

ELSA ANDERSEN

INTELLIGENTE SOLVARMEANLÆG
med oliefyr eller gaskedel som
backupenergi

Sagsrapport
BYG·DTU SR-01-09
2001
ISSN 1396-402x

Forord

Rapporten beskriver undersøgelser af intelligente solvarmeanlæg med oliefyr eller naturgaskedel som supplerende energikilde.

Projektet, som er gennemført ved BYG.DTU på Danmarks Tekniske Universitet, er finansieret af Energistyrelsens Udviklingsprogram for Vedvarende Energi.

Undersøgelserne er gennemført som en del af projektet ”Dansk-schweizisk forskningssamarbejde vedrørende solvarmeanlæg”, j.nr. 51181/99-0030.

I projektet er forskellige intelligente lagertanke med olie eller gas som supplerende energikilde afprøvet i en prøvestand for lagertanke og solvarmeanlæg baseret på lagertankene er testet side om side med et traditionelt solvarmeanlæg i en prøvestand for solvarmeanlæg.

Denne rapport afslutter delprojektet. Projektet er desuden præsenteret ved Danvakmødet i Helsingør den 22. november 2000 og beskrevet i artiklen ”Intelligente varmtvandsbeholdere – fremtidens tanke til solvarmeanlæg ?” i VVS, nr. 11, udkommet den 19. september 2001.

Indholdsfortegnelse

Forord.....	i
Indholdsfortegnelse	ii
1 Indledning	1
2 Beskrivelse af lagertankene	5
3 Temperaturlagdelingen i lagertankene	8
3.1.1 Kommentarer til opvarmningsforsøg med lagertank 1	12
3.1.2 Kommentarer til opvarmningsforsøg med lagertank 2	17
3.2 Sammenfatning af opvarmningsforsøgene med lagertank 1 og 2	18
3.2.1 Sammenligning med tidligere udførte forsøg.....	20
4 Prøvning af solvarmeanlæggene i prøvestand.....	21
4.1 Måleudstyr	22
4.2 Prøvningsbetingelser	23
4.3 Måleperiode.....	23
4.4 Måleresultater.....	24
5 Beregninger	40
5.1 Beregningsgrundlag	40
5.2 Variation af tappemønster og varmtvandsforbrug	42
5.3 Volumenstrømmen i sidearmen	49
5.4 Kuldebro i forbindelse med sidearmens tilslutning til lagertank	52
5.5 Kappenhøjden	56
5.6 Opvarmningen sker for tidligt i forhold til tapningen.....	63
5.7 Der etableres større energimængder i lagertanken end der tappes fra lagertanken.....	68
6 Andre udformninger af intelligente solvarmeanlæg.....	72
7 Konklusion	74
Referencer	76

1 Indledning

Denne rapport beskriver undersøgelser af intelligente solvarmeanlæg der anvender oliefyr eller naturgaskedel som backupenergi.

Begrebet "Intelligente Solvarmeanlæg" dækker over solvarmeanlæg hvor den supplerende energikilde styres på en intelligent måde. Styresystemet til den supplerende energikilde består af en timerstyring og en styring efter energiindholdet i lagertanken. Ved hjælp af temperaturfølere anbragt i hele den del af lagertanken der opvarmes af den supplerende energikilde, registreres energiindholdet i lagertanken. Temperaturen af en vilkårlig føler skal være større end 50°C før energien af det vandvolumen som føleren repræsenterer medregnes i det samlede energiindhold i lagertanken. Kun når timeren er aktiv kan der sker opvarmning af vandet i lagertanken. Opvarmningen af vandet i lagertanken foregår fra toppen af tanken og det er på den måde muligt at opvarme både små og store volumener.

Det er forbrugerne selv der indstiller styresystemet, dvs. forventet tappetidspunkt samt ønsket energiindhold i lagertanken og det gøres ud fra deres eget forventede forbrugsmønster.

De forventede fordele ved anvendelsen af intelligente solvarmeanlæg frem for traditionelle solvarmeanlæg er:

1. Reduceret supplerende energiforbrug, fordi der kun tilføres den mængde supplerende energi som der er behov for umiddelbart før forventet tapning.
2. Reduceret varmetab fra lagertanken, fordi det supplerende volumen i toppen af lagertanken ikke konstant er opvarmet til et højt temperaturniveau.
3. Rigtig god temperaturlagdeling i lagertanken og dermed forøget solfangerydelse, fordi opvarmningen af vandet i lagertanken foregår fra toppen af lagertanken således at den del af lagertanken der er forbeholdt solfangeren, er så upåvirket af opvarmningen i toppen af lagertanken som muligt.

Figur 1-1 viser de undersøgte lagertanke med oliefyr eller naturgaskedel som backupenergi samt en traditionel lagertank. Tabel 1-1 viser karakteristika for de afprøvede lagertanke og Tabel 1-2 viser karakteristika for de afprøvede solvarmeanlæg baseret på lagertankene.

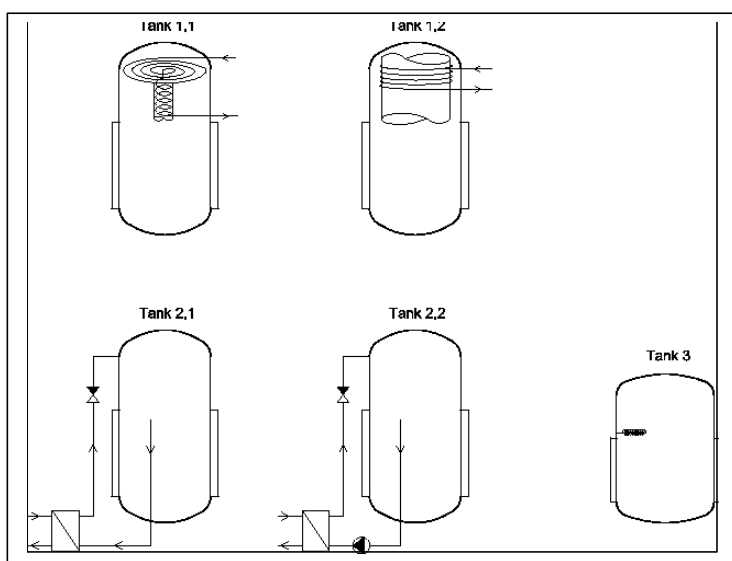
I et tidligere projekt er udviklingen og afprøvningen af forskellige udformninger af intelligente solvarmeanlæg der anvender elektricitet som backupenergi foretaget /1/. Figur 1-2 viser de tidligere afprøvede lagertanke med den supplerende energi baseret på elektricitet.

To af de afprøvede lagertanke i Figur 1-2 udmærker sig i forhold til de resterende lagertanke. Det er de to første lagertanke øverst fra venstre: Den ene med en elpatron indbygget i en sidearm og den anden med en vandret elpatron og en lodret elpatron i et rør. Med disse to lagertanke er det muligt at begrænse størrelsen af det supplerende volumen, som er relevant hvis forbruget er lille, og samtidig opnå en brugbar brugsvandstemperatur i toppen af lagertanken. Den opnåede brugsvandstemperatur er endvidere ikke urimelig høj men begrænser sig til 50° til 60°C hvilket sædvanligvis er det niveau som der varmes op til i toppen af lagertanken i et traditionelt solvarmeanlæg. Dette temperaturniveau er højt nok til de fleste huslige formål så som bad, opvask m.v. og begrænser varmetabet fra vandet i lagertanken i den tidsperiode hvor vandet i lagertanken er opvarmet. Med de

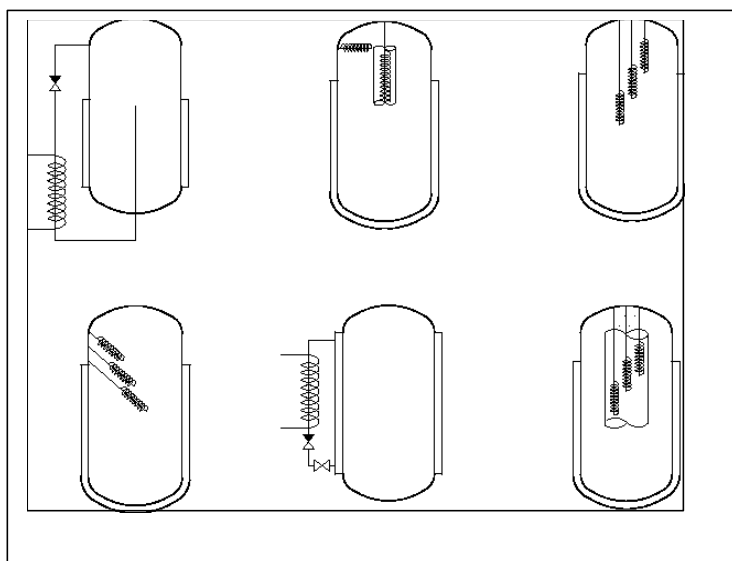
to lagertanke er det største forhold mellem energiindholdet opbygget i lagertanken og tilført energi opnået ved simple opvarmningsforsøg med den supplerende energikilde. Væsentligst er dog, at forholdet er stort i den første del af opvarmningen. Jo længere tid opvarmningen pågår des større bliver det nævnte forhold for alle de afprøvede lagertanke. Det er imidlertid vigtigt at forholdet er stort i hele opvarmningsperioden idet anlægget skal virke godt for store såvel som små forbrug.

Anlægget med to elpatroner: en vandret og en lodret i et plastrør viste dog ved en efterfølgende laborietest hvor tanken indgik i et komplet solvarmeanlæg, at have alvorlige problemer med tilkalkning omkring den lodrette elpatron i plastrøret. Løsningen med et plastrør med lille diameter omkring en lodret elpatron må derfor frarådes.

Lagertankene vist i Figur 1-1 er udformet på baggrund af resultaterne fra den tidligere undersøgelse af intelligente lagertanke som er beskrevet i /1/.



Figur 1-1: Principskitse af de afprøvede lagertanke.



Figur 1-2: Principskitse af lagertankene afprøvet i det tidligere projekt /1/. De to første lagertanke, øverst til venstre, udmærker sig i forhold til de øvrige lagertanke ved høje forhold mellem energiindhold opbygget i lagertanken og tilført energi.

Lagertank	Intelligente lagertanke med varmevekslerspiral i suppleringskredsen		Intelligente lagertanke med suppleringsvarmeveksler i sidearm			Traditionel lagertank med elpatron som suppleringsvarme
	Lagertank 1,1	Lagertank 1,2	Lagertank 2,1	Lagertank 2,2	Lagertank 2,2 med ny sidearm	Lagertank 3
Vægt (tom) [kg]	81,2	81,2	81,2	81,2	81,2	78,6
Beholdervolumen [l]	175	175	175	175	175	175
Kappevolumen [l]	8,6	8,6	33,8	33,8	33,8	6
Beholdervolumen over kappe [l]	81	81	81	81	81	81
Suppleringsvolumen	Varierende	Varierende	Varierende	Varierende	Varierende	70
Effekt fra backup-energi [W]	10000	10000	10000	10000	10000	1200
Beholderhøjde [m]	1,536	1,536	1,536	1,536	1,536	0,967
Indvendig beholder-diameter [m]	0,394	0,394	0,394	0,394	0,394	0,494
Godstykkelse, beholder [m]	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Kappebredde [m]	0,01	0,01	0,037	0,037	0,037	0,0105
Godstykkelse, kappe [m]	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Varmeoverførende areal, kappe [m ²]	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,628
Isoleringstykkelse Top/sider/bund [m/m/m]	0,20/0,05/0,00 (Mineraluld)	0,20/0,05/0,00 (Mineraluld)	0,20/0,05/0,00 (Mineraluld)	0,20/0,05/0,00 (Mineraluld)	0,20/0,05/0,00 (Mineraluld)	0,20/0,05/0,03 (Mineraluld)
Rørdimension sidearm ["] og [mm]	-	-	1¼ (Stålrør)	1¼ (Stålrør)	15/13 (Kobberrør)	-
Rørdimension varmevekslerspiral [mm]	15/13	10/8	-	-	-	-
Længde af varmevekslerspiral [m]	10	10	-	-	-	
Isoleringstykkelse sidearm [m]	-	-	0,050 (Insul tube/Mineraluld)	0,050 (Insul tube/Mineraluld)	0,070 (PUR-skum)	-

Tabel 1-1: Karakteristika for de undersøgte lagertanke .

Anlæg	Intelligent solvarmeanlæg		Traditionelt solvarmeanlæg
	Anlæg 1	Anlæg 2	Anlæg 3
Solfangerfabrikant	Ar-Con Solvarme A/S	Ar-Con Solvarme A/S	Ar-Con Solvarme A/S
Solfangertype	ST	ST	ST
Absorbertype	Serieforbundne Sunstrips	Serieforbundne Sunstrips	Serieforbundne Sunstrips
Solfangervæske	29 % Propylenglykol/vand	25 % Propylenglykol/vand	40 % Propylenglykol/vand
Solfangerareal [m ²]	2,51	2,51	2,51
Lagertanktype	Lagertank 1,1 og lagertank 1,2	Lagertank 2,1, lagertank 2,2 og lagertank 2,2 med ny sidearm	Lagertank 3

Tabel 1-2: Karakteristika for de undersøgte solvarmeanlæg.

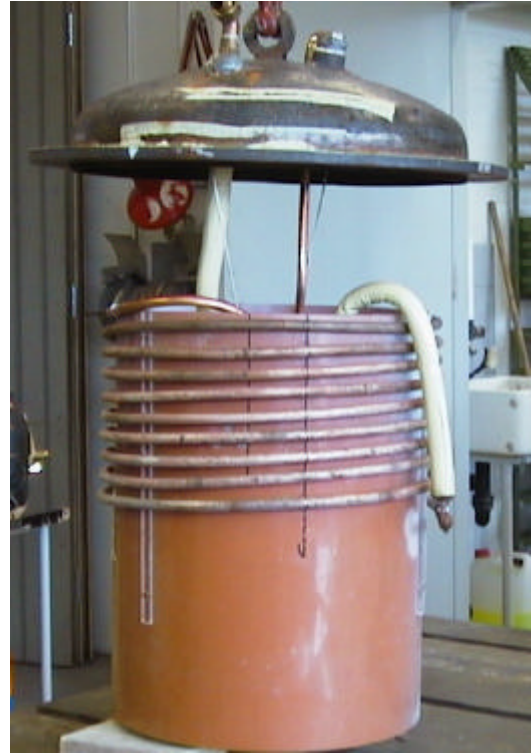
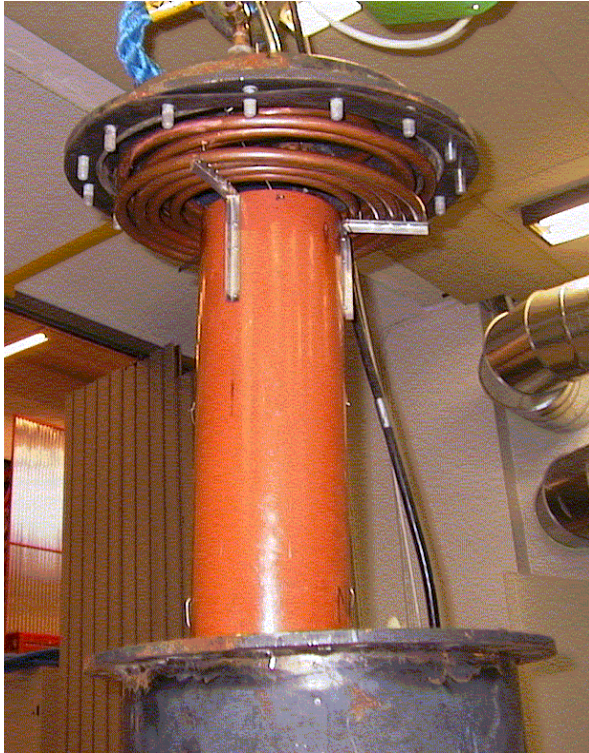
2 Beskrivelse af lagertankene

Lagertankene er alle lodretstående kappetanke.

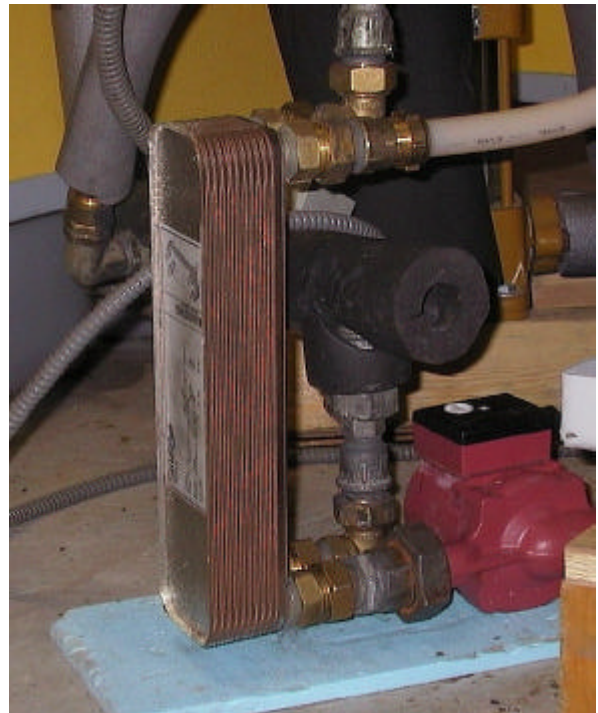
Lagertank 1 testes med to forskellige udformninger af varmevekslerspiralen: spiraludformning 1 og spiraludformning 2. Lagertanken benævnes henholdsvis lagertank 1,1 og lagertank 1,2 jf. Figur 1-1.

Lagertank 2 testes med naturlig og tvungen cirkulation i sidearmen. I forbindelse med naturlig cirkulation i sidearmen er der anvendt en spiral i rør varmeveksler med et lille tryktab mens der ved tvungen cirkulation i sidearmen er anvendt en lille pladevarmeveksler samt en pumpe til at drive flowet i sidearmen. Lagertanken benævnes henholdsvis lagertank 2,1 og lagertank 2,2 jf. Figur 1-1.

Figur 2-1 viser fotos af varmevekslerspiralerne testet i lagertank 1 og Figur 2-2 viser fotos af varmevekslerne testet i lagertank 2.



Figur 2-1: Til venstre ses spiraludformning 1, hvor ca. halvdelen af spiralen befinder sig i det viste plastrør. Til højre ses spiraludformning 2, hvor hele spiralen er snoet omkring den øverste del af et plastrør.



Figur 2-2: Til venstre i figuren ses spiral i rør varmeveksleren benyttet ved forsøgene med naturlig cirkulation i sidearmen. Til højre i figuren ses den kompakte pladevarmeveksler benyttet ved forsøgene med tvungen cirkulation i sidearmen.

Spiraludformning 1 består af en 10 meter lang kobberspiral med dimensionen 15/13 mm. Spiralen er viklet således at den ene halvdel af spiralen befinder sig i den nederste del af et 480 mm langt plastrør med en lysningsdiameter på 150 mm mens den anden halvdel af spiralen befinder sig over plastrøret, jf. billedet til venstre i Figur 2-1. Formålet med at vikle spiralen på denne måde er at opvarme vandet i toppen af tanken først, idet den største del af varmen vil afgives i dette niveau i starten af opvarmningen. Når vandet i toppen af tanken er opvarmet vil en gradvis større del af varmen afgives i den del af spiralen der befinder sig i plastrøret. Når varmen afgives i plastrøret vil der opstå et naturligt drivtryk der får vandet til at cirkulere ind i bunden af plastrøret og ud igen i toppen af beholderen. Det opvarmede vand vil på grund af cirkulationen blive presset nedefter i beholderen udenfor plastrøret. På denne måde er muligt at styre størrelsen af det supplerende volumen.

Spiraludformning 2 består af en 10 meter lang kobberspiral med dimensionen 10/8 mm. Spiralen er viklet omkring den øverste del af et 450 mm langt plastrør med en lysningsdiameter på 300 mm, jf. billedet til højre i Figur 2-1. Formålet med at vikle spiralen på denne måde er ligeledes at opvarme vandet i toppen af beholderen over plastrøret først for derefter at øge det supplerende volumen til det ønskede niveau ved at det opvarmede vand presses nedefter i midten af plastrøret mens det stiger op langs ydersiden af plastrøret.

Spiral i rør varmeveksleren vist til venstre i Figur 2-2 er benyttet ved forsøget med naturlig cirkulation i sidearmen. Varmeveksleren består af et rør som indeholder fire små spiraler. Vandet fra kedlen ledes igennem spiralerne i røret og derefter retur til kedlen. Vandet i sidearmen strømmer igennem røret med de fire spiraler hvorved det opvarmes af vandet fra kedlen.

Spiral i rør varmeveksleren har et lille tryktab og er dermed velegnet til væske kredse med naturlig cirkulation hvor størrelsen af tryktabet er af afgørende betydning for strømmingen. Spiral i rør varmeveksleren er udført i kobber og har et samlet volumen på 6,28 liter.

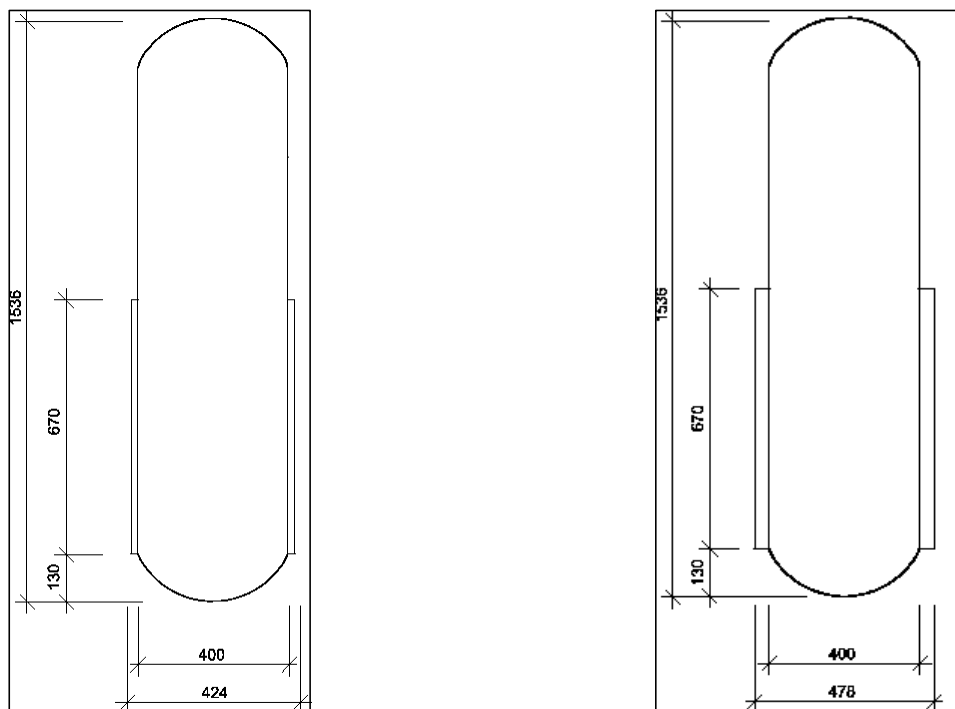
For at begrænse tryktabet i sidearmen, er sidearmen udført med så få bøjninger som muligt og alle bøjninger er udført som strømningsbøjninger. Dimensionen på sidearmen er 1¼".

Anvendelsen af spiral i rør varmeveksleren og store rørdimensioner medfører imidlertid at systemet bliver trægt samtidig med at der ligger en anseelig energimængde tilbage i sidearm og varmeveksler når opvarmningen er slut. Denne energimængde nyttiggøres ikke i tanken, men tabes til omgivelserne i tidsrummet fra den ene opvarmning til den næste.

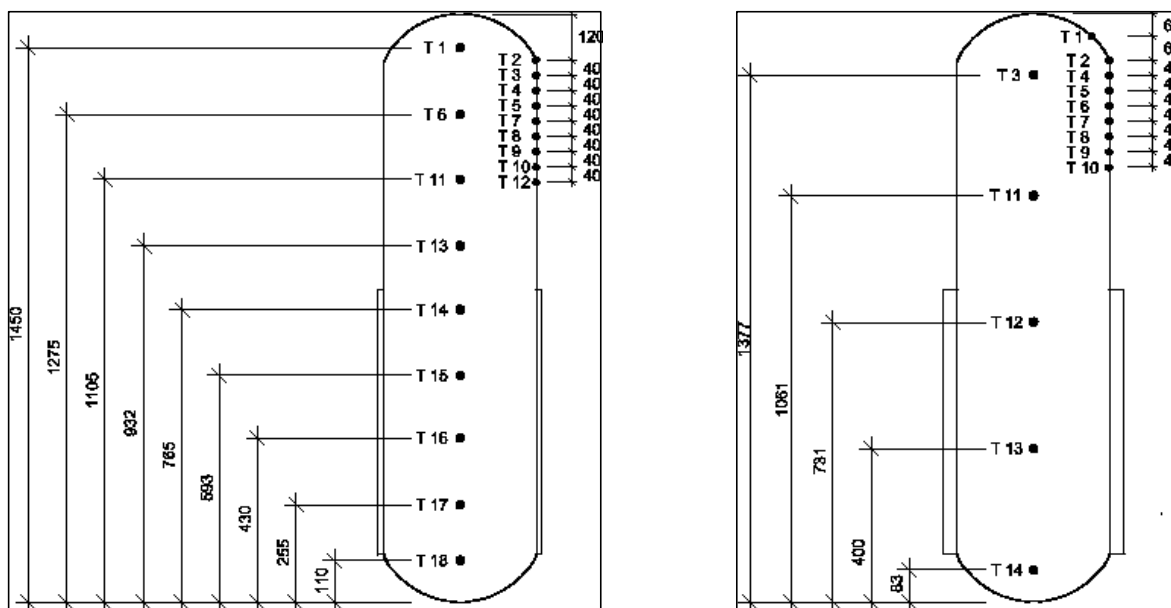
Den kompakte pladevarmeveksler vist til højre i Figur 2-2 er benyttet ved forsøgene med tvungen cirkulation i sidearmen. Varmeveksleren har et volumen på 0,36 liter. Cirkulationen i sidearmen drives af en pumpe (Grundfos type UPS 25-40). Dermed er det samlede tryktab i sidearmen uden betydning og dimensionen af sidearmen kan reduceres væsentligt. Det betyder at systemets træghed og energimængden der resterer i kredsen efter endt opvarmning nedsættes.

3 Temperaturlagdelingen i lagertankene

Figur 3-1 viser en målskitse af lagertankene og Figur 3-2 viser temperaturfølernes placering i og på lagertankene.



Figur 3-1: Målskitse af lagertankene. Til venstre ses lagertank 1 og til højre ses lagertank 2. Den eneste forskel på de to tanke er kappens bredde.



Figur 3-2: Temperaturfølernes placering i og på lagertankene. Til venstre ses lagertank 1 og til højre ses lagertank 2.

For at undersøge hvorledes opvarmningen i lagertankene foregår er der udført simple opvarmningsforsøg. Tankene er opvarmet ved hjælp af den supplerende energikilde. Fremløbstemperaturen fra den supplerende energikilde er indstillet til en konstant temperatur ved hjælp af en termostat.

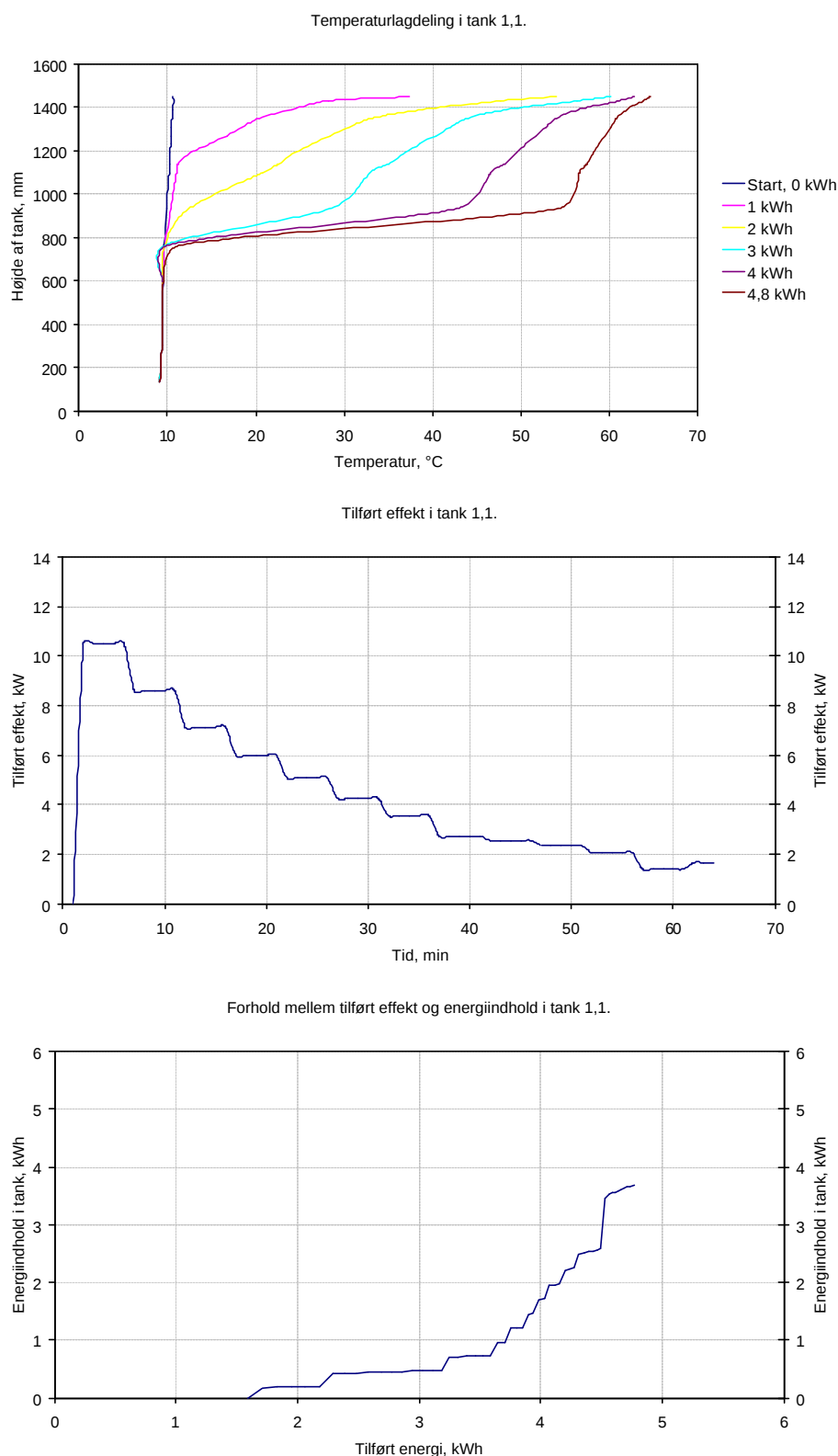
Før hvert opvarmningsforsøg er vandet i lagertanken afkølet til ca. 10°C. Det betyder at resultaterne af opvarmningsforsøgene kan sammenlignes. De udførte forsøg er:

- opvarmning i lagertank 1,1 med spiraludformning 1. Under opvarmningsforsøget er fremløbstemperaturen fra kedlen 65°C og volumenstrømmen er 5 l/min
- opvarmning i lagertank 1,2 med spiraludformning 2. Under opvarmningsforsøget er fremløbstemperaturen fra kedlen 60°C og volumenstrømmen er 13 l/min
- opvarmning i lagertank 2,1 med naturlig cirkulation i sidearmen. Under opvarmningsforsøget er fremløbstemperaturen fra kedlen 65°C og volumenstrømmen er 10 l/min
- opvarmning i lagertank 2,2 med volumenstrøm i sidearmen = 2,1 l/min. Under opvarmningsforsøget er fremløbstemperaturen fra kedlen 60°C og volumenstrømmen er 10 l/min
- opvarmning i lagertank 2,2 med volumenstrøm i sidearmen = 3,3 l/min. Under opvarmningsforsøget er fremløbstemperaturen fra kedlen 60°C og volumenstrømmen er 10 l/min
- opvarmning i lagertank 2,2 med volumenstrøm i sidearmen = 4,3 l/min. Under opvarmningsforsøget er fremløbstemperaturen fra kedlen 60°C og volumenstrømmen er 10 l/min

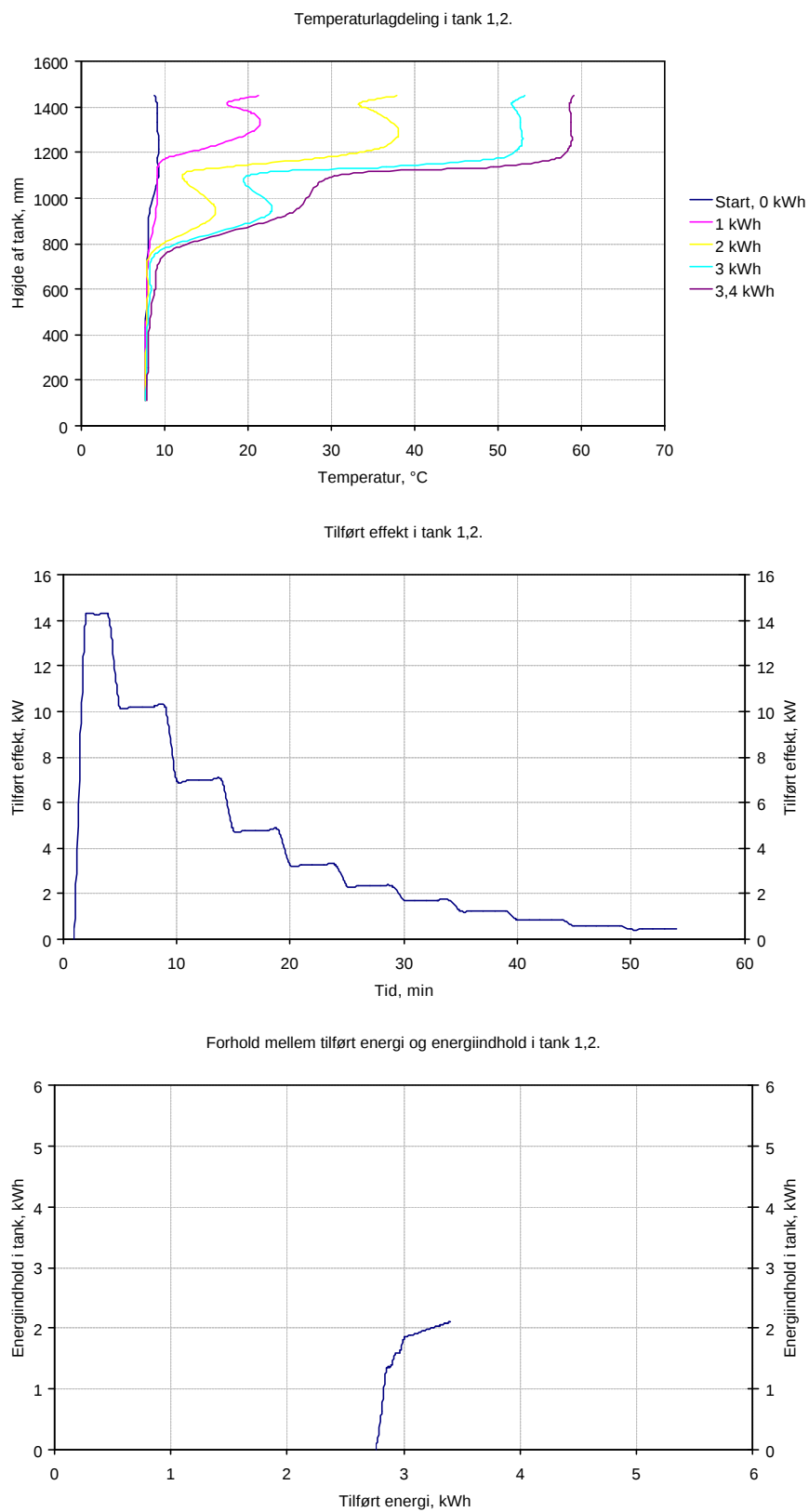
Der er ikke foretaget tilsvarende opvarmningsforsøg med lagertank 2,2 med ny sidearm.

