

ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM

BILLIG SOLFANGER/LAGER UNIT TIL BRUGSVANDSOPVARMNING

IVAN KATIĆ

SIMON FURBO

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE
MEDDELELSE NR. 158

ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM

RAPPORT NR. 29

DECEMBER 1984

Forord

Denne rapport er slutrapporten for projektet: "Billig solfanger/lager unit til brugsvandsopvarmning". Projektet er en del af området 9.2.2 "Aktiviteter for billiggørelse af solvarmeanlæg" under Energiforskningsprogrammet EFP-84.

På grund af den kraftige reduktion af midler, som stilles til rådighed til forskning inden for solvarmeområdet, har Laboratoriet af beskæftigelsesmæssige årsager set sig nødsaget til at afslutte projektet i 1984.

Projektet er gennemført med deltagelse af følgende medarbejdere:

Ida Frandsen, sekretær

Flemming Nielsen, maskinarbejder

Michael Ramskov, maskinarbejder

Lars Schou Pedersen, elek.tekn.

Kenneth Sørensen, teknisk tegner

Peder Vejsig Pedersen, civilingeniør

Svend Åge Svendsen, civilingeniør

Simon Furbo, civilingeniør

Ivan Katič, civilingeniør

Jan Erik Nielsen, civilingeniør

Resumé

En række principper for simple solfanger/lager units til brugsvandsopvarmning er beskrevet og vurderet med hensyn til pris, ydelse og holdbarhed. I undersøgelserne er forskellige markedsførte enkle solvarmeanlæg inkluderet.

Baseret på ovennævnte undersøgelser er en selvcirkulerende solvarmeunit udvalgt og opbygget. Systemløsningen baserer sig på samme princip, som er beskrevet i [2].

Uniten er afprøvet igennem en sommerperiode på laboratoriets forsøgsareal under realistiske driftsbetingelser. På basis af afprøvningen er unitens egnethed bedømt, og forskellige forbedringsmuligheder for uniten er beskrevet. Uniten udviser en rentabilitet, som er lidt bedre end rentabiliteten for almindelige solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning.

En simpel matematisk model, som simulerer driften af en enkel integreret solfanger/lager unit, er udviklet. Den årlige ydelse for forskellige integrerede solfanger/lager units er beregnet med denne model. Priserne og rentabiliteten for forskellige units er vurderet. Rentabiliteten for disse simple units er væsentlig bedre end rentabiliteten for almindelige solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Forskellige forbedringsmuligheder for de units, som er taget i beregning, er nævnt.

På basis af undersøgelserne konkluderes, at udviklingsarbejde inden for dette område bør iværksættes, idet muligheden for at udvikle økonomisk særdeles attraktive solvarmeanlæg er til stede. Desuden er dette område endnu uopdyrket i Danmark.

Summary

Different principles of simple compact collector/storage units for domestic hot water supply are described and the costs, the thermal performance and the durability of the units have been estimated. Different marketed simple solar heating systems for domestic hot water supply are included in the investigations.

Based on the above mentioned investigations a thermosyphon solar water heater has been selected and built. The heater has been tested under realistic conditions on the test field of the Laboratory. Based on these tests the suitability of the unit was found. Different possibilities for improvement on the heater are described. The profitableness of the heater is a little better than the profitableness of ordinary solar heating systems for domestic hot water supply.

A simple mathematical model simulating the thermal behaviour of a simple integrated collector/storage unit has been developed. The yearly performance of different integrated collector/storage units has been calculated by use of this model. The costs and profitableness of different units were found. The profitableness of such a simple unit is substantially better than the profitableness of normal solar heating systems for domestic hot water supply. Different possibilities for improvements of the units are mentioned.

It is concluded, that work concerning development of such units should be encouraged, since it is possible to develop a most attractive integrated collector/storage unit. Until now, in Denmark very little work has been carried out in this field.

Indholdsfortegnelse

Side

Forord

Resumé

Summary

<u>1. Baggrund for projektet</u>	1
<u>2. Markedsførte enkle solvarmeanlæg</u>	2
2.1 Opbygningen af udvalgte, typiske anlæg	2
2.1.1 Cornell Energy Inc. Model 480 (USA)	2
2.1.2 Gulf Thermal Corp. PT-40 (USA)	3
2.1.3 Nature's Way Energy Systems. System 5 (USA)	4
2.1.4 Giordano KSH/KSV 220 (Frankrig)	5
2.1.5 Jerslev VVS Center "Folkesolfangeren" (DK)	6
2.2 Vurdering af anlæggene	7
2.2.1 Pris	7
2.2.2 Ydelse	8
2.2.3 Holdbarhed, frostsikkerhed m.m.	9
<u>3. Principper for enkle solvarmebrugsvandsanlæg</u>	11
3.1 Fastlæggelse af funktionskrav	11
3.2 Skitsering af forskellige anlæg	13
3.2.1 Anlæg med integreret solfanger/lager med direkte opvarmning af brugsvand	13
3.2.2 Anlæg med integreret solfanger/lager med varmeveksler for brugsvand	20
3.2.3 Selvcirkulerende solvarmeanlæg med adskilt lager og absorber	26
3.3 Vurdering og udvælgelse	32
<u>4. Selvcirkulerende solvarmeunit</u>	34
4.1 Anlæggets opbygning	34
4.1.1 Solfanger	34
4.1.2 Lagertank	38
4.1.3 Rørføring m.m.	38

4.2 Måleresultater for uniten.....	41
4.2.1 Flow og temperaturstigning.....	41
4.2.2 Temperaturprofiler.....	42
4.2.3 Drivtryk og friktionstryktab.....	44
4.2.4 Lagerets varmetab.....	45
4.2.5 Ydelse under realistisk drift.....	46
4.3 Vurdering af anlæggets årsydelse.....	48
4.4 Økonomisk vurdering.....	48
4.5 Forbedringsforslag for anlægget.....	50
 5. <u>Integreret solfanger/lager unit</u>	52
5.1 Opbygning.....	52
5.2 Simulering af driften.....	53
5.3 Beregning af månedlige ydelser.....	55
5.4 Parametervariationer.....	60
5.4.1 Anlægsstørrelse.....	60
5.4.2 Lagerstørrelse.....	60
5.4.3 Varmeveksler.....	63
5.4.4 Isoleringstykkelse.....	63
5.4.5 Solfangerhældning.....	63
5.4.6 Absorberbelægning.....	67
5.4.7 Dæklagskonstruktion.....	67
5.4.8 Mobil Isolering.....	67
5.5 Økonomisk vurdering.....	72
5.6 Forbedringsmuligheder for uniten.....	78
 6. <u>Konklusion</u>	79
Bilag:	
Referencer	
Energiministeriets solvarmeprogram	
Oversigt over udsendte rapporter.	

1. Baggrund for projektet

Solvarmeanlæg til varmt brugsvand har i Danmark opnået en ydelse og kvalitet, som er blandt de bedste i verden. Imidlertid er prisen på anlæggene så høj, at udbygningen går meget langsomt.

Ved at reducere antallet af komponenter til et minimum, og ved at levere anlæggene som færdige enheder, kan der formentlig ske en drastisk reduktion af prisen.

Enkle anlæg, f.eks. med solfanger og lagertank i samme komponent, er udbredt i bl.a. det sydlige USA, men det er ikke undersøgt hvilke ydelser, der kan opnås under danske klimaforhold.

Samtidig er det ikke undersøgt, hvilken kombination af dæklag, isolering, m.m., som er optimal for sådanne systemer i Danmark.

Formålet med denne forundersøgelse er at klarlægge nogle af de ovenfor nævnte punkter, således at fremtidige muligheder for disse anlægstyper bedre kan vurderes.

2. Markedsførte, enkle solvarmeanlæg

2.1 Opbygningen af udvalgte, typiske anlæg

I det følgende gives en oversigt over de vigtigste typer af enkle brugsvandsanlæg, som allerede findes på markedet. De aktuelle anlæg er hovedsagelig fra USA, hvor der er en lang tradition for disse typer.

2.1.1 Cornell Energy Inc. Model 480 (USA)

Denne består, som vist på fig. 2.1.1, af en kasse med transparent forside, hvori der er anbragt en vandtank med selektiv overflade. Kassen er støbt af glasfiberarmeret polyester. Sider og bund er forsynet med reflektor for at forøge indstrålingen på tanken, og kassen er isoleret med 5-10 cm polyurethanskum. Dæklaget består af to lag jernfrit glas og har et areal på 2 m².

Tanken er af stål og har et volumen på 158 liter.

Pris ab Arizona \$ 555 ved 48 stk.

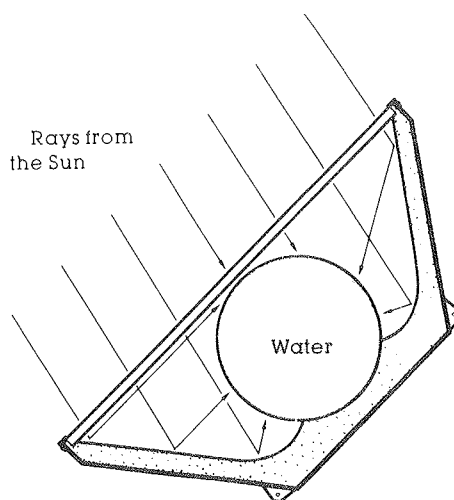


Fig. 2.1.1 Model 480 solvarmeunit fra Cornell Energy Inc.

2.1.2 Gulf Thermal Corp. PT-40. (USA)

Som vist på fig. 2.1.2 er der tale om en kasseformet vandvarmer. I modsætning til den forrige har dette anlæg ingen reflektor, men absorberer strålingen direkte. Absorberen består af fire serieforbundne tanke af rustfri stål, som er malet med selektiv maling.

Kassen består af en ekstruderet aluminiumramme, isoleret med polyurethanskum.

Der er tre dæklag, nemlig et lag jernfrit glas og to lag teflonfilm. Det transparente areal er ca. $1,7 \text{ m}^2$.

Tankvolumenet er 151 liter.

Pris ca. 548 \$ ved 50 stk. (fra fabrik).

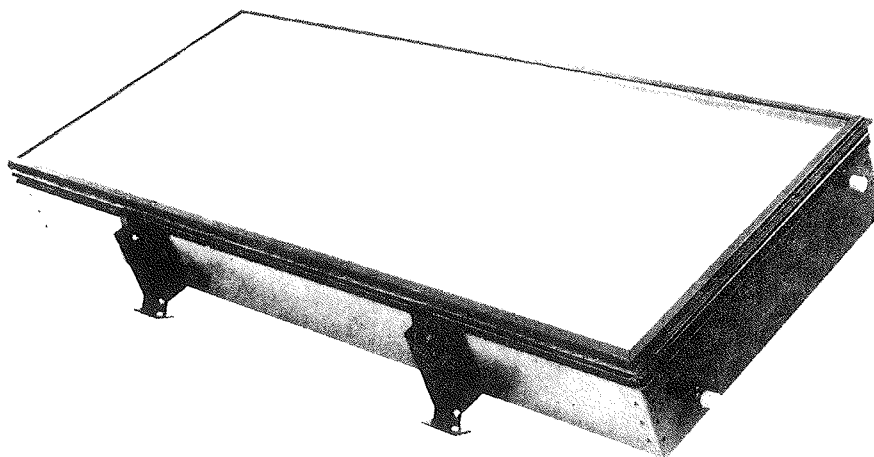


Fig. 2.1.2 PT-40 solvarmeunit fra Gulf Thermal Corp.

2.1.3 Nature's Way Energy Systems. System 5. (USA)

Der er her tale om en variation af den i 2.1.1 omtalte type, idet der kun er én tank placeret i en kasse med reflekterende sider. De to sider er beklædt med jernfrit glas og kan isoleres om natten ved hjælp af to skodder, der klappes ned. Disse reflekterer samtidig en del af sollyset, når de er åbne. På fig. 2.1.3 ses anlægget installeret på et loft under et stort tagvindue.

Tanken er af rustfrit stål og har et volumen på 151 liter. Tagvinduet består af et 2,26 m² stort stykke jernfrit glas. Skodderne skal åbnes og lukkes manuelt. Pris 1350 \$ (fra fabrik).

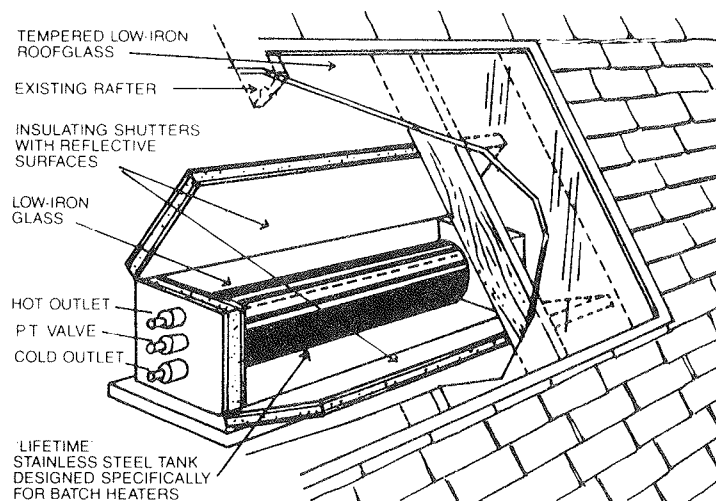


Fig. 2.1.3 System 5 solvarmeunit fra Nature's Way Energy Systems.

2.1.4 Giordano KSH/KSV 220. (Frankrig)

Dette er et traditionelt selvcirkulerende anlæg med adskilt solfanger og lager. Brugs vandet opvarmes direkte i de to solfangere, hvorefter det stiger op i den isolerede lagertank.

Absorberne er af aluminium med kobberør og har selektiv belægning. Arealet er 2,0 m².

Lageret er en ståltank med 220 l volumen.

Som vist på fig. 2.1.4 kan anlægget monteres på et stativ på jorden, eller det kan monteres på en mur.

Prisen angives til ca. 10.000 kr., installeret.

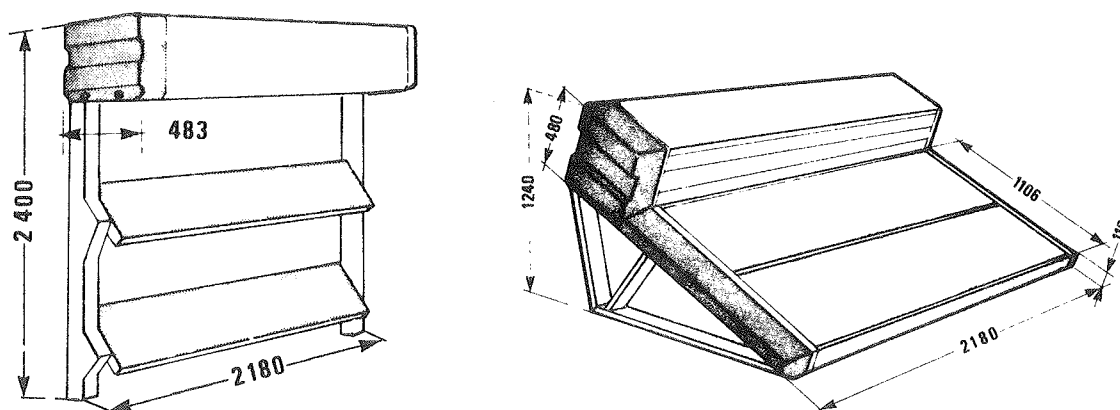


Fig. 2.1.4 KSH og KSV 220 solvarmeanlæg fra Giordano.

2.1.5 Jerslev VVS Center "Folkesolfangeren" (DK)

Dette er en dansk produceret solvarmeunit helt i rustfrit stål. Tanken er bygget sammen med solfangeren og er placeret over denne. Solfangeren tåler brugsvandstryk, så opvarmningen sker direkte i absorberen.

Anlægget er på 3 m² med 150 l lager.

Solfangeren er sort eller selektiv med dæklag af en polycarbonat ribbeplade.

Anlægget forudsættes tømt om vinteren af hensyn til frostfare.

Prisen angives til ca. 10.000 kr. incl. moms og installation.

Solfangeren er endnu ikke tilskudsberettiget.

2.2 Vurdering af anlæggene

Der gives i det følgende en kort vurdering af de aktuelle anlægstypers konkurrenceevne i forhold til nuværende mindre brugsvandsanlæg i Danmark. Især med hensyn til ydelsesvurderingen er der tale om skøn, idet de beskrevne anlæg ikke er undersøgt under ensartede prøvebetingelser.

