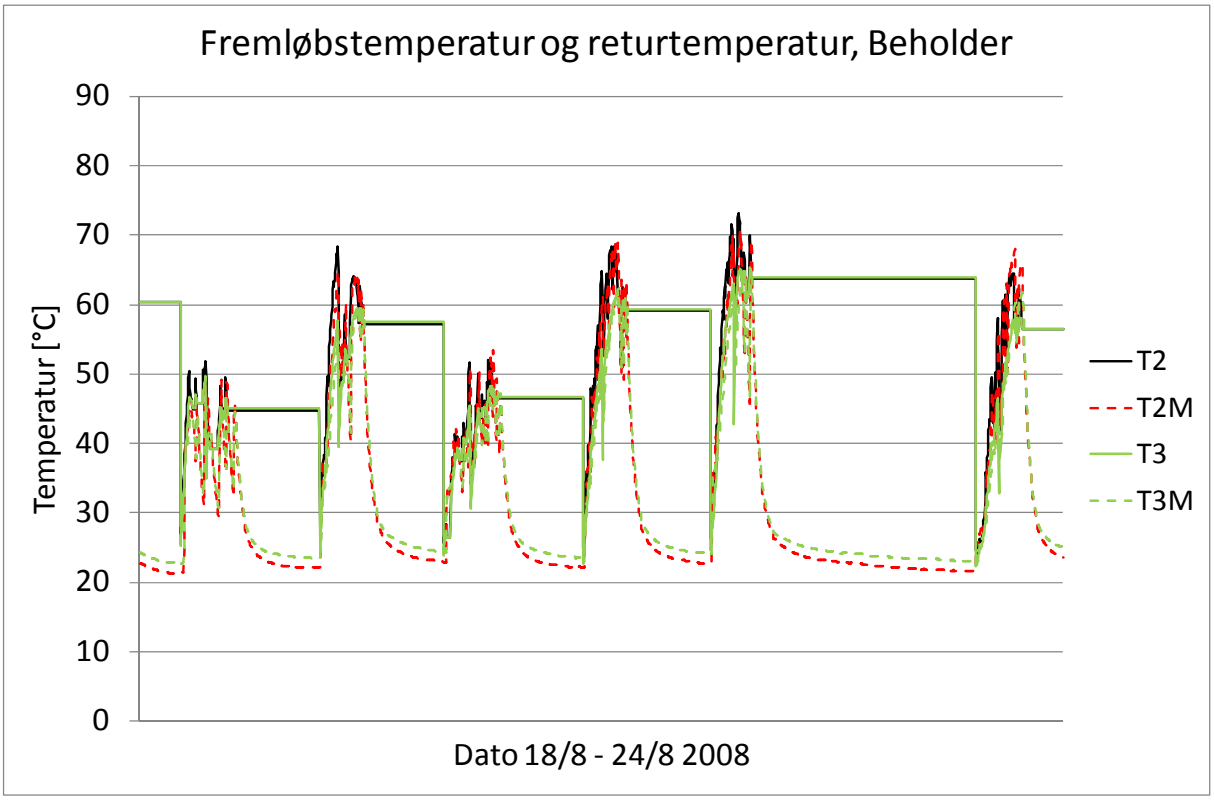
Figur 4-8: Nettoydelse for anlægget i perioden.

Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser. I Tabel 4-4 er energimængderne summeret over hele perioden, og det fremgår heraf, at forskellene ligger klart inden for måleusikkerhederne på energistørrelserne, jvf. /2/.

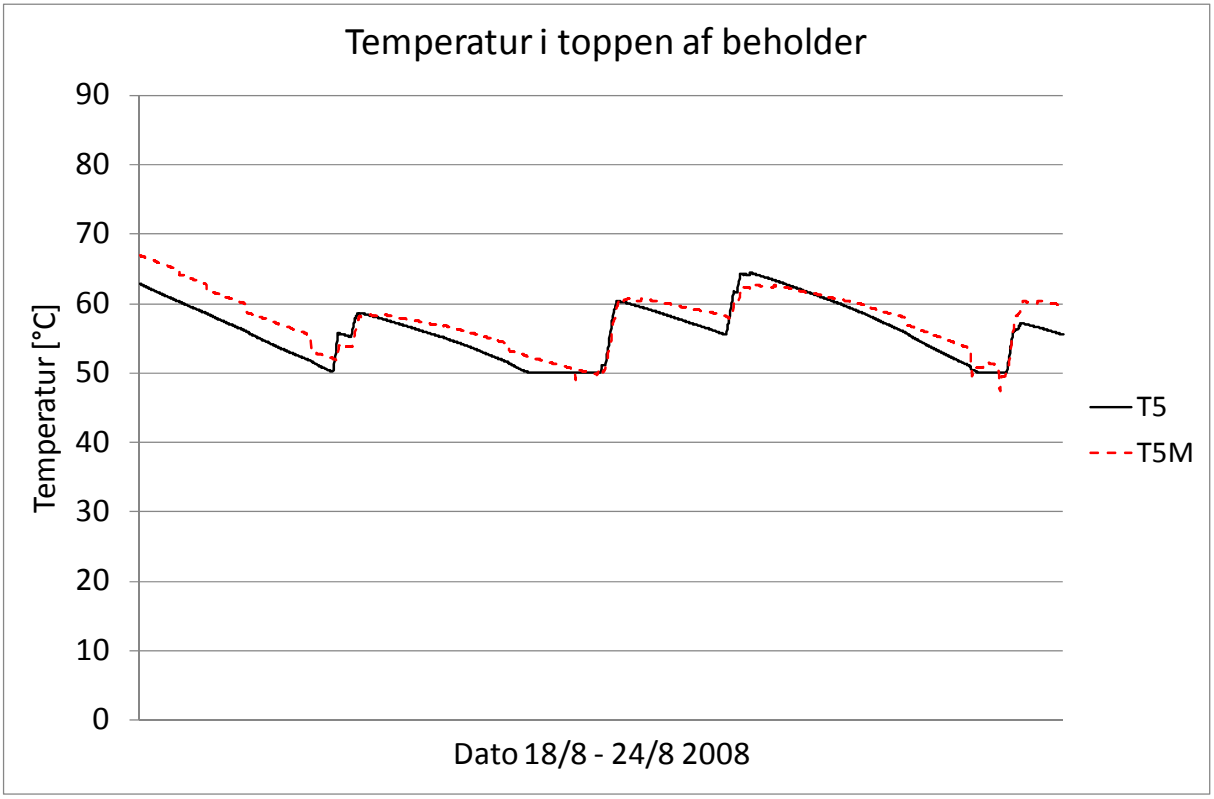
	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende energi tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Driftstid for pumpe i solfangerkreds [timer]	Nettoydelse [kWh]
Målt	37,9	1,51	32,3	40,4	30,7
Beregnet	37,8	1,57	31,3	40,6	29,8
Afvigelse [%]	0,3	-4,0	3,1	-0,5	2,9

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

Figur 4-9 viser den målte og beregnede fremløbstemperaturer og returtemperaturer for lageret. Figur 4-10 viser den målte og beregnede temperatur i toppen af lageret. Sammenligningen af temperaturerne viser, at temperaturniveauet og dynamikken stemmer godt overens.



Figur 4-9: Fremløbstemperatur til lageret og returtemperatur fra lageret i perioden. Signaturerne i figuren svarer til signaturerne i Figur 4-1.



Figur 4-10: Temperaturen i toppen af lageret i perioden. Signaturerne i figuren svarer til signaturerne i Figur 4-1.

4.2.4 Årsydelse for anlægget

I det følgende beregnes anlæggets årsydelse med referenceårets vejrdata. Modellen beskrevet i afsnit 4.2.2 anvendes med den ændring, at koldtvandstemperaturen er konstant 10°C (før blev den målte koldtvandstemperatur benyttet).

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

Driftssituation 1: Der tappes 100 l/dag. Det varme brugsvand tappes ved 50 °C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 50,5 °C.

Driftssituation 2: Der tappes 200 l/dag. Det varme brugsvand tappes ved 45 °C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5 °C.

I Tabel 4-5 og Tabel 4-6 er følgende månedlige værdier gengivet: Totalt solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lageret, driftstid for cirkulationspumpen i solfangerkredsen, nettoydelse (=tappet energimængde÷supplerende energimængde), samt nettodækningsgrad (=nettoydelse/tappet energimængde).

	Solind-fald [kWh]	Sol-varme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Driftstid For pumpe [timer]	Netto-ydelse [kWh]	Netto-dæknings grad [%]
Jan.	117	33	136	143	47	7	5
Feb.	259	78	82	129	97	47	36
Mar.	327	95	85	143	134	58	41
Apr.	586	179	40	138	236	98	71
Maj	686	214	12	143	267	131	92
Juni	780	239	8	138	283	130	94
Juli	688	219	14	143	294	129	90
Aug.	656	222	14	143	281	129	90
Sep.	469	168	31	138	237	107	78
Okt.	298	106	73	143	161	70	49
Nov.	168	54	108	138	95	30	22
Dec.	149	47	119	143	74	24	17
Totalt	**5183**	**1654**	**722**	**1682**	**2206**	**960**	**57**

Tabel 4-5: Beregnede månedlige energimængder for anlægget ved tapning af 100 liter/dag.

Det ses, at anlægget i driftssituation 1 har en årlig nettoydelse på 960 kWh svarende til en dækningsgrad på 57 %.

	Solind-fald [kWh]	Sol-varme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Driftstid for pumpe [timer]	Netto-ydelse [kWh]	Netto-dæknings grad [%]
Jan.	117	36	224	250	49	26	10
Feb.	259	91	149	226	104	77	34
Mar.	327	112	156	250	149	94	38
Apr.	586	218	76	242	250	166	69
Maj	686	265	39	250	304	211	84
Juni	780	300	24	242	328	218	90
Juli	688	277	34	250	348	216	86
Aug.	656	279	36	250	318	214	86
Sep.	469	208	71	242	258	171	71
Okt.	298	127	141	250	181	109	44
Nov.	168	64	187	242	100	55	23
Dec.	149	54	204	250	78	46	18
Totalt	**5183**	**2031**	**1341**	**2944**	**2467**	**1603**	**54**

Tabel 4-6: Beregnede månedlige energimængder for anlægget ved tapning af 200 liter/dag.

Det ses, at anlægget i driftssituation 2 har en årlig nettoydelse på 1603 kWh svarende til en dækningsgrad på 54 %.

Den højere årlige ydelse for anlægget ved tapning af 200 liter varmt brugsvand pr. dag ved 45 °C skyldes både det forøgede varmtvandsforbrug og det lavere, og dermed gunstigere, temperaturniveau ved hvilket tapningen foregår.

4.2.5 Driftserfaringer og sammenfatning

Anlægget har kørt uden problemer i hele prøvningsperioden.

5. Solvarmeanlægget fra Velux Danmark A/S

5.1 Anlægsopbygning

Solvarmeanlægget er opført i prøvestanden i efteråret 2007 af Velux Danmark A/S. Anlæggets enkeltkomponenter markedsføres i Danmark.

Anlæggets karakteristika ses i Tabel 5-1. Beholderens karakteristika ses i Tabel 5-2.

Prøvestanden er nærmere beskrevet i /2/, hvor en detaljeret beskrivelse af apparatur og målesystem også findes.

Anlægsfabrikant	Velux Danmark A/S
Solfanger	CLI U12 4000
Solfangerareal [m²]	4,3
Solfangervæske	23% Propylenglykol/vand
Beholder	TFF 300 0101
Beholdertype	Spiralbeholder
Supplerende energikilde	Elpatron/Varmevekslerspiral

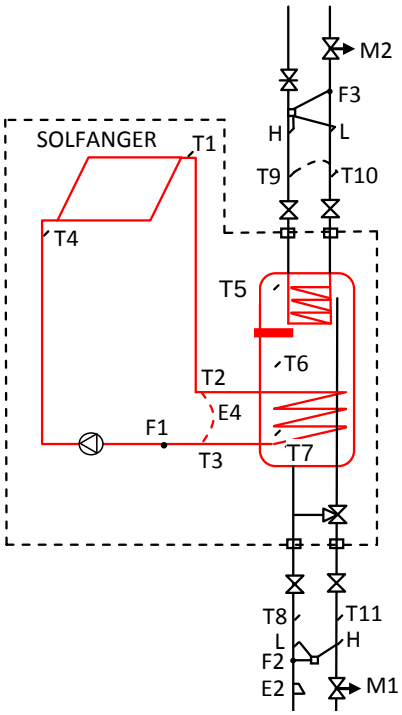
Tabel 5-1: Solvarmeanlæggets karakteristika.

Vægt (tom) [kg]	120
Effektivt brugsvandsvolumen [l]	280
Beholdervol. over el-patron [l]	121
Effekt af elpatron [W]	2500
Beholderhøjde [m]	1,533
Indvendig diameter [m]	0,495
Godstykkelse, beholder [m]	0,0025
Volumen af solvarmevekslerspiral [l]	10,4
Længde af spiral [m]	14,45
indre/ydre diameter [m]	0,0307/0,0337
Isoleringstykkelse Top/Sider/Bund [m/m/m]	0,075/0,050/0,075 (PUR-skum)

Tabel 5-2: Data for beholderen.

Anlægget har et variabelt flow i solfangerkredsen. Anlægget har et solfangerfeltet bestående af to CLI U12 4000 solfangerpaneler, med et samlet transparent areal på 4,3 m², samt en lagertank, TFF 300 0101 med et effektivt brugsvandsvolumen på 280 l. Datablad for lagertank ses i bilag 3. Solfangeren er installeret på en 45° hældende sydvendt flade. Datablad for solfangeren ses i bilag 4.

Figur 5-1 viser en principskitse af solvarmeanlægget.



Figur 5-1: Principskitse af anlægget med målepunkter.

Lagertanken er en lodretstående cylindrisk spiralbeholder med et el-varmelegeme til suppleringsvarme om sommeren og en varmevekslerspiral til suppleringsvarme om vinteren. Beholderen er isoleret med PUR-skum og omsluttet af en ”sølv” foliekappe.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 6,1 m fremløbsrør til lageret, og 8,1 m returrør fra lageret. Heraf er 5,1 m indendørs. Rørene er rustfrie flexrør med ydre diameter 17,4 mm. Rørene er isoleret med 15 mm kaiflex rørisolering.

Solfangerkredsen er forsynet med en Wilo cirkulationspumpe (Type ST20/6-3 P), som igennem hele måleperioden har kørt på trin 3.

Cirkulationspumpen styres af en differenstermostat, der måler temperaturforskellen mellem udløbstemperaturen fra solfangeren og temperaturen i tanken ud for solvarmevekslerspiralen. Differenstermostaten har start/stop setpunkt på 6/3 K.

Figur 5-2 og Figur 5-3 viser fotos af anlæggets solfanger og varmelager.



Figur 5-2: Solfangerpanelerne på tagfladen.



Figur 5-3: Solvarmeanlæggets varmelager.

5.2 Prøvning og validering af EDB-model for anlægget

5.2.1 Måledata

I Figur 5-1 er målepunkterne i anlægget vist.

Der er tre målepunkter i lagertanken i toppen (T5), i midten (T6) og i bunden (T7). Målepunkterne er anbragt i en glasstav, som er indført i tanken gennem bunden.

I Tabel 5-3 er følgende værdier gengivet: Solvarme fra solfangeren, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lageret, driftstid for cirkulationspumpen i solfangerkredsen, nettoydelse (=tappet energimængde÷supplerende energimængde) samt nettodækningsgrad (=nettoydelse/tappet energimængde).

Periode 2008	Sol varme fra solfanger [kWh]	Sol-varme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Driftstid for pumpe [timer]	Netto-ydelse [kWh]	Netto-dæknings grad [%]
Marts	58	60	45	47	136	2	4
April	163	143	8	84	182	76	90
Maj	237	214	0	106	183	106	100
Juni		202	0	132	189	132	100
Juli		244	0	143	214	143	100
August		179	27	134	169	107	80
September		175	37	140	179	103	74
Oktober		59	78	87	69	9	10
November		19	106	72	24	-34	-47
December		12	238	138	25	-100	-72

Tabel 5-3: Målte værdier for anlægget fra Velux Danmark A/S for hele måleperioden.