Figur 3-3 og Figur 3-4 viser temperaturlagdelingen i Lagertank 1,1 og Lagertank 1,2 under opvarmning, den tilførte effekt samt energiindholdet i tanken som funktion af den tilførte energi.

Figur 3-5 til Figur 3-8 viser temperaturlagdelingen i Lagertank 2,1 og Lagertank 2,2 under opvarmning, den tilførte effekt samt energiindholdet i tanken som funktion af den tilførte energi.



Figur 3-3: Temperaturlagdelingen som funktion af den tilførte energimængde, tilført effekt samt forholdet mellem tilført energi og energiindhold i Lagertank 1,1.



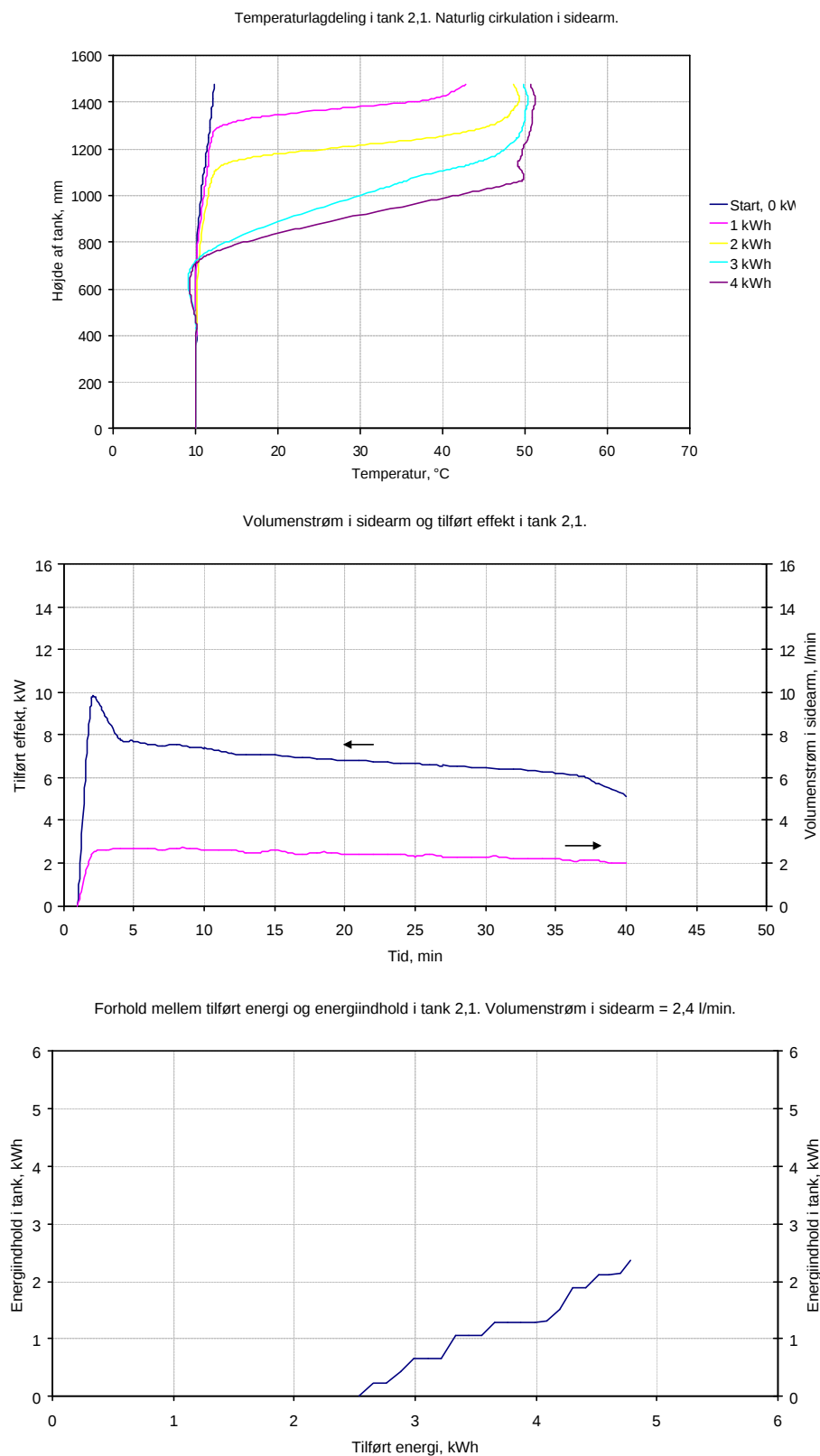
Figur 3-4: Temperaturlagdelingen som funktion af den tilførte energimængde, tilført effekt samt forholdet mellem tilført energi og energiindhold i lagertank 1,2.

3.1.1 Kommentarer til opvarmningsforsøg med lagertank 1

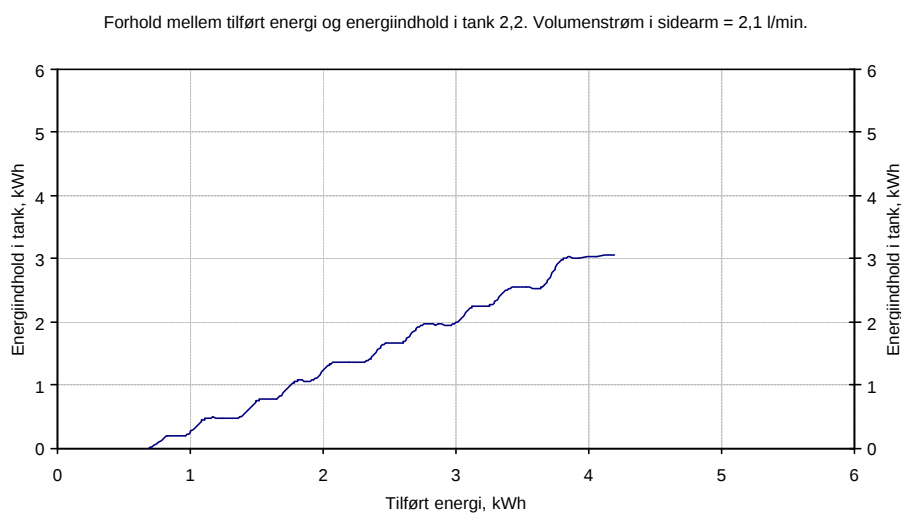
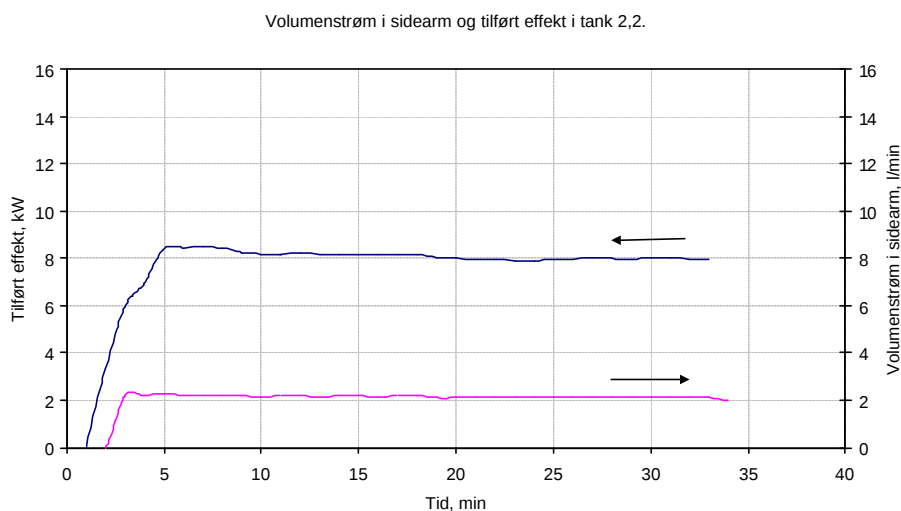
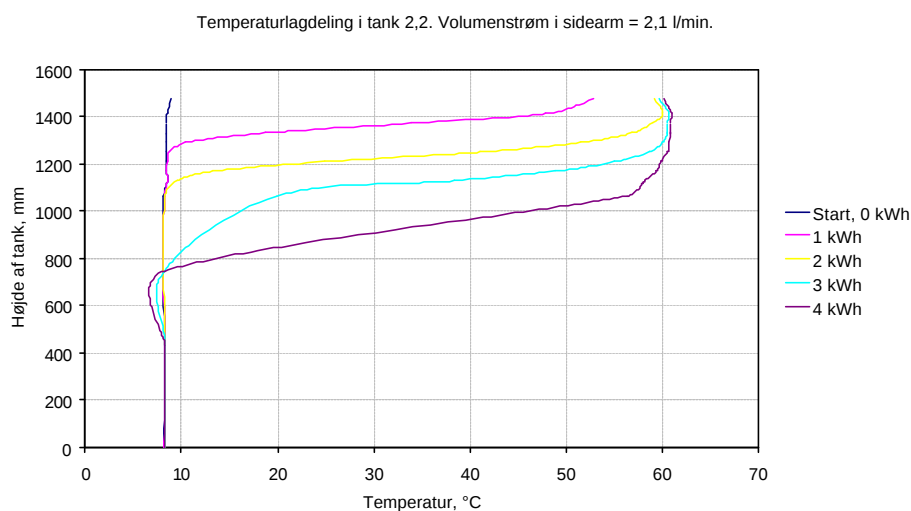
Der er tilført ca. 1,5 kWh fra kedlen og der er gået ca. 12 minutter før energiindholdet, defineret som energien af brugsvand med temperatur større end 50 °C, begynder at vokse under opvarmning i tank 1,1. Det ses at temperaturlagdelingen opbygges fra det nederste niveau af varmevekslerspiralen og ikke som ønsket fra toppen af beholderen og nedefter. Opvarmningsprincippet er dermed ikke velegnet til små varmtvandsforbrug.

Der er tilført ca. 2,8 kWh fra kedlen og der går ca. 24 minutter før energiindholdet stiger under opvarmning i tank 1,2. Det ses at hele volumen fra det nederste niveau af varmevekslerspiralen varmes op og dermed at beholderen ikke som ønsket varmes op fra toppen af beholderen og nedefter. Det ses endvidere at det supplerende volumen ikke kan gøres større end volumen over den nederste del af varmevekslerspiralen. Grunden til at det supplerende volumen ikke vokset til det tilsigtede maksimale supplerende volumen er, at der tilføres vand ved en konstant temperatur fra kedlen. Når vandet i beholderen varmes op falder drivtrykket mellem inder- og ydersiden af det store plastrør hvorom varmevekslerspiralen er snoet. Til sidst går vandcirkulationen helt i stå når vandet på begge sider af plastrøret når fremløbstemperaturen fra kedlen. Drivtrykket ville kunne opretbeholdes hvis der i stedet for en konstant fremløbstemperatur fra kedlen tilførtes en konstant effekt fra kedlen, men dermed ville temperaturniveauet i toppen af beholderen også blive ved med at stige hvilket ville medføre et langt større varmetab fra beholderen i opvarmningsperioden. Opvarmningsprincippet er dermed hverken velegnet til store eller små varmtvandsforbrug.

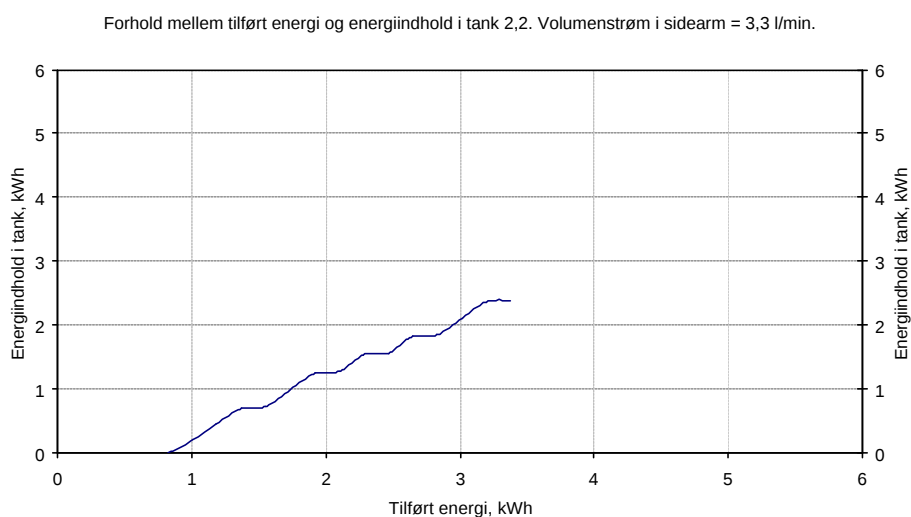
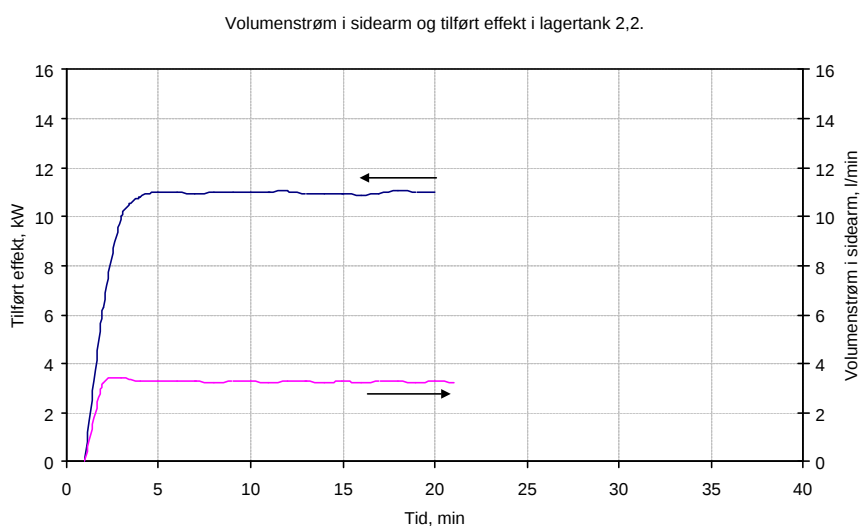
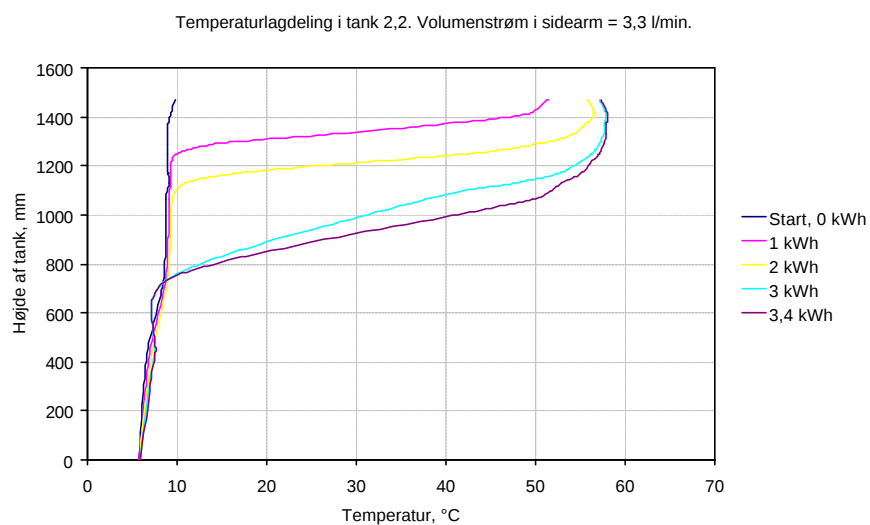
Det ujævne forløb af temperaturkurverne i Figur 3-4 skyldes de enkelte temperaturføleres placering i og udenpå tanken i forhold til varmevekslerspiralens placering samt strømningsforholdene omkring det store plastrør.



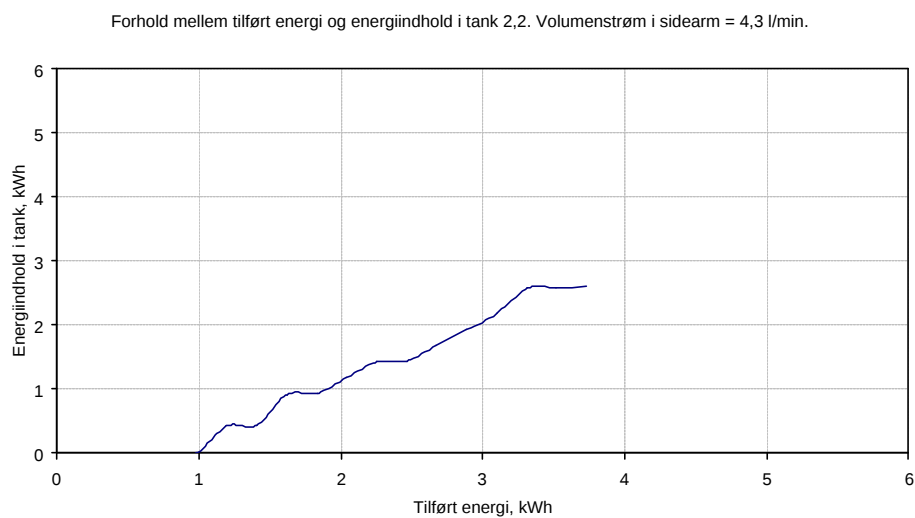
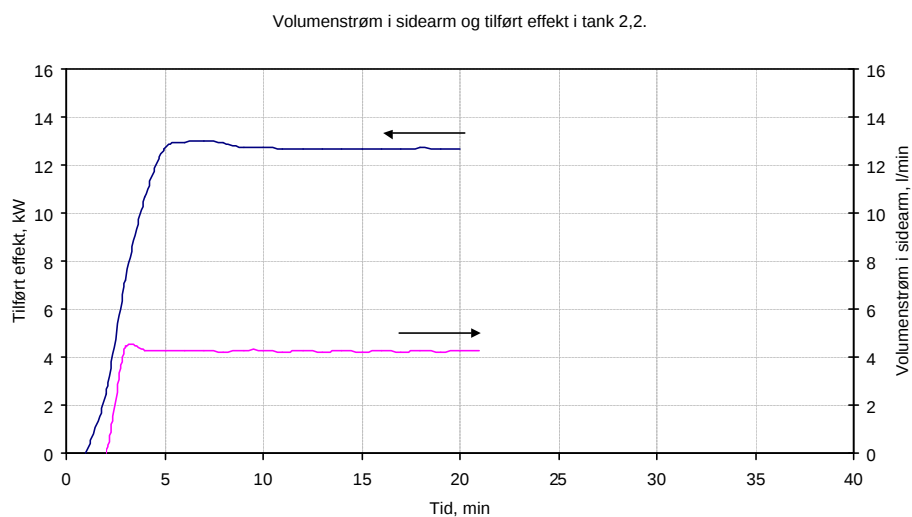
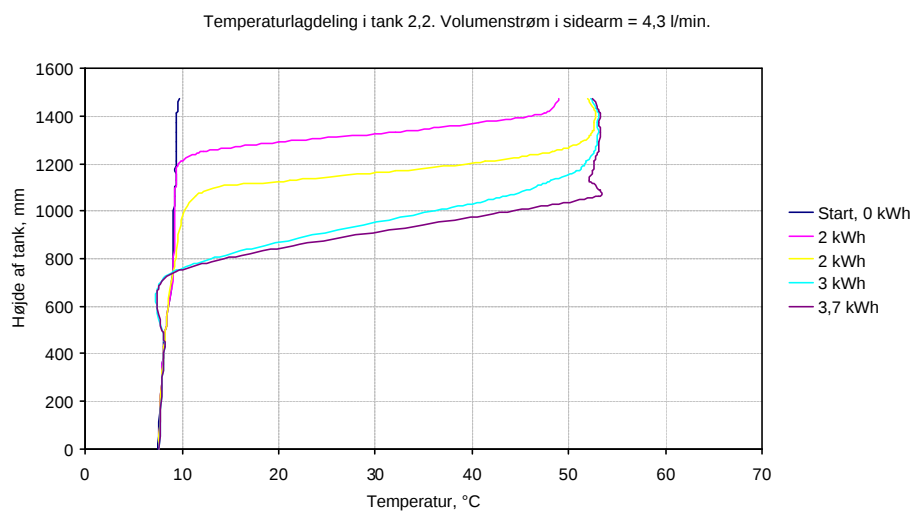
Figur 3-5: Temperaturlagdelingen som funktion af den tilførte energimængde, tilført effekt og flow samt forholdet mellem tilført energi og energiindhold i lagertank 2,1 med naturlig cirkulation i sidearmen.



Figur 3-6: Temperaturlagdelingen som funktion af den tilførte energimængde, tilført effekt og flow samt forholdet mellem tilført energi og energiindhold i lagertank 2,2 med tvungen cirkulation i sidearmen.



Figur 3-7: Temperaturlagdelingen som funktion af den tilførte energimængde, tilført effekt og flow samt forholdet mellem tilført energi og energiindhold i lagertank 2,2 med tvungen cirkulation i sidearmen.



Figur 3-8: Temperaturlagdelingen som funktion af den tilførte energimængde, tilført effekt og flow samt forholdet mellem tilført energi og energiindhold i lagertank 2,2 med tvungen cirkulation i sidearmen.

3.1.2 Kommentarer til opvarmningsforsøg med lagertank 2

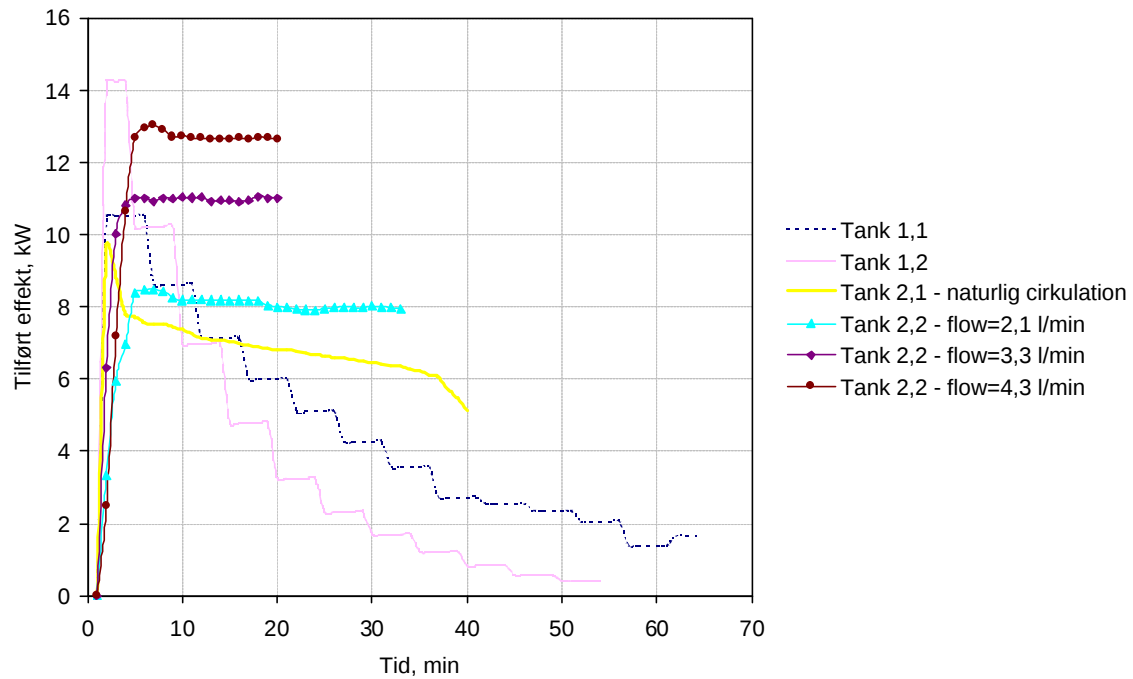
Af resultaterne fremgår det at der opbygges en rigtig god temperaturlagdeling i alle forsøgene med anlæg 2. Det ses endvidere at det supplerende volumen øges fra toppen af beholderen og nedefter ved en forholdsvis konstant temperatur.

Ved opvarmning med naturlig cirkulation i sidearmen går der forholdsvis lang tid, ca. 20 minutter før energiindholdet, defineret som energien af brugsvand med temperatur større end 50 °C, begynder at vokse på trods af at volumenstrømmen i sidearmen har omtrent samme størrelse som volumenstrømmen i sidearmen i det ene forsøg med tvungen cirkulation i sidearmen. Det skyldes den væsentlig større vandmasse og dermed træghed der ligger bundet i varmeveksleren i forsøget med naturlig cirkulation i sidearmen hvor varmeveksleren har et volumen på 6,28 liter mens varmeveksleren i de øvrige forsøg med tvungen cirkulation i sidearmen blot har et volumen på 0,36 liter.

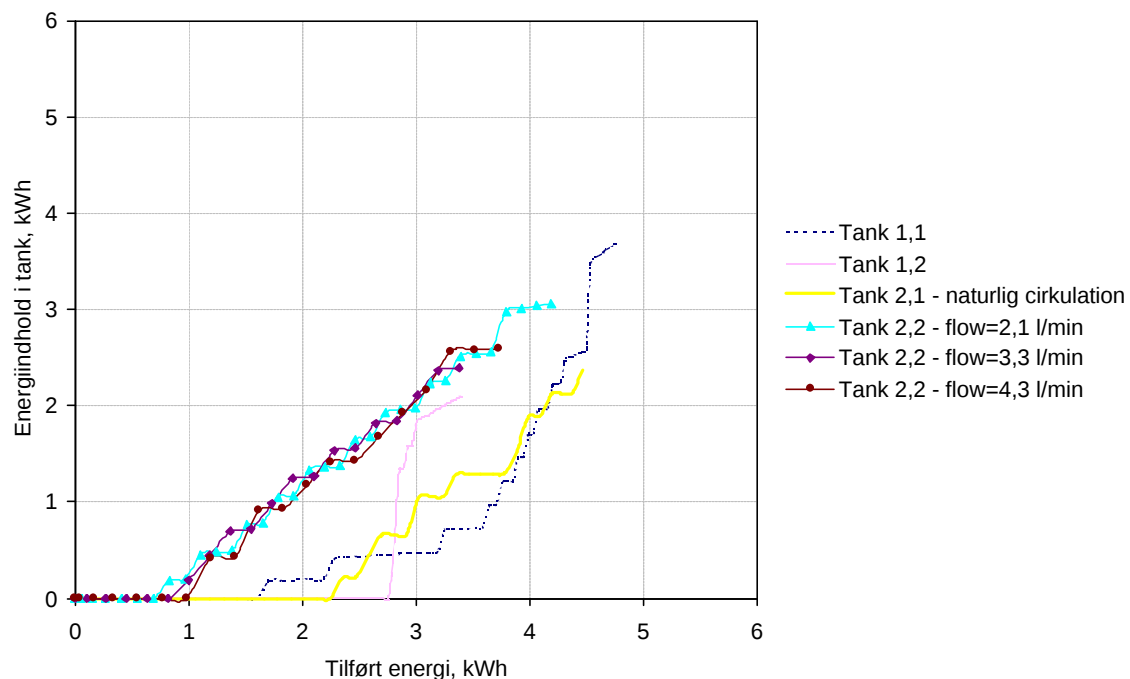
Ved opvarmning med tvungen cirkulation i sidearmen går der forholdsvis kort tid, ca. 7–8 minutter før energiindholdet begynder at vokse. Det ses endvidere at energiindholdet vokser på samme måde for de udførte forsøg med tvungen cirkulation i sidearmen. De væsentlige forskelle mellem de enkelte opvarmningsforsøg med tvungen cirkulation i sidearmen er effekten der overføres fra kedlen til sidearmen samt temperaturniveauet i toppen af tanken. Den overførte effekt varierer fra ca. 8 kW ved en volumenstrøm i sidearmen på 2,1 l/min til ca. 13 kW ved en volumenstrøm i sidearmen på 4,3 l/min mens temperaturniveauet i toppen af tanken varierer fra ca. 60 °C til 52 °C ved volumenstrømme i sidearmen på henholdsvis 2,1 l/min og 4,3 l/min.

3.2 Sammenfatning af opvarmningsforsøgene med lagertank 1 og 2

Figur 3-9 og Figur 3-10 viser den tilførte effekt i opvarmningsperioden samt energiindholdet i tanken som funktion af den tilførte energi ved alle de udførte forsøg.



Figur 3-9: Tilført effekt i opvarmningsperioden ved de udførte forsøg.



Figur 3-10: Energiindhold i tank som funktion af tilført energi ved de udførte forsøg.

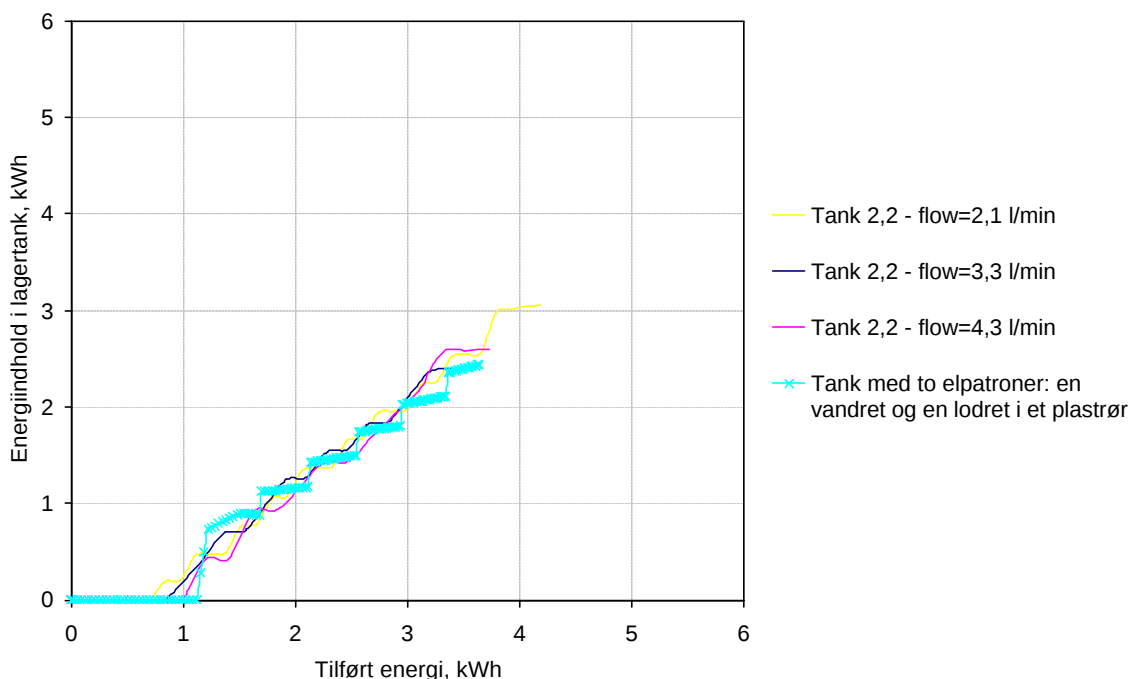
Af Figur 3-9 ses det, at den tilførte effekt falder med tiden når der varmes op i lagertank 1 og lagertank 2,1 med naturligt flow i sidearmen. Årsagen er, at det naturlige drivtrykket falder. Derimod tilføres der en næsten konstant effekt når der varmes op med lagertank 2,2 med tvungen cirkulation i sidearmen hvor den tilførte effekt hovedsageligt afhænger af flowet i sidearmen.

Størrelsen af den overførte effekt er af stor betydning for ikke modulerende kedler, hvor for lille effektoverførsel fra kedlen til varmeveksleren kan betyde at kedlen pendler. For modulerende kedler spiller størrelsen af effektoverførselen en mindre rolle så længe der kan overføres en effekt i kedlens moduleringsinterval. Kedlens fremløbstemperatur har også betydning for den overførte effekt. Ved høje fremløbstemperaturer vil den overførte effekt være større end ved lave fremløbstemperaturer. Under opvarmning har kedlens fremløbstemperatur, volumenstrømmen i kedelkredsen, volumenstrømmen i sidearmen samt indløbstemperaturen til sidearmen betydning for temperaturniveauet i toppen af lagertanken. Temperaturniveauet i toppen af lagertanken bør holdes så lavt som muligt, dog så højt at varmtvandsforbruget kan dækkes, både af hensyn til varmetabet fra den opvarmede beholder og af hensyn til solfangerens driftsbetingelser.

Af Figur 3-10 ses det, at forholdet mellem energiindhold opbygget i lagertanken og tilført energi er bedst i lagertank 2,2 med tvungen cirkulation i sidearmen. Det ses endvidere at flowet i sidearmen næsten ingen betydning har for forholdet mellem energiindhold opbygget i lagertanken og tilført energi.

3.2.1 Sammenligning med tidligere udførte forsøg

Figur 3-11 viser energiindhold i lagertank som funktion af tilført energi ved forsøgene med tank 2,2 med tvungen cirkulation i sidearmen samt ved det tidligere forsøg med to elpatroner: en vandret og en lodret i et plastrør, jf. Figur 1-1 og /1/.



Figur 3-11: Energiindhold i tank som funktion af tilført energi ved de udførte forsøg samt energiindhold i tank som funktion af tilført energi ved forsøget med to elpatroner: en vandret og en lodret i et plastrør, jf. Figur 1-1 og /1/.

Det ses at forholdet mellem energiindhold i tank og tilført energi er lige stort hvad enten der anvendes to elpatroner, hver med en effekt på 1200 W eller en kedel med en effekt på 8 – 13 kW.

Det samme forhold kan desværre ikke vises for det tidligere udførte forsøg med en elpatron og naturlig cirkulation i sidearmen da der under forsøgene med den lagertank var indsat for få målepunkter i lagertanken til at energiindholdet kunne bestemmes med tilstrækkelig stor nøjagtighed. Ud fra den opbyggede temperaturlagdeling under opvarmningsforsøget med en elpatron og naturlig cirkulation i sidearmen /1/, vurderes det dog, at forholdet mellem energiindhold i tank og tilført energi er lige så stort som forholdene vist i Figur 3-11.

Forsøgene har vist at tank 2,2 med tvungen cirkulation i sidearmen er en god løsning for anlæg med oliefyr eller naturgaskedel som backupenergi.