2.2.1 Pris

De angivne priser er ikke direkte sammenlignelige. F.eks. er prisen for de tre amerikanske anlæg angivet som salgspris fra fabrik. Hertil skal altså lægges transportomkostninger, forhandleravancer og installationsomkostninger. Dette betyder, at priserne kommer et godt stykke op over de 5000 kr./m², som omtrent gælder for danske anlæg.

Det franske Giordano ligger på 5000 kr./m² ialt, og prisen er således på linie med traditionelle anlæg.

Prisen for folkesolfangeren ligger i bund med kun ca. 3350 kr./m², men så er der heller ikke afsat mere end 3000,- til avancer og installation (ifølge producenten).

2.2.2 Ydelse

Ydelsen for de simple amerikanske anlæg uden mobil isolering ligger typisk på 60-70% af ydelsen for et traditionelt anlæg, mens systemet med mobil isolering formentlig kan komme lidt højere op. Skønnet er dog baseret på en amerikansk test med kunstig sol. Under realistiske danske klimaforhold, bliver ydelsen for anlæg med reflektorer sikkert noget lavere. Det skyldes, at reflektorerne ofte vil reflektere en stor del af den diffuse stråling i andre retninger end mod absorberer, hvorved den ikke udnyttes så godt som i en almindelig solfanger.

Det franske system har absorber og lager adskilt og har derfor en lavere varmetabskoefficient end de forrige anlæg. Den udendørs lagerplacering vil dog betyde, at anlægsydelsen ikke kan forventes helt på højde med traditionelle systemer med pumpe og indendørs lagerplacering.

De samme betragtninger gælder for "Folkesolfangeren". Dog bevirker anvendelsen af en ribbeplade som dæklag en noget lavere lystransmission end for glas, hvorfor solfangerydelsen vil være lavere. Tanken er desuden svejst sammen med absorberer, hvorfor der vil være en kuldebro med øget varmetab til følge.

2.2.3 Holdbarhed, frostsikkerhed m.m.

Ved sammenligning af anlæg er det vigtigt at holdbarheden, og dermed levetiden, tages med i vurderingen. Anlæggene kan tænkes at gå i stykker ved korrosion, UV-nedbrydning, tilstopning af rør, frostsprængning, anden mekanisk overlast, samt stagnation ved bortkogning af væske.

Driftssikkerheden må betegnes som høj i forhold til pumpe-cirkulerende anlæg, da der ikke er nogen bevægelige dele eller styring (undtagen skodder for det ene amerikanske anlæg).

Korrosionsbestandigheden er god for alle typerne, idet der er anvendt kobber eller rustfrit stål, hvor der er kontakt med brugsvandet. Udvendig korrosion kan være et problem på selektive flader og på reflektorer, hvis disse f.eks. udsættes for kondensvand. Der haves dog ikke tilstrækkeligt detaljeret kendskab til konstruktionerne til at kunne sige, hvor stor risiko der er for dette.

Tilkalkning forekommer i områder med hårdt vand, og vil kunne stoppe solfangeren til i det franske og det danske anlæg. En regelmæssig udsyring kan dog hindre dette. Anlæg med beholder-absorber vil få nedsat effektiviteten lidt, hvis kalken sætter sig på indervæggen, men vil ikke blokeres.

Solens ultraviolette stråler vil medføre, at dæklaget på "Folkesolfangeren" (polycarbonat) efterhånden gulner. Det skal derfor formentlig udskiftes ca. hvert 5. år. De andre anlæg har glas som ydre dæklag, på nogle endda hærdet glas, så her skulle ikke være holdbarhedsproblemer.

Alle anlæggene indeholder brugsvand og skal derfor tømmes ved frostfare. Solfangeren i det franske og det danske anlæg er mere udsatte for frostsprængning end de amerikanske, fordi varmekapaciteten er lille i de førstnævnte.

Anlægget med skodder kan klare længere tids frost, hvis disse er lukket.

Glemmer man at tømme systemet, vil ekspansionen ved isdannelsen presse vand ud af sikkerhedsventilen, hvis denne vel at mærke er placeret i en frostfri ledning.

Ved evt. kogning vil sikkerhedsventilen ligeledes åbne. Ved længere tids belastning med høj temperatur kan der være problemer med afgasningsprodukter fra isoleringsmaterialer m.m., som det kendes fra almindelige solfangere.

3. Principper for enkle solvarmebrugsvandsanlæg

I dette kapitel beskrives et bredt spektrum af anlægsudformninger for brugsvandsanlæg.

Funktionskravene fastlægges, og herudfra vurderes forslagernes egnethed.

Endelig udvælges to systemer til nærmere undersøgelse.

3.1 Fastlæggelse af funktionskrav

De vigtigste krav til et økonomisk brugsvandsanlæg er følgende:

- Anlægget skal kunne levere varmt vand ved en given minimumstemperatur i det meste af sommerperioden, således at supplerende energi ikke er nødvendig.
- Konstruktionen skal være enkel, billig og driftsikker.
- Anlægget skal være let at installere.
- Anlæggets holdbarhed skal være god.

Som udgangspunkt for varmtvandsforbruget til en typisk familie bruges her 150 l/døgn opvarmet fra 8 til 45°C.

Dette stemmer godt overens med nyere forbrugsundersøgelser [1], mens ældre litteratur ofte angiver langt større forbrug.

Kravet om en enkel konstruktion er vigtigt af hensyn til opnåelse af lave arbejdsomkostninger og stor driftsikkerhed. Der er derfor kun betragtet selvcirkulerende anlægstyper uden pumpe og elektronisk styresystem.

Med hensyn til installationen er det afgørende, at så få komponenter som muligt skal samles på stedet. Med en unit-løsning, hvor alt er samlet ved produktionen, opnås den nemmeste installation, og der kan desuden ofte spares materialer. De følgende forslag er derfor alle af denne type.

Fig. 3.1.1 viser i skematisk form forskellen på en traditionel solvarmeinstallation og en unitinstallation i en eksisterende bygning.

Holdbarheden er tæt knyttet til de aktuelle materialer og skal derfor ikke behandles i denne indledende fase.

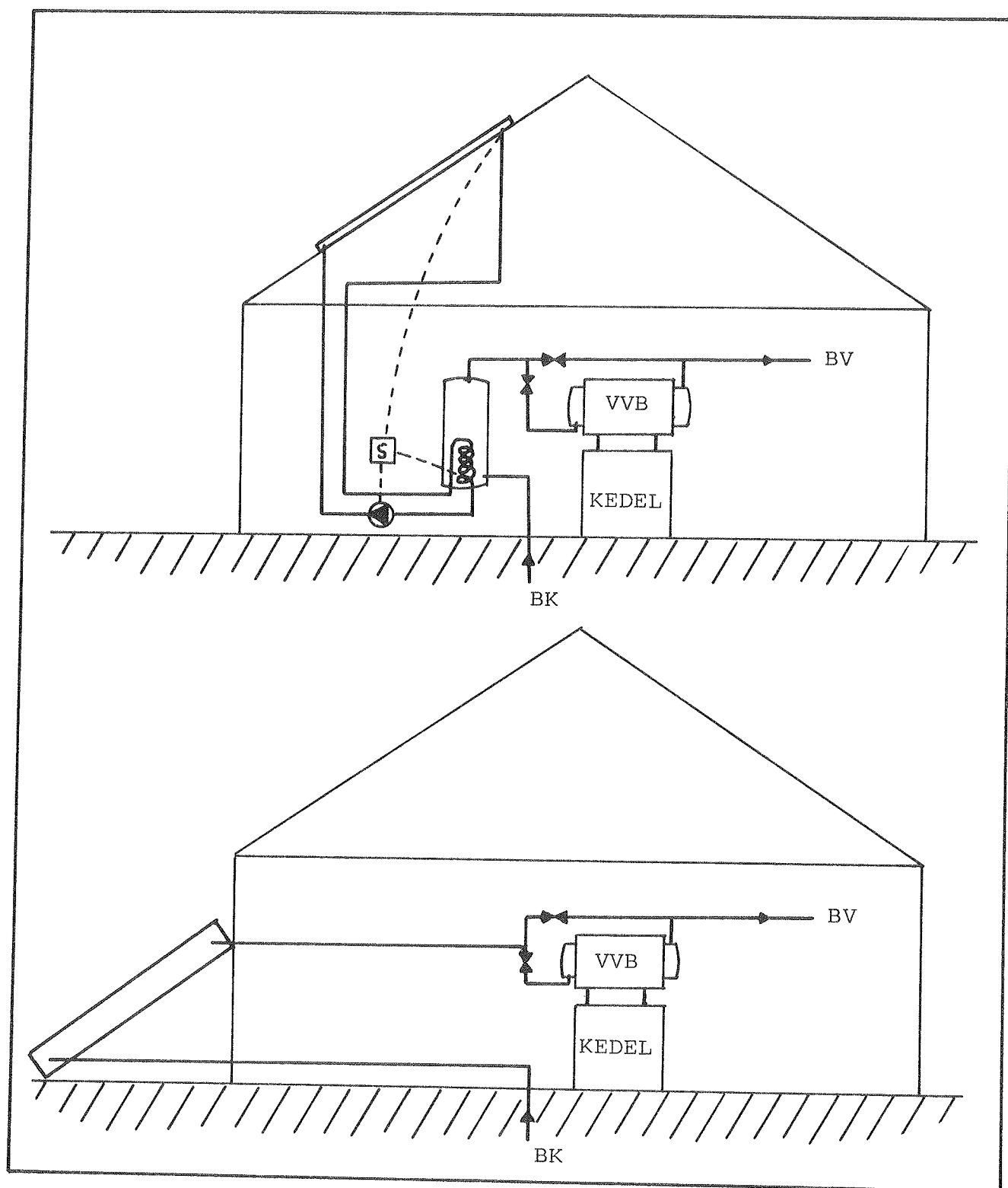


Fig. 3.1.1 Skematisk diagram for installation af henholdsvis et almindeligt solvarmeanlæg med pumpe og en solvarmeunit.

"S" angiver elektronisk styring for pumpen.

3.2 Skitsering af forskellige anlæg

I dette afsnit skitseres forskellige anlæg, og deres virkemåde, fordele og ulemper angives kortfattet.

Løsningerne er inddelt i grundtyper samt varianter af disse. Ved beskrivelse af fordele og ulemper ved varianterne er kun angivet forskelle i forhold til grundmodellerne.

På figurerne angiver: BK brugsvand, koldt
BV brugsvand, varmt

De tre grundmodeller, som er beskrevet, er:

- 1) Anlæg med integreret solfanger/lager med direkte opvarmning af brugsvand.
- 2) Anlæg med integreret solfanger/lager med varmeveksler for brugsvand.
- 3) Selvcirkulerende anlæg med adskilt solfanger og lager.

3.2.1 Anlæg med integreret solfanger/lager med direkte opvarmning af brugsvand

Dette er den simpleste type solvarmeanlæg og består i sin grundform af en isoleret kasse med transparent forside. Heri er placeret en eller flere sortmalede tanke med brugsvand.

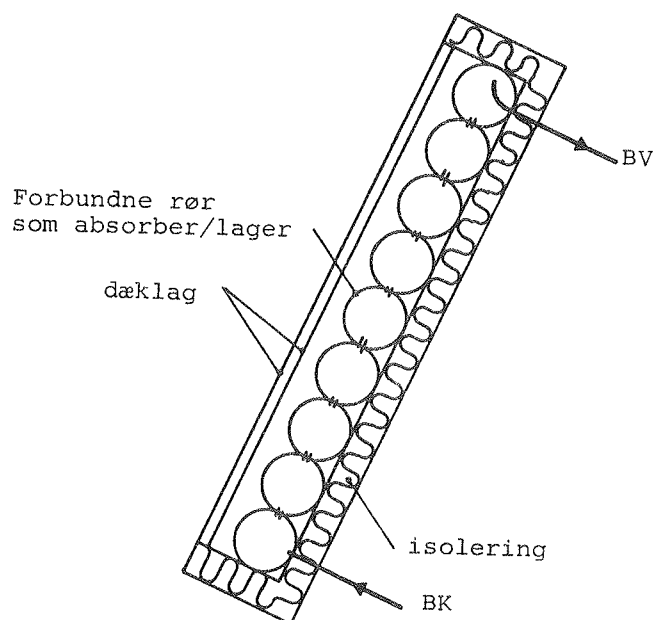


Fig. 3.2.1 Integreret solfanger/lager med brugsvand.
Grundmodel.

Funktion:

Det kolde brugsvand ledes ind i den nederste beholder, idet der tappes en tilsvarende mængde varmt vand ud af den øverste. Beholderne har sort eller selektiv overflade og varmer således vandet direkte op ved tilstrækkeligt solindfald. Varmetabet minimeres ved hjælp af god isolering og flere dæklag.

Fordele:

- Enkel og driftsikker konstruktion.
- Effektiv opvarmning, da varmen overføres direkte.
- Tåler vandtryk, hvis der f.eks. bruges ståltanke.
- Mange placeringsmuligheder.

Ulemper:

- Varmetabet er stort, da forsiden er uisolert.
- Risiko for frostsprængninger, specielt i tilledninger.
- Tung og ret dyr konstruktion, hvis der benyttes ståltanke.
- Tykkelsen er ca. den dobbelte af en almindelig solfanger, hvilket kan være skæmmende ved udvendig tagmontage.

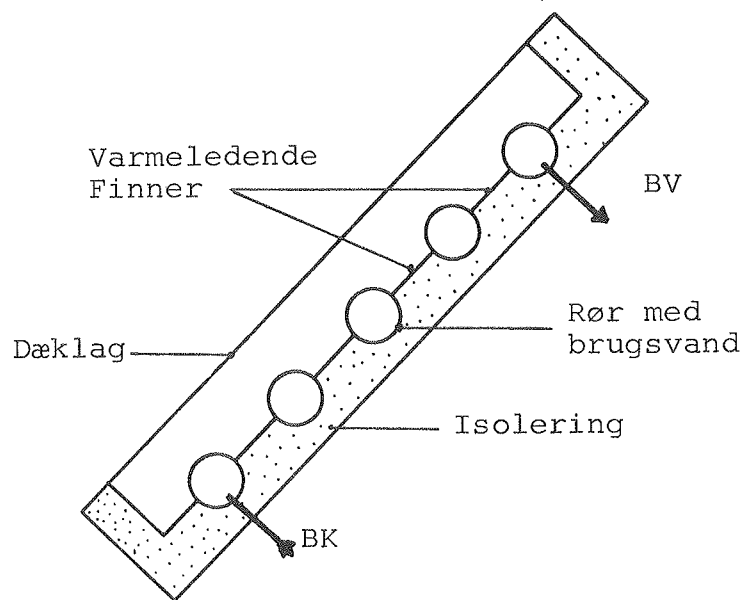


Fig. 3.2.2 Integreret solfanger/lager med brugsvand.
Variant med varmeledende finner.

Funktion:

I modsætning til grundmodellen absorberes en del af strålingen på nogle finner, fastgjort til beholderne. Varmen herfra ledes gennem finnematerialet til beholderne.

Fordele:

Lettere og billigere end grundtypen, da antallet af tanke er reduceret.

Ulemper:

Højere gennemsnitstemperatur, idet varmetransportvejen er længere. Dette øger solfangerens varmetab.

