

Simon Furbo
Niels Kristian Vejen

336 M² SOLVARMEANLÆG MED VARMTVANDS- BEHOLDER MED SOLVIS INDLØBSRØR SUNDPARKEN, HELSINGØR



RAPPORT

BYG • DTU R-004

2001

ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-059-9

INDHOLD

FORORD	2
Resumé	3
Summary.....	5
1 INDLEDNING	7
2 SOLVIS indløbsrør.....	7
2.1 Laboratorieforsøg	11
3 Solvarmeanlægget i Sundparken	13
3.1 Anlægsbeskrivelse	13
3.2 Priser	19
3.3 Målesystem.....	19
3.4 Måleresultater	21
3.5 Ydelsen for Sundparkens anlæg og for andre store solvarmeanlæg.....	29
3.6 Driftserfaringer	32
4 Konklusion.....	32
REFERENCER.....	33

FORORD

Denne rapport afslutter projektet ”Low-flow solvarme m. intelligent soltank og termisk styret pumpe”. Projektet er delvis finansieret af Energistyrelsen og har j.nr. 51181/98-0071.

Rapporten omhandler solvarmeanlægget som blev opført i Sundparken, Helsingør, i foråret 2000. Solvarmeanlægget blev fremvist for interesserede ved EuroSun 2000 kongressen i juni 2000 og ved Danvakmødet den 22. november 2000. Ved Danvakmødet blev der desuden holdt to foredrag om solvarmeanlægget.

Der rettes en tak til Poul Hansen og John Jensen, Sundparken, og til Vagn Duer og Finn Lerager, Vagn Duer Rådgivende Ingeniørfirma, hvis positive og imødekommende holdning har været en vigtig forudsætning for den vellykkede gennemførelse af projektet.

Resumé

Indledningsvis er der gennemført laboratorieforsøg med SOLVIS stratifikationsindløbsrør i et forsøgsvarmelager. Forsøgene viste at stratifikationsindløbsrørene sikrer at opvarmet vand, som føres retur til varmelageret gennem stratifikationsindløbsrørene, tilføres varmelageret i det "rigtige" niveau så temperaturlagdelingen i varmelageret bliver størst mulig så længe flowet af vandet er mindre end 10 l/min. Jo højere flowet af det indstrømmende vand er, des dårligere fungerer stratifikationsindløbsrørene. Er flowet større end 20 l/min., strømmer vandet ind i varmelageret i hele lagerets vertikale udstrækning.

Så længe flowet er mindre end ca. 15 l/min., vurderes det at stratifikationsindløbsrørene sikrer at der opbygges en god temperaturlagdeling i varmelageret. På basis af de gennemførte laboratorieforsøg blev der designet en 10.000 l varmtvandsbeholder til Sundparkens solvarmeanlæg.

Et 336 m² solvarmeanlæg blev opført i Sundparken i Helsingør. Anlægget leverer varmt brugsvand til Sundparkens 425 lejligheder og vaskeri. Solvarmeanlægget er et low flow solvarmeanlæg med en 10.000 l varmtvandsbeholder. Solfangerfeltet består af to separate dele, hver med et solfangerareal på 168 m². Den ene del er installeret på en 15° hældende østvendt og den anden del på en 15° hældende vestvendt tagflade. Det østvendte og vestvendte solfangerfelt er forsynet med hver sin solfangerkreds inklusive cirkulationspumpe, ekstern varmeveksler og styresystem.

De eksterne varmevekslere benyttes til at overføre solvarme fra solfangervæsken til brugsvandet. Brugsvandet pumpes fra bunden af varmtvandsbeholderen frem til varmeveksleren og herfra retur til varmtvandsbeholderen gennem specielt designede stratifikationsindløbsrør. Herved sikres at vandet tilføres beholderen i det "rigtige" niveau, således at temperaturlagdelingen i beholderen bliver så stor som muligt. Om formiddagen producerer de østvendte solfangere meget solvarme og dermed høje returtemperaturer for brugsvandet. Dette vand føres ind højt oppe i beholderen, mens det relativt kolde vand fra de vestvendte solfangere tilføres beholderen i et lavere niveau. Om eftermiddagen, når de vestvendte solfangere producerer mere solvarme end de østvendte solfangere, føres vandet fra de vestvendte solfangere ind højt oppe i beholderen, mens vandet fra de østvendte solfangere tilføres beholderen i et lavere niveau.

Designet bevirker at der etableres en god temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen. Den store temperaturlagdeling resulterer i at solvarmeanlægget bliver højtydende på trods af at solfangerne ikke er optimalt orienteret mod syd.

Målinger igennem det første driftsår viste at solvarmeanlæggets årlige nettoydelse var 123 MWh, svarende til 366 kWh/m². Solvarmeanlæggets årlige dækningsgrad inklusive/eksklusive cirkulationsledningens varmetab var henholdsvis 8% og 16%. Udnyttelsen af solindfaldet på solfangerne var 40%.

Sammenlignet med andre store solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er Sundparkens solvarmeanlæg højtydende. Dette er umiddelbart overraskende fordi solfangerne langt fra er orienteret optimalt. Udnyttelsen af solindfaldet på solfangerne er højere for Sundparkens solvarmeanlæg end for alle andre store solvarmeanlæg som hidtil er undersøgt ved hjælp af målinger.

Forklaringen på den høje ydelse og gode soludnyttelse er både Sundparkens store varmtvandsforbrug og solvarmeanlæggets gode design.

På basis af undersøgelserne kan det anbefales fremover at udforme store solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning som low flow solvarmeanlæg med varmtvandsbeholdere med eksterne varmevekslere og stratifikationsindløbsrør.

Summary

Laboratory tests with stratification inlet pipes marketed by the German company SOLVIS-Solarsysteme GmbH were carried out in a small test heat storage. The tests showed that the stratification pipes ensure that water entering the heat storage through the pipes enters the heat storage in the “right” level so that the temperature stratification in the heat storage is built up in the best possible way as long as the volume flow rate of the entering water is lower than 10 l/min. If the volume flow rate increases the water will enter the heat storage in different levels. For volume flow rates higher than 20 l/min. water enters the heat storage in all levels of the heat storage. It is estimated that the stratification inlet pipes secure a good thermal stratification in the heat storage as long as the volume flow rate is not higher than 15 l/min. Based on the laboratory tests a 10000 l hot water tank for Sundparken’s solar heating system was designed.

A 336 m² solar domestic hot water system was built in Sundparken, Elsinore. The solar heating system is a low flow system with a 10000 l hot water tank. Half of the solar collectors are facing east, half of the solar collectors are facing west. The collector tilt is for all collectors 15° from horizontal. Both the east-facing and west-facing collectors have their own solar collector loop, circulation pump, external heat exchanger and control system.

The external heat exchangers are used to transfer the heat from the solar collector fluid to the domestic water. The domestic water is pumped from the bottom of the hot water tank to the heat exchanger and back to the hot water tank through the SOLVIS stratification inlet pipes. In this way the water will enter the tank in the “right” level so that thermal stratification is built up in the best possible way. In the mornings the east-facing solar collectors produce a lot of heat and therefore high return temperatures of the domestic water. This water will enter the tank in the upper part of the tank while the relatively cold water returning from the heat exchanger of the west-facing collectors enters the tank at the lower part of the tank. In the afternoons/evenings when the west-facing solar collectors produce more heat than the east-facing collectors, the water heated by the west-facing collectors enters the top part of the tank while the water heated by the east-facing collectors enters the bottom part of the tank.

The tank design ensures an excellent thermal stratification in the tank during all hours. Therefore the thermal performance of the solar heating system will be high in spite of the fact that the collectors are not optimally facing south.

Measurements showed that the yearly net utilized solar energy of the system was 123 MWh corresponding to 366 kWh/m². The solar fraction of the solar heating system was 8% and 16%, respectively, with and without regard for the heat loss of the circulation piping. 40% of the solar radiation on the solar collectors were utilized.

Compared to other large Danish solar domestic hot water systems the system in Sundparken is performing well. This might be a surprise because the solar collectors are far from being orientated optimally. The utilization of the solar radiation on the collectors for Sundparken’s solar heating system was higher than for any other system earlier investigated. The reason for the good thermal performance and for the excellent utilization of the solar radiation is the high hot-water consumption and the good system design.

Based on the investigations it is recommended in the future to design large solar heating systems as low flow systems with hot water tanks with external heat exchangers and stratification inlet pipes.

1 INDLEDNING

I foråret 2000 blev der installeret et 336 m² solvarmeanlæg i Sundparken, Helsingør. Anlægget leverer varmt brugsvand til bebyggelsens 425 lejligheder og vaskeri.

Solvarmeanlægget, som benytter en 10.000 l varmtvandsbeholder som varmelager, er designet som et low-flow anlæg, hvor solfangervæsken i solfangerkredsen cirkulerer med en volumenstrøm på ca. 0,2 l/min. pr. m² solfanger. Solfangerfeltet, som består af to separate dele, hver med et solfangerareal på 168 m², er installeret på en østvendt og en vestvendt tagflade. Et CTS-system med temperaturfølere i bunden af varmtvandsbeholderen og i solfangerkredsene sørger for at solfangervæsken cirkuleres i de to solfangerkredse når der kan produceres solvarme. Pumpen i det østvendte solfangerfelt starter ofte tidligt om morgenen og stopper om eftermiddagen, mens pumpen i det vestvendte solfangerfelt ofte starter om formiddagen og stopper sent om aftenen.

De to solfangerkredse er begge forsynet med en ekstern varmeveksler, hvor solvarmen overføres fra solfangervæsken til brugsvandet som fra bunden af varmtvandsbeholderen pumpes frem til varmeveksleren og herfra retur til varmtvandsbeholderen gennem stratifikationsindløbsrør. Herved sikres at vandet tilføres beholderen i det "rigtige" niveau, således at temperaturlagdelingen i beholderen bliver så stor som muligt. Om formiddagen producerer de østvendte solfangere meget solvarme og dermed høje returtemperaturer for brugsvandet. Dette vand føres ind højt oppe i beholderen, mens det relativt kolde vand fra vestvendte solfangere tilføres beholderen i et lavere niveau. Om eftermiddagen, når de vestvendte solfangere producerer mere solvarme end de østvendte solfangere, føres vandet fra de vestvendte solfangere ind højt oppe i beholderen, mens vandet fra de østvendte solfangere tilføres beholderen i et lavere niveau.