4 Prøvning af solvarmeanlæggene i prøvestand

Solvarmeanlæggene baseret på de afprøvede lagertanke er afprøvet i en prøvestand for solvarmeanlæg under ens realistiske prøvningsbetingelser.

Figur 4-1 viser solfangerne som anlæg 1, 2 og 3 er koblet til under prøvningen. Figur 4-2 viser tre af lagertankene installeret i prøvestanden for solvarmeanlæg.



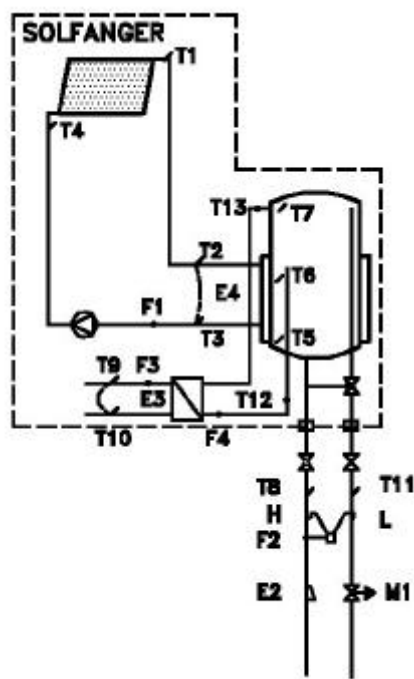
Figur 4-1: Anlæggenes solfangere på solfangerstativ. Øverst i højre hjørne ses de to solarimetre der måler den totale og den diffuse solbestråling på solfangeren. Solarimeteret der måler den diffuse solbestråling er forsynet med en skyggering der skærmer af for den direkte solbestråling. Skyggeringens placering justeres manuelt igennem året.



Figur 4-2: Anlæggenes lagertanke i prøvestanden. Til venstre ses lagertanken i anlæg 1, i midten ses lagertanken i anlæg 2 og til højre ses lagertanken i anlæg 3.

4.1 Måleudstyr

For detaljeret at kunne følge driften af solvarmeanlæggene, er der installeret måleudstyr i anlæggene. Figur 4-3 viser en principskitse af det intelligente solvarmeanlæg 2 installeret i prøvestanden med måleudstyr.



Figur 4-3: Principskitse af intelligent solvarmeanlæg med måleudstyr.

I Figur 4-3 er de målte størrelser:

- Solfangervæskens returtemperatur fra solfangeren (T1)
- Solfangervæskens fremløbstemperatur til lageret (T2)
- Solfangervæskens returtemperatur fra lageret (T3)
- Solfangervæskens fremløbstemperatur til solfangeren (T4)
- Temperaturen i bunden, midten og toppen af lageret (T5), (T6) og (T7)
- Koldt vandstemperaturen (T8)
- Fremløbstemperaturen fra den supplerende energikilde til varmeveksleren (T9)
- Returtemperaturen til den supplerende energikilde fra varmeveksleren (T10)
- Varmtvandstemperaturen (T11)
- Temperaturen i bunden af sidearmen (T12)
- Temperaturen i toppen af sidearmen (T13)
- Volumenstrømmen i solkredsen (F1)
- Volumenstrømmen i tappekredsen (F2)
- Volumenstrømmen i suppleringskredsen (F3)
- Volumenstrømmen i sidearmen (F4)
- Energimængden der tappes fra lageret (E2)
- Energimængden der overføres til lageret fra suppleringskredsen (E3)
- Energimængden der overføres til lageret fra solkredsen (E4)

Endvidere er den totale og den diffuse solbestrålingsstyrke på solfangeren samt inde- og udetemperaturen målt. For yderligere detaljer omkring prøvestanden og måleudstyret henvises til /2/.

4.2 Prøvningsbetingelser

Der tappes brugsvand tre gange daglig kl. 7:00, 12:00 og 19:00. Aftapningen sker i tre lige store energimængder á 1,525 kWh, i alt svarende til 100 l/dag opvarmet fra 10°C til 50°C. Det svarer til en daglig tappet energimængde på 4,575 kWh.

I det traditionelle solvarmeanlæg holdes temperaturen i toppen af lagertanken konstant på 50,5°C af den supplerende energikilde.

I de intelligente anlæg opvarmes lagertanken fra toppen og nedefter umiddelbart før aftapning. Det er størrelsen af den supplerende energikilde samt størrelsen af energiindholdet der skal etableres i lagertanken, der afgør hvornår opvarmningen startes. En energikilde på 10000 W skal, hvis vandet i lagertanken er koldt, bruge omkring 15 minutter på at etablere et energiindhold på 1,525 kWh, når der samtidig påregnes et vist varmetab fra sidearm og lagertank. Dvs. at starttidspunktet for en energikilde på 10000 W, når det ønskede energiindhold er 1,525 kWh, er 15 minutter før tappetidspunktet uanset størrelsen af energiindholdet i lagertanken ved starttidspunktet. Sluttidspunktet for timeren ligger umiddelbart før tappetidspunktet. I perioden mellem timerens start- og sluttidspunkt sørger styresystemet for at den supplerende energikilde kun er aktiv såfremt det ønskede energiindhold i lagertanken ikke er til stede. Temperaturniveauet i toppen af lagertanken efter opvarmning afhænger af den supplerende energikilde, af tankens design og af temperaturforholdene i lagertanken før opvarmning.

4.3 Måleperiode

Der er målt på de intelligente solvarmeanlæg samt det traditionelle solvarmeanlæg i nedenfor angivne perioder og ydelserne for de intelligente anlæg er en efter en sammenlignet med ydelsen for det traditionelle anlæg 3.

- 23/1 – 31/1 2001 Anlæg 1,1 og Anlæg 3
- 2/2 – 7/2 2001 Anlæg 1,1 og Anlæg 3

- 22/3 – 27/3 2001 Anlæg 1,2 og Anlæg 3
- 31/3 – 8/4 2001 Anlæg 1,2 og Anlæg 3
- 10/4 – 17/4 2001 Anlæg 1,2 og Anlæg 3
- 4/5 – 11/5 2001 Anlæg 1,2 og Anlæg 3
- 13/5 – 27/5 2001 Anlæg 1,2 og Anlæg 3

- 18/1 – 5/2 2001 Anlæg 2,1 og Anlæg 3

- 9/3 – 14/3 2001 Anlæg 2,2 og Anlæg 3
- 5/5 – 28/5 2001 Anlæg 2,2 med ny sidearm og Anlæg 3

4.4 Måleresultater

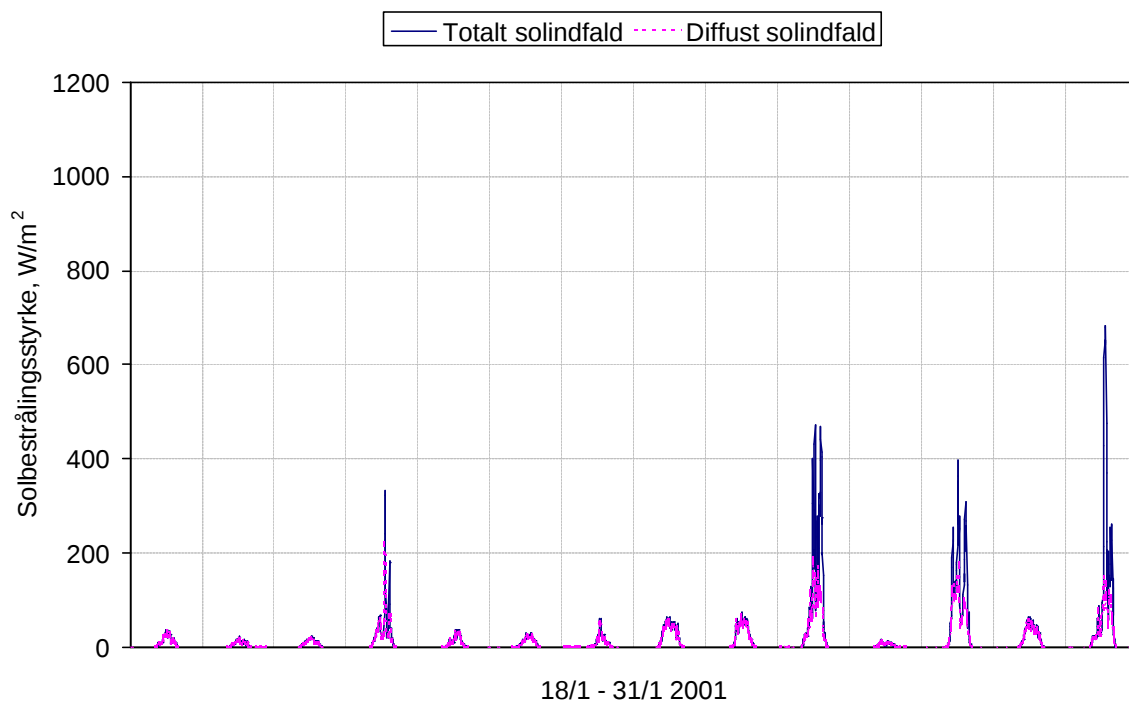
Figur 4-4 til Figur 4-9 viser solindfaldet i hele måleperioden fra 18/1 – 2/6 2001.

Figur 4-10 til Figur 4-14 viser nettoydelsen (=tappet energimængde fra lageret÷supplerende energimængde tilført lageret) og dækningsgraden (=nettoydelsen/tappet energimængde fra lageret) for alle de undersøgte intelligente anlæg og det traditionelle anlæg. Kun måleperioder hvor der dagligt er tappet den rigtige energimængde med en temperatur af det aftappede vand på mindst 45°C er medtaget.

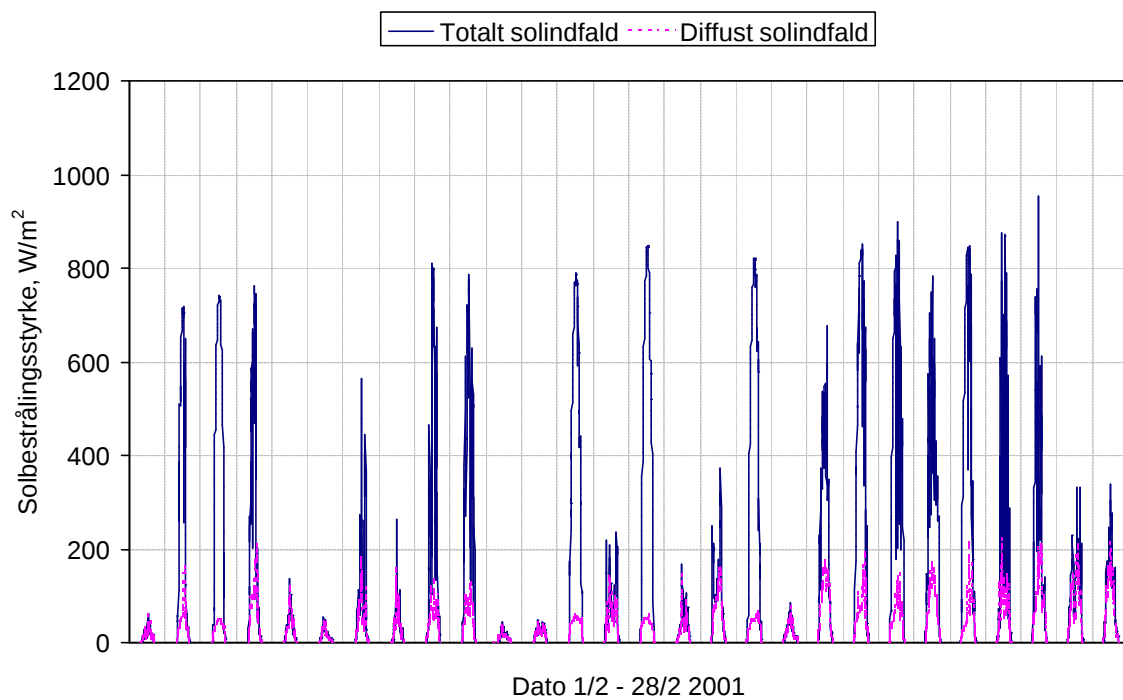
For at vurdere hvor de intelligente anlæg har deres styrke i forhold til traditionelle anlæg er den relative ydelse (=nettoydelsen for det intelligent anlæg/nettoydelsen for det traditionelt anlæg) bestemt og sammenhængen mellem solenergimængden overført til lagertanken og den relative ydelse er undersøgt nærmere. Kun anlæg 1,2 med varmevekslerspiral og anlæg 2,2 med ny sidearm er vurderet i forhold til anlæg 3 på denne måde.

Figur 4-15 til Figur 4-19 viser soludnyttelsen (= nettoydelsen/solindfaldet på solfangeren) for anlæg 1,2 og anlæg 3 samt solindfaldet på solfangerne, som er identiske for de to anlæg. Endvidere viser figurerne hvor meget solenergi der overføres til lagertankene i anlæg 1,2 og anlæg 3 samt den relative ydelse.

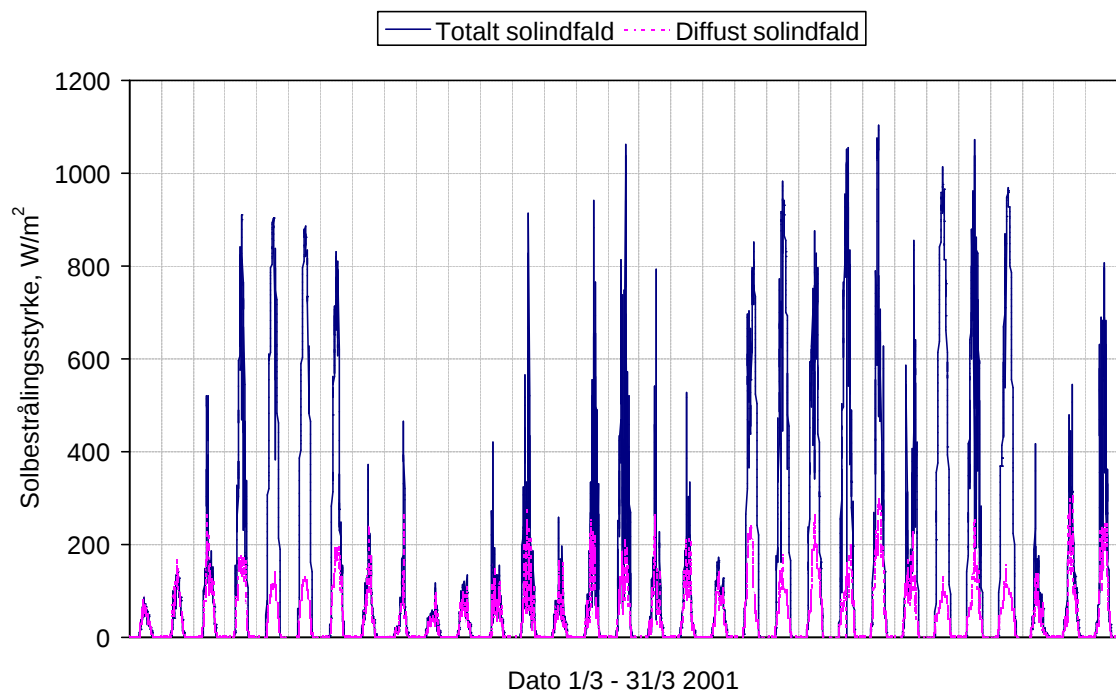
Figur 4-20 viser soludnyttelsen for anlæg 2,2 med ny sidearm og anlæg 3 samt solindfaldet på solfangerne, som er identiske for de to anlæg. Endvidere viser figuren hvor meget solenergi der overføres til lagertankene i anlæg 2,2 med ny sidearm og anlæg 3 samt den relative ydelse.



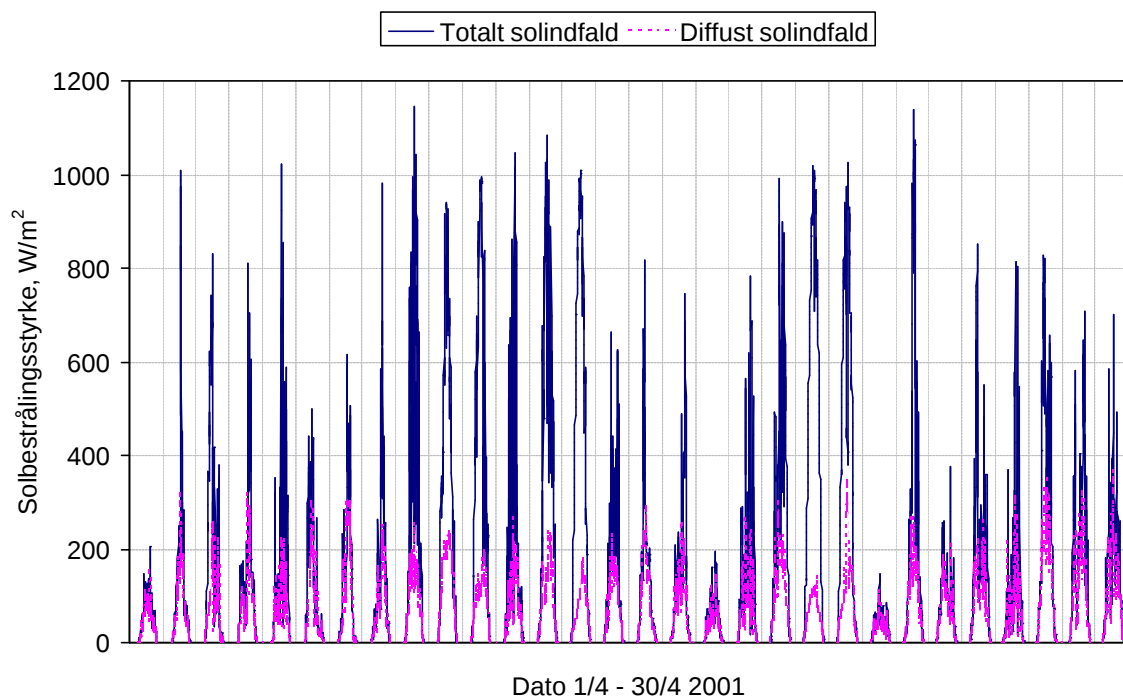
Figur 4-4: Totalt og diffust solindfald i januar 2001.



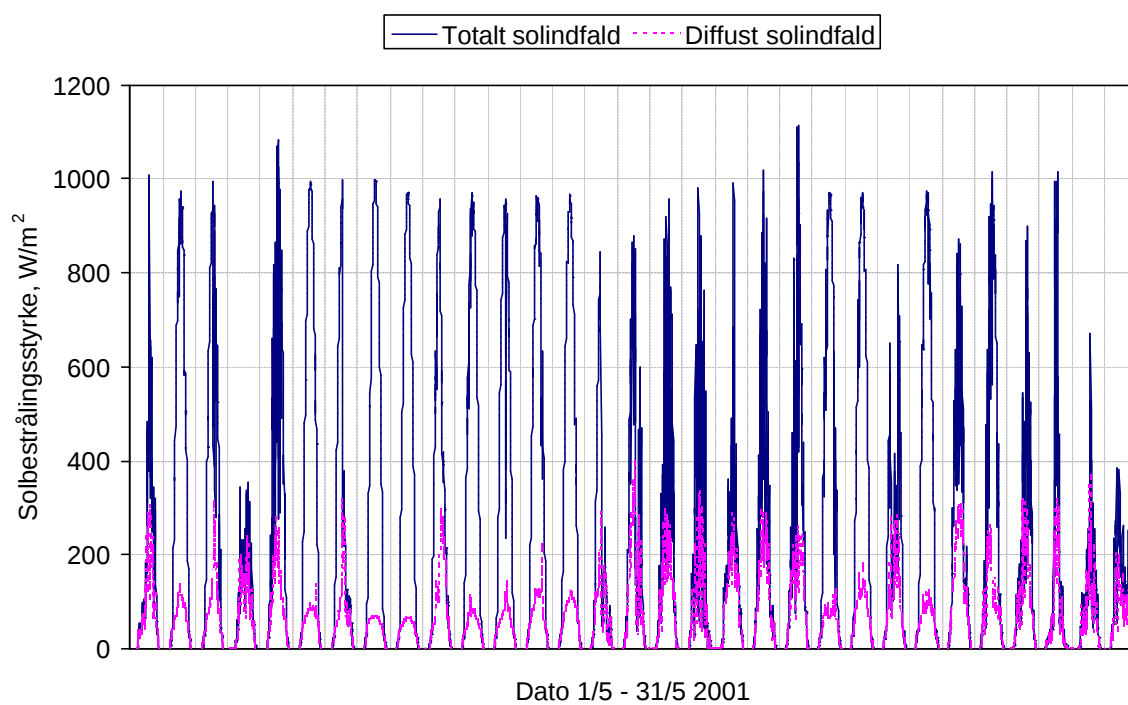
Figur 4-5: Totalt og diffust solindfald i februar 2001.



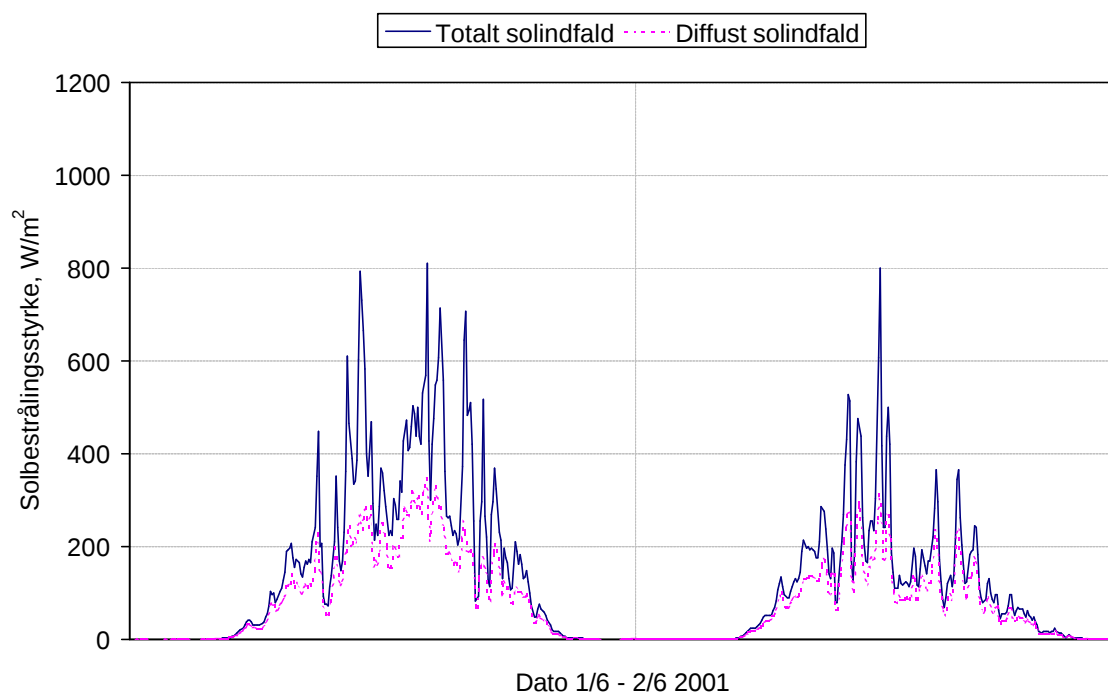
Figur 4-6: Totalt og diffust solindfald i marts 2001.



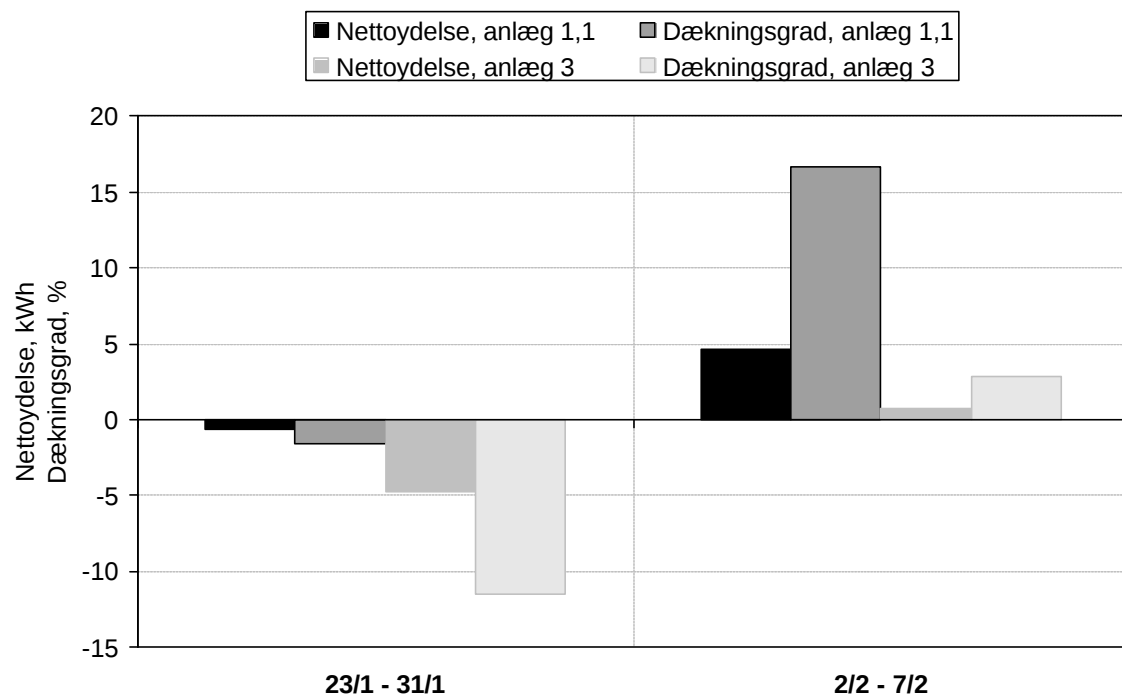
Figur 4-7: Totalt og diffust solindfald i april 2001.



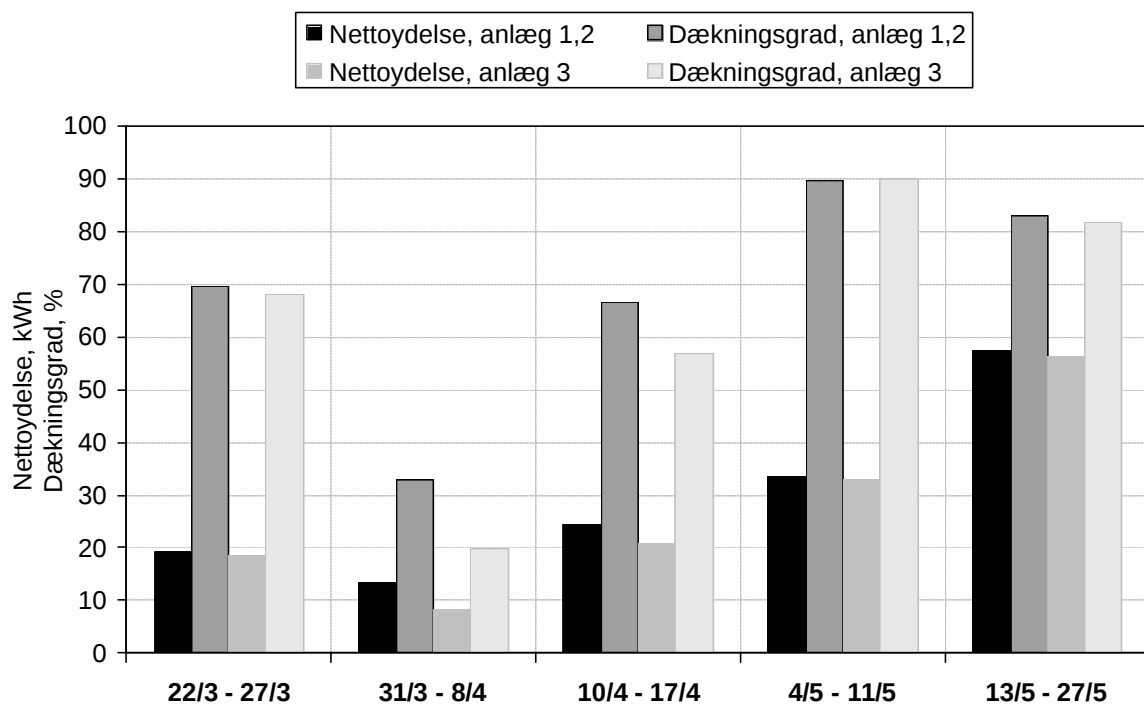
Figur 4-8: Totalt og diffust solindfald i maj 2001.



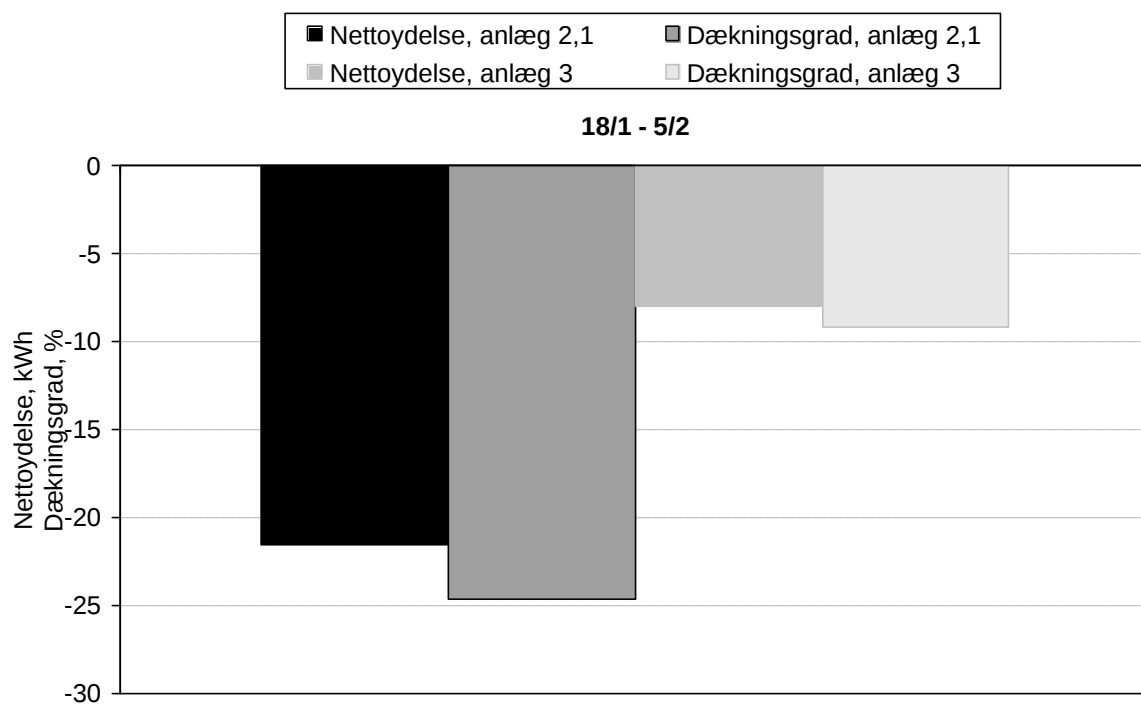
Figur 4-9: Totalt og diffust solindfald i juni 2001.



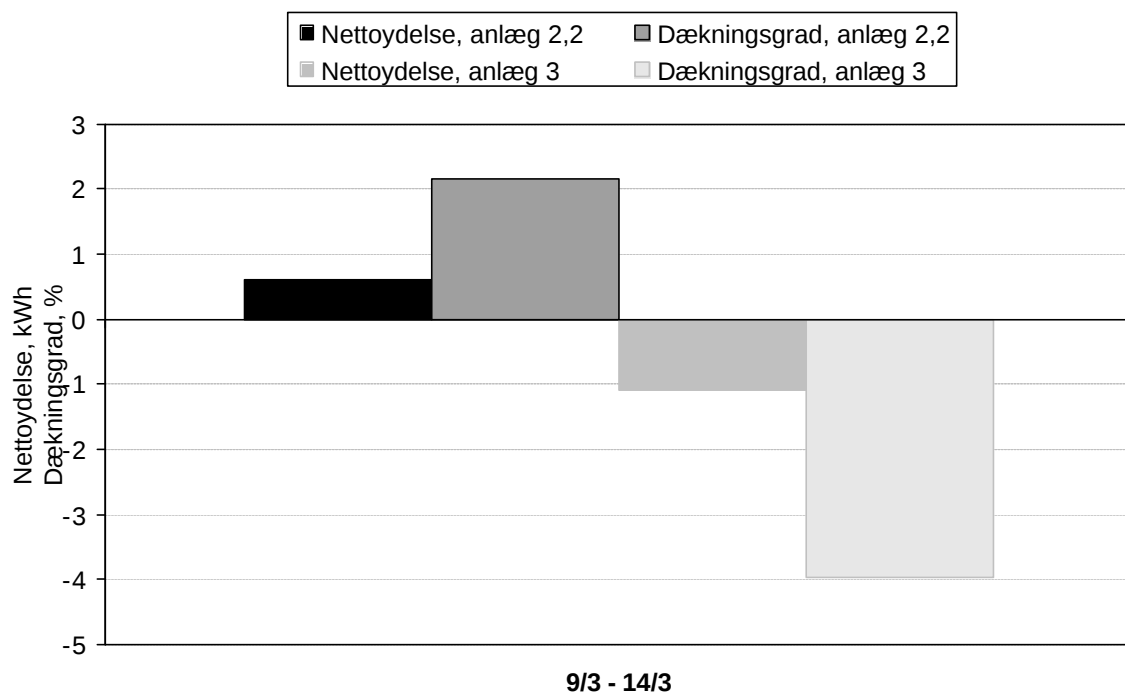
Figur 4-10: Nettoyedelse og dækningsgrad for anlæg 1,1 og anlæg 3.



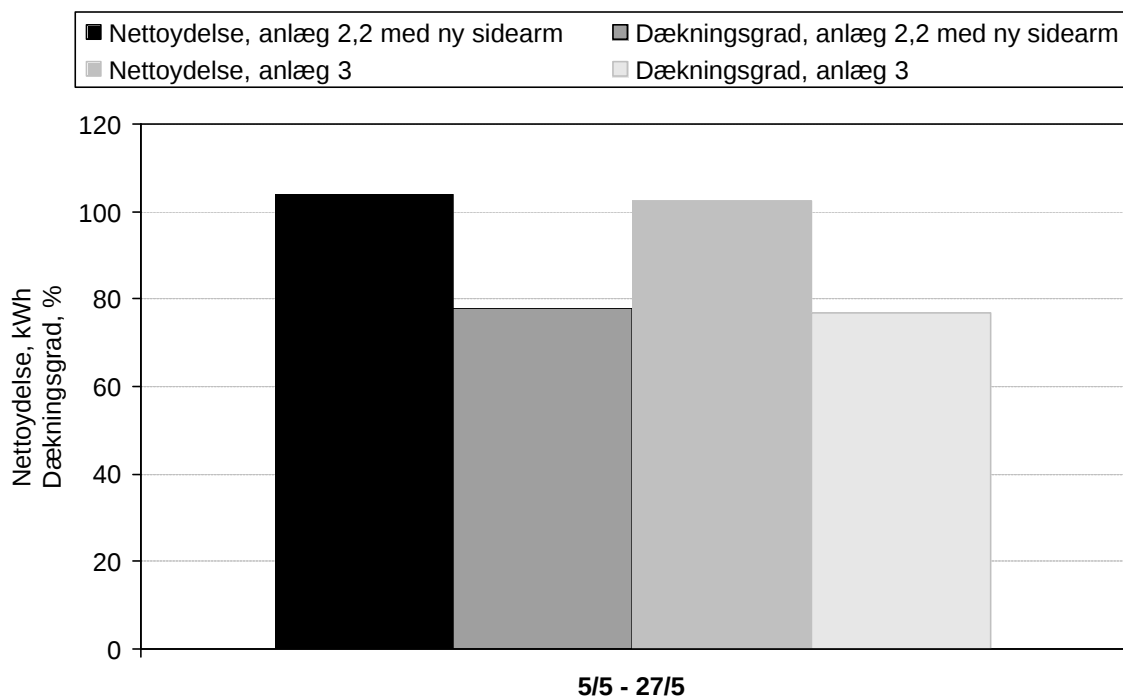
Figur 4-11: Nettoyedelse og dækningsgrad for anlæg 1,2 og anlæg 3.