5.2.2 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 /1/. Modellen valideres med målte data fra perioderne d. 18/8-24/8 2008. I det følgende er input til EDB-modellen beskrevet:

<u>Solfangerkredsen:</u>

Effektivitetsudtrykket for solfangeren er, ved målinger på SP /3/, bestemt til

$$\eta = 0{,}79 - 3{,}756\cdot(T_m-T_a)/G - 0{,}0073\cdot(T_m-T_a)^2/G$$

hvor

η	er solfangereffektiviteten	[-]
T_m	er solfangervæskens middeltemperatur	[°C]
T_a	er den omgivende lufts temperatur	[°C]
G	er bestrålingsstyrken på solfangeren	[W/m²]

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 1,2 l/min pr. m^2 solfanger, svarende til high flow drift.

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

$$\eta = 0{,}79 - 4{,}121 \cdot (T_m - T_a)/G$$

Effektivitetens vinkelafhængighed, i forhold til solindfaldet er ved måling på SP /3/, bestemt til a=3,9, hvor a indgår i følgende ligning:

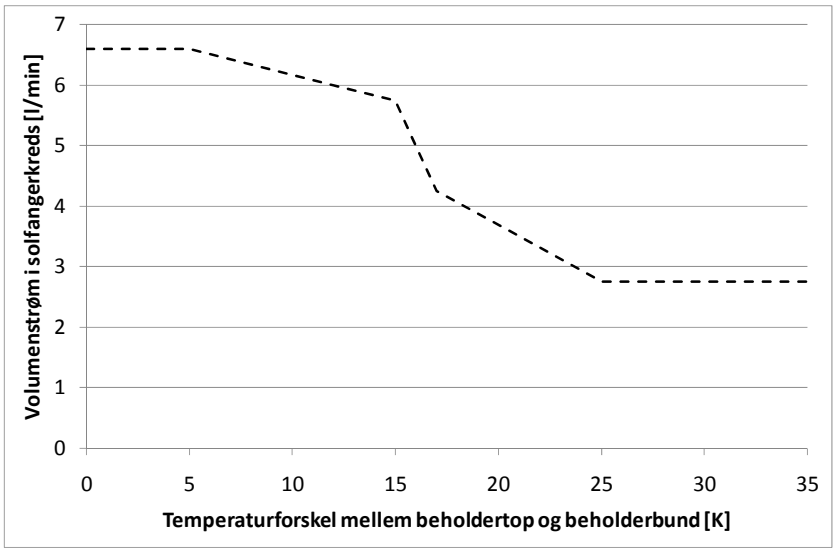
$$k_g = 1 - (\tan(i/2))^a$$

hvor

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

Væsken i solfangerkredsen er en propylenglykol/vand-blanding med 23 vægt% propylenglykol.

Volumenstrømmen i solfangerkredsen varierer med temperaturlagdelingen i lageret. Når forskellen mellem temperaturen i toppen og i bunden af lageret er lille er volumenstrømmen høj og når forskellen mellem temperaturen i toppen og i bunden af lageret er stor er volumenstrømmen lav. Volumenstrømmen er ud fra målingerne bestemt til at variere fra 2,75 l/min til 6,6 l/min. Det indebærer at også varmeoverføringen i solvarmevekslerspiralen varierer. Figur 5-4 viser volumenstrømmen som funktion af forskellen mellem temperaturen i toppen og i bunden af lageret.



Figur 5-4: Volumenstrøm i solkreds som funktion af temperaturniveau i beholder, anvendt ved validering.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 6,1 m fremløbsrør til lageret, og 8,1 m returrør fra lageret. Heraf er 5,1 m indendørs. Rørene er rustfrie flexrør med ydre diameter 17,4 mm. Rørene er

isoleret med 15 mm kaiflex rørisolering. Isoleringen antages at have en λ-værdi på 0,037 W/mK. For at opnå god overensstemmelse mellem målinger og beregninger ved validering er følgende ændringer foretaget:

- Der er tillagt en kuldebro på 1 W/K på fremløb til lager, udendørs
- Der er tillagt en kuldebro på 1 W/K på fremløb til solfanger, udendørs
- Der er tillagt en kuldebro på 1 W/K på fremløb til solfanger, indendørs

Pumpen starter når temperaturdifferensen mellem temperaturen i toppen af solfangeren og i lagertanken ud for spiralen overstiger 10 K og pumpen stopper igen når temperaturdifferensen mellem indløb og udløb fra spiralen er 0 K.

Lageret:

Beholderen har et volumen på 280 liter med en indvendig højde/diameter på 1,45/0,495=2,93. Godstykkelsen er overalt 2,5 mm. Solvarmevekslerspiralen er 14,45 m med indvendig og udvendig diameter på henholdsvis 0,0307 m og 0,0337 m. Beholderen er i toppen og i bunden isoleret med 75 mm og på siderne med 50 mm PUR-skum isolering. Isoleringens λ-værdi anslås til 0,037W/mK. For at opnå god overensstemmelse mellem målinger og beregninger er følgende ændringer foretaget:

- Der er tillagt en kuldebro på 1,5 W/K i toppen af lagertanken
- Det supplerende volumen er øget fra 121 liter til 159 liter

I simuleringerne er anvendt er effekt på 2500 W for el-patronen. Setpunktet for termostaten for toppen af lageret er 49°C.

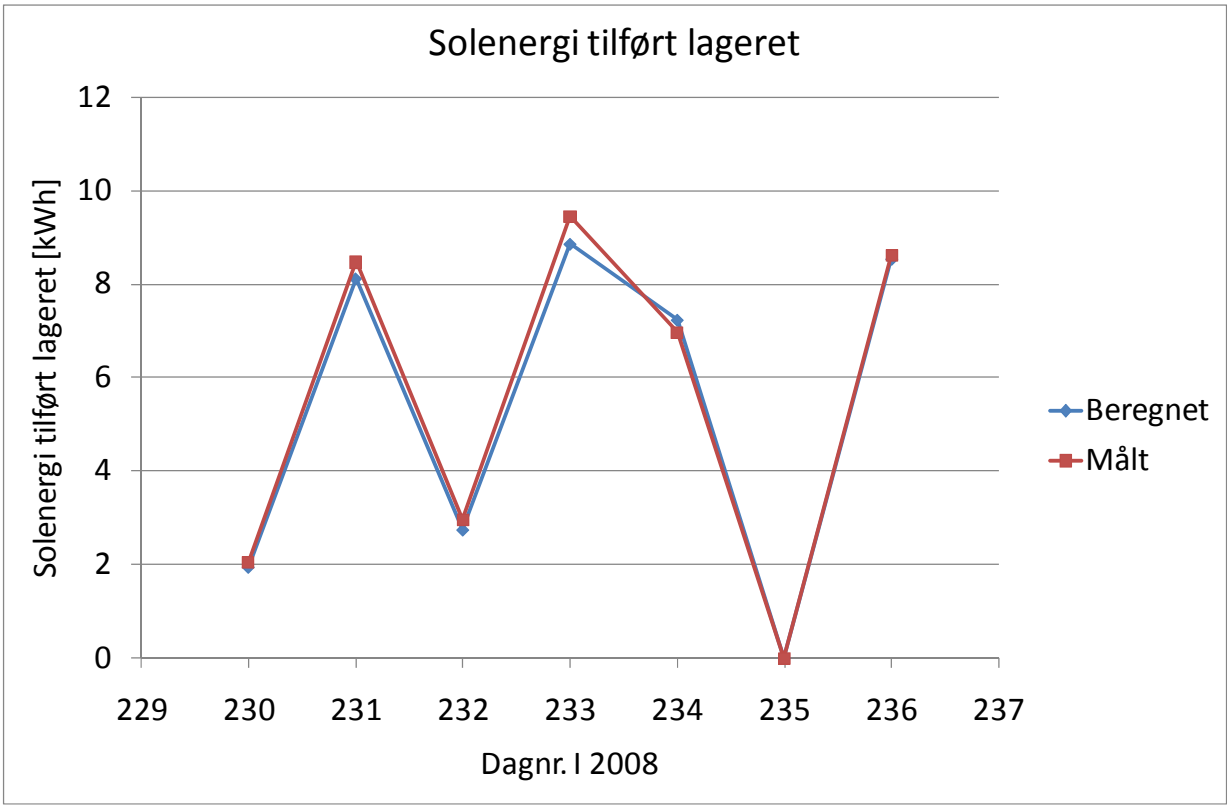
Startværdier for temperaturen i lagertankens forskellige lag er fastlagt ud fra de målte temperaturer.

5.2.3 Validering af EDB-model

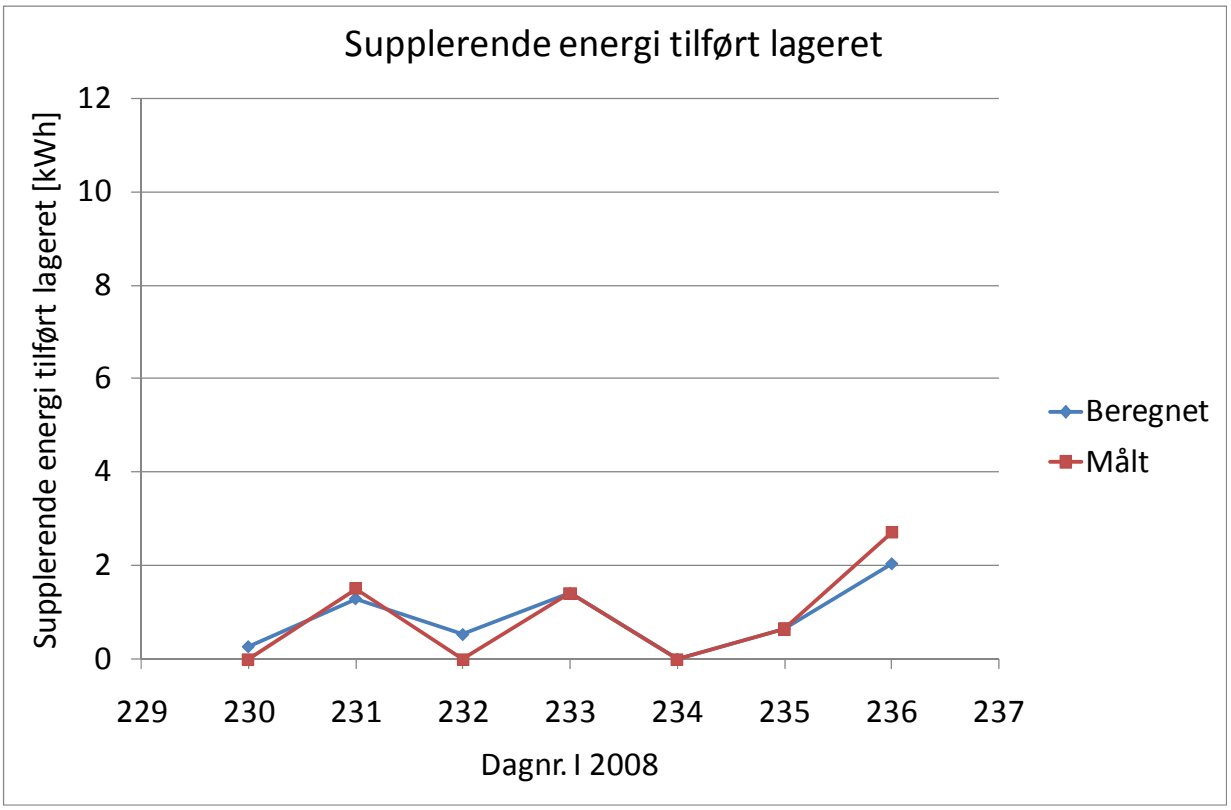
Formålet med valideringen af EDB-modellen er, at udforme en model der svarer så godt til solvarmeanlægget, at man kan beregne anlæggets årsydelser.

EDB-modellen af anlægget valideres mod målte energistørrelser og temperaturer. Energistørrelserne er som følger: Solvarme tilført lageret, supplerende varme tilført lageret, energimængde tappet fra lageret og anlæggets nettoydelse. De målte temperaturer der benyttes til valideringen er: Temperaturen i toppen af lageret (T7), solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2) og solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3). Angivelserne i parenteserne refererer til signaturerne i Figur 5-1.

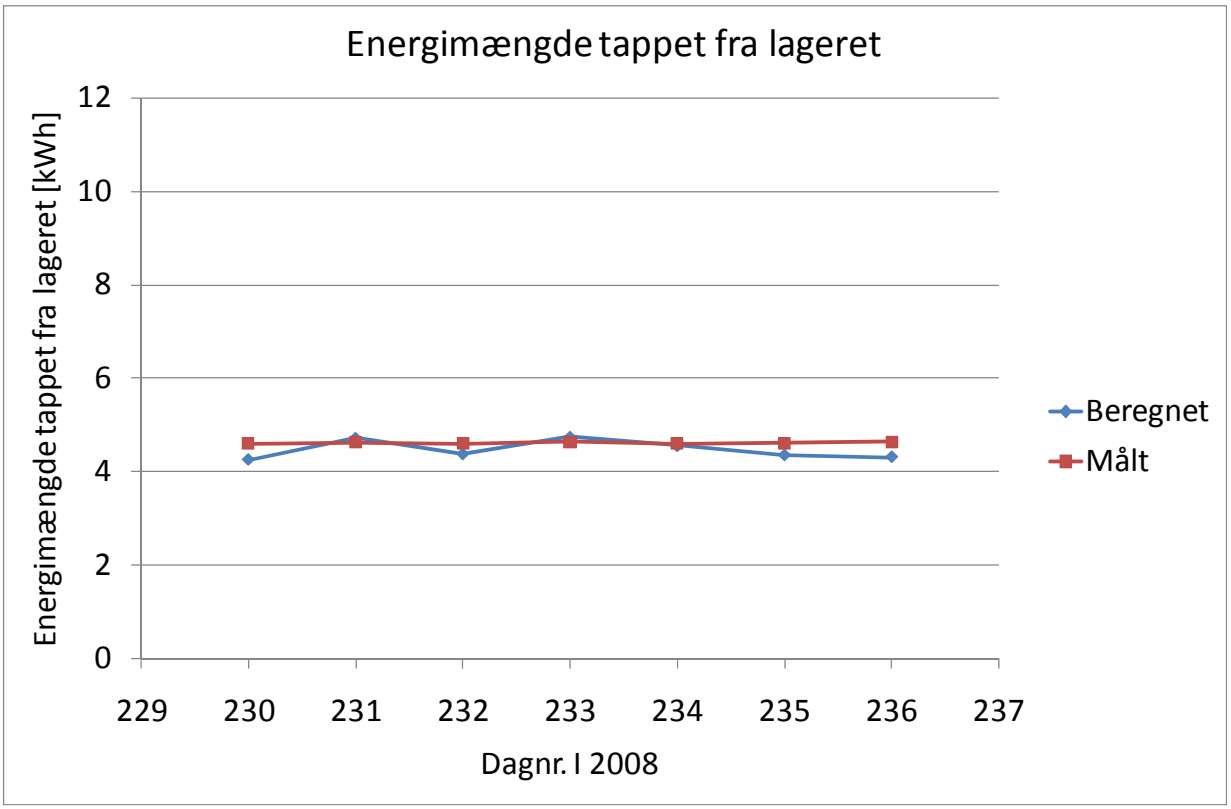
Figur 5-5 viser den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangervæsken til lageret. I Figur 5-6 ses den målte og beregnede daglige supplerende energimængde tilført lageret, og Figur 5-7 viser den målte og beregnede daglige tappede energimængde. Figur 5-8 viser driftstid for pumpen i solfangerkredsen. Endelig viser Figur 5-9 den målte og beregnede daglige nettoydelse for anlægget, defineret som: Tappet energi – supplerende energi.