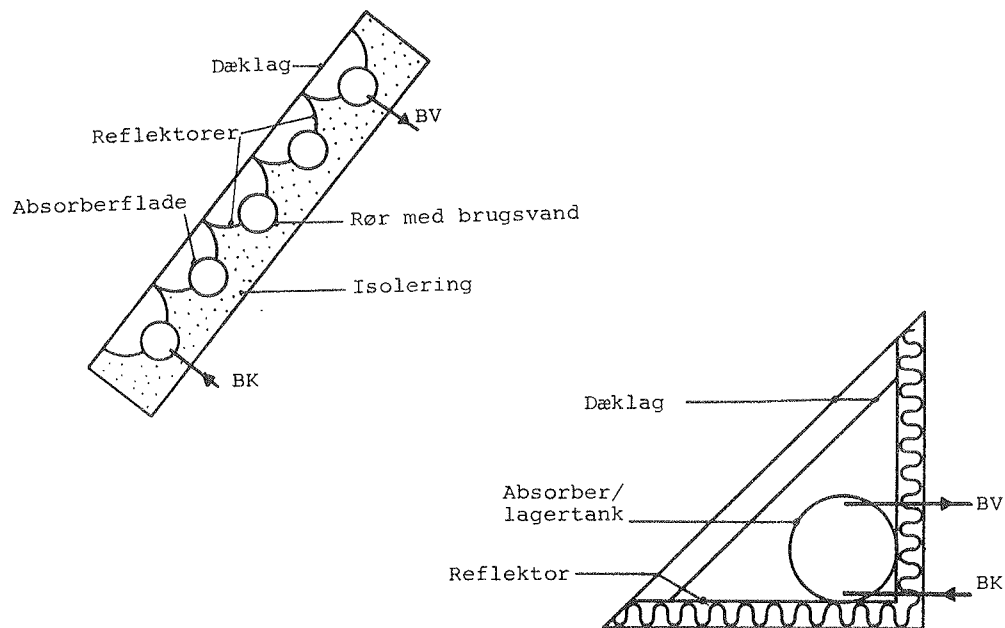


Fig. 3.2.3 Integreret solfanger/lager med brugsvand.
Variant med reflektorer med h.h.v. én og
flere tanke.

Funktion:

En del af den solstråling som rammer reflektorerne, vil reflekteres ind på tanken(e)s absorberende overflade. Hvor meget afhænger af reflektorernes konstruktion og andelen af diffust sollys, samt solens stilling.

Fordele:

- Lavere varmetab, da den varmeledende overflade er formindsket.
- Lettere konstruktion mulig.

Ulemper:

- Lavere solfangereffektivitet, da en del af strålingen går tabt p.g.a. ufuldstændig refleksion.
- Reflektorer kan være dyre.
- Nedsat refleksionsevne med tiden.
- Skal evt. justeres efter årstiden.

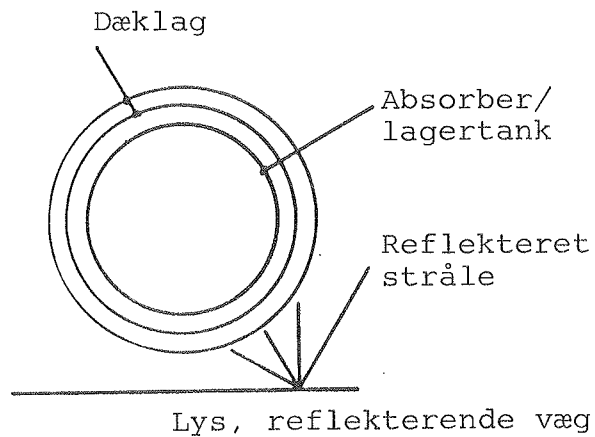


Fig. 3.2.4 Integreret solfanger/lager med brugsvand.
Variant m. cylinder og diffus reflektor.

Funktion:

Hele den opretstående tanks overflade fungerer som absorber og er omgivet af en cylindrisk dæklagskonstruktion. Ved at anbringe solfangeren op ad en lys væg e.l. reflekteres en del stråling ind på bagsiden.

Fordele:

- Anlægget kan bestå af en enkelt tank, da forholdet mellem overflade og volumen er stort.
- Morgen- og aftensol udnyttes i stor udstrækning.
- Enkel opbygning med standardbeholder.

Ulemper:

- Kun til jordplacering.
- Lodret montage ugunstigt om sommeren.

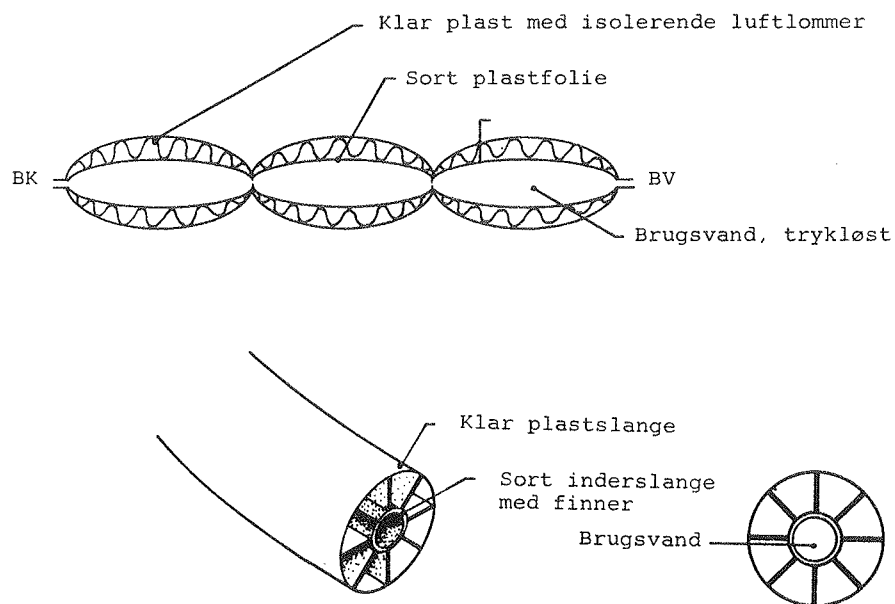


Fig. 3.2.5 Integreret solfanger/lager af plastfolie eller plastslange uden tryk.

Funktion:

Anlægget består af en sort plasticsæk eller slange med brugsvand uden tryk. En transparent sæk eller slange fungerer som dæklag, evt. med indbygget "honey-comb" struktur, for at øge isoleringsevnen.

Fordele:

- Minimale materialeudgifter.
- Kan evt. være sammenklappelig og er således velegnet til camping o.l.
- Velegnet til masseproduktion.

Ulemper:

- Materialernes temperaturbestandighed er begrænset, så selektive belægningsarter ikke kan bruges.
- Orienteringen i forhold til solen er ikke særlig gunstig.
- Kort levetid for visse plasttyper.
- Vandtrykket er stærkt reduceret.

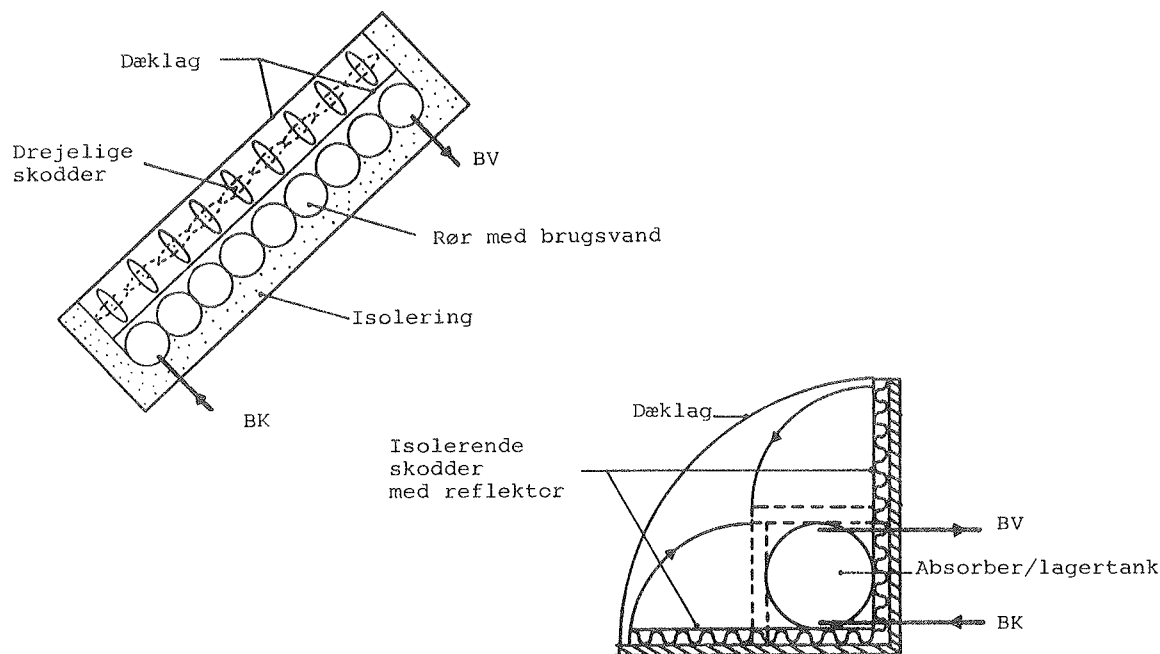


Fig. 3.2.6 Integreret solf./lager med brugsvand.
Variant med mobil isolering/skodder.

Funktion:

Grundmodellen er her udstyret med isolerende skodder, som lukkes enten manuelt eller automatisk. Herved begrænses varmetabet gennem forsiden, hvor det største tab findes. Det er en fordel, hvis skoddernes overflade er reflekterende.

Fordele:

- Lavere varmetab.
- Mindre frostrisiko.
- Skodderne kan bruges som kogesikring ved bortrejse o.l.

Ulemper

- Fordyrende konstruktion.
- Mere kompliceret og sårbar end grundmodellen.
- Kræver indgreb morgen og aften, eller automatisk styring.

3.2.2 Anlæg med integreret solfanger/lager med varmeveksler for brugsvand

I denne anlægstype sker varmelagring i en trykløs tank indeholdende kølemediet for absorbereren. Det kan f.eks. være en saltopløsning eller frostsikker væske.

Heri er neddykket en varmeveksler med brugsvand under tryk. Fordelen i forhold til den simple model er lavere materialeomkostninger, da lageret ikke skal holde til brugsvandstryk.

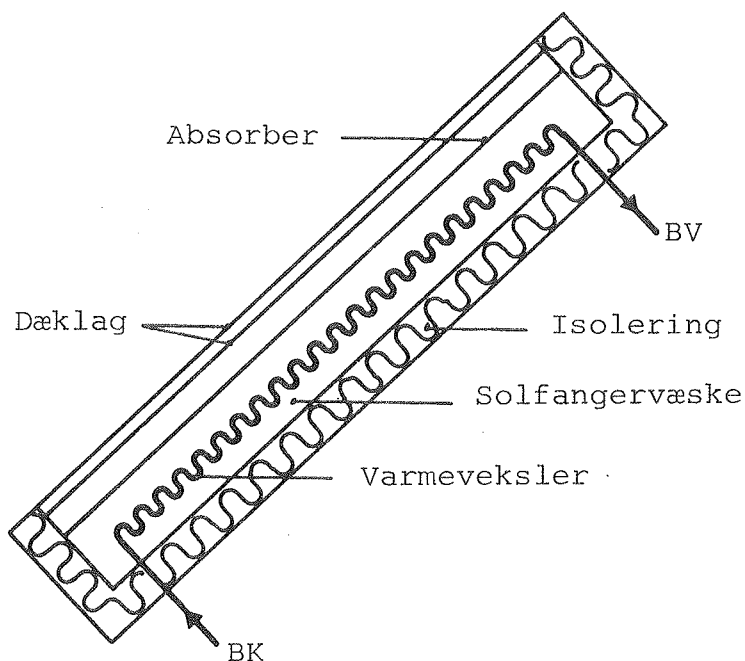


Fig. 3.2.7 Integreret solfanger/lager med varmeveksler.
Grundtype.

Funktion:

Væsken bag absorberpladen opvarmes direkte ved tilstrækkeligt solindfald. Varmen herfra overføres til brugsvandet i den neddykkede varmeveksler, der f.eks. kan bestå af en række rør. Varmeveksleren kan enten være af gennemstrømnings-typen eller af beholdertypen, d.v.s. med et volumen større end en tapning.

Fordele:

- Mindre materialeforbrug.
- Tankens væske kan frostsikres.
- Kun varmeveksleren er udsat for brugsvandets korrosive virkning.

Ulemper:

- Varmeoverføringsevnen til brugsvandet sætter en begrænsning på forbruget.
- Lidt mere kompliceret konstruktion.

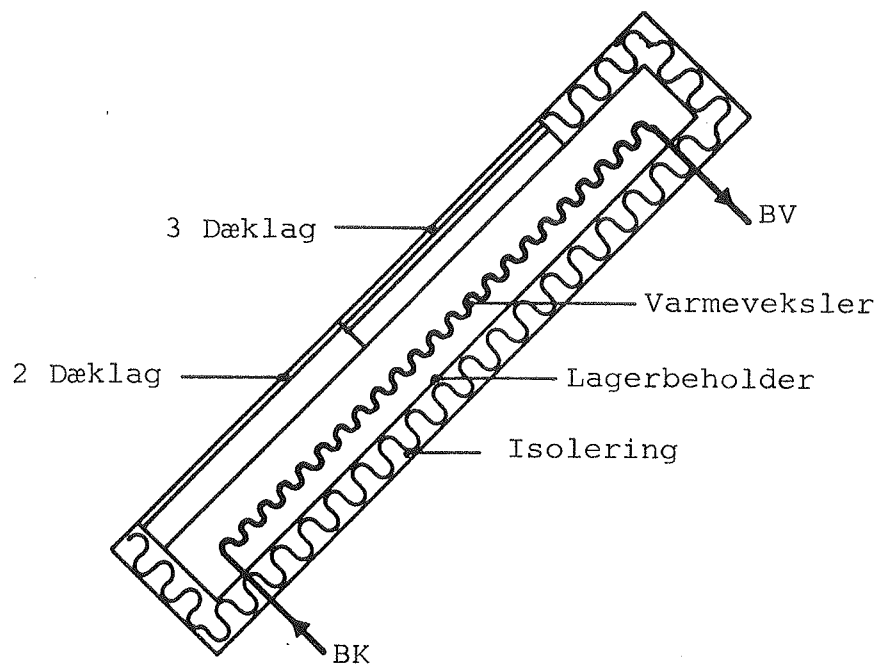


Fig. 3.2.8 Integreret solfanger/lager med varmeveksler.
Variant med zoneinddeling.

Funktion:

Funktion som grundmodel, men ydelsen er forøget ved temperaturzone-optimering. Ved at have færre dæklag i bunden end i toppen har bunden en god solfangereffektivitet, mens toppen, som er varmest, har et lavt varmetab.

Fordele:

- God lagdeling sikrer, at temperaturen i toppen er højere end den simple model.
- Lavere varmetab.

Ulemper:

- Lidt mere kompliceret dæklagskonstruktion.

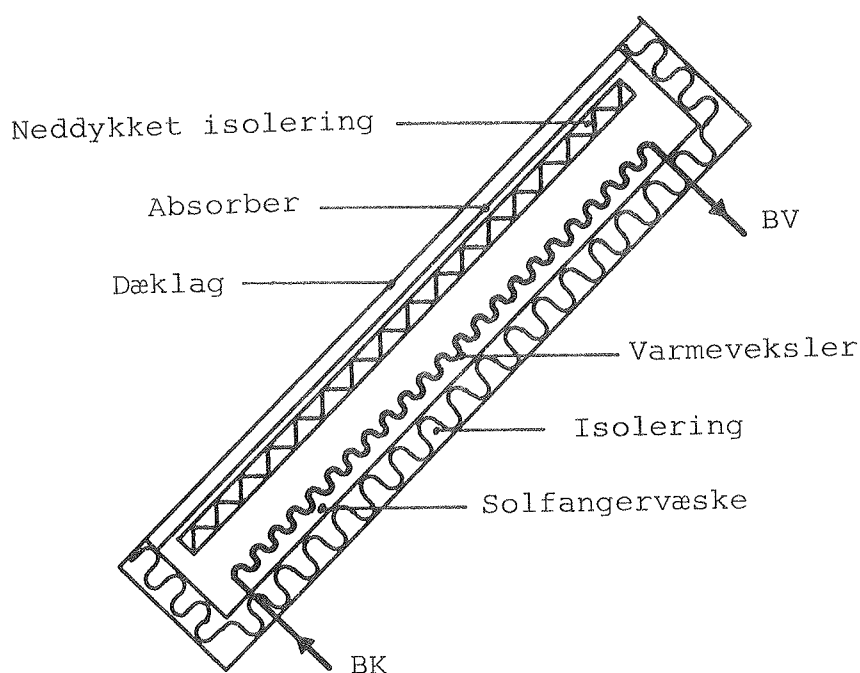


Fig. 3.2.9 Integreret solfanger/lager med varmeveksler.
Variant med skilleplade.

Funktion:

Anlægget adskiller sig fra grundformen ved at have anbragt en neddykket isoleringsplade lige under absorberen. I spalten herimellem stiger den opvarmede lagervæske op ved selv-cirkulation. Evt. kan der anbringes en kontraventil i ind- eller udløb fra spalten.