Figur 4-12: Nettoyedelse og dækningsgrad for anlæg 2,1 og anlæg 3.

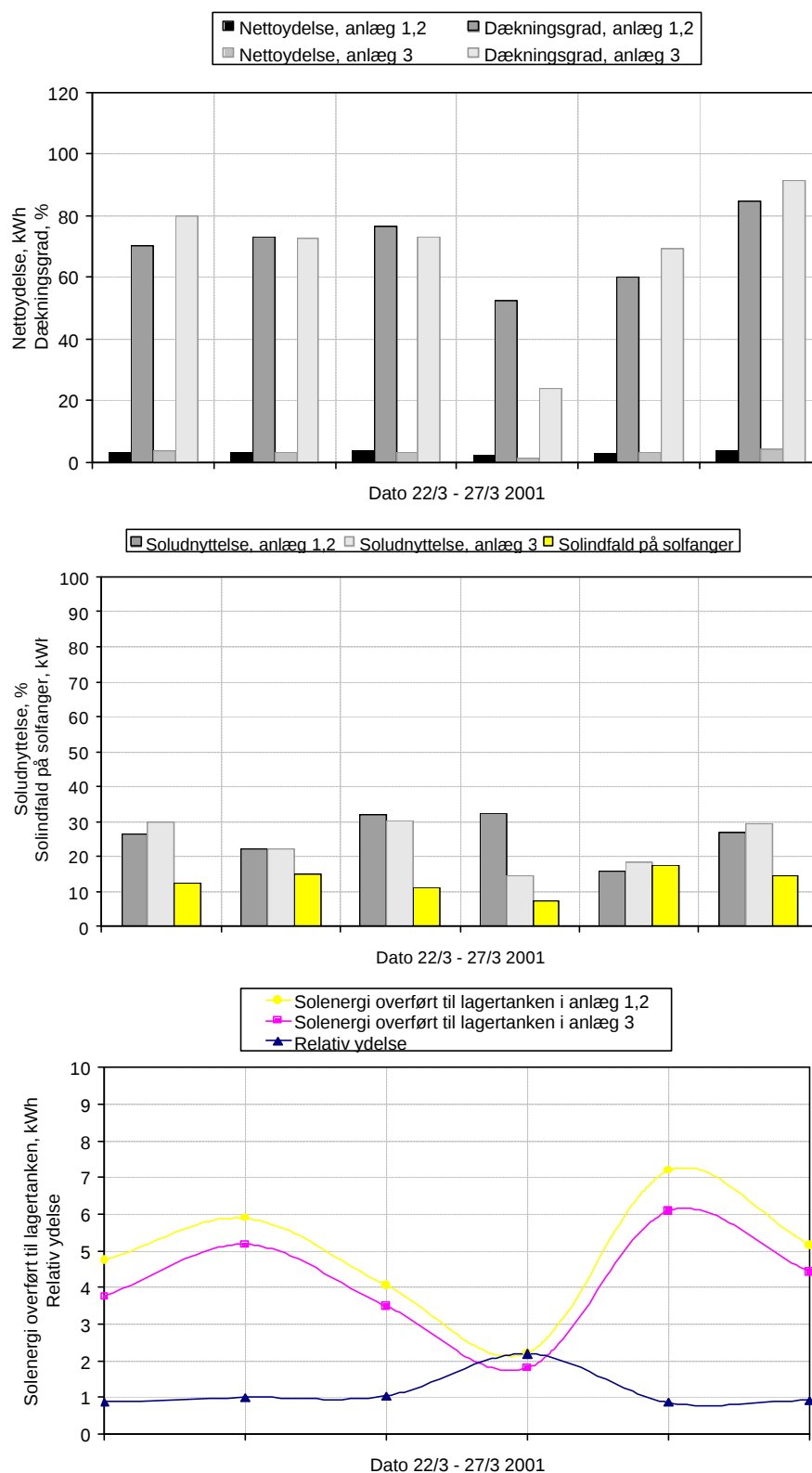


Figur 4-13: Nettoyedelse og dækningsgrad for anlæg 2,2 og anlæg 3.

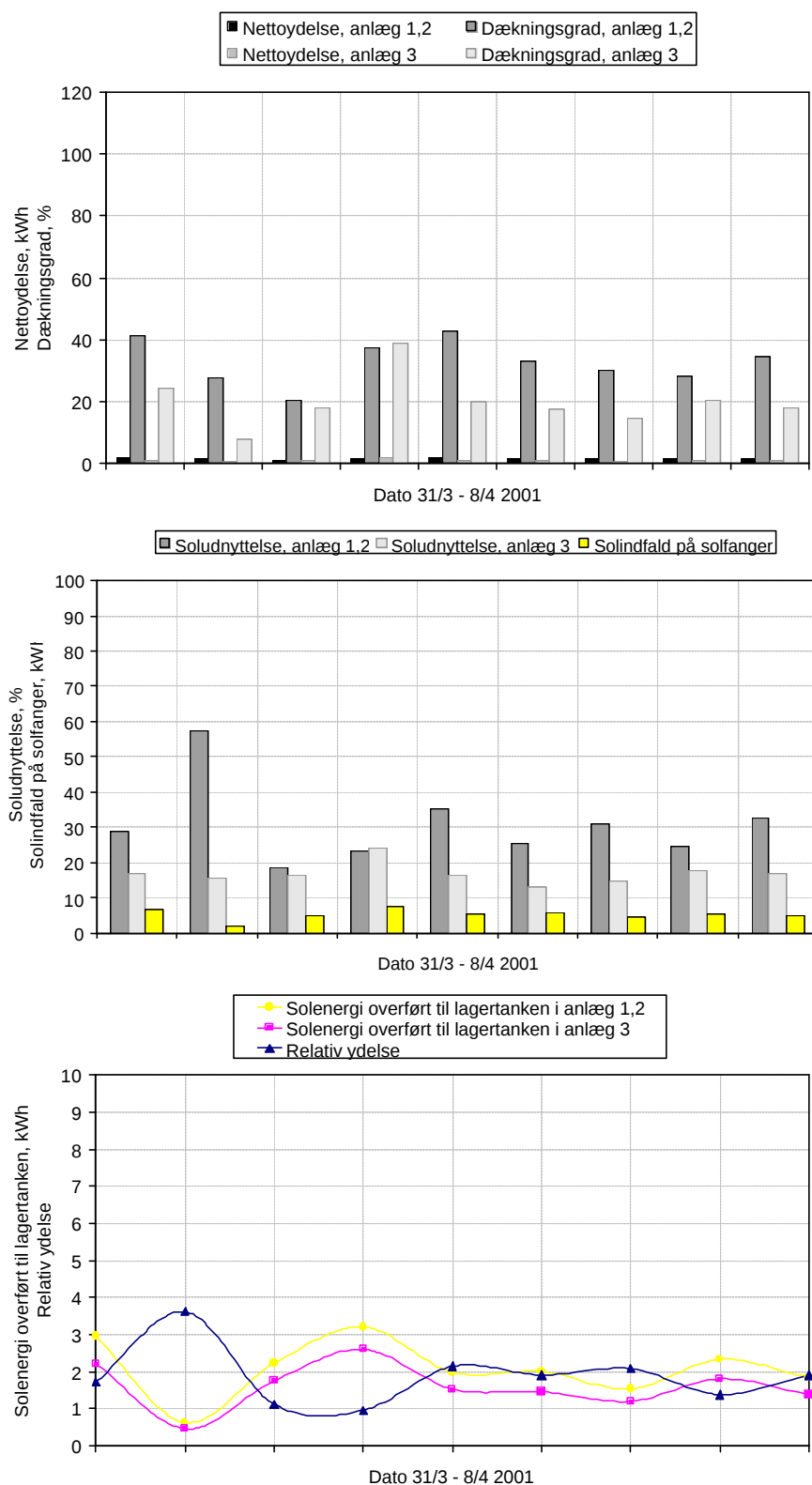


Figur 4-14: Nettoyedelse og dækningsgrad for anlæg 2,2 med ny sidearm og anlæg 3.

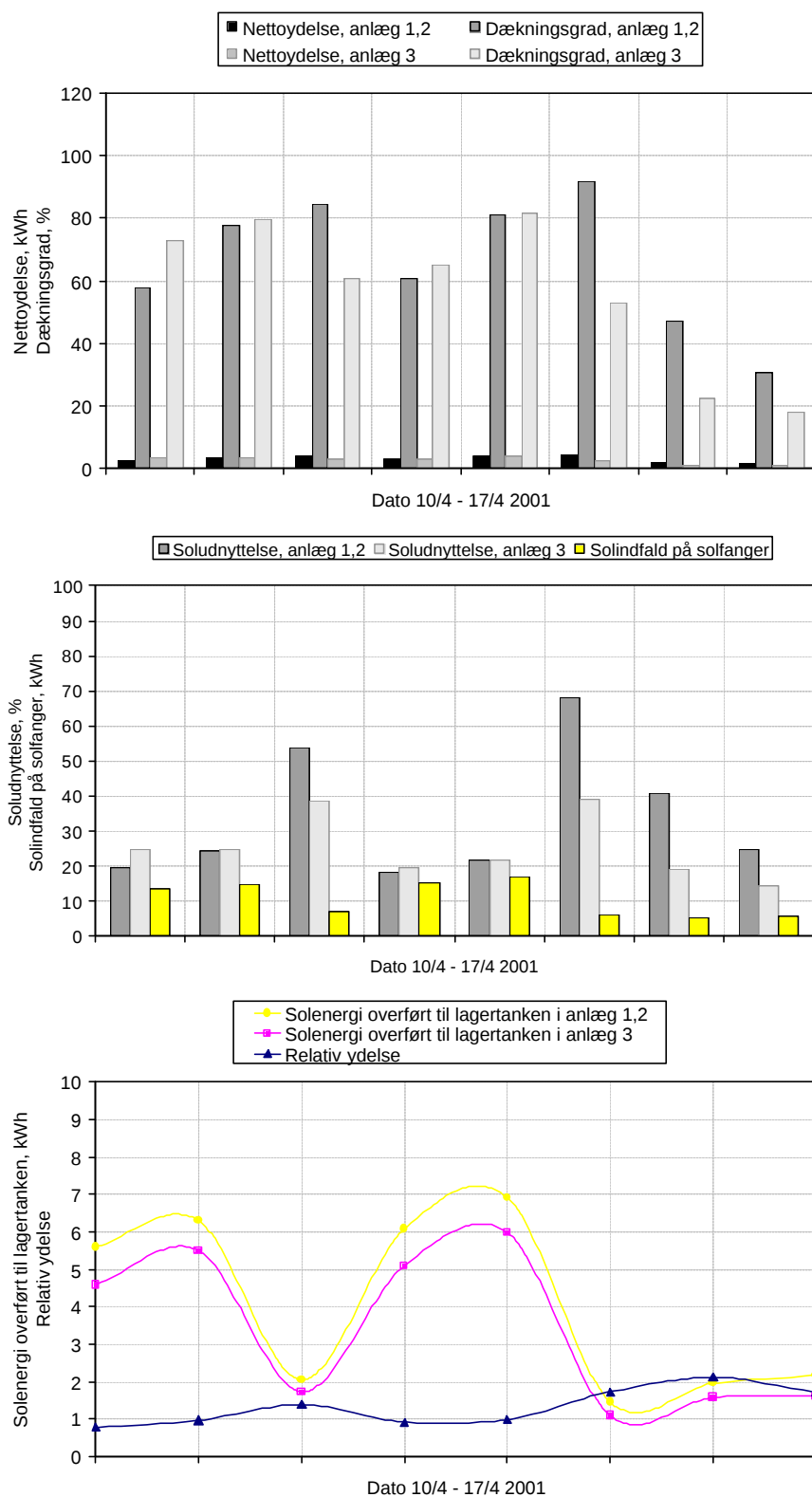
Af figurene ses at de intelligente anlæg yder bedre end det traditionelle anlæg, dog med undtagelse af anlæg 2,1 hvor det traditionelle anlæg yder væsentligt bedre. Årsagen til at det traditionelle anlæg yder bedre end det intelligente anlæg 2,1 er, at den varmeveksler der benyttes mellem suppleringskredsen og sidearmen, for at reducere tryktabet i varmeveksleren til et minimum, har et uhensigtsmæssigt stort volumen der medfører betragtelige varmetab fra den varme væske der levnes i varmeveksleren efter hver opvarmning. Således bruger anlæg 2,1 ca. 0,3 kWh ekstra supplerende energi pr. opvarmningsperiode.



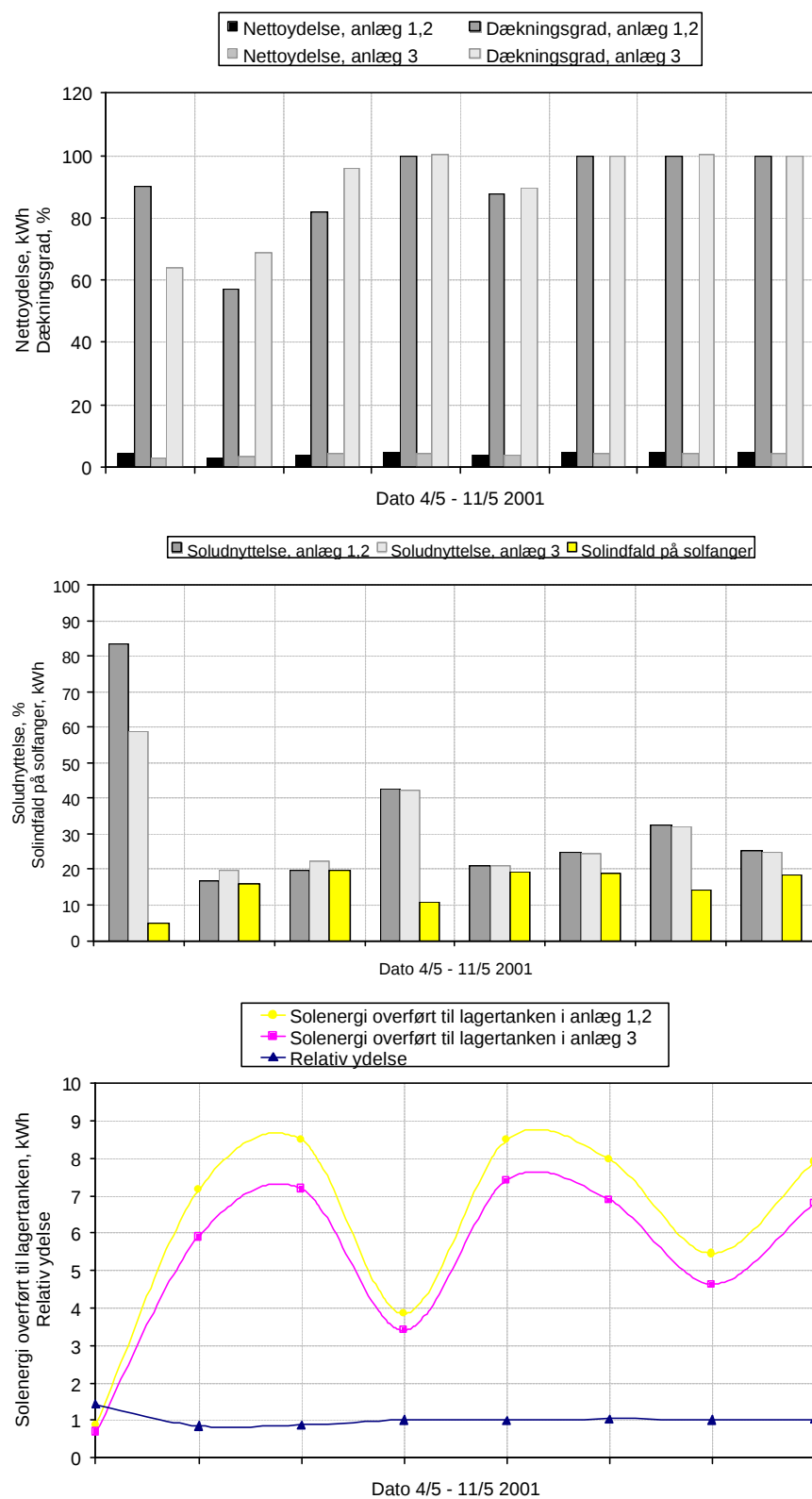
Figur 4-15: Nettoyedelse, dækningsgrad, soludnyttelse, solindfald på solfanger, solenergi overført til lagertanken samt den relative ydelse for anlæg 1,2 og anlæg 3 dag for dag i perioden 22/3 – 27/3 2001.



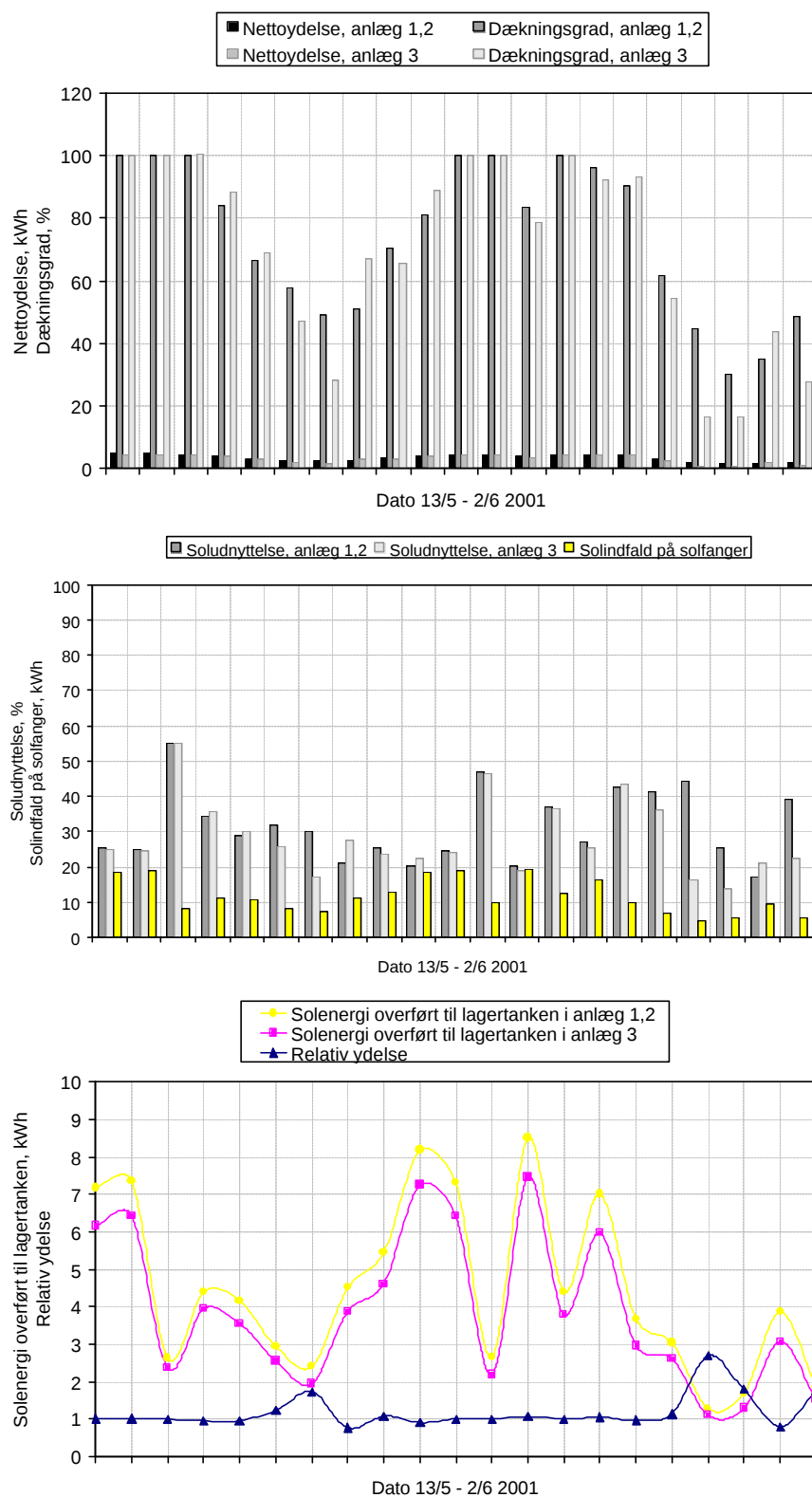
Figur 4-16: Nettoyedelse, dækningsgrad, soludnyttelse, solindfald på solfanger, solenergi overført til lagertanken samt den relative ydelse for anlæg 1,2 og anlæg 3 dag for dag for perioden 31/3 – 8/4 2001.



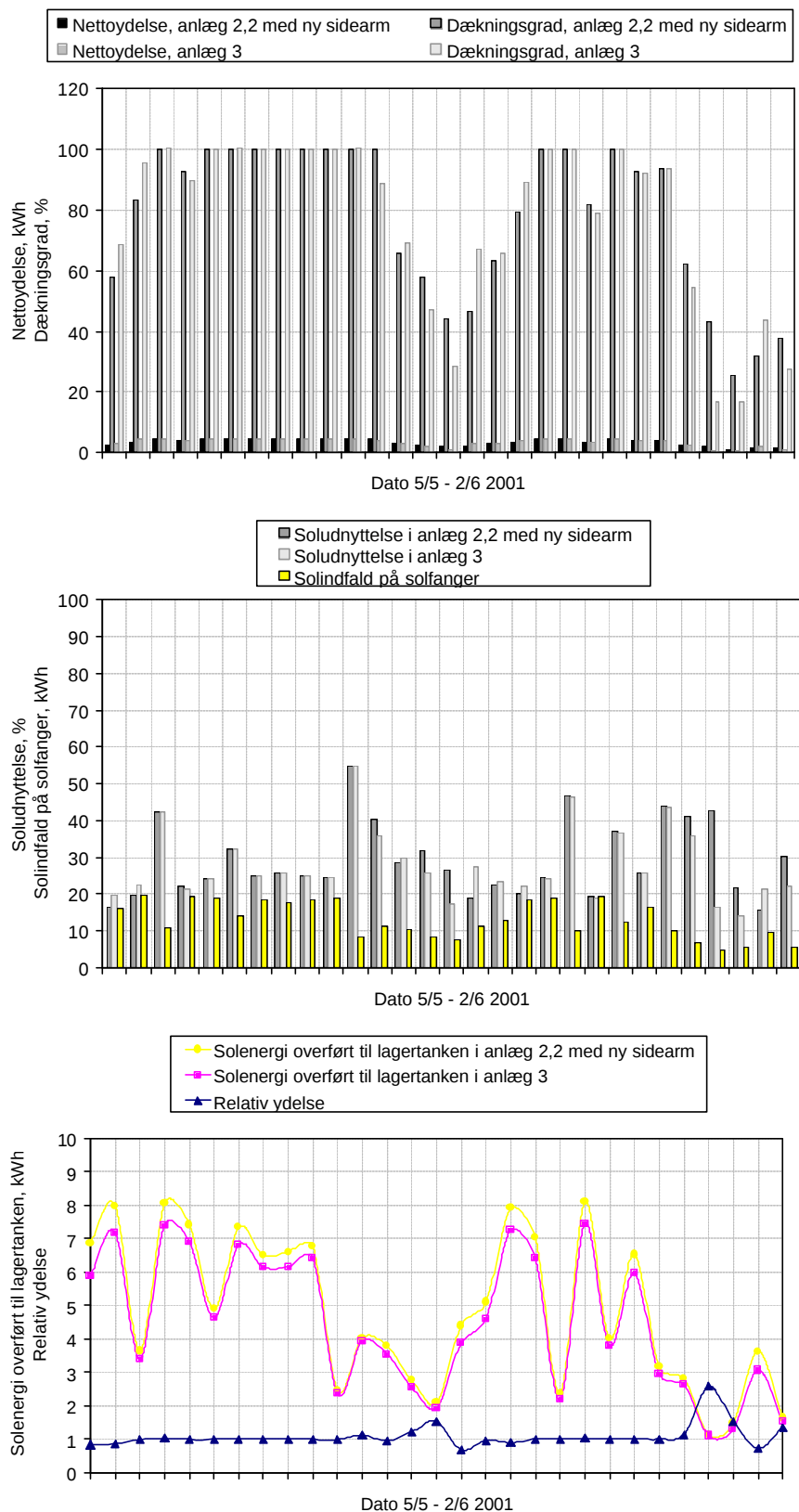
Figur 4-17: Nettoydelse, dækningsgrad, soludnyttelse, solindfald på solfanger, solenergi overført til lagertanken samt den relative ydelse for anlæg 1,2 og anlæg 3 dag for dag i perioden 10/4–17/4 2001.



Figur 4-18: Nettoyedelse, dækningsgrad, soludnyttelse, solindfald på solfanger, solenergi overført til lagertanken samt den relative ydelse for anlæg 1,2 og anlæg 3 dag for dag i perioden 4/5 – 11/5 2001.



Figur 4-19: Nettoyedelse, dækningsgrad, soludnyttelse, solindfald på solfanger, solenergi overført til lagertanken samt den relative ydelse for anlæg 1,2 og anlæg 3 dag for dag for perioden 13/5 – 2/6 2001.

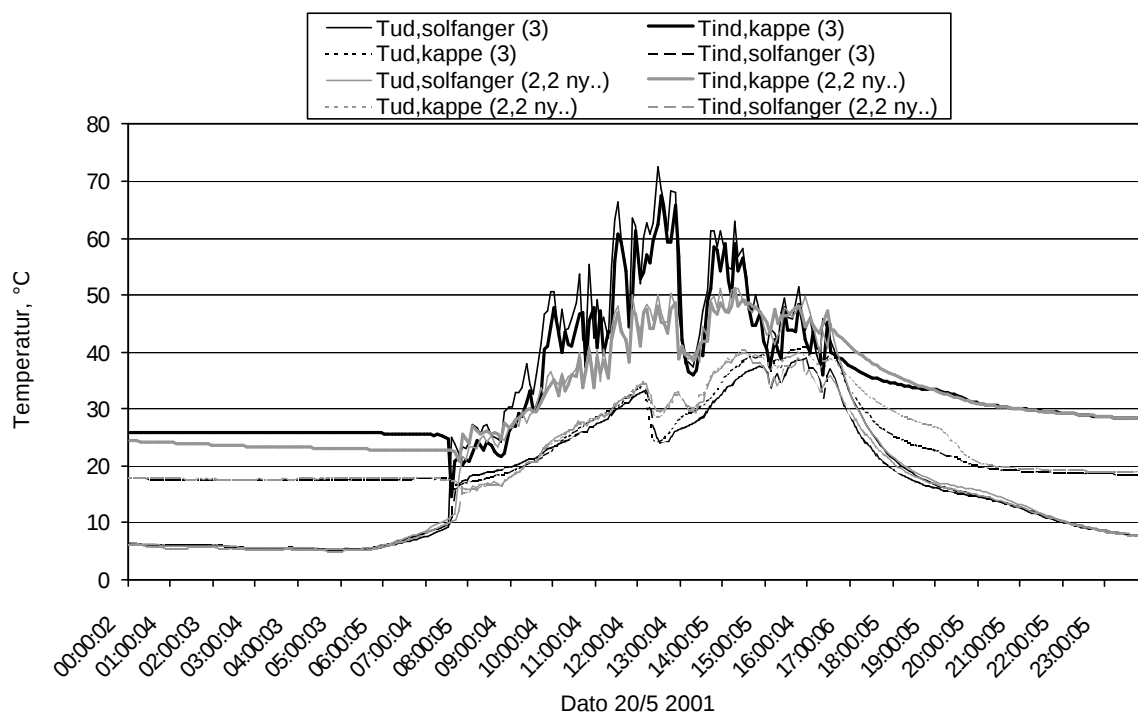


Figur 4-20: Nettoydelse, dækningsgrad, soludnyttelse, solindfald på solfanger, solenergi overført til lagertanken samt den relative ydelse for anlæg 2,2 med ny sidearm og anlæg 3 dag for dag i perioden 5/5 – 2/6 2001.

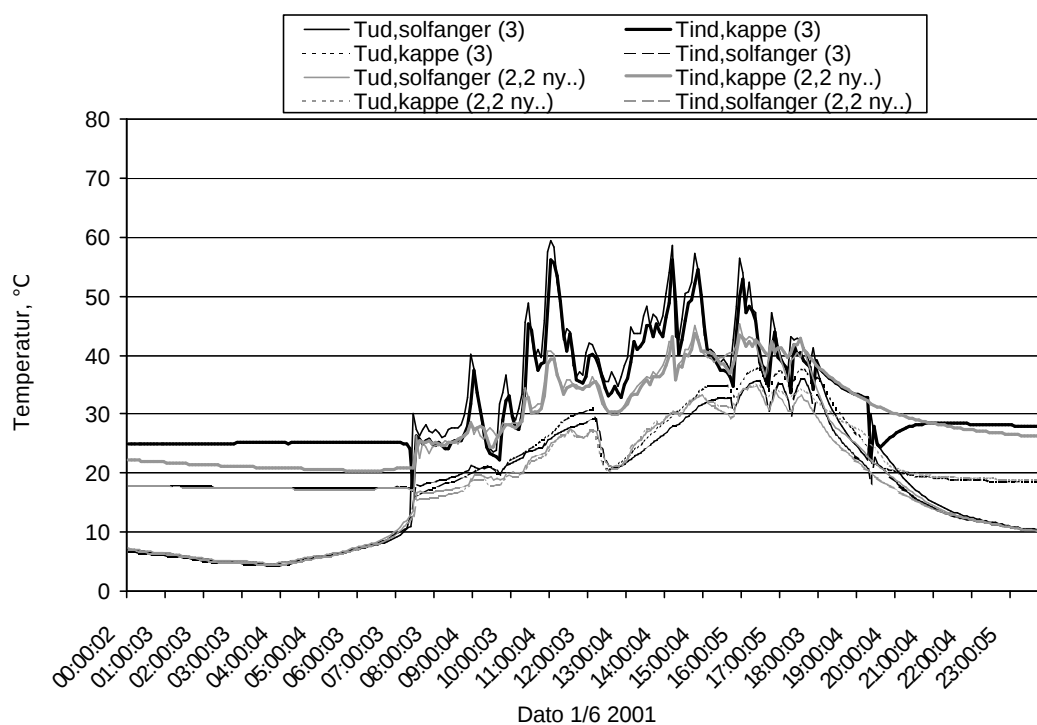
Figurerne viser daglige tilførte solenergimængder til lagertankene og udnyttelsen af solindfaldet samt forholdet mellem ydelsen for de intelligente anlæg og det traditionelle anlæg. Figurerne viser at de intelligente anlæg yder lige så godt eller meget bedre end det traditionelle anlæg. De største merydelser for de intelligente anlæg ligger i perioder med lavt solindfald og er således et udtryk for den positive effekt af det reducerede varmetab fra lagertanken i tidsrummene mellem opvarmningsperioderne.

De intelligente anlæg udnytter solenergien som opfanges i solfangeren bedre end det traditionelle anlæg når de opfangede energimængder er små. På dage hvor solindfaldet, efter at have været lavt den forgående dag, pludselig stiger yder det traditionelle anlæg kortvarigt bedre end de intelligente anlæg. Det er eksempelvis tilfældet for anlæg 2,2 med ny sidearm den 20/5 og den 1/6 som vist i Figur 4-20.

Det supplerende volumen som skal opvarmes i det traditionelle anlæg er større end det volumen som opvarmes i de intelligente anlæg fordi det i de intelligente anlæg kun er det nødvendige supplerende volumen der opvarmes. Det maksimale supplerende volumen er dog ens for de to typer anlæg. Alligevel er det supplerende energiforbrug på dage som den 20/5 og den 1/6 større i de intelligente anlæg. For at undersøge årsagen til dette er temperaturerne i solkredsen optegnet for de pågældende dage.



Figur 4-21: Temperaturerne i solkredsen i anlæg 2,2 med ny sidearm og anlæg 3 den 20/5 2001.



Figur 4-22: Temperaturerne i solkredsen i anlæg 2,2 med ny sidearm og anlæg 3 den 1/6 2001.

Volumenstrømmen i det intelligente anlægs solkreds er ikke indstillet korrekt og er således større end volumenstrømmen i det traditionelle anlægs solkreds som er indstillet korrekt. Den korrekte volumenstrøm er 0,15 l/min pr. m² solfanger og da solfangerne er ens burde volumenstrømmene også have været ens. Som det fremgår af Figur 4-21 og Figur 4-22 medfører det et lavere temperaturniveau i hele solkredsen og specielt en lavere fremløbstemperatur til kappen. Dermed overføres solenergien til lagertanken ved et lavere temperaturniveau. Når temperaturniveauet i brugsvandet er lavere end 50°C medregnes energiindholdet af vandet ikke ved beregningen af det samlede energiindhold i lagertanken. Således opvarmes lagertanken til det ønskede energiindhold over 50°C med det koldeste vand fra bunden af det supplerende volumen. I det traditionelle anlæg overføres energien fra solkredsen til lagertanken ved et højere temperaturniveau, specielt er temperaturniveauet i flere perioder større end 50°C og der anvendes derved mindre supplerende energi i sådanne perioder for det traditionelle anlæg end for det intelligente anlæg.

Merydelsen for det traditionelle anlæg er lille og perioderne hvor det traditionelle anlæg yder bedre end det intelligente anlæg er få. Der er tidligere udført beregninger af ydelsen for intelligente anlæg med variabelt flow i solkredsen hvor hensigten var at få en fremløbstemperatur i solkredsen på mindst 60°C i flest mulige perioder /1/. Beregningerne viste at ydelsen for et intelligent anlæg ved denne driftsform kun medførte en beskedne forøgelse af ydelsen. På den baggrund anses det for uvæsentligt at det traditionelle anlæg under de givne omstændigheder yder en anelse bedre end det intelligente anlæg.

Hvis det derimod var muligt, altid at tage det varmeste af det vand der endnu ikke har nået et temperaturniveau der bidrager til det samlede energiindhold i lageret og opvarme vandet til et temperaturniveau der bidrager til energiindholdet i lagertanken, ville ydelsen for de intelligente

anlæg kunne øges yderligere og det intelligente anlæg ville, med denne forudsætning, altid yde bedre end det tilsvarende traditionelle anlæg. Der er imidlertid endnu ikke fundet en simpel og billig måde at gøre dette på.

