

SOLVARMEANLÆG MED NATURGASKEDEL/SOLBEHOLDER-UNIT OG OLIEFYR/SOLBEHOLDER-UNIT

YDELSER OG ERFARINGER FRA PRAKSIS

SIMON FURBO
NIELS KRISTIAN VEJEN
KARSTEN VINKLER FREDERIKSEN



**RAPPORT
R-029
1999**

ISSN 1396-4011
ISBN 87-7877-030-0

**INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET
DANSK GASTEKNISK CENTER A/S**



INDHOLD

Forord	2
Resumé	3
1. Indledning.....	5
2. Forsøgsanlæggene.....	6
3. Målesystem.....	10
4. Målinger.....	12
4.1 Måleresultater	12
4.2 Vurdering af solvarmeydelser.....	25
4.3 Vurdering af energiforbrug.....	44
4.3.1 Installationernes varmekonsum i normalåret	44
4.3.2 Backup kedlernes andel af varmtvandsforbruget	44
4.3.3 Vurdering af backup kedlernes effektivitet	47
5. Videreudvikling af units	52
6 Konklusion.....	53
Summary.....	54
REFERENCER.....	56
BILAG	59

Forord

Denne rapport afslutter projektet "Solvarmeanlæg med oliefyr/solbeholder-unit og naturgaske-
del/solbeholder-unit", j.nr. 51181/97-0010. Projektet, som er finansieret af Energistyrelsen, er
gennemført i et samarbejde mellem Institut for Bygninger og Energi, DTU og Dansk Gasteknisk
Center a/s, (DGC). Gasselskabernes FAU 1 har delvist finansieret DGC's del af projektet.

Ud over denne slutrapport er erfaringerne fra projektet beskrevet i paperet: "Oil Fired Boi-
ler/Solar Tank – and Natural Gas Burner/Solar Tank-Units", som blev præsenteret ved EuroSun
'98 konferencen i Slovenien i september 98. Endelig blev projektets resultater præsenteret ved et
Danvak møde på DTI den 29. september 98.

Resumé

Fabrikanter har inden for de sidste par år påbegyndt markedsføring af nyudviklede naturgaskedel/solbeholder-units og oliefyr/solbeholder-units. Disse units muliggør en billigørelse af solvarmeanlæg. Blandt andet fordi der ikke er indbygget elpatroner i solbeholderne og fordi installationen gøres lettere.

Anvendelse af veldesignede units i stedet for traditionelle soltanke kan desuden resultere i større solvarmeydelser og større energibesparelser, idet unitløsningen giver mulighed for at reducere varmetabet fra solbeholderen, fra rørkredsen mellem naturgaskedel/oliefyr og solbeholderens topspiral og fra naturgaskedlen/oliefyret. Desuden giver unitløsningen med ét bestemt design af rørkredsen mellem kedel/fyr og solbeholderens topspiral mulighed for en god styring af kedel/oliefyr og af rørkredsens pumpe, så den varmemængde, som efter hver driftsperiode efterlades i rørkredsen uden for solbeholderen, reduceres mest muligt.

Der er gennemført målinger i praksis på tre solvarmeanlæg baseret på de nyudviklede units. Desuden er der gennemført målinger på et traditionelt udformet solvarmeanlæg med en væghængt naturgaskedel.

Tre vigtige nøgletal er solvarmeanlæggets nettoydelse (bestemt som den fra soltanken tappede energimængde minus den til soltanken tilførte energimængde fra backupkedlen), solvarmeanlæggets dækningsgrad (forholdet mellem nettoydelsen og den tappede energimængde fra soltanken) og backupkedlens energiudnyttelse (andel af den indfyrede energi der udnyttes til opvarmning).

I 1998 har de 4 anlæg præsteret følgende:

Nettoydelserne for de tre anlæg baseret på de nye units var placeret i intervallet 110 kWh-1110 kWh, svarende til 40-180 kWh pr. m² solfanger. Solvarmeanlæggenes dækningsgrader var beliggende i intervallet 5%-28%, mens backupkedlernes energiudnyttelse var beliggende i intervallet 79%-90%.

Nettoydelserne for det traditionelt udformede anlæg har været 470 kWh svarende til 160 kWh/m² solfanger. Solvarmeanlæggets dækningsgrad var 39% og backupkedlens energiudnyttelse var 79%.

Små solvarmeanlægs energibesparelser afhænger først og fremmest af backupkedlens energiudnyttelse før og efter solvarmeanlæggets installation. Da backupkedlernes energiudnyttelse ikke er målt før installationen af solvarmeanlæggene kendes energibesparelserne ikke nøjagtigt.

Målingerne viste at solvarmeanlæggene baseret på de nye units yder mindre end traditionelt udformede solvarmeanlæg, og at energibesparelsen er mindre for solvarmeanlæggene baseret på de nye units end for traditionelt udformede solvarmeanlæg. Det betyder at backupkedlen må dække en relativ stor andel af varmtvandsbehovet.

Undersøgelserne, som altså viste at der er et stort behov for at forbedre udformningen af de forskellige units, resulterede i følgende designregler:

- Kedel/topspiral kredsen forsynes med effektive varmfælder for at reducere solbeholderens varmetab – forårsaget af selvcirkulerende vand i rørene - mest muligt. Altså bør rørene til og fra topspiralen umiddelbart uden for beholderen føres nedad før de føres op til kedlen.
- Kedel/topspiral kredsen forsynes med en ventil som forhindrer selvcirkulation.
- Kedel/topspiral kredsen og solfangerkredsen bør forsynes med en god isolering for at reducere varmetabet mest muligt.
- Topspiralen skal være tilstrækkelig stor, se designregler i [18].
- Vandindholdet i kedel/topspiral kredsen reduceres mest muligt.
- Flowet igennem topspiralen skal være tilstrækkeligt højt, ca. 10 l/min.
- Beholdertermostatens temperaturføler placeres ud for midten af topspiralen.
- Styresystemet bør sikre at toppen af varmtvandsbeholderen ikke opvarmes til et unødvendigt højt temperaturniveau af kedlen. Kedlen bør stoppe opvarmningen når temperaturen i toppen af tanken er ca. 50°C.
- Kedel/topspiralens cirkulationspumpe bør have en efterkøringstid efter at brænderen er stoppet på ca. 25-30 sekunder pr. l vand i kedel/topspiral kredsen.
- Solbeholderens koldtvandsindløb bør udformes så der ikke skabes omrøring i beholderen under varmtvandstapning – selv ikke når tappeflowet er højt, ca. 20 l/min. Det sikres ved at udforme indløbet så det kolde vand, som tilføres bunden af beholderen, føres vandret ind i beholderen med så lille en hastighed som muligt.
- Det varme vand skal tappes fra toppen af solbeholderen. Hvis vandet tappes via et tapperør placeret inde i beholderen må det sikres at røret når helt op til toppen af beholderen.

På basis af de gennemførte undersøgelser kan det stærkt anbefales at iværksætte udviklingsarbejde med det formål at forbedre udformningen af de markedsførte units.

1. Indledning

Fabrikanter har inden for de sidste par år påbegyndt markedsføring af nyudviklede naturgaskedel/solbeholder-units og oliefyr/solbeholder-units. Disse units muliggør en billigørelse af solvarmeanlæg. Blandt andet fordi der ikke er indbygget elpatroner i solbeholderne. Naturgaskedlen/oliefyret kan således ikke slukkes i sommerperioder, hvor solvarmen ikke kan dække varmtvandsforbruget fuldstændigt. Det er derfor vigtigt at undersøge om solvarmeanlæg baseret på de nyudviklede units i praksis ikke resulterer i et urimeligt stort naturgas-/olieforbrug om sommeren.

Anvendelse af veldesignede units i stedet for traditionelle soltanke kan desuden resultere i større solvarmeydelser og større energibesparelser, idet unitløsningen giver mulighed for at reducere varmetabet fra solbeholderen, fra rørkredsen mellem naturgaskedel/oliefyr og solbeholderens topspiral og fra naturgaskedlen/oliefyret. Desuden giver unitløsningen med ét bestemt design af rørkredsen mellem kedel/fyr og solbeholderens topspiral mulighed for en optimal styring af kedel/oliefyr og af rørkredsens pumpe, så den varmemængde, som efter hver driftsperiode efterlades i rørkredsen uden for solbeholderen reduceres mest muligt.

Dette projekts formål er at undersøge, om solvarmeanlæg baseret på de nyudviklede naturgaskedel/solbeholder-units og oliefyr/solbeholder-units i praksis fungerer uden driftsproblemer med høje anlægsydelse og store energibesparelser. Desuden undersøges det om et traditionelt solvarmeanlæg med væghængt naturgaskedel som backup energikilde har den forventede anlægsydelse og energibesparelse. Der er gennemført målinger i praksis på tre solvarmeanlæg baseret på de nyudviklede units. Desuden er der gennemført målinger på et traditionelt udformet solvarmeanlæg med en væghængt naturgaskedel. Målingerne har til formål at vise om de nyudviklede units energibesparelsemæssigt lever op til forventningerne eller om der er behov for at forbedre udformningerne af de forskellige units.

2. Forsøgsanlæggene

Der blev gennemført målinger på 4 små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning opført i enfamiliehuse. Tre af anlæggene er baseret på de nye units: to med en naturgaskedel: BlockGas Sol fra HS Kedler-Tarm A/S og Sunshine Ecotec fra Nilan A/S og en med et oliefyr: Sunshine fra Nilan A/S. De tre units, som var de eneste markedsførte units ved projektets start, er afprøvet i laboratoriet [1], [2], [3], [4], [5]. Det fjerde anlæg er et traditionelt solvarmeanlæg baseret på soltanken Danlager 2000 [6] og en let væghængt Vaillant VC112E naturgaskedel. De vigtigste data for de 4 undersøgte solvarmeanlæg fremgår af tabel 1, og figur 1 viser principskitser af de 3 benyttede units. Ingen af anlæggene er forsynet med en cirkulationsledning.

I anlæggene benyttes tre forskellige solfangere: BA30 fra Batec A/S, Solahart K fra Solahart Scandinavia ApS og DS-3 fra Djurs Solvarme I/S. Solfangereffektiviteterne ved små indfaldsvinkler er [7], [8], [9]:

$$\text{BA30: } \eta = 0,756 - 4,37 \cdot \frac{T_m - T_a}{G} - 0,010 \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

$$\text{Solahart K: } \eta = 0,817 - 4,67 \cdot \frac{T_m - T_a}{G} - 0,018 \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

$$\text{DS-3: } \eta = 0,643 - 3,34 \cdot \frac{T_m - T_a}{G} - 0,008 \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

T_m er solfangerens middelvæsketemperatur, °C

T_a er lufttemperaturen, °C

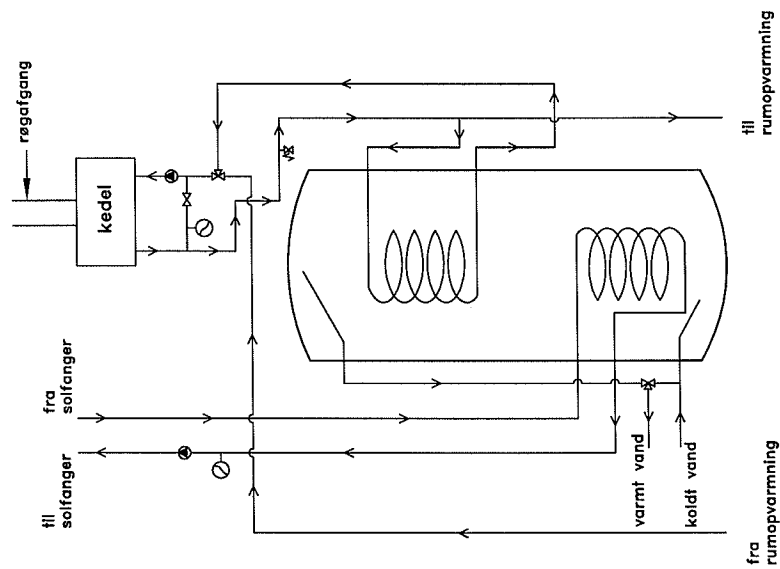
G er bestrålingsstyrken, W/m²

Figur 2 viser hvor anlæggene er lokaliseret. Desuden er vist placeringen af de klimastationer, hvor der måles vejrdata.

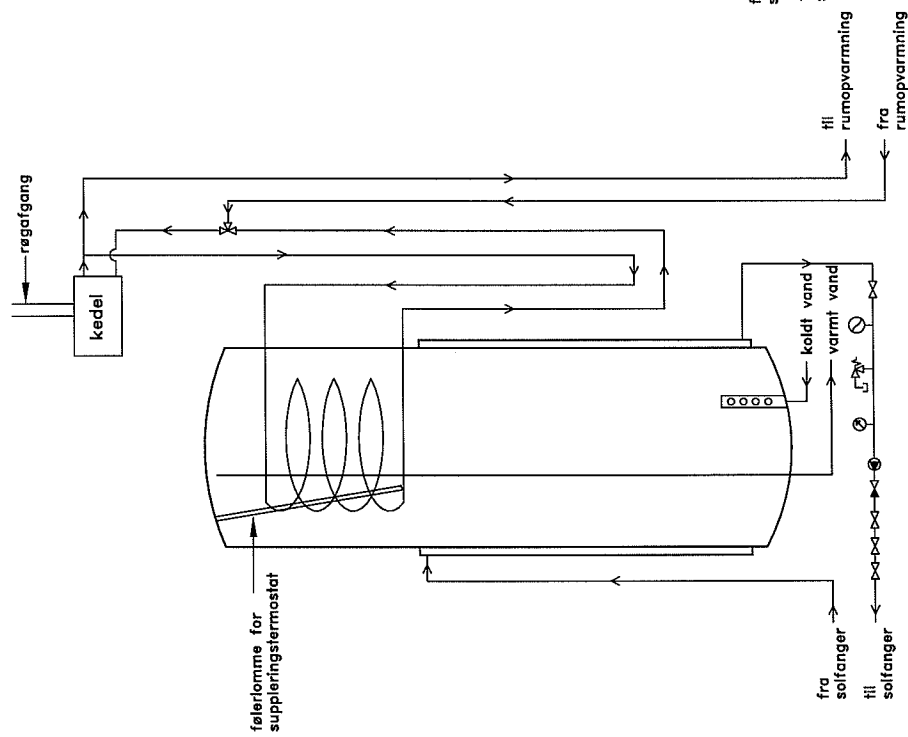
Lokalitet	Haderslev	Køge	Lime	Køge
Opførelses-tidspunkt	Juni 96	Juli 97	November 97	Juli 97
Måleperiode	August 97 – December 98	August 97 – December 98	December 97 – December 98	August 97 – December 98
Antal beboere	3	4	3	4
Solfangertype	DS-3 Djurs Solvarme I/S	BA 30 Batec A/S	K Solahart Scandinavia ApS	BA 30 Batec A/S
Solfangerareal	2,78 m ²	6,00 m ²	3,70 m ²	3,00 m ²
Solfanger-orientering fra syd	Sydvendt	50° mod øst	Sydvendt	Sydvendt
Solfangerhældning fra vandret	60°	50°	50°	60°
Unit/soltank & kedel	Block Gas Sol HS Kedler-Tarm A/S	Sunshine Ecotec Nilan A/S	Sunshine Nilan A/S	Danlager 2000 & Vaillant VC112E naturgaskedel
Fyr/kedel	14,5 kW HS Tarm/Baxi naturgaskedel type PF50	5,8-13,0 kW Vaillant konden- serende naturgas- kedel type Ecotec VC106EU	17,5-23 kW TASSO 20 MS oliefyr	4,3-11,0 kW Vaillant VC112E naturgaskedel
Beholdertype	Spiralbeholder	Kappebeholder	Kappebeholder	Kappebeholder
Beholdervolumen	149 l	254 l	175 l	271 l
Vandvolumen op- varmet af supple- rende energikilde	60 l	75 l	70 l	74 l
Volumen i kedel/- topspiral-kreds	3 l	4 l	27 l	termisk let

Tabel 1. De 4 undersøgte solvarmeanlæg.

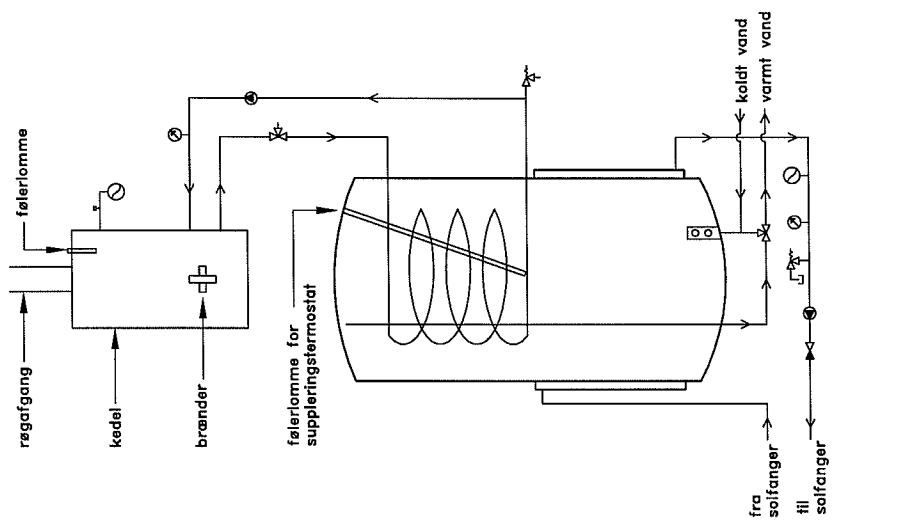
BLOCK GAS SOL



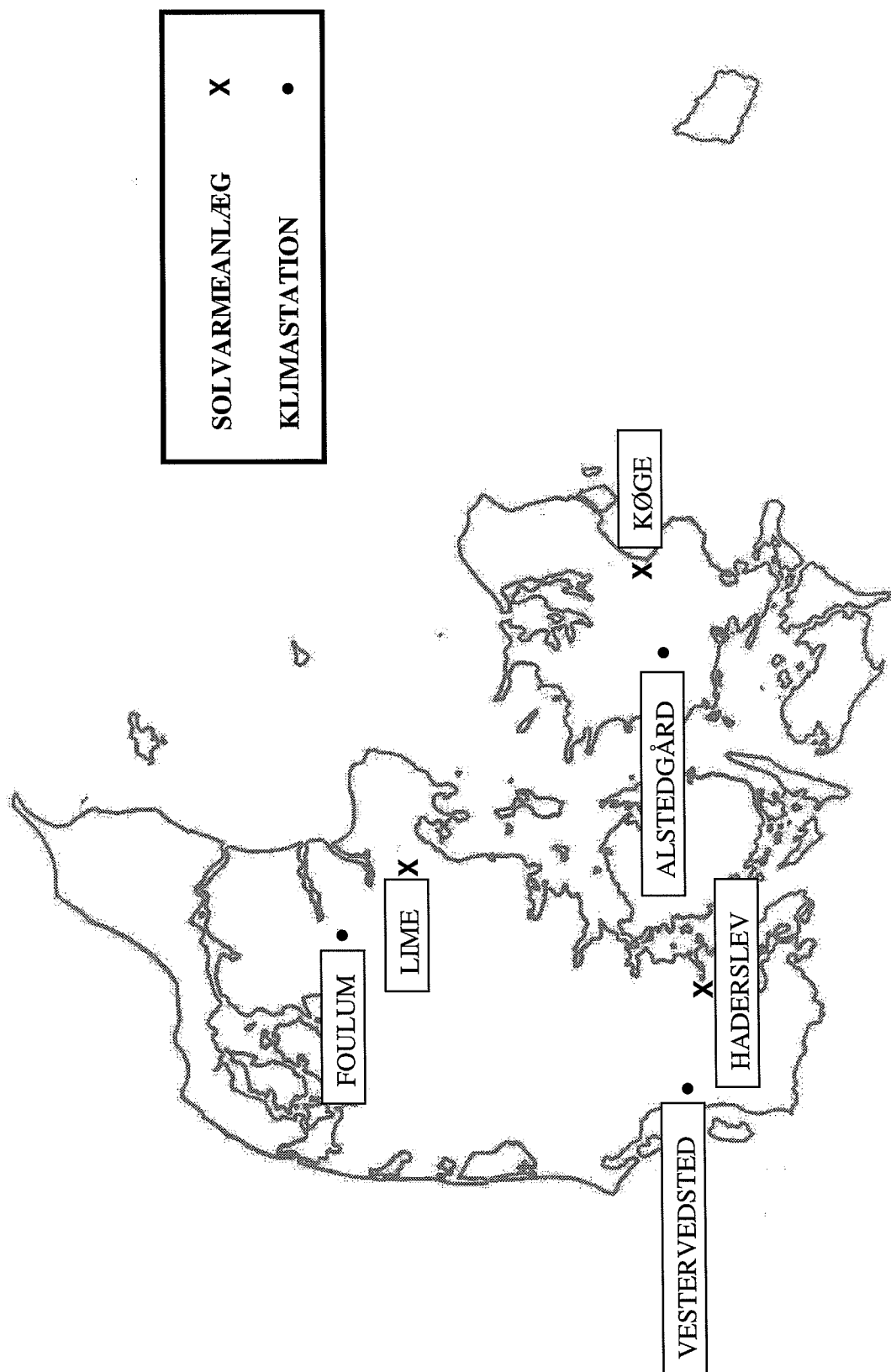
SUNSHINE ECOTEC



SUNSHINE



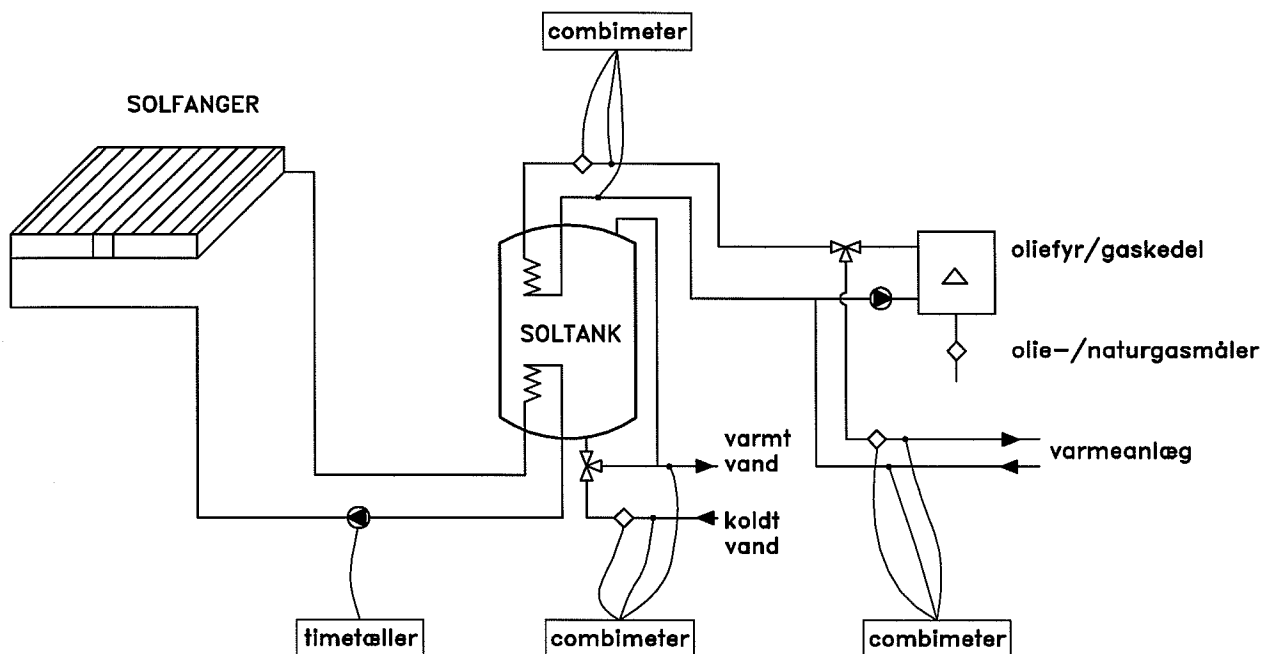
Figur 1. Principskitse af de 3 units.