Fordele:

- Lavere varmetab, specielt hvis recirkulation forhindres af en kontraventil.
- Mulighed for god lagdeling.

Ulemper:

- Lidt tykkere end grundmodellen.
- Evt. problemer med den våde isolerings holdbarhed.
- Lidt dyrere end grundmodellen.

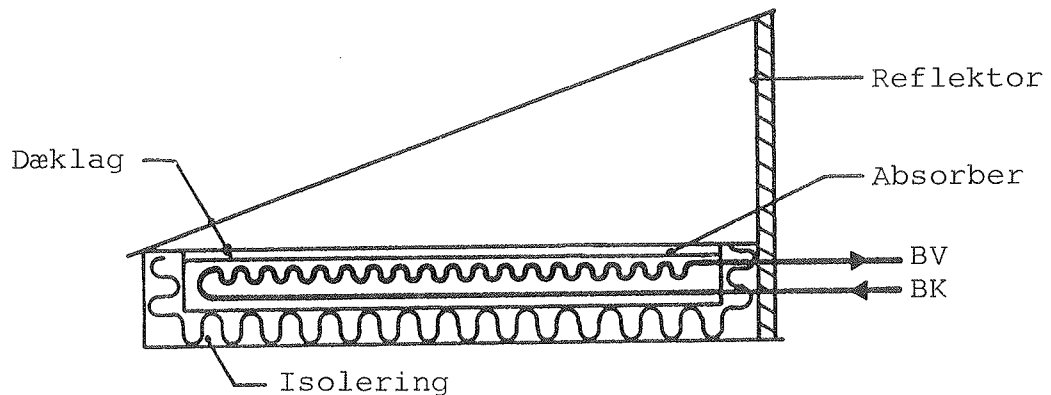


Fig. 3.2.10 Integreret solfanger/lager med varmeveksler.
Variant med vandret lager af plastfolie.

Funktion:

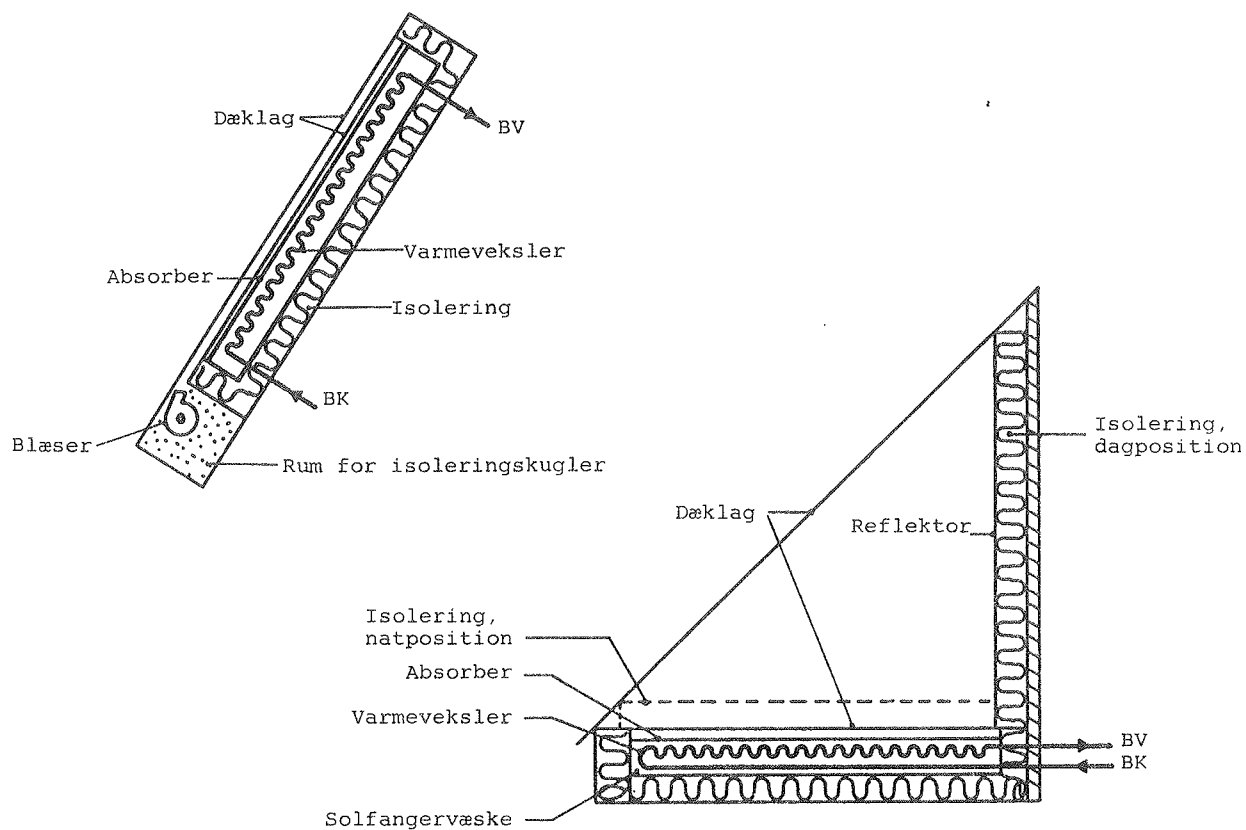
Som grundmodellen, men en del af strålingen reflekteres via bagpladen ned på den vandrette absorber. Lager og evt. absorber kan være af plastfolie e.l., da overfladen overalt har atmosfæretryk. Det øverste dæklag er skråt for at forbedre solindfaldet, og for at forhindre at snavs o.l. samler sig for hurtigt.

Fordele:

- Meget billig i materialer.
- Kan placeres direkte på jorden.

Ulemper:

- Reduceret ydelse p.g.a. den vandrette absorber.
- Dårlig temperaturlagdeling.
- Dårligere varmeoverføring fra absorber til lagervæske.



3.2.11 Integreret solfanger/lager med varmeveksler. Variant med mobil isolering.

Funktion:

Som grundmodellen, men varmetabet reduceres ved hjælp af mobil isolering, f.eks. i form af isoleringskugler, indblæst mellem de to dæklag, eller i form af skodder.

Fordele:

- Lavere varmetab.

Ulemper:

- Mere kompliceret.
- Kræver indgreb fra bruger eller automatik.

3.2.3 Selvcirkulerende solvarmeanlæg med adskilt lager og absorber.

Dette er en meget almindelig anlægstype i bl.a. Sydeuropa og består af en almindelig solfanger med en brugsvandstank placeret over denne.

Der kan evt. være indbygget en varmeveksler i tanken, ellers opvarmes brugsvandet direkte i absorberen.

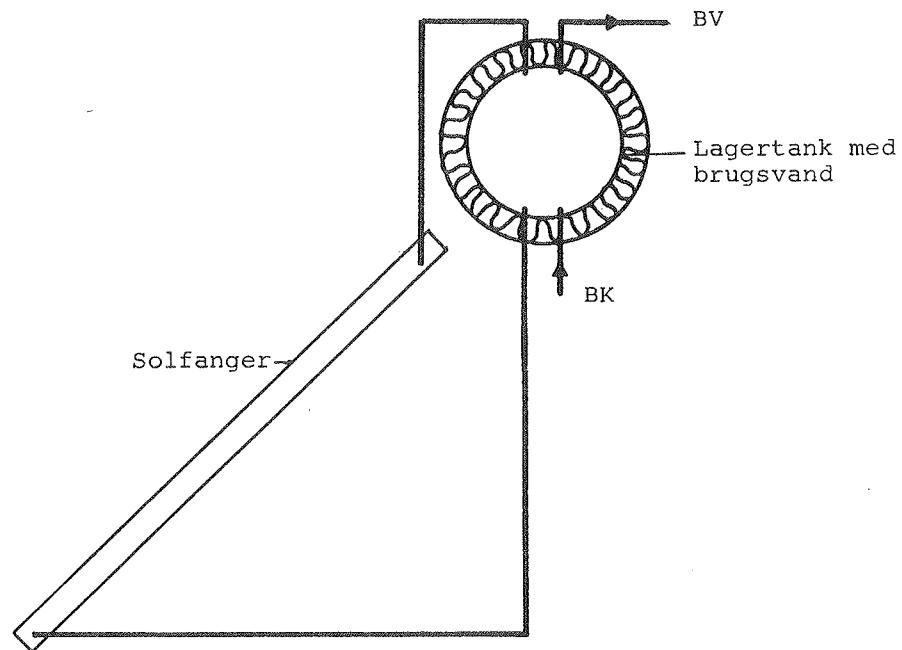


Fig. 3.2.12 Selvcirkulerende anlæg.
Grundmodel.

Funktion:

Når vandet i solfangeren bliver varmere og dermed lettere end vandet i tanken, stiger det op i denne ved naturlig cirkulation. Tanken er isoleret overalt, så varmetabet reduceres.

Fordele:

- Lavt varmetab.
- Findes i produktion, gennemprøvet.
- Direkte opvarmning giver høj effektivitet.

Ulemper:

- Mange enkeltkomponenter kræves.
- Solfangeren kan hurtigt frostsprænges, da dens varmekapacitet er lav.
- Solfangeren skal kunne holde til brugsvand.
- Klodset ved udvendig tagplacering.

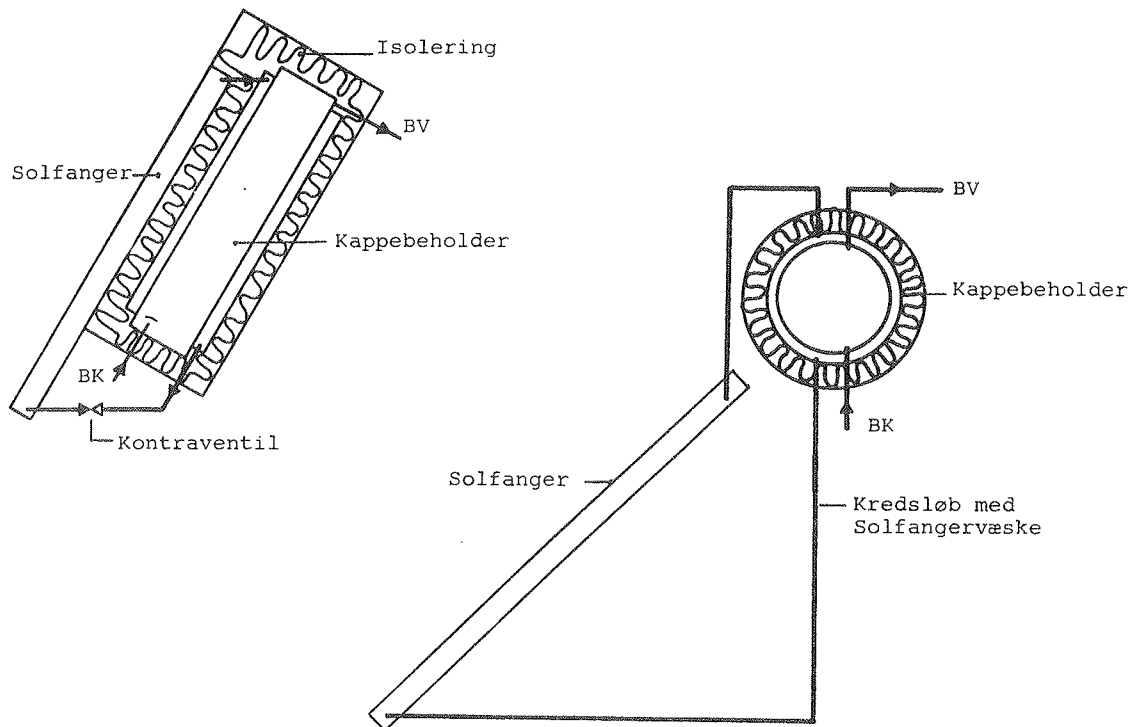


Fig. 3.2.13 Selvcirkulerende anlæg.
Variant med varmeveksler.

Funktion:

Solfangervæsken cirkulerer i en separat lukket kreds, hvorfra varmen overføres til brugsvandstanken. På figuren er dette illustreret for h.h.v. en liggende og en opretstående kappebeholder.

Fordele:

- Solfangervæsken kan frostsikres.
- Lavt tryk i solfangerkreds.
- Færre korrosions- og tilkalkningsproblemer.

Ulemper:

- Lidt dårligere effektivitet p.g.a. tab i varmeveksleren.
- Dyrere tank kræves.
- Ekstra ekspansions- og sikkerhedsudstyr for solfangerkredsen påkrævet.

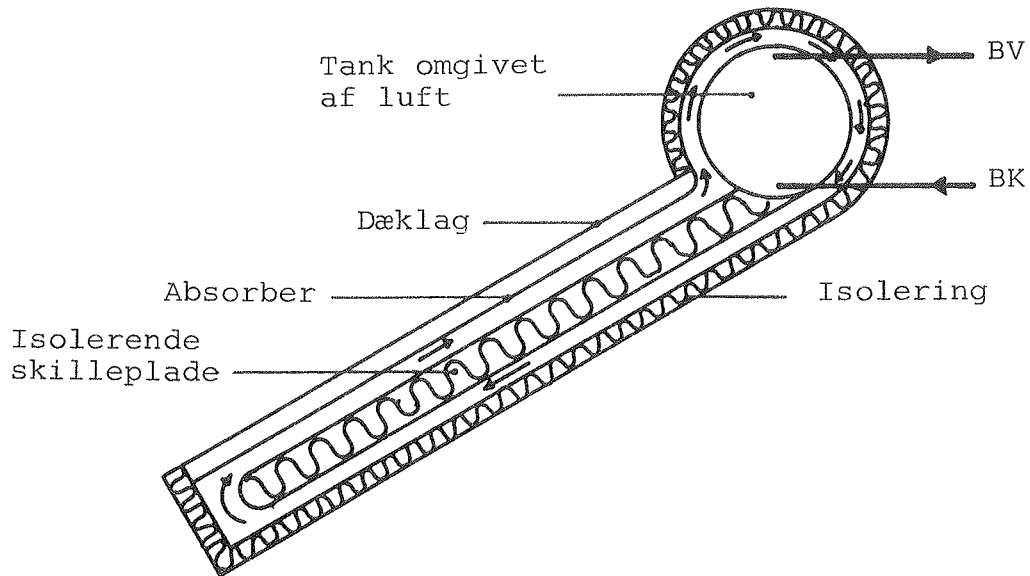


Fig. 3.2.14 Selvcirkulerende anlæg.
Variant med luft som medium.

Funktion:

Luften varmes op i solfangeren, stiger op omkring lagertanken hvor varmen afgives, og returnerer til solfangerens bund.

Fordele:

- Ingen kogning eller korrosion.
- Let og billig solfanger konstruktion er mulig.

Ulemper:

- Ringere effektivitet p.g.a. lufts dårlige varmetransmissions-egenskaber.
- Store kanaldimensioner kræves af hensyn til lavt tryktab.
- Tanken skal evt. forsynes med finner for at få tilstrækkeligt varmeoverførende areal.

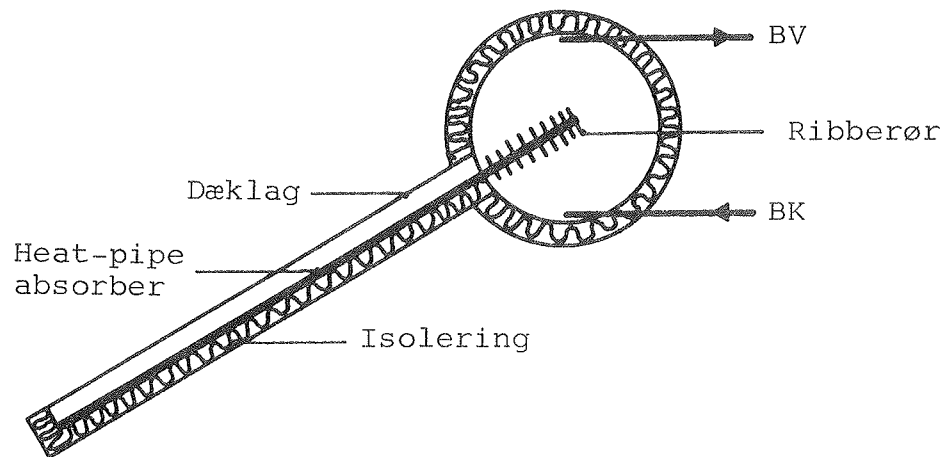


Fig. 3.2.15 Selvcirkulerende anlæg.
Variant med kølemiddel ("Heat pipe").