5 Beregninger

I dette afsnit foretages, på grundlag af beregninger, sammenligning af et intelligent solvarmeanlæg med sidearm og et tilsvarende traditionelt solvarmeanlæg. Både det intelligente og det traditionelle solvarmeanlæg er baseret på en kappetank af typen Danlager 1000 fra Nilan A/S med et lagervolumen på 189 liter og et kappevolumen på 7 liter samt en solfanger på 3 m².

Beregningerne foretages med simuleringsprogrammet Mantlsim /3/, der ved benyttelse af det danske referencevejrdata, TRY, kan beregne årsydelsen for forskellige anlægsudformninger. Årsydelsen for det intelligente solvarmeanlæg beregnes ved forskellige tappemønstre og forskellige varmtvandsforbrug og disse resultatet sammenlignes med årsydelsen for det tilsvarende traditionelle solvarmeanlæg. Programmet er valideret ved hjælp af laboratoriemålinger på intelligente solvarmeanlæg og valideringen er detaljeret beskrevet i /1/.

Derudover foretages der nogle beregninger til optimering af driftsstrategien og anlægsudformningen for det intelligente anlæg samt beregninger til belysning af intelligente anlægs følsomhed overfor ikke korrekt indstillede varmtvandsforbrug og forbrugsmønstre.

5.1 Beregningsgrundlag

Tabel 5-1 angiver data for solfanger og solfangerkreds, der benyttes i beregningerne og Tabel 5-2 angiver data for den intelligente lagertank samt den traditionelle lagertank der benyttes i beregningen.

I /4/ er Danlager 1000 testet og en model af tanken er valideret med målte temperaturer og energistørrelser. Ved de udførte beregninger er denne validerede model for lagertanken benyttet både for det intelligente anlægs lagertank og for det traditionelle anlægs lagertank.

Solfanger	
Areal	3 m ²
Effektivitetsudtryk	$\eta = 0,75 - 5,40 \cdot (T_m - T_a) / G$
Indfaldsvinkelkorrektio	$K_g = 1 - \tan^{4,2}(i/2)$
Varmekapacitet	7000 J/Km ²
Hældning	45°
Orientering	Syd
Solfangerkreds	
Rørmateriale	Kobber
Diameter	12/10 mm
Længde af rør fra solfanger til lager, ude	1,5 m
Længde af rør fra lager til solfanger, ude	1,5 m
Længde af rør fra solfanger til lager, inde	3,5 m
Længde af rør fra lager til solfanger, inde	3,5 m
Varmetabskoefficient for rør	0,25 W/mK
Solfangervæske	40 % (vægt) propylenglykol/vand blanding
Volumenstrøm i solfangerkreds	0,45 l/min
Cirkulationspumpens effektforbrug	30 W
Styresystem	
Differenstermostat med en temperaturføler i toppen af solfangeren og en i bunden af kappen.	
Start/stop differens	6 K/2 K

Tabel 5-1: Data for solfanger og solfangerkreds, der er benyttet i beregningerne.

	Intelligent Danlager 1000	Traditionel Danlager 1000
Beholdertype	Kappebeholder	Kappebeholder
Beholdermateriale	Stål St 37-2	Stål St 37-2
Varmtvandstank		
Volumen	0,189 m ³	0,189 m ³
Højde/diameter	1,082/0,500 m	1,082/0,500 m
Godstykkelse	0,003 m	0,003 m
Supplerende energikilde, type	Varmeveksler i sidearm	Varmelegeme i tank
Volumen opvarmet af supplerende energikilde	0,080 m ³ vand er placeret over udløbsrøret. Indløbsrøret til varmtvandstanken er placeret i toppen af beholderen. Det suppleringsopvarmede volumen kan varieres fra 0 – 0,080 m ³ .	Øverste 0,080 m ³ af varmtvandstanken er konstant opvarmet til 50,5°C af den supplerende energikilde
Effekt fra supplerende energikilde	10000 W	1200 W
Volumenstrøm i sidearm	4 l/min	-
Styresystem	Den supplerende energikilde er i drift hvis energiindholdet af brugsvandet med temperatur over 50°C er for lille til at dække varmtvandsforbruget med en minimum tappetemperatur på 50°C og hvis forskellen mellem den aktuelle tid og forventet tappetidspunkt svarer til tidsforbruget til opvarmning af den ønskede energimængde fra 10°C – 50°C med den supplerende energikilde.	-
Kappe		
Volumen	0,007 m ³	0,007 m ³
Højde/diameter	0,430/0,525 m	0,430/0,525 m
Godstykkelse	0,003 m	0,003 m
Placering	Kappen omslutter den nederste del af de lodrette sider på varmtvandstanken. De øverste 0,081 m ³ og de nederste 0,014 m ³ af varmtvandstanken er ikke omsluttet af kappen.	Kappen omslutter den nederste del af de lodrette sider på varmtvandstanken. De øverste 0,081 m ³ og de nederste 0,014 m ³ af varmtvandstanken er ikke omsluttet af kappen.
Isolering		
Isoleringsmateriale	PUR-skum	PUR-skum
Varmetabskoefficient – sidearm	0,2 W/K	-
Varmetabskoefficient – top	0,1 W/K	0,1 W/K
Varmetabskoefficient – sider	0,6 W/K	0,6 W/K
Varmetabskoefficient – kappe	0,3 W/K	0,3 W/K
Varmetabskoefficient – bund	0,7 W/K	0,7 W/K
Varmetabskoefficient – i alt	1,9 W/K	1,7 W/K

Tabel 5-2: Data for lagertankene, der er benyttet i beregningerne.

5.2 Variation af tappemønster og varmtvandsforbrug

Variationerne i tappemønster og varmtvandsforbrug er foretaget på følgende måde. For hvert tappemønster regnes med fire forskellige daglige varmtvandsforbrug på henholdsvis 50 l, 100 l, 160 l og 200 l. Der tappes dagligt varmt vand i tre lige store portioner. Der er anvendt 5 forskellige tappemønstre og de er; jævnt fordelt forbrug med tapninger kl. 7, kl. 12 og kl. 19, forbrug om morgenen med tapninger kl. 5, kl. 6 og kl. 7, forbrug om aftenen med tapninger kl. 19, kl. 20 og kl. 21, forbrug både morgen og aften med tapninger kl. 6, kl. 7 og kl. 19 samt forbrug morgen og aften med tapninger kl. 7, kl. 19 og kl. 20.

Tappemønstrene er valgt for at vise forskellen imellem forbrug fordelt jævnt over døgnet og så de ekstreme tilfælde med kun tapning henholdsvis morgen og aften. De sidste to tappemønstre er valgt som nogle realistiske tappemønstre med tapning både morgen og aften og ingen tapning midt på dagen, hvor brugerne er på arbejde.

Tabel 5-3 viser for det intelligente solvarmeanlæg hvilken energigrænse der styres efter og den beregningsmæssige opvarmningstid før hver tapning ved de forskellige varmtvandsforbrug og forbrugsmønstre. Opvarmningstiderne og energigrænserne er tilpasset på en måde, så den ønskede mængde varmt vand kan efterkommes, samtidig med at opvarmningstiden er forholdsvis kort.

Varmtvandsforbrug	Tappetidspunkter	Opvarmningstid og etableret energimængde i lagertanken ved hver af de tre daglige tapninger
50 l/dag	Alle fem tappemønstre	0,25 h
		0,77 kWh
100 l/dag	Alle fem tappemønstre	0,5 h
		1,525 kWh
160 l/dag	Alle fem tappemønstre	0,67 h
		2,44 kWh
200 l/dag	Alle fem tappemønstre	0,75 h
		3,05 kWh

Tabel 5-3: Opvarmningstider og etablerede energimængder i lagertanken ved de forskellige forbrug.

Resultatet af beregningerne er vist i Figur 5-1 til Figur 5-10. Figur 5-1 viser nettoydelsen (defineret som energimængde tappet fra beholder minus supplerende energi tilført beholder) som funktion af det daglige varmtvandsforbrug med vand tappet kl. 7, kl. 12 og kl. 19. I Figur 5-2 ses den relative nettoydelse for anlæggene som funktion af det daglige varmtvandsforbrug med vand tappet kl. 7, kl. 12 og kl. 19. Den relative nettoydelse er defineret som nettoydelsen for det intelligente anlæg divideret med nettoydelsen for det traditionelle anlæg.

Figur 5-3 viser nettoydelsen som funktion af det daglige varmtvandsforbrug med vand tappet kl. 5, kl. 6 og kl. 7. I Figur 5-4 ses den relative nettoydelse for anlæggene som funktion af det daglige varmtvandsforbrug med vand tappet kl. 5, kl. 6 og kl. 7. Figur 5-5 viser nettoydelsen som funktion af det daglige varmtvandsforbrug med vand tappet kl. 19, kl. 20 og kl. 21. I Figur 5-6 ses den relative nettoydelse for anlæggene som funktion af det daglige varmtvandsforbrug med vand tappet kl. 19, kl. 20 og kl. 21. Figur 5-7 viser nettoydelsen som funktion af det daglige varmtvandsforbrug med vand tappet kl. 6, kl. 7 og kl. 19. I Figur 5-8 ses den relative nettoydelse for anlæggene som funktion af det daglige varmtvandsforbrug med vand tappet kl. 6, kl. 7 og kl. 19. Figur 5-9 viser nettoydelsen som funktion af det daglige varmtvandsforbrug med vand tappet kl. 7, kl. 19 og kl. 20.

I Figur 5-10 ses den relative nettoydelse for anlæggene som funktion af det daglige varmtvandsforbrug med vand tappet kl. 7, kl. 19 og kl. 20.

Figureerne viser, at med tappetidspunkter kl. 7, kl. 12 og kl. 19 har det intelligente anlæg en årlig nettoydelse, der er 5 – 12 % større end den årlige nettoydelse for det traditionelle anlæg.

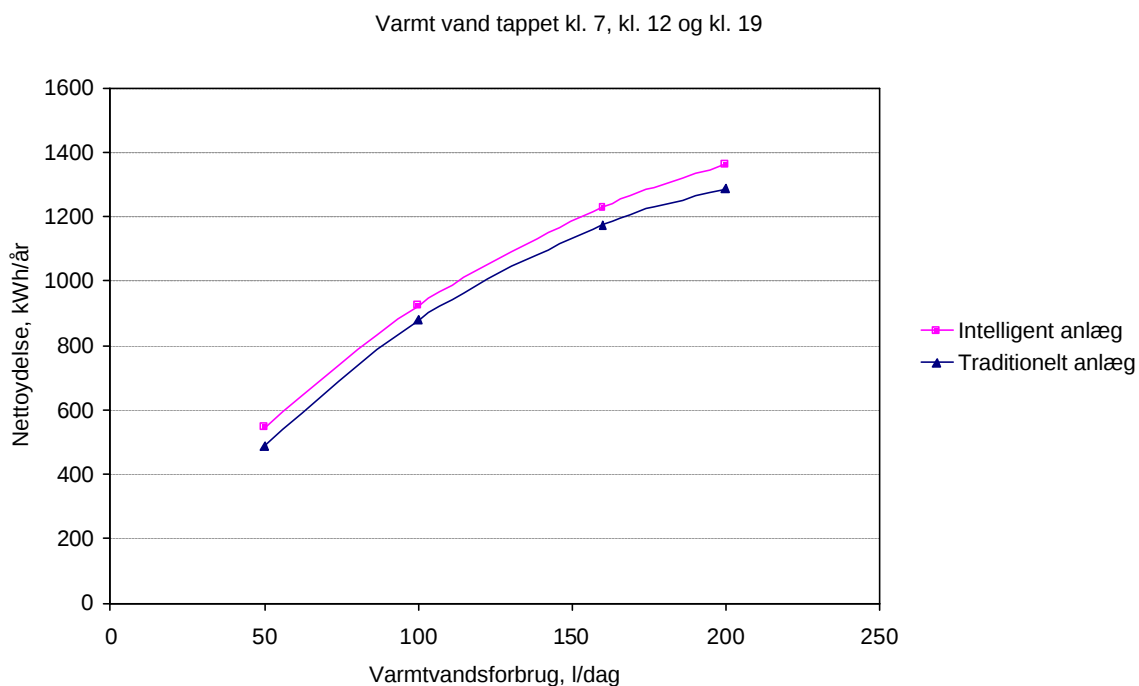
I figurene ses det, at med tappetidspunkter kl. 5, kl. 6 og kl. 7 har det intelligente anlæg en årlig nettoydelse, der er 9 – 25 % større end den årlige nettoydelse for det traditionelle anlæg.

Figurene viser, at med tappetidspunkter kl. 19, kl. 20 og kl. 21 har det intelligente anlæg en årlig nettoydelse, der er 16 – 37 % større end den årlige nettoydelse for det traditionelle anlæg.

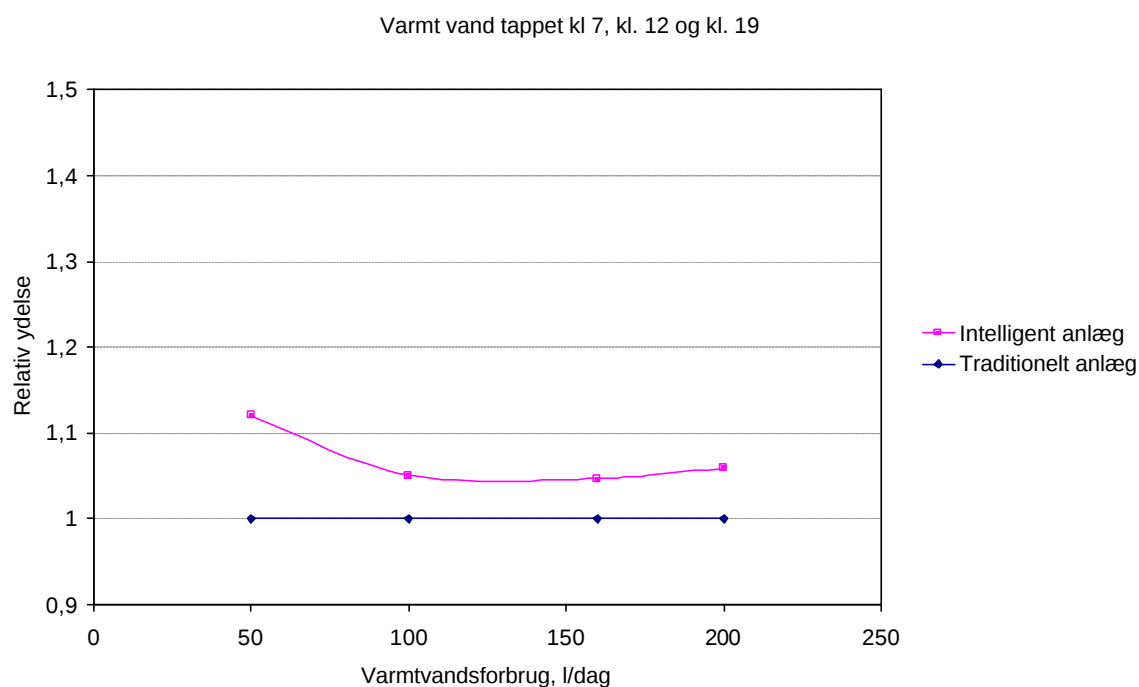
I figurene ses det, at med tappetidspunkter kl. 6, kl. 7 og kl. 19 har det intelligente anlæg en årlig nettoydelse, der er 9 – 19 % større end den årlige nettoydelse for det traditionelle anlæg.

Figurene viser, at med tappetidspunkter kl. 7, kl. 19 og kl. 20 har det intelligente anlæg en årlig nettoydelse, der er 11 – 21 % større end den årlige nettoydelse for det traditionelle anlæg.

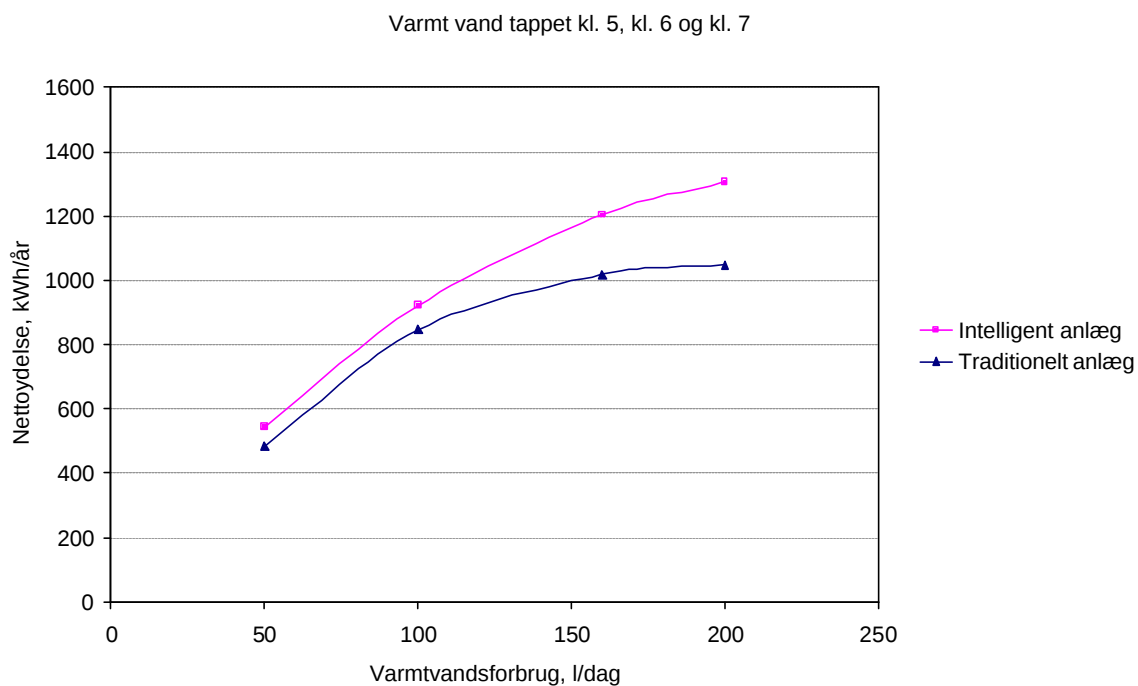
Generelt viser figurene, at det intelligente solvarmeanlæg har en større årlig nettoydelse end det tilsvarende traditionelle solvarmeanlæg. Det intelligente solvarmeanlæg er specielt attraktivt når størstedelen af varmtvandsforbruget ligger om aftenen, mens det er lidt mindre attraktivt når, der er et jævnt dagligt forbrug. Derudover ses det, at den årlige nettoydelse for både det intelligente og det traditionelle solvarmeanlæg stiger når varmtvandsforbruget stiger.



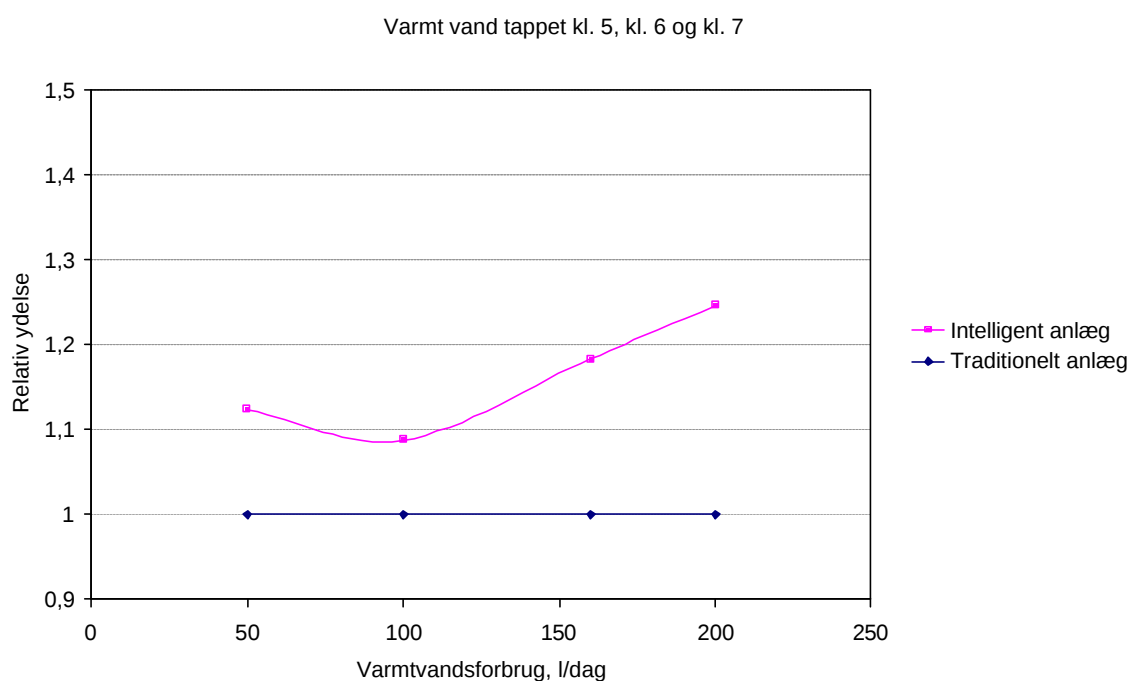
Figur 5-1: Årlig nettoydelse som funktion af det daglige varmtvandsforbrug for det intelligente anlæg med sidearm og et tilsvarende traditionelt anlæg. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 12 og kl. 19.



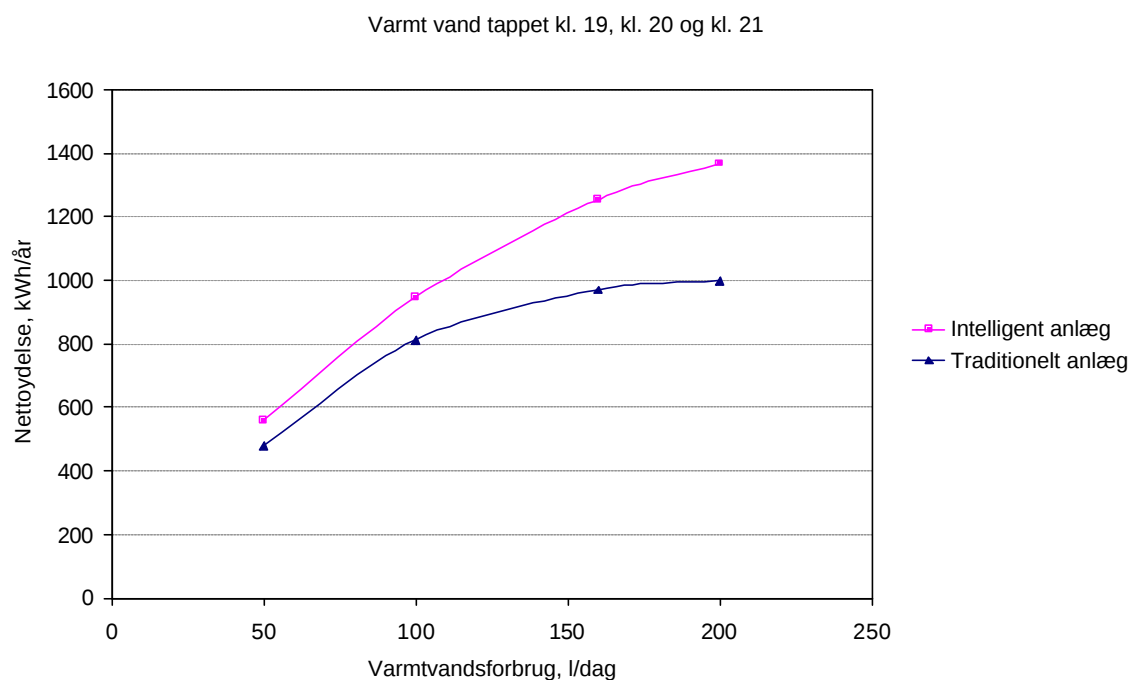
Figur 5-2: Relativ nettoydelse som funktion af det daglige varmtvandsforbrug for det intelligente anlæg med sidearm og et tilsvarende traditionelt anlæg. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 12 og kl. 19.



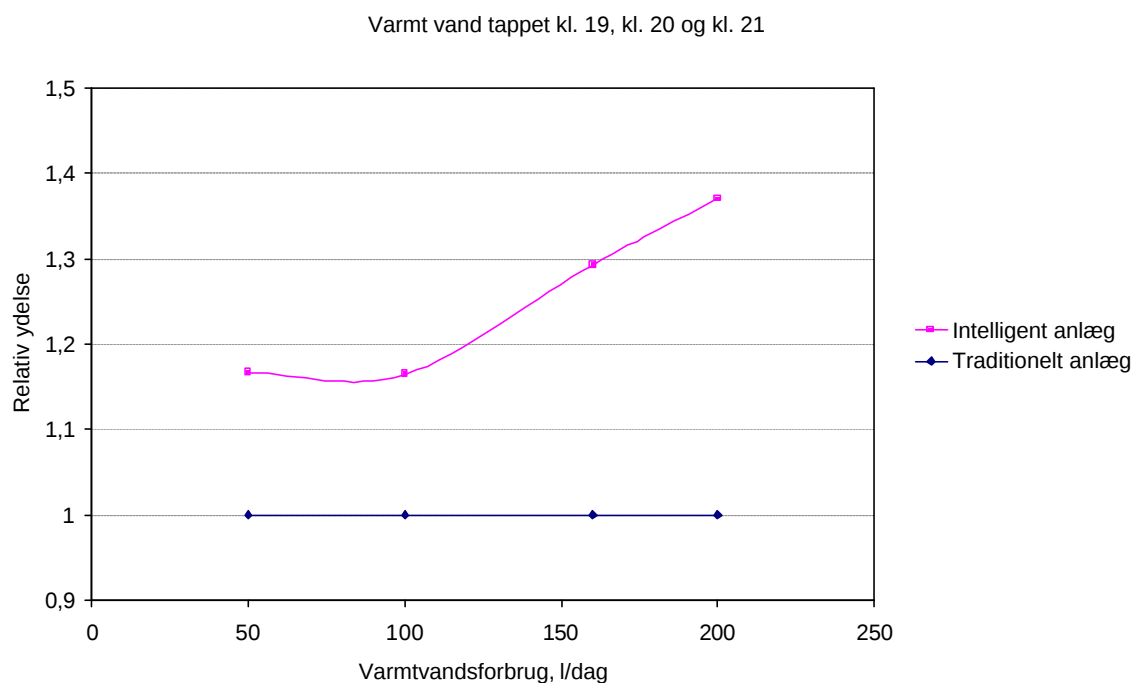
Figur 5-3: Årlig nettoydelse som funktion af det daglige varmtvandsforbrug for det intelligente anlæg med sidearm og et tilsvarende traditionelt anlæg. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 5, kl. 6 og kl. 7.



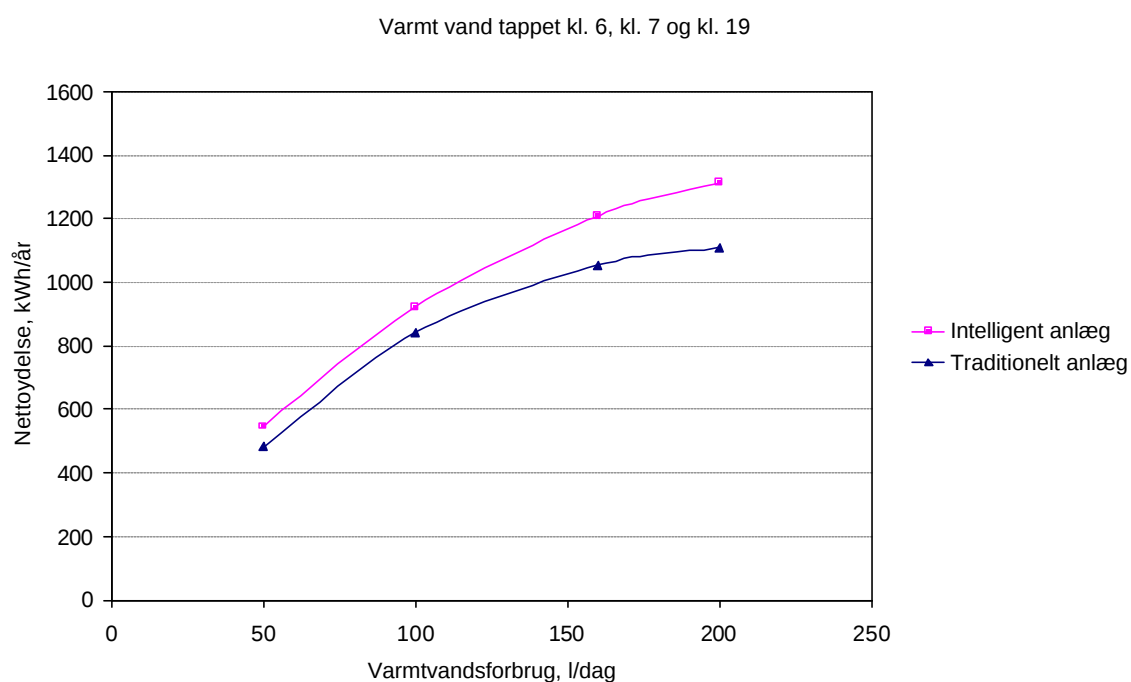
Figur 5-4: Relativ nettoydelse som funktion af det daglige varmtvandsforbrug for det intelligente anlæg med sidearm og et tilsvarende traditionelt anlæg. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 5, kl. 6 og kl. 7.



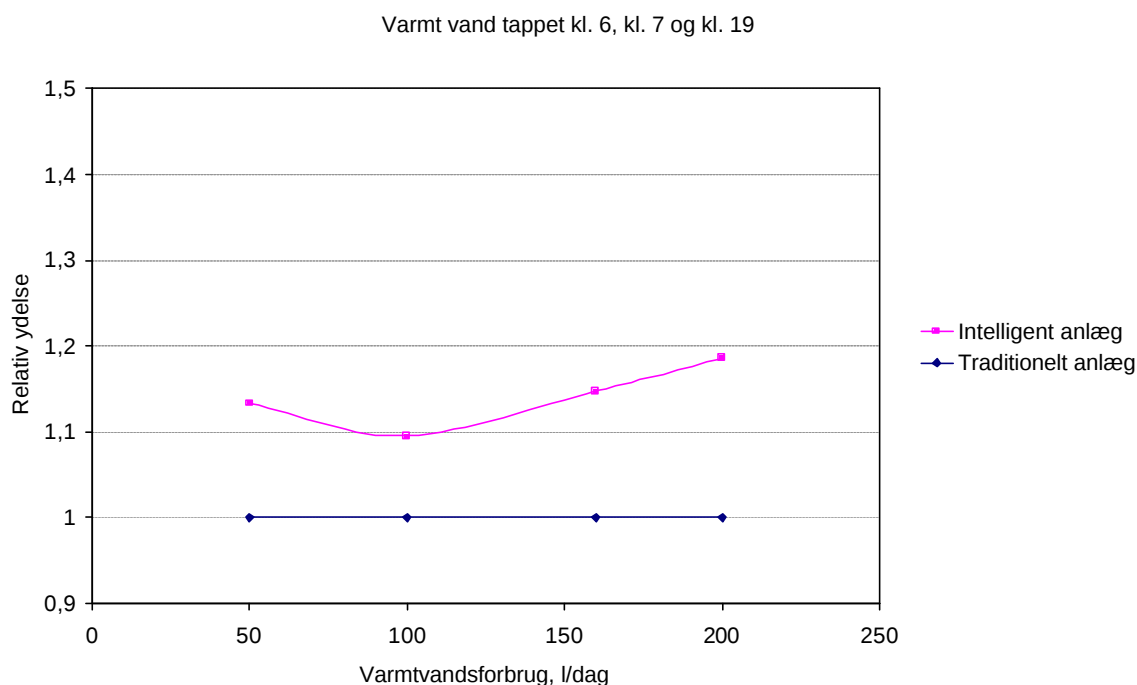
Figur 5-5: Årlig nettoydelse som funktion af det daglige varmtvandsforbrug for det intelligente anlæg med sidearm og et tilsvarende traditionelt anlæg. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 19, kl. 20 og kl. 21.



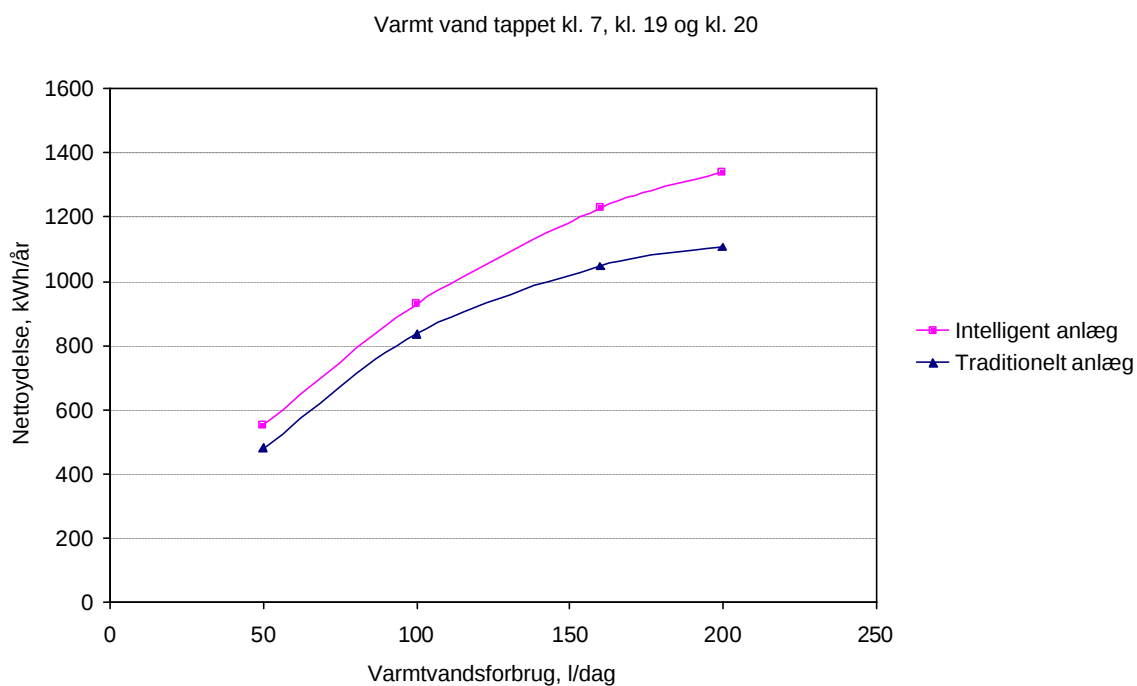
Figur 5-6: Relativ nettoydelse som funktion af det daglige varmtvandsforbrug for det intelligente anlæg med sidearm og et tilsvarende traditionelt anlæg. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 19, kl. 20 og kl. 21.