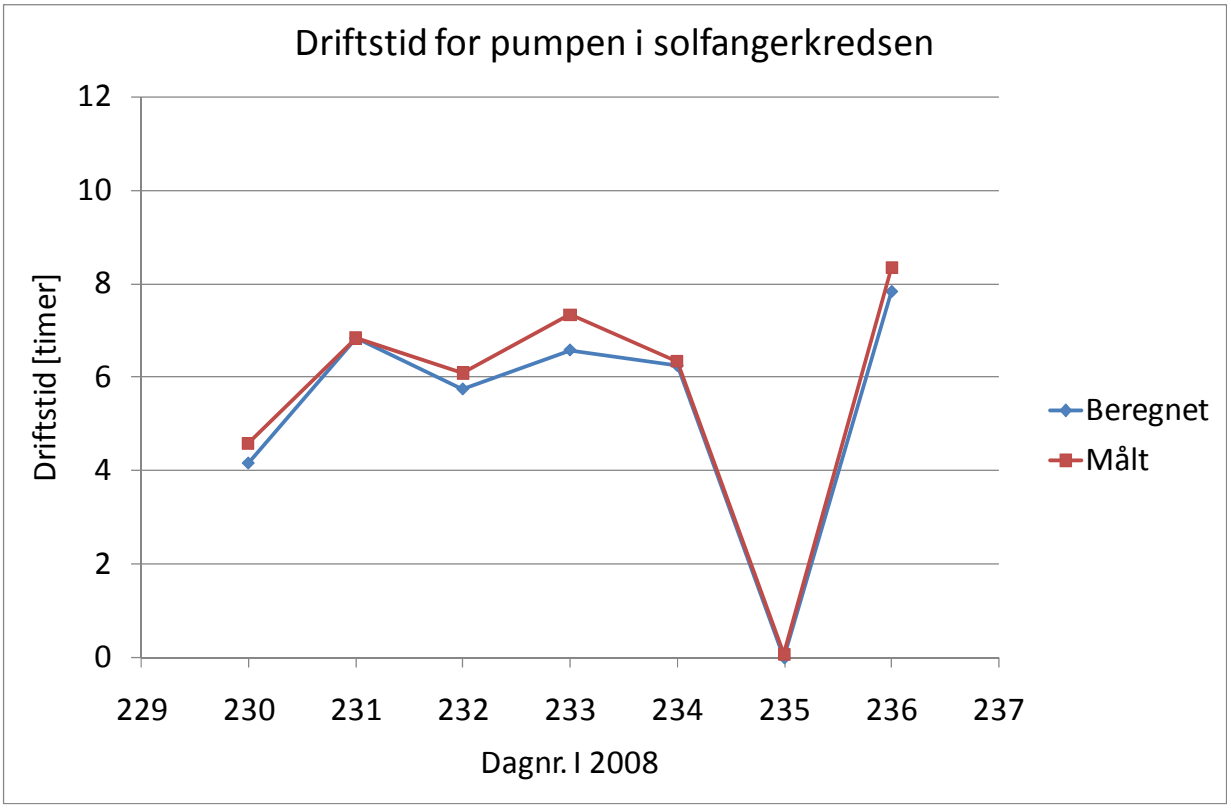
Figur 5-5: Solenergi tilført lageret i perioden.



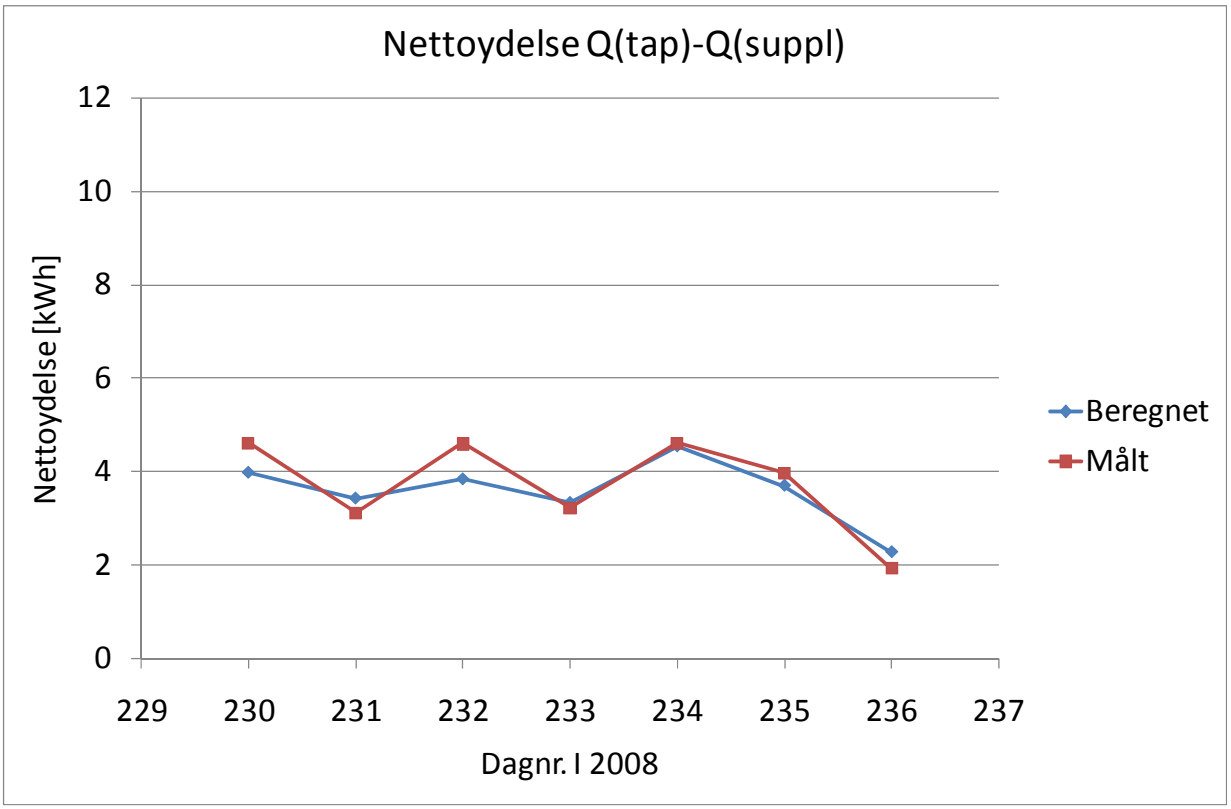
Figur 5-6: Supplerende energi tilført lageret i perioden.



Figur 5-7: Energimængde tappet fra lageret i perioden.



Figur 5-8: Driftstid for pumpe i solfangerkreds i perioden.



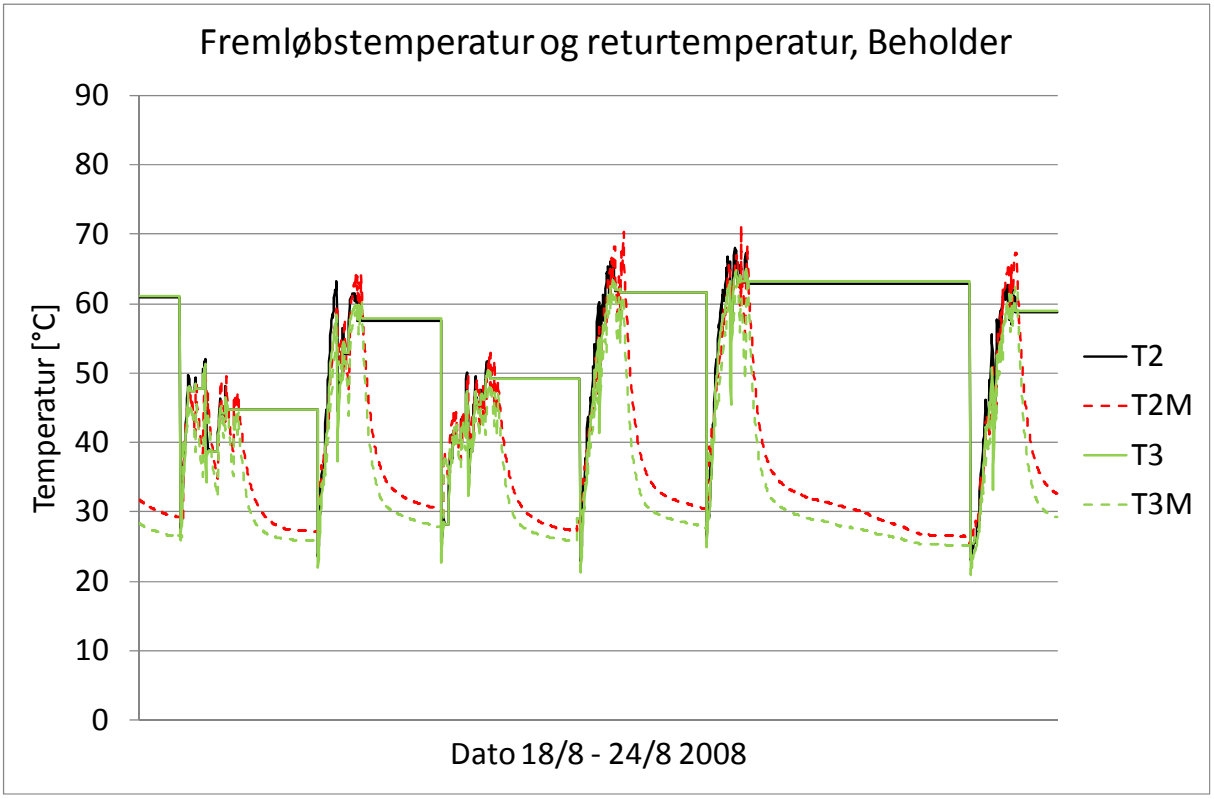
Figur 5-9: Nettoydelse for anlægget i perioden.

Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser. I Tabel 5-4 er energimængderne summeret over hele perioden, og det fremgår heraf, at forskellene ligger klart inden for måleusikkerhederne på energistørrelserne, jvf. /2/.

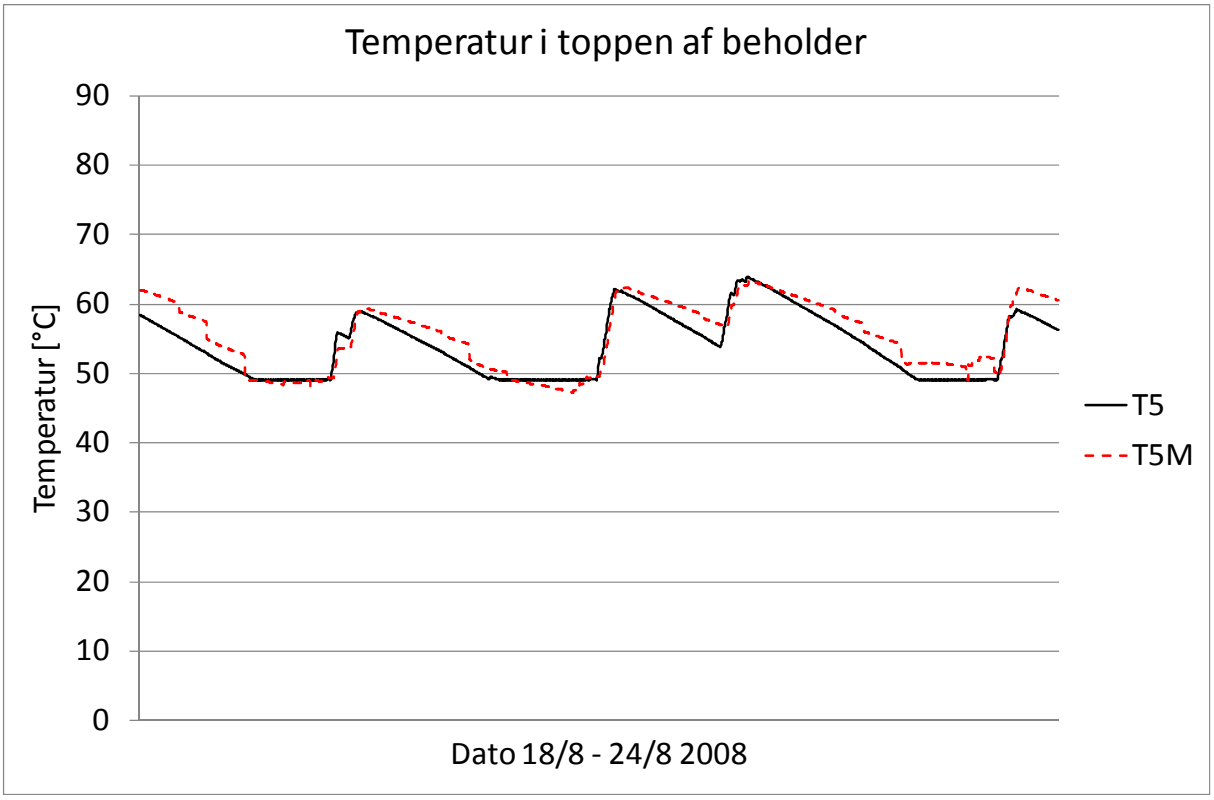
	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende energi tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Driftstid for pumpe i solfangerkreds [timer]	Nettoydelse [kWh]
Målt	38,5	6,3	32,3	39,6	26,1
Beregnet	37,4	6,2	31,3	37,4	25,1
Afvigelse [%]	2,9	1,6	3,1	5,6	3,8

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

Figur 5-10 viser den målte og beregnede fremløbstemperatur og returtemperatur til lager. Figur 5-11 viser den målte og beregnede temperatur i toppen af lageret. Sammenligningen af temperaturerne viser, at temperaturniveauet og dynamikken stemmer godt overens.



Figur 5-10: Fremløbstemperatur til lageret og returtemperatur fra lageret i perioden. Signaturerne i figuren svarer til signaturerne i Figur 5-1.



Figur 5-11: Temperaturen i toppen af lageret i perioden. Signaturerne i figuren svarer til signaturerne i Figur 5-1.

5.2.4 Årsydelse for anlægget

I det følgende beregnes anlæggets årsydelse. Modellen beskrevet i afsnit 5.2.2 anvendes med den ændring, at koldtvandstemperaturen er konstant 10°C (før blev den målte koldtvandstemperatur benyttet).

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

Driftssituation 1: Der tappes 100 l/dag. Det varme brugsvand tappes ved 50 °C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 50,5 °C.

Driftssituation 2: Der tappes 200 l/dag. Det varme brugsvand tappes ved 45 °C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5 °C.

I Tabel 5-5 og Tabel 5-6 er følgende månedlige værdier gengivet: Totalt solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lageret, driftstiden for cirkulationspumpen i solfangerkredsen, nettoydelse (=tappet energimængde÷supplerende energimængde) samt nettodækningsgrad (=nettoydelse/tappet energimængde).

	Solind-fald [kWh]	Sol-varme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Driftstid for pumpe [timer]	Netto-ydelse [kWh]	Netto-dæknings grad [%]
Jan.	114	32	181	143	46	-38	-27
Feb.	255	75	113	129	96	16	12
Mar.	321	91	119	143	133	24	17
Apr.	575	173	58	138	226	80	58
Maj	673	209	25	143	244	118	83
Juni	766	234	17	138	261	121	88
Juli	675	212	24	143	265	119	83
Aug.	644	218	25	143	264	118	83
Sep.	460	163	51	138	226	87	63
Okt.	292	102	105	143	161	38	27
Nov.	165	53	145	138	97	-7	-5
Dec.	146	46	158	143	74	-15	-10
Totalt	**5056**	**1608**	**1021**	**1682**	**2093**	**661**	**39**

Tabel 5-5: Beregnede månedlige energimængder for anlægget ved tapning af 100 liter/dag.

Det ses, at anlægget i driftssituation 1 har en årlig nettoydelse på 661 kWh svarende til en dækningsgrad på 39 %.