Funktion:

Solfangeren består af en række lukkede parallelle rør, som er delvis fyldt med en væske med lavt kogepunkt (f.eks. kølemidlet freon). Den øverste ende af hvert rør stikker ind i varmtvandsbeholderen og er forsynet med ribber for at øge overfladearealet. Ved opvarmning fordampes kølemidlet og stiger op i tanken, hvor det kondenserer. Herfra løber det ned langs rørvæggen til solfangeren, hvor det igen fordampes, o.s.v.

Fordele:

- Ingen kogeproblemer.
- God varmeoverføring ved fordampning/kondensering.

Ulemper:

- Starter først når væsken når kogepunktet.
- Kræver speciel solfanger og varmeveksler.
- Kræver absolut tætte rør.
- Dyrere end grundtypen.

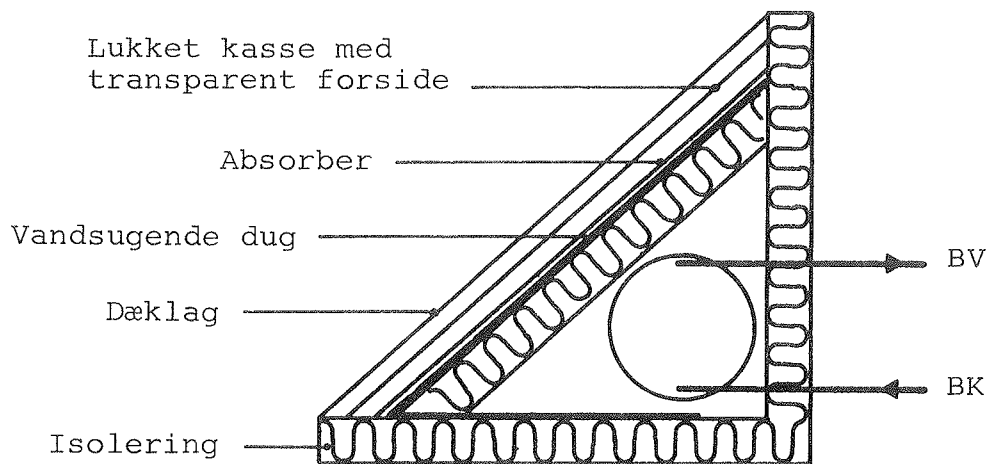


Fig. 3.2.16 Hydrofil solfanger.

Funktion:

Princippet er som for den forrige varmeoverføring ved fordampning/kondensering. Bag absorberen er anbragt en vandsugende dug, som suger vand op fra bunden af solfangeren. Når dugen opvarmes, vil vanddamp diffundere ud gennem bagsideisoleringen og kondensere på varmtvandsbeholderen. Herfra drypper det ned i bunden, suges op, o.s.v.

Denne anlægstype undersøges grundigt i et separat forskningsprojekt. Slutrapporten for dette projekt forventes at foreligge i foråret 85.

Fordele:

- God varmeoverføring skulle være mulig.
- Ingen kogningsproblemer.
- Kan bygges som kompakt unit.

Ulemper:

- Ringe effektivitet ved lave temperaturer (lille fordampning).
- Den våde bagsideisolering øger varmetabet.
- Muligvis korrosionsproblemer.

3.3 Vurdering og udvælgelse

De skitserede anlæg opfylder i forskellig grad de opstillede funktionskrav.

Af de tre grundtyper er det integrerede anlæg med direkte brugsvandsopvarmning det enkleste. Imidlertid er varmetabet større end for anlæg med adskilt solfanger og lager. Samtidig skal beholderen være meget kraftig for at kunne holde til vandtrykket. Da hele anlægget er udsat for det friske brugsvands korrosion, bliver det nødvendigt at bruge rustfrit stål eller at korrosionsbeskytte beholderen. Denne anlægstype opfylder således ikke kravet om en let og billig konstruktion på tilfredsstillende vis, hvis der skal være normalt tryk på vandet.

Det integrerede anlæg med varmeveksleren kan gøres en del lettere, da lageret er trykløst. Samtidig er der mindre risiko for indvendig korrosion, da der ikke ledes frisk vand til tanken.

Til gengæld kan det være et problem at få overført varme nok til varmeveksleren ved tapning. Dette problem kan formentlig løses ved at gøre varmevekslerens volumen stort i forhold til en typisk tapning, da varmen så kan overføres i tidsrummet mellem tapningerne.

Anlægget med opdelt solfanger og lager er den type, der er længst tids erfaring med, da den bl.a. er almindelig i Sydeuropa og Mellemøsten. Den relativt komplicerede opbygning modsvares af et lavere varmetab end de integrerede typer. Ydelseren kan således næsten nå op på højde med traditionelle anlæg med pumpe.

Hvis solfanger og tank er samlet til en unit, er installationen ikke vanskeligere end for de to foregående anlæg, men der kan være arkitektoniske problemer, hvis tanken f.eks. placeres udvendigt på et tag.

Det er den dyreste anlægstype, idet forbruget af VVS komponenter og øvrige materialer er højt.

På grundlag af disse vurderinger er udvalgt to systemer til en nærmere analyse:

- 1) Selvcirkulerende solvarmeunit, beregnet til fri placering på jorden.
- 2) Integreret solfanger/lager med varmeveksler.

4. Selvcirkulerende solvarmeunit

En måde at billiggøre et brugsvandsanlæg på, er som nævnt at samle solfanger og lager til en "nøglefærdig" enhed, som kan placeres frit på jorden.

Et sådant anlæg er opbygget og gennemmålt.

Det adskiller sig fra almindelige selvcirkulerende anlæg ved, at beholdertoppen er i niveau med solfangertoppen, samt ved at solfangerens dæklag og bagsidebeklædning danner en cylinder, som omslutter lagertanken.

I det følgende beskrives opbygningen og måleresultaterne i hovedtræk. Endelig gives en økonomisk vurdering af anlægget.

4.1 Anlæggets opbygning

Princippet i den valgte konstruktion er at lade en standard-varmtvandsbeholder indgå som et grundelement, hvoromkring resten af konstruktionen er fastgjort.

Beklædning og isolering bliver herved fælles for solfanger og tank, hvorved der spares materiale og arbejdstid.

Grundformen er som for tanken en cylinder, hvor den sydvendte halvdel udgør solfangeren.

Af konstruktionstekniske og æstetiske grunde er cylinderen placeret lodretstående.

Et skematisk diagram over anlægget ses på fig. 4.1.1.

Bemærk, at der er indskudt kontraventil i solfangerkredsen, da der ellers vil ske tilbagecirkulation om natten p.g.a. tankens lave placering.

Fig. 4.1.2 viser den færdige unit.

4.1.1 Solfanger

Denne består af 8 såkaldte sunstrips fra firmaet Batec. Der er tale om 3 m lange, 15 cm brede elementer af aluminium, hver med en kobberkanal indvalset i midten. Overfladen er kemisk påført en selektiv belægning.

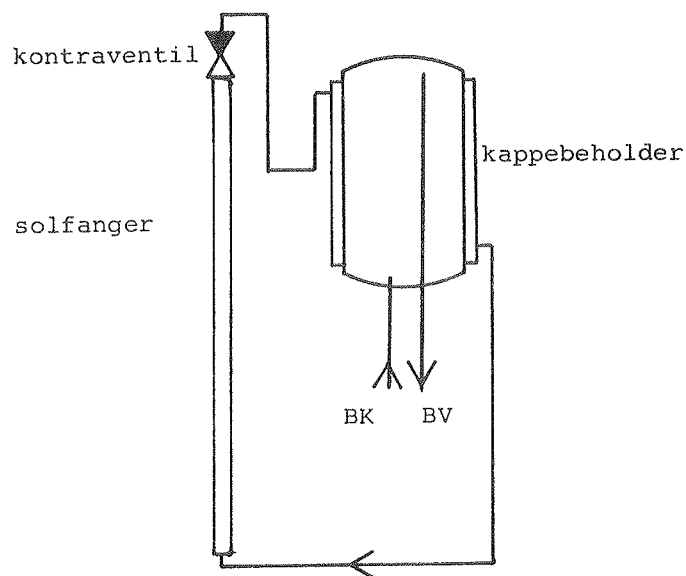


Fig. 4.1.1 Skematisk opbygning af anlægget.

Elementerne er anbragt udenom tanken, så de danner en halv cylinderflade.

I top og bund er elementerne via kobberør forbundet til en manifold. Denne er foroven udformet specielt, idet der i indløbet fra hvert solfangerelement er anbragt en lille plastikugle, der virker som kontraventil, se fig. 4.1.3.

Som dæklag er valgt en 2,5 mm acrylplade, som i kold tilstand er bøjet koncentrisk om absorberen.

Solfangerens isolering er fælles med tankisoleringen, undtagen i den nederste halvdel, hvor der er anbragt en separat 50 mm mineraluldsmåtte.

På fig. 4.1.4 ses et snit af solfangerens kant.

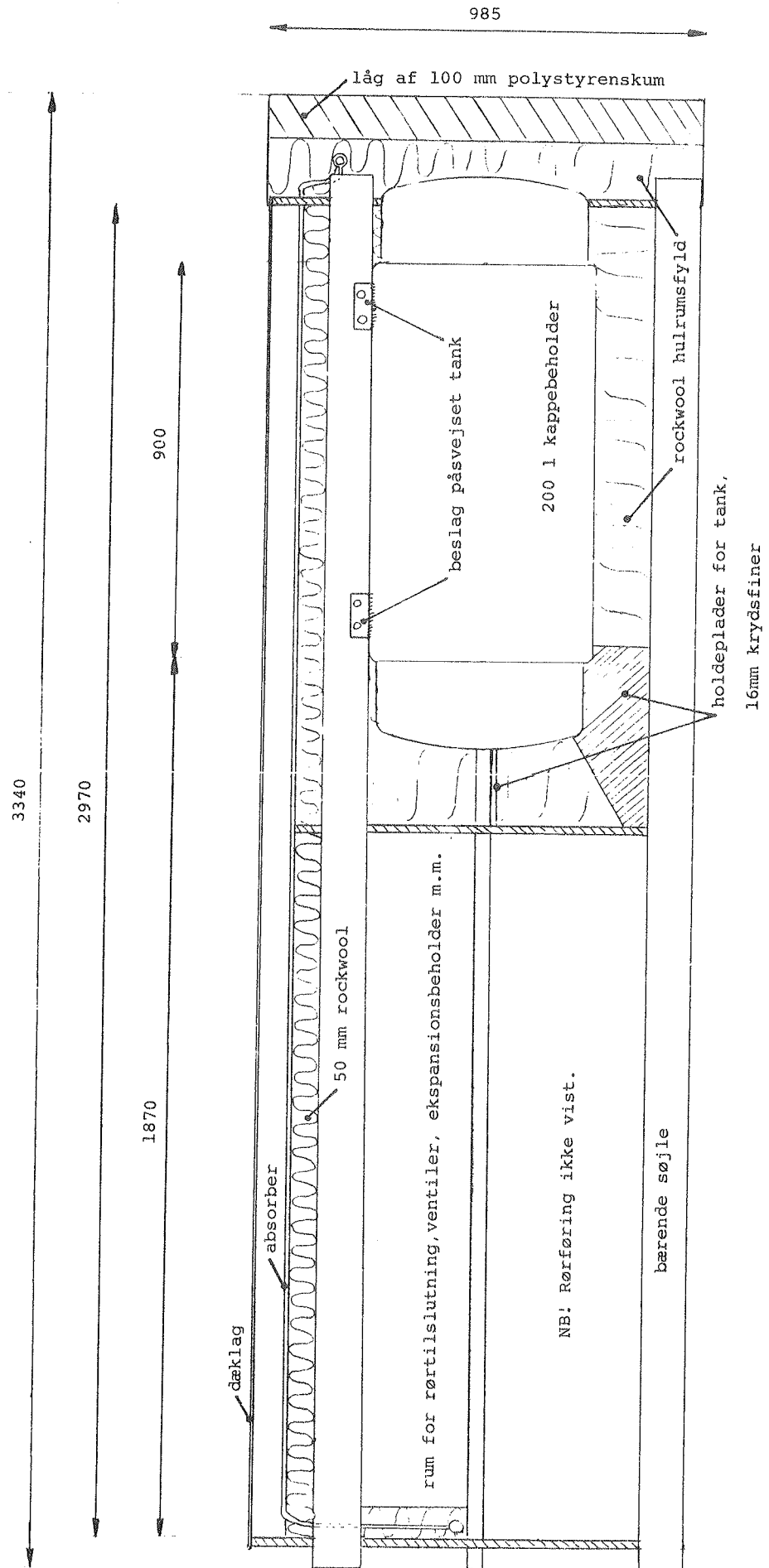
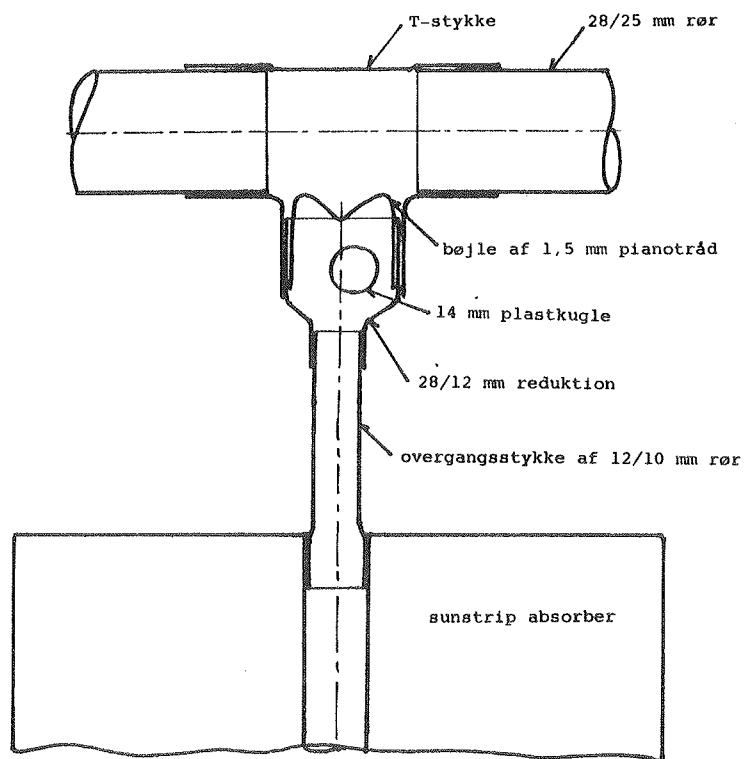


Fig. 4.1.2 Længdesnit af det færdige anlæg.



Alle rørdele i kobber.

Fig. 4.1.3 Opbygning af kontraventiler.

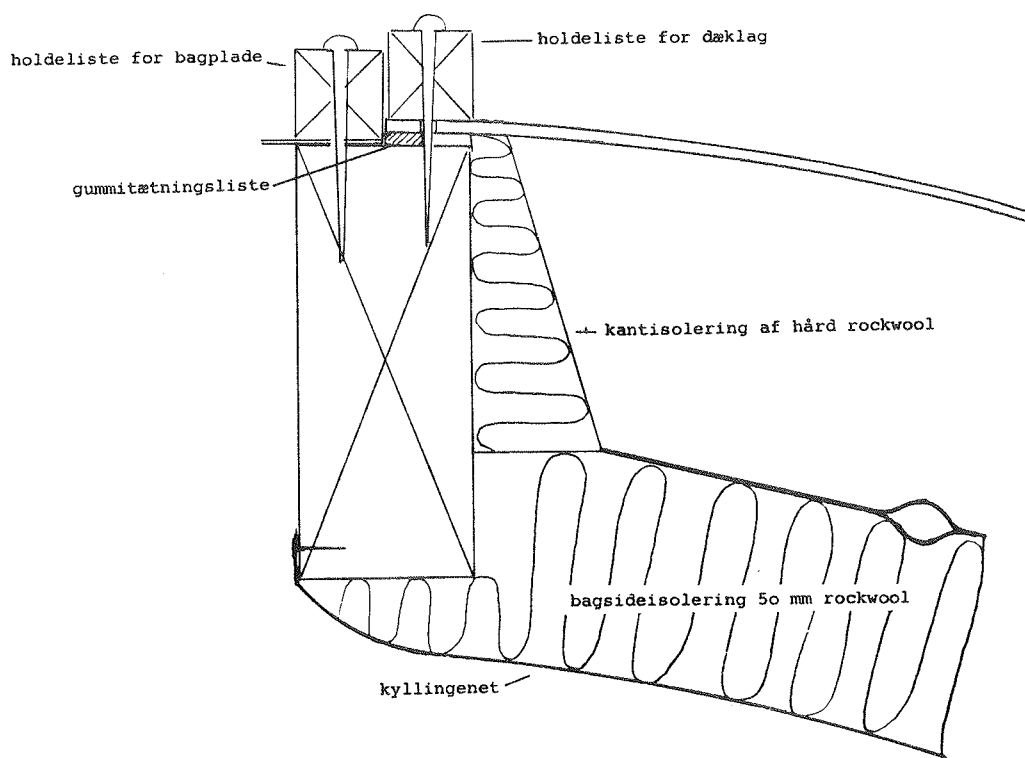


Fig. 4.1.4 Tværsnit af solfangerens kant, nederste halvdel.