Figur 2. Lokalisering af de undersøgte solvarmeanlæg og klimastationer.

3. Målesystem

Det benyttede måleudstyr for de fire anlæg er vist skematisk på figur 3.



Figur 3. Måleudstyr for solvarmeanlæggene.

Alle anlæggene er forsynet med tre energimålere af typen Clorius Combimeter type 1,5 EP eller tilsvarende målere. Hver måler består af en vandmåler til bestemmelse af den gennemstrømmende vandmængde og af to temperaturfølere. Målerne er forsynede med elektroniske enheder der ved hjælp af de målte størrelser beregner energimængderne. Energi- og vandmængder udlæses på en særlig enhed.

Ved hjælp af målerne måles varmtvandsforbruget og energimængden, som tappes fra anlæggets soltank. Desuden måles vandvolumenet, som cirkuleres gennem soltankens topspiral og energimængden som gennem topspiralen overføres fra oliefyret/naturgaskedlen til soltanken. Endelig måles vandvolumenet, som cirkuleres gennem husets varmeafgivelsessystem og energimængden, som tilføres varmeafgivelsessystemet fra oliefyret/naturgaskedlen.

Solfangerkredsens cirkulationspumpe er forsynet med en timetæller som registrerer solfangernes driftstid. Endelig måles olie- og naturgasforbruget med olie- og naturgasmålere.

Energimålernes nøjagtighed angives at være bedre end 2% ved effekter mellem 1 og 50 kW, og bedre end 5% ved effekter mellem 0,5 og 1 kW, hvilket er fuldt tilfredsstillende.

Ved små varmtvandstapninger og ved kortvarige driftsperioder for oliefyret/naturgaskedlen bevirker temperaturfølerens inert, at den målte tappede energimængde er noget mindre end den faktisk tappede energimængde og at den målte energimængde som tilføres soltanken fra fyret/kedlen er noget mindre end den faktiske energimængde som tilføres soltanken. Det vurderes dog at disse systematiske målefejl kun har begrænset indflydelse på de målte anlægsydelser.

Solvarmeanlæggets nettoydelse bestemmes i denne rapport som den fra soltanken tappede energimængde minus den til soltanken tilførte energimængde fra oliefyret/naturgaskedlen. Energiforbruget til brugsvandsopvarmningen er lig med den fra soltanken tappede energimængde. Dækningsgraden for solvarmeanlægget er i denne rapport defineret som forholdet mellem nettoydelsen og den tappede energimængde fra soltanken.

Da såvel olie-/naturgasforbruget som energimængderne, der tilføres soltanken og husets varmeafgivelsessystem fra fyret/kedlen måles, er det muligt at bestemme hvor effektivt anlægget udnytter olien/naturgassen. I denne forbindelse regnes der med følgende energiindhold: 9,89 kWh/l olie og 10,92 kWh/nm³ naturgas.

Alle målerne aflæses én gang om ugen af beboerne og et skema med de aflæste værdier sendes én gang pr. måned til Institut for Bygninger og Energi/Dansk Gasteknisk Center A/S.

Ved bedømmelsen af anlægsydelse benyttes de af Danmarks Meteorologiske Institut målte vejrdata for den klimastation, som ligger nærmest ved det pågældende anlæg, se figur 2.

4. Målinger

4.1 Måleresultater

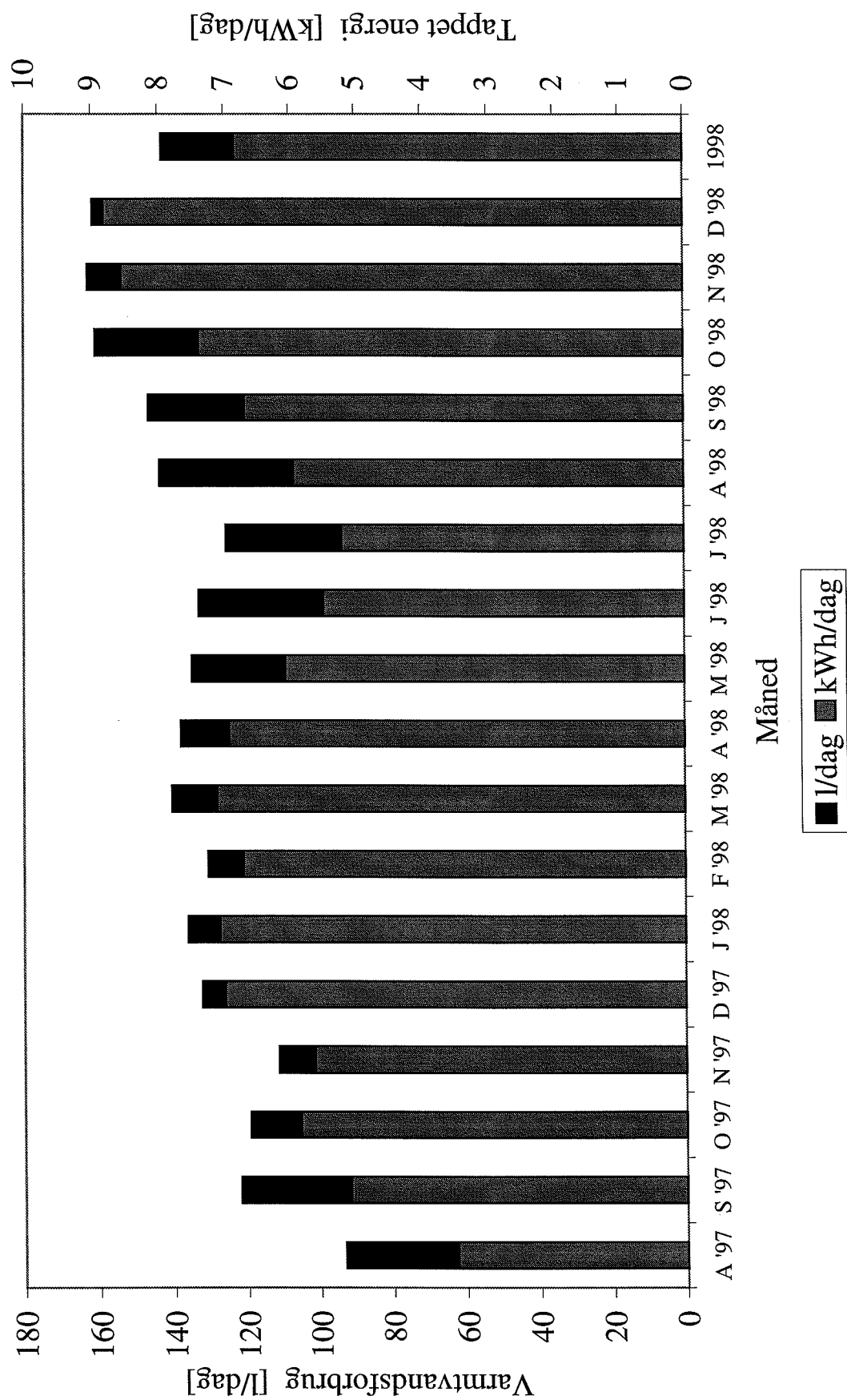
Solvarmeanlægs ydelser afhænger først og fremmest af varmtvandsforbrugets størrelse. De fire anlægs målte gennemsnitlige varmtvandsforbrug og tappede energimængder samt gennemsnitlige forskelle mellem koldt vandstemperaturen og temperaturen af det tappede varme vand igennem måleperioden er angivet i tabel 2.

Anlæg	Haderslev 2,78 m ² 3 beboere	Køge 6,00 m ² 4 beboere	Lime 3,70 m ² 3 beboere	Køge 3,00 m ² 4 beboere
Varmtvandsforbrug	135 l/dag 45 l/dag person 47 l/dag m ²	273 l/dag 68 l/dag person 46 l/dag m ²	120 l/dag 40 l/dag person 33 l/dag m ²	95 l/dag 24 l/dag person 32 l/dag m ²
Tappet energi	6,4 kWh/dag	10,9 kWh/dag	5,2 kWh/dag	3,3 kWh/dag
Opvarmning af brugsvand	41,5 K	34,8 K	37,8 K	30,4 K

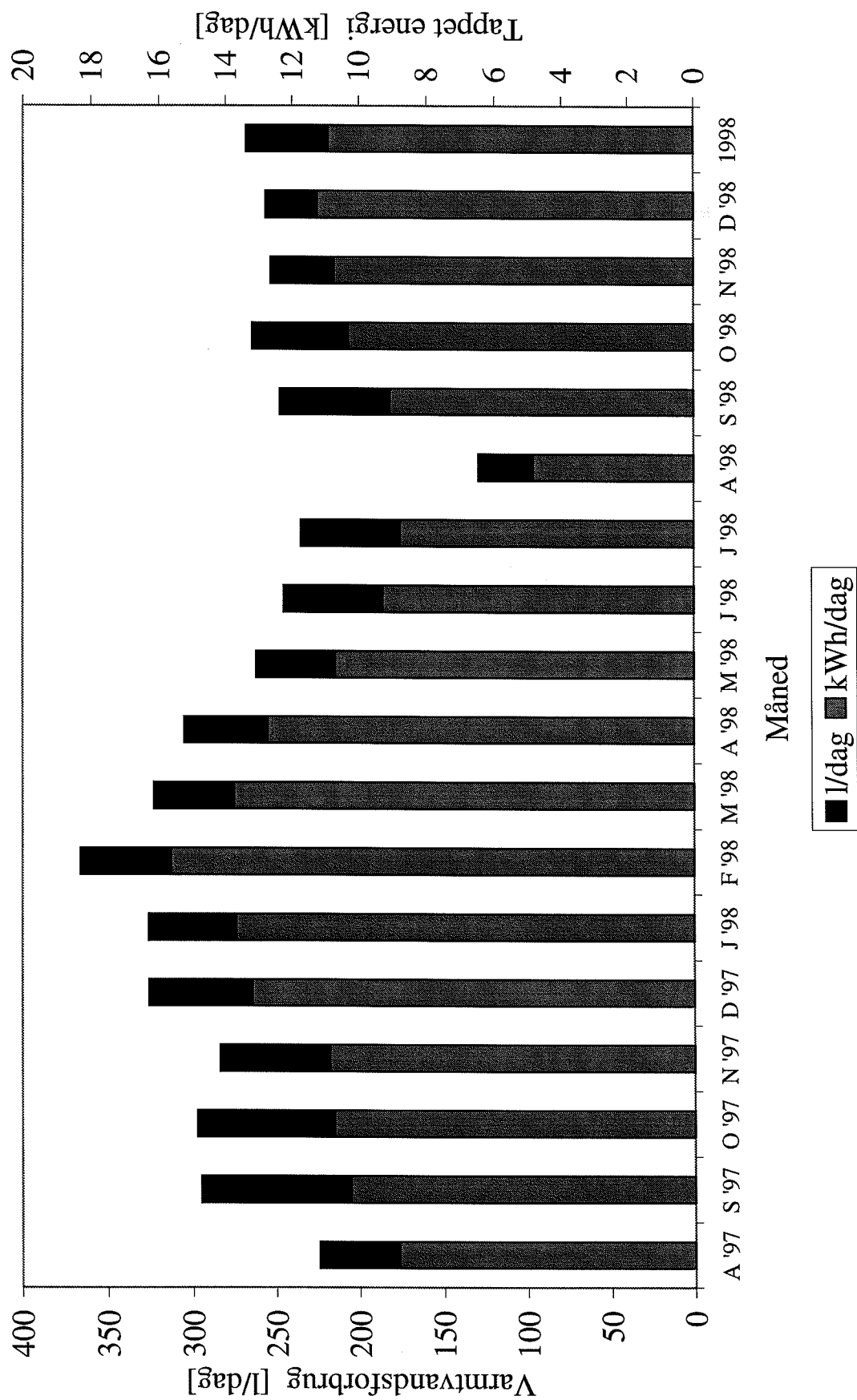
Tabel 2. Målte gennemsnitlige varmtvandsforbrug, tappede energimængder og opvarmning af brugsvandet.

Varmtvandsforbruget varierer stærkt fra anlæg til anlæg, både det totale forbrug og forbruget pr. person. Et veldimensioneret solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning har et varmtvandsforbrug på 50 l/dag pr. m² solfanger. To af anlæggene er altså veldimensionerede, mens to af anlæggene er en smule overdimensionerede, hvorfor forholdsvis små anlægsydelser pr. m² solfanger må forventes for disse anlæg.

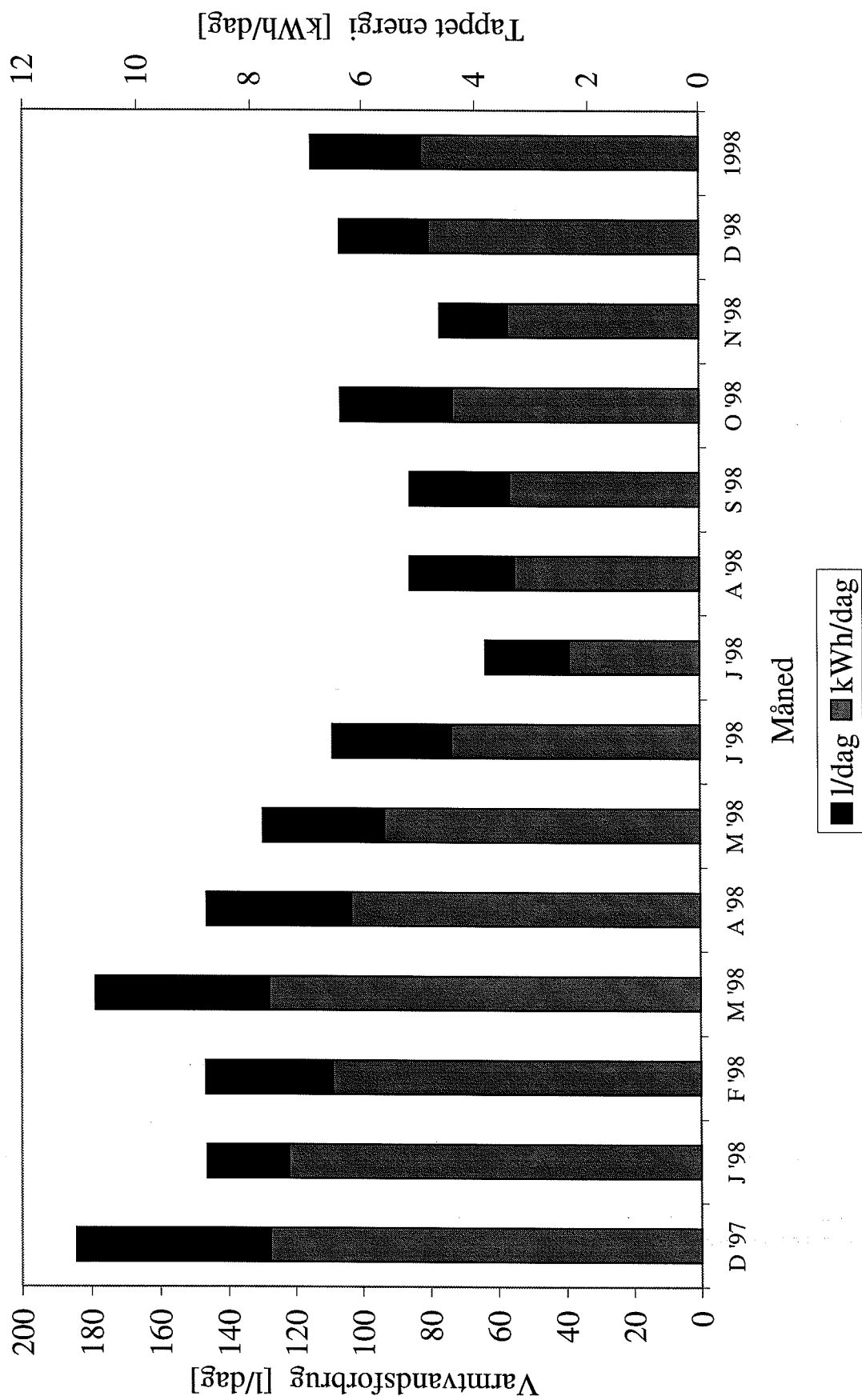
Variationen af varmtvandsforbruget og den tappede energimængde gennem året har naturligvis også stor indflydelse på anlægsydelsen. Figur 4-7 viser for de fire anlæg det gennemsnitlige daglige varmtvandsforbrug og den gennemsnitlige daglige tappede energimængde måned for måned igennem måleperioden. Det ses at både det daglige varmtvandsforbrug og den daglige tappede energimængde varierer igennem året. Forbruget er størst om vinteren og mindst om sommeren. Hovedårsagen til variationerne er at ferieperioderne hovedsageligt falder om sommeren. De procentvise variationer igennem året for den tappede energi er større end de procentvise variationer for de tappede vandmængder. Det skyldes at koldt vandstemperaturen varierer igennem året. Figur 8 viser typiske koldt vandstemperaturer igennem året, [10].



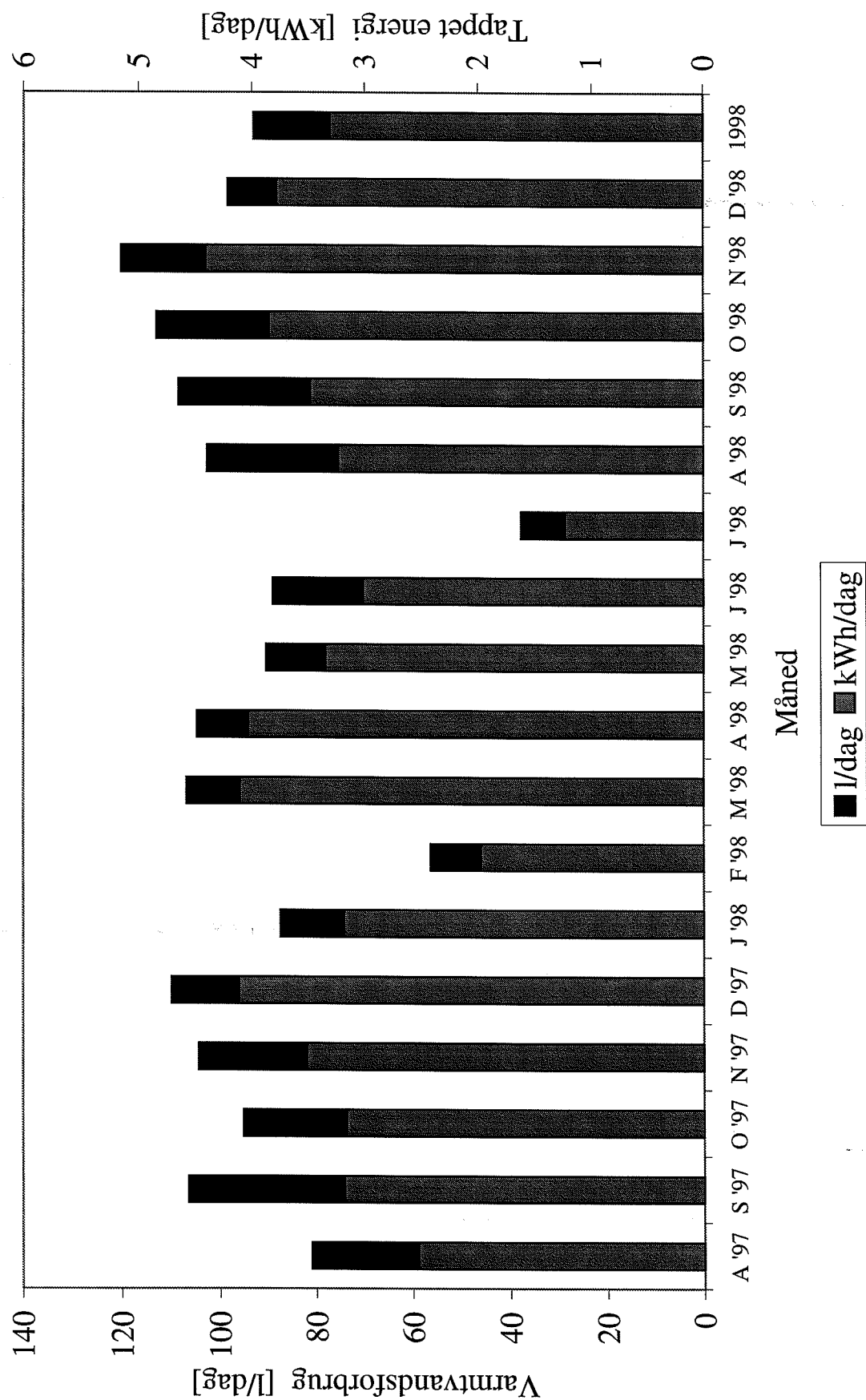
Figur 4. Målte gennemsnitlige varmtvandsforbrug og tappede energimængder pr. dag for anlægget i Haderslev.



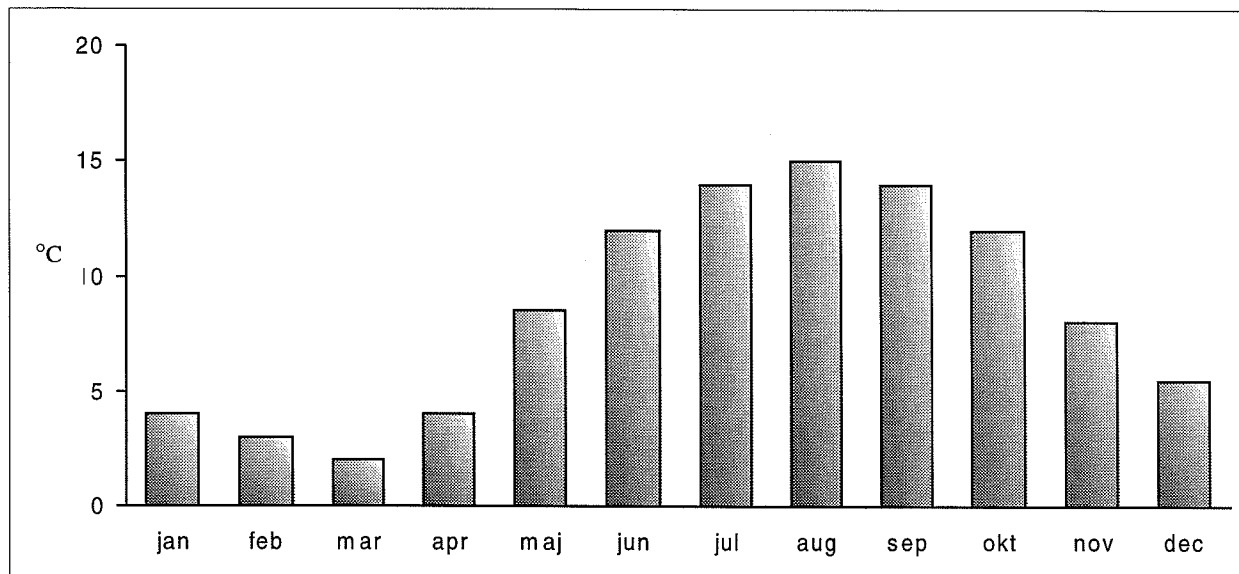
Figur 5. Målte gennemsnitlige varmtvandsforbrug og tappede energimængder pr. dag for 6 m² anlægget i Køge.



Figur 6. Målte gennemsnitlige varmtvandsforbrug og tappede energimængder pr. dag for anlægget i Lime.



Figur 7. Målte gennemsnitlige varmtvandsforbrug og tappede energimængder pr. dag for 3 m² anlægget i Køge.



Figur 8. Koldt vandstemperaturens variation over året.

Både det varierende varmtvandsforbrug og den varierende koldt vandstemperatur resulterer altså i at energibehovet for brugsvandsopvarmning er mindre om sommeren end om vinteren. Variationerne vil derfor resultere i en reduceret ydelse for alle fire solvarmeanlæg.

Solvarmeanlæggenes ydelser afhænger naturligvis også stærkt af solindfaldet. Den målte globalstråling ved klimastationerne igennem måleperioden fremgår af tabel 3.