Den store temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen resulterer i at anlægget bliver højt-ydende på trods af at solfangerne ikke er optimalt orienteret mod syd.

Solvarmeanlægget er projekteret af Vagn Duer Rådgivende Ingeniørfirma A/S.

Der er foretaget målinger af solvarmeanlæggets ydelse igennem det første driftsår.

Solvarmeanlægget og målingerne er beskrevet i denne rapport som forhåbentlig vil inspirere rådgivende ingeniører og bygherrer til at foreslå/opføre denne type solvarmeanlæg eller lignende solvarmeanlæg med varmelagre med stor temperaturlagdeling i fremtiden.

2 SOLVIS indløbsrør

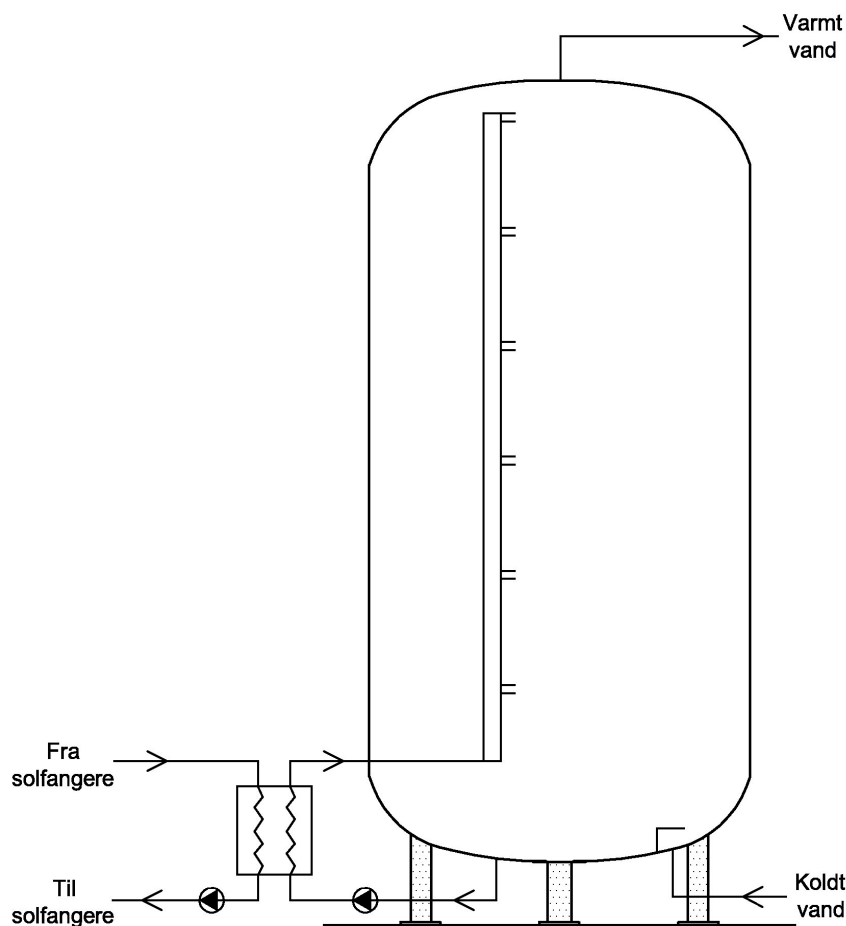
Beregninger har vist at ydelsen af solvarmeanlæg afhænger stærkt af temperaturlagdelingen i solvarmeanlæggets varmelager. Jo større temperaturlagdelingen er, des større bliver solvarmeanlæggets ydelse. Temperaturlagdeling i varmelageret kan opbygges i perioder med solfangerne i drift hvis solvarmen tilføres det "rigtige" niveau i varmelageret: I perioder med høje solfangervæsketemperaturer tilføres varmen til den øverste del af varmelageret, i perioder med middelhøje solfangervæsketemperaturer tilføres varmen til den midterste del af varmelageret, og i perioder med relativt lave solfangervæsketemperaturer tilføres varmen til den nederste del af varmelageret.

Derudover opbygges der temperaturlagdeling i varmelageret når der tappes varmt vand fra lageret. Det er selvfølgelig vigtigt at den temperaturlagdeling som er opbygget i varmelageret under solfangernes drift og under tapning af varmt vand, opretholdes i størst mulig udstrækning i perioder uden solfangerdrift og varmtvandstapning. For eksempel må det sikres

at cirkulationsledningens returvand strømmer ind i varmtvandsbeholderen med så lille en hastighed at der ikke skabes omrøring af betydning i beholderen.

I små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning kan anvendelsen af kappebeholdere sikre en god temperaturlagdeling i varmelageret og dermed en høj ydelse af solvarmeanlæggene, [1]. For større solvarmeanlæg med store varmelagre er anvendelsen af kappebeholdere ikke en god løsning, idet det varmeoverførende areal mellem kappen og brugsvandet bliver for lille til at overføre solvarmen fra det store solfangerfelt.

En måde at opbygge temperaturlagdeling i store solvarmeanlægs varmtvandsbeholdere er at overføre varmen fra solfangervæsken til brugsvandet ved hjælp af en ekstern varmeveksler som vist skematisk på figur 1. Brugsvandet føres fra den eksterne varmeveksler retur til et stratifikationsindløbsrør i varmtvandsbeholderen. Stratifikationsindløbsrøret, som sørger for at brugsvandet tilføres beholderen i det "rigtige" niveau, kan være designet på mange forskellige måder. Solvarmeanlægget i Sundparken benytter stratifikationsindløbsrør som markedsføres af det tyske firma SOLVIS-Solarsysteme GmbH. Stratifikationsindløbsrøret er



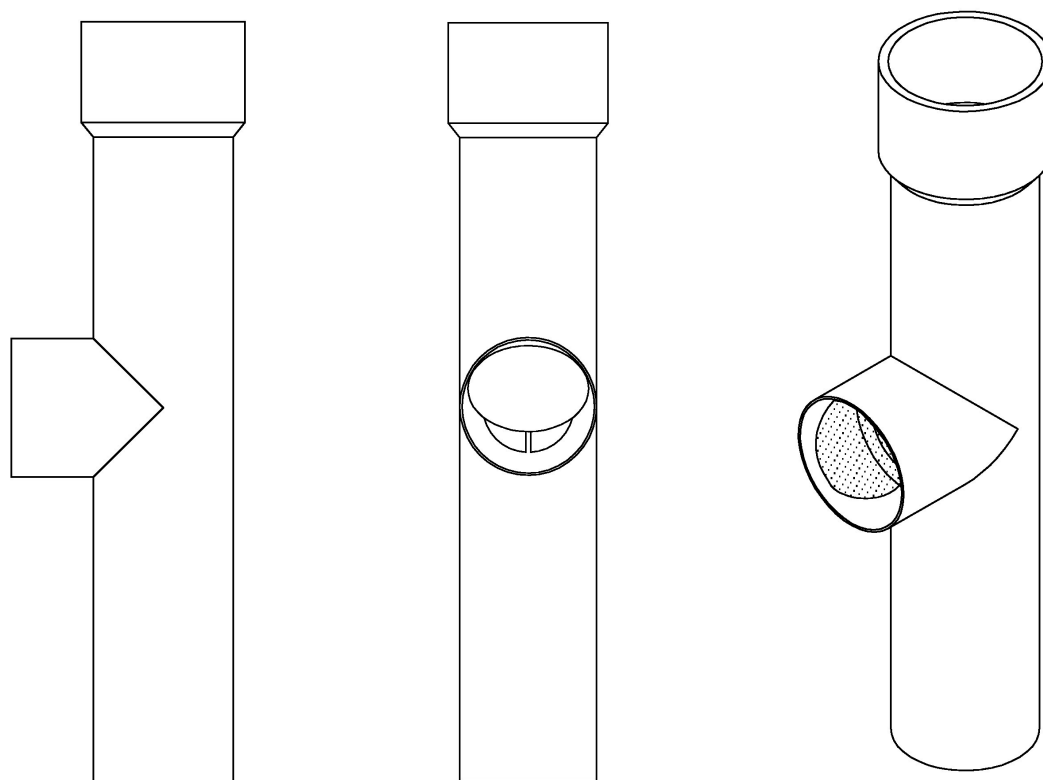
Figur 1. Principskitse af varmtvandsbeholder med stratifikationsindløbsrør.

sammensat af et antal polypropylenrør som hvert er forsynet med en udløbsmulighed for returvandet fra varmeveksleren. Rørene er sammensat så der er en udløbsmulighed for vandet

for hver 30. cm i hele rørets udstrækning. Rørenes indre og ydre diameter er hhv. 53 og 60 mm. Hvert udløb er forsynet med en klap. Klapperne er lukkede så længe der intet flow er igennem varmeveksleren og dermed igennem indløbsrøret. Når der er et lavt flow igennem varmeveksleren og dermed igennem indløbsrøret åbner den klap som resulterer i det laveste totale tryktab i varmevekslingskredsen. Massefyldeforskellene mellem vandet inden for og uden for hver enkelt klap bestemmer hvilken klap der åbnes.

Designet af de patenterede indløbsrør og klapper sikrer at den klap der sikrer at vandet fra indløbsrøret føres ud i beholderen i et niveau med en lidt lavere vandtemperatur end temperaturen af det indstrømmende vand, åbner. Herved opbygges en stor temperaturlagdeling i beholderen under varmetilførsel fra solfangerne.

Figur 2 viser principskitser og figur 3 viser fotos af SOLVIS indløbsrør.



Figur 2. Principskitser af et SOLVIS indløbsrør.



Figur 3. SOLVIS indløbsrør (til venstre og i midten) og 5 sammensatte SOLVIS indløbsrør (til højre).