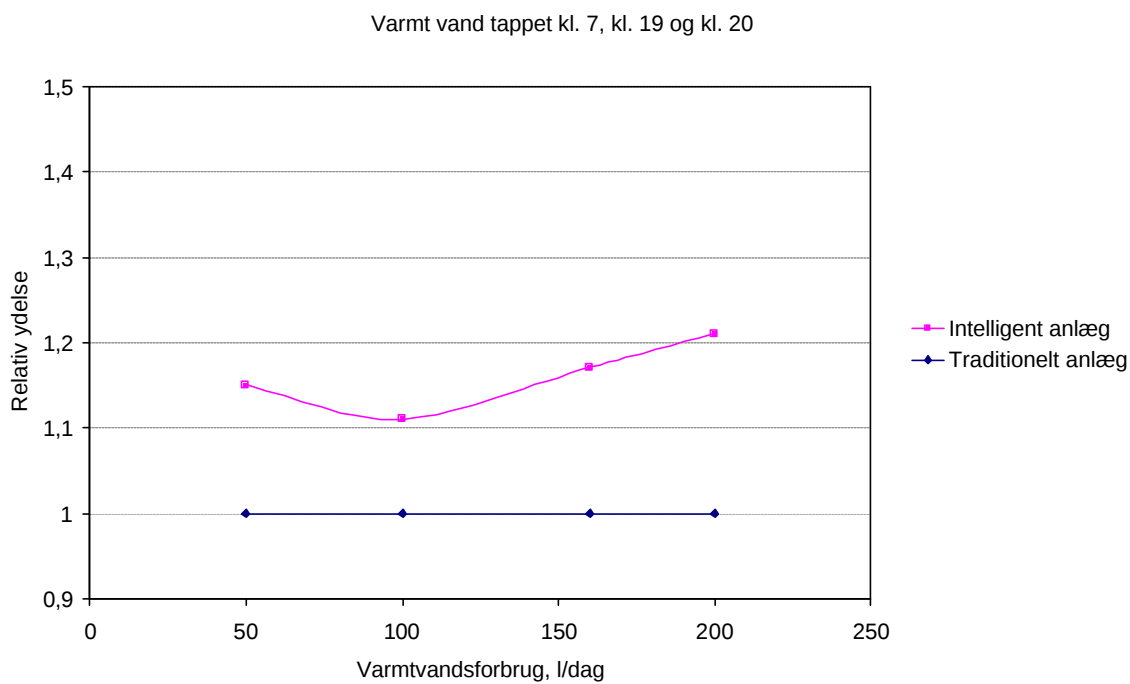
Figur 5-7: Årlig nettoydelse som funktion af det daglige varmtvandsforbrug for det intelligente anlæg med sidearm og et tilsvarende traditionelt anlæg. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 6, kl. 7 og kl. 19.



Figur 5-8: Relativ nettoydelse som funktion af det daglige varmtvandsforbrug for det intelligente anlæg med sidearm og et tilsvarende traditionelt anlæg. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 6, kl. 7 og kl. 19.



Figur 5-9: Årlig nettoydelse som funktion af det daglige varmtvandsforbrug for det intelligente anlæg med sidearm og et tilsvarende traditionelt anlæg. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 19 og kl. 20.



Figur 5-10: Relativ nettoydelse som funktion af det daglige varmtvandsforbrug for det intelligente anlæg med sidearm og et tilsvarende traditionelt anlæg. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 19 og kl. 20.

5.3 Volumenstrømmen i sidearmen

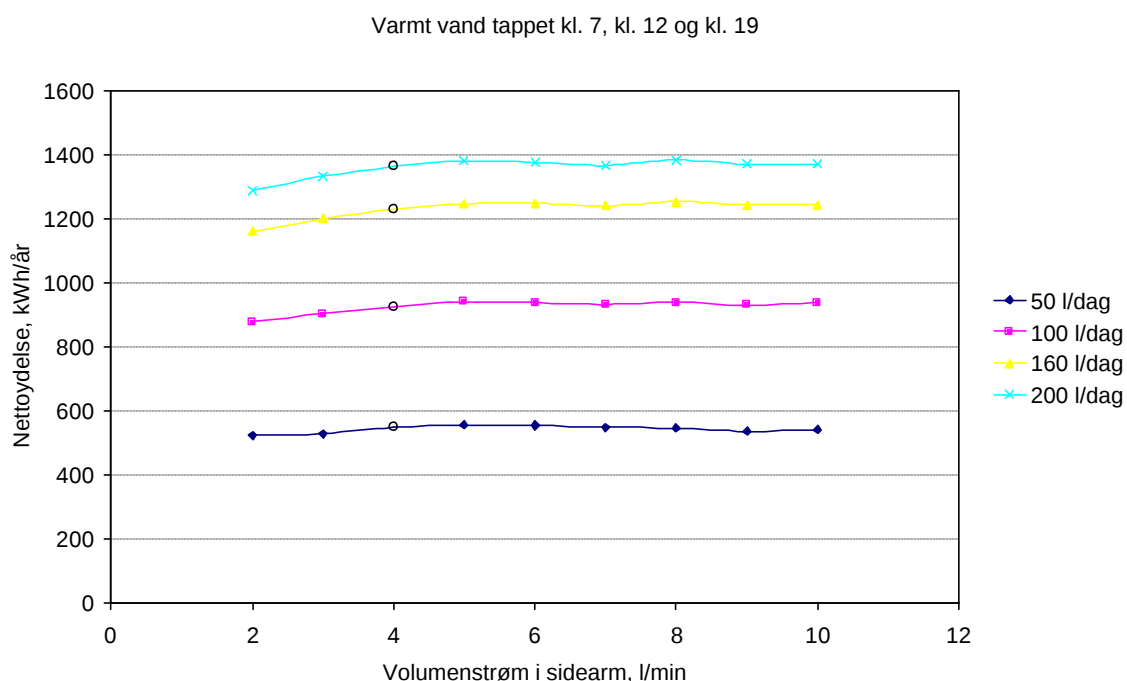
For hvert af de i forrige afsnit omtalte tappemønstre og varmtvandsforbrug er volumenstrømmen i sidearmen varieret fra 2 l/min – 10 l/min.

For små volumenstrømme i sidearmen opnås en høj indløbstemperatur fra sidearmen til lagertanken, mens der for høje volumenstrømme opnås lavere indløbstemperaturer fra sidearmen til lagertanken. Temperaturniveauet i toppen af lagertanken og dermed varmetabet fra toppen af lagertanken er bestemt af indløbstemperaturen fra sidearmen.

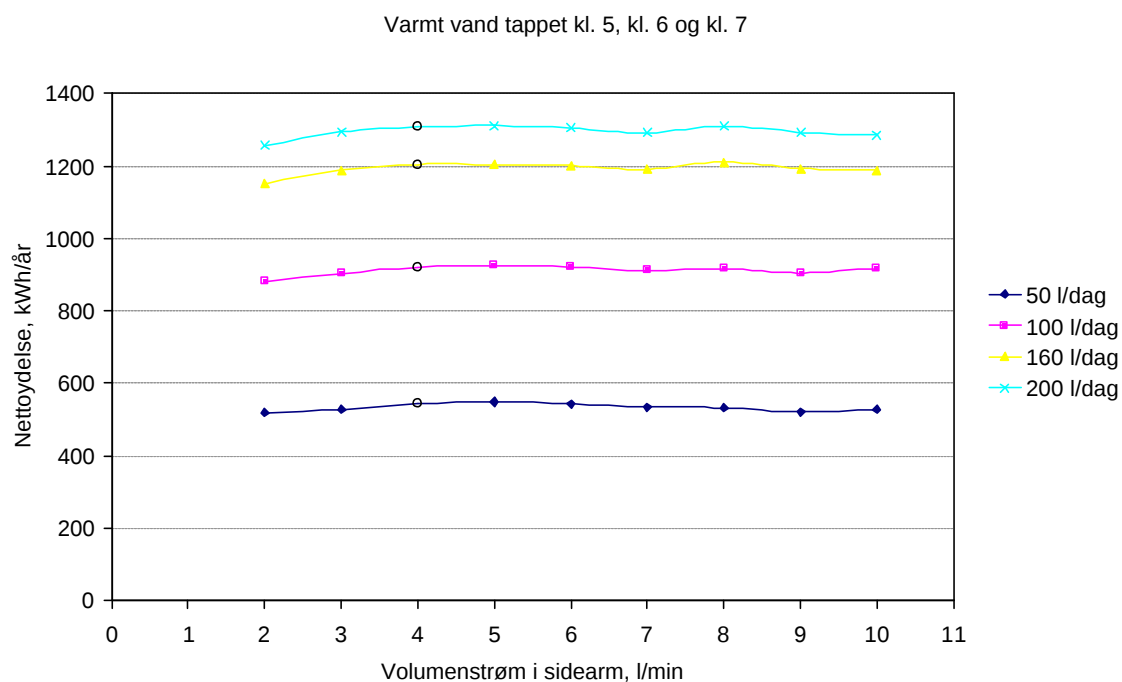
Ved beregningerne er opvarmningstiderne og energigrænserne fra Tabel 5-2 benyttet.

Resultatet af beregningerne er vist i Figur 5-11 til Figur 5-15. Af figurene ses det, at den højeste ydelse opnås med en volumenstrøm på ca. 5 l/min uafhængigt af varmtvandsforbrugets størrelse og forbrugsmønstret, men det ses også, at volumenstrømmen i sidearmen, når denne er større end 4 l/min, ikke har stor indflydelse på den årlige nettoydelse.

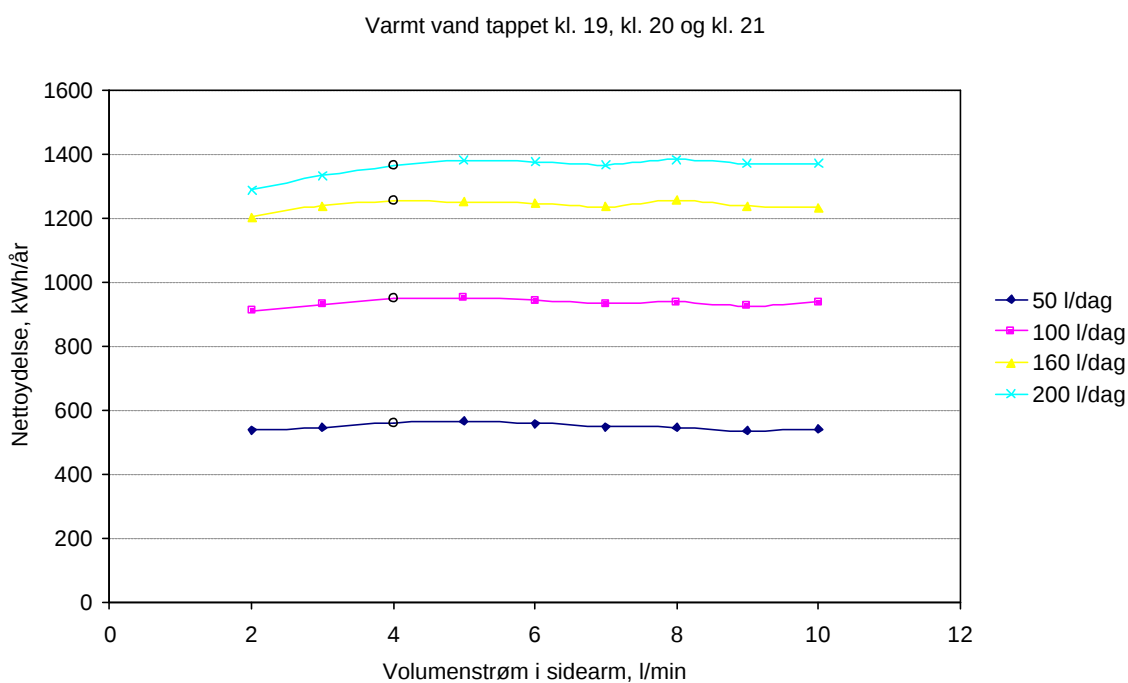
Det passer med resultaterne af opvarmningsforsøgene med tvungen cirkulation i sidearmen, som viser at temperaturlagdelingen opbygges lige godt hvad enten volumenstrøm i sidearmen er lille eller stor.



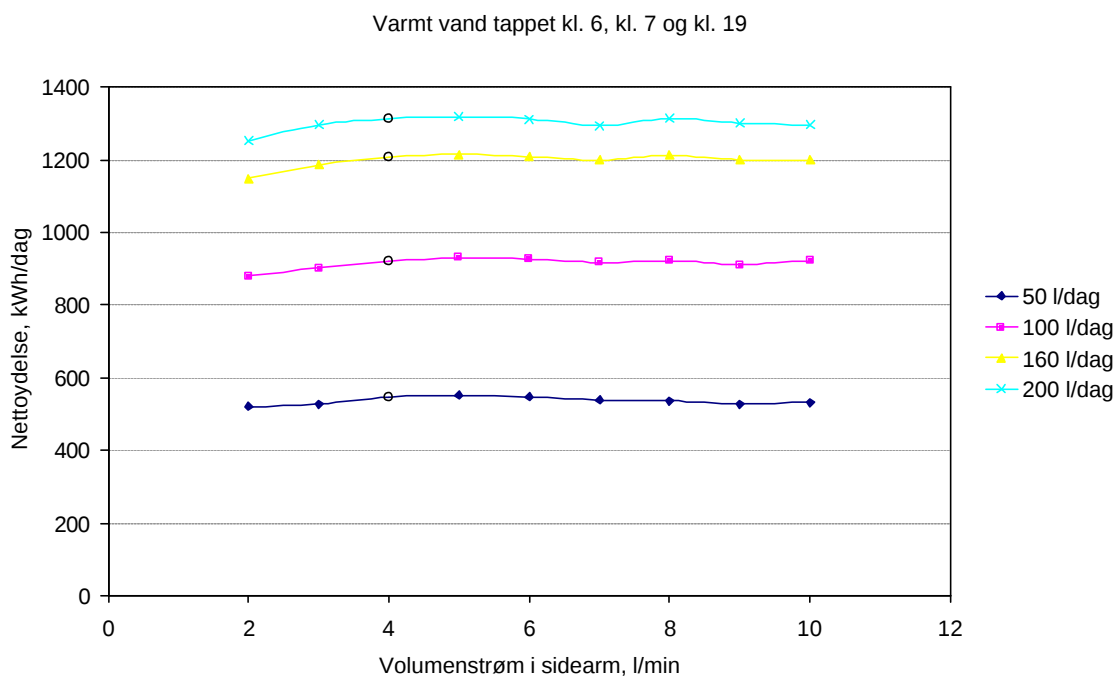
Figur 5-11: Årlig nettoydelse som funktion af volumenstrømmen i sidearmen. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 12 og kl. 19.



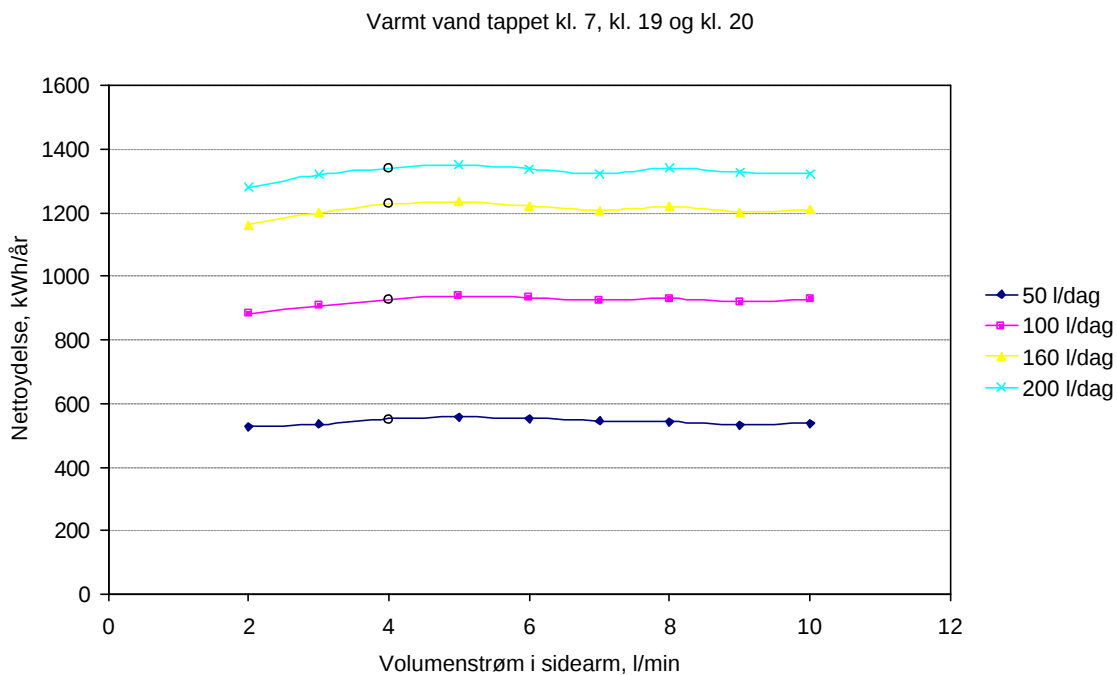
Figur 5-12: Årlig nettoydelse som funktion af volumenstrømmen i sidearmen. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 5, kl. 6 og kl. 7.



Figur 5-13: Årlig nettoydelse som funktion af volumenstrømmen i sidearmen. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 19, kl. 20 og kl. 21.



Figur 5-14: Årlig nettoydelse som funktion af volumenstrømmen i sidearmen. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 6, kl. 7 og kl. 19.



Figur 5-15: Årlig nettoydelse som funktion af volumenstrømmen i sidearmen. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 19 og kl. 20.

5.4 Kuldebro i forbindelse med sidearmens tilslutning til lagertank

Sidearmen tilsluttes i toppen af lagertanken. For at undgå en kuldebro i toppen af lagertanken hvor vandet er varmest, kræves en meget omhyggelig isolering af tilslutningen.

I dette afsnit undersøges betydning af en kuldebro i toppen af beholderen hvor sidearmen tilsluttes.

Ved beregningerne er opvarmningstiderne og energimængderne fra Tabel 5-3 benyttet. For hvert af de tidligere omtalte tappemønstre og varmtvandsforbrug er der gennemført beregninger med en kuldebro, varieret fra 1 – 4 W/K, i toppen af beholderen hvor sidearmen tilsluttes.

Resultaterne af beregningerne er vist i Figur 5-16 til Figur 5-20. Figurerne viser nettoydelsen som funktion af størrelsen af en kuldebro i toppen af lagertanken hvor sidearmen tilsluttes.

Figurerne viser, at med tappetidspunkter kl. 7, kl. 12 og kl. 19 reduceres nettoydelsen for anlægget med 24 – 38 % når der er en kuldebro i toppen af beholderen af størrelsesordenen 1 – 4 W/K.

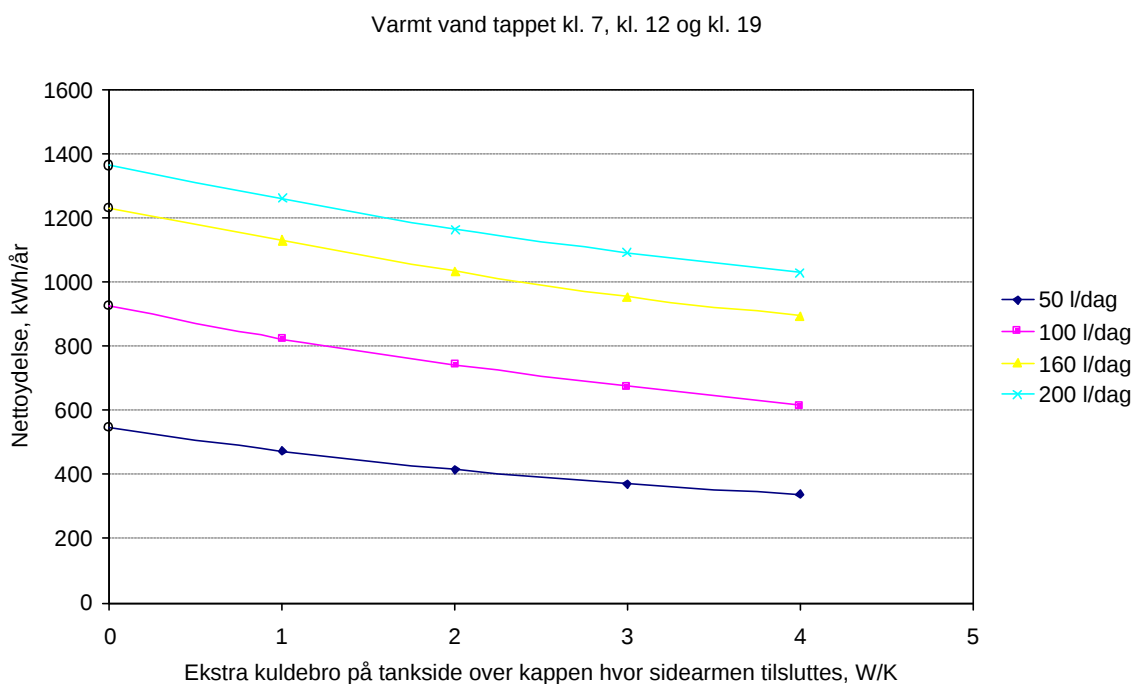
I figurerne ses det, at med tappetidspunkter kl. 5, kl. 6 og kl. 7 reduceres nettoydelsen for anlægget med 28 – 43 % når der er en kuldebro i toppen af beholderen af størrelsesordenen 1 – 4 W/K.

Figurerne viser, at med tappetidspunkter kl. 19, kl. 20 og kl. 21 reduceres nettoydelsen for anlægget med 16 – 31 % når der er en kuldebro i toppen af beholderen af størrelsesordenen 1 – 4 W/K.

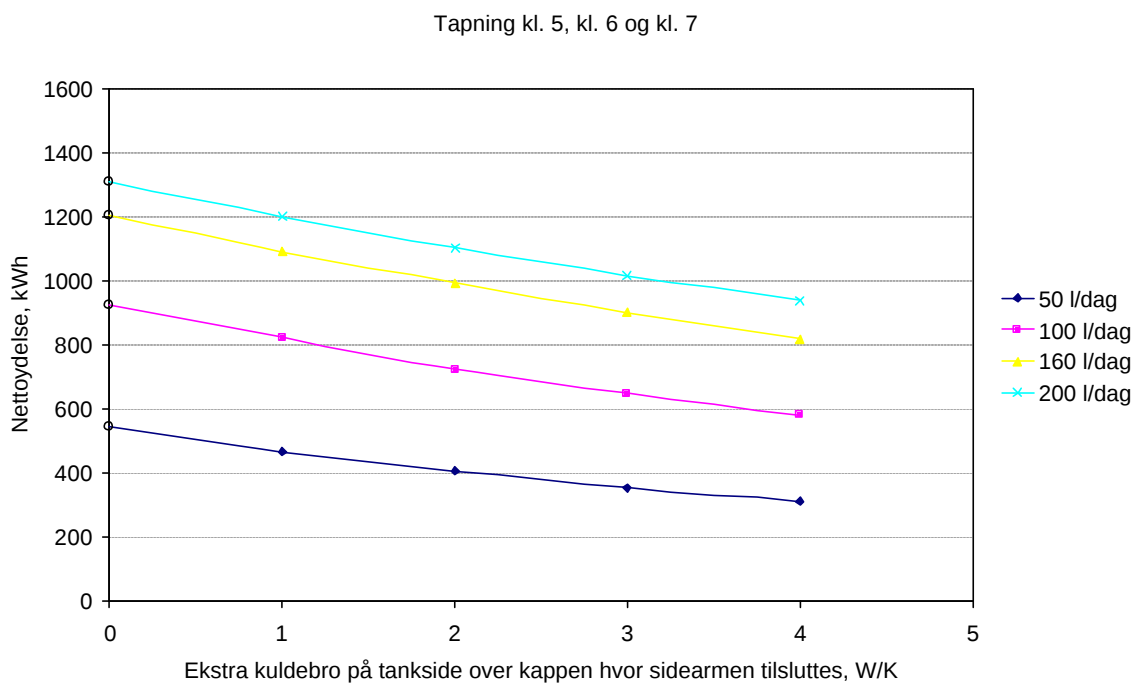
I figurerne ses det, at med tappetidspunkter kl. 6, kl. 7 og kl. 19 reducerer nettoydelsen med 27 – 41 % når der er en kuldebro i toppen af beholderen af størrelsesordenen 1 – 4 W/K.

Figurerne viser, at med tappetidspunkter kl. 7, kl. 19 og kl. 20 reduceres nettoydelsen med 21 – 37 % når der er en kuldebro i toppen af beholderen af størrelsesordenen 1 – 4 W/K.

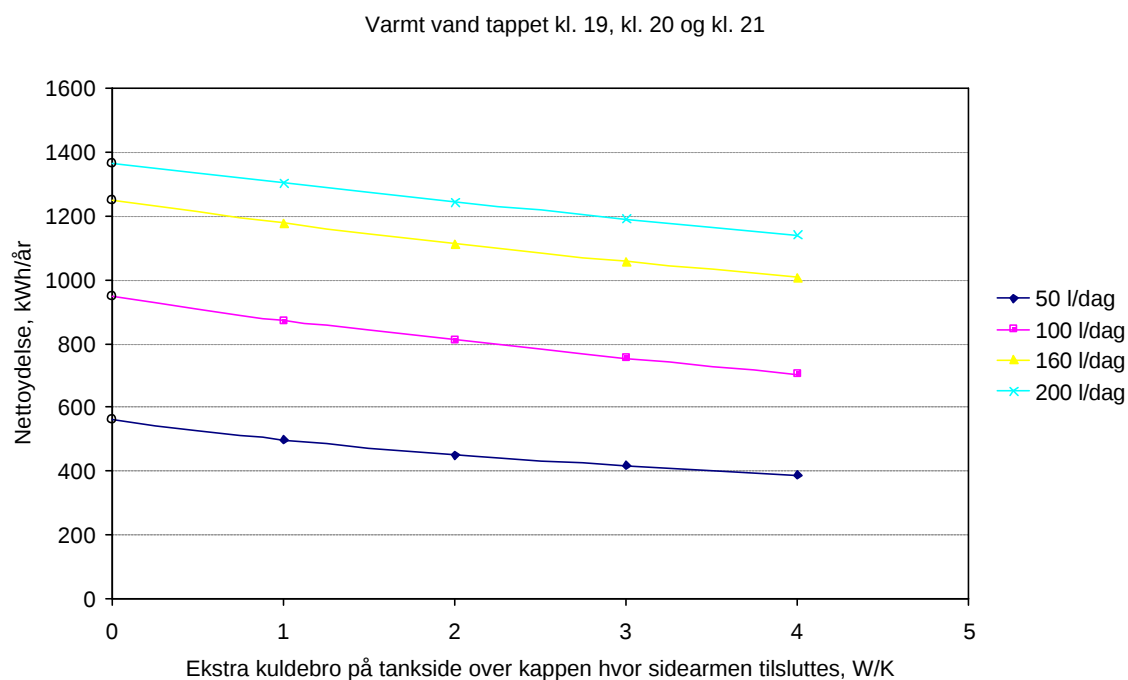
Generelt viser figurerne, at nettoydelsen reduceres med 16 – 43 % når sidearmstilslutningen i toppen af lagertanken ikke er ordentligt isoleret. Reduktionen er størst for store forbrug. Det skyldes både at et stort forbrug medfører opvarmning af en større del af tanken end et lille forbrug, og at lagertanken er varm i en længere periode på grund af den længere opvarmningstid. Derfor er det utrolig vigtigt at tanken færdigisoleres under kontrollerede forhold på fabrikken inden den sendes på markedet.



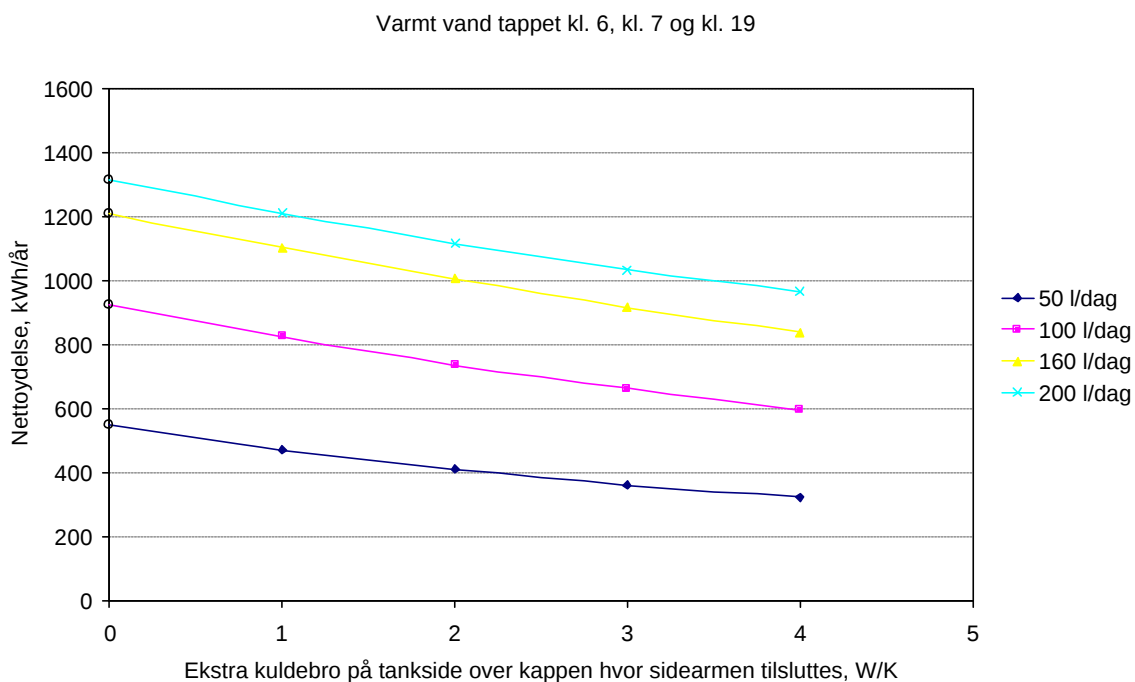
Figur 5-16: Årlig nettoydelse som funktion af en kuldebro i toppen af tanken hvor sidearmen tilsluttes. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 12 og kl. 19.



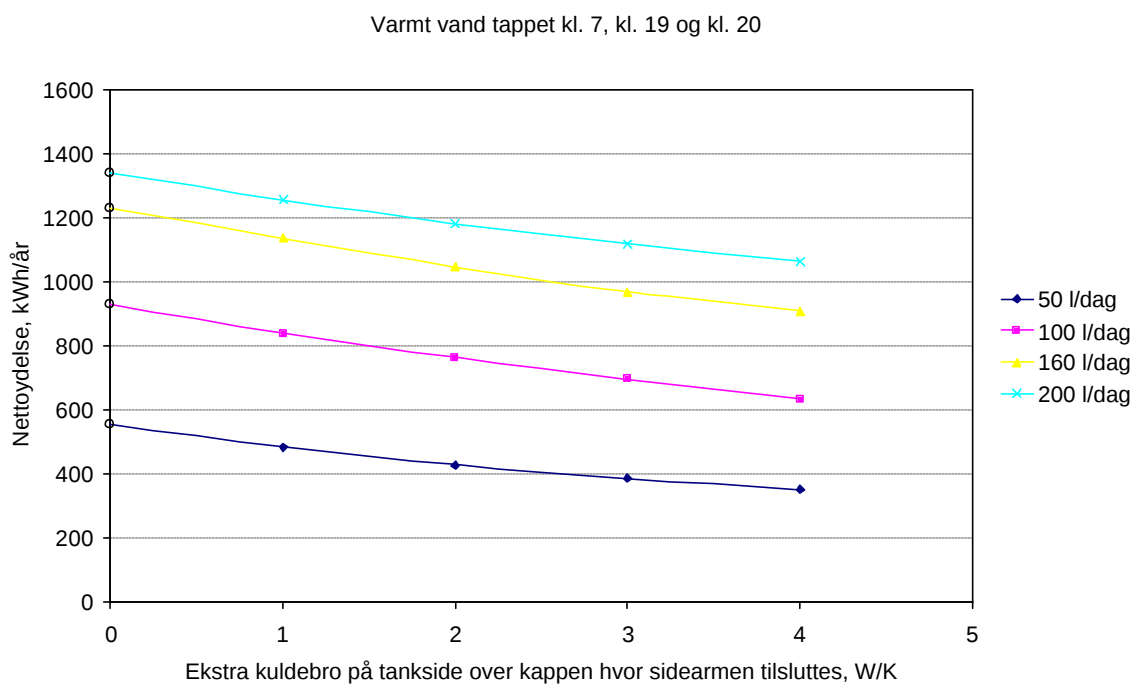
Figur 5-17: Årlig nettoydelse som funktion af en kuldebro i toppen af tanken hvor sidearmen tilsluttes. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 5, kl. 6 og kl. 7.



Figur 5-18: Årlig nettoydelse som funktion af en kuldebro i toppen af tanken hvor sidearmen tilsluttes. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 19, kl. 20 og kl. 21.



Figur 5-19: Årlig nettoydelse som funktion af en kuldebro i toppen af tanken hvor sidearmen tilsluttes. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 6, kl. 7 og kl. 19.



Figur 5-20: Årlig nettoydelse som funktion af en kuldebro i toppen af tanken hvor sidearmen tilsluttes. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 19 og kl. 20.

5.5 Kappenhøjden

I dette afsnit er betydningen af kappenhøjden i intelligente solvarmeanlæg undersøgt.

Kappens højde er varieret fra initialværdien på 0,43 meter til 0,83 meter. Alle andre anlægs- og driftsparametre er som angivet i Tabel 5-1 og Tabel 5-2.

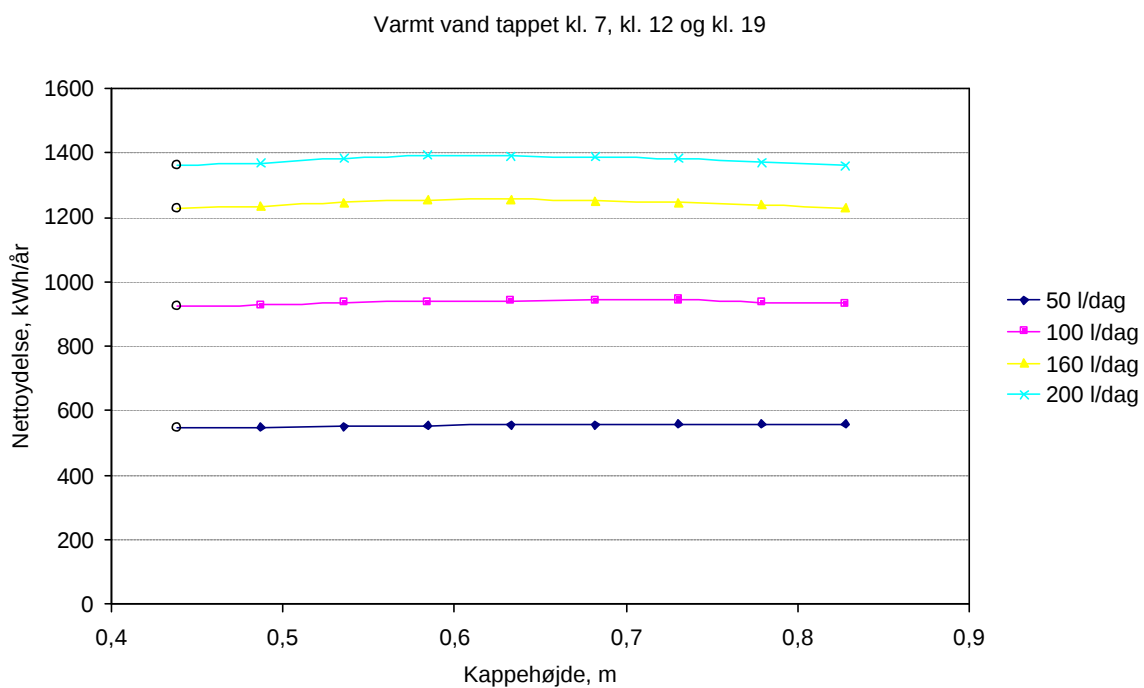
Ved beregningerne er opvarmningstiderne og energigrænserne fra Tabel 5-3 benyttet.