	Solind-fald [kWh]	Sol-varme til lager [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Driftstid for pumpe [timer]	Netto-ydelse [kWh]	Netto-dæknings grad [%]
Jan.	114	36	271	250	49	-21	-8
Feb.	255	90	183	226	104	43	19
Mar.	321	109	193	250	151	57	23
Apr.	575	215	99	242	246	143	59
Maj	673	261	60	250	291	190	76
Juni	766	297	36	242	311	206	85
Juli	675	272	50	250	334	200	80
Aug.	644	276	52	250	304	198	79
Sep.	460	203	97	242	253	145	60
Okt.	292	125	176	250	184	74	30
Nov.	165	63	225	242	106	17	7
Dec.	146	54	244	250	78	6	2
Totalt	**5056**	**2001**	**1686**	**2944**	**2411**	**1258**	**43**

Tabel 5-6: Beregnede månedlige energimængder for anlægget ved tapning af 200 liter/dag.

Det ses, at anlægget i driftssituation 2 har en årlig nettoydelse på 1258 kWh svarende til en dækningsgrad på 43 %.

Den højere årlige ydelse for anlægget ved tapning af 200 liter varmt brugsvand pr. dag ved 45 °C skyldes både det forøgede varmtvandsforbrug og det lavere, og dermed gunstigere, temperaturniveau ved hvilket tapningen foregår. Dækningsgraden ved tapning af 100 liter varmt brugsvand pr. dag ved 50 °C er mindre end dækningsgraden ved tapning af 200 liter varmt brugsvand pr. dag ved 45 °C. Det skyldes den store kuldebro i den øverste del af varmtvandsbeholderen.

5.2.5 Driftserfaringer og sammenfatning

Anlægget har ikke kørt uden problemer i hele prøvningsperioden. Der var indledningsvis problemer med selvcirkulation i solkredsen. Disse problemer er blevet løst.

6. Solvarmeanlægget fra Sonnenkraft Scandinavia A/S

6.1 Anlægsopbygning

Solvarmeanlægget er opført i prøvestanden i efteråret 2007 af Sonnenkraft Scandinavia A/S. Anlæggets enkeltkomponenter markedsføres i Danmark.

Anlæggets karakteristika ses i Tabel 6-1. Beholderens karakteristika ses i Tabel 6-2.

Prøvestanden er nærmere beskrevet i /2/, hvor en detaljeret beskrivelse af apparatur og målesystem også findes.

Solfangerfabrikant	Thermo-Sol
Solfanger	SK500 N/L
Solfangerareal [m²]	4,41
Solfangervæske	14% Propylenglykol/vand
Beholderfabrikant	Velux Danmark A/S
Beholder	ELB 300
Beholdertype	Spiralbeholder
Supplerende energikilde	Elpatron/Varmevekslerspiral

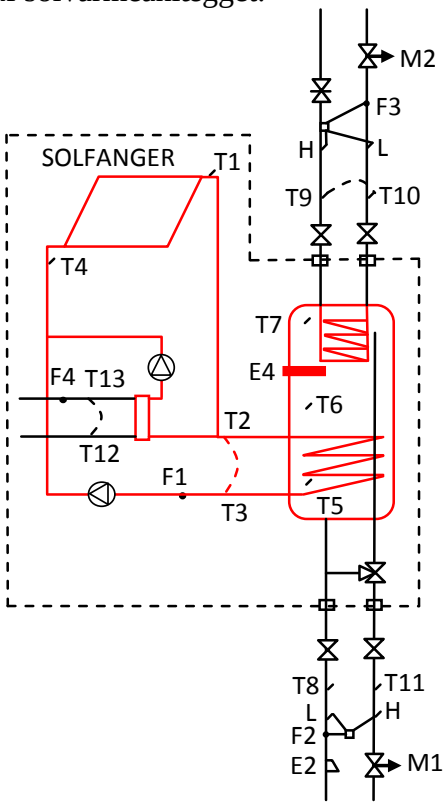
Tabel 6-1: Solvarmeanlæggets karakteristika.

Vægt (tom) [kg]	120
Effektivt brugsvandsvolumen [l]	280
Beholdervol. over el-patron [l]	121
Effekt af elpatron [W]	2500
Beholderhøjde [m]	1,533
Indvendig diameter [m]	0,495
Godstykkelse, beholder [m]	0,0025
Volumen af solvarmevekslerspiral [l]	10,4
Længde af spiral [m]	14,45
indre/ydre diameter [m]	0,0307/0,0337
Isoleringstykkelse Top/Sider/Bund [m/m/m]	0,075/0,050/0,075 (PUR-skum)

Tabel 6-2: Data for beholderen.

Anlægget er et kombineret brugsvands- og rumvarmeanlæg. Anlægget har et solfangerfelt bestående af to SK500 N/L solfangerpaneler, med et samlet transparent areal på 4,41 m², samt en lagertank, ELB 300 med et effektivt brugsvandsvolumen på 280 l. Datablad for lagertank ses i bilag 3. Solfangeren er installeret på en 45° hældende sydvendt flade. Datablad for solfangeren ses i bilag 10.6.

Figur 6-1 viser en principskitse af solvarmeanlægget.



Figur 6-1: Principskitse af anlægget med målepunkter.

Lagertanken er en lodretstående cylindrisk spiralbeholder med et el-varmelegeme til suppleringsvarme om sommeren og en varmevekslerspiral til suppleringsvarme om vinteren. Beholderen er isoleret med PUR-skum og omsluttet af en "sølv" foliekappe.

Solfangeren er forbundet til lagertanken via 13,5 m fremløbsrør til lageret, og 10,8 m returrør fra lageret. Heraf er hhv. 6,5 m og 5,8 m indendørs. Rørene er 10/8 mm kobberrør. Rørene er isoleret med 10 mm kaiflex rørisolering.

Solfangerkredsen er forsynet med en Wilo cirkulationspumpe (Type ST20/6-3 P), som igennem hele måleperioden har kørt på trin 3.

Cirkulationspumpen styres af en differenstermostat, der måler temperaturforskellen mellem udløbstemperaturen fra solfangeren og temperaturen i tanken ud for solvarmevekslerspiralen. Differenstermostaten har start/stop setpunkt på 10/4 K. Når temperaturen i bunden af lagertanken overstiger ca. 60°C overføres energien fra solfangeren til rumvarmekredsen via den eksterne varmeveksler. Temperaturniveauet på vandsiden af den eksterne varmeveksler er ca. 40 °C.

Figur 6-2 og Figur 6-3 viser fotos af anlæggets solfanger og varmelager.



Figur 6-2: Solfangerpanelerne på tagfladen.



Figur 6-3: Solvarmeanlæggets varmelager.

6.2 Prøvning og validering af EDB-model for anlægget

6.2.1 Måledata

I Figur 6-1 er målepunkterne i anlægget vist.

Der er tre målepunkter i lagertanken. Målepunkterne er anbragt i en glasstav, som er indført i tanken gennem bunden.

I Tabel 6-3 er følgende værdier gengivet: Solvarme fra solfangeren til lageret, solvarme overført til lageret, solvarme overført til rumvarmekredsen, suppleringsvarme, energi tappet fra lageret, driftstid for cirkulationspumpen i solfangerkredsen når solvarme overføres til lageret, driftstid for cirkulationspumpen i solkredsen når solvarme overføres til rumvarmekredsen, nettoydelse (=tappet energimængde÷supplerende energimængde) samt nettodækningsgrad (=nettoydelse/tappet energimængde).

Periode 2008	Solvarme fra solfanger til lager [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Solvarme til rum-varme [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Driftstid for solvarme pumpe [timer]	Driftstid for rum-varme pumpe [timer]	Netto-ydelse [kWh]	Netto-dæknings grad [%]	Netto-ydelse inkl. Rum-varme [kWh]
Mar.	41	39	0	23	46	41	0	23	50	23
Apr.	29	27	1	10	28	38	2	18	64	19
Maj	179	153	105	2	107	131	70	105	98	210
Jun.	188	164	72	11	129	166	67	118	91	190
Jul.	227	194	70	13	141	200	82	128	91	198
Aug.	162	143	40	29	135	148	48	106	79	146
Sep.	160	140	35	37	139	150	44	102	73	137
Okt.	53	49	1	60	86	53	61	26	30	27
Nov.	17	15	0	79	70	17	0	-9	-13	-9
Dec.	9	8	0	163	134	17	0	-29	-22	-29

Tabel 6-3: Målte værdier for anlægget fra Sonnenkraft Scandinavia A/S for hele måleperioden.

6.2.2 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 /1/. Modellen valideres med målte data fra perioderne d. 18/8-24/8 2008. I det følgende er input til EDB-modellen beskrevet:

<u>Solfangerkredsen:</u>

Effektivitetsudtrykket for solfangeren er, ved målinger på SP /3/, bestemt til

$$\eta = 0{,}795 - 3{,}63\cdot(T_m-T_a)/G - 0{,}0071\cdot(T_m-T_a)^2/G$$

hvor

η	er solfangereffektiviteten	[-]
T_m	er solfangervæskens middeltemperatur	[°C]
T_a	er den omgivende lufts temperatur	[°C]
G	er bestrålingsstyrken på solfangeren	[W/m²]

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 1,2 l/min pr. m^2 solfanger, svarende til high flow drift.

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

$$\eta = 0{,}795 - 3{,}84 \cdot (T_m - T_a)/G$$

Effektivitetens vinkelafhængighed, i forhold til solindfaldet er ved måling på SP /3/, bestemt til a=3,3, 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 propylenglykol/vand-blanding med 14 vægt% propylenglykol.

Volumenstrømmen i solfangerkredsen er ud fra målingerne bestemt til:

$$v = 1{,}2 \ \text{l/min}$$

hvor

v	er volumenstrømmen i solfangerkredsen	[l/min]

Rørene i solfangerkredsen består af 13,5 m fremløbsrør til lageret, og 10,8 m returrør fra lageret. Heraf er 6,5 m hhv. 5,8 m indendørs. Rørene er 10/8 mm kobberrør og isoleret med kaiflex rørisolering. Isoleringen antages at have en λ-værdi på 0,037 W/mK. For at opnå god overensstemmelse mellem målinger og beregninger ved validering er følgende ændringer foretaget:

- Der er tillagt kuldebro på 1 W/K på fremløb til beholder både udendørs og indendørs
- Der er tillagt kuldebro på 3 W/K på fremløb til solfanger både indendørs og udendørs

Pumpen starter når temperaturdifferensen mellem temperaturen i toppen af solfangeren og i lagertanken ud for spiralen overstiger 10 K og pumpen stopper igen når temperaturdifferensen mellem indløb og udløb fra spiralen er 0 K. Endvidere overføres energien fra solfangeren til rumvarmekredsen via den eksterne varmeveksler når temperaturen i bunden af beholderen overstiger 56,5°C.

<u>Lageret:</u>

Beholderen har et volumen på 280 liter med en indvendig højde/diameter på 1,45/0,495=2,93. Godstykkelsen er overalt 2,5 mm. Solvarmevekslerspiralen er 14,45 m med indvendig og udvendig diameter på henholdsvis 0,0307 m og 0,0337 m. Beholderen er i toppen og i bunden isoleret med 75 mm og på siderne med 50 mm PUR-skum. Isoleringens λ-værdi anslås til 0,037W/mK. For at opnå god overensstemmelse mellem målinger og beregninger ved validering er følgende ændringer foretaget:

- Der er tillagt kuldebro på 0,9 W/K i toppen af beholderen
- Det suppleringsopvarmede volumen er ændret fra 121 liter til 159 liter

I simuleringerne er anvendt er effekt på 2500 W for el-patronen. Setpunktet for termostaten for toppen af lageret er 49°C.

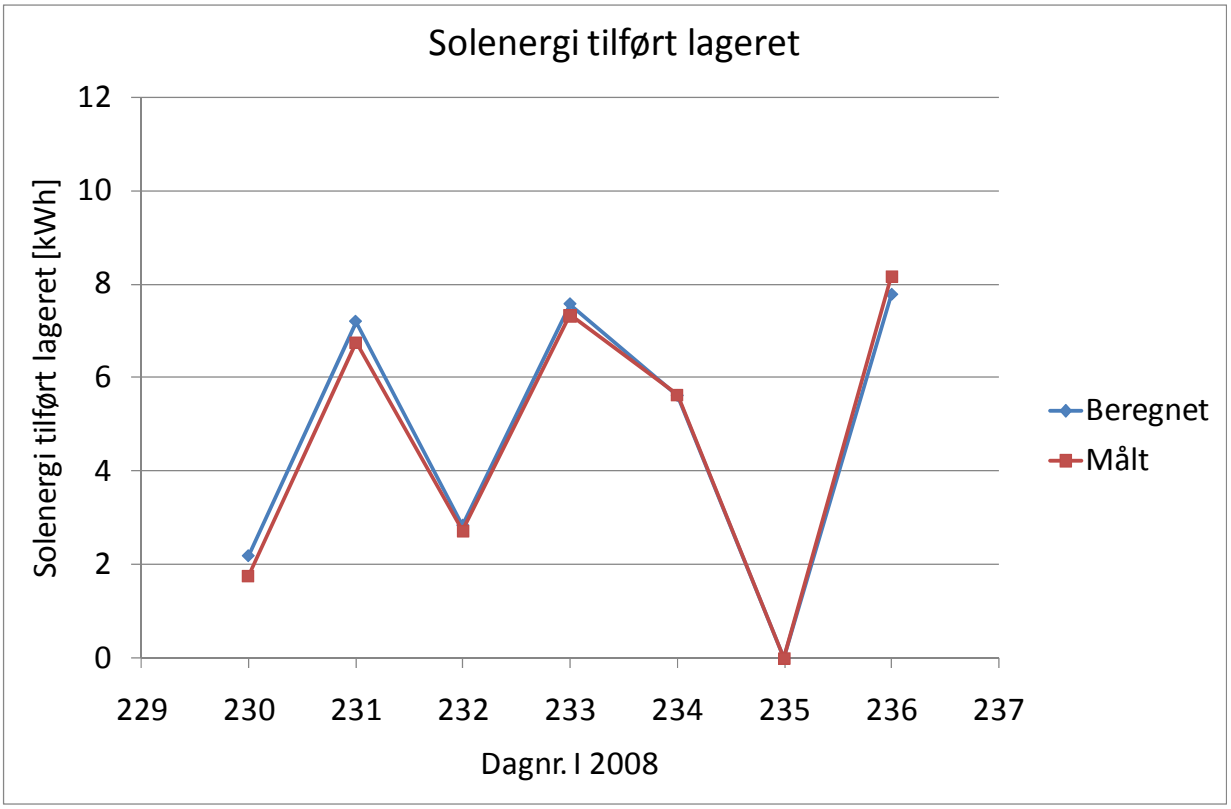
Startværdier for temperaturen i lagertankens forskellige lag er fastlagt ud fra de målte temperaturer.