4.1.2 Lagertank

Her er anvendt en kappebeholder med et brugsvandsvolumen på 200 liter. En kappebeholder er velegnet til selvcirkulerende anlæg, idet strømningsmodstanden er særdeles lille i sammenligning med f.eks. spiralvarmevekslere.

Da kappen næsten har samme højde som tanken, kan der forventes en højere gennemsnitstemperatur for solfangeren, end hvis varmeveksleren var placeret i bunden. Ifølge undersøgelser af selvcirkulerende systemer [2] skulle det øgede varmetab imidlertid opvejes af en mere stabil lagdeling i lagertanken.

4.1.3 Rørføring m.m.

Der er brugt 1" galvaniserede jernrør i solfangerkredsen af hensyn til et lavt tryktab. Rørføringen er så kort som mulig, undtagen ved indløbet til kappen, hvor røret er bøjet nedad for at mindske kuldebro-virkningen, se fig. 4.1.5. Hvis røret var ført opad til solfangeren, ville dennes manifold holdes varm med øget varmetab til følge.

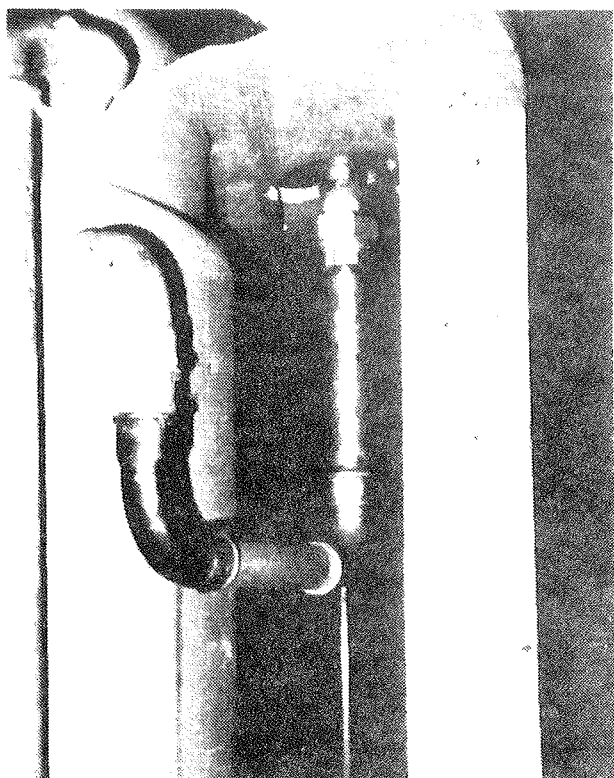


Fig. 4.1.5 Foto af varmelås ved indløbet til kappen. Øverst til venstre ses udløbet for varmt brugsvand.

I rummet under tanken er installeret trykekspansion, sikkerhedsventil m.m.

Tabel 4.1.1 viser de vigtigste anlægsdata.

Et foto af det samlede anlæg ses på fig. 4.1.6.

Data for solvarmeunit:

Udvendig højde	3,34 m
- " - diameter	0,99 m
Transparent areal projiceret mod syd	2,93 m ²

Solfanger:

Sunstrip absorber	
Overflade	3,2 m ²
Absorptionskoefficient	0,95
Emissionskoefficient	0,15
Dæklag: acryl	2,5 mm
Transparent overflade	~4,5 m ²
Bagsideisolering, rockwool, øverst	150 mm
- " - " " - nederst	50 mm
Kantisolering - " -	~30 mm

Lagertank:

Kappebeholder, Fønix-Plasto	
Brugsvandsvolumen	200 liter
Kappevolumen	30 liter
Masse (tom)	125 kg
Isolering, hulrumsfyld	~200 mm

Rørføring m.m.:

Solfangerkreds, galv. jernrør	1 "
total længde	~4 m
Varmetransmissionsmedie	vand

Bærende konstruktion:

Træstativ beklædt med 1 mm alu-plade

Tabel 4.1.1 Data for den afprøvede selvcirkulerende solvarmeunit.

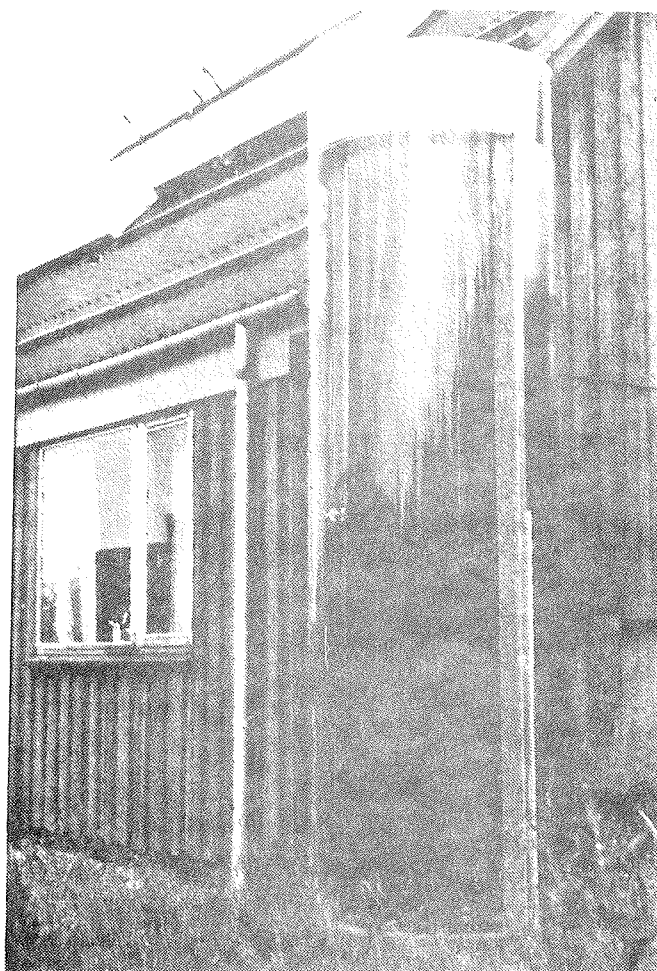


Fig. 4.1.6 Foto af den færdige solvarmeunit, opstillet ved laboratoriets forsøgshus.

4.2 Måleresultater for uniten

Den selvcirkulerende unit er afprøvet i perioden 21/5 - 30/7 1984. Måleprogrammet omfatter følgende punkter:

- 1) Måling af flow og temperaturstigning over solfangeren.
- 2) Registrering af temperaturprofiler i solfanger og lager-tank.
- 3) Bestemmelse af modstandskaraktistik for solfangerkredsen.
- 4) Måling af varmetab fra lageret.
- 5) Måling af ydelsen i en periode med et realistisk varmt-vandsforbrug.

4.2.1 Flow og temperaturstigning

Flow og temperaturforskelle mellem ind- og udløb er målt i tiden omkring kl. 12, hvor hele absorberen får indstråling. Afhængig af temperatur- og strålingsniveauet er registreret et dagligt maksimum flow på 0,12 - 0,23 liter/minut pr. m² absorber.

Det er altså under halvdelen af det anbefalede flow for normale solvarmeanlæg. Imidlertid betyder dette ikke så meget for ydelsen, bl.a. fordi der ved selvcirkulation vil være størst flow, der hvor der er størst solindfald og dermed bedre køling af solfangeren.

Temperaturforskellen mellem ind- og udløb er højere end ved pumpeanlæg, normalt beliggende i temperaturintervallet 13°C - 20°C. Det bevirker, at solfangerens middeltemperatur og dermed varmetab forøges. Til gengæld bevirker anlæggets opbygning, at der opbygges en temperaturlagdeling i lageret under opvarmningsperioden. Dette kan have en gavnlig indflydelse på anlæggets ydelse, specielt hvis der tappes varmt vand fra lageret under solskinsperioder.

Fig. 4.2.1 viser et typisk forløb af solfangerens ind- og udløbstemperatur samt tankens top- og bundtemperatur.

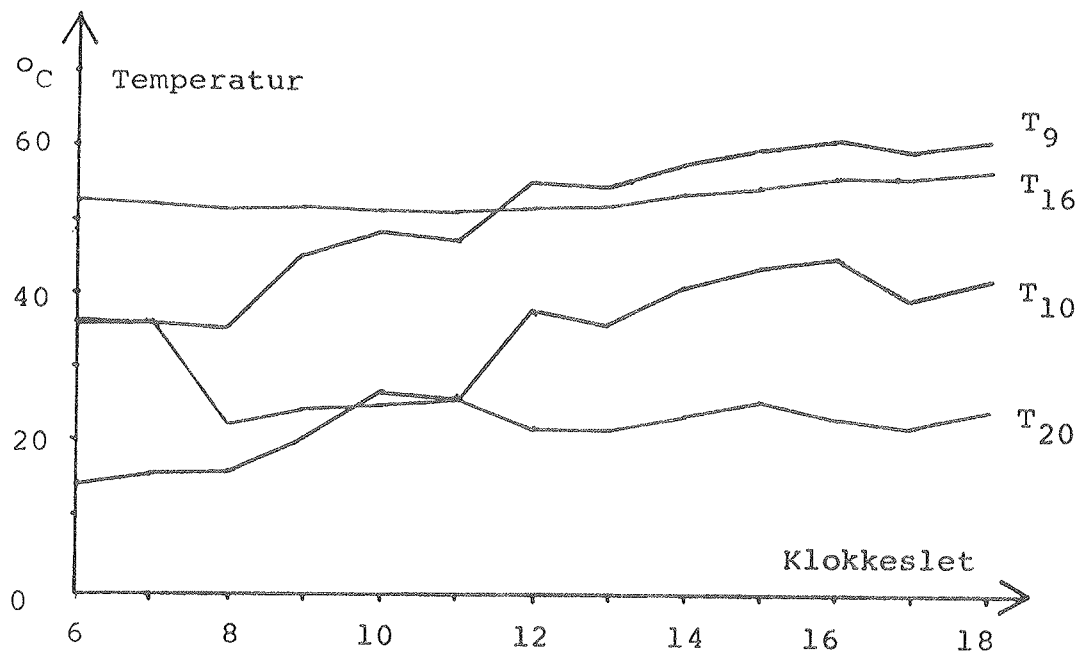


Fig. 4.2.1 Temperatur for solfanger ind (T_{10}), solfanger ud (T_9), lagertop (T_{16}) og lagerbund (T_{20}) målt den 24/7 (god soldag). Der tappes ca. 40 liter kl. 7, 12 og 16.

Temperaturen i tankens bund svinger p.g.a. indløbet af frisk vand, når der tappes, mens temperaturen i toppen er næsten konstant omkring 55°C.

4.2.2 Temperaturprofiler

Der er placeret temperaturfølere i forskellige højder i solfanger og tank, hvorved der fås et billede af de samhoørende temperaturprofiler under drift.

Fig. 4.2.2 viser temperaturen som funktion af højden for h.h.v. solfanger og kappebeholder.

Der ses en udmærket lineær sammenhæng for solfangertemperaturens vedkommende. Punktet i parentes er målt øverst, hvor varmeledning fra det fælles udløbsrør forstyrrer målingerne. Det er derfor ikke medtaget.

Kappens temperaturprofil er kraftigt krummende, mest p.g.a. den store køling af bunden, hvor det friske vand ledes ind.

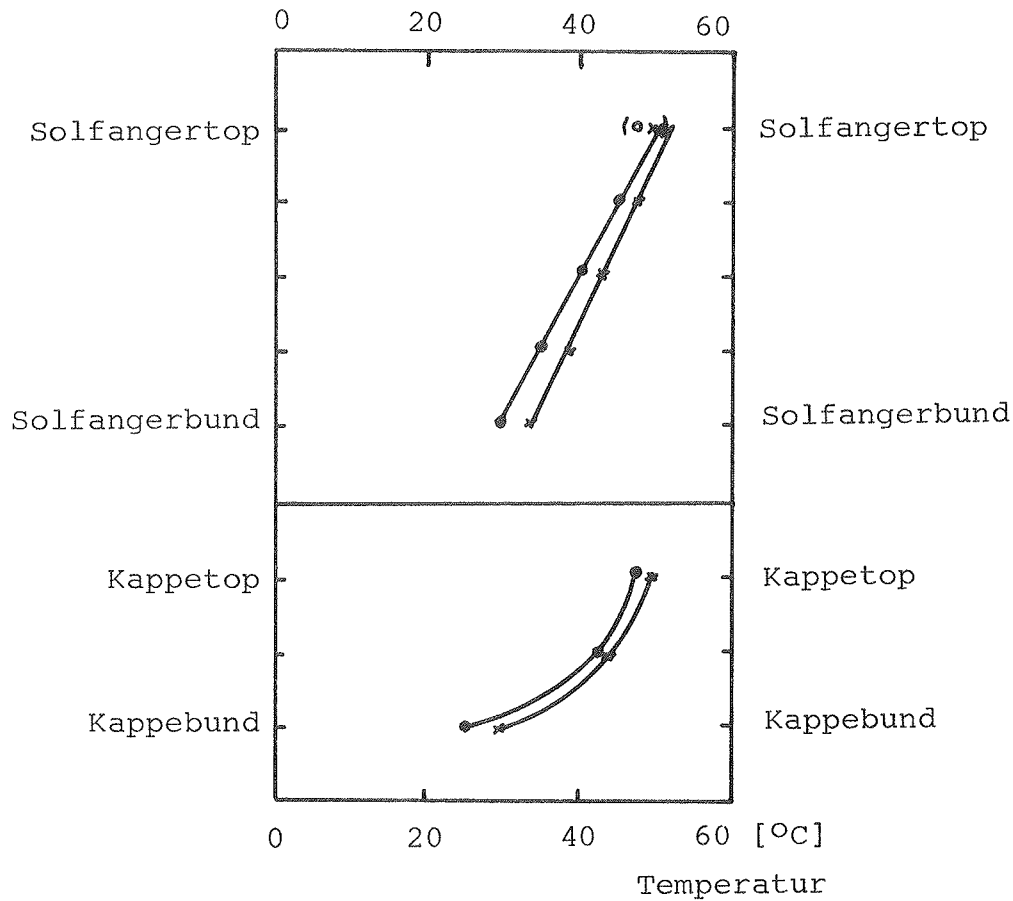


Fig. 4.2.2 Temperaturen i forskellige højder i solfanger og kappebeholder umiddelbart før (*) og en time efter en tapning (•).

Der er altså en meget stor temperaturlagdeling i tanken i perioder med tapning, typisk med 20 - 30°C temperaturforskelle mellem top og bund.