Resultatet af beregningerne er vist i Figur 5-21 til Figur 5-25 hvor det fremgår, at den optimale kappenhøjde er 0,55 – 0,65 meter for daglige varmtvandsforbrug større end 160 liter mens den optimale kappenhøjde er 0,68 – 0,78 meter for daglige varmtvandsforbrug mindre end 160 liter.

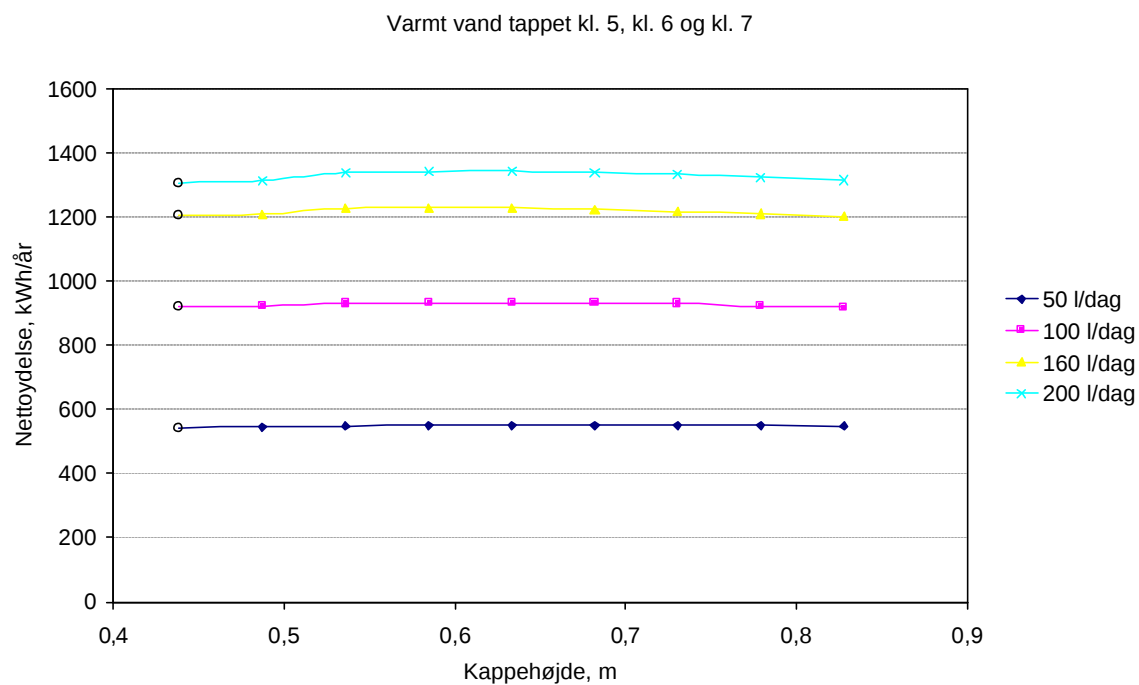
For traditionelle kappebeholdere er det mest optimalt, hvis toppen af kappen er placeret ud for den nederste del af det vandvolumen, som opvarmes af den supplerende energikilde. Hvis kappen dækker en del af det supplerende volumen kan solfangervæskens temperatur når den er koldere end vandet i den supplerende del af lagertanken, trække lidt varme fra det supplerende volumen med længere ned i tanken og dermed forårsage et øget supplerende energiforbrug.

For forvarmebeholdere er det mest optimalt, hvis kappen strækker sig fra den øverste del af beholderen til bunden af beholderen, og udenfor opvarmningsperioderne kan temperaturforholdene i den intelligente soltank godt sammenlignes med forvarmebeholdere. Derfor kan den årlige nettoydelse forøges ved at gøre kappen højere. Den optimale kappenhøjde varierer med varmtvandsforbruget, således at volumenet over kappen svarer til volumenet der tappes ved hver tapning.

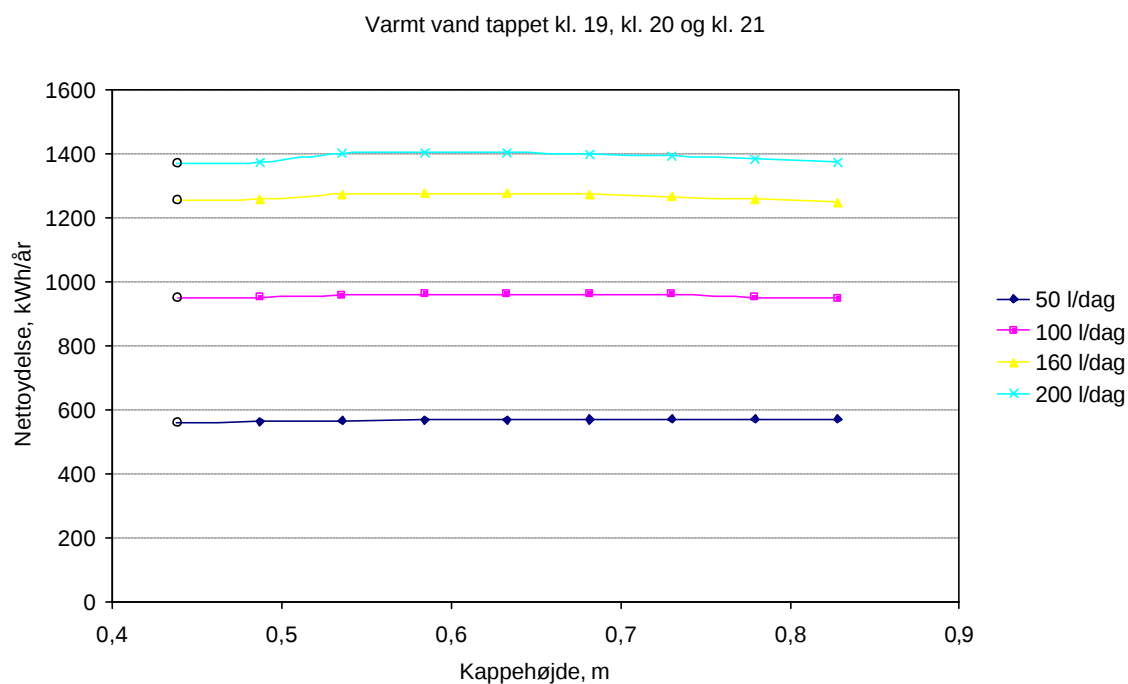
Imidlertid er der ikke stor forskel i ydelsen for det intelligente anlæg når kappenhøjden varieres i intervallet 0,43 meter til 0,83 meter. Ved at øge kappenhøjden, for anlægget der er regnet på, er det kun muligt at øge ydelsen med 1 – 3 %. Den beskudte forøgelse af ydelsen ved forøgelse af kappens højde, skyldes sandsynligvis at det eksisterende varmeoverførende areal i kappen er stort nok til at overføre hele den energimængde der leveres fra solfangeren.



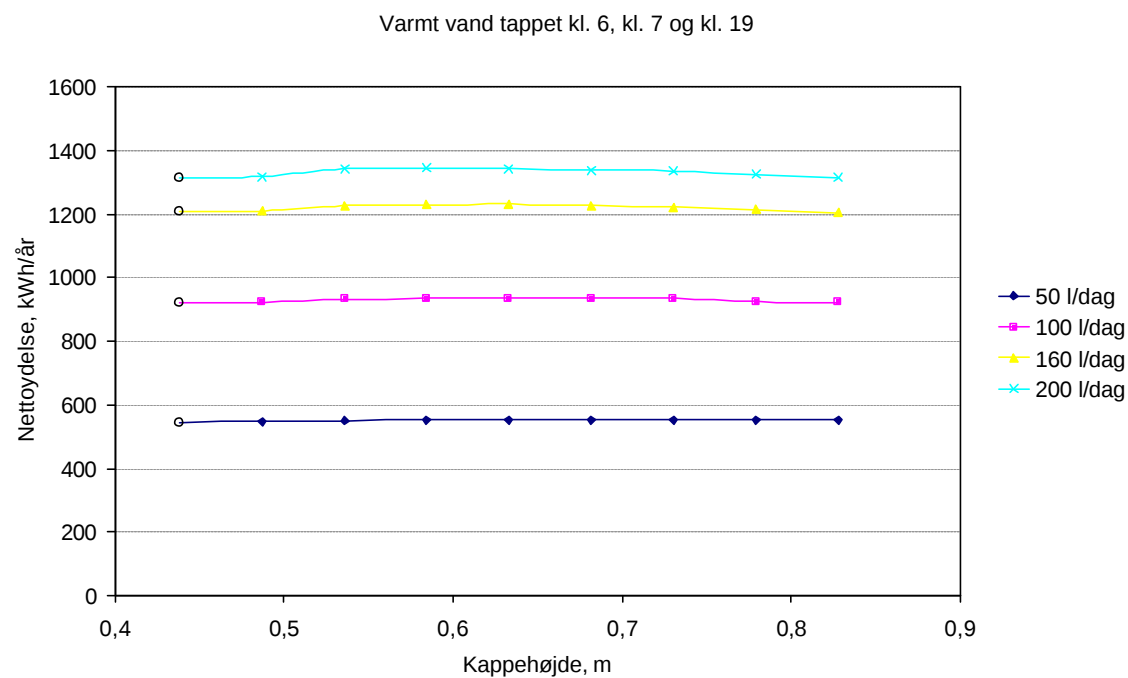
Figur 5-21: Årlig nettoydelse som funktion af kappehøjden. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 12 og kl. 19.



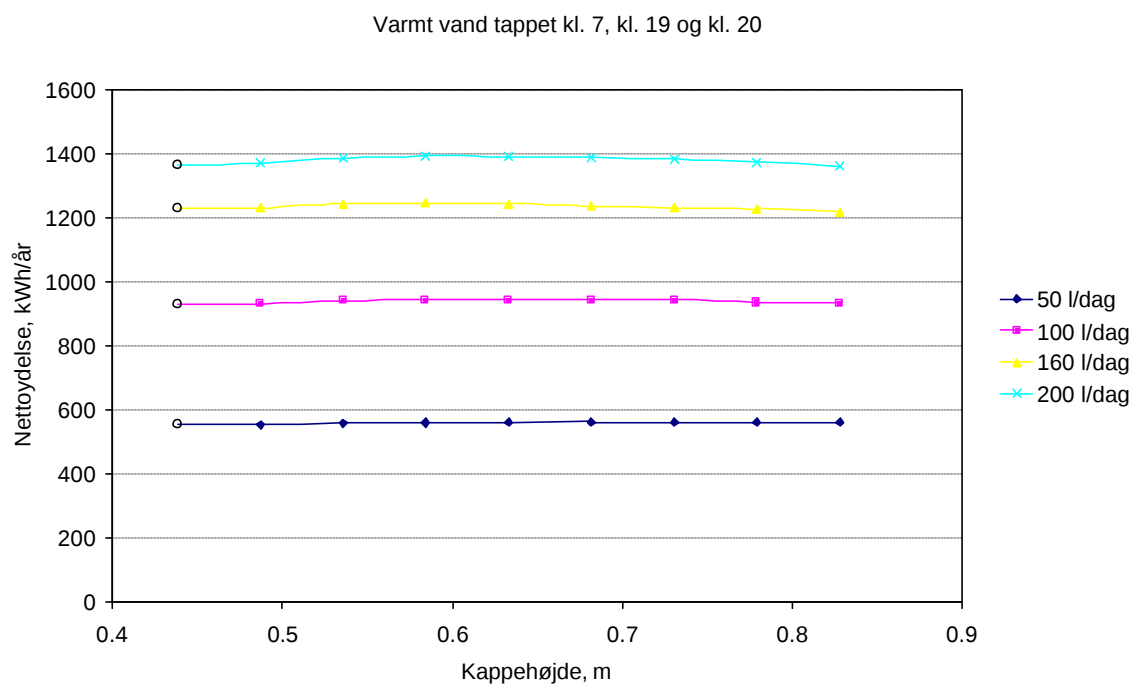
Figur 5-22: Årlig nettoydelse som funktion af kappehøjden. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 5, kl. 6 og kl. 7.



Figur 5-23: Årlig nettoydelse som funktion af kappehøjden. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 19, kl. 20 og kl. 21.



Figur 5-24: Årlig nettoydelse som funktion af kappehøjden. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 6, kl. 7 og kl. 19.



Figur 5-25: Årlig nettoydelse som funktion af kappehøjden. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 19 og kl. 20.

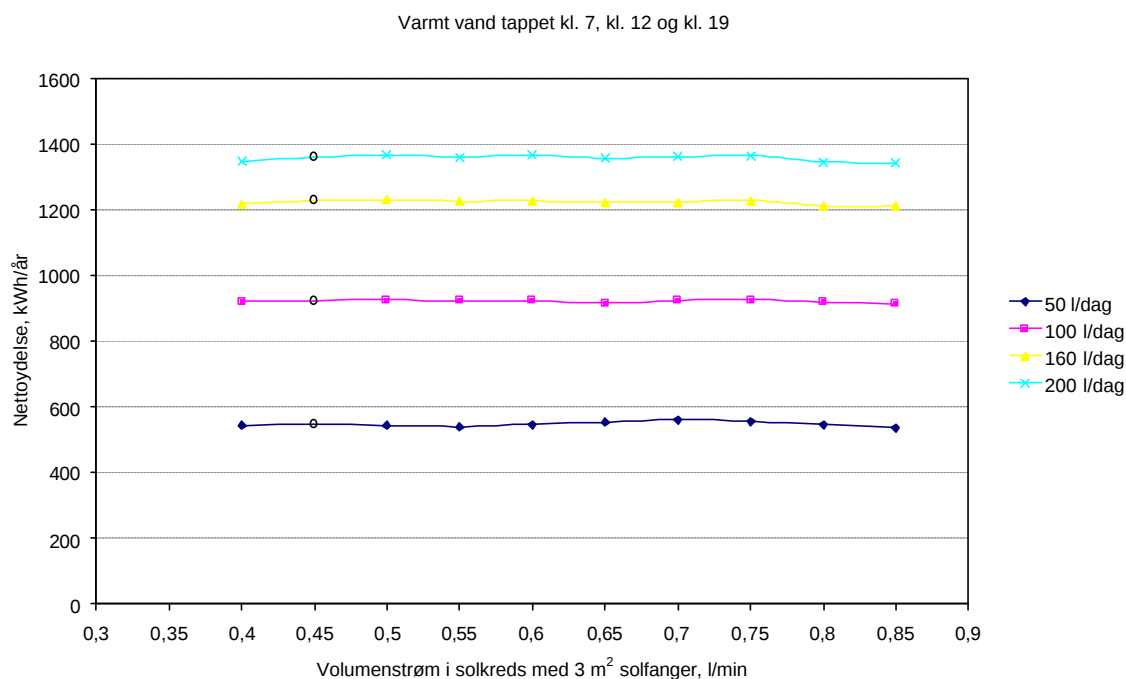
5.6 Volumenstrømmen i kappen

I dette afsnit er betydningen af volumenstrømmen i kappen i intelligente solvarmeanlæg undersøgt.

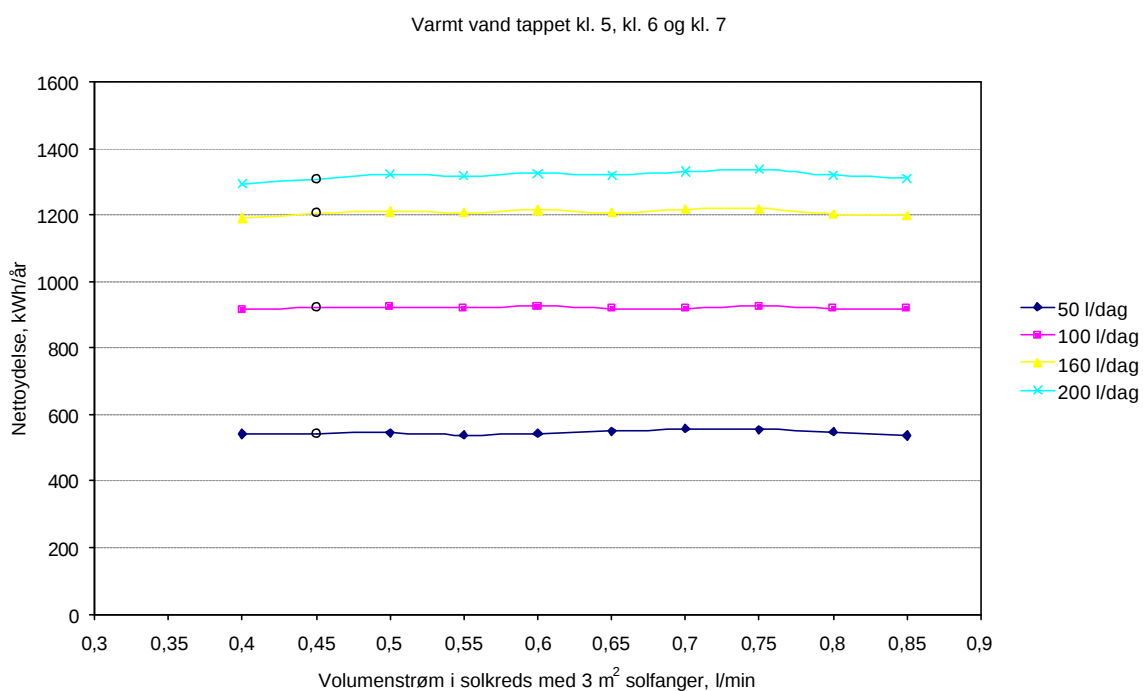
Volumenstrømmen i kappen er varieret fra 0,40 l/min til 0,85 l/min. Alle andre anlægs- og driftsparametre er som angivet i Tabel 5-1 og Tabel 5-2.

Ved beregningerne er opvarmningstiderne og energigrænserne fra Tabel 5-3 benyttet.

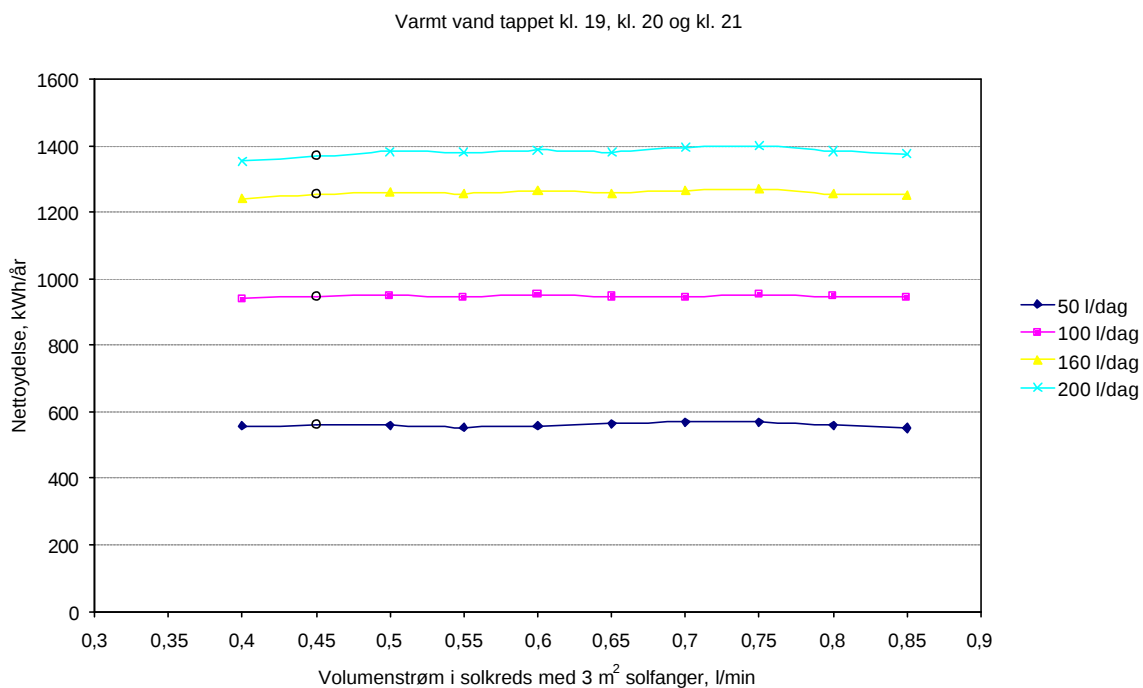
Resultatet af beregningerne er vist i Figur 5-26 til Figur 5-30 hvor det fremgår, at ydelsen ikke påvirkes nævneværdigt når volumenstrømmen i kappen varierer i intervallet 0,40 – 0,85 l/min



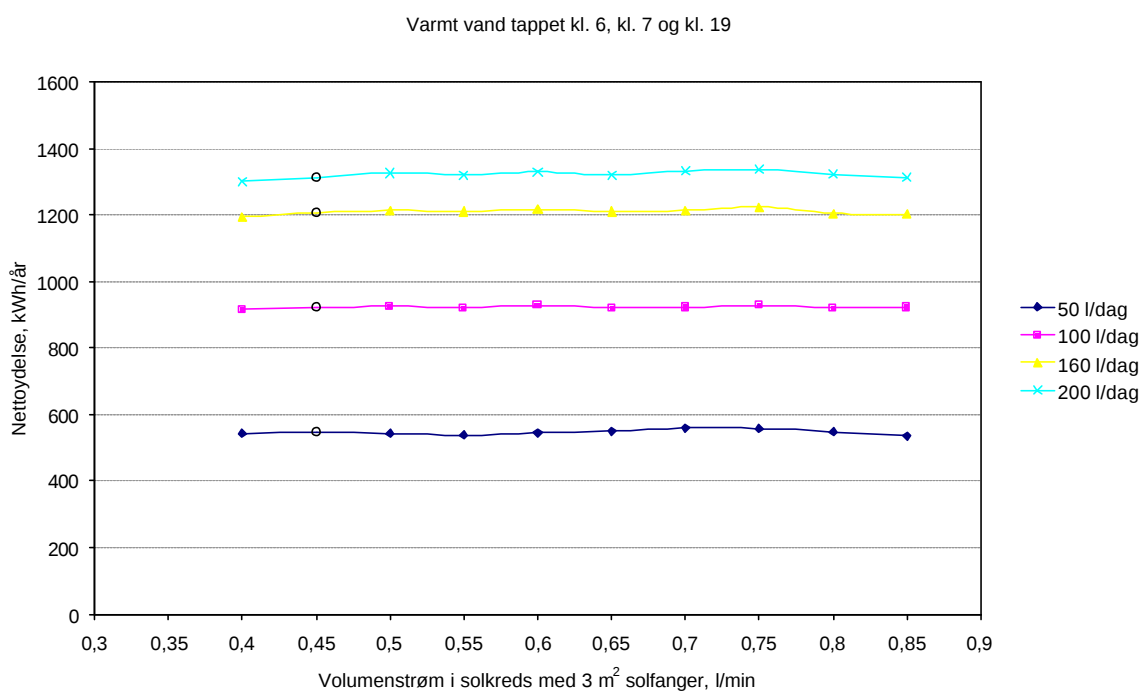
Figur 5-26: Årlig nettoydelse som funktion af volumenstrømmen i kappen. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 12 og kl. 19.



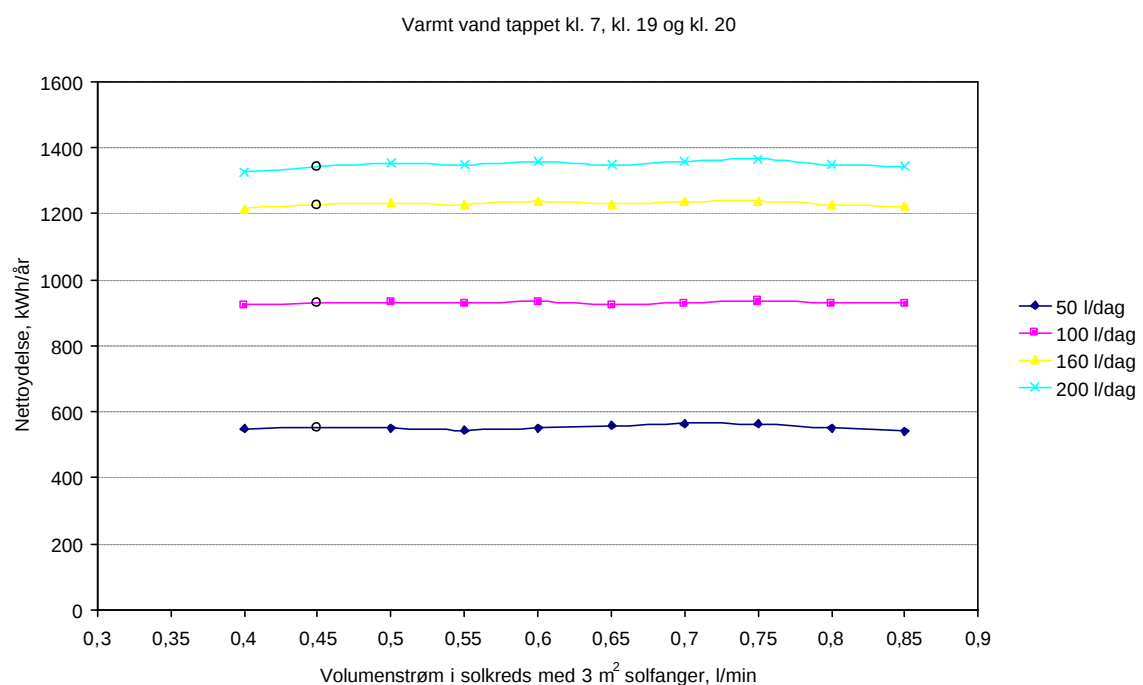
Figur 5-27: Årlig nettoydelse som funktion af volumenstrømmen i kappen. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 5, kl. 6 og kl. 7.



Figur 5-28: Årlig nettoydelse som funktion af volumenstrømmen i kappen. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 19, kl. 20 og kl. 21.



Figur 5-29: Årlig nettoydelse som funktion af volumenstrømmen i kappen. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 6, kl. 7 og kl. 19.



Figur 5-30: Årlig nettoydelse som funktion af volumenstrømmen i kappen. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 19 og kl. 20.

5.7 Opvarmningen sker for tidligt i forhold til tapningen

I dette afsnit undersøges hvorledes den årlige nettoydelse for intelligente solvarmeanlæg påvirkes når opvarmningen med den supplerende energikilde sker for tidligt i forhold til tapningen.

Ved beregningerne er energigrænserne fra Tabel 5-3 benyttet. Tabel 5-4 viser hvor lang tid forud for den afpassede opvarmningstid, angivet i Tabel 5-3, opvarmningen er foretaget.

Varmtvandsforbrug	Tappetidspunkter	Forlænget opvarmningstid 1. tapning	Forlænget opvarmningstid 2. tapning	Forlænget opvarmningstid 3. tapning
50, 100, 160 og 200 l/dag	kl. 7, 12 og 19	1 h	1 h	1 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		2 h	2 h	2 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		3 h	3 h	3 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		4 h	4 h	4 h
50, 100, 160 og 200 l/dag	kl. 5, 6 og 7	1 h	0 h	0 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		2 h	0 h	0 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		3 h	0 h	0 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		4 h	0 h	0 h
50, 100, 160 og 200 l/dag	kl. 19, 20 og 21	1 h	0 h	0 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		2 h	0 h	0 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		3 h	0 h	0 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		4 h	0 h	0 h
50, 100, 160 og 200 l/dag	kl. 6, 7 og 19	1 h	0 h	1 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		2 h	0 h	2 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		3 h	0 h	3 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		4 h	0 h	4 h
50, 100, 160 og 200 l/dag	kl. 7, 19 og 20	1 h	1 h	0 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		2 h	2 h	0 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		3 h	3 h	0 h
50, 100, 160 og 200 l/dag		4 h	4 h	0 h

Tabel 5-4: Opvarmningstider i forhold til nødvendige opvarmningstider i lagertanken ved de forskellige forbrug og forbrugsmønstre.

Resultaterne af beregningerne er vist i Figur 5-31 til Figur 5-35. Figurerne viser nettoydelsen som funktion af forlænget opvarmningstid for varmtvandsforbruget: 50 l/dag, 100 l/dag, 160 l/dag og 200 l/dag samt for tappeprofilerne: kl. 7, 12 og 19, kl. 5, 6 og 7, kl. 19, 20 og 21, kl. 6, 7 og 19 og kl. 7, 19 og 20.

Figurerne viser, at med tappetidspunkter kl. 7, kl. 12 og kl. 19 reduceres nettoydelsen for anlægget med 1 – 6 % når opvarmningstiden før hver tapning forlænges med 1 – 4 timer. Den største reduktion forekommer ved tapning af 200 l/dag og anlægget yder i dette tilfælde som det traditionelle anlæg.

I figurerne ses det, at med tappetidspunkter kl. 5, kl. 6 og kl. 7 reduceres nettoydelsen for anlægget med mindre end 1 % når opvarmningstiden før den første tapning forlænges med 1 – 4 timer.

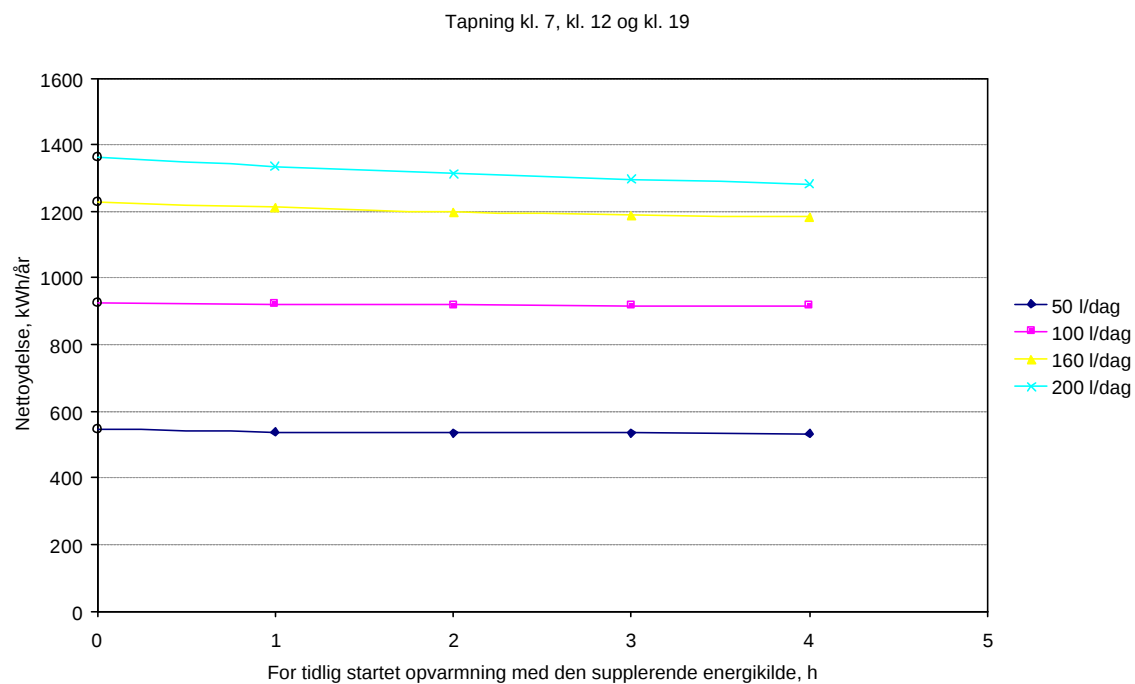
Figurerne viser, at med tappetidspunkter kl. 19, kl. 20 og kl. 21 reduceres nettoydelsen for anlægget med mindre end 1 % når opvarmningstiden før den første tapning forlænges med 1 – 4 timer.

I figurene ses det, at med tappetidspunkter kl. 6, kl. 7 og kl. 19 reducerer nettoydelsen med op til 1,2 % når opvarmningstiden før den første og den tredje tapning forlænges med 1 – 4 timer.

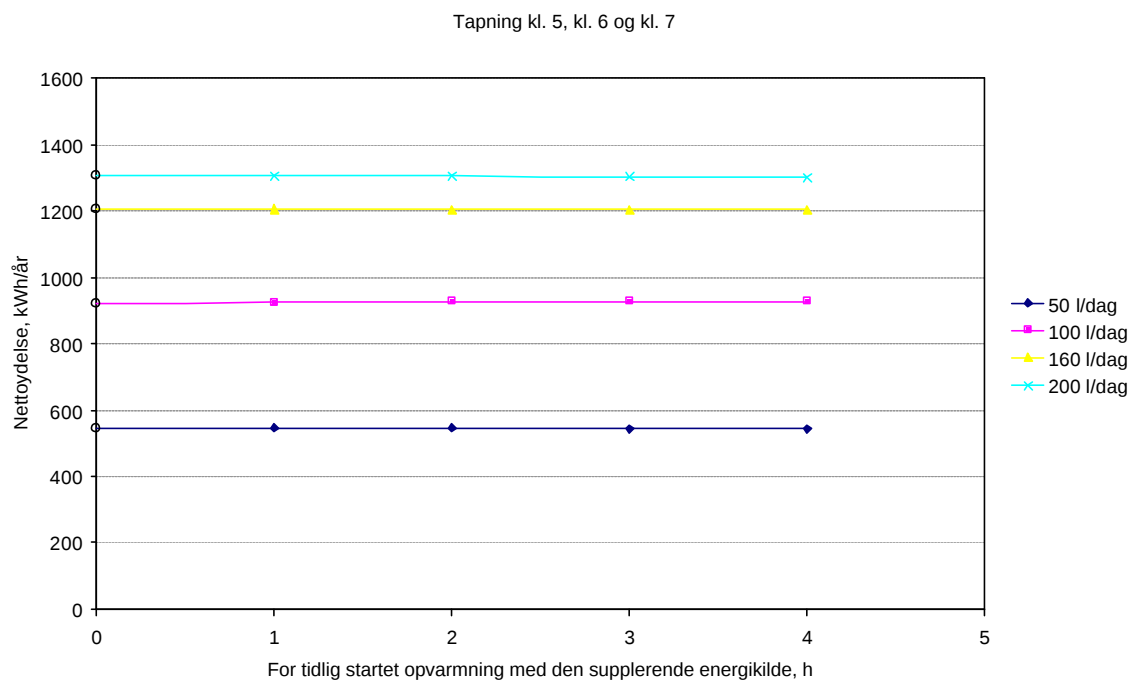
Figurene viser, at med tappetidspunkter kl. 7, kl. 19 og kl. 20 reduceres nettoydelsen med op til 2 % når opvarmningstiden før den første og den anden tapning forlænges med 1 – 4 timer.