6.2.3 Validering af EDB-model

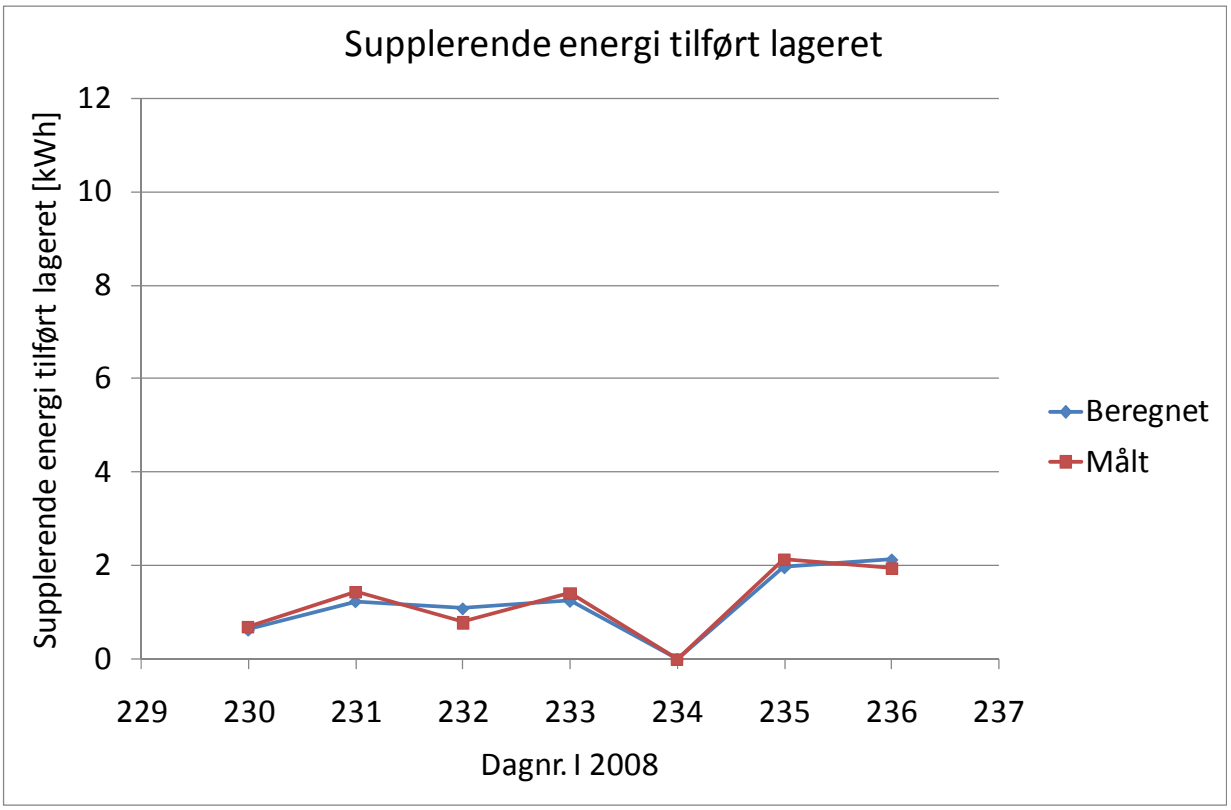
Formålet med valideringen af EDB-modellen er, at udforme en model der svarer så godt til solvarmeanlægget, at man kan beregne anlæggets årsydelser.

EDB-modellen af anlægget valideres mod målte energistørrelser og temperaturer. Energistørrelserne er som følger: Solvarme tilført lageret, supplerende varme tilført lageret, energimængde tappet fra lageret og anlæggets nettoydelse. De målte temperaturer der benyttes til valideringen er: Temperaturen i toppen af lageret (T7), solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2) og solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3). Angivelserne i parenteserne refererer til signaturerne i Figur 6-1.

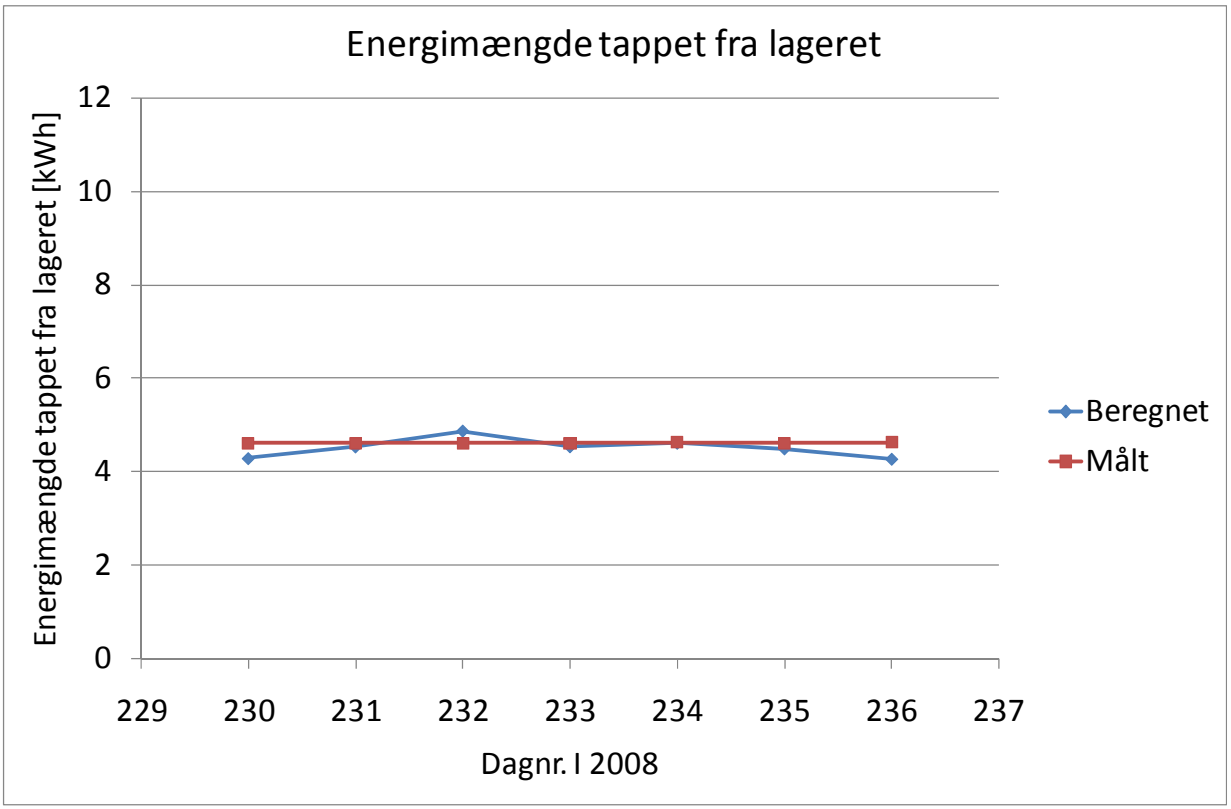
Figur 6-4 viser den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangervæsken til lageret. I Figur 6-5 ses den målte og beregnede daglige supplerende energimængde tilført lageret, og Figur 6-6 viser den målte og beregnede daglige tappede energimængde. I Figur 6-7 ses den målte og beregnede driftstid for pumpen i solfangerkredsen, og i Figur 6-8 ses den målte og beregnede daglige energioverførsel fra solfangervæsken til rumvarmekredsen. Endelig viser Figur 6-9 og Figur 6-10 den målte og beregnede daglige nettoydelse for anlægget defineret som: Tappet energi – supplerende energi, henholdsvis uden og med rumvarmeforbrug.



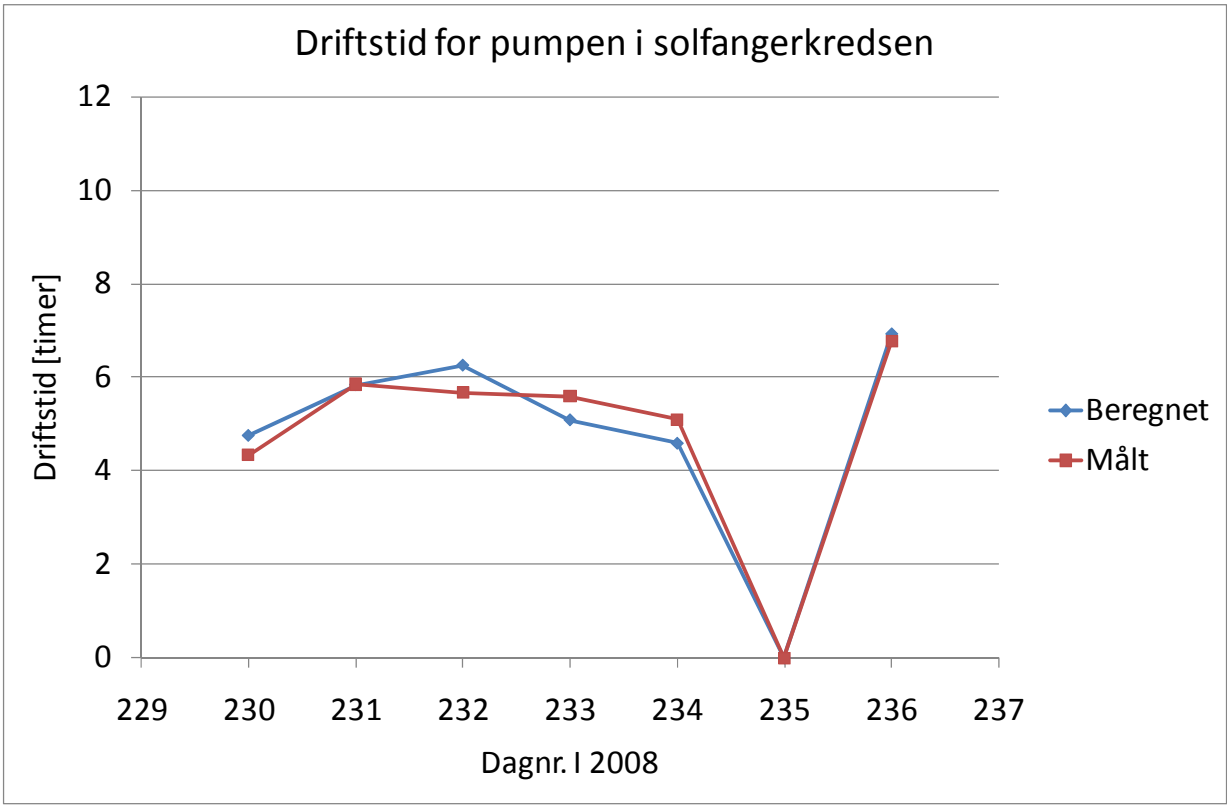
Figur 6-4: Solenergi tilført lageret i perioden.



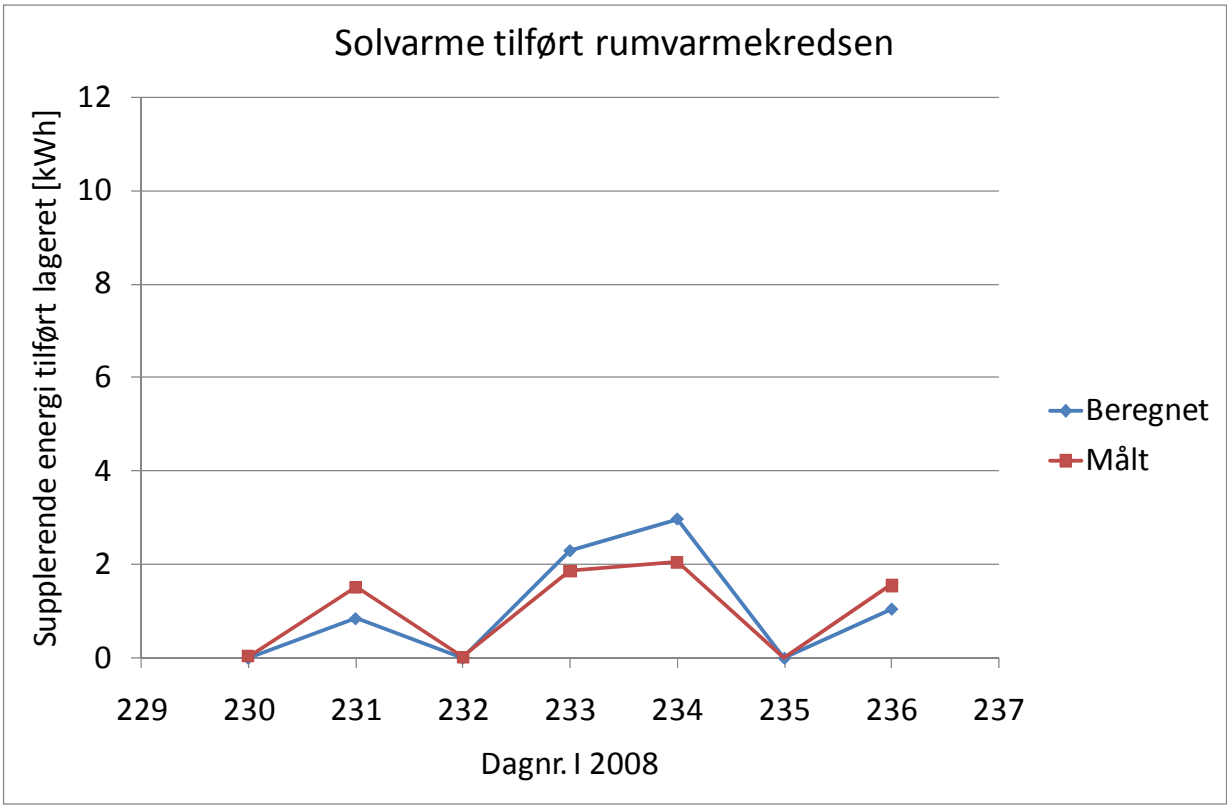
Figur 6-5: Supplerende energi tilført lageret i perioden.



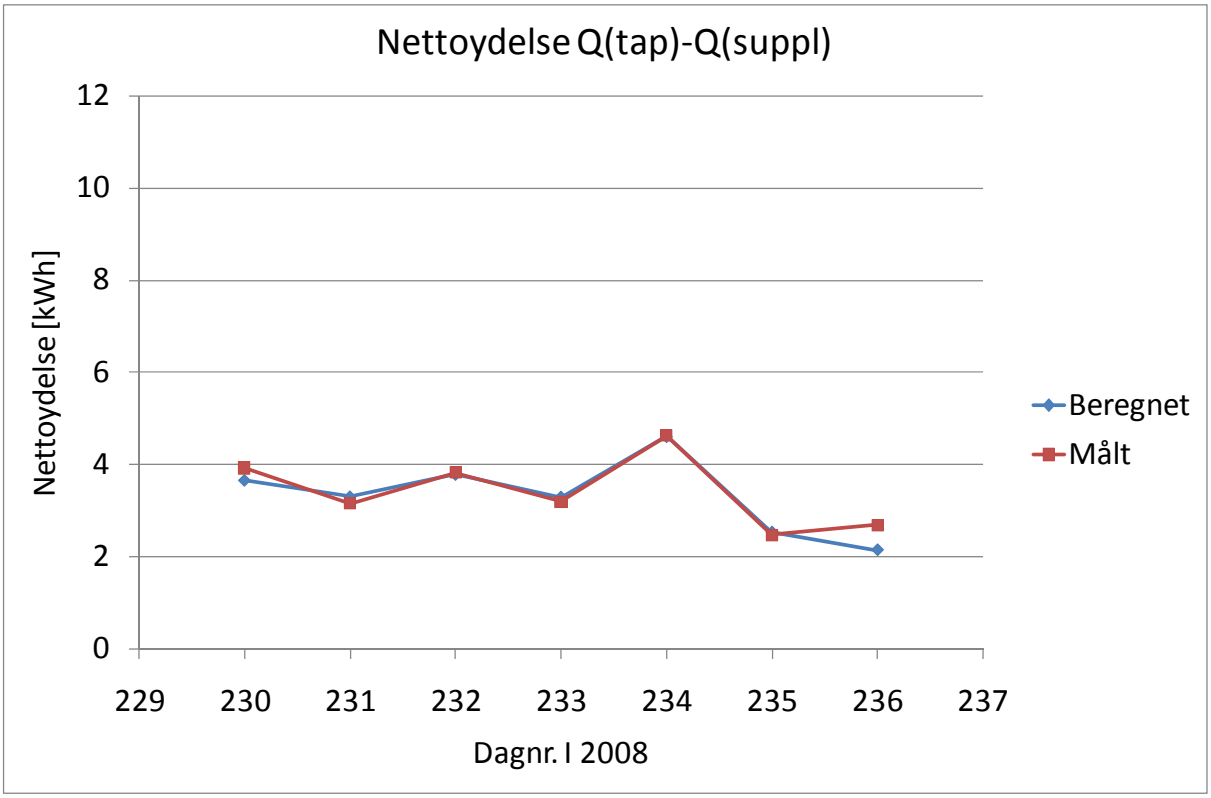
Figur 6-6: Energimængde tappet fra lageret i perioden.