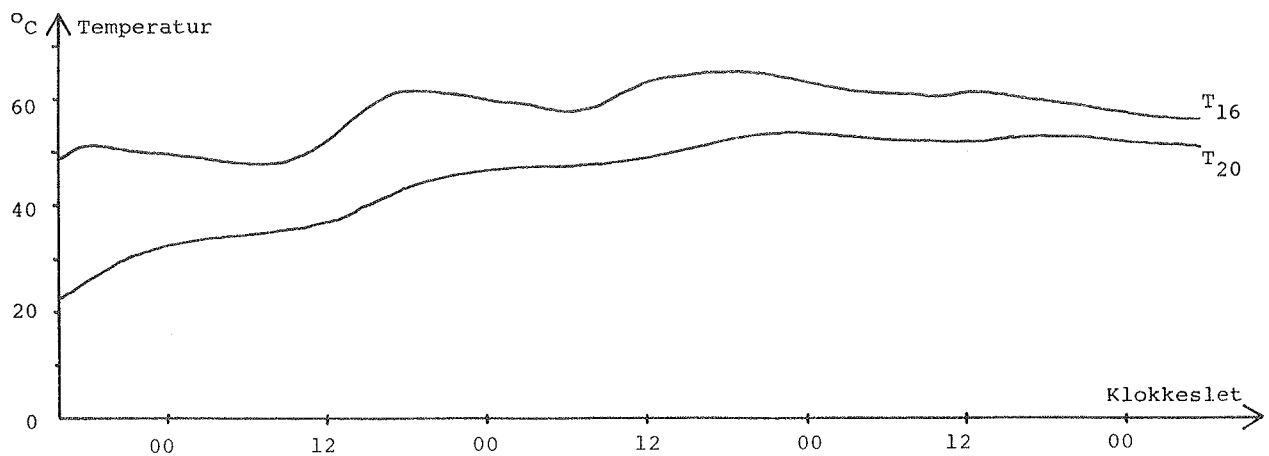


Fig. 4.2.3 Temperatur i top (T_{16}) og i bund (T_{20}) af brugsvandstanken i en periode uden tapning.

Hvis der ikke tappes i længere tid, vil varmeledning gennem beholdervæggen og gennem vandet selv efterhånden udjævne temperaturforskellen, så den bliver ca. 5°C efter 3-4 dage. Dette ses på fig. 4.2.3.

4.2.3 Drivtryk og friktionstab

I ref. [3] er fundet følgende teoretiske udtryk for drivtryk ΔP_d og tryktab for anlægget ΔP_f :

$$\Delta P_d = 9,82(1,9 \cdot \rho_{si} + 0,3(\rho_{kt} + \rho_{km} + \rho_{kb}) - 3 \cdot \bar{\rho}_s + 0,2 \cdot \rho_{su}) [\text{Pa}]$$

$$\Delta P_f = 42,5 + 1232 \cdot \dot{m} + 274000 \cdot \dot{m}^2 [\text{Pa}]$$

hvor: ρ_{si} = væskens massefylde ved solfangerindløb [kg/m^3]

ρ_{kt} = " " " " " " " kappens top " "

ρ_{km} = " " " " " " " mindte " "

ρ_{kb} = " " " " " " " bund " "

$\bar{\rho}_s$ = middelmassefylde i solfanger

ρ_{su} = væskens massefylde ved solfangerudløbet " "

$\dot{m}$ = massestrømmen [kg/s]

Ved stationær drift gælder: $\Delta P_d = \Delta P_f$. (Konstant flow).

Idet sammenhængen mellem massefylden og den målte temperatur er kendt, kan øjebliksværdier af flow og massefylde indsættes. Der er herved konstateret en afvigelse mellem målt og beregnet tryk på under 7%, hvilket er udmærket, usikkerheden taget i betragtning.

I udtrykket for tryktabet findes der et relativt stort konstant led. Dette hidrører fra det tryk, der skal overvindes før kontraventilerne åbner for cirkulationen. Det betyder, at solfangeren skal op på en vis overtemperatur i forhold til tanken, før anlægget starter (ca. 2°C).

Var der ingen modstand i ventilerne, ville flowet være større, hvorved solfangereffektiviteten ville forøges. Til gengæld ville temperaturforskellen langs kappen blive lavere, med ringere lagdeling til følge. Det er derfor ikke givet, at dækningsgraden vil øges ved et større flow.

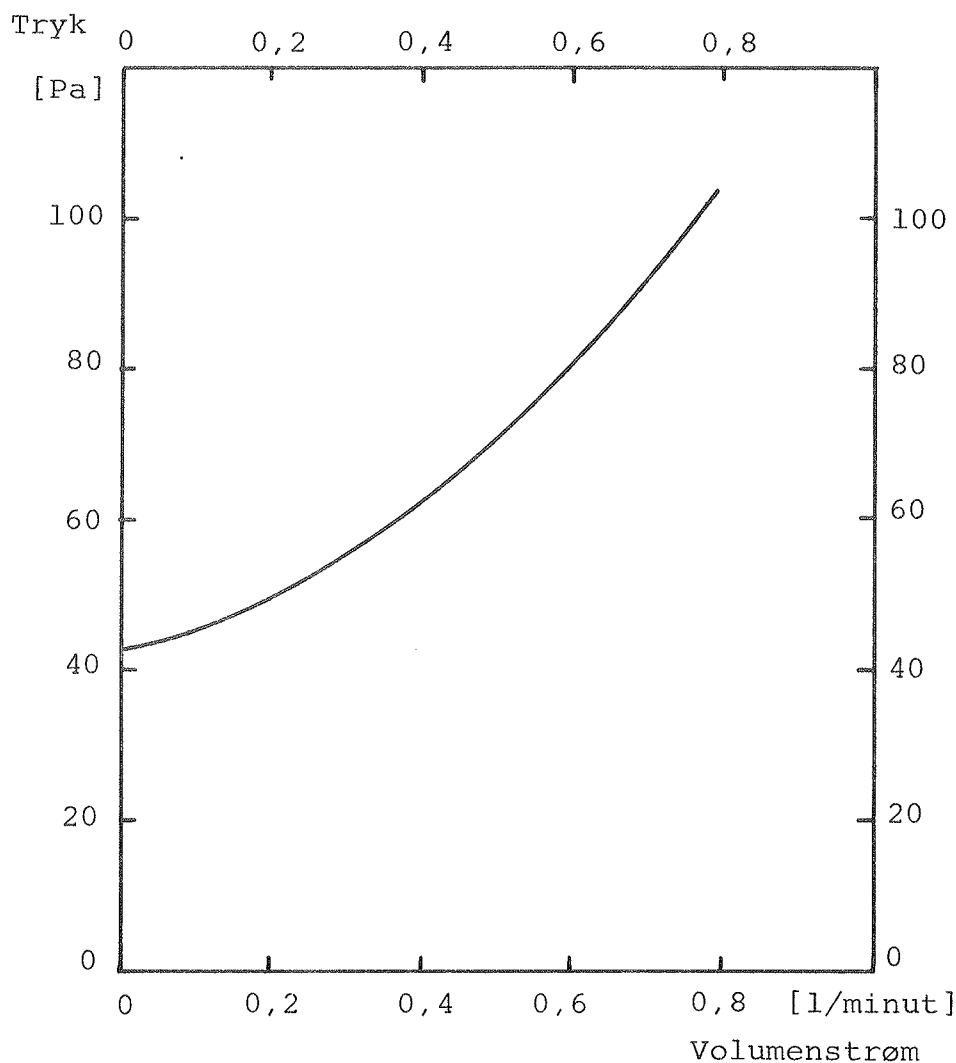


Fig. 4.2.4 Trykfald i solfangerkredsen som funktion af flowet. (Ved stationært flow er tryk-
tab = drivtryk).

På fig. 4.2.4 ses sammenhængen mellem flow og tryktab for solfangerkredsen. Det ses, at cirkulationen først starter ved et tryk på ca. 43 Pa svarende til 4,3 mm vandsøjle. Til gengæld stiger tryktabet ikke særlig meget ved stigende flow indenfor det aktuelle driftsområde.

4.2.4 Lagerets varmetab

Varmetabet er bestemt ved, i perioder uden tapning, at måle tankens temperatur i 5 lag om aftenen samt næste morgen.

Når varmekapaciteten for tanken er kendt, kan varmetabskoefficienten K_S udregnes efter formlen:

$$K_S = - \frac{C}{\tau_S} \ln \left(\frac{\bar{T}_{\text{slut}} - \bar{T}_O}{\bar{T}_{\text{start}} - \bar{T}_O} \right)$$

hvor: C = varmekapaciteten [kJ/°C]
 τ_s = måleperioden [s]
 $\bar{T}_{\text{slut}}$ = tankens middeltemperatur
ved periodens slutning [°C]
 $\bar{T}_{\text{start}}$ = tankens middeltemperatur
ved periodens start [°C]
 $\bar{T}_O$ = Omgivelsernes middeltem-
peratur i perioden [°C]

Varmetabskoefficienten er fundet til ca. 1,5 W/°C ved en tanktemperatur på ca. 55°C. Det svarer til, at tanken var isoleret med en ideel mineraluldsisolering uden kuldebroer på ca. 7 centimeters tykkelse. Der er dog tale om en stor spredning på de foretagne målinger, hvilket må skyldes forskelle i vindhastighed, himmelstrålingstemperatur og tanktemperatur.

I dagtimerne bliver varmetabet for uniten lavere end ved en separat solfanger/lager konstellation. Det skyldes, at solfangerens placering på den ene tankhalvdel vil bevirke, at tanken mærker en højere omgivelsestemperatur på denne side. Er temperaturen tilstrækkelig høj, bliver der ligefrem tale om en nettovarmestrøm til tanken igennem isoleringen.

4.2.5 Ydelse under realistisk drift

Anlæggets ydelse er bestemt ved at tappe ca. 45 liter varmt vand 3 gange dagligt i en sommerperiode. Der tappes klokken 7, 12 og 16 gennem en termostatisk blandeventil, som holder temperaturen på afgangssiden på 45°C, ved at blande op med koldt vand om nødvendigt. Er temperaturen i tankens top under 45°C, tappes der direkte ved den pågældende temperatur.

Den tappede energimængde er bestemt ved hjælp af to temperaturfølere og en flowmåler.

Samtidig er solindfaldet på en lodret sydvendt flade bestemt for samme periode, som det fremgår af tabel 4.2.1. Solindfaldet er fundet ved at gange solintensiteten med arealet af absorbereren, som er 3,2 m².

Anlæggets systemeffektivitet beregnes herudfra, idet den defineres som forholdet mellem den tappede energimængde og solindstrålingen på en sydvendt, lodret flade med absorberens areal. Således findes for den betragtede periode i juni:

$$\eta_{\text{sys}} = 68,3/161,4 = \underline{0,42}$$

Dato juni d.	Solindfald [kWh]	Tappet energi [kWh]	Lagertemperatur top [°C]
6	0,9	5,1	48,1
7	7,6	6,2	33,3
8	12,5	5,8	36,8
9	8,5	3,7	41,3
10	8,9	3,7	39,1
11	10,8	3,7	39,8
12	12,5	4,0	47,1
13	5,3	3,9	39,3
14	7,2	1,4	-
15	12,0	1,4	48,0
16	14,7	4,4	53,3
17	11,1	4,3	52,2
18	10,9	4,4	49,0
19	10,1	4,2	48,1
20	13,3	4,2	54,4
21	8,6	4,2	49,2
22	6,6	4,0	42,9
	161,4	68,3	

Tabel 4.2.1 Måledata for bestemmelse af systemeffektivitet.

Dette er et udmærket resultat, især da der er tale om et forsøgsanlæg.

Der er imidlertid målt i en for kort periode til, at der kan siges noget sikkert om effektiviteten på årsbasis. Den vil dog

være lavere end de 0,42 p.g.a. et lavere strålingsniveau og en mindre omgivelsestemperatur på årsbasis.

Desuden er tanktemperaturen ret lav i den målte periode, hvilket øger effektiviteten.

4.3 Vurdering af anlæggets årsydelse

Den målte systemeffektivitet er fuldt på højde med, hvad der er fundet for de bedste traditionelle anlæg.

Imidlertid er det årlige solindfald på en lodret, sydvendt flade kun ca. 75% af indstrålingen på en tilsvarende flade med 45° hældning.

Derfor kan der forventes en noget lavere ydelse end for et traditionelt anlæg af samme størrelse med optimal solfangerorientering.

Eftersom en del af solfangeren er øst- og vestorienteret, udnyttes morgen- og aftensol imidlertid bedre end for en plan, sydvendt solfanger, hvilket også fremgår af den gode effektivitet.

Det er vanskeligt, uden en detaljeret beregningsmodel, at bedømme betydningen af den specielle solfangerudformning for ydelsen.

Den årlige ydelse vurderes at ligge noget over 75% af ydelsen for det optimalt orienterede anlæg, hvilket vil sige en nettoydelse på omtrent 300 kWh/m² år. For hele anlægget bliver nettoydelserne altså ca. 1000 kWh/år svarende til en dækningsgrad på 65%.

4.4 Økonomisk vurdering

På grundlag af de anvendte materialer til den afprøvede unit, er i tabel 4.4.1 opstillet en prislister, idet der er benyttet halvfabrikatpriser fra ref. [4]. Idet installationen skønnes til 3500 kr., og der er 22% moms, antages den samlede pris at kunne udtrykkes: $\text{Pris} = (\text{materialepris} \cdot 3 + 3500) \cdot 1,22$.

Faktoren 3 udtrykker arbejdsomkostninger og fortjeneste og er baseret på prisoplysninger fra en række danske solfangerfabrikanter. [4].

Prisliste, materialer u. moms (halvfabrikata).		
Kappebeholder*	200 liter	630 kr.
Absorber	3,2 m ²	480 -
Dæklag	4,5 m ²	690 -
Alu-plade	5,0 m ²	350 -
Rør + fittings*		400 -
Mineraluld	~ 1 m ³	180 -
Trækonstruktion**		330 -
Diverse		500 -
Materialer, ialt		3560 kr.
Pris for installeret unit incl. moms:		
(3560 • 3 + 3500) • 1,22 =		<u>17.300 kr.</u>
* På basis af priser på plader og rør.		
**Detailpris - 30%.		

Tabel 4.4.1 Pris for den afprøvede solvarmeunit.

Prisen for uniten på 17.300 kr. incl. installation og moms er altså baseret på erfaringen fra almindelige solfangere ved produktion i små styktal.

De i afsnit 4.3 anførte årlige ydelser, er behæftet med stor usikkerhed. På grundlag af disse ydelser og prisen for anlægget vurderes det, at rentabiliteten for uniten er lidt bedre end rentabiliteten for almindelige solvarmeanlæg. En nøjagtig vurdering af unitens rentabilitet forudsætter en model, som

simulerer unitens drift med rimelig nøjagtighed. Indenfor dette forundersøgelsesprojekt har det ikke været muligt at udvikle en sådan matematisk model.

4.5 Forbedringsforslag for anlægget

Det afprøvede anlæg er en prototype og er derfor ikke optimalt, hvad angår materialevalg og opbygning.

Fig. 4.5.1 viser en skitse af et mere produktionsvenligt anlæg. Uniten tænkes opbygget af to standardabsorbere, som monteres på tanken. Rørføringen kan evt. være af fleksible plastslanger, så bøjninger m.m. kan undgås.

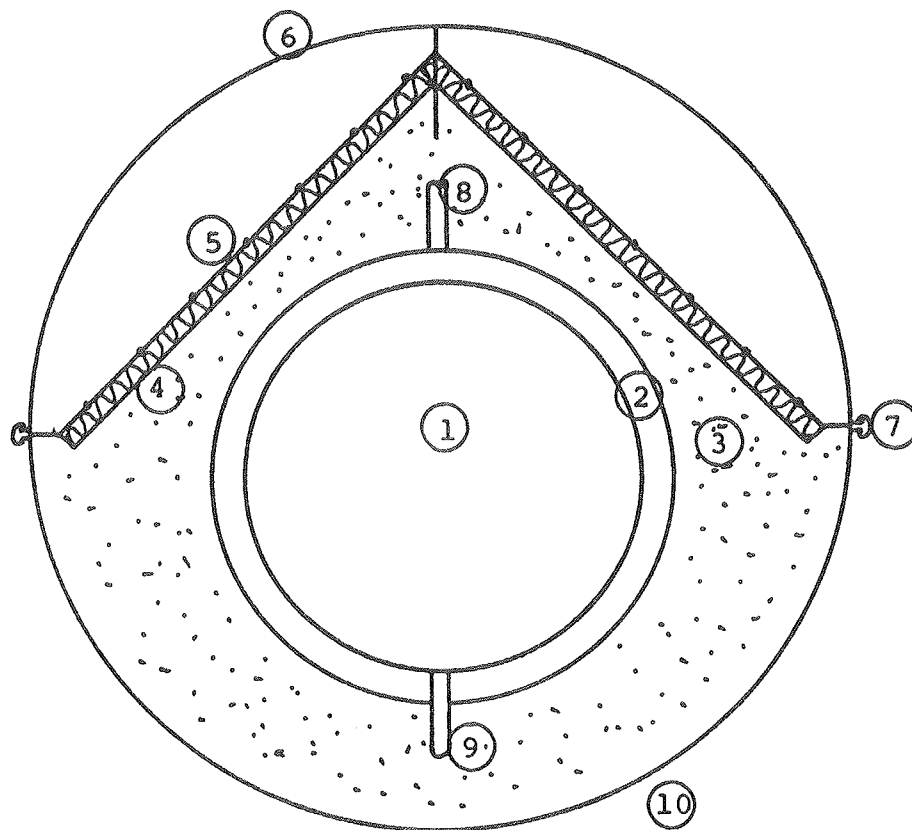
To tynde mineraluldsbatts limes fast til absorberne, hvorefter bagsidebeklædningen monteres.