2.1 Laboratorieforsøg

Der blev indledningsvis gennemført laboratorieforsøg for at klarlægge ved hvilke flow SOLVIS indløbsrørene fungerer så der kun føres vand fra rørene ud i varmelageret igennem en enkelt klap.

Forsøgene blev gennemført med et 400 l forsøgsvarmelager med et indløbsrør bestående af 6 sammensatte SOLVIS rør med hver sit udløb inklusive klap. Figur 4 viser forsøgsvarmelageret som er forsynet med gennemsigtige ”vinduer” så det er muligt at se positionen af indløbsrørets 6 klapper.

En pumpe cirkulerer beholderens vand igennem en varmevekslingskreds fra toppen af beholderen, gennem en varmeveksler, retur til bunden af indløbsrøret og herfra gennem en klap eller flere klapper ud i varmelageret. Vandet kan opvarmes eller afkøles som ønsket i varmeveksleren. Det er derfor let at etablere et ønsket temperaturprofil i forsøgsvarmelageret.

Der blev gennemført en forsøgsrække med forskellige volumenstrømme i varmevekslingskredsen og med forskellige temperaturniveauer og temperaturprofiler i forsøgsvarmelageret ved starten af forsøgene. Temperaturerne i forskellige niveauer af forsøgsvarmelageret og temperaturen af vandet som blev tilført indløbsrøret, blev registreret ved hjælp af kobber/konstantan-termoelementer.

Forsøgene viste at det indstrømmende vand tilføres varmelageret i det ”rigtige” niveau, dvs. udelukkende gennem ét udløb så længe volumenstrømmen af vandet er mindre end 10 l/min – uanset temperaturniveauet og temperaturlagdelingen i varmelageret. Jo højere flow der benyttes, des flere klapper åbnes, således at vandet tilføres varmelageret i flere niveauer. Er flowet højere end 20 l/min., er alle klapper åbne, således at vandet strømmer ud i varmelageret gennem alle 6 udløb.

På basis af laboratorieforsøgene vurderes det at SOLVIS indløbsrørene er velegnede så længe flowet i varmevekslingskredsen er mindre end ca. 15 l/min.



Figur 4. Foto af forsøgsvarmelager.

3 Solvarmeanlægget i Sundparken

Solvarmeanlægget, som blev installeret i foråret 2000, leverer varmt brugsvand til bebyggelsens 425 lejligheder og vaskeri. Ved udformningen af anlægget er der taget hensyn til at tagfladerne er orienteret mod øst og vest. Solfangerne er derfor ikke orienteret optimalt mod syd. Anlægget er projekteret af Vagn Duer, Rådgivende Ingeniørfirma A/S.

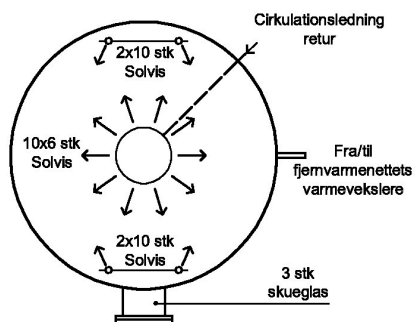
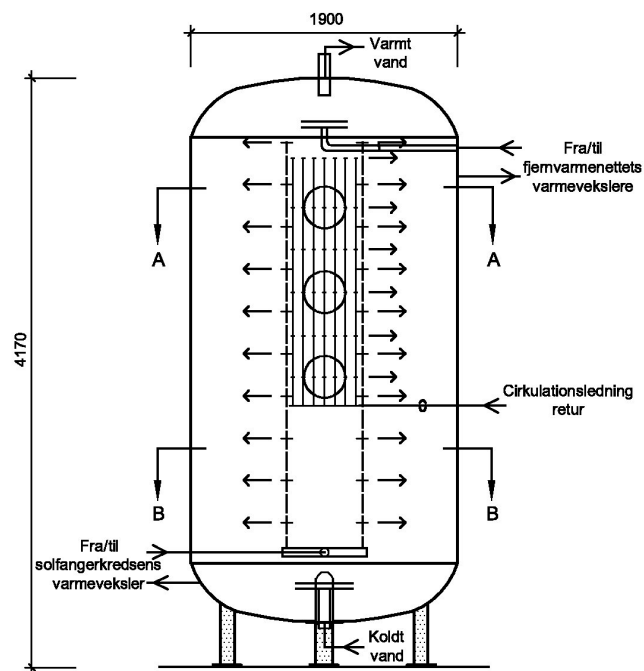
3.1 Anlægsbeskrivelse

Solvarmeanlægget er et brugsvandsanlæg opbygget som et low flow solvarmeanlæg med en varmtvandsbeholder med stor temperaturlagdeling. Solfangerfeltet består af to separate dele, en installeret på en østvendt 15° hældende tagflade og en installeret på en vestvendt 15° hældende tagflade. Hvert solfangerfelt er opbygget af 56 BA30 solfangere fra Batec A/S med et totalt solfangerareal på 168 m². Solvarmeanlægget består således af to separate solfangerkredse med et solfangerareal på i alt 336 m². Som solfangervæsker benyttes propylen-glykol/vand-blandinger. I hver solfangerkreds cirkulerer solfangervæsken med en volumenstrøm på ca. 0,2 l/min. pr. m² solfanger.

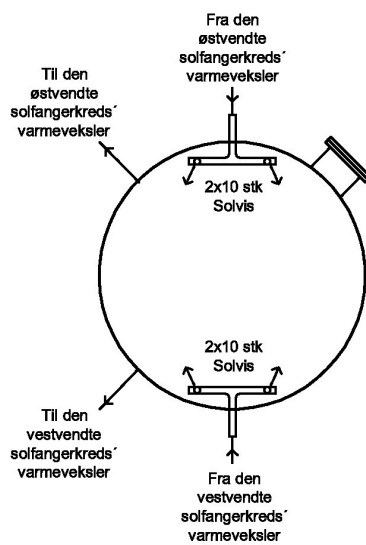
Solvarmeanlæggets varmtvandsbeholder fra KN Smede og Beholderfabrik A/S har et volumen på 10.000 l. Varmtvandsbeholderen er forsynet med en række SOLVIS stratifikationsindløbsrør som sikrer en god temperaturlagdeling i beholderen. Figur 5 viser principskitser af beholderen inklusive de indbyggede stratifikationsindløbsrør.

Brugsvandet i beholderen kan både opvarmes af solvarme fra de to solfangerkredse og af fjernvarme, når solen ikke skinner tilstrækkeligt til at hele varmtvandsbehovet kan dækkes af solvarmen. Begge solfangerkredse er forsynet med en ekstern varmeveksler, type Ajva GA10 33027, hvor solvarme overføres fra solfangervæsken til brugsvandet. Brugsvand pumpes med en volumenstrøm på ca. 30 l/min. fra bunden af beholderen til varmeveksleren og herfra retur til beholderen via et indløbsarrangement bestående af to parallelkoblede 3 m høje indløbsrør som hver består af 10 sammensatte SOLVIS indløbsrør. Herved vil volumenstrømmen af vandet i det enkelte rør blive så lav, ca. 15 l/min., at det solopvarmede vand tilføres beholderen i det "rigtige" niveau. Det østvendte og vestvendte solfangerfelt er forsynet med hver sit ens udformede indløbsarrangement. Hvis temperaturen i toppen af beholderen bliver lavere end 54°C, cirkuleres brugsvand fra den øverste del af beholderen igennem fjernvarmenettets eksterne varmevekslere. Dog reduceres temperaturniveauet i toppen af beholderen om natten hvor varmtvandsforbruget er lille. Det fjernvarmeopvarmede brugsvand føres ind i toppen af tanken via et indløb bestående af to parallelle plader så der ikke skabes omrøring i beholderen. De øverste 2.000 l af varmtvandsbeholderen kan opvarmes af fjernvarme.

Sundparkens varmtvandssystem har en stor cirkulationsledning med en volumenstrøm på ca. 150 l/min. Returvandet fra cirkulationsledningen føres ind i den øverste del af beholderen via et indløbsarrangement bestående af 10 parallelle 180 cm høje indløbsrør som hver består af 6 sammensatte SOLVIS indløbsrør. Herved sikres at returvandet fra cirkulationsledningen får så lav en volumenstrøm i hvert enkelt indløbsrør, ca. 15 l/min., at returvandet tilføres beholderen i det "rigtige" niveau uden omrøring af betydning.



Snit A-A



Snit B-B

Figur 5. Principskitse af varmtvandsbeholder.

Det varme vand tappes fra toppen af beholderen, mens det kolde vand under varmtvands-tapninger tilføres bunden af beholderen gennem et indløb bestående af to parallelle plader, så der ikke skabes nævneværdig omrøring i beholderen under varmtvandstapninger.

Varmtvandsbeholderen er forsynet med 4 skueglas så det er muligt at se hvorledes indløbs-rørene fungerer og så det er muligt at se om beholderen har behov for udslamning.