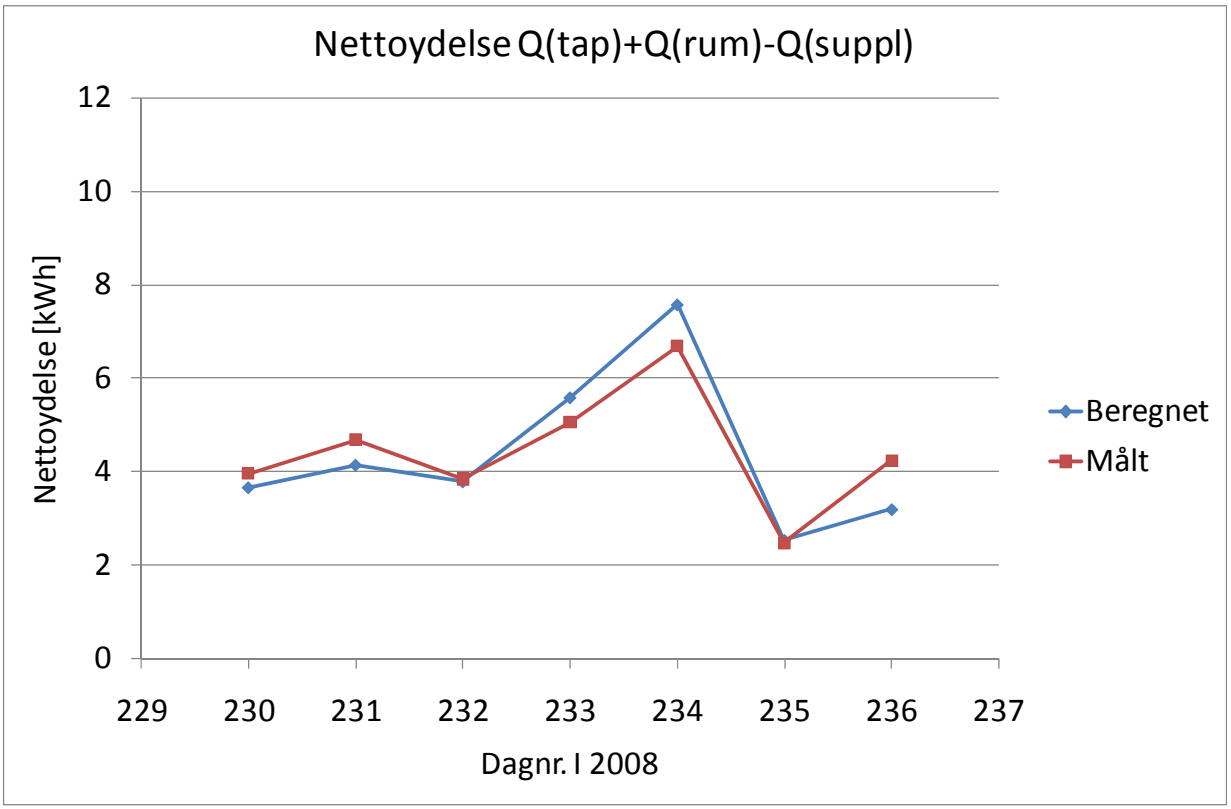
Figur 6-7: Driftstid for pumpen i solfangerkredsen i perioden.



Figur 6-8: Solvarme tilført rumvarmekredsen i perioden.



Figur 6-9: Nettoydelse for anlægget i perioden.



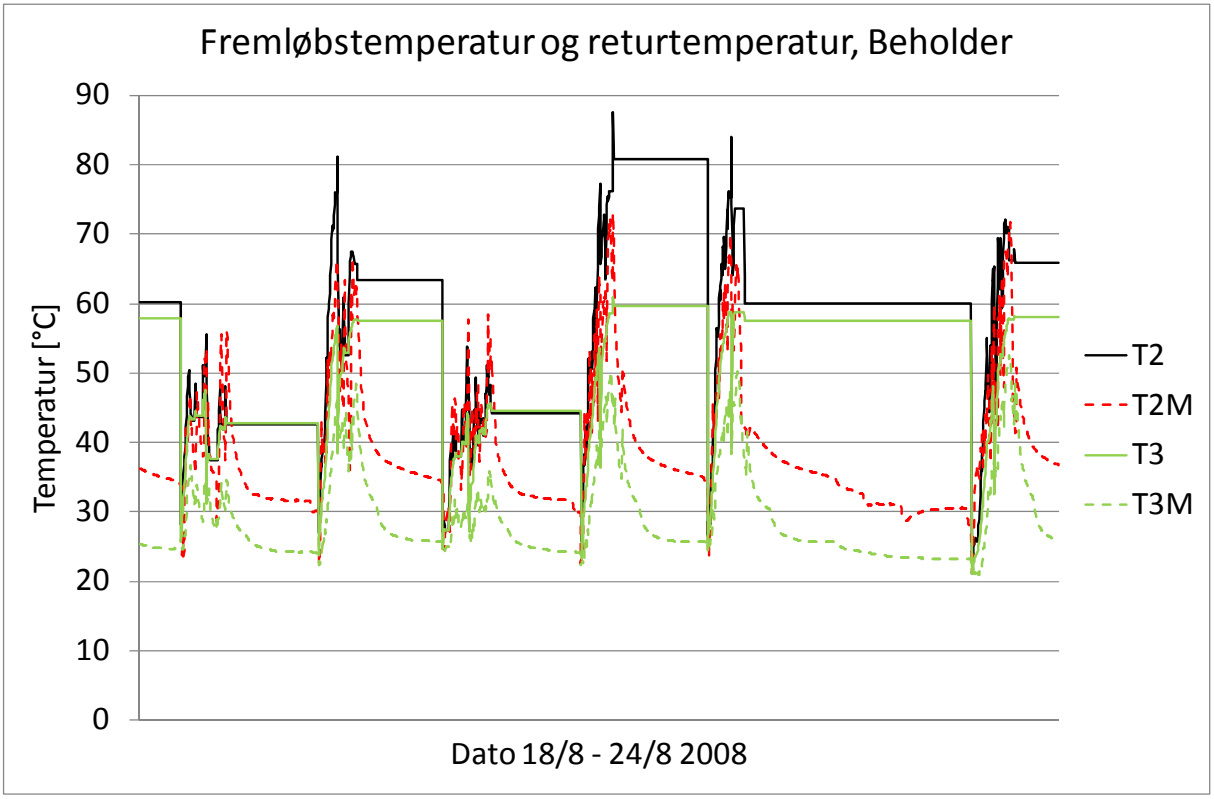
Figur 6-10: Nettoydelse inklusiv rumvarme for anlægget i perioden.

Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem de målte og beregnede størrelser. I Tabel 6-4 er energimængderne summeret over hele perioden, og det fremgår heraf, at forskellene ligger klart inden for måleusikkerhederne på energistørrelserne, jvf. /2/.

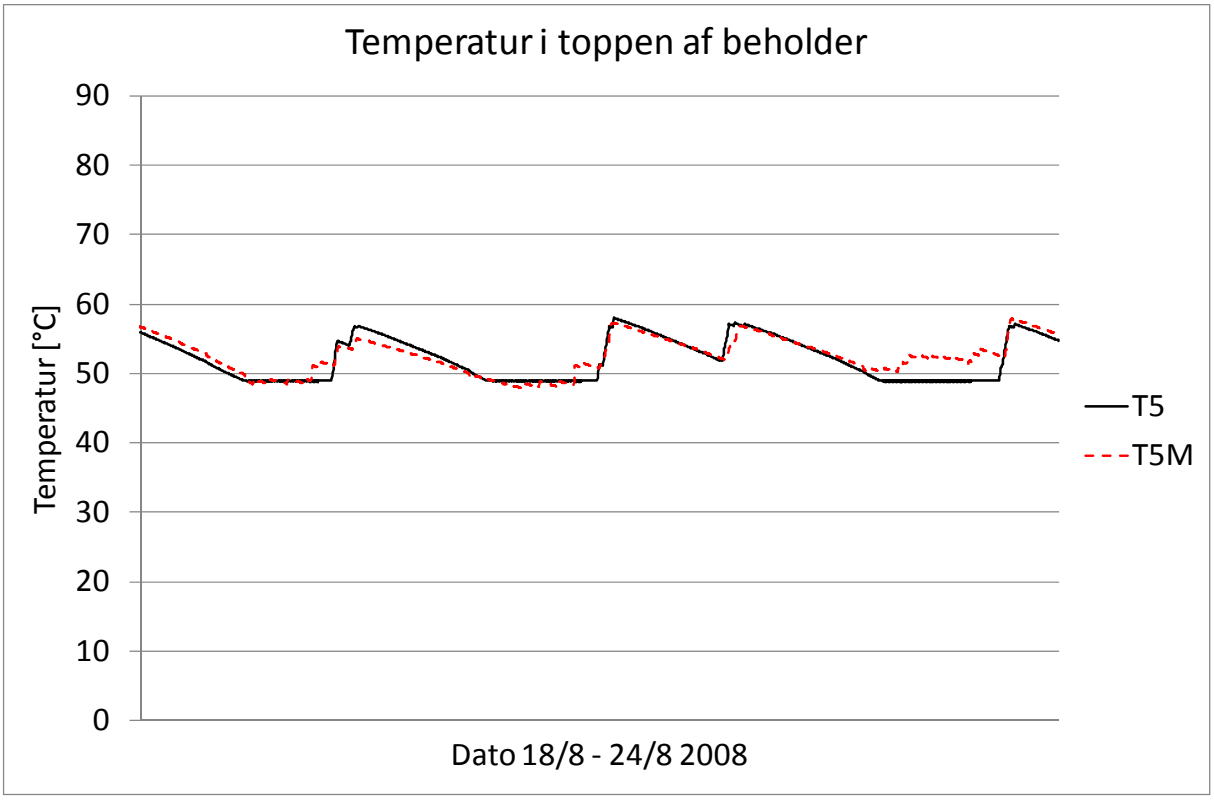
	Solvarme tilført lageret [kWh]	Supplerende energi tilført lageret [kWh]	Energimængde tappet fra lageret [kWh]	Driftstid for pump i solkreds [timer]	Solvarme tilført rumvarme-kredsen [kWh]	Nettoydelse [kWh]	Nettoydelse inklusiv rumvarme [kWh]
Målt	32,3	8,3	32,3	33,3	7,0	23,9	30,9
Beregnet	33,2	8,2	31,6	33,4	7,1	23,4	30,5
Afvigelse [%]	-2,8	1,2	2,2	-0,3	-1,4	2,1	1,3

Tabel 6-4: Summerede energimængder over forsøgsperioden, målt og beregnet.

Figur 6-11 viser den målte og beregnede fremløbstemperatur og returtemperatur for lageret. Figur 6-12 viser den målte og beregnede temperatur i toppen af lageret. Sammenligningen af temperaturerne viser, at temperaturniveauet og dynamikken stemmer godt overens.



Figur 6-11: Fremløbstemperatur til lageret og returtemperatur fra lageret i perioden. Signaturerne i figuren svarer til signaturerne i Figur 6-1.



Figur 6-12: Temperaturen i toppen af lageret i perioden. Signaturerne i figuren svarer til signaturerne i Figur 6-1.

6.2.4 Årsydelse for anlægget

I det følgende beregnes anlæggets årsydelse med referenceårets vejrdata. Modellen beskrevet i afsnit 6.2.2 anvendes med den ændring, at koldtvandstemperaturen er konstant 10°C (før blev den målte koldtvandstemperatur benyttet).

Beregningerne udføres for følgende to driftssituationer. For begge driftssituationer gælder at der foretages tre lige store tapninger kl.: 7:00, 12:00, 19:00. Endvidere er der regnet med at der overføres varme til rumvarmekredsen når temperaturen i bunden af lagertanken overstiger 56,5 °C. I perioder hvor solvarme overføres til rumvarmekredsen er der regnet med en konstant middeltemperatur i solfangeren på 30 °C, svarende til et lavtemperatur varmeafgivelsessystem.

Driftssituation 1: Der tappes 100 l/dag. Det varme brugsvand tappes ved 50 °C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 50,5 °C.

Driftssituation 2: Der tappes 200 l/dag. Det varme brugsvand tappes ved 45 °C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5 °C.

I Tabel 6-5 og Tabel 6-6 er følgende månedlige værdier gengivet: Totalt solindfald på solfanger, solvarme overført til lageret, suppleringsvarme, energi tappet fra lageret, driftstid for cirkulationspumpen i solfangerkredsen, nettoydelse (=tappet energimængde÷supplerende energimængde) samt nettodækningsgrad (=nettoydelse/tappet energimængde).

	Solind-fald [kWh]	Solvarme til lager [kWh]	Solvarme til rumvarme [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Driftstid for pumper [timer]	Netto-ydelse [kWh]	Netto-dæknings-grad [%]	Netto-ydelse inklusiv rumvarme [kWh]
Jan.	117	28	0	153	143	46	-10	-7	-10
Feb.	261	70	2	106	129	97	23	18	25
Mar.	329	85	5	110	143	131	33	23	38
Apr.	590	146	77	57	138	193	81	59	158
Maj	690	175	93	32	143	214	111	78	204
Juni	786	188	193	19	138	192	119	86	312
Juli	692	176	127	30	143	218	113	79	240
Aug.	660	184	117	29	143	215	114	80	231
Sep.	472	149	17	49	138	219	89	64	106
Okt.	300	96	5	97	143	162	46	32	51
Nov.	169	51	0	134	138	97	4	3	4
Dec.	150	44	0	147	143	78	-4	-3	-4
Totalt	**5216**	**1392**	**636**	**963**	**1682**	**1862**	**719**	**43**	**1355**

Tabel 6-5: Beregnede månedlige energimængder for anlægget ved tapning af 100 liter/dag.

Det ses, at anlægget i driftssituation 1 har en årlig brugsvandsnettoydelse på 719 kWh svarende til en brugsvandsdækningsgrad på 43 %. Der overføres endvidere 636 kWh til rumvarmekredsen.

	Solind-fald [kWh]	Sol-varme til lager [kWh]	Solvarme til rumvarme [kWh]	Suppl. varme til lager [kWh]	Energi tappet fra lager [kWh]	Driftstid for pumper [timer]	Netto-ydelse [kWh]	Netto-dæknings grad [%]	Netto-ydelse inklusiv rumvarme [kWh]
Jan.	117	34	0	244	250	51	6	2,4	6
Feb.	261	87	0	175	226	108	51	23	51
Mar.	329	108	0	184	250	161	66	26	66
Apr.	590	202	29	96	242	240	146	60	175
Maj	690	245	22	59	250	274	191	76	213
Juni	786	270	96	36	242	257	206	85	302
Juli	692	253	46	51	250	288	199	80	245
Aug.	660	259	35	51	250	276	199	80	234
Sep.	472	200	0	89	242	267	153	63	153
Okt.	300	124	0	166	250	197	84	34	84
Nov.	169	63	0	215	242	113	27	11	27
Dec.	150	53	0	234	250	84	16	6	16
Totalt	**5216**	**1898**	**228**	**1600**	**2944**	**2316**	**1344**	**46**	**1572**

Tabel 6-6: Beregnede månedlige energimængder for anlægget ved tapning af 200 liter/dag.

Det ses, at anlægget i driftssituation 2 har en årlig brugsvandsnettoydelse på 1344 kWh svarende til en brugsvandsdækningsgrad på 46 %. Der overføres endvidere 228 kWh til rumvarmekredsen.

Den højere årlige ydelse for anlægget ved tapning af 200 liter varmt brugsvand pr. dag ved 45 °C skyldes både det forøgede varmtvandsforbrug og det lavere, og dermed gunstigere, temperaturniveau ved hvilket tapningen foregår. Dækningsgraden ved tapning af 100 liter varmt brugsvand pr. dag ved 50 °C er mindre end dækningsgraden ved tapning af 200 liter varmt brugsvand pr. dag ved 45 °C. Det skyldes den store kuldebro i den øverste del af varmtvandsbeholderen.

6.2.5 Driftserfaringer og sammenfatning

Anlægget har kørt uden problemer i hele prøvningsperioden.

7. Sammenligning af anlæggene med tidligere afprøvede anlæg

I perioden 1992-2003 er der afprøvet 21 små solvarmeanlæg til brugsvand i Instituttets prøvestand. Tabel 7-1 viser resultatet af de 21 udførte afprøvninger samt resultatet af afprøvningerne beskrevet i forhåndenværende rapport. Den viste nettoydelse er baseret på et brugsvandsforbrug på 200 l/dag tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 12 og kl. 19. Det varme brugsvand opvarmes fra 10 °C til 45 °C. Setpunktet for suppleringsvarmen er 45,5 °C, svarende til driftsbetingelse 2. Rumvarmeafgivelsen for anlægget fra Sonnenkraft Scandinavia A/S forudsættes leveret ved en solfangertemperatur på 30°C..