Periode	Globalstråling, kWh/m ²				
	Foulum	Vester Vedsted	Alstedgård	Referenceår	
				DRY	TRY
August 97		149	152	134	135
September 97		88	91	82	83
Oktober 97		46	44	43	44
November 97		18	18	19	19
December 97	11	9	9	10	12
Januar 98	21	17	17	16	13
Februar 98	22	22	22	32	33
Marts 98	81	82	82	65	59
April 98	77	71	78	114	119
Maj 98	146	170	169	163	155
Juni 98	167	151	157	165	186
Juli 98	132	143	149	160	161
August 98	104	120	121	134	135
September 98	61	61	65	82	83
Oktober 98	31	33	36	43	44
November 98	17	18	18	19	19
December 98	10	12	12	10	12
August 97-juli 98	-	966	988	1002	1018
1998	869	900	926	1002	1018
August 97-december 98	-	1210	1240	1290	1311

Tabel 3. Målt globalstråling på klimastationerne.

Det ses at solindfaldet i perioden august 97 – december 98 har været ca. 5% lavere end i det danske Design Reference Year, DRY. Naturligvis vil det solfattige vejr resultere i forholdsvis små ydelser for alle 4 solvarmeanlæg.

Ved vurderingen af anlægsydelse er der i det følgende regnet med at solindfaldet ved det enkelte anlæg har været lig med solindfaldet ved den klimastation, som er beliggende nærmest ved anlægget.

På basis af de målte vejrdata, af solfangernes orientering og hældning og af vejrdata fra DRY og TRY er størrelsen af det totale solindfald på solfangerne bestemt med det i [11] udviklede program for hver enkelt måned i måleperioden. De herved "målte" solindfald på solfangerne er angivet i tabel 4. Det skønnes at nøjagtigheden af det "målte" solindfald er $\pm 5\%$. Desuden er solindfaldet på solfangerne i referenceårene DRY og TRY angivet.

Periode	Totalt solindfald på solfangeren, kWh/m ²											
	Haderslev 2,87 m ²			Køge 6,00 m ²			Lime 3,70 m ²			Køge 3,00 m ²		
	"Målt"	DRY	TRY	"Målt"	DRY	TRY	"Målt"	DRY	TRY	"Målt"	DRY	TRY
August 97	157	141	143	153	132	139				160	141	143
September 97	111	101	107	100	89	93				115	101	107
Oktober 97	73	67	71	55	51	57				70	67	71
November 97	38	39	42	27	28	30				38	39	42
December 97	25	23	38	17	16	25	29	22	36	25	23	38
Januar 98	38	35	29	26	25	20	45	34	28	38	35	29
Februar 98	40	56	63	30	41	47	39	54	61	40	56	63
Marts 98	108	89	74	94	79	63	107	89	75	108	89	74
April 98	76	122	128	79	114	121	86	126	133	84	122	128
Maj 98	161	157	145	168	164	153	147	166	155	160	157	145
Juni 98	132	144	162	143	150	169	157	155	174	137	144	162
Juli 98	128	143	145	138	144	153	126	152	154	134	143	145
August 98	127	141	143	122	132	139	114	147	149	128	141	143
September 98	77	101	106	72	89	93	78	103	108	82	101	106
Oktober 98	52	67	71	45	51	57	48	66	70	57	67	71
November 98	38	39	42	27	28	30	34	37	40	38	39	42
December 98	33	23	38	22	16	25	26	22	36	33	23	38
August 97- juli 98	1087	1117	1147	1030	1033	1072	-	-	-	1109	1117	1147
1998	1010	1117	1147	966	1033	1072	1007	1151	1182	1039	1117	1147
August 97- december 98	1414	1488	1548	1318	1349	1416	-	-	-	1447	1488	1548

Tabel 4. Totalt solindfald på solfangerne for de 4 anlæg – målte størrelser **fremhævet** og størrelser fra referenceårene.

Anlægget i Køge baseret på den traditionelle soltank og en separat naturgaskedel har det største solindfald pr. m² solfanger. Forskellene i solindfaldet pr. m² solfanger er dog forholdsvis små for de 4 anlæg.

De målte størrelser for de 4 anlæg fremgår af tabel 5-8. Målte gennemsnitlige varmtvandsforbrug og driftstider for cirkulationspumperne samt energimængderne, som er tappet fra anlæggets soltank og tilført soltanken fra naturgaskedlen/oliefyret, er angivet. Desuden er solvarmeanlæggets

nettoydelse og dækningsgrad angivet. Nettoydelsen er defineret som energi tappet fra soltanken – energi tilført soltanken fra naturgaskedlen/oliefyret og dækningsgraden er defineret som forholdet mellem nettoydelsen og energien tappet fra soltanken. Endvidere er energien tilført radiatorsystemet, varmeafgivelsessystemet fra naturgaskedlen/oliefyret, energien tilført soltanken og varmeafgivelsessystemet fra naturgaskedlen/oliefyret, naturgas-/olieforbruget, antallet af perioder med kedlen/fyret i drift og udnyttelsen af naturgassen/olien angivet. Udnyttelsen af naturgasen/olien bestemmes som forholdet mellem energien fra kedlen/fyret til soltanken og varmeafgivelsessystemet og energiindholdet af det forbrugte naturgas/olie. Her er regnet med følgende energiindhold: 10,92 kWh pr. nm^3 naturgas og 9,89 kWh pr. l olie.

Måleresultaterne er sammenfattet i tabel 9, som viser de årlige varmtvandsforbrug, ydelser og udnyttelsen af solindfald og backup energikilde. Udnyttelsen af solindfaldet er defineret som forholdet mellem nettoydelsen og det totale solindfald på solfangeren.

Periode	Varmtvandsforbrug		Gennem- snitlig tid for solpumpe	Energi tappet fra soltank	Energi fra kedel til soltank	Solvarmeanlæggets nettoydelse		Solvarme- anlæggets dækningsgrad	Energi til rumvarme fra kedel	Energi fra kedel til soltank og rumvarme	Backup energiforbrug		Udnyttelse af backup energikilde
	l/dag	l/dag m ²				kWh	kWh/m ²				m ³ naturgas	kWh	
Aug. 97	93	32	5,3	108	21	86	30	80,1	23	45	3,1	34	131
Sep. 97	122	43	3,9	153	100	52	18	34,3	244	345	37,0	404	85
Okt. 97	119	41	2,9	181	150	31	11	17,1	616	766	83,9	916	84
Nov. 97	111	39	1,4	169	183	-14	-5	-8,4	909	1092	116,6	1273	86
Dec. 97	132	46	0,6	217	261	-44	-15	-20,1	1203	1464	156,5	1708	86
Jan. 98	136	47	1,5	219	237	-18	-6	-8,1	1076	1313	140,8	1537	85
Feb. 98	131	46	1,3	188	216	-27	-9	-14,6	947	1162	124,4	1358	86
Mar. 98	140	49	4,4	221	170	51	18	23,0	1017	1187	125,3	1368	87
Apr. 98	138	48	2,9	208	212	-4	-1	-1,9	631	843	91,4	998	84
Maj 98	135	47	5,9	188	121	67	23	35,8	160	281	30,4	332	85
Jun. 98	133	46	5,4	165	118	47	16	28,5	26	144	17,7	193	74
Jul. 98	126	44	4,3	161	131	30	10	18,9	64	195	23,6	258	76
Aug. 98	144	50	4,7	184	135	49	17	26,7	0	135	18,9	206	66
Sep. 98	147	51	2,7	201	203	-2	-1	-1,1	128	331	37,0	403	82
Okt. 98	161	56	1,6	229	233	-4	-1	-1,9	521	754	83,5	912	83
Nov. 98	163	57	1,7	256	285	-29	-10	-11,1	950	1234	132,1	1442	86
Dec. 98	162	56	1,2	273	319	-46	-16	-16,8	1036	1354	144,5	1577	86
Aug. 97- Jul. 98	126	44	3,3	2178	1920	258	90	11,8	6916	8837	950,7	10379	85
1998	143	50	3,1	2493	2379	114	40	4,6	6555	8934	969,5	10584	84
Aug. 97- Dec. 98	135	47	3,0	3321	3095	226	79	6,8	9550	12645	1366,6	14918	85

Tabel 5. Målte varmtvandsforbrug, ydelser og energiforbrug for 2,87 m² anlægget i Haderslev.

Periode	Varmtvandsforbrug		Gennem- snitlig tid for solpumpe	Energi tappet fra soltank	Energi fra kedel til soltank	Solvarmeanlæggets nettoydelse		Solvarme- anlæggets dækningsgrad	Energi til rumvarme fra kedel	Energi fra kedel til soltank og rumvarme	Backup energiforbrug		Udnyttelse af backup energikilde
	l/dag	l/dag m ²				kWh	kWh/m ²				m ³ naturgas	kWh	
Aug. 97	224	37	7,1	274	22	251	42	91,8	0	22	2,4	27	85
Sep. 97	295	49	5,9	308	132	176	29	57,1	33	165	25,5	278	60
Okt. 97	297	50	3,6	333	251	82	14	24,5	1400	1651	167,9	1833	90
Nov. 97	284	47	1,2	327	333	-7	-1	-2,0	2011	2344	239,6	2615	90
Dec. 97	326	54	0,5	410	443	-33	-6	-8,1	2373	2815	287,4	3138	90
Jan. 98	326	54	1,5	425	423	1	0	0,3	2569	2993	304,9	3329	90
Feb. 98	366	61	2,4	438	424	15	2	3,4	2089	2513	258,5	2822	89
Mar. 98	323	54	4,8	427	301	126	21	29,5	2362	2663	274,3	2994	89
Apr. 98	305	51	6,0	383	255	128	21	33,5	1368	1623	170,1	1857	87
Maj 98	262	44	7,7	332	107	225	38	67,7	413	521	54,9	600	87
Jun. 98	245	41	7,5	279	88	191	32	68,4	2	91	9,9	108	84
Jul. 98	235	39	7,3	273	78	194	32	71,2	0	78	8,5	93	84
Aug. 98	129	22	4,8	150	61	89	15	59,3	14	75	8,1	88	85
Sep. 98	247	41	4,4	273	185	88	15	32,3	552	737	76,2	832	89
Okt. 98	264	44	2,6	320	264	56	9	17,5	1348	1612	164,2	1793	90
Nov. 98	253	42	1,2	323	320	3	1	1,0	2438	2757	276,5	3018	91
Dec. 98	256	43	1,0	349	359	-10	-2	-3,0	2996	3356	338,4	3694	91
Aug. 97- Jul. 98	291	48	4,6	4208	2859	1349	225	32,1	14621	17480	1804,0	19693	89
1998	268	45	4,3	3971	2865	1106	184	27,8	16153	19018	1944,5	21228	90
Aug. 97- Dec. 98	273	45	4,1	5621	4047	1574	262	28,0	21970	26017	2667,3	29118	89

Tabel 6. Målte varmtvandsforbrug, ydelser og energiforbrug for 6,00 m² anlægget i Køge.

Periode	Varmtvandsforbrug		Gennem- snitlig tid for solpumpe	Energi tappet fra soltank	Energi fra fyr til soltank	Solvarmeanlæggets nettoydelse		Solvarme- anlæggets dækningsgrad	Energi til rumvarme fra fyr	Energi fra fyr til soltank og rumvarme	Backup energiforbrug		Udnyttelse af backup energikilde
	l/dag	l/dag m ²				kWh	kWh/m ²				l olie	kWh	
Dec. 97	184	50	0,7	237	248	-11	-3	-4,5	2498	2746	292	2886	95
Jan. 98	146	40	1,7	227	218	9	3	4,1	2360	2578	294	2910	89
Feb. 98	147	40	1,3	183	177	6	2	3,1	1824	2002	256	2535	90
Mar. 98	179	48	4,3	238	157	80	22	33,8	1994	2152	266	2633	82
Apr. 98	146	40	3,8	186	138	48	13	25,6	1306	1444	186	1838	79
Maj 98	130	35	6,2	174	56	118	32	67,7	335	391	55	544	72
Jun. 98	109	29	5,4	133	55	78	21	58,8	27	82	22	217	38
Jul. 98	64	17	7,2	72	35	37	10	51,2	20	56	15	144	39
Aug. 98	86	23	4,9	102	43	59	16	57,5	89	132	28	280	47
Sep. 98	90	24	3,3	102	68	34	9	33,3	392	460	73	725	63
Okt. 98	106	29	2,0	136	124	12	3	9,0	1593	1717	252	2495	69
Nov. 98	77	21	0,9	102	109	-6	-2	-6,2	2510	2618	353	3488	75
Dec. 98	107	29	0,8	149	195	-46	-12	-30,7	3195	3390	382	3780	90
1998	115	31	3,5	1804	1376	428	116	23,8	15647	17022	2183	21587	79

Tabel 7. Målte varmtvandsforbrug, ydelser og energiforbrug for 3,70 m² anlægget i Lime.

Periode	Varmtvandsforbrug		Gennem- snitlig tid for solpumpe	Energi tappet fra soltank	Energi fra kedel til soltank	Solvarmeanlæggets nettoydelse		Solvarme- anlæggets dækningsgrad	Energi til rumvarme fra kedel	Energi fra kedel til soltank og rumvarme	Backup energiforbrug		Udnyttelse af backup energikilde
	l/dag	l/dag m ²				kWh	kWh/m ²				m ³ naturgas	kWh	
Aug. 97	81	27	6,4	78	0	78	26	99,5	0	0	0,0	0	-
Sep. 97	107	36	8,6	95	10	86	29	90,0	4	14	1,6	18	77
Okt. 97	95	32	4,7	98	54	44	15	45,0	773	827	95,7	1045	79
Nov. 97	104	35	2,0	105	110	-4	-1	-4,2	1696	1806	206,0	2249	80
Dec. 97	110	37	1,3	128	148	-20	-7	-16,0	1861	2009	233,1	2545	79
Jan. 98	87	29	2,6	99	97	1	0	1,5	2094	2191	249,7	2726	80
Feb. 98	56	19	2,7	55	58	-2	-1	-4,0	1933	1991	226,2	2469	81
Mar. 98	107	36	6,3	127	54	74	25	57,7	1603	1657	194,3	2122	78
Apr. 98	105	35	7,7	121	64	57	19	47,0	932	996	118,4	1292	77
Maj 98	90	30	8,0	104	16	88	29	84,4	166	182	21,8	238	76
Jun. 98	89	30	8,5	90	5	85	28	94,6	32	37	4,1	45	82
Jul. 98	38	13	6,0	38	2	36	12	95,3	0	2	0,0	0	-
Aug. 98	105	35	8,1	100	17	84	28	83,5	39	56	6,9	76	74
Sep. 98	109	36	6,8	105	65	40	13	38,3	228	292	36,8	401	73
Okt. 98	113	38	4,5	119	101	18	6	15,1	1065	1166	135,5	1479	79
Nov. 98	122	41	2,6	132	136	-4	-1	-2,7	2043	2179	249,7	2726	80
Dec. 98	98	33	1,7	117	127	-10	-3	-8,7	1724	1852	217,5	2374	78
Aug. 97- Jul. 98	89	30	5,4	1139	617	522	174	45,8	11094	11711	1351,0	14748	79
1998	93	31	5,4	1208	741	467	156	38,7	11860	12602	1460,9	15948	79
Aug. 97- Dec. 98	95	32	5,2	1713	1063	650	217	37,9	16194	17257	1997,4	21804	79

Tabel 8. Målte varmtvandsforbrug, ydelser og energiforbrug for 3,00 m² anlægget i Køge.

Anlæg lokalitet solfangerareal	Periode	Varmtvands- forbrug		Gennemsnitlig tid for solpumpe	Energi tappet fra soltank	Energi tilført soltank fra kedel/fyr	Solindfald på solfanger		Solvarme- anlæggets nettoydelse	Solvarme- anlæggets dækningsgrad	Udnyttelse af solindfaldet	Udnyttelse af backup energikilde
		l/dag	l/m ² dag	h/dag	kWh	kWh	kWh	kWh/m ²	kWh	%	%	%
Haderslev 2,87 m ²	Aug. 97-Jul. 98 1998	126 143	44 50	3,3 3,1	2178 2493	1920 2379	3120 2899	1087 1010	258 114	11,8 4,6	8,3 3,9	85 84
Køge 6,00 m ²	Aug. 97-Jul. 98 1998	291 268	48 45	4,6 4,3	4208 3971	2859 2865	6180 5796	1030 966	1349 1106	32,1 27,8	21,8 19,1	89 90
Lime 3,70 m ²	1998	115	31	3,5	1804	1376	3726	1007	428	23,8	11,5	79
Køge 3,00 m ²	Aug. 97-Jul. 98 1998	89 93	30 31	5,4 5,4	1139 1208	617 741	3327 3117	1109 1039	522 467	45,8 38,7	15,7 15,0	79 79

Tabel 9. Målte årlige varmtvandsforbrug, ydelser og udnyttelser af solindfald og backup energikilde for de 4 anlæg.

4.2 Vurdering af solvarmeydelser

For at vurdere om anlægsydelse er så høje som det kan forventes blev der med det i [11] og [12] udviklede program gennemført ydelsesberegninger for anlæggene med vejrdata fra referenceåret TRY. Beregningsprogrammet kræver et nøje kendskab til udformningen og driften af anlæggene. Desværre kendes en del af de vigtigste data for anlæggene kun med en vis usikkerhed. Eksempler på disse data er:

- Varmetabskoefficienten for den øverste del af soltanken.
- Temperaturniveauet, som den supplerende energikilde opvarmer toppen af soltanken til. I beregningerne forudsættes at den supplerende energikilde opvarmer toppen af soltanken til 50,5°C.
- Tappemønsteret for det varme vand. I beregningerne forudsættes det samme daglige varmtvandsforbrug igennem hele året. Det forudsættes at koldt vandstemperaturen altid er 10°C og at det tappede varme vand altid er 50°C. Endvidere forudsættes det at der hver dag kl. 7, 8, 12, 18 og 20 tages 1/5 af det daglige varmtvandsforbrug.

De 4 anlægs beregnede nettoydelse, som altså er bestemt med nogen usikkerhed, er angivet måned for måned som funktion af det gennemsnitlige daglige varmtvandsforbrug pr. m² solfanger på figur 9-12.

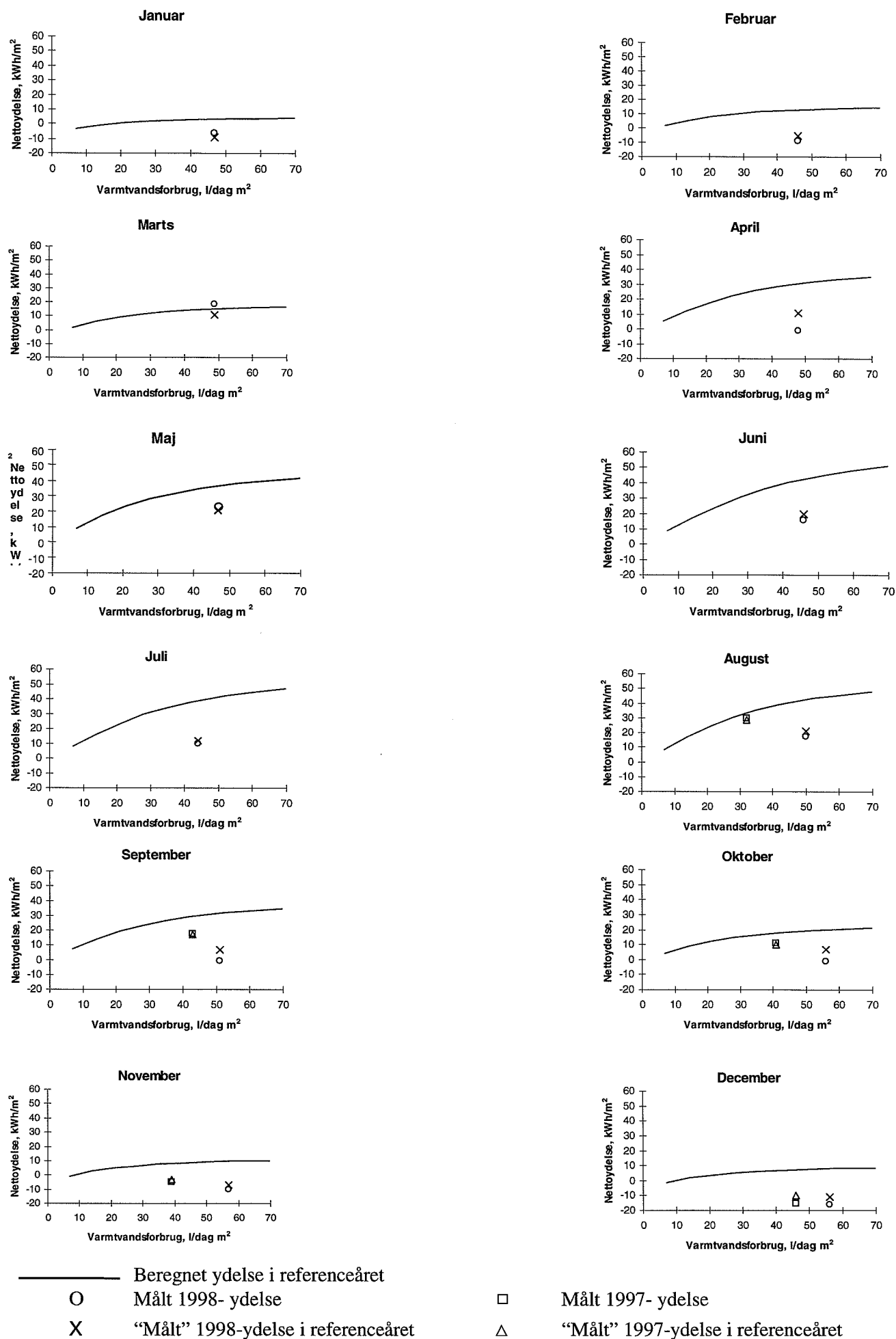
På figurerne er de målte nettoydelse angivet for hver måned. På basis af beregninger udført i [13] og [14] er der opstillet en sammenhæng mellem forholdet mellem faktisk solindfald og solindfaldet i referenceåret, anlæggets dækningsgrad og forholdet mellem nettoydelse med det faktiske solindfald og nettoydelse i referenceåret. På basis af de faktiske solindfald og referenceårets solindfald fra tabel 4 har det herved været muligt at korrigere de målte nettoydelse således at der på figurerne også er angivet "målte" nettoydelse med referenceårets vejrdata. Disse "målepunkter" kan sammenlignes direkte med beregnede nettoydelse.

På figur 13 er beregnede og målte årlige nettoydelse vist som funktion af det gennemsnitlige daglige varmtvandsforbrug for de 4 anlæg. Desuden er vist referenceårets, TRY's "målte" nettoydelse, som både er korrigeret for at det faktiske solindfald har været anderledes end referenceårets solindfald og for det varierende varmtvandsforbrug igennem året. Disse "målepunkter" kan altså sammenlignes direkte med de beregnede nettoydelse.