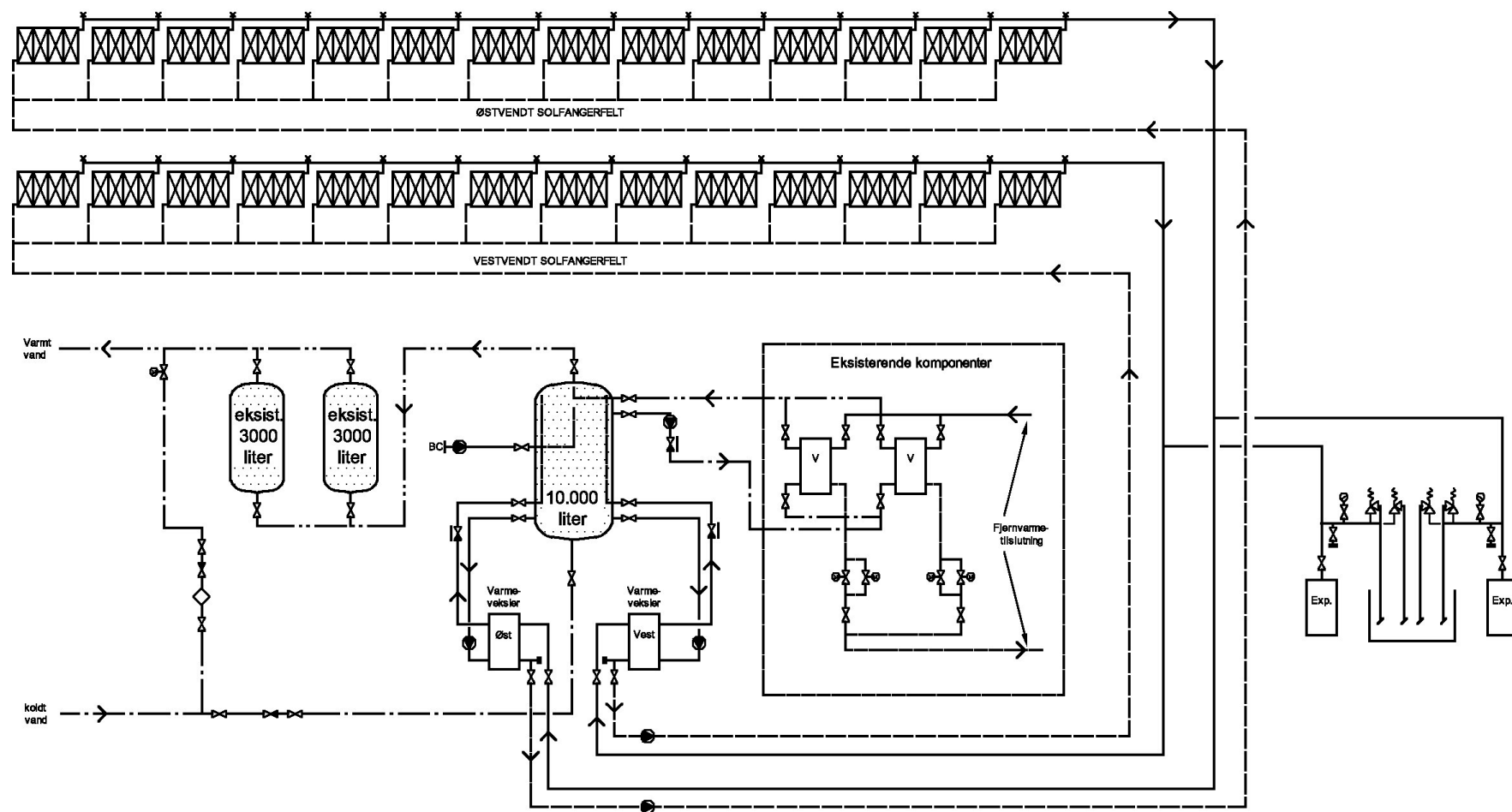
Solvarmeanlægget styres ved hjælp af et CTS-system blandt andet med temperaturfølere i forskellige niveauer i varmtvandsbeholderen og i de to solfangerkredse. Når temperaturen i de østvendte solfangere om morgenen bliver 5 K højere end temperaturen i bunden af varmtvandsbeholderen, starter cirkulationspumper med at cirkulere solfangervæske rundt i den østvendte solfangerkreds med en volumenstrøm på ca. 34 l/min., og brugsvandet rundt i varmevekslingskredsen med en volumenstrøm på ca. 30 l/min., således at solvarmen fra det østvendte solfangerfelt overføres til beholderen. Hvis solfangertemperaturen overstiger 70°C forøges flowene. Pumperne stoppes når temperaturforskellen mellem solfangerne og bunden af beholderen bliver mindre end 2 K.

De vestvendte solfangere styres i princippet på samme måde som de østvendte solfangere, dog selvfølgelig baseret på temperaturen af de vestvendte solfangere og temperaturen i bunden af beholderen. Altså er der i princippet tale om et selvstændigt styresystem for hver solfangerkreds.

Varmtvandsbeholderens design og solfangernes orientering sikrer at der for alle driftsperioder opbygges en stor temperaturlagdeling i beholderen. Om morgenen og om formiddagen er temperaturniveauet i det østvendte solfangerfelt normalt højt, mens temperaturniveauet i det vestvendte solfangerfelt er lavt. Om eftermiddagen og om aftenen er det det vestvendte solfangerfelt der har et højt temperaturniveau, mens temperaturniveauet i det østvendte solfangerfelt er lavt. Indløbsrørene sikrer at solvarmen fra begge felter tilføres beholderen i de "rigtige" niveauer, altså opbygges der temperaturlagdeling i beholderen igennem hele dagen hvis solen skinner.

Yderligere kan det nævnes at de største varmtvandsforbrug normalt forekommer morgen og aften samtidig med at henholdsvis de øst- og vestvendte solfangerfelter er i drift. Dette vil medvirke til at anlægget får en høj ydelse selv om solindfaldet på en øst- og vestvendt flade er mindre end solindfaldet på en sydvendt flade.

Figur 6 viser en principskitse af solvarmeanlægget, og figur 7-9 viser fotos af varmtvands-beholderen og af solfangerfeltet.



Figur 6. Principskitse af solvarmeanlægget.



Figur 7. 10.000 l uisoleret varmtvandsbeholder med skueglas.



Figur 8. Inspektion af varmtvandsbeholder.



Figur 9. Dele af vestvendt solfangerfelt.

3.2 Priser

Solvarmeanlæggets pris inklusive renovering af varmecentralen og måleudstyr var i alt 2.440.000 kr. inkl. moms, eller ca. 7.300 kr. pr. m² solfanger.

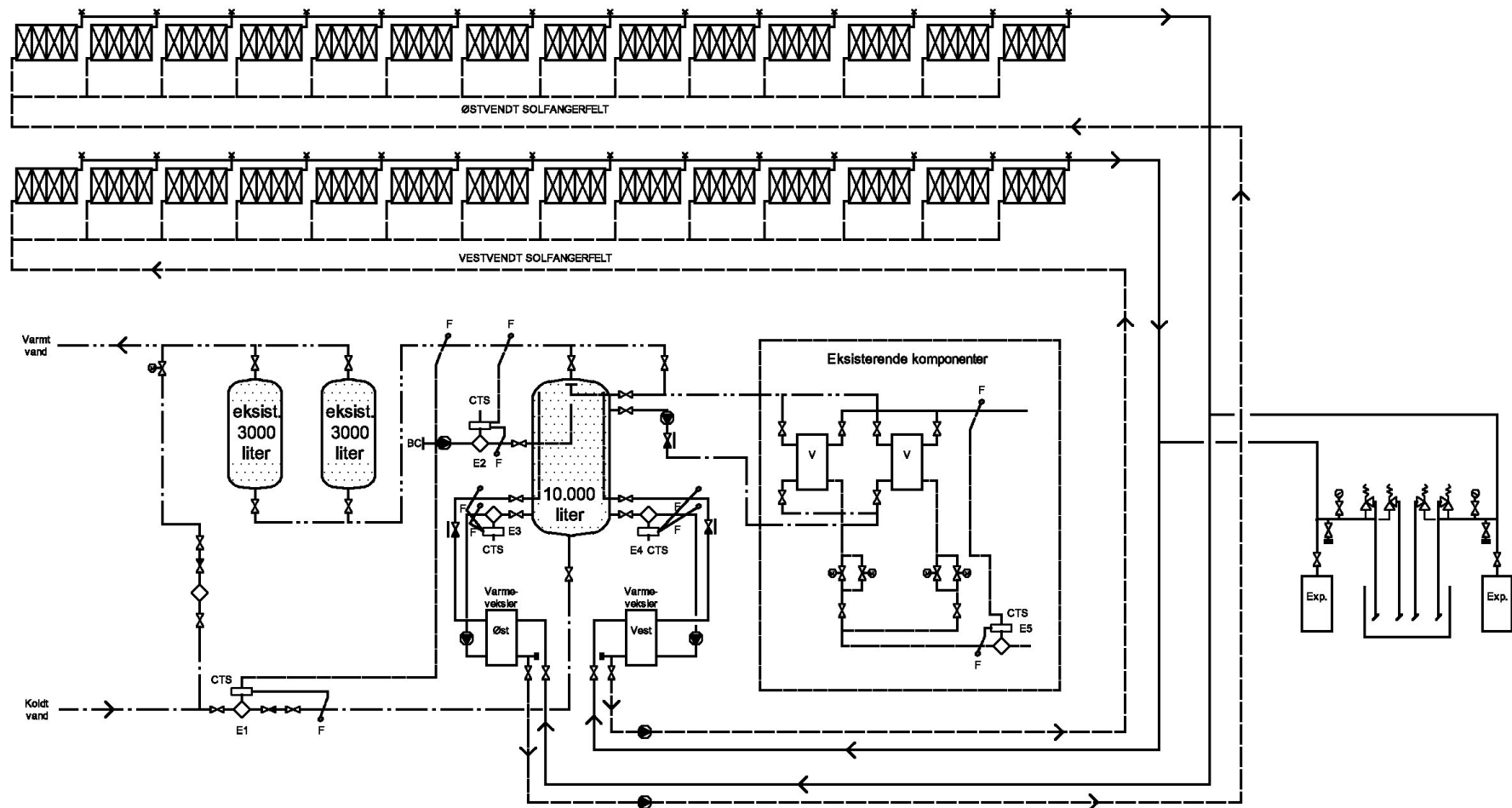
Varmtvandsbeholderen kostede i alt 90.000 kr. inklusive de 100 SOLVIS indløbsrør som inklusive fastgørelsesmateriel kostede 12.100 kr.

3.3 Målesystem

Ved hjælp af målesystemet, som er baseret på Sundparkens CTS-anlæg, registreres solvarmeanlæggets vigtigste energistrømme og temperaturer. Blandt andet måles ved hjælp af kombinerede flow- og energimålere energistørrelserne som tilføres og tappes fra varmtvandsbeholderen. Figur 10 viser solvarmeanlæggets principopbygning og energimålerne placering. Følgende energistørrelser måles: Varmtvandsforbrugets størrelse E1, varmetab fra cirkulationsledningen E2, solvarme tilført varmtvandsbeholderen fra det østvendte solfangerfelt E3, solvarme tilført varmtvandsbeholderen fra det vestvendte solfangerfelt E4 og varme tilført anlægget fra fjernvarmenettet E5.