Producent	Solfanger-areal [m^2]	Lagertank-volumen [l]	Karakteristika	Nettoydelse [kWh]
Dansk Solvarme 1	4,00	290	High flow system med spiralbeholder	1353
Batec 1	4,38	295	High flow system med spiralbeholder	1453
Dansk Solvarme 2	4,02	280	High flow system med spiralbeholder	1472
Arcon Solvarme	5,02	250	High flow system med spiralbeholder	1671
Solahart Scandinavia 1	5,55	280	High flow system med spiralbeholder	1548
Thermo-Sol	3,33	280	High flow system med spiralbeholder	1545
Solenergi Kobbervarefabrikken	3,82	280	High flow system med spiralbeholder	1035
Batec 3	4,38	280	High flow system med spiralbeholder	1508
Aidt Miljø	4,83	265	Low flow solvarmesystem med kappebeholder	1345
Batec 2	4,38	250	Low flow solvarmesystem med kappebeholder	1492
Nordsol	4,02	265	Low flow solvarmesystem med kappebeholder	1458
Test system 1	3,00	175	Low flow solvarmesystem med kappebeholder	1319
Test system 2	3,00	175	Low flow solvarmesystem med kappebeholder	1245
Test system 3	3,00	175	Low flow solvarmesystem med kappebeholder	1201
Solahart Scandinavia 2	3,70	265	Low flow solvarmesystem med kappebeholder	1455
AquaHeat	2,72	152	Low flow solvarmesystem med kappebeholder	1326
Thermo Dynamics Ltd, Canada	5,56	270	Low flow forvarme system med ekstern varmeveksler. Lifeline	1643
ZEN B.V., the Netherlands	2,70	255	Tømmeanlæg med tømmetank. High flow forvarmetank med spiral. Eftervarmetank	1308
Bürgenmeier-Krismer Solartechnik, Switzerland	4,36	405	Low flow solvarmesystem baseret på Tank i tank. Flextube	1792
SolarNor, Norway	5,48	285	High flow system med spiraltank. Tømmeanlæg	1357
Hoval-Solkit, Switzerland	4,20	470	Low flow solvarmesystem med kappebeholder med to kapper. Flextube	1805
Batec Solvarme A/S	4,38	280	High flow system med spiralbeholder	1603
Velux Danmark A/S	4,30	300	High flow system med spiralbeholder	1258
Sonnenkraft Scandinavia A/S	4,41	300	High flow system med spiralbeholder. Ekstern varmeveksler til rumvarme	1344+228

Tabel 7-1: Små solvarmeanlæg afprøvet i Instituttets prøvestand i perioden 1992-2008.

Ydelsen af solvarmeanlægget fra Batec Solvarme A/S er højere end ydelsen af de tidligere afprøvede solvarmeanlæg fra Batec Solvarme A/S. Årsagen er først og fremmest at BA22 solfangerens effektivitet er forbedret væsentligt siden 1990'erne.

Ydelsen af solvarmeanlægget fra Velux Danmark A/S er meget lav sammenlignet med ydelserne af tidligere afprøvede solvarmeanlæg på trods af at solfangerarealet er relativt stort. Hovedforklaringen er de meget store kuldebroer, som rørtilslutningerne i soltanken forårsager. Det anbefales at benytte en soltank helt uden rørtilslutninger og gennembrydninger af isoleringen i den øverste del af soltanken. De lave ydelser forårsages også noget af den stærkt varierende volumenstrøm i solfangerkredsen. Der er perioder hvor volumenstrømmen er så lav at solfangerydelsen reduceres væsentligt. Lave volumenstrømme ned til ca. 0,15 l/min pr. m² solfanger er fordelagtige hvis der benyttes en soltank, som kan opbygge en fordelagtig temperaturlagdeling. Det kan den benyttede spiralbeholder ikke, hvorfor det anbefales at benytte en høj, gerne konstant volumenstrøm i solfangerkredsen.

Ydelsen af solvarmeanlægget fra Sonnenkraft Scandinavia A/S kan ikke umiddelbart sammenlignes med ydelserne for de øvrige solvarmeanlæg, da alle de tidligere afprøvede solvarmeanlæg udelukkende dækker en del af brugsvandsopvarmningsbehovet. Det vurderes dog at ydelsen er lav for et solvarmeanlæg til kombineret rum- og brugsvandsopvarmning, idet ydelsen inklusive rumvarmeafgivelsen er lavere end ydelsen af 5 af de afprøvedes solvarmeanlæg, der udelukkende dækker en del af brugsvandsopvarmningen. Hovedårsagen til den lave ydelse er de store kuldebroer, som rørtilslutningerne i soltanken forårsager. Det anbefales at benytte en soltank helt uden rørtilslutninger og gennembrydninger af isoleringen i den øverste del af soltanken.

De tre afprøvede solvarmeanlæg har ikke ydelser på højde med de bedst ydende solvarmeanlæg. Årsagen er at ingen af de afprøvede anlæg er low flow anlæg med soltanke, som for eksempel kappebeholdere, der kan opbygge en fordelagtig temperaturlagdeling under solfangerdrift.

8. Konklusion

Rapporten beskriver gennemførte undersøgelser af tre solvarmeanlæg, to solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning fra Batec Solvarme A/S og Velux Danmark A/S samt et solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning fra Sonnenkraft Scandinavia A/S. Anlæggene er installeret i DTU Bygs prøvestand i efteråret 2007 af fabrikanterne.

Anlægget fra Batec Solvarme A/S er baseret på et transparent solfangerareal på 4,38 m^2 samt en spiralbeholder med et beholdervolumen på 280 liter. Beholderen er forsynet med en el-patron til suppleringsvarme om sommeren og en topvarmevekslerspiral til suppleringsvarme om vinteren.

Anlægget fra Velux Danmark A/S er baseret på et transparent solfangerareal på 4,3 m^2 samt en spiralbeholder med et beholdervolumen på 300 liter. Beholderen er forsynet med en el-patron til suppleringsvarme om sommeren og en topvarmevekslerspiral til suppleringsvarme om vinteren.

Anlægget fra Sonnenkraft Scandinavia A/S er baseret på et transparent solfangerareal på 4,41 m^2 samt en spiralbeholder med et beholdervolumen på 300 liter. Beholderen er forsynet med en el-patron til suppleringsvarme om sommeren og en topvarmevekslerspiral til suppleringsvarme om vinteren. Beholderen er desuden forsynet med en ekstern varmeveksler mellem solkredsen og rumvarmekredsen til dækning af rumvarmeforbruget.

Målinger på solvarmeanlægget fra Batec Solvarme A/S viser at den anvendte anlægskonstellation er god. Målinger på solvarmeanlæggene fra Velux Danmark A/S og Sonnenkraft Scandinavia A/S, der begge er baseret på den samme lagertank, viser at anlæggene har store varmetab som følge af kuldebroer forårsaget af mange rørtilslutninger til lagertankens varme del.

Validering af en EDB-model for solvarmeanlæggene viser at forskellen på målinger og beregninger ligger indenfor usikkerheden på målingerne.

Der er gennemført årssimuleringer med de validerede EDB-modeller. Simuleringerne er foretaget for to forskellige driftsbetingelser. Den første er tapning af 100 l/dag ved 50 °C. Den anden er tapning af 200 l/dag ved 45 °C. For begge driftsbetingelser gælder at der foretages tre lige store tapninger kl.: 7:00, 12:00 og 19:00. For anlægget fra Sonnenkraft Scandinavia er der endvidere regnet med at der overføres varme til rumvarmekredsen når temperaturen i bunden af lagertanken overstiger 56,5 °C. I perioder hvor solvarme overføres til rumvarmekredsen er der regnet med en konstant middeltemperatur i solfangeren på 30 °C, svarende til et lavtemperatur varmeafgivelsessystem.

Årssimulering med anvendelse af den validerede EBD-model af solvarmeanlægget fra Batec solvarme A/S viser at:

- Anlægget vil have en årlig nettoydelse på 960 kWh og en årlig dækningsgrad på 57 % med tapning af 100 l/dag ved 50 °C
- Anlægget vil have en årlig nettoydelse på 1603 kWh og en årlig dækningsgrad på 54 % med tapning af 200 l/dag ved 45 °C

Årssimulering med anvendelse af den validerede EBD-model af solvarmeanlægget fra Velux Danmark A/S viser at:

- Anlægget vil have en årlig nettoydelse på 661 kWh og en årlig dækningsgrad på 39 % med tapning af 100 l/dag ved 50 °C
- Anlægget vil have en årlig nettoydelse på 1258 kWh og en årlig dækningsgrad på 43 % med tapning af 200 l/dag ved 45 °C

Årssimulering med anvendelse af den validerede EBD-model af solvarmeanlægget fra Sonnenkraft Scandinavia A/S viser at:

- Anlægget vil have en årlig brugsvandsnettoydelse på 719 kWh og en årlig brugsvandsdækningsgrad på 43 % med tapning af 100 l/dag ved 50 °C. Desuden kan der overføres 636 kWh til rumvarmekredsen, primært i sommermånederne
- Anlægget vil have en årlig brugsvandsnettoydelse på 1344 kWh og en årlig brugsvandsdækningsgrad på 46 % med tapning af 200 l/dag ved 45 °C. Desuden kan der overføres 228 kWh til rumvarmekredsen, primært i sommermånederne

Batec Solvarme A/S har ved to tidligere lejligheder fået afprøvet et tilsvarende solvarmeanlæg. Årssimuleringer med validerede EDB-modeller, med tapning af 200 l/dag ved 45 °C, viste at det første afprøvede anlæg ville have en årlige nettoydelse på 1453 kWh mens det andet afprøvede anlæg ville have en årlig nettoydelse på 1508 kWh. Det afprøvede anlæg yder altså 6,3 % mere end det sidst afprøvede anlæg. Siden den sidste afprøvning er solfangeren forbedret og det er hovedårsagen til den højere ydelse.

De tre afprøvede solvarmeanlæg har ikke ydelser på højde med de bedst ydende solvarmeanlæg. Årsagen er at ingen af de afprøvede anlæg er low flow anlæg med soltanke, som for eksempel kappebeholdere, der kan opbygge en fordelagtig temperaturlagdeling under solfangerdrift.

9. Referencer

1. *Varmelagring til solvarmeanlæg.* Simon Furbo. Laboratoriet for varmeisolering. Danmarks tekniske Universitet. Meddelelse nr. 162. 1984.

2. *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.

3. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. www.sp.se

10. Bilag

10.1 Bilag 1: Datablad for lagertank: BATEC 280

Datablad for solvarmebeholder

Typebetegnelse:	BATEC 280	Datablad: D 2 03 02
Fabrikant/levendør:	Batec A/S	
Adresse:	Danmarksvej 8, 4681 Herfølge	
Telefon:	56 27 50 50	
Email:	admin@batec.dk	
Hjemmeside:	www.batec.dk	

Totalt volumen:	**264** Liter	*Vtotal*
UA-værdi, solveksler:	**292** W/K	*UAsol*
Komfortvolumen:	**75** Liter	*Vkomfort*
Elpatron, effekt:	**1 & 3** kW	*Pel*
UA-værdi, topveksler:	**131** W/K	*UAtop*
Varmetabskoefficient:	**1,8** W/K	*Ub*
Max. tryk i beholder:	Bar	
BV-cirkulation mulig:	**Nej**	

Basis for godkendelse:	*Tidligere godkendelse*	Tidligere datablad: *D3100*
Installationsvejledning:	*Inst.- og brugervejl.BATEC 200/280 L*	År: -
Brugervejledning:	*Inst.- og brugervejl.BATEC 200/280 L*	År: -
Bemærkninger:	-	

Udstedende instans:	PlanEnergi Sjælland, Aggerupvej 1, 4330 Hvalsø
Kontaktperson:	Jan Erik Nielsen
Telefon / fax:	46 46 12 29 / 46 46 12 39
Email:	jen@planenergi.dk

Data for beregning i Be06 (SBi anvisning 213) samt beholders Energimærke

Beholdervolumen	**264** Liter	
Spiral i top	**Ja**	
Vekslerkorrektion	**0,011** *1,06 - k*solfangerareal*	
Varmetab fra vv-beholder	**1,8** W/K	
Energimærke uden sol	**B**	
Energimærke med sol	**A+**	

Der er ved udstedelsen af databladet ikke nødvendigvis taget stilling til om produktet kan godkendes efter anden lovgivning, og udstedelsen er ikke nogen garanti for det enkelte produkts ydeevne, driftssikkerhed og levetid. Nærværende godkendelsesordning for solvarmeprodukter er tilknyttet "Kvalitetssikrings-ordning for biobrændselsanlæg, solvarmeanlæg og solcelleanlæg", KSO - www.kso-ordning.dk. KSO-certificerede installatører skal anvende solvarme-produkter godkendt efter denne ordning. Godkendelsesordningen finansieres af Energistyrelsen via projektet: "Kvalitetssikring af solvarme", EFP05 / 33036-0006. Partnere i projektet er: PlanEnergi, BYG.DTU, DS, Ellehauge&Kildemoes, SBi og DSF. Det er fabrikantens/leverandørens ansvar at meddele ændringer af produktet til PlanEnergi Sjælland. Der tages forbehold for trykfejl m.v..
Projektdeltagere påtager sig intet ansvar for eventuelle erstatsningskrav der måtte rejses som følge af anvendelsen af dette datablad.

Udstedt Hvalsø d. 24-2-2006
Jan Erik Nielsen

www.solvarmecenter.dk

PlanEnergi

10.2 Bilag 2: Datablad for solfanger: BA22

Datablad for solfanger

Typebetegnelse:	BA22	Datablad: D 1 03 04
Fabrikant/levendør:	Batec A/S	
Adresse:	Danmarksvej 8, 4681 Herfølge	
Telefon:	56 27 50 50	
Email:	admin@batec.dk	
Hjemmeside:	www.batec.dk	

Transparent areal:	**2,19**	m²	*A*
Starteffektivitet:	**0,767**	-	*η0*
1. varmetabskoefficient:	**3,327**	W/(m²K)	*a1*
2. varmetabskoefficient:	**0,01**	W/(m²K²)	*a2*
Faktor for indfaldsvinkel:	**0,954**	-	*K(50°)*
Nominel effekt:	**1,441**	kW	*Ved G=1000 W/m², Tm=50°C, Ta=20°C*
Nominel årlig besparelse:	**1,019**	MWh	*Beregningsforudsætninger: Se nedenfor*
Nom. årlig CO2-besp.:	**0,214**	ton	*Beregningsforudsætninger: Se bagside*
Max. temp. solfanger:	**191**	°C	*Ved G=1000 W/m², Ta=30°C*

Basis for godkendelse:	*EN prøvning*	Prøvningsinstitut/år:	*SP / 2006*
Installationsvejledning:	*Brugervejledning BATEC*	År:	*1999*
Brugervejledning:	*Brugervejledning BATEC*	År:	*1999*
Bemærkninger:	-		

Udstedende instans:	PlanEnergi Sjælland, Aggerupvej 1, 4330 Hvalsø
Kontaktperson:	Jan Erik Nielsen
Telefon / fax:	46 46 12 29 / 46 46 12 39
Email:	jen@planenergi.dk

Input data for beregning af nominel årlig ydelse i Be06 (SBi anvisning 213)

Effektivitet - solfanger start	**0,767**	-	Regningsmæssigt areal*)	**3,03**	m²
Varmetabskoef., lineariseret	**3,627**	W/(m²K)	Orientering	**Syd**	
Effektivitet - solfangerkreds	**0,910**	Se også beholderdatablad	Hældning med vandret	**45**	°
Rør - længde	**16,0**	m	Horisontafskærmning	**0**	°
Rør - varmetab	**0,17**	W/K pr. m	Skygge, venstre	**0**	°
El-effekt - pumpe	**30**	W	Skygge, højre	**0**	°
El-effekt - automatik	**5**	W	**) Se bagside*		

Der er ved udstedelsen af databladet ikke nødvendigvis taget stilling til om produktet kan godkendes efter anden lovgivning, og udstedelsen er ikke nogen garanti for det enkelte produkts ydeevne, driftssikkerhed og levetid. Nærværende godkendelsesordning for solvarmeprodukter er tilknyttet "Kvalitetssikrings-ordning for biobrændselsanlæg, solvarmeanlæg og solcelleanlæg", KSO - www.kso-ordning.dk. KSO-certificerede installatører skal anvende solvarme-produkter godkendt efter denne ordning. Godkendelsesordningen finansieres af Energistyrelsen via projektet: "Kvalitetssikring af solvarme", EFP05 / 33036-0006. Partnere i projektet er: PlanEnergi, BYG.DTU, DS, Ellehauge&Kildemoes, SBi og DSF. Det er fabrikantens/leverandørens ansvar at meddele ændringer af produktet til PlanEnergi Sjælland. Der tages forbehold for trykfejl m.v..
Projektdeltagere påtager sig intet ansvar for eventuelle erstatsningskrav der måtte rejses som følge af anvendelsen af dette datablad.