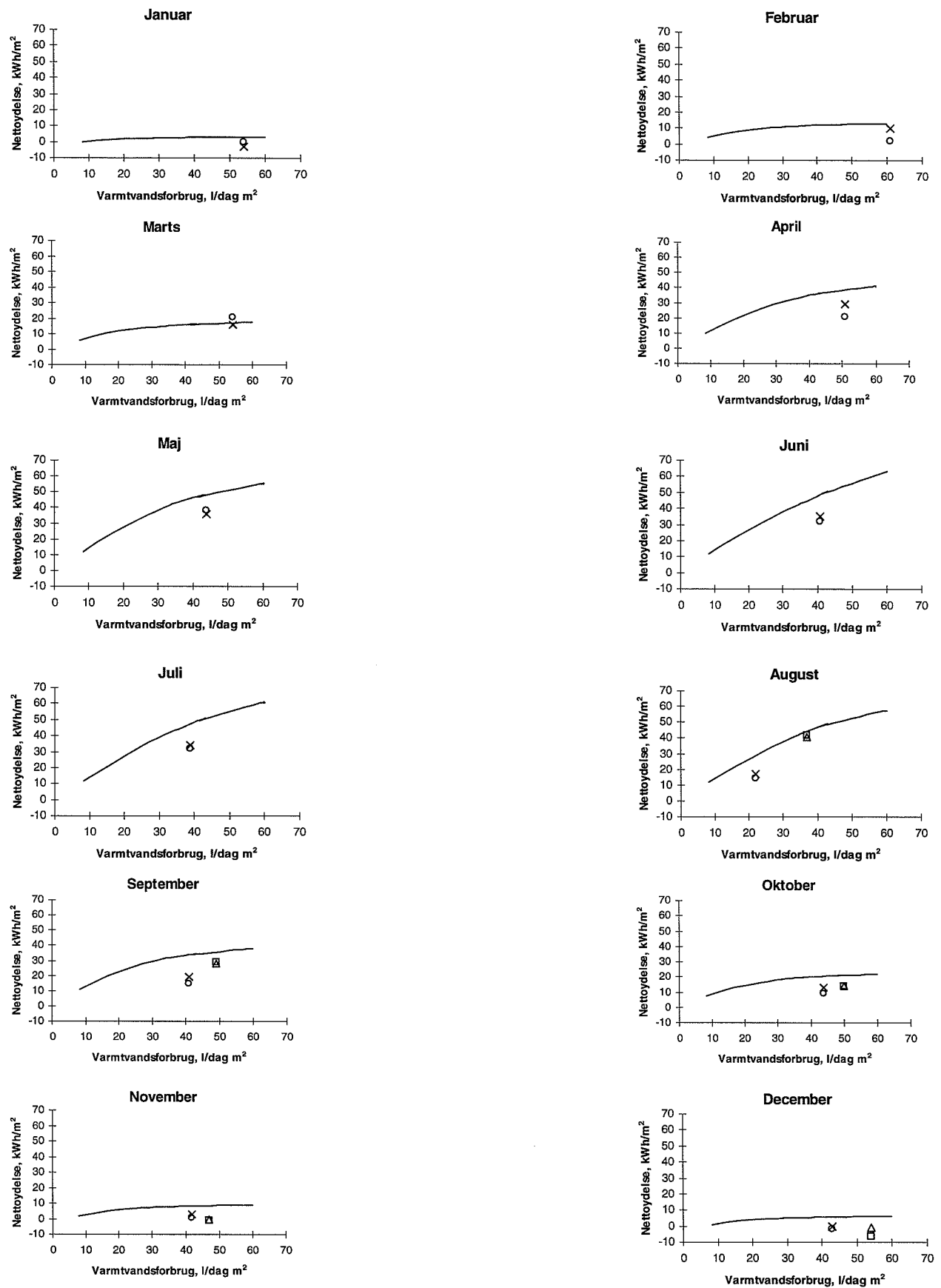
På basis af figurerne 9-13 og tabellerne 5-9 vurderes det at de 4 anlæg yder mindre end beregnet, og at ydelserne er utilfredsstillende små. For at klarlægge årsagerne til de lave ydelser for de tre anlæg baseret på de nye units blev der for disse anlæg i kortvarige perioder gennemført målinger af temperaturer for nogle af rørene til og fra soltanken. Temperaturerne blev målt ved hjælp af termoelementtråd placeret uden på rørene. Følgende temperaturer blev målt:

- Temperaturen fra fyrret/kedlen ind i topspiralen så tæt på soltanken som muligt.
- Temperaturen fra topspiralen til fyrret/kedlen så tæt på soltanken som muligt.
- Temperaturen til solfangeren der hvor solfangerkredsen forlader kabinettet.
- Temperaturen fra solfangeren der hvor solfangerkredsen føres ind i kabinettet.
- Varmtvandsstemperaturen fra soltanken før blandeventilen.

Desuden blev lufttemperaturen inde i kabinettet målt.

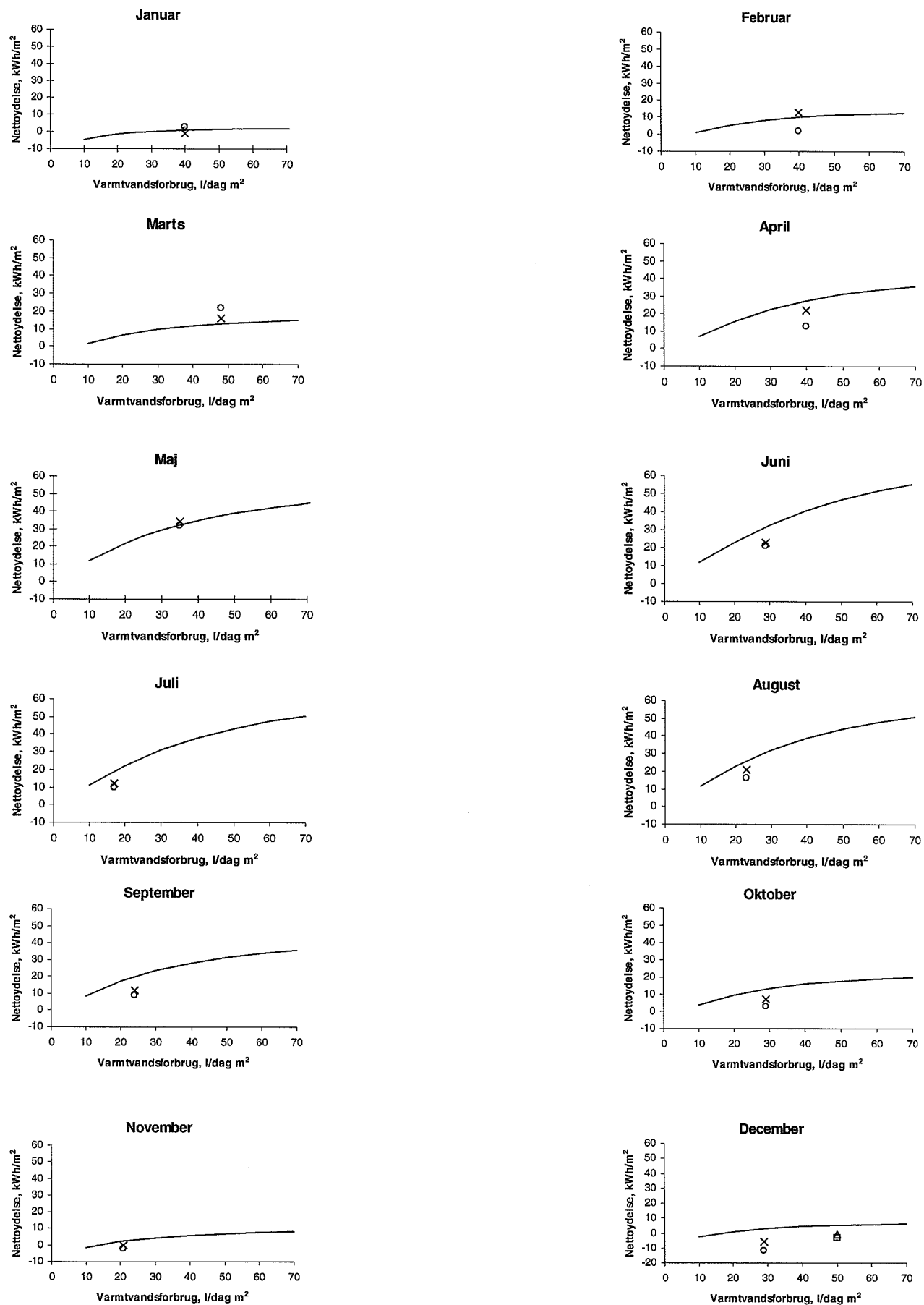


Figur 9. Beregnede og målte nettoydelse igennem året for 2,87 m² anlægget i Haderslev.



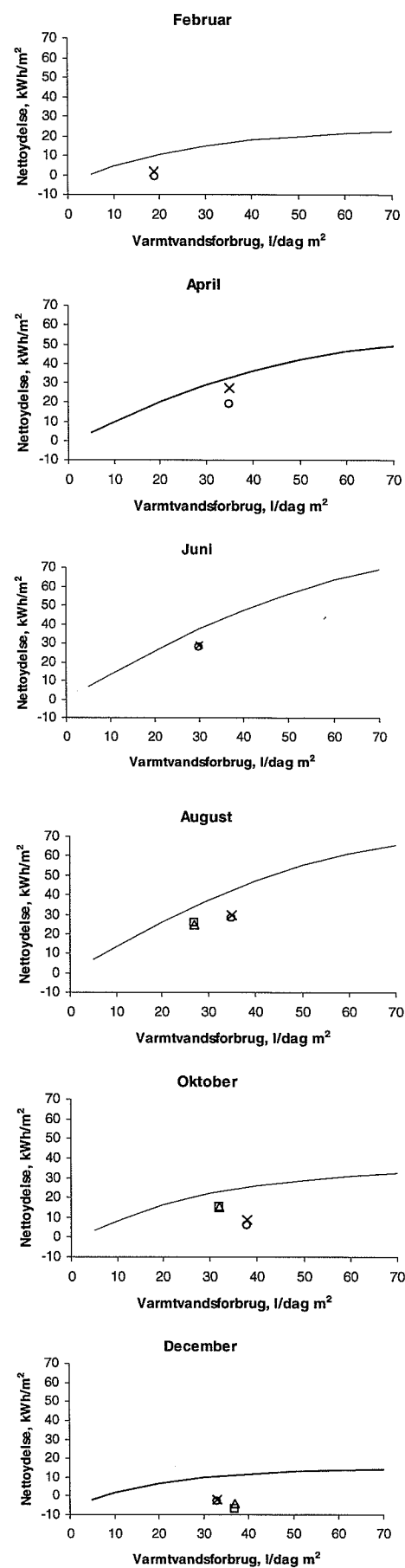
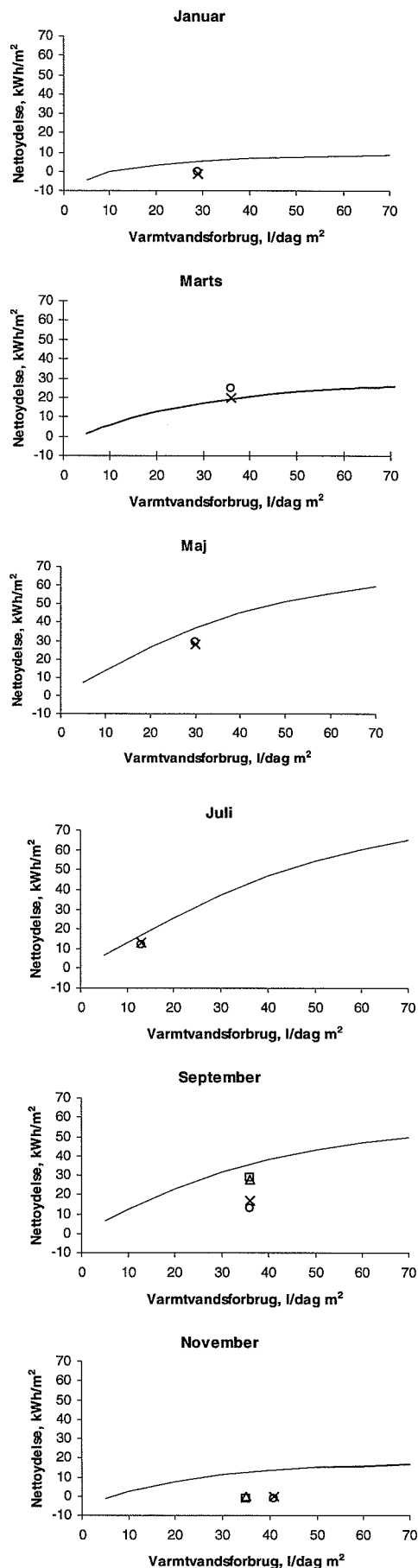
————— Beregnet ydelse i referenceåret
 O Målt 1998-ydelse
 X "Målt" 1998-ydelse i referenceåret
 □ Målt 1997- ydelse
 △ "Målt" 1997-ydelse i referenceåret

Figur 10. Beregnede og målte nettoydelse igennem året for 6,00 m² anlægget i Køge.



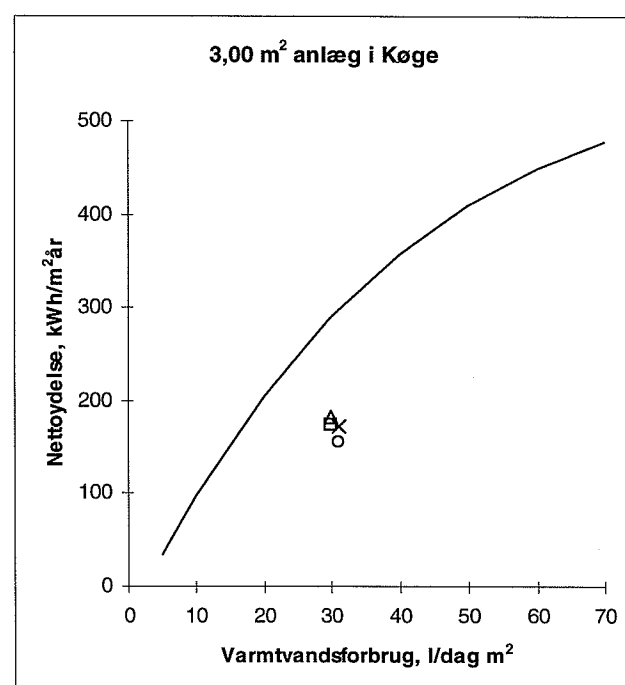
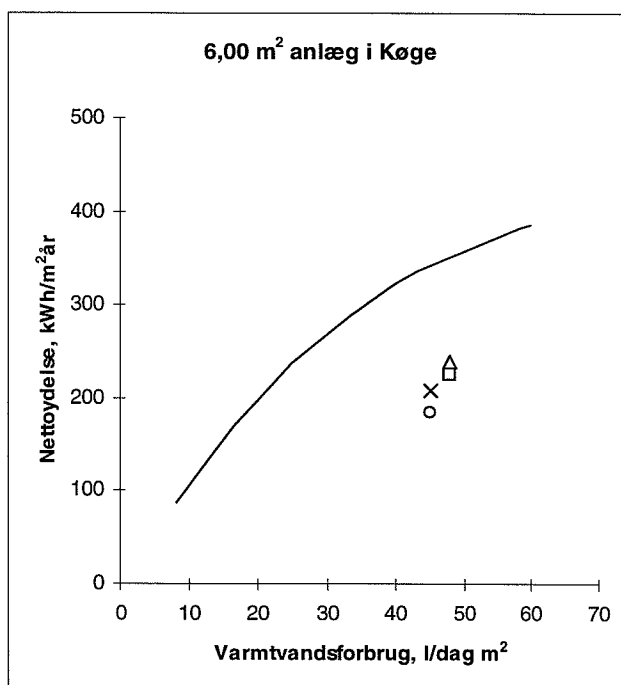
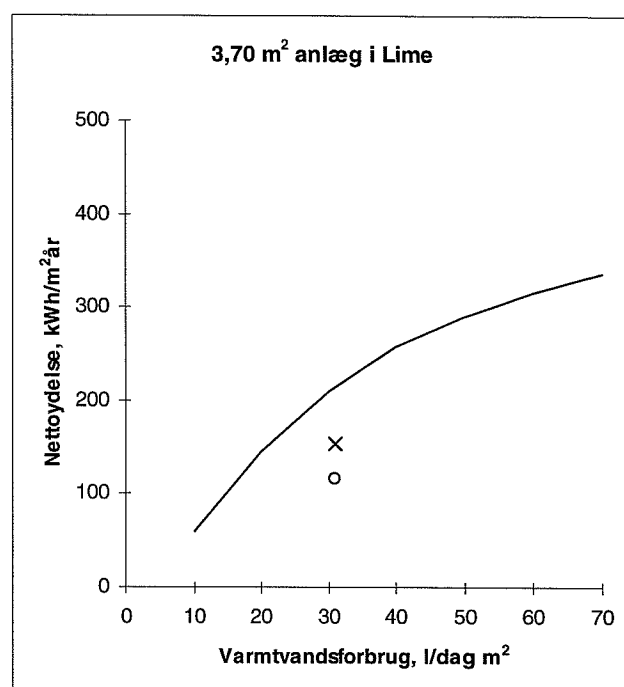
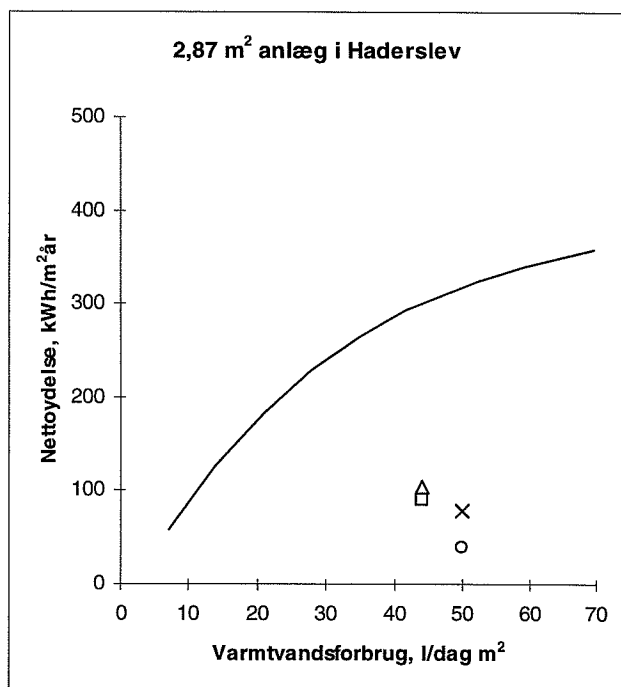
— Beregnet ydelse i referenceåret
 O Målt 1998- ydelse
 X “Målt” 1998-ydelse i referenceåret
 □ Målt 1997- ydelse
 △ “Målt” 1997-ydelse i referenceåret

Figur 11. Beregnede og målte nettoydelse igennem året for 3,70 m² anlægget i Lime.



-
- O Beregnet ydelse i referenceåret
 X Målt 1998- ydelse
 " Målt" 1998- ydelse i referenceåret
- Målt 1997- ydelse
 △ "Målt" 1997- ydelse i referenceåret

Figur 12. Beregnede og målte nettoydelser igennem året for 3,00 m² anlægget i Køge.



- Beregnet ydelse i referenceåret
 O Målt 1998- ydelse
 X "Målt" 1998- ydelse i referenceåret
 □ Målt 1/8 97 – 31/7 98- ydelse
 △ "Målt" 1/8 97 – 31/7 98- ydelse i referenceåret

Figur 13. Beregnede og målte årlige nettoydelse for de 4 anlæg.

Temperaturmålingerne for anlægget i Haderslev blev foretaget i perioden 9.-12. oktober 1998. Figur 14-16 viser de målte temperaturer. Figur 14 viser temperaturerne i hele perioden, figur 15 og 16 viser temperaturene for den 10. oktober henholdsvis om dagen og om natten.

Det ses at temperaturen af det varme vand før blandeventilen, 3 vejs-ventilen, dvs. temperaturen, som naturgas-kedlen opvarmer toppen af soltanken til, er ca. 65°C. I beregningerne er det forudsat at natur-gaskedlen opvarmer toppen af beholderen til 50,5°C. Beregninger viser, at det høje temperaturniveau reducerer solvarmeanlæggets ydelse med ca. 5%.

Lige før kl. 19 den 10. oktober reduceres temperaturen fra solfangeren i løbet af kort tid forholdsvis meget. Da temperaturen fra solfangeren desuden i mange perioder uden solfangerdrift er meget lav tyder det på at der er selvcirkulation i solfangerkredsen i disse perioder. Beregninger tyder på at en sådan selvcirkulation reducerer solvarmeanlæggets ydelse med yderligere ca. 10%.

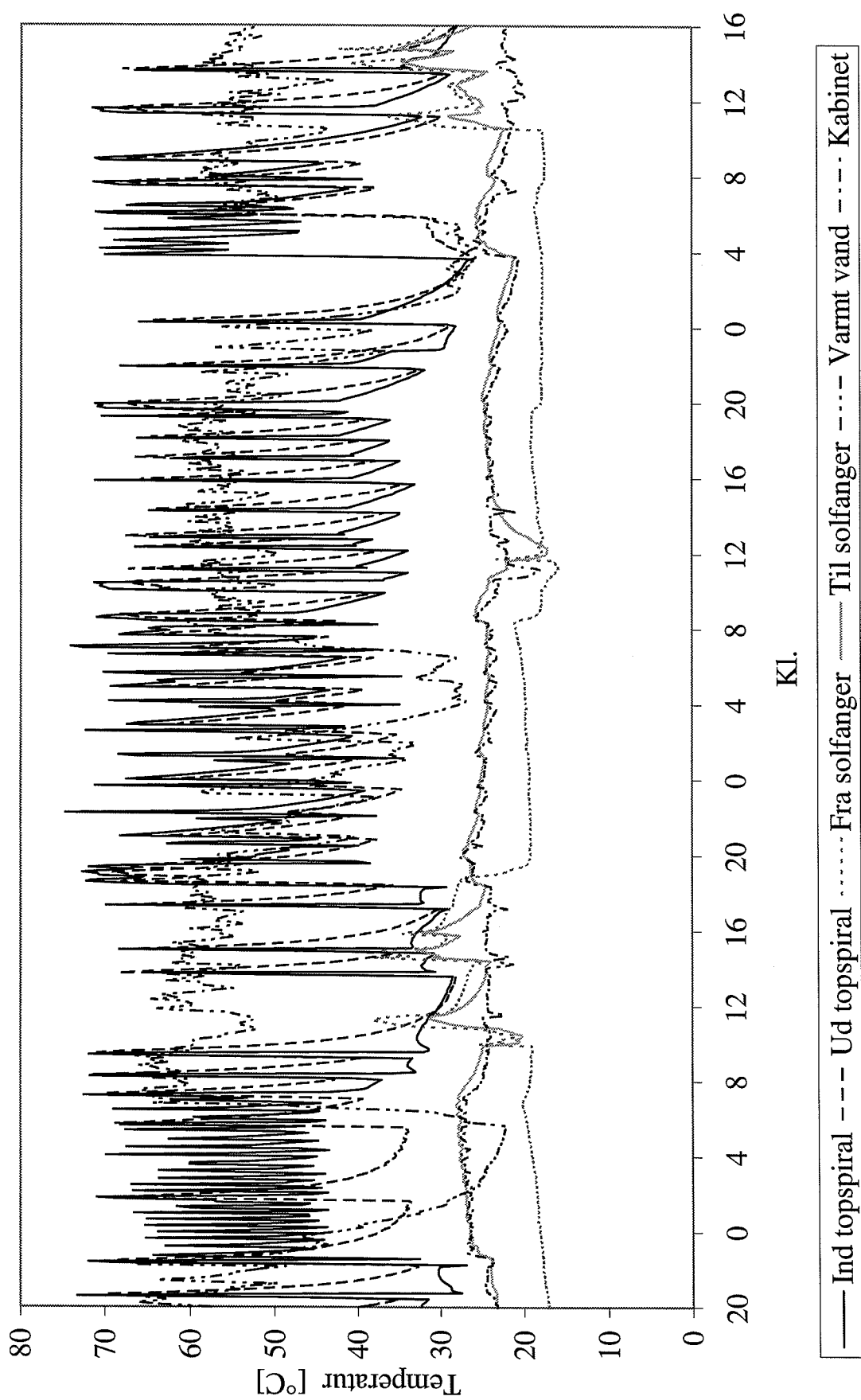
Temperaturmålingerne tyder i øvrigt ikke på at der bortset fra det høje temperaturniveau i toppen af soltanken og selvcirkulationen i solfangerkredsen er yderligere driftsproblemer for anlægget i Haderslev.