På basis af målingerne er det muligt at følge solvarmeanlæggets drift igennem såvel korte som langvarige perioder. Blandt andet kan solvarmeanlæggets nettoydelse og dækningsgrad bestemmes. Nettoydelsen er defineret som varmtvandsforbrugets størrelse plus cirkulationsledningens varmetab minus varmen som tilføres anlægget fra fjernvarmenettet. Dækningsgraden er defineret som forholdet mellem nettoydelsen og varmebehovet, som er summen af varmtvandsforbruget og cirkulationsledningens varmetab.

Vejrdata måles ikke i Helsingør da der kan benyttes vejrdato målt på den nærvæbeliggende vejrstation i Sjælsmark.



Figur 10. Principskitse af solvarmeanlæg og målesystem.

3.4 Måleresultater

Målingerne blev påbegyndt da anlægget blev sat i drift. Der er gennemført målinger igennem det første driftsår, juni 2000-maj 2001.

Varmtvandsforbrugets variation målt igennem dagen for uge 16, 16.-22. april 2001, fremgår af figur 11 og 12. For hverdage forekommer de største varmtvandsforbrug om morgenen, kl. 6-10, og om aftenen, kl. 17-19. Forbruget er noget større om morgenen end om aftenen. Forbruget mellem kl. 10 og 17 og mellem kl. 19 og 24 er væsentligt mindre end i spidsbelastningsperioderne, og forbruget mellem midnat og kl. 6 er meget lille.

For fridage forekommer de største varmtvandsforbrug i perioden kl. 8-14 og kl. 17-20. Også for fridagene er forbruget større om "morgenen" end om aftenen. Forbruget mellem midnat og kl. 7 er meget lille.

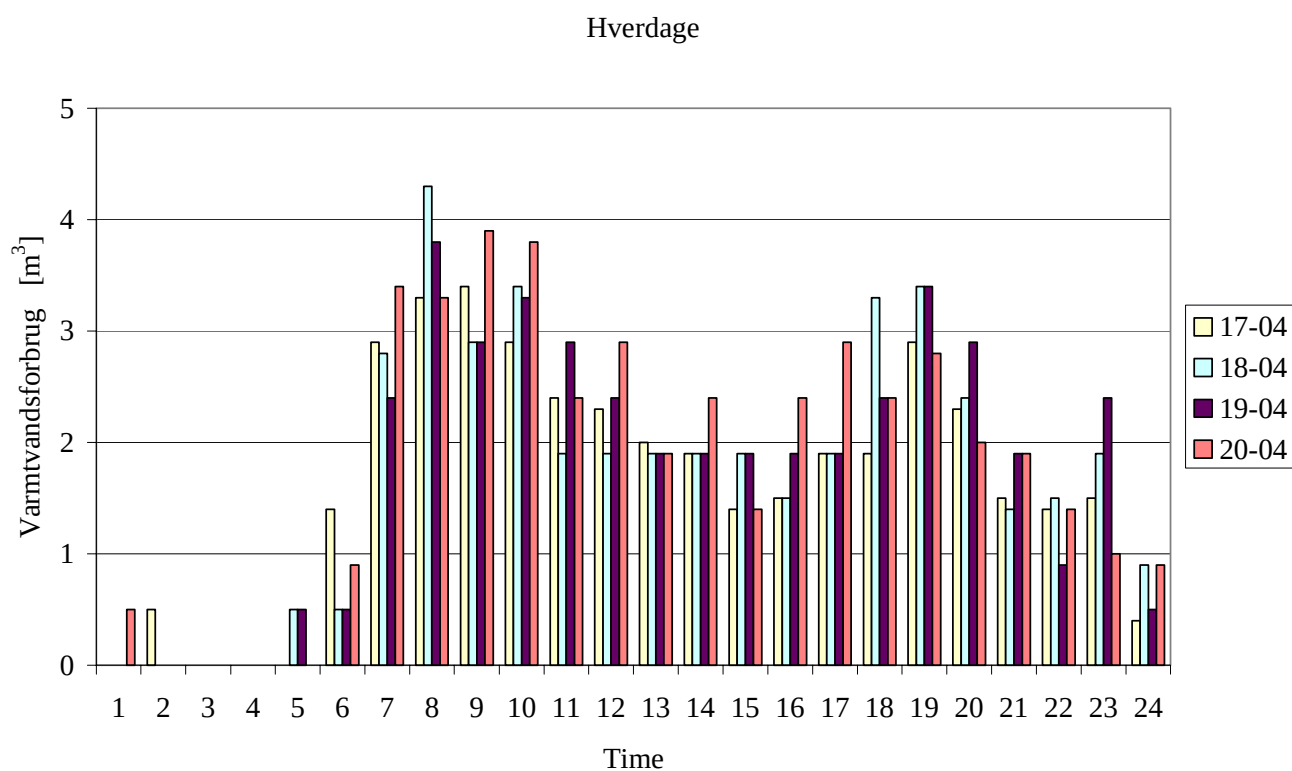
Forbrugsmønsteret stemmer fint overens med solvarmeproduktionen for de øst- og vestvendte solfangere, idet de østvendte solfangere producerer mest varme om morgenen/formiddagen og de vestvendte solfangere producerer mest varme om eftermiddagen/aftenen.

Figur 13 viser for en overskyet dag, den 26. april 2001, time for time målte energimængder tilført og tappet fra varmtvandsbeholderen. Varmtvandsforbruget, cirkulationsledningens varmetab, fjernvarmetilførslen og solvarmen fra det østvendte og vestvendte solfangerfelt er vist. Cirkulationsledningens varmetab er lille eller helt forsvindende om aftenen og natten og meget stort om morgenen. Det skyldes at temperaturen i toppen af varmtvandsbeholderen reduceres til et relativt lavt temperaturniveau i perioder med små varmtvandsforbrug, at cirkulationsledningens vandvolumen er **meget** stort, og at målesikkerheden er stor i perioder med små varmetab.

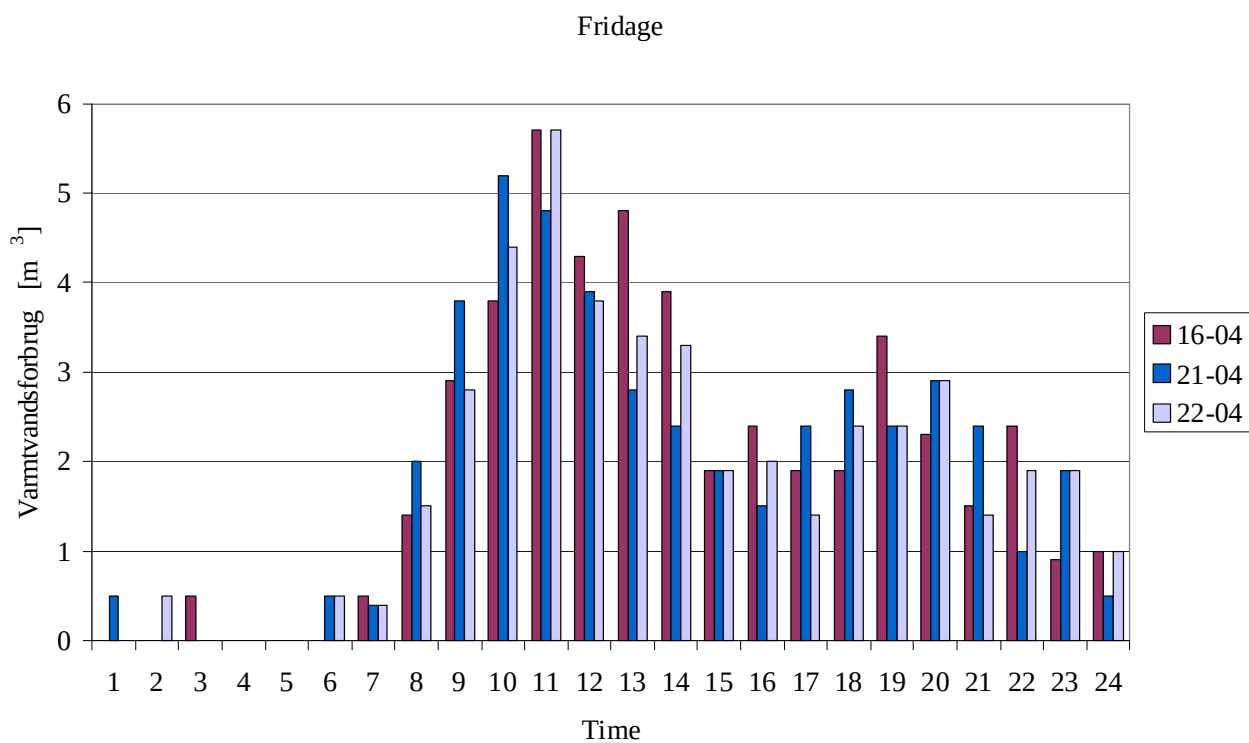
Figur 14 og 15 viser for den 26. april time for time målte anlægstemperaturer. På figur 14 ses det at det fjernvarmeopvarmede vand som tilføres varmtvandsbeholderen, er ca. 70°C igennem dagtimerne, mens temperaturniveauet om aftenen og natten reduceres til ca. 45°C. Temperaturen af det varme vand som tappes fra varmtvandsbeholderen, er beliggende i intervallet fra ca. 55°C til ca. 65°C i dagtimerne, mens temperaturen om aftenen og natten reduceres til ca. 40°C. Cirkulationsledningens returvand, som tilføres varmtvandsbeholderen, er i dagtimerne ca. 50°C, mens temperaturniveauet om aftenen og natten reduceres til ca. 37°C. Solfangervæsketemperaturerne er fremløbstemperaturer til de to eksterne varmevekslere.