Udstedt Hvalsø d. 14-12-2006

Jan Erik Nielsen

SOLVARME CENTER

PlanEnergi DS CERTIFICERING BYG·DTU ellehauge kildemoes

10.3 Bilag 3: Datablad for lagertank: TFF 300

Datablad for solvarmebeholder

Typebetegnelse:	TFF 300 0101	Datablad: D 2 04 02
Fabrikant/levendør:	VELUX Danmark A/S	
Adresse:	Ådalsvej 99, 2970 Hørsholm	
Telefon:	45 16 45 16	
Email:		
Hjemmeside:	www.velux.dk	

Totalt volumen:	**300**	Liter	*Vtotal*
UA-værdi, solveksler:	**252**	W/K	*UAsol*
Komfortvolumen:	**114**	Liter	*Vkomfort*
Elpatron, effekt:	**-**	kW	*Pel*
UA-værdi, topveksler:	**180**	W/K	*UAtop*
Varmetabskoefficient:	**2,9**	W/K	*Ub*
Max. tryk i beholder:		Bar	
BV-cirkulation mulig:	**-**		

Basis for godkendelse:	*Teknisk vurdering*	-
Installationsvejledning:	*TFF 300 0101, Brugsvejledning*	År: -
Brugervejledning:	*TFF 300 0101, Brugsvejledning*	År: -
Bemærkninger:	*Vurdering baseret på tegninger*	

Udstedende instans:	PlanEnergi Sjælland, Aggerupvej 1, 4330 Hvalsø
Kontaktperson:	Jan Erik Nielsen
Telefon / fax:	46 46 12 29 / 46 46 12 39
Email:	jen@planenergi.dk

Inputdata for beregning i Be06 (SBi anvisning 213) samt beholders Energimærke

Beholdervolumen	**300**	Liter	
Varmespiral i top	**Ja**		
Vekslerkorrektion, k	**0,013**	Solkredseff. ganges med Fv:	Fv = 1,06-k·solfangerareal
Varmetab fra beholder	**2,9**	W/K	
Energimærke uden sol	**B**		
Energimærke med sol	**A**		

Der er ved udstedelsen af databladet ikke nødvendigvis taget stilling til om produktet kan godkendes efter anden lovgivning, og udstedelsen er ikke nogen garanti for det enkelte produkts ydeevne, driftssikkerhed og levetid. Nærværende godkendelsesordning for solvarmeprodukter er tilknyttet "Kvalitetssikrings-ordning for biobrændselsanlæg, solvarmeanlæg og solcelleanlæg", KSO - www.kso-ordning.dk. KSO-certificerede installatører skal anvende solvarme-produkter godkendt efter denne ordning. Godkendelsesordningen finansieres af Energistyrelsen via projektet: "Kvalitetssikring af solvarme", EFP05 / 33036-0006. Partnere i projektet er: PlanEnergi, BYG.DTU, DS, Ellehauge&Kildemoes, SBi og DSF. Det er fabrikantens/leverandørens ansvar at meddele ændringer af produktet til PlanEnergi Sjælland. Der tages forbehold for trykfejl m.v..
Projektdeltagere påtager sig intet ansvar for eventuelle erstatsningskrav der måtte rejses som følge af anvendelsen af dette datablad.

Udstedt Hvalsø d. 5-10-2006

Jan Erik Nielsen

Foreløbig version

www.solvarmecenter.dk

PlanEnergi

10.4 Bilag 4: Datablad for solfanger: CLI U12 4000

Datablad for solfanger

Typebetegnelse:	CLI U12 4000	Datablad: D 1 04 08
Fabrikant/levendør:	VELUX Danmark A/S	
Adresse:	Ådalsvej 99, 2970 Hørsholm	
Telefon:	45 16 45 16	
Email:		
Hjemmeside:	www.velux.dk	

Transparent areal:	**2,152**	m²	*A*
Starteffektivitet:	**0,79**	-	*ηo*
1. varmetabskoefficient:	**3,756**	W/(m²K)	*a1*
2. varmetabskoefficient:	**0,0073**	W/(m²K²)	*a2*
Faktor for indfaldsvinkel:	**0,954**	-	*K(50°)*
Nominel effekt:	**1,443**	kW	*Ved G=1000 W/m², Tm=50°C, Ta=20°C*
Nominel årlig besparelse:	**0,979**	MWh	*Beregningsforudsætninger: Se bagside*
Nom. årlig CO2-besp.:	**0,206**	ton	*Beregningsforudsætninger: Se bagside*
Max. temp. solfanger:	**190**	°C	*Ved G=1000 W/m², Ta=30°C*

Basis for godkendelse:	*Solar Keymark*	Licensnr.:	*011-7S087 F*
Installationsvejledning:	*CLI+EKW/EKZ/EKL/ZFR/ZFM*	År:	-
Brugervejledning:	*CLI+EKW/EKZ/EKL/ZFR/ZFM*	År:	-
Bemærkninger:	-		

Udstedende instans:	PlanEnergi Sjælland, Aggerupvej 1, 4330 Hvalsø
Kontaktperson:	Jan Erik Nielsen
Telefon / fax:	46 46 12 29 / 46 46 12 39
Email:	jen@planenergi.dk

Data anvendt for beregning af nominel årlig ydelse i Be06 (SBi anvisning 213)

Solfanger starteffektiviet	**0,79**	-	Regningsmæssigt areal*)	**3,10**	m²
Varmetabskoef., lineariseret	**3,975**	W/(m²K)	Orientering	**Syd**	
Solfangerkredsens effektivitet	**0,904**	*Flowfaktor * vekslerfaktor*	Hældning med vandret	**45**	°
Rør: Længde	**16,0**	m	Horisontafskærmning	**0**	°
Rør: Varmetabkoef. pr. m	**0,17**	W/K pr. m	Skygge, venstre	**0**	°
Pumpe-effekt	**30**	W	Skygge, højre	**0**	°
Automatik-effekt	**5**	W	**) Se bagside*		

Der er ved udstedelsen af databladet ikke nødvendigvis taget stilling til om produktet kan godkendes efter anden lovgivning, og udstedelsen er ikke nogen garanti for det enkelte produkts ydeevne, driftssikkerhed og levetid. Nærværende godkendelsesordning for solvarmeprodukter er tilknyttet "Kvalitetssikrings-ordning for biobrændselsanlæg, solvarmeanlæg og solcelleanlæg", KSO - www.kso-ordning.dk. KSO-certificerede installatører skal anvende solvarme-produkter godkendt efter denne ordning. Godkendelsesordningen finansieres af Energistyrelsen via projektet: "Kvalitetssikring af solvarme", EFP05 / 33036-0006. Partnere i projektet er: PlanEnergi, BYG.DTU, DS, Ellehauge&Kildemoes, SBi og DSF. Det er fabrikantens/leverandørens ansvar at meddele ændringer af produktet til PlanEnergi Sjælland. Der tages forbehold for trykfejl m.v..
Projektdeltagere påtager sig intet ansvar for eventuelle erstatsningskrav der måtte rejses som følge af anvendelsen af dette datablad.

Udstedt Hvalsø d. 28-9-2006
Jan Erik Nielsen

www.solvarmecenter.dk

PlanEnergi

10.5 Bilag 5: Datablad for lagertank ELB 300

Datablad for solvarmebeholder

Typebetegnelse:	ELB300	Datablad: D 2 02 07
Fabrikant/levendør:	SONNENKRAFT Scandinavia A/S	
Adresse:	Stengårdsvej 33,4340 Tølløse	
Telefon:	59 16 16 16	
Email:	info@sonnenkraft.dk	
Hjemmeside:	www.sonnenkraft.dk	

Totalt volumen:	**300**	Liter	*Vtotal*
UA-værdi, solveksler:	**252**	W/K	*UAsol*
Komfortvolumen:	**114**	Liter	*Vkomfort*
Elpatron, effekt:	**-**	kW	*Pel*
UA-værdi, topveksler:	**180**	W/K	*UAtop*
Varmetabskoefficient:	**2.9**	W/K	*Ub*
Max. tryk i beholder:		Bar	
BV-cirkulation mulig:	**-**		

Basis for godkendelse:	*Vurdering*	-
Installationsvejledning:	*Sikkerhedsinstr. ELB300/400/500R2E*	År: -
Brugervejledning:	*Sikkerhedsinstr. ELB300/400/500R2E*	År: -
Bemærkninger:	*Vurdering baseret på tegninger*	

Udstedende instans:	PlanEnergi Sjælland, Aggerupvej 1, 4330 Hvalsø
Kontaktperson:	Jan Erik Nielsen
Telefon / fax:	46 46 12 29 / 46 46 12 39
Email:	jen@planenergi.dk

Inputdata for beregning i Be06 (SBi anvisning 213) samt beholders 'Energimærke'

Beholdervolumen	**300**	Liter	
Varmespiral i top	**Ja**		
Vekslerkorrektion, k	**0.013**	Solkredseff. ganges med Fv:	Fv=1,06-k·solfangerareal
Varmetab fra beholder	**2.9**	W/K	
Energimærke uden sol	**B**		
Energimærke med sol	**A**		

Der er ved udstedelsen af databladet ikke nødvendigvis taget stilling til om produktet kan godkendes efter anden lovgivning, og udstedelsen er ikke nogen garanti for det enkelte produkts ydeevne, driftssikkerhed og levetid. Nærværende godkendelsesordning for solvarmeprodukter er tilknyttet "Kvalitetssikrings-ordning for biobrændselsanlæg, solvarmeanlæg og solcelleanlæg", KSO - www.kso-ordning.dk. KSO-certificerede installatører skal anvende solvarme-produkter godkendt efter denne ordning. Godkendelsesordningen finansieres af Energistyrelsen via projektet: "Kvalitetssikring af solvarme", EFP05 / 33036-0006. Partnere i projektet er: PlanEnergi, BYG.DTU, DS, Ellehauge&Kildemoes, SBi og DSF. Det er fabrikantens/leverandørens ansvar at meddele ændringer af produktet til PlanEnergi Sjælland. Der tages forbehold for trykfejl m.v.. Projektdeltagere

Udstedt Hvalsø d. 2-2-2009

Jan Erik Nielsen

Produktgodkendelse : www.god-solvarme.dk

Solvarmecentret : www.solvarmecenter.dk

PlanEnergi

SOLVARME CENTER

BYG·DTU Department of Civil Engineering

DS CERTIFICERING

ellehauge kildemoes

10.6 Bilag 6: Datablad for solfanger: SK500 N/L

Datablad for solfanger

Typebetegnelse:	SK500 N/L	Datablad: D 1 02 01
Fabrikant/levendør:	SONNENKRAFT Scandinavia A/S	
Adresse:	Stengårdsvej 33,4340 Tølløse	
Telefon:	59 16 16 16	
Email:	info@sonnenkraft.dk	
Hjemmeside:	www.sonnenkraft.dk	

Transparent areal:	**2.204**	m²	*A*
Starteffektivitet:	**0.795**	-	*ηo*
1. varmetabskoefficient:	**3.630**	W/(m²K)	*a1*
2. varmetabskoefficient:	**0.0071**	W/(m²K²)	*a2*
Faktor for indfaldsvinkel:	**0.92**	-	*K(50°)*
Nominel effekt:	**1.498**	kW	*Ved G=1000 W/m², Tm=50°C, Ta=20°C*
Nominel årlig besparelse:	**1.026**	MWh	*Beregningsforudsætninger: Se nedenfor*
Nom. årlig CO2-besp.:	**0.215**	ton	*Beregningsforudsætninger: Se bagside*
Max. temp. solfanger:	**195**	°C	*Ved G=1000 W/m², Ta=30°C*

Basis for godkendelse:	*EN prøvning*	Prøvningsinstitut/år:	*SPF/2004*
Installationsvejledning:	*Manual SK500/SSP*	År:	-
Brugervejledning:	*Manual SK500/SSP*	År:	-
Bemærkninger:	-		

Udstedende instans:	PlanEnergi Sjælland, Aggerupvej 1, 4330 Hvalsø
Kontaktperson:	Jan Erik Nielsen
Telefon / fax:	46 46 12 29 / 46 46 12 39
Email:	jen@planenergi.dk

Inputdata for beregning af nominel årlig ydelse i Be06 (SBi anvisning 213)

Effektivitet - solfanger start	**0.795**	-	Regningsmæssigt areal*)	**3.03**	m²
Varmetabskoef., lineariseret	**3.843**	W/(m²K)	Orientering	**Syd**	
Effektivitet - solfangerkreds	**0.906**	Se også beholderdatablad	Hældning med vandret	**45**	°
Rør - længde	**16.0**	m	Horisontafskærmning	**0**	°
Rør - varmetab	**0.17**	W/K pr. m	Skygge, venstre	**0**	°
El-effekt - pumpe	**30**	W	Skygge, højre	**0**	°
El-effekt - automatik	**5**	W	*) Anvendt v. nom. beregn. - se bagside		

Der er ved udstedelsen af databladet ikke nødvendigvis taget stilling til om produktet kan godkendes efter anden lovgivning, og udstedelsen er ikke nogen garanti for det enkelte produkts ydeevne, driftssikkerhed og levetid. Nærværende godkendelsesordning for solvarmeprodukter er tilknyttet "Kvalitetssikrings-ordning for biobrændselsanlæg, solvarmeanlæg og solcelleanlæg", KSO - www.kso-ordning.dk. KSO-certificerede installatører skal anvende solvarme-produkter godkendt efter denne ordning. Godkendelsesordningen finansieres af Energistyrelsen via projektet: "Kvalitetssikring af solvarme", EFP05 / 33036-0006. Partnere i projektet er: PlanEnergi, BYG.DTU, DS, Ellehauge&Kildemoes, SBi og DSF. Det er fabrikantens/leverandørens ansvar at meddele ændringer af produktet til PlanEnergi Sjælland. Der tages forbehold for trykfejl m.v.. Projektdeltagere

Udstedt Hvalsø d. 2-2-2009

Jan Erik Nielsen

Produktgodkendelse : www.god-solvarme.dk

Solvarmecentret : www.solvarmecenter.dk















I nærværende projekt er solfangerfabrikanter blevet indbudt til at opføre state of the art solvarmeanlæg til enfamiliehuse i DTU Bygs prøvestand for solvarmeanlæg. I efteråret 2007 blev der opført to små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning fra Batec Solvarme A/S og Velux Danmark A/S samt et lille solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning fra Sonnenkraft Scandinavia A/S. Anlæggene blev installeret af fabrikanterne, og de er afprøvet siden starten af 2008 under ensartede prøvningsbetingelser. De tre afprøvede solvarmeanlæg har ikke ydelser på højde med de bedst ydende solvarmeanlæg.

Årsagen er at ingen af de afprøvede anlæg er low flow anlæg med soltanke, som for eksempel kappebeholdere, der kan opbygge en fordelagtig temperaturlagdeling under solfangerdrift.

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 45 25 17 00

www.byg.dtu.dk