Den lave anlægsydelse forklares derfor sandsynligvis af følgende forhold:

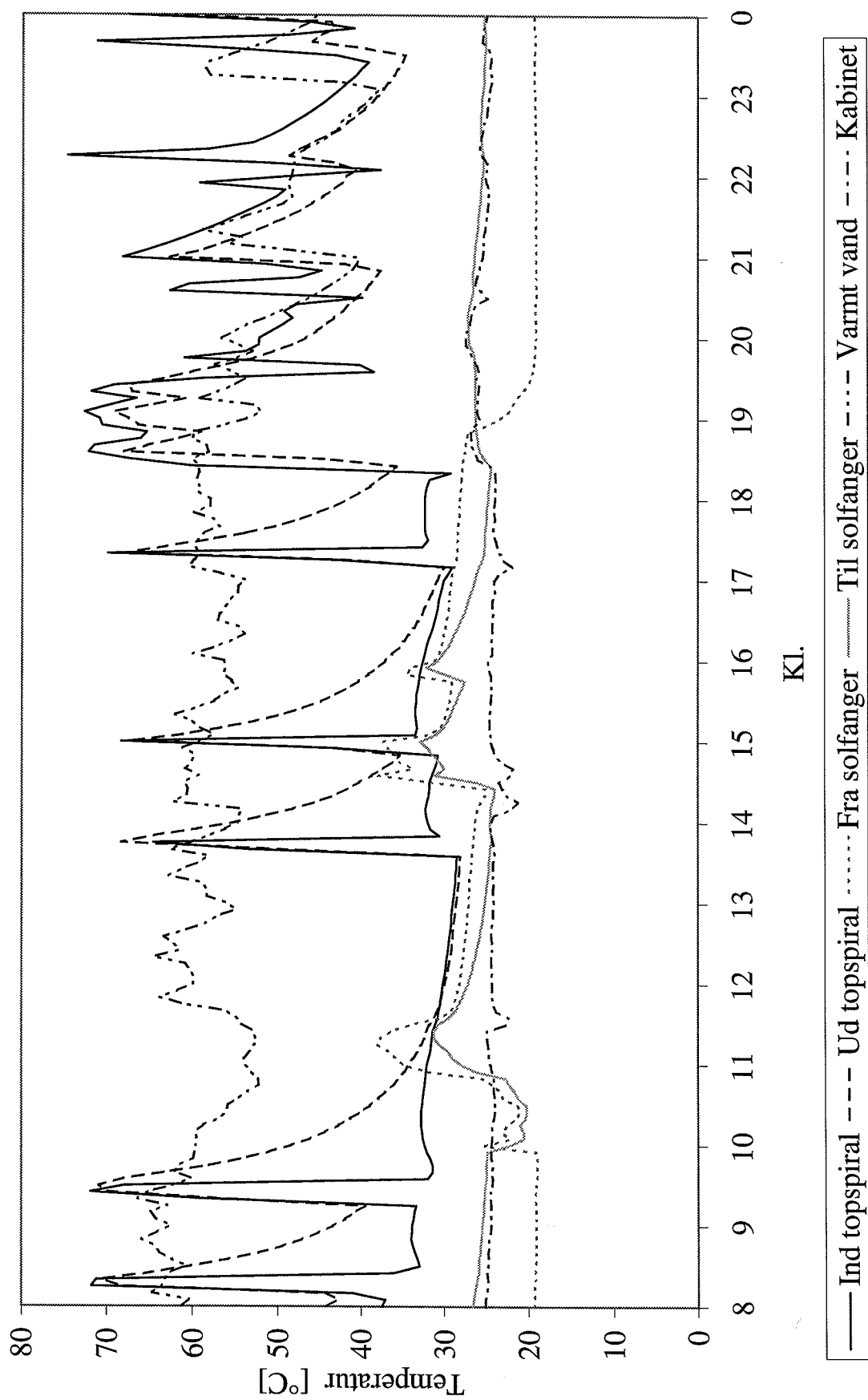
- Solindfaldet på solfangeren har i måleperioden været ca. 15% lavere end i referenceåret TRY, dels på grund af det solfattige vejr – ca. 10% lavere målt solindfald end i TRY, dels på grund af skygger fra et tagudhæng. Det skønnes at solindfaldet på grund af skygger reduceres med ca. 5%.
- Koldtvandstemperaturen varierer igennem året som det fremgår af figur 4. Solvarmeanlægs ydelser reduceres med ca. 10% på grund af disse variationer, [15].
- Der skabes omrøring i soltanken under varmtvandstapning [1]. Undersøgelser tyder på at solvarmeanlægs ydelser kan reduceres **stærkt** på grund af denne omrøring [15], [16], [17]. Det er derfor vigtigt at koldtvandsindløbet udformes så der ikke skabes nævneværdig omrøring i soltanken under varmtvandstapninger – end ikke når tappeflowet er højt. Det skønnes at omrøringen kan reducere anlægsydelsen med ca. 15%.
- I beregningerne forudsættes det at der hver dag tappes lige store mængder varmt vand, og at det varme vand tappes i 5 lige store portioner kl. 7, 8, 12, 18, og 20. Dette tappemønster resulterer i en høj ydelse for solvarmeanlægget. Andre tappemønstre vil resultere i mindre anlægsydelser. Beregninger har fx vist at variationer i det daglige tappemønster kan forårsage ydelsesreduktioner på op til ca. 20%, [18].

Temperaturmålingerne for 6,00 m² anlægget i Køge blev foretaget i perioden 23.-25. september 1998. Figur 17-19 viser de målte temperaturer. Figur 17 viser temperaturerne for hele perioden, figur 18 og 19 viser temperaturerne for den 24. september henholdsvis om dagen og om natten.

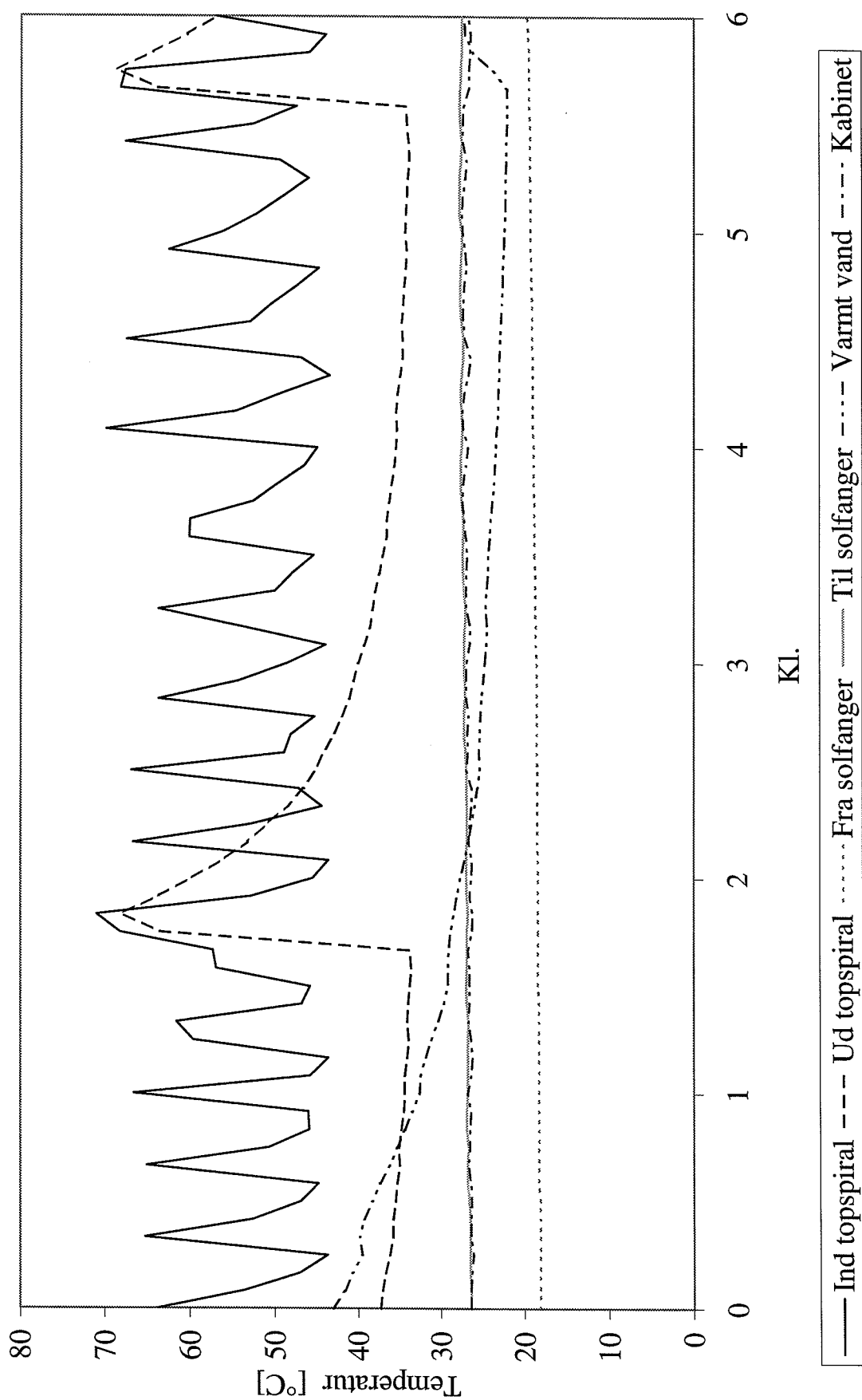
Det ses at temperaturerne i topspiral/naturgaskedel-kredsen i lange perioder er meget høje. For eksempel er temperaturen ind i topspiralen meget høj fra kl. 10 til kl. 20.30 den 24. september, se figur 18. Naturgaskedlen er kun i drift forholdsvis få gange i løbet af denne periode. Varmen i rørkredsen kommer derfor fra soltankens top. Altså optræder der baglæns selvcirkulation i topspiral/naturgaskedel-kredsen med et stort varmetab fra soltankens top til følge. Selvcirkulationen stoppes i en kortvarig periode ca. kl. 11 mens naturgaskedlen leverer varme til dækning af rumvarmebehovet. Temperaturen ind i topspiralen reduceres og lufttemperaturen inde i kabinettet forøges i perioden med kedeldrift. Kort tid efter at naturgaskedlen er stoppet fortsætter selvcirkulationen.



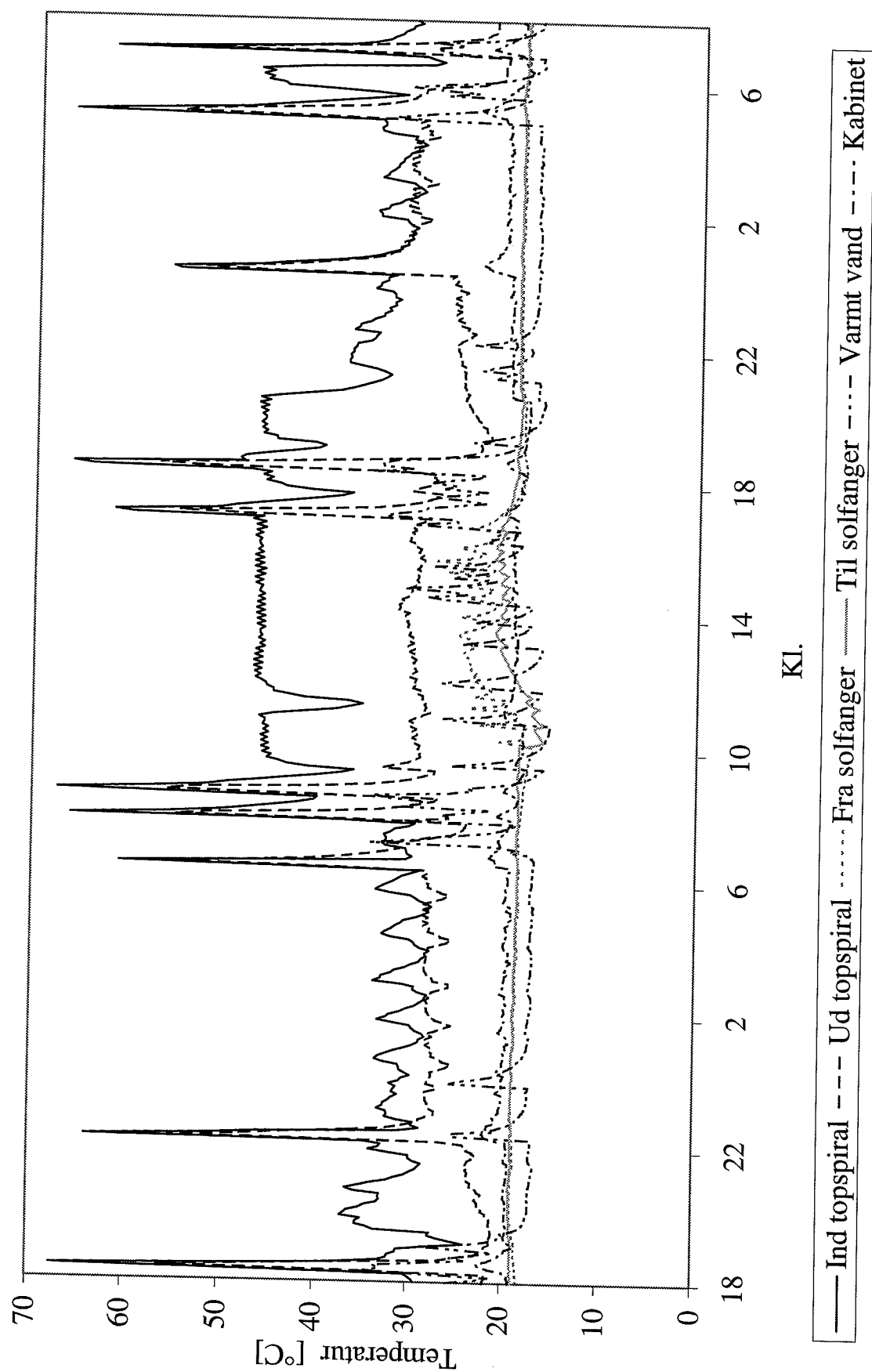
Figur 14. Temperaturer for anlægget i Haderslev i perioden 9.-12. oktober 1998.



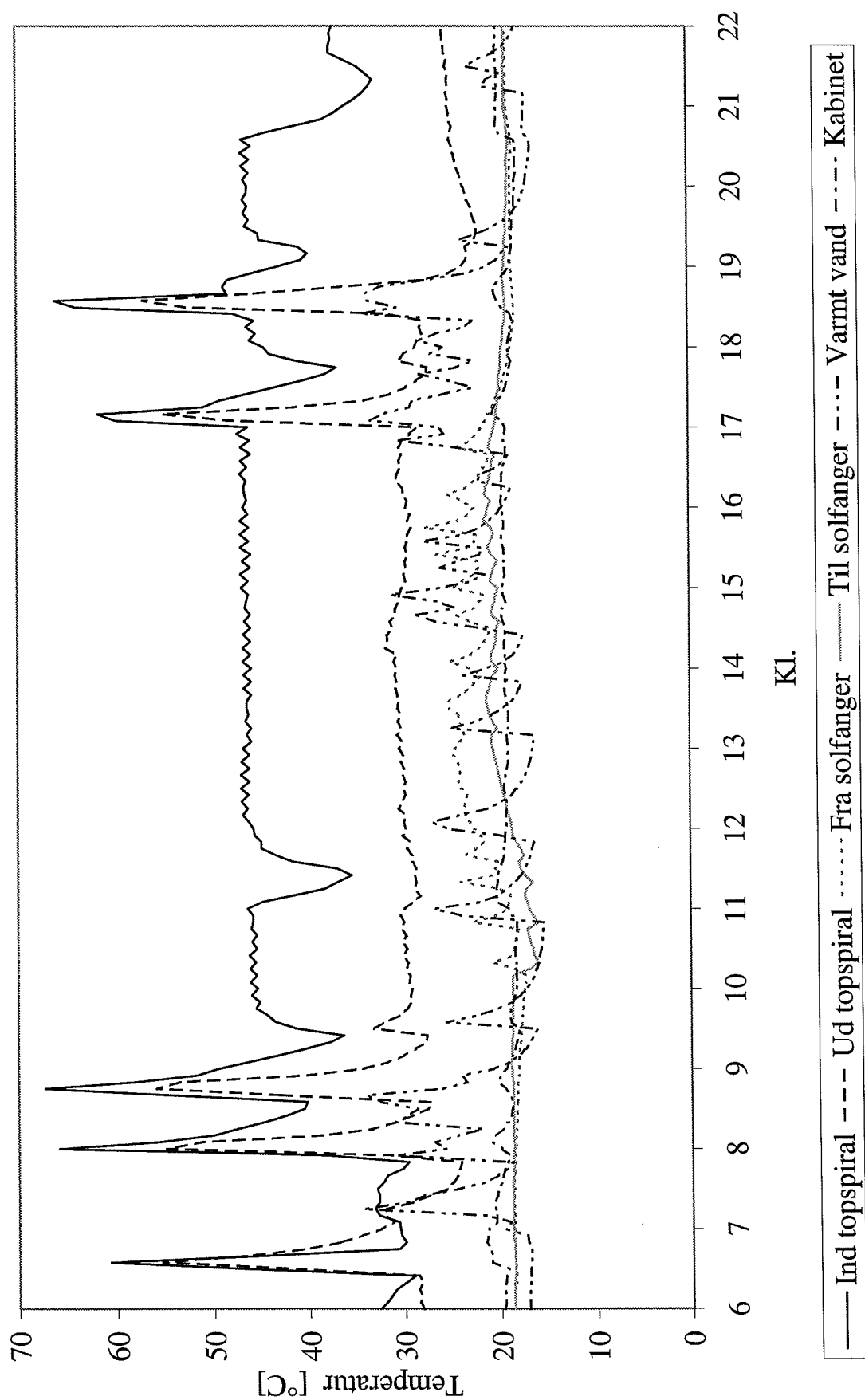
Figur 15. Temperaturer for anlægget i Haderslev den 10. oktober 1998.



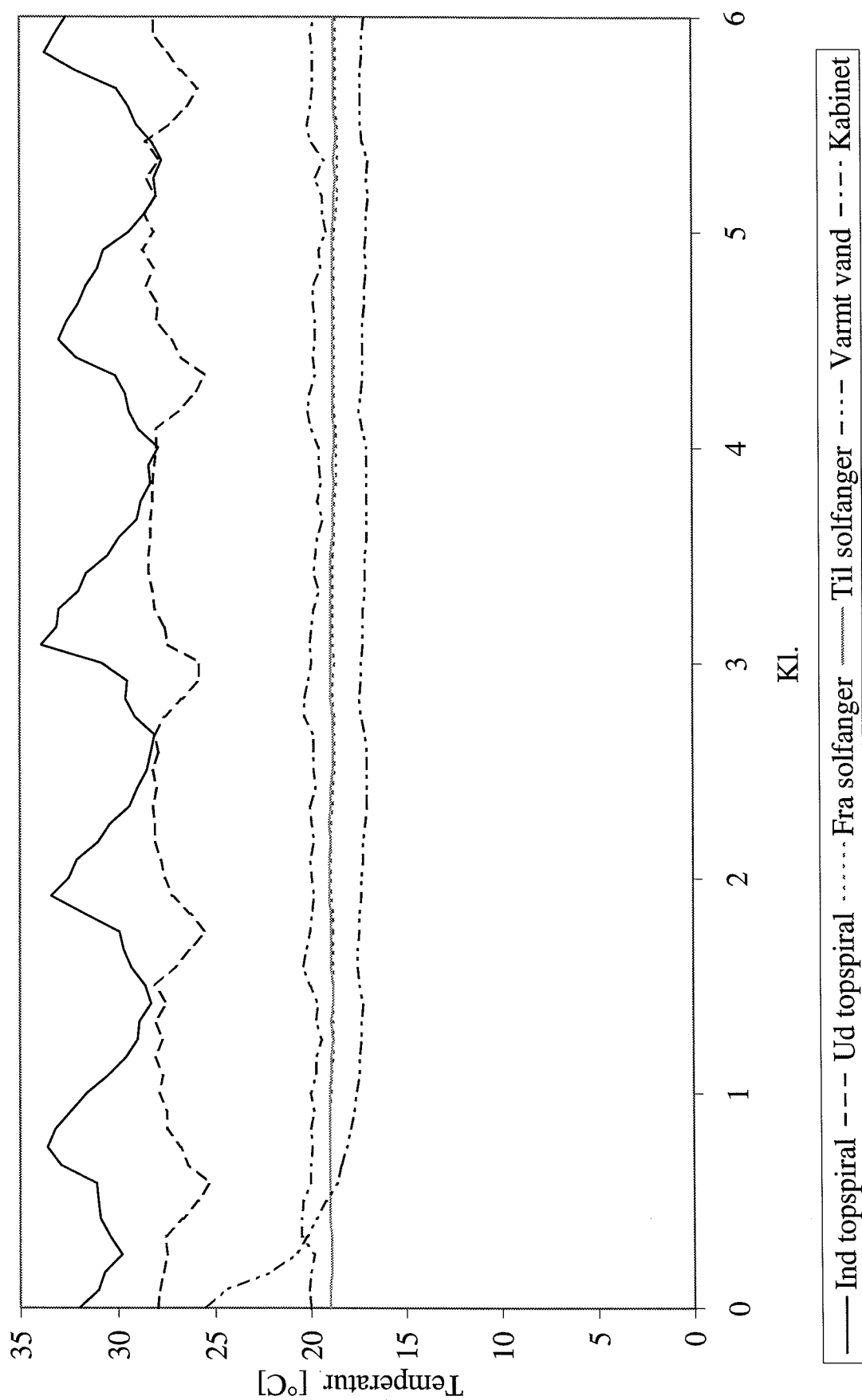
Figur 16. Temperaturer for anlægget i Haderslev den 10. oktober 1998.



Figur 17. Temperaturer for 6,00 m² anlægget i Køge i perioden 23.-25. september 1998.



Figur 18. Temperaturer for 6,00 m² anlægget i Køge den 24. september 1998.



Figur 19. Temperaturer for 6,00 m² anlægget i Køge den 24. september 1998.

På figur 19 ses at der ikke optræder selvcirkulation om natten. Udsvingene i rørtemperaturerne er forårsaget af kedeldrift i forbindelse med dækning af rumvarmebehovet.

Altså optræder der en gang imellem selvcirkulation i topspiral/naturgaskedel-kredsen. Denne selvcirkulation resulterer i et stort varmetab fra toppen af soltanken og dermed i en lav nettoydelse for solvarmeanlægget. Det er altså vigtigt af den benyttede 3-vejsventil lukker for cirkulation igennem topspiralen i perioder uden pumpedrift. Hvis det ikke kan lade sig gøre kan det anbefales at forsyne topspiral/naturgaskedel-kredsen med en separat kontraventil. Det skønnes at den konstaterede selvcirkulation reducerer solvarmeanlæggets ydelse med ca. 20%.

Temperaturmålingerne tyder i øvrigt ikke på at der udover den omtalte selvcirkulation er driftsproblemer for 6,00 m² anlægget i Køge.