Af figur 15 fremgår det at der altid er en god temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen, og at solfangerne – selv om solen ikke skinner meget den 26. april 2001 – opvarmer vandet i den nederste del af beholderen. Den gode temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen sikrer solfangerne gode driftsbetingelser.

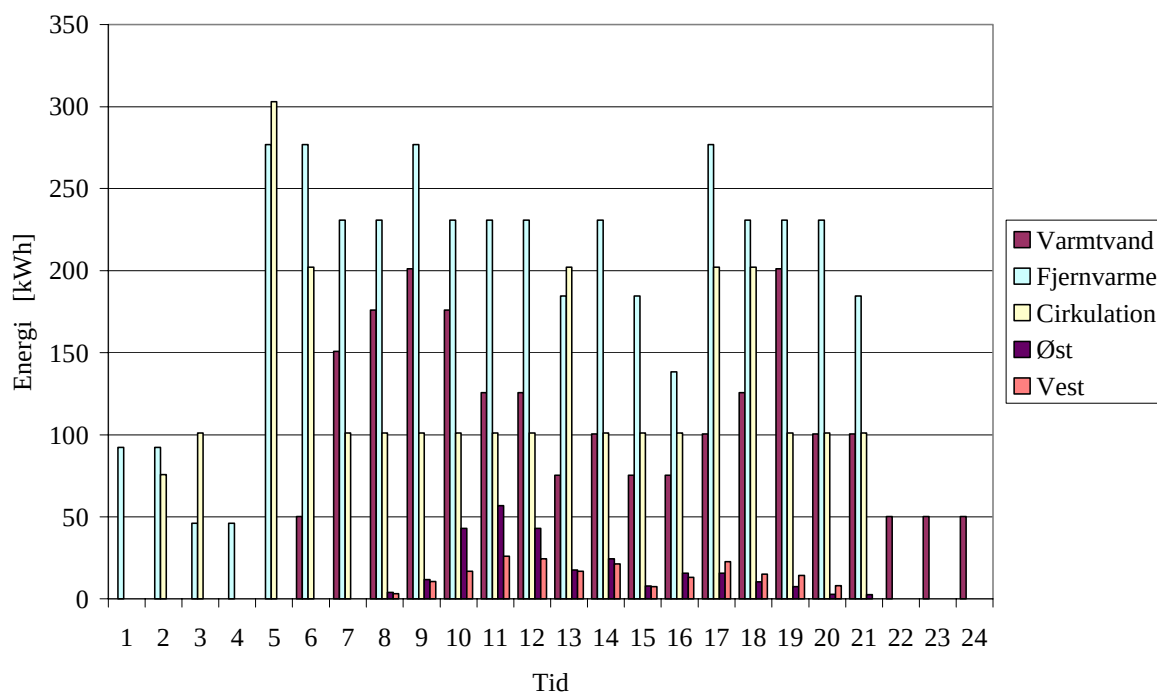
De målte energistørrelser måned for måned er angivet i tabel 1 og i figur 16 og 17.



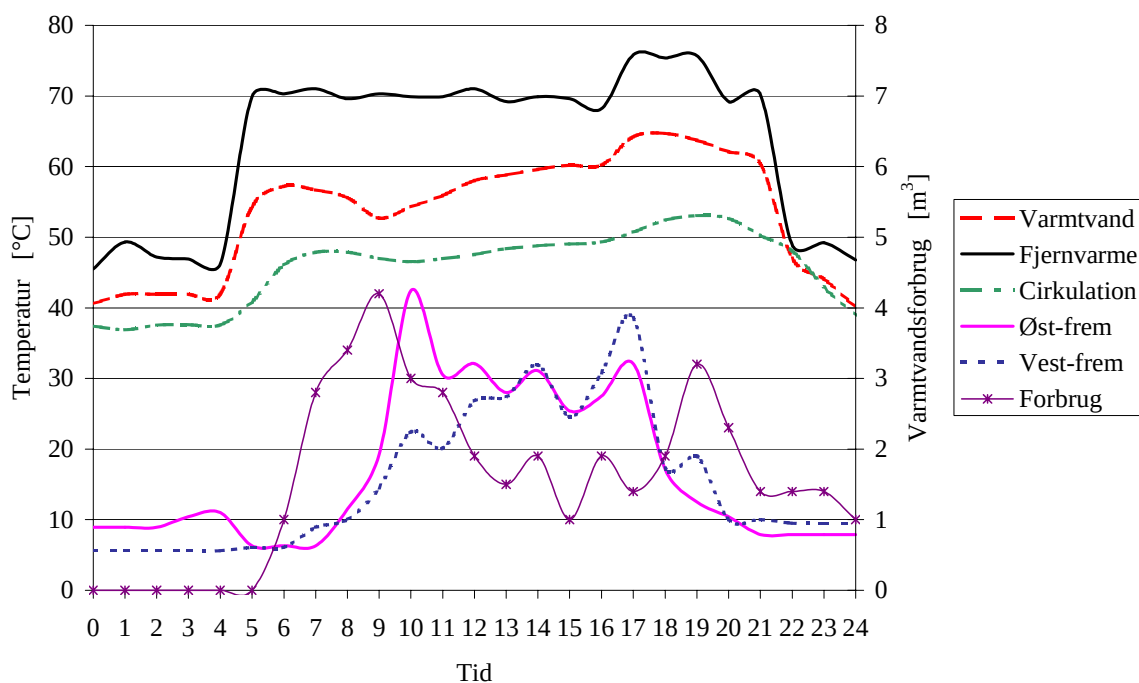
Figur 11. Varmtvandsforbrug time for time igennem 4 hverdage i april 2001.



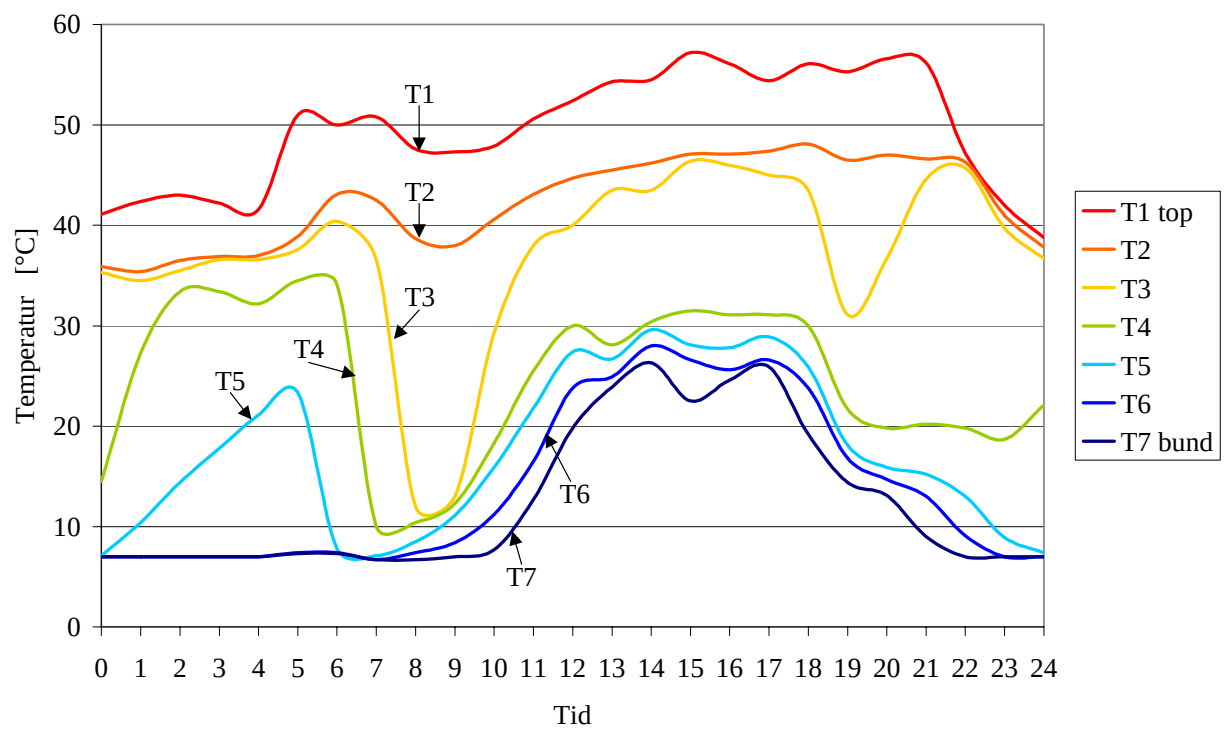
Figur 12. Varmtvandsforbrug time for time igennem 3 fridage i april 2001.



Figur 13. Energimængder tilført og tappet fra varmtvandsbeholderen den 26. april 2001.



Figur 14. Anlægstemperaturer og varmtvandsforbrug den 26. april 2001.