Beregningerne viser altså, at en upræcis indstilling af styresystemets forventede tappetidspunkter reducerer ydelsen af det intelligente solvarmeanlæg med op til 2 % når der kun tappes varmt vand morgen eller aften eller både morgen og aften, mens ydelsen reduceres med op til 6 % når varmtvandsforbruget er fordelt jævnt hen over dagen.

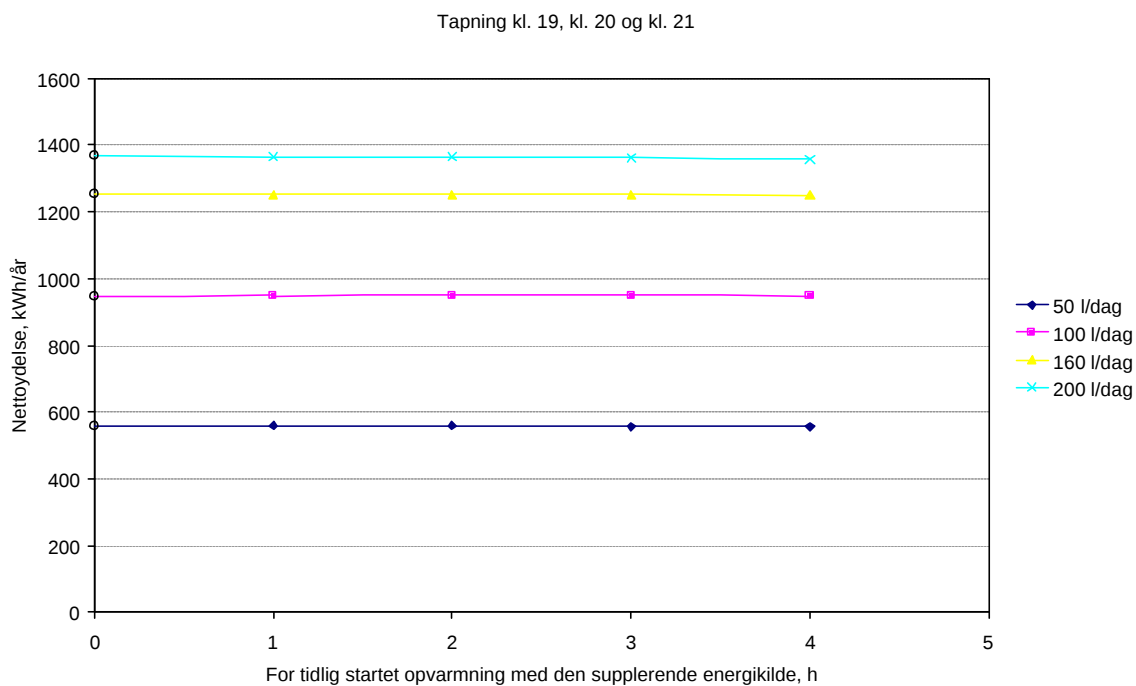
En upræcis indstilling af styresystemets forventede tappetidspunkter reducerer altså ikke ydelsen af det intelligente solvarmeanlæg væsentligt.



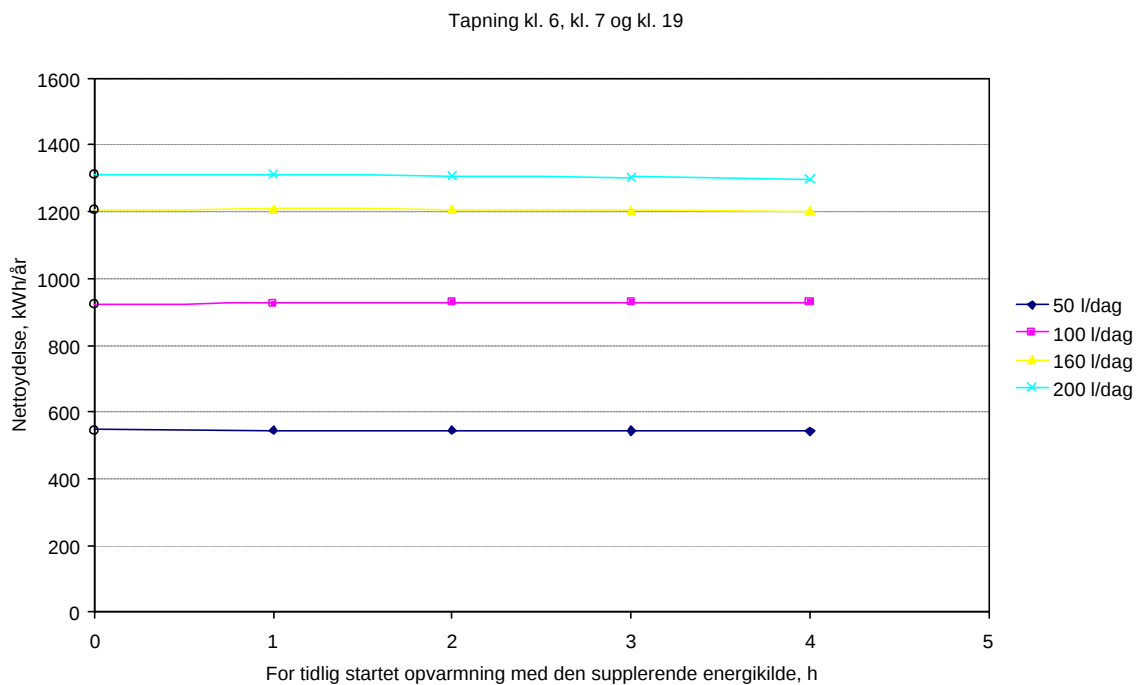
Figur 5-31: Årlig nettoydelse som funktion af for tidlig startet opvarmning med den supplerende energikilde. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 12 og kl. 19.



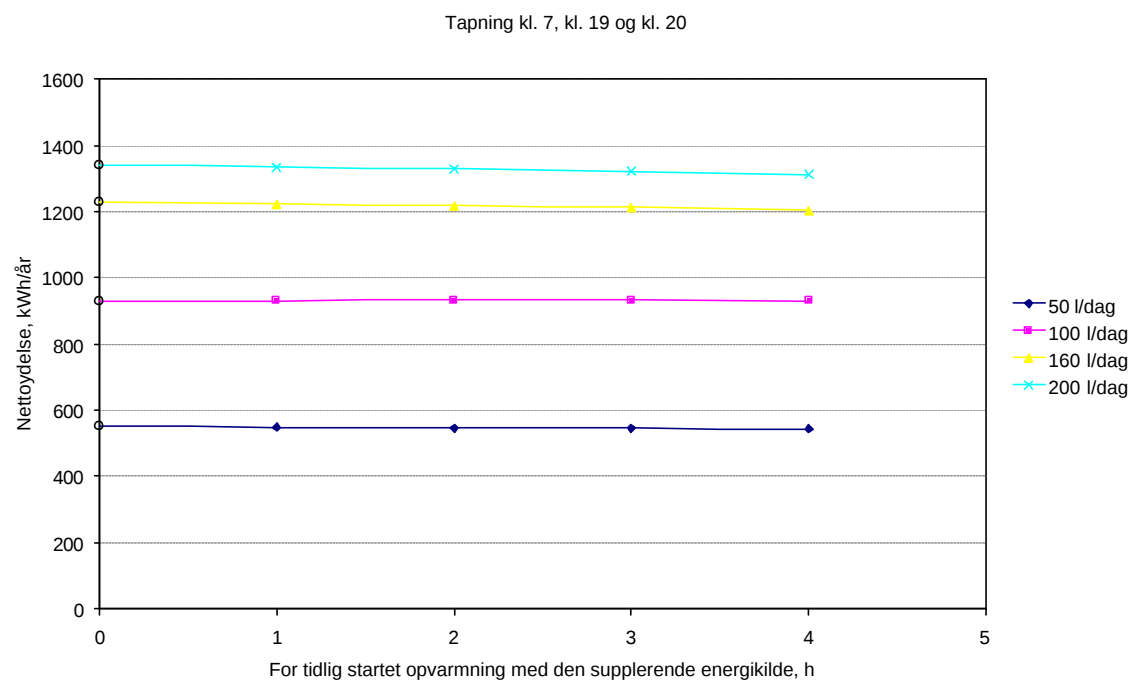
Figur 5-32: Årlig nettoydelse som funktion af for tidlig startet opvarmning med den supplerende energikilde. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 5, kl. 6 og kl. 7.



Figur 5-33: Årlig nettoydelse som funktion af for tidlig startet opvarmning med den supplerende energikilde. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 19, kl. 20 og kl. 21.



Figur 5-34: Årlig nettoydelse som funktion af for tidlig startet opvarmning med den supplerende energikilde. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 6, kl. 7 og kl. 19.



Figur 5-35: Årlig nettoydelse som funktion af for tidlig startet opvarmning med den supplerende energikilde. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 19 og kl. 20.

5.8 Der etableres større energimængder i lagertanken end der tappes fra lagertanken

En for lille etableret energimængde i lagertanken medfører dårlig varmtvandskomfort for brugerne. Det er klart, at en sådan uoverensstemmelse øjeblikkeligt vil blive opdaget og rettet hvorimod en for stor etableret energimængde i lagertanken ikke nødvendigvis opdages og justeres af brugerne.

I dette afsnit undersøges hvorledes den årlige nettoydelse for intelligente solvarmeanlæg påvirkes, når der etableres større energimængder i lagertanken med den supplerende energikilde end der tappes fra lagertanken.

Ved beregningerne er opvarmningstiderne fra Tabel 5-3 benyttet. For hvert af de tidligere omtalte tappemønstre og varmtvandsforbrug er der gennemført beregninger med en energimængde der er 0,25 – 1,00 kWh større end energimængden, angivet i Tabel 5-3, der lige netop dækker varmtvandsforbruget.

Resultaterne af beregningerne er vist i Figur 5-36 til Figur 5-40. Figurerne viser nettoydelsen som funktion af den ved hver opvarmning overflødige tilførte energimængde til lagertanken for varmtvandsforbrugene: 50 l/dag, 100 l/dag, 160 l/dag og 200 l/dag samt for tappeprofilerne: kl. 7, 12 og 19, kl. 5, 6 og 7, kl. 19, 20 og 21, kl. 6, 7 og 19 og kl. 7, 19 og 20.

Figurerne viser, at med tappetidspunkter kl. 7, kl. 12 og kl. 19 reduceres nettoydelsen for anlægget med 5 – 10 % når der ved hver opvarmning etableres en energimængde der er 0,25 – 1 kWh større end energimængden der tappes fra lagertanken ved hver tapning.

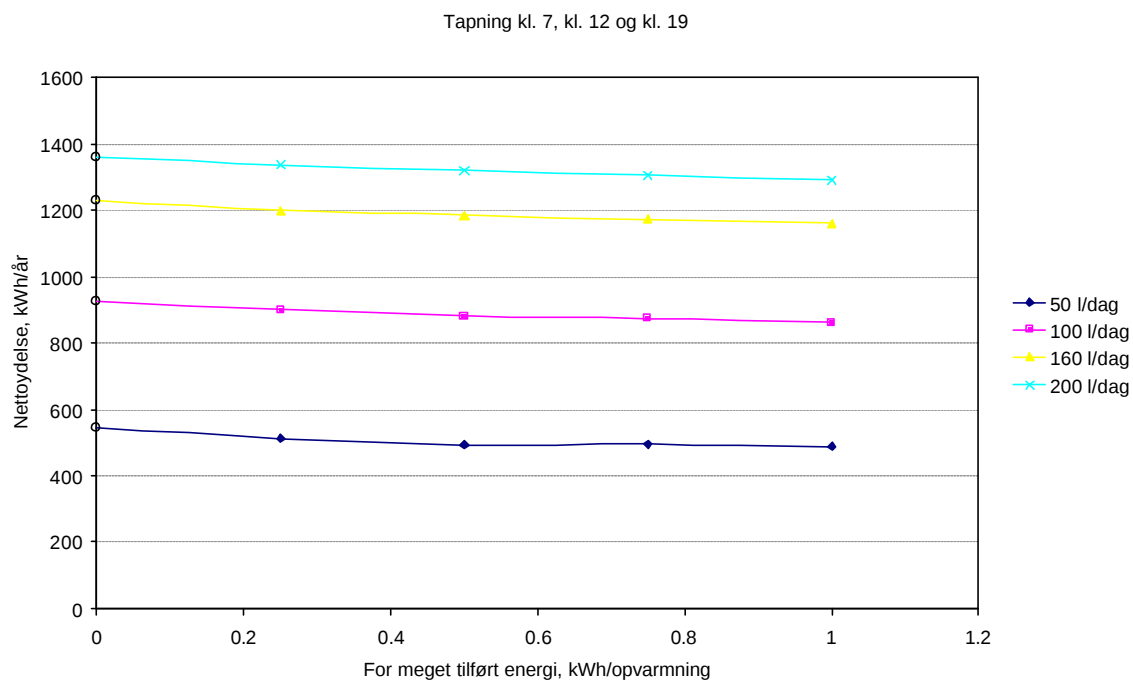
I figurerne ses det, at med tappetidspunkter kl. 5, kl. 6 og kl. 7 reduceres nettoydelsen for anlægget med 4 – 9 % når der ved hver opvarmning etableres en energimængde der er 0,25 – 1 kWh større end energimængden der tappes fra lagertanken ved hver tapning.

Figurerne viser, at med tappetidspunkter kl. 19, kl. 20 og kl. 21 reduceres nettoydelsen for anlægget med 4 – 9 % når der ved hver opvarmning etableres en energimængde der er 0,25 – 1 kWh større end energimængden der tappes fra lagertanken ved hver tapning.

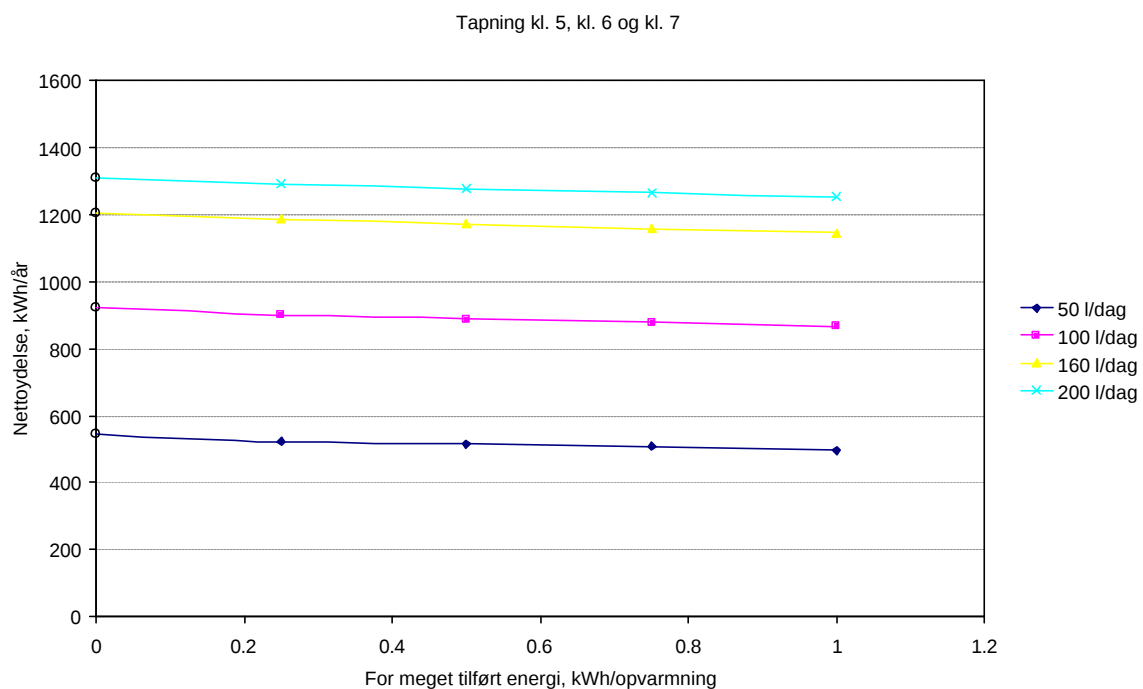
I figurerne ses det, at med tappetidspunkter kl. 6, kl. 7 og kl. 19 reducerer nettoydelsen med 5 – 11 % når der ved hver opvarmning etableres en energimængde der er 0,25 – 1 kWh større end energimængden der tappes fra lagertanken ved hver tapning.

Figurerne viser, at med tappetidspunkter kl. 7, kl. 19 og kl. 20 reduceres nettoydelsen med 6 – 13 % når der ved hver opvarmning etableres en energimængde der er 0,25 – 1 kWh større end energimængden der tappes fra lagertanken ved hver tapning.

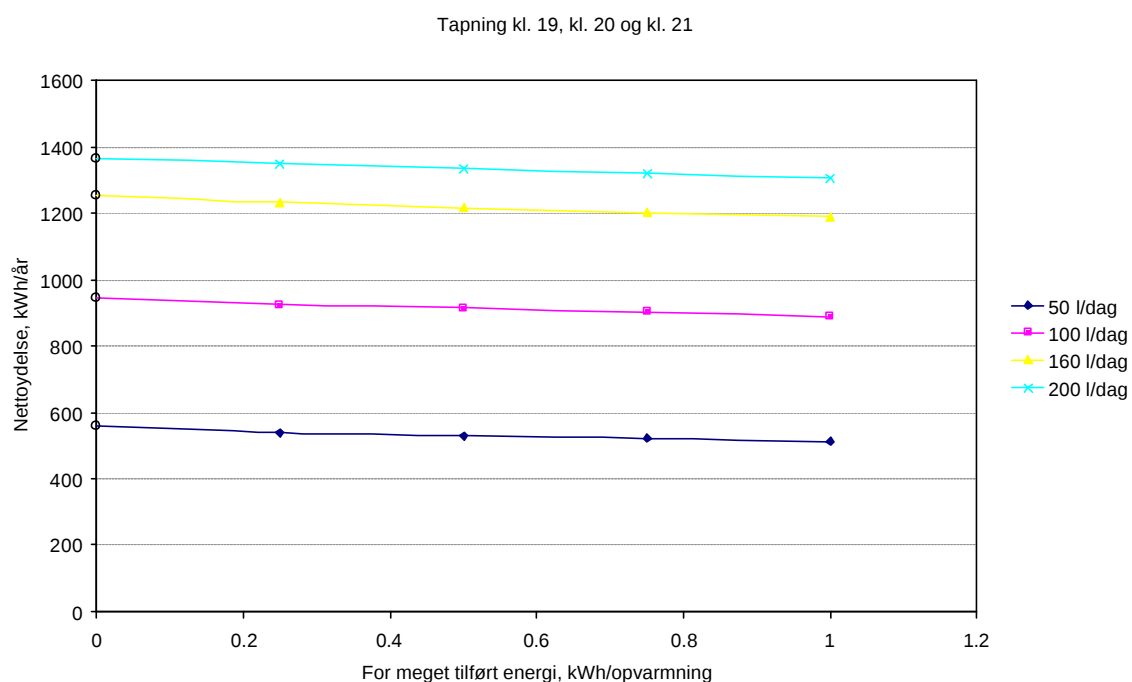
Generelt viser figurerne, at nettoydelsen reduceres med 4 – 13 % når der etableres en energimængde i lagertanken der er 0,25 – 1 kWh større end nødvendigt. Reduktionen er størst for små forbrug hvor den unødigt tilførte energimængde udgør en større del af den nødvendige tilførte energimængde.



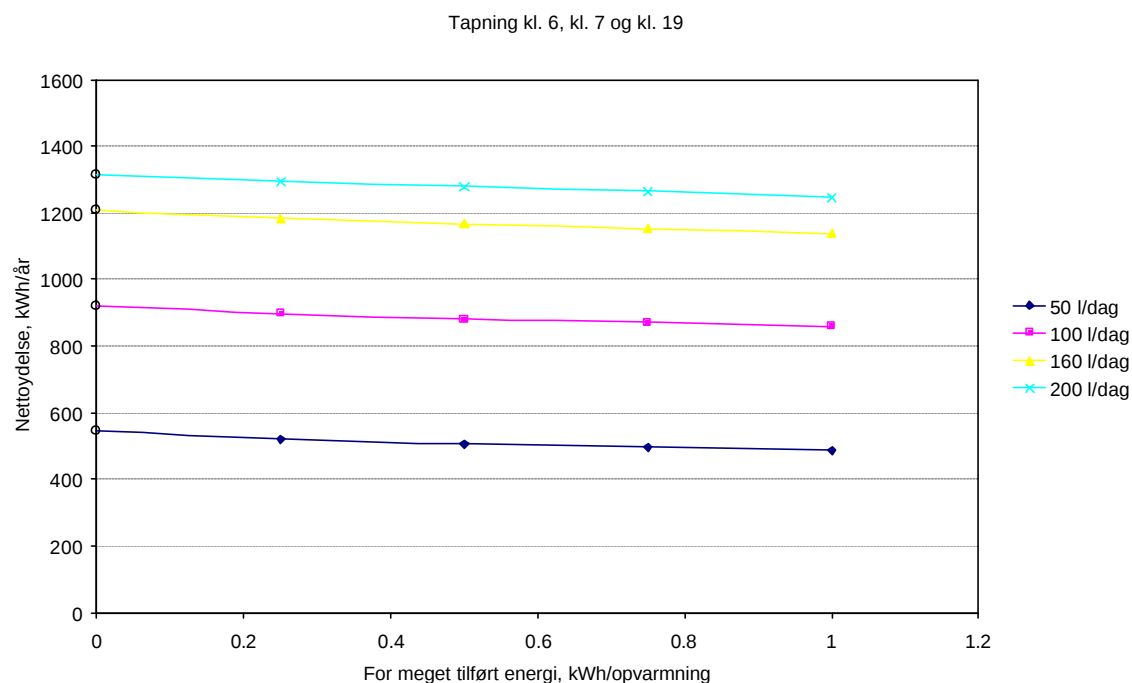
Figur 5-36: Årlig nettoydelse som funktion af for meget tilført energi under hver opvarmning med den supplerende energikilde. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 12 og kl. 19.



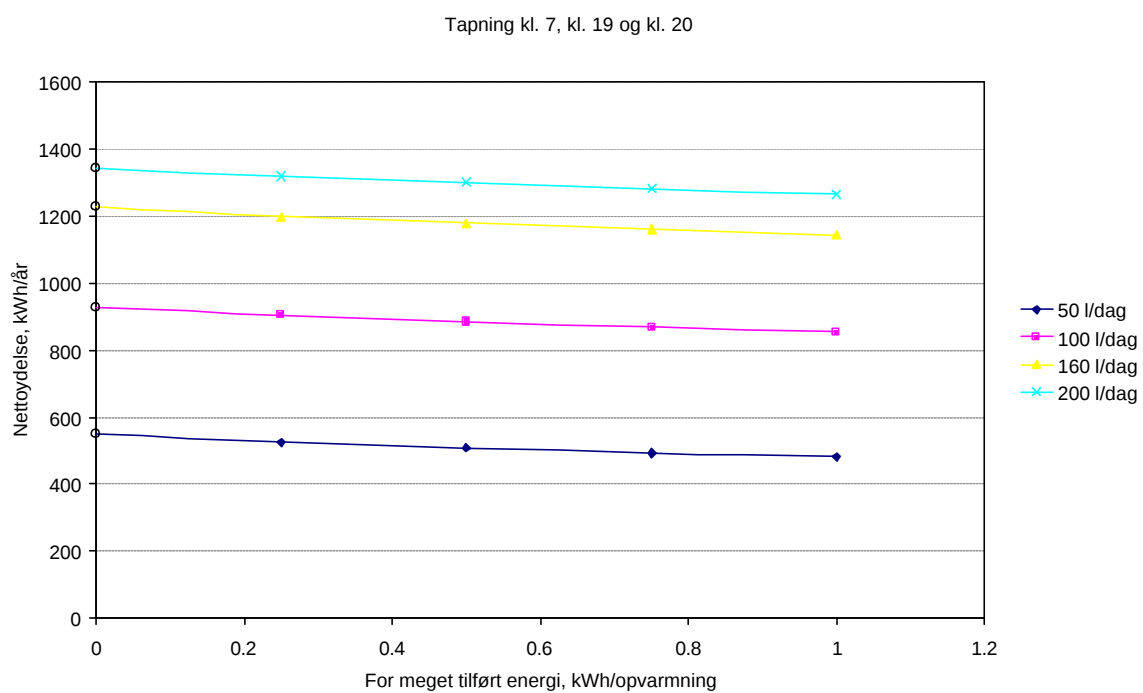
Figur 5-37: Årlig nettoydelse som funktion af for meget tilført energi under hver opvarmning med den supplerende energikilde. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 5, kl. 6 og kl. 7.



Figur 5-38: Årlig nettoydelse som funktion af for meget tilført energi under hver opvarmning med den supplerende energikilde. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 19, kl. 20 og kl. 21.



Figur 5-39: Årlig nettoydelse som funktion af for meget tilført energi under hver opvarmning med den supplerende energikilde. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 6, kl. 7 og kl. 19.



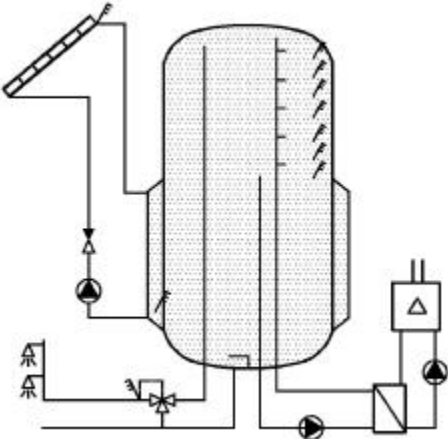
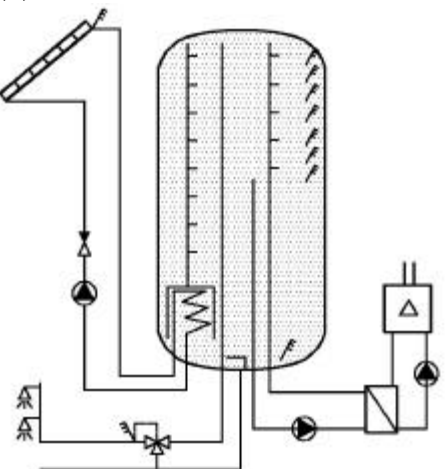
Figur 5-40: Årlig nettoydelse som funktion af for meget tilført energi under hver opvarmning med den supplerende energikilde. Varmt vand er tappet i tre lige store portioner kl. 7, kl. 19 og kl. 20.

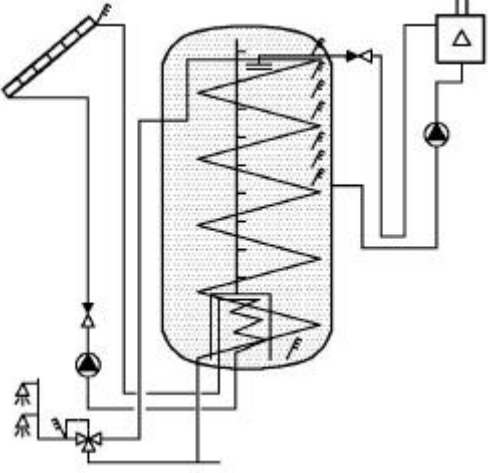
6 Andre udformninger af intelligente solvarmeanlæg

Med udgangspunkt i de anlægstyper som der hidtil er arbejdet med, er der udarbejdet forslag til hvordan intelligente solvarmeanlæg kan forbedres og billiggøres. For at forbedre forholdet mellem pris og ydelse for solvarmeanlæg må ydelsen hæves eller prisen reduceres og helst begge dele.

For at billiggøre solvarmeanlæg kunne anlæggene eksempelvis baseres på trykløse lagertanke i plastik eller et andet prisbilligt materiale. Lagertanken er den absolut dyreste enkeltkomponent.

Tabel 6-1 viser eksempler på intelligente anlægsudformninger baseret på traditionelle tryktanke, svarende til det intelligente anlæg med sidearm, men med forventet højere ydelse fordi "sidearmen" er ført ind i tanken samt en anlægsudformning baseret på en trykløs lagertank, udført i plastik eller andet billigt materiale, med forventet lavere pris end den traditionelle tryktank.

(1) 	Anlæg med en traditionel markedsført kappetank. Kedlen opvarmer brugsvandet i den supplerende del af tanken via en ekstern varmeveksler. Det opvarmede vand ledes via et temperaturlagdelingsrør ind i det rette temperaturniveau. Styringen består af en traditionel solfangerstyring og en intelligent kedelstyring. Fordel: det suppleringsopvarmede vand ødelægger ikke temperaturlagdelingen i toppen af tanken når det suppleringsopvarmede vand er koldere end temperaturen i toppen af tanken og der er ingen kuldebroer i toppen af tanken fordi alle rørgennemføringer er i bunden af tanken.
(2) 	Anlæg med en traditionel markedsført spiraltank med temperaturlagdelingsrør over spiralen i solkredsen. Temperaturlagdelingsrøret sørger for at varmen fra solkredsen ledes ind i det rigtige temperaturniveau i lagertanken. Kedlen opvarmer brugsvandet i den supplerende del af tanken via en ekstern varmeveksler. Det opvarmede vand ledes via et temperaturlagdelingsrør ind i det rette temperaturniveau i lagertanken. Styringen består af en traditionel solfangerstyring og en intelligent kedelstyring. Fordel: det suppleringsopvarmede vand ødelægger ikke temperaturlagdelingen i toppen af tanken når det suppleringsopvarmede vand er koldere end temperaturen i toppen af tanken og der er ingen kuldebroer i toppen af tanken fordi alle rørgennemføringer er i bunden af tanken.

(3) 	Anlæg med trykløs spiraltank og temperaturlagdelingsrør over spiralen i solkredsen. Temperaturlagdelingsrøret sørger for at varmen fra solkredsen ledes ind i det rigtige temperaturniveau i lagertanken. Varmtvandstapningen foregår via en varmevekslerspiral der strækker sig over hele tankens højde. Kedlen opvarmer vandet i den supplerende del af tanken via et indløb i toppen af lagertanken. Vandet opvarmes til det ønskede energiindhold. Styresystemet består af en traditionel solfangerstyring og en intelligent kedelstyring. Fordel: lagertanken kan udføres i plastik eller andet billigt materiale og der er ingen problemer med bakterieholdigt vand.
--	--

Tabel 6-1: Andre udformninger af intelligente solvarmeanlæg.

7 Konklusion

Formålet med projektet beskrevet i rapporten er at undersøge intelligente solvarmeanlæg med oliefyr eller naturgaskedel som backupenergi. Betegnelsen intelligente solvarmeanlæg dækker solvarmeanlæg hvor tilførslen af supplerende energi styres på en fleksibel måde, således at der kun opvarmes en vandmængde der svarer til det forventede forbrug samt at opvarmningen finder sted umiddelbart før forventet forbrug.

Der er afprøvet fire forskellige lagertanke med intelligent styring af den supplerende energitilførsel. To af lagertankene har en varmevekslerspiral i toppen til supplerende energitilførsel mens to af lagertankene har sidearm og ekstern varmeveksler til supplerende energitilførsel. Den ene lagertank med sidearm har naturligt flow i sidearmen mens flowet i den anden lagertank med sidearm er drevet af en pumpe. Alle de afprøvede lagertanke er endvidere afprøvet i komplette solvarmeanlæg side om side med et traditionelt solvarmeanlæg under laboratoriemæssige forhold. Alle de afprøvede lagertanke er kappebeholdere, hvor solfangervæsken føres gennem kappen.

Lagertankene med sidearm og ekstern varmeveksler udmærker sig i forhold til lagertankene med varmevekslerspiraler. I lagertankene med sidearm er det muligt at opvarme et vilkårligt supplerende volumen ved et kontrolleret temperaturniveau.

Laboratorieafprøvningen viser at de intelligente solvarmeanlæg yder mere end et traditionelt solvarmeanlæg med undtagelse af anlægget baseret på lagertanken med naturligt flow i sidearmen. For at opnå et højt naturligt flow i sidearmen er dimensionerne af sidearmen og varmeveksleren store. Det medfører at systemet bliver trægt, men også at der levnes betragtelige energimængder i sidearmen og varmeveksleren efter endt opvarmning. Dette medførte store varmetab er årsagen til at anlægget baseret på lagertanken med naturligt flow i sidearmen yder dårligere end det traditionelle anlæg.

Laboratoriemålingerne viser endvidere, at de intelligente anlæg er specielt attraktive i perioder hvor energibidraget fra solen er lille.

Med et valideret beregningsprogram er der beregnet årsydelser for de intelligente solvarmeanlæg. Beregningerne viser at:

- intelligente solvarmeanlæg yder 5 – 37 % bedre end traditionelle solvarmeanlæg afhængig af tappemønster og varmtvandsforbrug.
- intelligente solvarmeanlæg er specielt attraktive når varmtvandsforbruget hovedsageligt ligger om morgenen eller om aftenen.

Beregningerne viser yderligere at:

- ydelsen for de intelligente solvarmeanlæg reduceres med 4 – 13 % hvis den etablerede energimængde er 0,25 – 1 kWh større end den tappede energimængde.
- ydelsen reduceres med op til 6 % når opvarmningen med den supplerende energikilde påbegyndes op til 4 timer tidligere end nødvendigt.
- en kuldebro på 1 – 4 W/K, forårsaget af dårligt udført isolering hvor sidearmen tilsluttes lagertanken, reducerer ydelsen for de intelligente solvarmeanlæg med 16 – 43 %. Derfor skal sidearmen isoleres samtidig med lagertanken under kontrollerede forhold før den sendes på markedet.

- ydelsen for de intelligente solvarmeanlæg med en tilført effekt på 10 kW fra den supplerende energikilde er størst, når volumenstrømmen i sidearmen er ca. 5 l/min.
- kappen med fordel kan gøres højere end kappehøjden på de markedsførte lagertanke.
- volumenstrømmen i solkredsen i intervallet 0,13 – 0,28 l/min pr. m² solfanger ikke spiller nogen nævneværdig rolle for intelligente solvarmeanlægs ydelse.

På basis af den gennemførte undersøgelse samt en tidligere gennemført undersøgelse vurderes det, at potentialet for intelligente solvarmeanlæg er stort, og at der derfor er behov for at udvikle markedsførte intelligente soltanke, så højtydende og prisgunstige intelligente solvarmeanlæg kan introduceres på markedet.

Referencer

- /1/ : *Intelligente Solvarmeanlæg*, Elsa Andersen, Søren Knudsen, Simon Furbo, BYG.DTU, Danmarks Tekniske Universitet. R-005. April 2001
- /2/ : *Små markedsførte solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning - funktionsafprøvning og ydelsesmålinger. Opbygning af prøvestand*. Klaus Ellehauge. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks Tekniske Universitet. Rapport nr. 93-37. 1993.
- /3/ : *Kort brugervejledning til simuleringsprogrammet Mantlsim*. Louise Jivan Shah. Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet. Notat U-058. 1999.
- /4/ : *Simple characterisation of solar DHW tanks*. Elsa Andersen og Simon Furbo. Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet. Status rapport, august 1998. SR-9817.