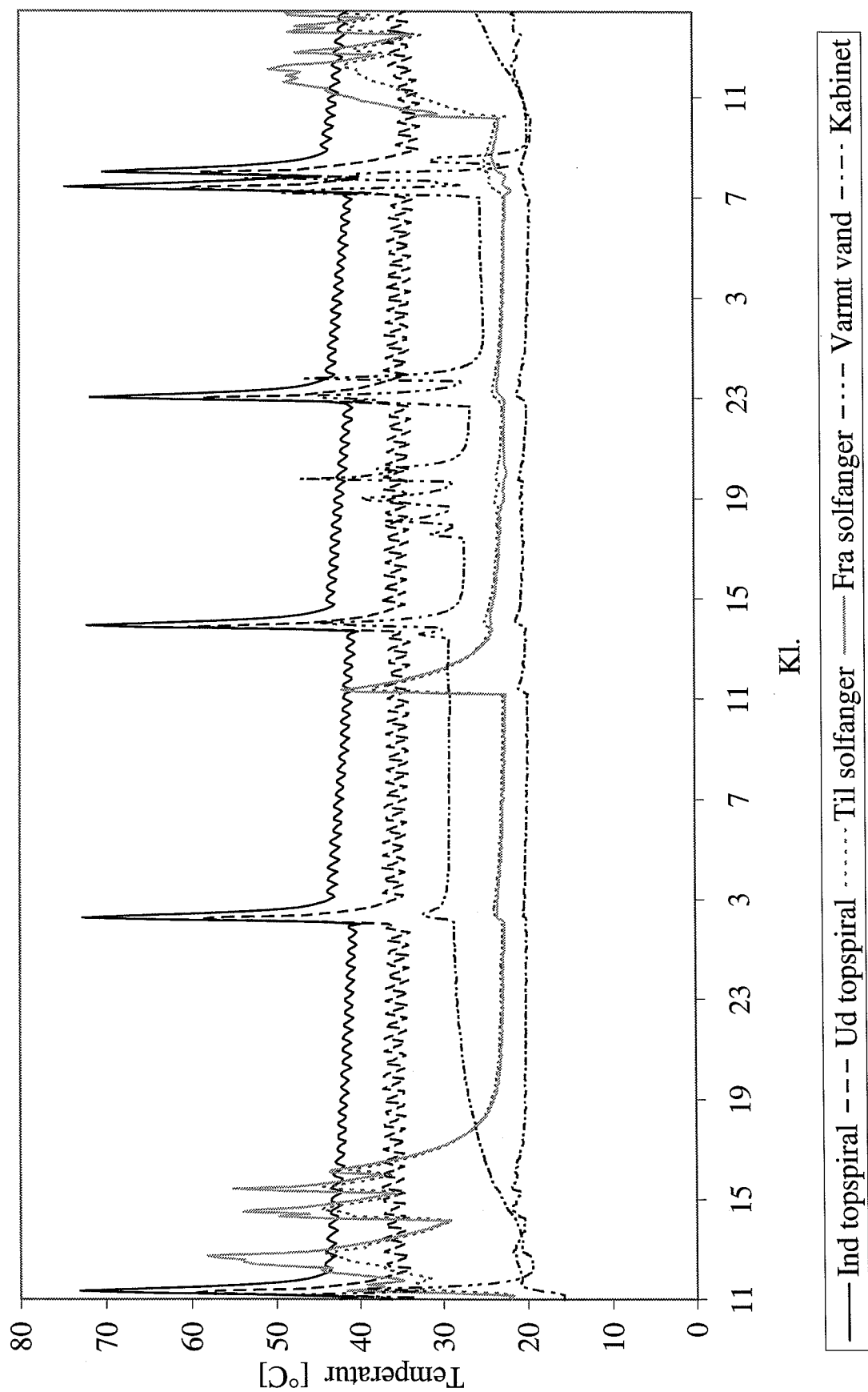
I det følgende nævnes yderligere forhold, som kan forklare den lave ydelse for 6,00 m² anlægget i Køge:

- Solindfaldet på solfangeren har i måleperioden været ca. 5% lavere end i referenceåret TRY på grund af det solfattige vejr.
- Koldtvandstemperaturen varierer igennem året som det fremgår af figur 5. Solvarmeanlægs ydelser reduceres med ca. 10% på grund af disse variationer.
- Der skabes omrøring i soltanken under varmtvandtapping [2]. Undersøgelser tyder på at solvarmeanlægs ydelser kan reduceres **stærkt** på grund af denne omrøring. Det er derfor vigtigt at koldtvandsindløbet udformes så der ikke skabes nævneværdig omrøring i soltanken under varmtvandtappinger – end ikke når tappeflowet er højt. Det skønnes at omrøringen kan reducere anlægsydelsen med ca. 10-15%.
- I beregningerne forudsættes det at der hver dag tappes lige store mængder varmt vand, og at det varme vand tappes i 5 lige store portioner kl. 7, 8, 12, 18 og 20. Dette tappemønster resulterer i en høj ydelse for solvarmeanlægget. Andre tappemønstre vil resultere i mindre anlægsydelser. Beregninger har fx vist at variationer i det daglige tappemønster kan forårsage ydelsesreduktioner på op til ca. 20%.

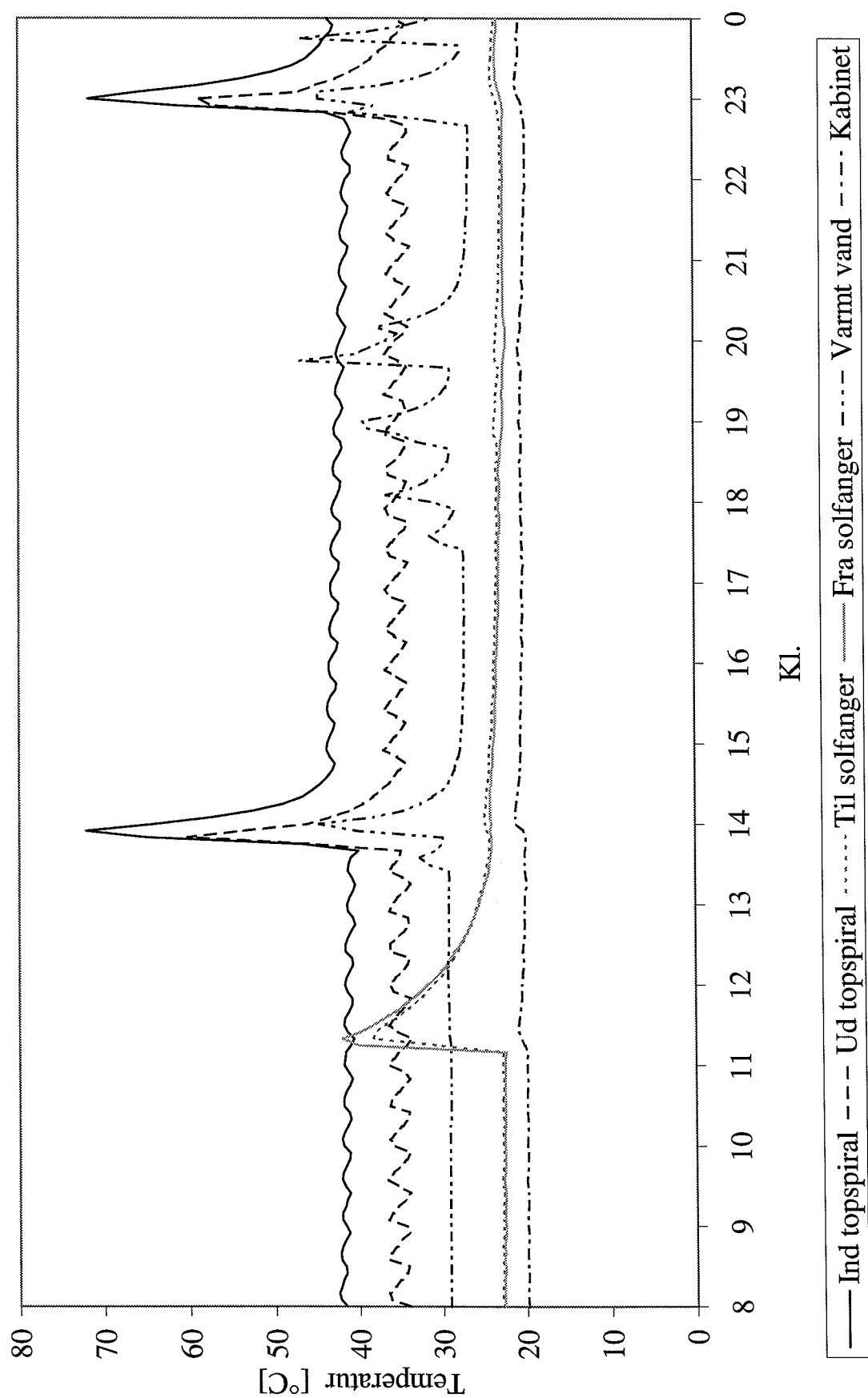
Temperaturmålingerne for anlægget i Lime blev foretaget i perioden 10.-12. oktober 1998. Figur 20-22 viser de målte temperaturer. Figur 20 viser temperaturerne for hele perioden, figur 21 viser temperaturerne om dagen den 11. oktober og figur 22 viser temperaturerne om natten den 12. oktober.

Det ses at temperaturerne i topspiral/oliefyr-kredsen altid er meget høje. Oliefyret er kun i drift forholdsvis få gange i løbet af måleperioden. Varmen i rørkredsen kommer derfor fra soltankens top. Altså optræder der baglæns selvcirkulation i topspiral/naturgaskedel-kredsen med et stort varmetab fra soltankens top til følge. Solvarmeanlæggets ydelse reduceres stærkt på grund af dette varmetab. Det anbefales derfor at 3-vejsventilen effektivt sørger for at lukke for cirkulation igennem topspiralen i perioder uden pumpedrift. Hvis det ikke kan lade sig gøre kan det anbefales at forsyne topspiral/oliefyr-kredsen med en separat kontraventil. Derudover kan det som omtalt i [3] også stærkt anbefales at forsyne topspiral/oliefyr-kredsen med effektive varrefælder, således at varmetabet fra soltankens top reduceres mest muligt. Det skønnes at det store varmetab fra soltankens top forårsaget af selvcirkulationen reducerer solvarmeanlæggets ydelse med ca. 25%

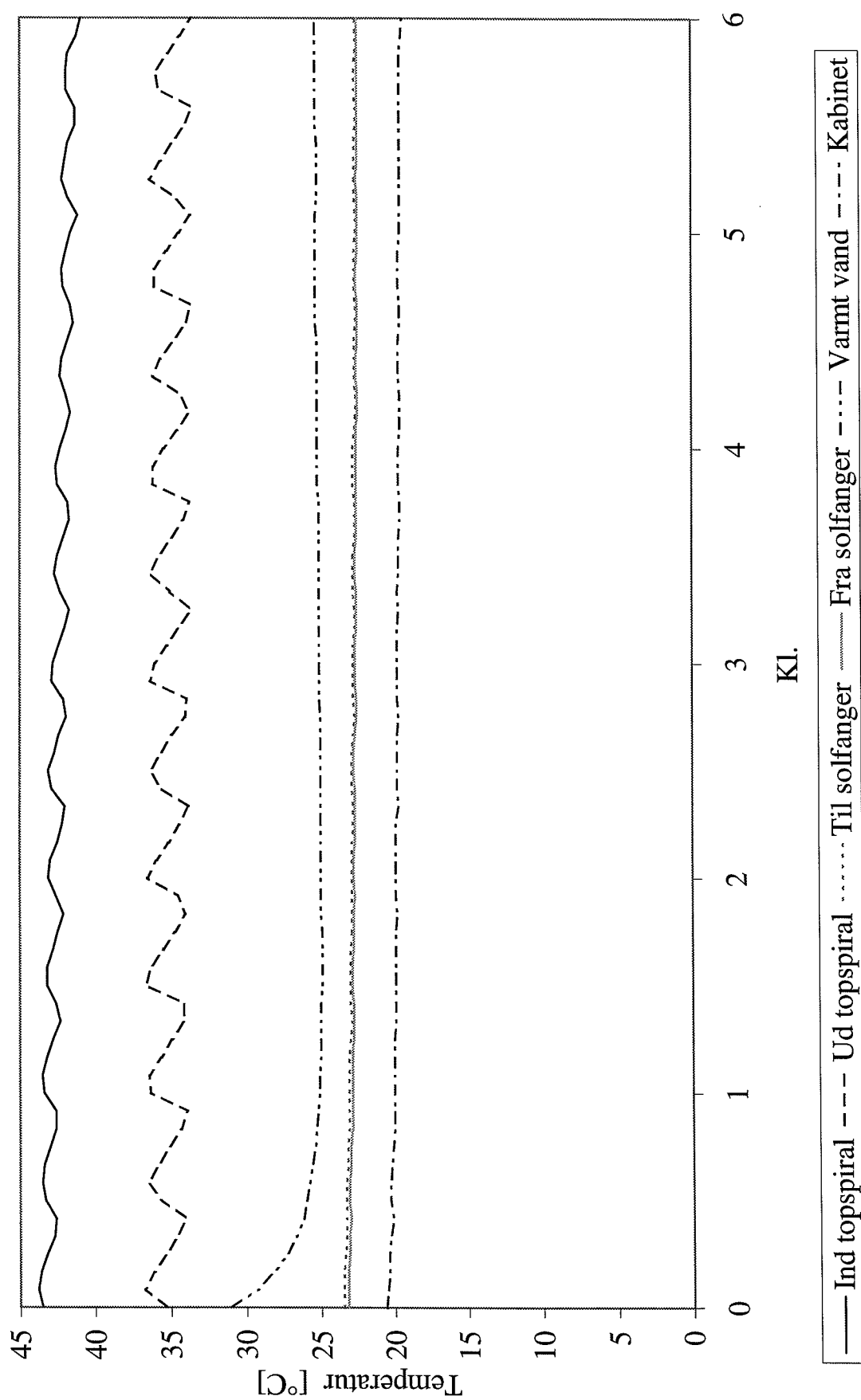
Temperaturmålingerne tyder i øvrigt ikke på at der udover den omtalte selvcirkulation er driftsproblemer for anlægget i Lime.



Figur 20. Temperaturer for anlægget i Lime i perioden 10.-12. oktober 1998.



Figur 21. Temperaturer for anlægget i Lime den 11. oktober.



Figur 22. Temperaturer for anlægget i Lime den 12. oktober.

I det følgende nævnes yderligere forhold, som kan forklare den lave ydelse for anlægget i Lime.

- Solindfaldet på solfangeren har i måleperioden været ca. 15% lavere end i referenceåret TRY på grund af det solfattige vejr.
- Koldtvandstemperaturen varierer igennem året som det fremgår af figur 6. Solvarmeanlægs ydelser reduceres med ca. 10% på grund af disse variationer.
- Der skabes omrøring i soltanken under varmtvandsstapning [3]. Undersøgelser tyder på at solvarmeanlægs ydelser kan reduceres **stærkt** på grund af denne omrøring. Det er derfor vigtigt at koldtvandsindløbet udformes så der ikke skabes nævneværdig omrøring i soltanken under varmtvandsstapninger – end ikke når tappeflowet er højt. Det skønnes at omrøringen kan reducere anlægsydelsen med ca. 15%.
- I beregningerne forudsættes det at der hver dag tappes lige store mængder varmt vand, og at det varme vand tappes i 5 lige store portioner kl. 7, 8, 12, 18 og 20. Dette tappemønster resulterer i en høj ydelse for solvarmeanlægget. Andre tappemønstre vil resultere i mindre anlægsydelser. Beregninger har fx vist at variationer i det daglige tappemønster kan forårsage ydelsesreduktioner på op til ca. 20%.

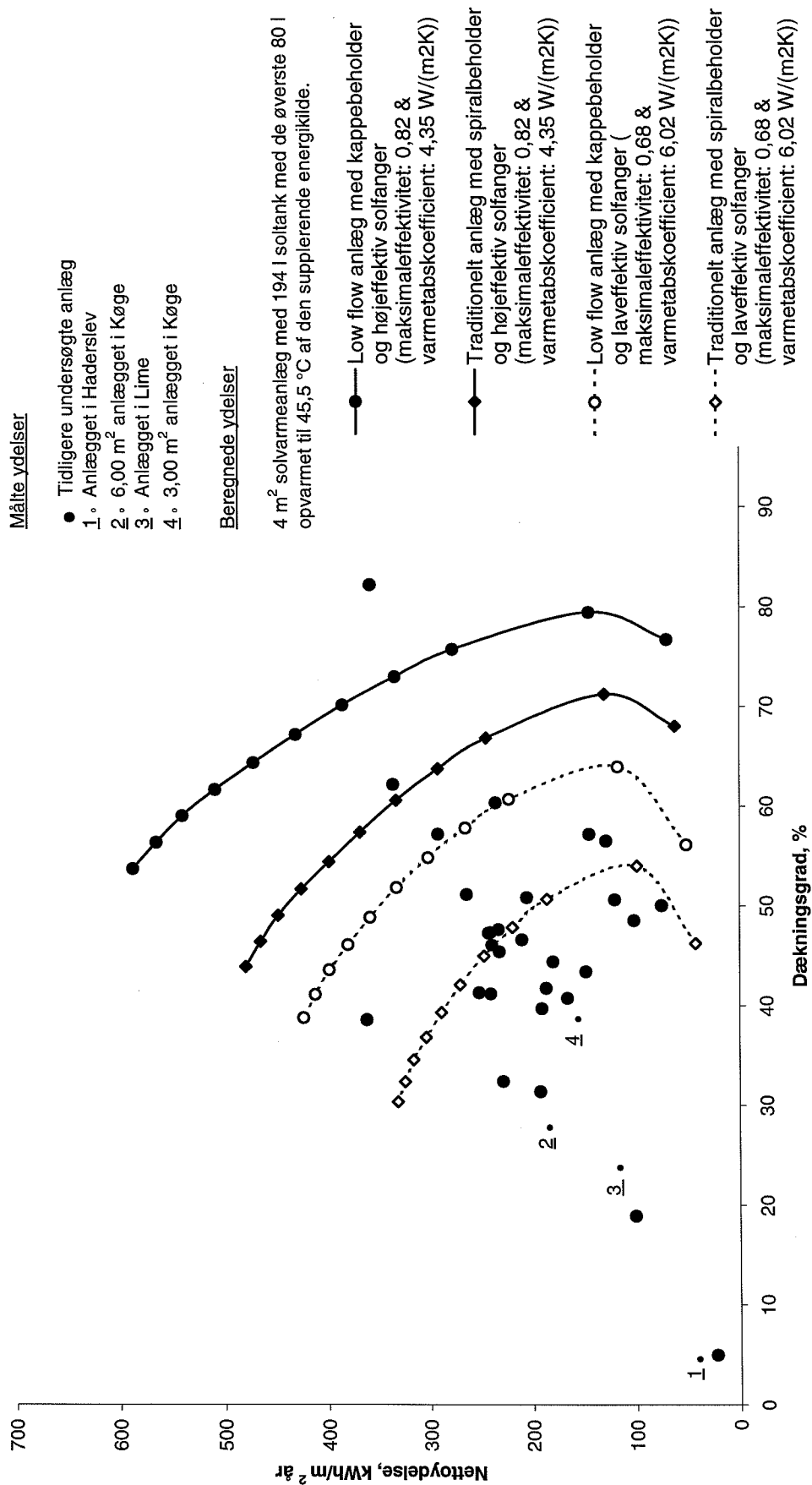
De målte nettoydelse for 1998 for de 4 anlæg er vist på figur 23 sammen med målte ydelser for tidligere undersøgte solvarmeanlæg i praksis [15]. Den årlige nettoydelse pr. m^2 solfanger er vist som funktion af anlæggets årlige dækningsgrad. Målingerne fra de tidligere undersøgte solvarmeanlæg, som alle er traditionelt udformede små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning, stammer fra [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25],[26].

Ud over de målte ydelser er beregnede ydelser for fire forskellige 4 m^2 standard solvarmeanlæg vist på figuren. Ydelser er vist for low flow anlæg og traditionelle anlæg – både med en højeffektiv og en laveffektiv solfanger. Kurverne er fundet ved beregning af ydelser for forskellige daglige varmtvandsforbrug i intervallet fra 25 l til 300 l. Koldtvandstemperaturen forudsættes at være 10°C og temperaturen af det tappede varme vand forudsættes at være 45°C . Beregningerne er foretaget med vejrdata fra referenceåret TRY og med sydvendte solfangere med en hældning på 45° fra vandret.

Ved hjælp af figuren er det muligt at sammenligne solvarmeanlæg, som har forskellige solfangerarealer og som er belastet med forskellige varmtvandsforbrug. Veldesignede anlægs ydelsespunkter er beliggende til højre for kurverne for anlæggene med den højeffektive solfanger, mens dårligt udformede anlægs ydelsespunkter er beliggende til venstre for kurverne for anlæggene med den laveffektive solfanger. For **stærkt** overdimensionerede anlæg, dvs. for anlæg med meget små varmtvandsforbrug pr. m^2 solfanger, kan både nettoydelsen pr. m^2 solfanger og dækningsgraden blive lav uden at der er noget galt med designet af solvarmeanlægget. Figuren er derfor ikke velegnet til at vurdere stærkt overdimensionerede anlæg. Ingen af de undersøgte anlæg er stærkt overdimensioneret. Derfor benyttes figuren til at vurdere de målte ydelser.

Af figuren ses det at:

- det traditionelt udformede $3,00 \text{ m}^2$ anlæg i Køge med en separat naturgaskedel ikke ydelsesmæssigt skiller sig væsentligt ud fra de tidligere undersøgte traditionelle anlæg.
- de tre anlæg baseret på de nye units ydelsesmæssigt er meget dårligere end de traditionelt udformede solvarmeanlæg.
- ydelserne i praksis generelt er væsentligt lavere end de beregnede ydelser. De fleste anlæg er således ydelsesmæssigt dårligere end et traditionelt spiralbeholderanlæg med en laveffektiv solfanger.



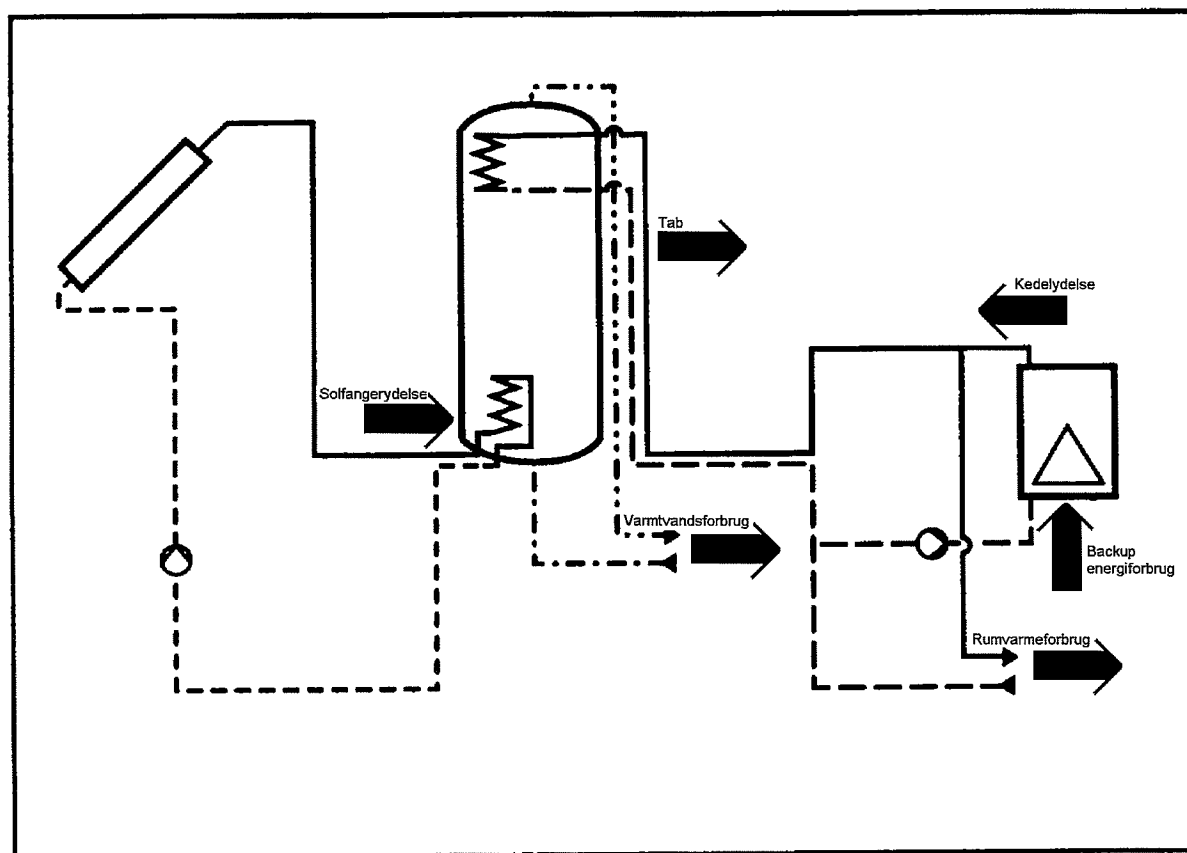
Figur 23. Årlig nettoydelse pr. m² for de 4 undersøgte solvarmeanlæg og for tidligere undersøgte anlæg fra praksis. Kurverne viser beregnede årlige nettoydelser pr. m² solfanger for 4 forskelligt udformede solvarmeanlæg.