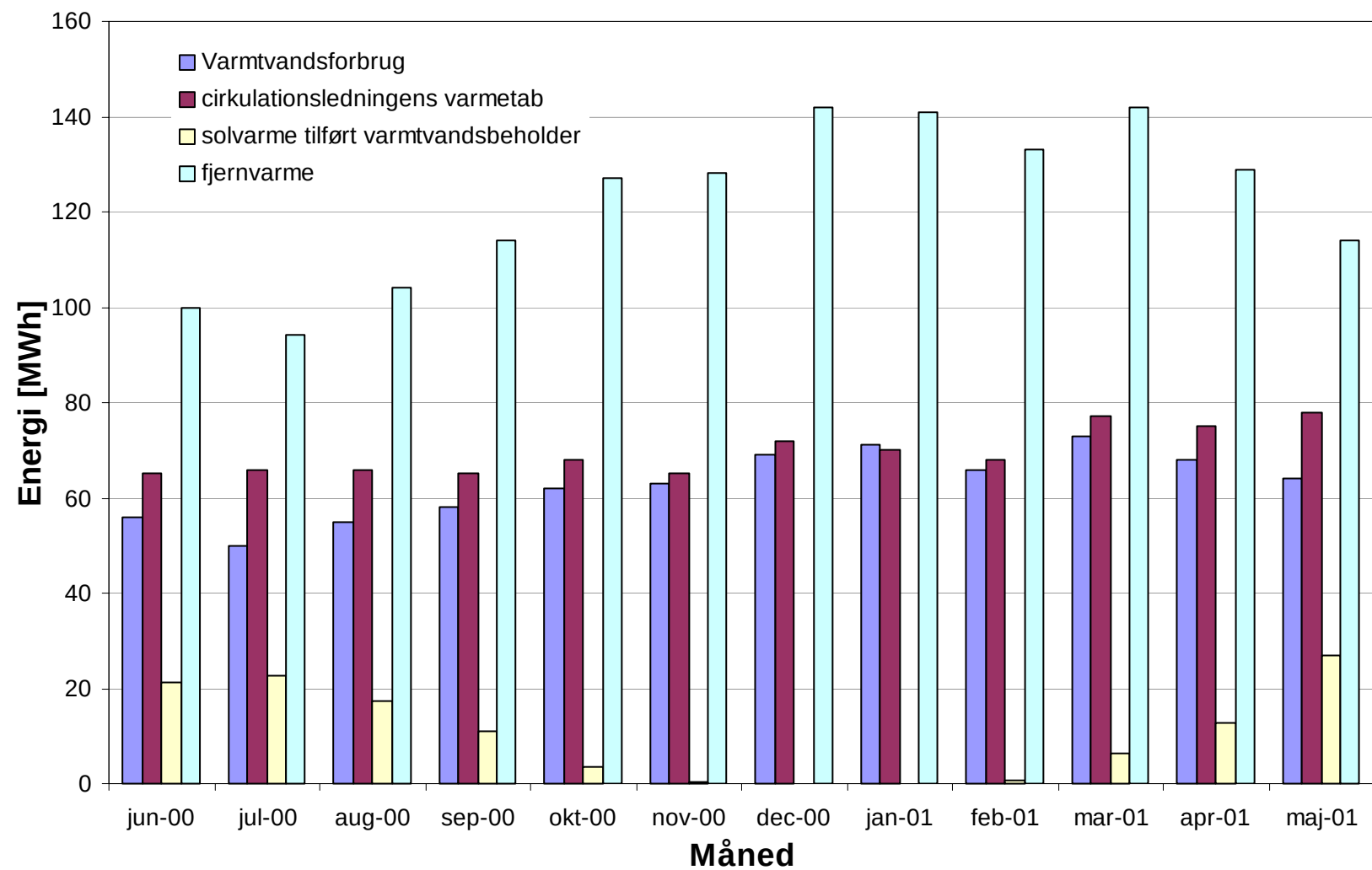


Figur 15. Varmtvandsbeholdertemperaturer den 26. april 2001.

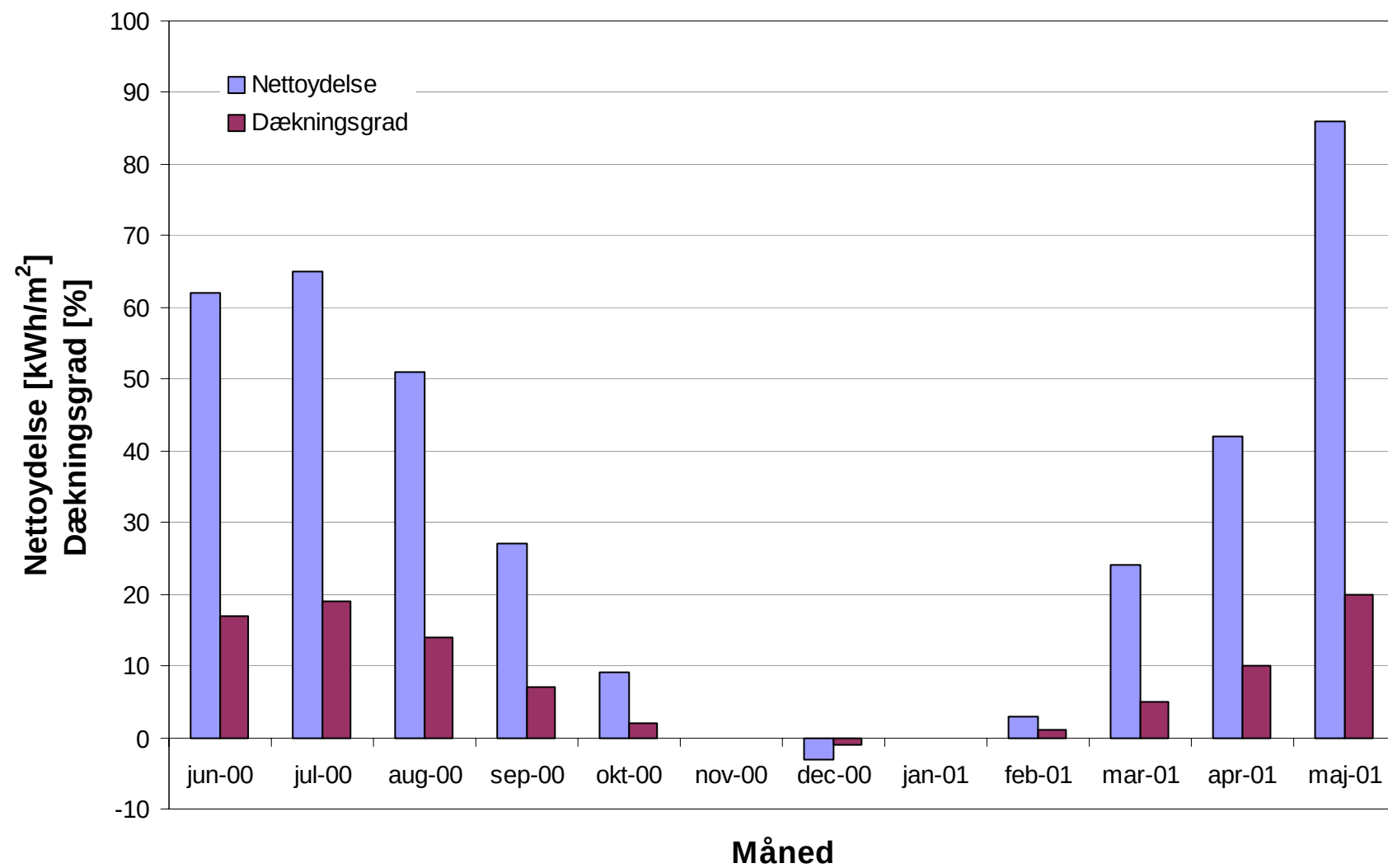
Måned	Varmtvandsforbrug		Cirkulations- ledningens varmetab	Solvarme tilført varmtvands- beholder	Fjernvarme	Nettoydelse		Dækningsgrad
	m ³ /dag	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	%
Juni 2000	36	56	65	21,4	100	21	62	17
Juli 2000	36	50	66	22,8	94	22	65	19
Aug. 2000	36	55	66	17,2	104	17	51	14
Sept. 2000	43	58	65	11,0	114	9	27	7
Okt. 2000	41	62	68	3,6	127	3	9	2
Nov. 2000	45	63	65	0,2	128	0	0	0
Dec. 2000	45	69	72	0,1	142	-1	-3	-1
Jan. 2001	45	71	70	0,0	141	0	0	0
Feb. 2001	45	66	68	0,6	133	1	3	1
Marts 2001	45	73	77	6,5	142	8	24	5
April 2001	43	68	75	12,9	129	14	42	10
Maj 2001	40	65	78	26,8	114	29	86	20
Juni 2000- Maj 2001	42	756	835	123,1	1468	123	366	8

Tabel 1. Målte månedlige energistørrelser for solvarmeanlægget.

Varmtvandsforbrugets gennemsnitlige størrelse i det første driftsår er 98 l/dag pr. lejlighed svarende til 4,9 kWh/dag pr. lejlighed. Varmtvandsforbruget er større i vinterhalvåret end i sommerhalvåret, både fordi koldt vandstemperaturen er lavere om vinteren end om sommeren og fordi varmtvandsbehovet blandt andet på grund af ferier er lavere om sommeren end om vinteren. Den årlige variation af varmtvandsforbruget vil naturligvis medvirke til at reducere solvarmeanlæggets ydelse og dækningsgrad en smule, da solindfaldet er størst om sommeren hvor varmtvandsforbruget er mindst.



Figur 16. Målte energistørrelser for solvarmeanlægget.



Figur 17. Solvarmeanlæggets målte nettoyedelse og dækningsgrad.

Cirkulationsledningens varmetab er ca. 10% større end selve varmtvandsforbruget, og dette varmetab varierer også en smule igennem året. Disse variationer er dog mindre end variationerne af varmtvandsforbrugets størrelse. Cirkulationsledningens store andel af det totale energibehov medvirker til at reducere solvarmeanlæggets dækningsgrad.

Solvarmetilførslen til varmtvandsbeholderen er naturligvis størst i sommerperioden og mindst i vinterperioden. I perioden oktober 2000-februar 2001 har solfangerne kun produceret 4,5 MWh svarende til 13 kWh pr. m² solfanger. Forklaringen er at solindfaldet på øst- og vestvendte 15° hældende solfangere er specielt lille i de 5 vintermåneder.

Fjernvarmetilførslen er selvfølgelig størst i vinterhalvåret hvor varmtvandsbehovet er størst og solvarmeproduktionen mindst.

Solvarmeanlæggets årlige nettoydelse er 123 MWh svarende til 366 kWh pr. m² solfanger, og den årlige dækningsgrad er 8%. Den årlige dækningsgrad beregnet uden hensyntagen til det relativt store varmetab fra cirkulationsledningen er 16%. Nettoydelsen og dækningsgraden er størst i perioden april-august med så lange dage at solindfaldet på de øst- og vestvendte solfangere er stort.

Tabel 2 viser måned for måned solindfaldet på vandret for de to referenceår Test Reference Year, TRY, og Design Reference Year, DRY, samt ved DTU's vejrstation og DMI's vejrstation i Sjælsmark. Solindfaldene beregnet for de to referenceår samt for DTU og Sjælsmark for en 15° hældende øst- eller vestvendt flade er også angivet. Beregningerne er baseret på solindfaldene på vandret. Endvidere er solvarmeanlæggets nettoydelse og anlæggets udnyttelse af solindfaldet baseret på solindfaldet ved Sjælsmark angivet.

I måleperioden har solindfaldet ved Sjælsmark været 6% mindre end solindfaldet i referenceåret DRY. På årsbasis har solvarmeanlægget udnyttet 40% af solindfaldet. Denne udnyttelsesgrad vurderes at være udmærket. Solvarmeanlægget udnytter solindfald bedre om sommeren end om vinteren. Det skyldes at den del af solindfaldet som er direkte solstråling er større om sommeren end om vinteren.

3.5 Ydelsen for Sundparkens anlæg og for andre store solvarmeanlæg

Ydelsen for en række store solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning og eventuelt til rumopvarmning er tidligere målt [2], [3], [4]. Målingerne for disse anlæg er sammenfattet i tabel 3, hvor målingerne fra Sundparkens anlæg også er medtaget. Desværre er nettoydelse og dækningsgraderne kun målt for 3 anlæg. Det er derfor ikke muligt at gennemføre en analyse af hvorledes dækningsgraden påvirker ydelsen i praksis.

Ydelsen pr. m² solfanger af Sundparkens solvarmeanlæg er høj sammenlignet med ydelsen af de øvrige solvarmeanlæg. Kun anlæggene i Allerød og Glostrup har højere ydelser pr. m² solfanger. Da Sundparkens 15° hældende øst- og vestvendte solfangere langt fra er placeret optimalt, er ydelsen tilfredsstillende høj. Specielt er udnyttelsen af solindfaldet høj for Sundparkens solvarmeanlæg. På dette område er Sundparkens solvarmeanlæg helt i top, både på grund af det store varmtvandsforbrug og selvfølgelig også på grund af solvarmeanlæggets gode design. Solvarmeanlæggets gode design sikrer at ydelsen også ville have været stor selv ved forholdsvis små varmtvandsforbrug.

Måned	Solindfald på vandret				Solindfald på 15° hældende øst-/vestvendt flade				Solvarme-anlæggets nettoydelse kWh/m ²	Udnyttelse af solindfaldet %
	TRY	DRY	DTU	Sjælsmark	TRY	DRY	DTU	Sjælsmark		
	kWh/m ²				kWh/m ²					
Juni 2000	186	165	155	149	182	162	152	146	62	42
Juli 2000	161	160	134	135	158	157	131	132	65	49
August 2000	135	134	123	121	132	132	121	119	51	43
September 2000	83	82	89	81	82	80	87	80	27	34
Oktober 2000	44	43	36	37	43	42	35	36	9	25
November 2000	19	19	16	16	19	19	16	16	0	0
December 2000	12	10	10	10	12	10	10	10	-3	-30
Januar 2001	13	16	11	11	12	16	11	11	0	0
Februar 2001	33	32	36	37	33	32	36	37	3	8
Marts 2001	59	65	71	73	59	64	70	72	24	33
April 2001	119	114	94	97	117	112	92	95	42	44
Maj 2001	156	163	170	175	153	161	167	172	86	50
Juni 2000-Maj 2001	1018	1002	945	942	1002	987	928	926	366	40

Tabel 2. Solindfald og solvarmeanlæggets udnyttelse af solindfaldet.

Lokalitet	Solfanger- areal	Solfanger- hældning	Solfanger- orientering	Måleperiode	Solfanger- ydelse	Netto- ydelse	Dæknings- grad		Udnyttelse af solindfald	
	m ²	°	° fra syd		$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ år}}$	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ år}}$	Uden cirkulations- ledningens varmetab %	Med cirkulations- ledningens varmetab %	Sol- fanger- ydelse %	Netto- ydelse %
Allerød	52	45	52	1994-1995	–	412	49	–	–	37
Glostrup	78	45	22,5	1994-1995	410	394	54	14	34	33
Haslev	85	20	0	1999	224	–	–	–	19	–
Odder	56	45	0	1999	258	–	–	–	22	–
Nykøbing Sjælland	56	45	25	1999	241	–	–	–	21	–
Nykøbing Sjælland	35	45	6	1999	307	–	–	–	26	–
Lyngby	105	45	90	1999	220	–	–	–	24	–
Næstved	175	35	22,5	1999	191	–	–	–	16	–
Sønderborg	58	20	0	1999	262	–	–	–	22	–
Sønderborg	58	20	0	1999	262	–	–	–	22	–
Auderød	200	45	0	1999	189	–	–	–	16	–
Sundparken	336	15	90	2000-2001	366	366	16	8	40	40

Tabel 3. Målte ydelser for store solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning.

Det kan konkluderes at Sundparkens solvarmeanlæg er højtydende og at anlægsudformningen sikrer en specielt god udnyttelse af solindfaldet på solfangerne. Med optimalt placerede solfangere ville solvarmeanlæggets nettoydelse have været ca. 450 kWh/m² pr. år med referenceåret DRY's vejrdata. Det kan derfor anbefales at udforme solvarmeanlæg ligesom Sundparkens anlæg, også når solfangerne kan placeres med en optimal orientering og hældning.

3.6 Driftserfaringer

Solvarmeanlæggets drift har været problemløs i det første driftsår bortset fra nogle for sene starttidspunkter for solfangerfelternes to cirkulationspumper. Årsagen til den sene start af pumperne var at CTS-anlæggets temperaturfølere, som skulle registrere solfangernes temperaturer og styre cirkulationspumperne, i starten var placeret uden på solfangerkredsens rør for langt fra solfangerne. Følerne blev i foråret 2001 placeret i dykrør i solfangernes øverste manifoldrør. Herefter har der ikke været problemer med styringen af cirkulationspumperne. Det forventes derfor at solvarmeanlæggets ydelse fremover vil være lidt højere end målt i det første driftsår.

4 Konklusion

Der er opført et 336 m² solvarmeanlæg i Sundparken i Helsingør. Anlægget leverer varmt brugsvand til Sundparkens 425 lejligheder og vaskeri. Solvarmeanlægget er et low flow solvarmeanlæg med en 10.000 l varmtvandsbeholder. Solfangerfeltet består af to separate dele, hver med et solfangerareal på 168 m². Den ene del er installeret på en 15° hældende østvendt og den anden del på en 15° hældende vestvendt tagflade. Det østvendte og vestvendte solfangerfelt er forsynet med hver sin solfangerkreds inklusive cirkulationspumpe, ekstern varmeveksler og styresystem.

De eksterne varmevekslere benyttes til at overføre solvarme fra solfangervæsken til brugsvandet. Brugsvandet pumpes fra bunden af varmtvandsbeholderen frem til varmeveksleren og herfra retur til varmtvandsbeholderen gennem specielt designede stratifikationsindløbsrør. Herved sikres at vandet tilføres beholderen i det "rigtige" niveau, således at temperaturlagdelingen i beholderen bliver så stor som muligt. Om formiddagen producerer de østvendte solfangere meget solvarme og dermed høje returtemperaturer for brugsvandet. Dette vand føres ind højt oppe i beholderen, mens det relativt kolde vand fra de vestvendte solfangere tilføres beholderen i et lavere niveau. Om eftermiddagen, når de vestvendte solfangere producerer mere solvarme end de østvendte solfangere, føres vandet fra de vestvendte solfangere ind højt oppe i beholderen, mens vandet fra de østvendte solfangere tilføres beholderen i et lavere niveau.

Designet bevirker at der etableres en god temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen. Den store temperaturlagdeling resulterer i at solvarmeanlægget bliver højtydende på trods af at solfangerne ikke er optimalt orienteret mod syd.

Målinger igennem det første driftsår viste at solvarmeanlæggets årlige nettoydelse var 123 MWh, svarende til 366 kWh/m². Solvarmeanlæggets årlige dækningsgrad inklusive/eksklusive cirkulationsledningens varmetab var henholdsvis 8% og 16%. Udnyttelsen af solindfaldet på solfangerne var 40%. Havde solen skinnet lige så meget som i referenceåret DRY ville den årlige nettoydelse have været 131 MWh, svarende til 389 kWh/m².

Sammenlignet med andre store solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er Sundparkens solvarmeanlæg højtydende. Dette er umiddelbart overraskende fordi solfangerne langt fra er

orienteret optimalt. Udnyttelsen af solindfaldet på solfangerne er højere for Sundparkens solvarmeanlæg end for alle andre store solvarmeanlæg som hidtil er undersøgt ved hjælp af målinger.

Forklaringen på den høje ydelse og gode soludnyttelse er både Sundparkens store varmtvandsforbrug og solvarmeanlæggets gode design.

På basis af undersøgelserne kan det anbefales fremover at udforme store solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning som low flow solvarmeanlæg med varmtvandsbeholdere med eksterne varmevekslere og stratifikationsindløbsrør.

For Sundparkens varmtvandsanlæg kan det anbefales at renovere cirkulationsledningen, som har et meget stort varmetab. En reduktion af cirkulationsledningens varmetab vil i sig selv resultere i en mindre varmeregning. Derudover vil det mindre varmetab muliggøre en reduktion af volumenstrømmen i cirkulationsledningen og dermed en bedre temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen og en højere ydelse af solvarmeanlægget.

REFERENCER

- [1] "Investigation and modelling of thermal conditions in low flow SDHW systems". Louise Jivan Shah. Institut for Bygninger og Energi, DTU. Rapport R-034, 1999.
- [2] "Solvarmeanlæg med tømning". Lise Boye-Hansen og Simon Furbo. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 275, 1995.
- [3] "Solvarmeanlæg til brugsvands- og rumopvarmning. Glostrup Boligselskab afd. 8". Bjarne Svendsen og Peter Fagerlund Carlsson. Danakon a/s Rådgivende ingeniører FRI & Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 277, 1995.
- [4] "Ydelsesstatistik – store anlæg, 1999". Jan Erik Nielsen og Connie Honoré. SolEnergiCentret, Teknologisk Institut, 2000.