På basis af målingerne må det altså konkluderes at der er et stort behov for at videreudvikle de nye naturgaskedel/soltank- og oliefyr/soltank-units. På basis af figuren kan det i øvrigt også konkluderes at der er et stort behov for at videreudvikle traditionelt udformede solvarmeanlæg.

4.3 Vurdering af energiforbrug

Energistrømmene i et kombineret sol/gasanlæg eller sol/olieranlæg, hvor solfangeren udelukkende supplerer varmtvandsforbruget kan generelt opdeles som følger: Solfangerydelse, kedelydelse, backup energiforbrug, rumvarmeforbrug, varmtvandsforbrug, samt varmetab fra akkumuleringskøle og rørkredsen mellem kedel/fyr og soltankens topspiral. Figur 24 nedenfor viser disse energistrømme for en installation med separat gaskedel, solfanger og akkumuleringskøle. Samme energimønster gælder for unitløsninger, hvor kedel og akkumuleringskøle er sammenbygget.

I afsnit 4.2 er solvarmeanlæggets ydelser vurderet. I nærværende afsnit vurderes energiforbruget for fyr/kedel for de 4 installationer, der indgår i måleprojektet. Det er specielt vigtigt at vurdere om kedeffektiviteten påvirkes af samspillet med solvarmeanlægget.



Figur 24. Energistrømmene i en kombineret sol/backup kedelinstallation.

4.3.1 Installationernes varmekonsum i normalåret

I forbindelse med vurdering af de aktuelle installationer i forhold til en typisk dansk bolig og specielt backup kedlernes effektivitet er det nyttigt at fastlægge varmekonsumet i normalåret for de enkelte installationer.

I tabel 10 er det årlige varmekonsum for varmt brugsvand og rumvarme bestemt ud fra målinger i perioden august 1997 til og med juli 1998. Det skal bemærkes, at målinger for Nilan Sunshine (olie) først blev igangsat i december 1997, hvorfor grundlaget for beregningerne er perioden december 1997 til og med november 1998.

I tabellens sidste to kolonner er rumvarmekonsumet og totalforbruget omregnet til normalåret. Omregningen bygger på DTI's skyggegraddagsdefinition (kendt fra Tekst TV). For perioden august 1997 til juli 1998 er graddagene målt til 2618, og for perioden december 1997 til november 1998 er graddagene målt til 2694. Til sammenligning er graddagene i et normalår 2906 bestemt efter DTI's skyggegraddøgn målt ud fra et gennemsnit for 1940 - 1980.

Anlæg	Varmtvand	Rumvarme	Rumvarme i normalåret	Varmeforbrug i normalåret
	[kWh/år]	[kWh/år]	[kWh/år]	[kWh/år]
Nilan Sunshine (Olie)/Lime	1892	14950	16126	18018
Nilan Ecotec (Gas)/Køge 6,00 m ²	4208	14621	16229	20437
HS Tarm BlockSol (Gas)/Haderslev	2178	6916	7677	9855
Vaillant 112E / Danlager(Gas)/Køge 3,00 m ²	1139	11094	12314	13454

Tabel 10. Energiforbrug til opvarmning af brugsvand og rumopvarmning.

Et typisk totalt varmebehov for en dansk bolig ligger på et niveau mellem 15 – 20.000 kWh/år. Set i lyset af at ovennævnte målte varmekonsum tilnærmelsesvis svarer til varmebehovet, repræsenterer de to Nilan installationer typiske varmebehov. De to andre installationer repræsenterer boliger med et relativt lavt varmebehov.

Mht. varmtvandsbehov er det typiske niveau 2000 – 3000 kWh/år med faldende tendens, bl.a. pga. udvidet brug af sparearmaturer. De aktuelle installationer repræsenterer således både boliger over og under de typiske niveauer.

4.3.2 Backup kedlernes andel af varmtvandsforbruget

Nu er spørgsmålet således, hvor stor en andel af installationernes varmtvandsbehov, der reelt dækkes af backup kedlen. Med andre ord skal dækningsgraden bestemmes og vurderes.

Backupkedlens dækningsgrad af varmtvandsforbruget er i det følgende defineret som forholdet mellem den målte værdi af "Energi fra kedel til soltank" og "Energi tappet fra soltank".

Kombinerede sol/gas- eller sol/olieanlæg til enfamiliehuse, hvor solfangeren skal dække varmtvandsbehovet, dimensioneres typisk ud fra ønsket om, at solfangeren dækker 60% af det årlige varmtvandsbehov, og backup kedlen dækker de resterende 40% af varmtvandsbehovet [27]. Dette skulle medføre optimale driftsbetingelser for solfangeren og samtidig bevirke, at varmtvandsbehovet om sommeren stort set kan dækkes af solfangeren. Ved brug af elpatron om som-

merer som supplement til solfangeren kan backup kedlen således stoppes, og tomgangstabene fra anlægget reduceres. Mht. tomgangstab skal det her bemærkes, at gaskedler med lille vandindhold har et lavt tomgangstab, og derfor vil det typisk være unødvendigt med brug af elpatron på disse anlæg.

For de målte installationer er backup kedlernes dækningsgrad bestemt og vist på hhv. figur 25 for olieinstallationen og på figur 26 for de tre gasinstallationer.

Ud fra stolpediagrammerne ses det, at dækningsgraden for kedlerne i vinterperioden som forventet er i størrelsesordenen 100%. At dækningsgraden er over 100% skyldes, at der i målingerne ikke er korrigeret for varmetab fra akkumuleringsstanken.

I sommerperioden varierer backup kedlernes dækningsgrad markant for de enkelte installationer. I eksempelvis juli 1998 ligger dækningsgraden for Vaillant VC112E kedlen på under 10%, mens HS Tarm kedlen har en dækningsgrad på over 80%. Denne variation om sommeren slår også igennem på middeldækningsgraden over de viste 12 måneder. Her har Vaillant en dækningsgrad på 54%, hvor HS Tarm kedlen ligger på 88% i dækningsgrad.

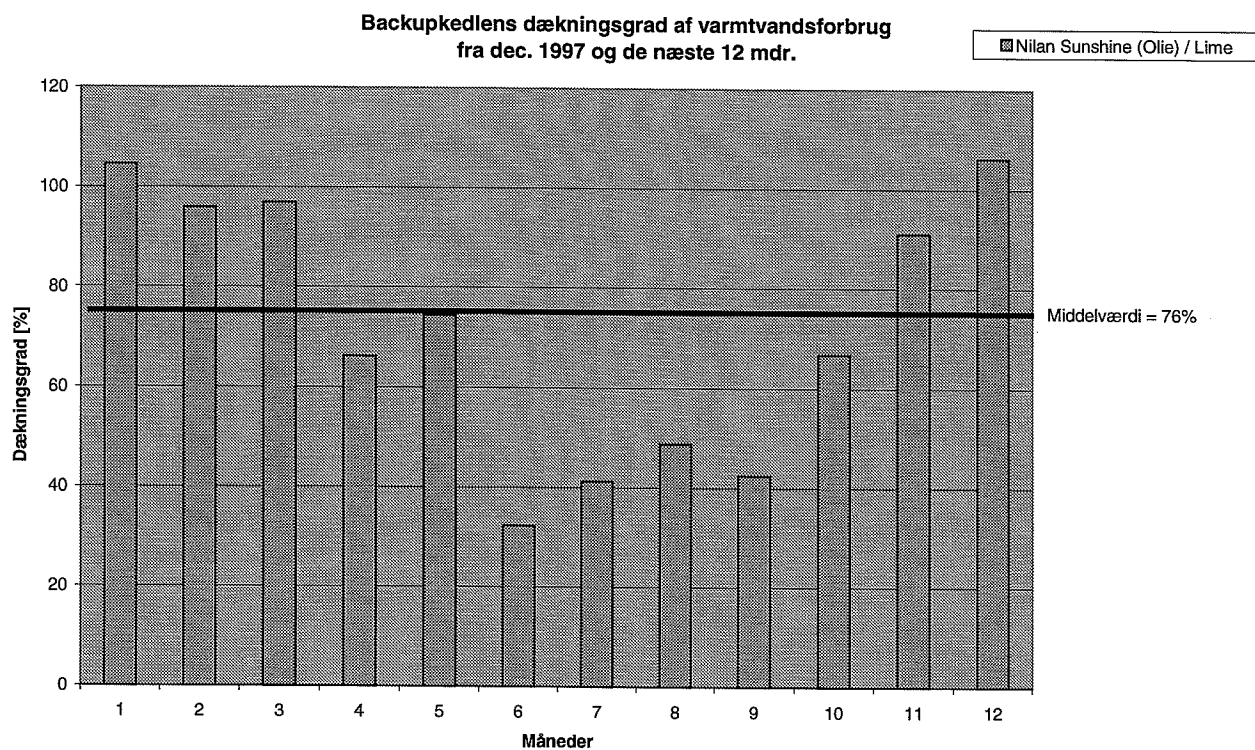
Set i forhold til ovennævnte ønske om en middeldækningsgrad for backup kedlen på 40% er de aktuelle installationers niveauer tilsyneladende for høje.

Dette skyldes til dels, at varmetabet fra akkumuleringsstankene indgår i målingerne af kedelydelser til akkumuleringsstanken og dermed i beregningen af backup kedlens dækningsgrad. Hvis dækningsgraden blev korrigeret for dette varmetab, ville den beregnede dækningsgrad være lavere.

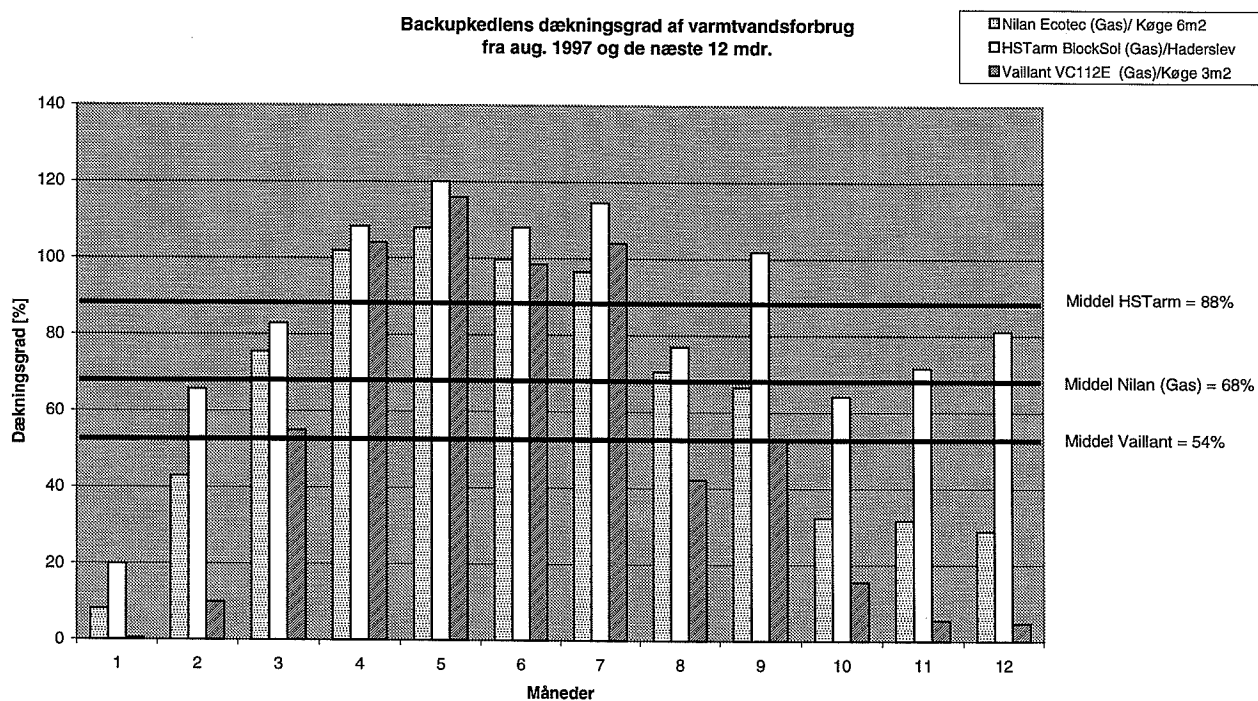
En anden årsag er, at solvarmeanlæggenes ydelser er lave, se afsnit 4.2.

Under normale forhold for sommervarmetildelinger og med korrektion for varmetabet vil middeldækningsgraden ligge i nærheden af de ønskede 40% for Vaillant kedlen og Nilan Ecotec, hvorimod de to andre backup kedler stadig må forventes, at have en høj dækningsgrad.

Som nævnt tidligere bør sommerdækningsgraden for backup kedlen være tilnærmelsesvis nul. Dette er også rigtigt for backup kedler med stort vandindhold og dermed stort tomgangstab. De aktuelle gasfyrede backup kedler har et lille vandindhold og deraf følgende tomgangstab, og derfor kan disse uden problemer bruges som backup kedel i sommerperioden. Oliekedlens vandindhold er noget større, hvorfor kedlens sommerdækningsgrad bør reduceres.



Figur 25. Backup kedlens dækningsgrad af varmtvandsforbruget på installationen i Lime.



Figur 26. Backup kedlens dækningsgrad af varmtvandsforbruget på gasinstallationerne.

4.3.3 Vurdering af backup kedlernes effektivitet

En kedels effektivitet hen over året er afgørende for boligens gasforbrug, og dermed indikerer den boligens bidrag til drivhuseffekten. I nærværende afsnit vurderes det, om kedelevirksomheden under praktiske forhold påvirkes af samspillet mellem solfangeren, akkumuleringskøle og radiatorinstallationen.

Olie- og gaskedlernes effektivitetsniveau afhænger i første omgang af konstruktionen og forbrændingsprincippet. Er det fx en kondenserende gaskedel, er det teoretiske effektivitetsniveau højere end det niveau, en traditionel gaskedel kan opnå. Ifølge [27] kan årsnyttevirkningen varieres fra 70% for en dårlig kedel til over 100% for en god kondenserende gaskedel. Hertil kommer, at effektiviteten også afhænger af samspillet med den aktuelle installation. Erfaringen viser, at de kondenserende gaskedler er mest følsomme over for dårligt samspil med den aktuelle installation.

Variationen i boligens varmebehov hen over året er også en parameter med mærkbar indflydelse på den opnåede effektivitet. Det betyder generelt, at sommereffektiviteten er relativt lav, og vintereffektiviteten er relativt høj. Ifølge [27] ligger variationen for oliekedlernes nyttevirkning på op til 20%. Det samme gælder for gaskedler, se tabel 11.

Laboratorieoplysninger

Som reference for vurdering af kedelevirksomheden for de aktuelle installationer benyttes tilgængelige laboratiormålinger for de enkelte kedler (ikke indbygget i units) ved rumvarmebehov på hhv. 10., 20. og 30.000 kWh/år, samt en sommernyttevirkningsgrad. Med henblik på senere behandling af middelnyttevirkningen for installationerne er den aktuelle årsnyttevirkning beregnet. Laboratorietallene fremgår af tabel 11.

Laboratorieårsnyttevirkning	Årsnyttevirkning 10.000 kWh/år [%]	Årsnyttevirkning 20.000 kWh/år [%]	Årsnyttevirkning 30.000 kWh/år [%]	Sommervirkningsgrad [%]	Aktuel årsnyttevirkning ³⁾ [%]
Backupkedlen					
Nilan Sunshine - Tasso MS 20 oliekedel ¹⁾ /Lime	80,6	85,3	86,9	-	83,5
Nilan Ecotec - Vaillant Ecotec VC 106 EU gaskedel ²⁾ /Køge 6.00 m ²	100,8	99,5	-	87,9	100,0
HS Tarm BlockSol - Baxi PF 50 Gaskedel ²⁾ /Haderslev	89,9	90,0	90,1	69,7	89,9
Vaillant 112E / Danlager Vaillant 112E Gaskedel ²⁾ /Køge 3,00 m ²	80,1	83,3	-	66,6	80,8

¹⁾ Gaskedlens årsnyttevirkning er bestemt ved en kedeltemperatur på 55°C

²⁾ Gaskedlernes årsnyttevirkning er bestemt ved et dimensionerende temperatursæt for radiatoranlæg på 60/80°C i DGC's laboratorium

³⁾ Årsnyttevirkning for backup kedlen ved installationens aktuelle rumvarmebehov bestemt ved interpolation eller ekstrapolation

Tabel 11. Laboratorieårsnyttevirkning for de anvendte naturgaskedler og det anvendte oliefyr.

Årsnyttevirkningstallene for Nilan Sunshine unitten er karakteriseret ved, at backup kedlen er af typen TASSO MS 20 for olie, hvor den indfyrede kedelevirksomhed er 20 kW. Yderligere oplysninger ses i Bilag 1.

Nilan Ecotec unitten har indbygget en kondenserende backup kedel af typen Vaillant Ecotec VC 106 EU for gas, hvor kedeltypen er modulerende mellem 5,8 – 13,0 kW. Kedlen går også under navnet Vaillant Thermoblock 106 EU HL. Yderligere oplysninger findes i [28].

HS Tarm BlockSol unitten har indbygget en backup kedel af typen HS Tarm Baxi PF 50 for gas, med en kedelydelse på 14,5 kW [28].

I Vaillant VC112E / Danlager systemet er backup kedlen ikke indbygget i en unit med lagertanken. Den er af typen Vaillant VC112E for gas, hvor kedelydelsen kan modulere fra 4,3 kW til 11,0 kW [28].

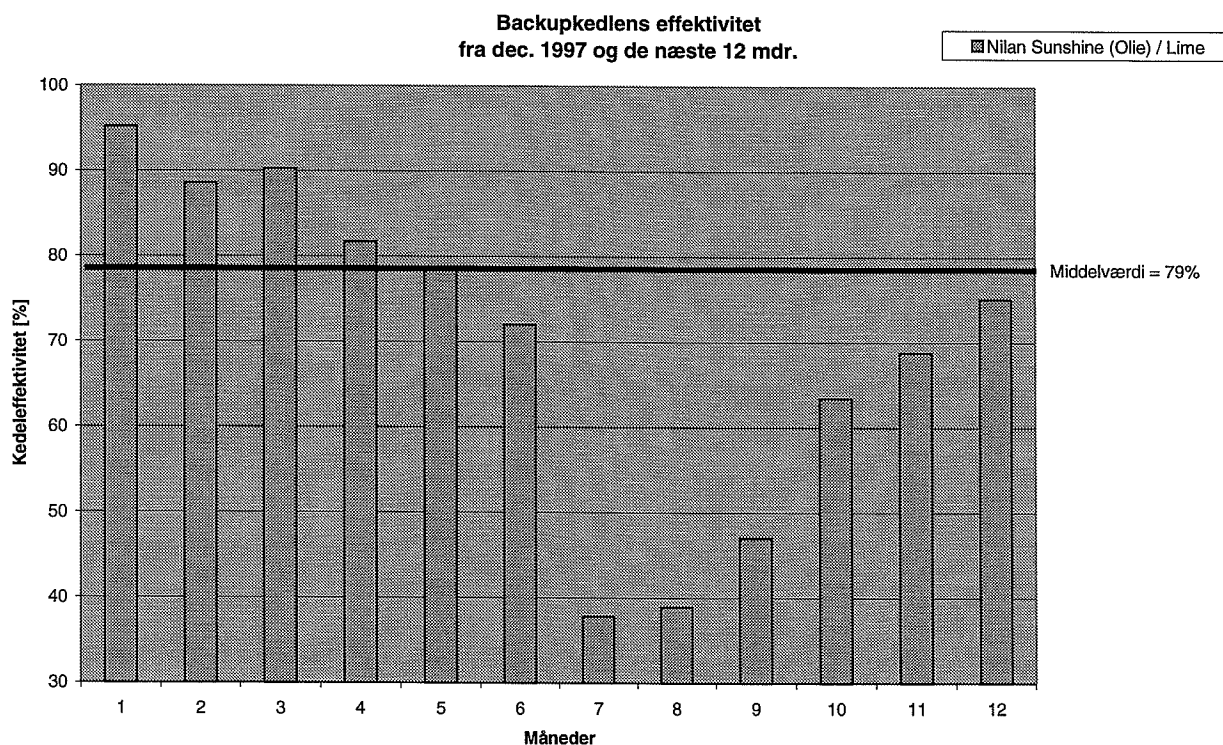
Backup kedlernes effektivitet på de aktuelle installationer

Grundlaget for bestemmelse af kedelevffektiviteten på de enkelte installationer er måling af energiforbrug for kedlerne og energioutput til hhv. rumvarme og varmt brugsvand. Disse kedelevffektiviteter fremgår af stolpediagrammerne i figur 27 og 28.

Diagrammet for olieinstallationen viser, at variationen i effektiviteten er meget stor med et minimum i juli 1998 på under 40% og et maksimum på over 90% i december 1997. Middelværdien over de 12 viste måneder er 79%.

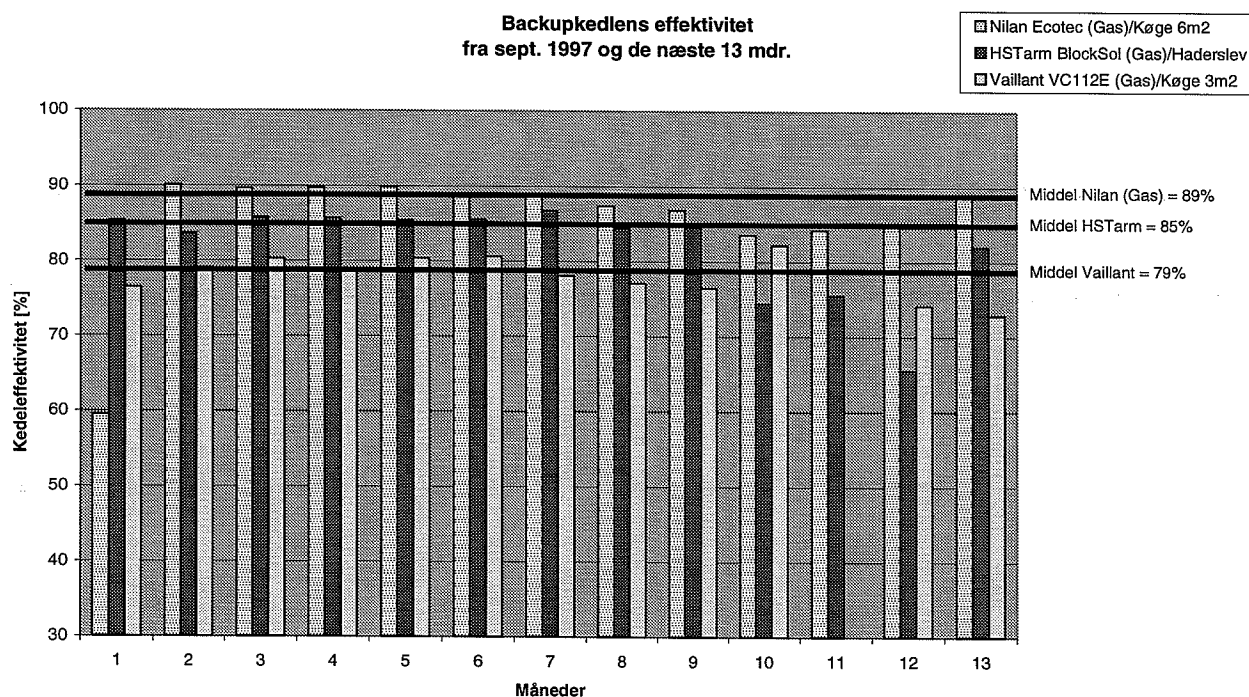
Sammenholdes denne middelværdi med laboratorieårsnyttevirkningen for backup kedlen uden unit ved det aktuelle varmebehov, ligger niveauet ca. 4,5 %-point lavere.

Ændringen hen over de 12 mdr. svarer til det forventede. Effektiviteten er høj i vinterperioden og lav i sommerperioden. Variationen på 50% er dog mere markant end ventet. Årsagen skal findes i det store varmetab fra fyr/topspiral-kredsen, se afsnit 4.2.



Figur 27. Backup kedlens målte effektivitet fordelt på måneder.

Af stolpediagrammet for de gasfyrede installationer ses det at effektiviteten følger samme mønster som målt på oliekedlen. Her er variationen dog ikke så mærkbar.



Figur 28. Backup kedlens målte effektivitet fordelt på måneder.

Nilan Ecotec's effektivitet varierer fra 60% i september 1997 til 90% i oktober 1997, og middelværdien over de 13 viste måneder er på 89%. Dette er tilsyneladende en stor variation, men betragtes effektiviteten for september 1997 og sammenlignes med de øvrige måneders målinger, så adskiller den sig klart. Årsagen til dette er ikke afklaret.

Ses denne middelværdi i sammenhæng med laboratorieårsnyttevirkningen for kedlen uden unit ved det aktuelle varmebehov, ligger niveauet 11 %-point lavere.

Årsagen til variationen kan dels skyldes dårlig isolering af kedlen i forbindelse med unitdesign, dels det faktum at kedlen er kondenserende og dermed relativt følsom over for variationer i returtemperaturen fra akkumuleringsstanken og radiatorsystemet.

Effektiviteten for HS Tarm kedlen varierer fra 66% i august 1998 til 87% i marts 1998 (variation på 21 %-point). Middelværdien over de 13 viste måneder er 85%.

I forhold til laboratorieårsnyttevirkningen ligger niveauet ca. 5 %-point under. Faldet er forventeligt, jævnfør førnævnte argumentation om, at samspillet med den aktuelle installation har effekt på effektivitetsniveauet. Kedlen her er ikke kondenserende, og derfor er følsomheden over for samspil med akkumuleringsstank og radiatorsystem ikke så markant, som det er påvist for Nilan Ecotec installationen.

Den lave middeleffektivitet i august 1998 stemmer godt overens med den sommernyttevirkning, der er bestemt i laboratoriet.

På denne baggrund må det siges, at kedelevffektiviteten er tilfredsstillende, hvilket også svarer til konklusionerne i laboratorieafprøvninger af unitten [1].

Vaillant VC112E installationen har en middelevffektivitet, der varierer fra 73% i september 1998 til 82% i juni 1998 (variation på 9 %-point). Middelevffektiviteten over de viste 13 måneder er 79%.

Ved sammenligning med laboratoriemålingerne for kedlen ses det, at middelevffektiviteten kun er ca. 2 %-point lavere, hvilket er tilfredsstillende. Hertil kommer, at sommernyttevirkningen i praksis er højere end den, der er opnået i laboratoriet.

Samlet set har indbygning af kedlerne i units ikke forbedret kedelevffektiviteten.

Installation og drift af unitløsningerne har ej heller medført et fald i kedelevffektiviteten større end det, der normalt kan ventes for konventionelle kedler i forbindelse med installation på eksisterende varmeanlæg.

Vaillant kedlen adskiller sig ved, at den tilsyneladende er mindst følsom over for den praktiske anvendelse. Det skyldes nok, at den i modsætning til de andre kedler ikke er opbygget som en unit. Isolering af kabinettet er således ikke ændret i forhold til laboratorietesten.

5. Videreudvikling af units

De gennemførte undersøgelser viste at:

- Unitudformningen har afgørende betydning for solvarmeanlæggets ydelse og størrelsen af energibesparelsen.
- Der er et stort behov for at videreudvikle de undersøgte naturgaskedel/solbeholder- og olie-fyr/solbeholder-units.

På basis af de i kapitel 4 omtalte undersøgelser og [1], [2] og [3] kan følgende designregler for units opstilles:

- kedel/topspiral kredsen forsynes med effektive varmfælder for at reducere solbeholderens varmetab – forårsaget af selvcirkulerende vand i rørene - mest muligt. Altså bør rørene til og fra topspiralen umiddelbart uden for beholderen føres nedad før de føres op til kedlen.
- kedel/topspiral kredsen forsynes med en ventil som forhindrer selvcirkulation.
- kedel/topspiral kredsen og solfangerkredsen bør forsynes med en god isolering for at reducere varmetabet mest muligt.
- topspiralen skal være tilstrækkelig stor, se designreglerne i [18].
- vandindholdet i kedel/topspiral kredsen reduceres mest muligt.
- flowet igennem topspiralen skal være tilstrækkeligt højt, ca. 10 l/min.
- beholdertermostatens temperaturføler placeres ud for midten af topspiralen.
- styresystemet bør sikre at toppen af varmtvandsbeholderen ikke opvarmes til et unødvendigt højt temperaturniveau af kedlen. Kedlen bør stoppe opvarmningen når temperaturen i toppen af tanken er ca. 50°C.
- kedel/topspiralens cirkulationspumpe bør have en efterkøringstid efter at brænderen er stoppet på ca. 25-30 sekunder pr. l vand i kedel/topspiral kredsen.
- solbeholderens koldtvandsindløb bør udformes så der ikke skabes omrøring i beholderen under varmtvandstapning – selv ikke når tappeflowet er højt, ca. 20 l/min. Det sikres ved at udforme indløbet så det kolde vand, som tilføres bunden af beholderen, føres vandret ind i beholderen med så lille en hastighed som muligt.
- det varme vand skal tappes fra toppen af solbeholderen. Hvis vandet tappes via et tapperør placeret inde i beholderen må det sikres at røret når helt op til toppen af beholderen.
- kedel/fyr forsynes med en god isolering.

6 Konklusion

Der blev gennemført målinger i praksis på fire små solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. To af anlæggene er baseret på nyudviklede naturgaskedel/solbeholder-units, et anlæg er baseret på en nyudviklet oliefyr/solbeholder-unit og et anlæg er traditionelt udformet med væghængt naturgaskedel.

Tre vigtige nøgletal er solvarmeanlæggets nettoydelse (bestemt som den fra soltanken tappede energimængde minus den til soltanken tilførte energimængde fra backupkedlen), solvarmeanlæggets dækningsgrad (forholdet mellem nettoydelsen og den tappede energimængde fra soltanken) og backupkedlens energiudnyttelse (andel af den indfyrede energi der udnyttes til opvarmning).

I 1998 har de 4 anlæg præsteret følgende:

Nettoydelserne for de tre anlæg baseret på de nye units var placeret i intervallet 110 kWh-1110 kWh, svarende til 40-180 kWh pr. m² solfanger. Solvarmeanlæggenes dækningsgrader var beliggende i intervallet 5%-28%, mens backupkedlernes energiudnyttelse var beliggende i intervallet 79%-90%.

Nettoydelserne for det traditionelt udformede anlæg har været 470 kWh svarende til 160 kWh/m² solfanger. Solvarmeanlæggets dækningsgrad var 39% og backupkedlens energiudnyttelse var 79%.

Små solvarmeanlægs energibesparelser afhænger først og fremmest af backupkedlens energiudnyttelse før og efter solvarmeanlæggets installation. Da backupkedlernes energiudnyttelse ikke er målt før installationen af solvarmeanlæggene kendes energibesparelserne ikke nøjagtigt.

Målingerne viste at solvarmeanlæggene baseret på de nye units yder mindre end traditionelt udformede solvarmeanlæg, og at energibesparelsen er mindre for solvarmeanlæggene baseret på de nye units end for de traditionelt udformede solvarmeanlæg. Det betyder at backupkedlen må dække en relativ stor andel af varmtvandsbehovet.

Undersøgelserne, som altså viste at der er et stort behov for at forbedre udformningerne af de forskellige units, resulterede i en række designregler for naturgaskedel/solbeholder-units og oliefyr/solbeholder-units.

Det kan derfor stærkt anbefales at iværksætte udviklingsarbejde med det formål at forbedre udformningen af de markedsførte units. Når dette arbejde er gennemført bør det i praksis være muligt at opnå alle de potentielle fordele, som er knyttet til anvendelsen af naturgaskedel/solbeholder-units og oliefyr/solbeholder-units:

- Billiggørelse af solvarmeanlægget på grund af lettere installation og fordi der ikke er indbygget elpaton i solbeholderen.
- Mindre pladskrav til naturgaskedel/oliefyr og solbeholder.
- Større solvarmeydelse på grund af mindre varmetab fra solbeholder og bedre styring af varmetilførsel fra naturgaskedel/oliefyr til solbeholder.
- Større energibesparelse på grund af mindre varmetab fra solbeholder, naturgaskedel/oliefyr og kedel/topspiral kreds samt bedre styring af varmetilførsel fra naturgaskedel/oliefyr til solbeholder.

Summary

Manufacturers have during the last few years started marketing of newly developed natural gas burner/solar tank- and oil fired boiler/solar tank-units.

These units make it possible to reduce the costs of solar heating systems, because an electric heating element is not built into the solar tank and because the installation is easier.

Further, the use of well designed units in stead of traditional solar tanks can result in increased thermal performance of the solar heating systems and in increased energy savings, since the use of a unit can result in reduced heat loss from the solar tank, from the pipes connecting the natural gas burner/oil fired boiler and the top spiral of the solar tank and from the natural gas burner/oil fired boiler. Furthermore, the unit with a fixed design of the natural gas burner/oil fired boiler – top spiral loop open up the possibility of an optimum control of the natural gas burner/oil fired boiler and of the circulation pump of the loop so that the heat left in the loop outside the solar tank after every period of operation is reduced to a minimum.

Measurements have been carried out in practice for three solar heating systems based on the new units. Additional measurements have been carried out for a traditional solar heating system based on a separate solar tank and a separate natural gas burner.

The measurements showed that the thermal performance and the energy savings for the solar heating systems based on the new units are smaller than the thermal performance and the energy savings for the traditional designed solar heating systems.

That is: The investigations showed that there is a large need to improve the design of the units. The following design rules should be obeyed by redesigning the units:

- the burner/top spiral-loop **must** be equipped with efficient heat traps in order to reduce the heat loss from the top of the tank to a minimum. This heat loss is caused by water thermosyphoning inside the pipes. That is: The pipes to and from the top spiral **must** just outside the solar tank go downwards before the pipes are connected to the burner/boiler, which is located above the solar tank.
- the burner/top spiral loop **must** be equipped with a valve preventing thermosyphoning in the loop.
- the burner/top spiral-loop and the solar collector loop should be well insulated in order to reduce the heat loss as much as possible.
- the top spiral must be sufficiently large, see the design rules in [18].
- the water volume in the burner/top spiral-loop should be reduced as much as possible.
- the volume flow rate through the top spiral should be sufficiently large, about 10 l/min.
- the temperature sensor of the thermostate of the solar tank should be located outside the middle of the top spiral.
- the control system should ensure that the top of the solar tank is not heated to a too high temperature level by the burner/boiler. The burner/boiler should stop the heating when the temperature in the top of the tank is about 50°C.
- the circulation pump in the burner/top spiral-loop should be in operation about 25-30 sec. pr. l water in the burner/top spiral-loop after the end of the operation period of the burner.
- the solar tank's inlet for the cold water should be designed in such a way that mixing don't occur during hot water tappings, not even if the volume flow rate during the tapping is high, about 20 l/min. That is: The cold water should enter the bottom of the tank horizontally with as low a velocity as possible.

- hot water should be tapped from the very top of the solar tank. If the water is tapped through a pipe inside the tank it should be ensured that the pipe goes to the very top of the tank.

Based on the investigations it is strongly recommended to start development work with the aim to improve the design of the marketed units.

REFERENCER

- [1] "Prøvning af naturgaskedel/solbeholder-unit for HS Tarm A/S". Simon Furbo, Institut for Bygninger og Energi, DTU. Rapport nr. 96-04, februar 1996.
- [2] "Prøvning af naturgaskedel/solbeholder-unit for Nilan A/S". Simon Furbo, Institut for Bygninger og Energi, DTU. Sagsrapport SR-9710, april 1997.
- [3] "Prøvning af oliefyr/solbeholder-unit for Nilan A/S". Simon Furbo, Institut for Bygninger og Energi, DTU. Rapport nr.96-01, januar 1996.
- [4] "Prøvningsrapport D 3078. Beholderprøvning. HS Kedler-Tarm A/S, Block Gas Sol". William Otto og Inge-Lise Clausen. Prøvestationen for Solenergi, DTI, september 1996.
- [5] "Prøvningsrapport D3076. Beholderprøvning. Nilan A/S, Nilan Sunshine". William Otto og Inge-Lise Clausen. Prøvestationen for Solenergi, DTI, februar 1997.
- [6] "Prøvningsrapport D3070. Beholderprøvning. Nilan A/S, Danlager 2000". William Otto og Inge-Lise Clausen. Prøvestationen for Solenergi, DTI, april 1996.
- [7] "Prøvningsrapport D2117 A. Måling af solfangereffektivitet. Batec A/S. BA30". Miroslav Bosanac og Inge-Lise Clausen. Prøvestationen for Solenergi, DTI, januar 1997.
- [8] "Prøvningsrapport D2127 A. Måling af solfangereffektivitet. Djurs Solvarme I/S. DS-3". Miroslav Bosanac og Inge-Lise Clausen. Prøvestationen for Solenergi, DTI, juni 1997.
- [9] "Prøvningsrapport D2121 A. Måling af solfangereffektivitet. Solahart Scandinavia ApS. Solahart K". Miroslav Bosanac og Inge-Lise Clausen. Prøvestationen for Solenergi, DTI, januar 1997.
- [10] "European Simplified Methods for Active Solar System Design". B. Bourges, Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [11] "Højtydne solvarmeanlæg med små volumenstrømme. Teoretiske undersøgelser". Peter Berg, Laboratoriet for Varmeisolering. Meddelelse nr. 209, marts 1990.
- [12] "Optimisation of mantle tanks for low flow solar heating systems". Louise J. Shah og Simon Furbo, Institut for Bygninger og Energi, DTU. Fra EuroSun '96. 10 Internationales Sonnenforum, Proceedings.
- [13] "To solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En beskrivelse og vurdering efter 4 måneders drift af anlæggene". Klaus Ellehauge, Leif Sønderskov Jørgensen, Mads Lange, Svend Erik Mikkelsen, Carsten Nielsen, Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 104, december 1980.
- [14] "Solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En udredning baseret på et års målinger på to anlæg". Klaus Ellehauge, Leif Sønderskov Jørgensen, Mads Lange, Svend Erik Mikkelsen, Carsten Nielsen, Laboratoriet for Varmeisolering, DTU. Meddelelse nr. 114, september 1981.
- [15] "Thermal performance of small solar domestic hot water systems in theory, in the laboratory and in practice". Elsa Andersen. Institut for Bygninger og Energi, DTU. Paper fra EuroSun '98 Congress i Slovenien, September 1998.
- [16] "Simple characterisation of solar DHW tanks. Status report August 1998". Elsa Andersen og Simon Furbo, Institut for Bygninger og Energi, DTU. Sagsrapport SR-9817, august 1998.

- [17] "Mixing during draw-off in tanks for small SDHW systems. Proposal for maximum acceptable mixing". Elsa Andersen og Simon Furbo. Institut for Bygninger og Energi, DTU. Sagsrapport SR-9824, november 1998.
- [18] "Varmtvandsbeholdere til solvarmeanlæg". Simon Furbo, Laboratoriet for Varveisolering, DTU og Søren Østergaard Jensen, Prøvestationen for Solenergi, DTI. Meddelelse nr. 276, juni 1995.
- [19] "Ydelser og erfaringer fra 9 små low flow solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning". Simon Furbo, Laboratoriet for Varveisolering, DTH. Meddelelse nr. 224, januar 1992.
- [20] "Solskin kan man altid finde..... En rapport om solvarmeanlæg til elvarmekunder". De 13 Elforsyninger. Marts 1994.
- [21] "Ydelsesstatistik for mindre brugsvandsanlæg – erfaringer fra det første års målinger". William Otto, Jan Erik Nielsen, Inge-Lise Clausen. Prøvestationen for Solenergi, DTI. Februar 1993.
- [22] "Ydelsesstatistik for mindre brugsvandsanlæg – erfaringer fra det andet års målinger. Sjælland". William Otto og Jan Erik Nielsen. Prøvestationen for Solenergi, DTI. Januar 1994.
- [23] "Ydelsesstatistik for mindre brugsvandsanlæg – erfaringer fra det første års målinger. Jylland/Fyn". William Otto og Jan Erik Nielsen. Prøvestationen for Solenergi, DTI. Januar 1994.
- [24] "Ydelsesstatistik for mindre brugsvandsanlæg – erfaringer fra andet års målinger. Jylland/Fyn". William Otto og Jan Erik Nielsen. Prøvestationen for Solenergi, DTI. Januar 1995.
- [25] "Ydelsesstatistik for mindre brugsvandsanlæg – erfaringer fra det tredje års målinger 1994". William Otto, Jan Erik Nielsen og Trine Dalsgaard Jacobsen. Prøvestationen for Solenergi, DTI. Januar 1996.
- [26] "Ydelsesstatistik for mindre brugsvandsanlæg – erfaringer fra det femte års målinger 1996". William Otto, Jan Erik Nielsen og Trine Dalsgaard Jacobsen. Prøvestationen for Solenergi, DTI. Marts 1997.
- [27] "Varmeståbi". Teknisk forlag, 2 udgave, 1992.
- [28] "GASPRO 4.0". Dansk Gasteknisk Center a/s, 1998.

BILAG 1. LABORTORIEOPLYSNINGER FOR TASSO MS20



Sel/gss malingen

FILE COPY

Dansk Gasteknisk Center A/S			
ARKIV			
DATO: 16 DEC.1998			
ANSV.	KOPI	CIRK.	
KUF			

Modtager/To

Telefax nr./Telefax No.

45764850

Firmanavn/Firm

DGC

Attention

K. Frederiksen

Sidetæl incl. denne/Number of pages incl. this

27

Afsender/From

Afdeling/Department

ENERGI/TAASTRUP

Telefax nr./Telefax No.

(+45) 43 50 72 22

Dato/Date

98/12/15

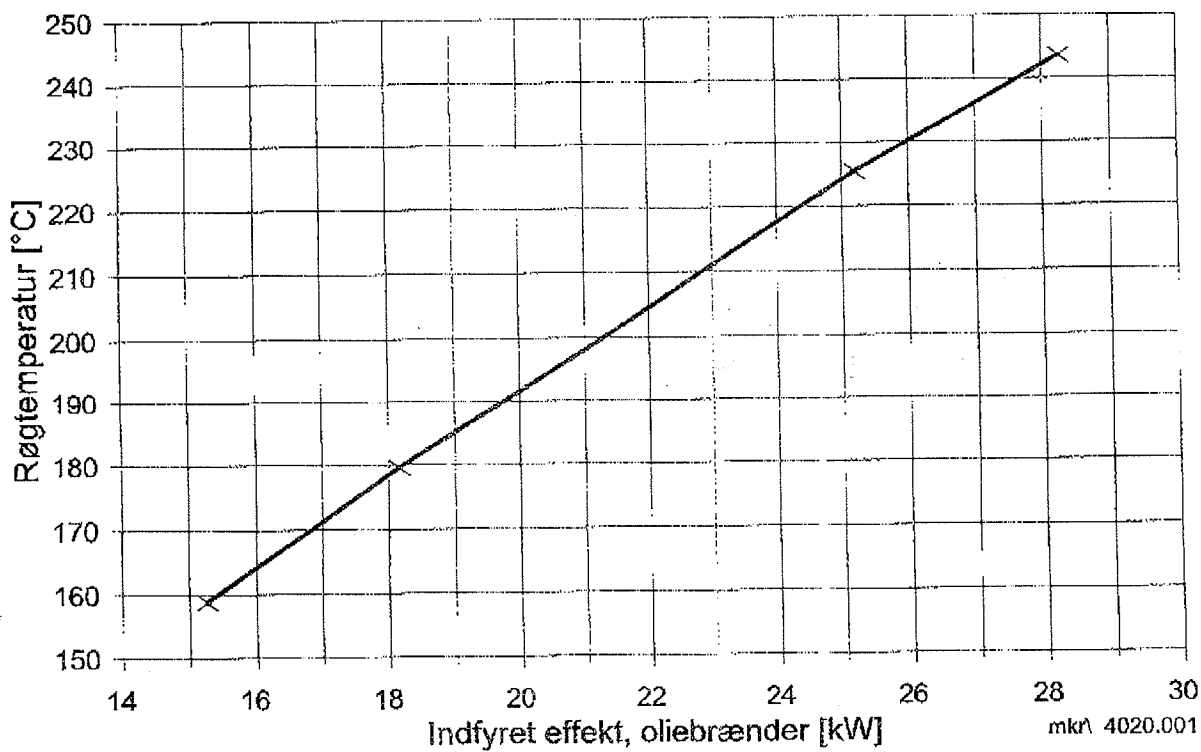
Meddelelse/Information

Sen AFDAGT

M. C. Rasmussen

TASSO MS 20 SOLO

Røgtemperatur afh. af indfyret effekt



Ark1

20 kW kedel - 190°C røg - 220 W i tomgangstab og 300 W i lågetab.									
Gæet virkningsgrad			0.86	0.86	0.86				
Årsforbrug i kWh, net			10000	20000	30000				
Drifttallet			621	1173	1725				20
Røgtab			992	1874	2757				12.5
Kedeltemperatur			55	55	55				190
Varmetab vandkølede gennemtrækstab			1234	1234	1234				0.22
Lågetab			0	0	0				0
			186	352	518				1.5
Korr. årsforbrug, net			10000	20000	30000				
Korr. årsforbrug, brut			12412	23460	34509				
Årsvirkningsgrad			0.806	0.853	0.869				
NYTTIGGJORT TABSVARME: 50% AF VARMETAB FRA VANDKØLEDE DELE OG LÅGETAB.									
Udnyttet varmetab									
korr. netto			10710	20793	30876				
Korr. årsv.			0.863	0.886	0.895				

TA SSO

Væsentlige hovedregler for et tabsmæssigt optimalt design er:

- a) så lille kedelkrop som muligt, idet tabet er direkte proportionalt med overfladen
- b) så små ikke vandkølede overflader som muligt, da disse opnår meget høje temperaturer, der er besværlige og dyre at isolere
- c) ingen eller få kuldebroer
- c) så lav driftstemperatur som muligt
- e) endelig kan der herefter vælges et optimalt isoleringsmateriale med behørig hensyntagen til pris/tydelsesforholdet.

Når den konstruktive optimering under punkt a) til d) er foretaget, kan isoleringen af kedlen påbegyndes.

3.3.1 Isolering af kedler

I det følgende er beskrevet en trin for trin optimering af isoleringen af en af projektets kedler.

Der tages udgangspunkt i projektets mindste kedel, der yder 14-15 kW. Tabet fra kedlen skal reduceres 140-150 W for at hæve virkningsgraden 1%. En optimering af tabet fra kedelkroppen slår især igennem på årsvirkningsgraden, hvor virkningsgraden vil hæves med meget mere end 1%. Se afsnit 3.4 herom.

Af tabel 3.2 fremgår resultatet af det gennemførte isoleringsprojekt.

Tabet fra kedlen er målt ved at cirkulere elektrisk opvarmet vand igennem kedlen. Metoden giver "tomgangstab". Metoden medtager ikke gennemtrækstab og det øgede tab fra "ikke vandkølede dele", der under brænderdrift opvarmes yderligere.

Model	Isoleringsstand	Tab ved Δt 30 K	Tab ved Δt 50 K	Ændring ved 50 K	Relativt tab
Trin 1	30 mm lamelmåtte alu-beklædt - tilpasser sig ikke kedelkrop.	118 W	213 W		100%
Trin 2	80 mm lavdensitets-mineraluld - god tilpasning til kedelkrop.	95 W	163 W	50 W	77%
Trin 3	Kabinet opskummet med polyurethan. Bærende sokkel i pur-skum. 200 mm isolering på kedeltop.	65 W	112 W	51 W	53%
Trin 4	60 mm mineraluld på front 30 mm bag brænder	(45 W) ¹⁾	69 W	33 W	33%

1) Estimat

P. TALSO