Herefter opskummes hulrummet med et isoleringsmateriale, f.eks. PUR-skum, der herved virker som bæreelement for tanken.

Uniten monteres med ca. 60° hældning fra vandret for at forbedre ydelsen i forhold til den lodrette version.

Eventuelt kan kappebeholderen erstattes af en simpel beholder, hvis brugsvandet kan opvarmes direkte i absorberne. Herved spares solfangerkredsens sikkerhedsudstyr.

Denne løsning er dog kun egnet til sommerbrug eller ved eksport til sydligere himmelstrøg.



- 1 brugsvandstank
- 2 kappe med solf. væske
- 3 opskummet PUR isolering e.l.
- 4 mineraluldsplade limet til absorber
- 5 to færdigsamlede solfangere m. kontraventil
- 6 dæklag af acryl eller polycarbonat
- 7 klemliste for fastgørelse af dæklag
- 8 indløb til kappe fra solfangermanifold
- 9 udtag af varmt brugsvand
- 10 bagplade, f.eks. tynd aluminium.

Fig. 4.5.1 Forslag til forbedret udgave af unit'en.

5. Integreret solfanger/lager unit

En meget enkel og dermed billig unit med integreret solfanger og lager er behandlet med henblik på at vurdere dens egnethed under danske klimaforhold.

5.1 Opbygning

Den simple integrerede solfanger/lager unit, som skematisk er vist på figur 5.1, er undersøgt teoretisk med hensyn til ydelse, pris og rentabilitet.

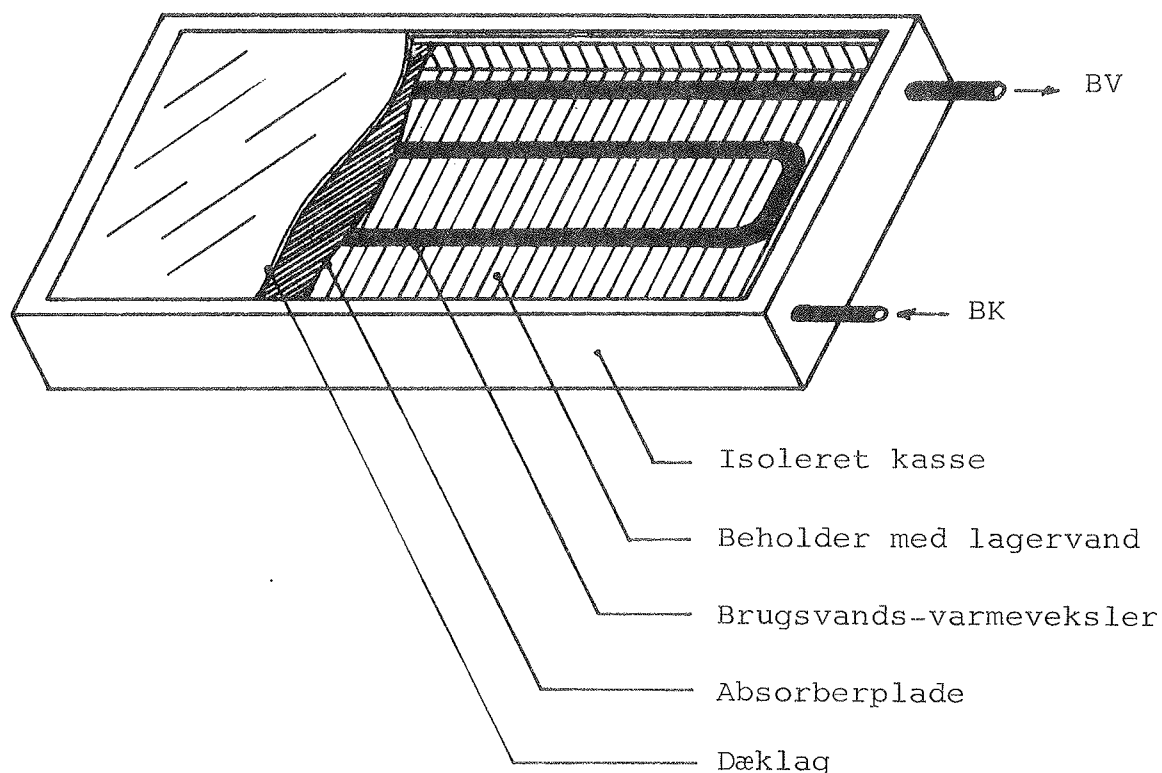


Fig. 5.1.1 Skematisk skitse af integreret solfanger/lager unit.

Anlægget består af en kasseformet absorber/lagertank, hvori der er placeret en varmevekslerspiral e.l. for overføring af varmen fra lageret til brugsvandet. Kassen er isoleret overalt, undtagen på oversiden hvor dæklaget er anbragt.

5.2 Simulering af driften

En simpel matematisk model, som simulerer driften af den integrerede solfanger/lager unit, er udviklet. For hver halve time i Referenceåret beregnes temperaturen både i lagervandet og i brugsvandet i varmeveksleren. I øvrigt regnes der ikke med temperaturlagdeling i uniten. Varmetabet gennem unitens bund og sider bestemmes ved hjælp af isoleringsmaterialets tykkelse og varmeledningsevne. Der tages således ikke hensyn til eventuelle kuldebroer i konstruktionen. Varmefrigivelsen fra oversiden til luften som følge af vindpåvirkningen forudsættes at være $10 \text{ W/m}^2\text{°C}$, dæklagets emissionskoefficient forudsættes at være 0,88, og himmelstrålingstemperaturen forudsættes at være lig med udelufttemperaturen. Vandvolumenet, som tappes under én tapning, er maksimalt lig med vandvolumenet i varmevekslerspiralen.

Data for solfanger/lager uniten og energisystemet, som benyttes som referenceanlæg i de følgende beregninger, fremgår af tabel 5.2.1. Der er ved valget af referenceanlægget taget udgangspunkt i erfaringerne fra almindelige solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning, samtidig med at der er skelet til konstruktionen af de udenlandske markedsførte integrerede anlægstyper. Uniten isoleres med 10 cm mineraluld, lidt mere end for almindelige solfangere. Det skyldes, at unitens varmetab ellers vil blive stort på grund af den udendørs placering. Volumen af brugsvandet i uniten sættes til 50 l, således at brugsvandsvolumenet ikke tømmes fuldstændigt ved en enkelt tapning. Således kan varmen overføres i tidsrummet mellem tapningerne, hvorved varmeoverføringsevnen fra lagervandet til brugsvandet bliver mindre kritisk, end hvis uniten var udformet som en ren gennemstrømningsvarmeveksler.

Betydningen af variationer af unitens udformning er undersøgt ved beregninger. Referenceanlægget, hvis data er givet i tabel 5.2.1, er valgt i disse beregninger. Hver enkelt parameters indflydelse på anlæggets årlige ydelse undersøges således, at beregninger udføres for forskellige størrelser af denne enkelte parameter. I øvrigt benyttes alle referenceanlæggets parametre, således at kun én parameter varieres

Solfanger/lager unit

Form:	kasseformet, 400 x 100 x 5 cm ³
Transparent areal:	4 m ²
Dæklagskonstruktion:	2 lag glas, hver med transmissionskoefficienten: 0,88
Absorber:	selektiv, absorptionskoefficient: 0,95 emissionskoefficient: 0,10
Vandlagervolumen, excl. brugsvand:	150 l
Volumen af brugsvand:	50 l
Varmeoverføringsevne fra lagervand til brugsvand:	100 + ΔT W/°C
ΔT : temperaturdifferencen mellem lagervand og brugsvand	
Isoleringsmateriale:	mineraluld med varmeledningsevnen: 0,045 W/m°C
Isoleringstykkelse:	10 cm
Omgivelsestemperatur:	Udelufttemperatur
Orientering:	Sydvendt
Hældning:	45°

Varmtvandsforbrug

Koldtvandstemperatur:	10 °C
Varmtvandstemperatur:	45 °C
Volumen:	150 l/dag

Forbrugsmønster:

Tappetidspunkt	Varmtvandsforbrug
kl. 7	45 l
kl. 12	15 l
kl. 18	45 l
kl. 20	45 l

Oliefyrsunit

Tomgangstab:	350 W
Fyringsnyttevirkning:	0,85

Beregningsmodel

Simple matematisk model, som ikke tager temperaturlagdeling i beregning.

Tabel 5.2.1 Data for referenceanlæg.

ad gangen. Resultaterne af ydelseberegningerne er givet i afsnit 5.4, mens de økonomiske forhold for referenceanlægget er vurderet i afsnit 5.5.

Ved nettoudbyttet forstås i det følgende den energimængde, der tappes fra solvarmeanlæggets tank i form af varmt vand. Energibesparelsen angiver den fortrængte energimængde i form af olie, altså den energi der skulle indfyres i et oliefyr for at erstatte solvarmeanlæggets produktion. Der er regnet med et moderne oliefyr med en fyringsnyttevirkning på 0,85 og et tomgangstab på 350 W.

5.3 Beregning af månedlige ydelser

Fig. 5.3.1 viser anlæggets nettoudbytte og energibesparelse fordelt på årets måneder. Der kan konstateres en stærkere koncentration af produktionen på sommermånederne, end det kendes fra traditionelle anlæg. Det skyldes primært, at den udendørs lagerplacering giver store tab i forhold til solindfaldet i de koldeste måneder.

Den store besparelse i maj, juni, juli og august hidrører fra det sparede tomgangstab, idet oliefyret kan slukkes en stor del af tiden.

Tabel 5.3.1 angiver solindfald, andel absorberet solindfald, dækningsgrad, lagertab samt maksimal og minimal temperatur i lageret for hver måned samt for hele året.

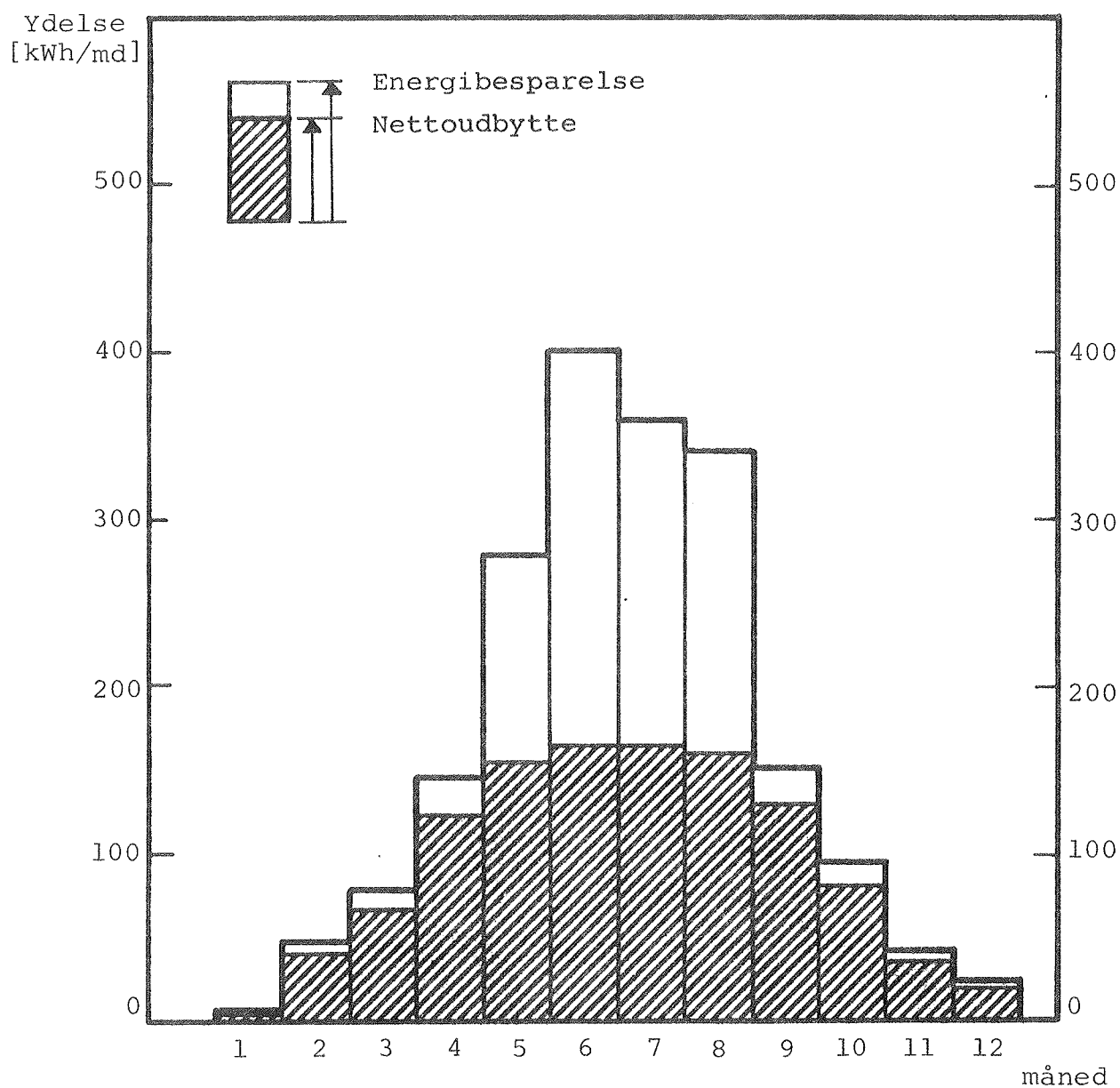


Fig. 5.3.1 Nettoudbytte og energibesparelse for referenceanlægget fordelt på måneder.

MÅNED NR.	SOLINDFALD kWh	ABSORBERET ANDEL SOL	NETTO- YDELSE kWh	DÆKNINGS- GRAD	LAGER- TAB kWh	MAX. LAGERTEMP. °C	MIN. LAGERTEMP. °C
1	109	0.70	4	0.02	76	45	1
2	234	0.73	40	0.24	130	69	5
3	309	0.69	65	0.35	146	74	7
4	546	0.69	123	0.68	246	100	13
5	642	0.67	153	0.82	281	99	17
6	724	0.67	163	0.90	320	108	19
7	644	0.67	163	0.87	274	102	23
8	606	0.69	160	0.86	258	97	20
9	435	0.70	129	0.71	174	77	17
10	277	0.70	79	0.43	119	67	10
11	156	0.71	34	0.19	78	50	8
12	137	0.72	19	0.10	80	36	4
ÅRET	4820	0.69	1132	0.52	2180	108	1

Tabel 5.3.1 Resultater fra beregningen af referenceanlæggets ydelse.

Det fremgår, at lagerets varmetab er næsten dobbelt så stort som nettoydelsen. Derfor er ydelsen pr. m² kun ca. 280 kWh/år, hvor nyere, traditionelle anlæg ofte yder over 400 kWh/m² pr. år.

Det ses, at minimumstemperaturen er over frysepunktet hele tiden. Det skyldes, at det kolde vand faktisk varmer solfangeren op på særligt kolde dage (negativ ydelse). Dette vil ikke ske, hvis der intet forbrug er, hvorfor der er risiko for frostsprængning.

Frostsprængning kan enklest forhindres ved at tømme anlægget om vinteren. Fig. 5.3.2 viser den reducerede anlægsydelse som funktion af den tid, anlægget er ude af funktion. Tiden er regnet symmetrisk omkring den 1. februar, hvor der statistisk set er koldest.

Det fremgår, at en 4 måneders lukning kun vil reducere energibesparelsen med ca. 8%. Det kan derfor anbefales at benytte tømning som frostsikringsmetode.

Korte frostperioder vil dog ikke beskadige systemet, idet den store varmekapacitet forsinker isdannelsen. Desuden vil en påbegyndt isdannelse virke isolerende, så processen bremses yderligere.

Ydelse ved vinterlukning
Ydelse ved helårsdrift

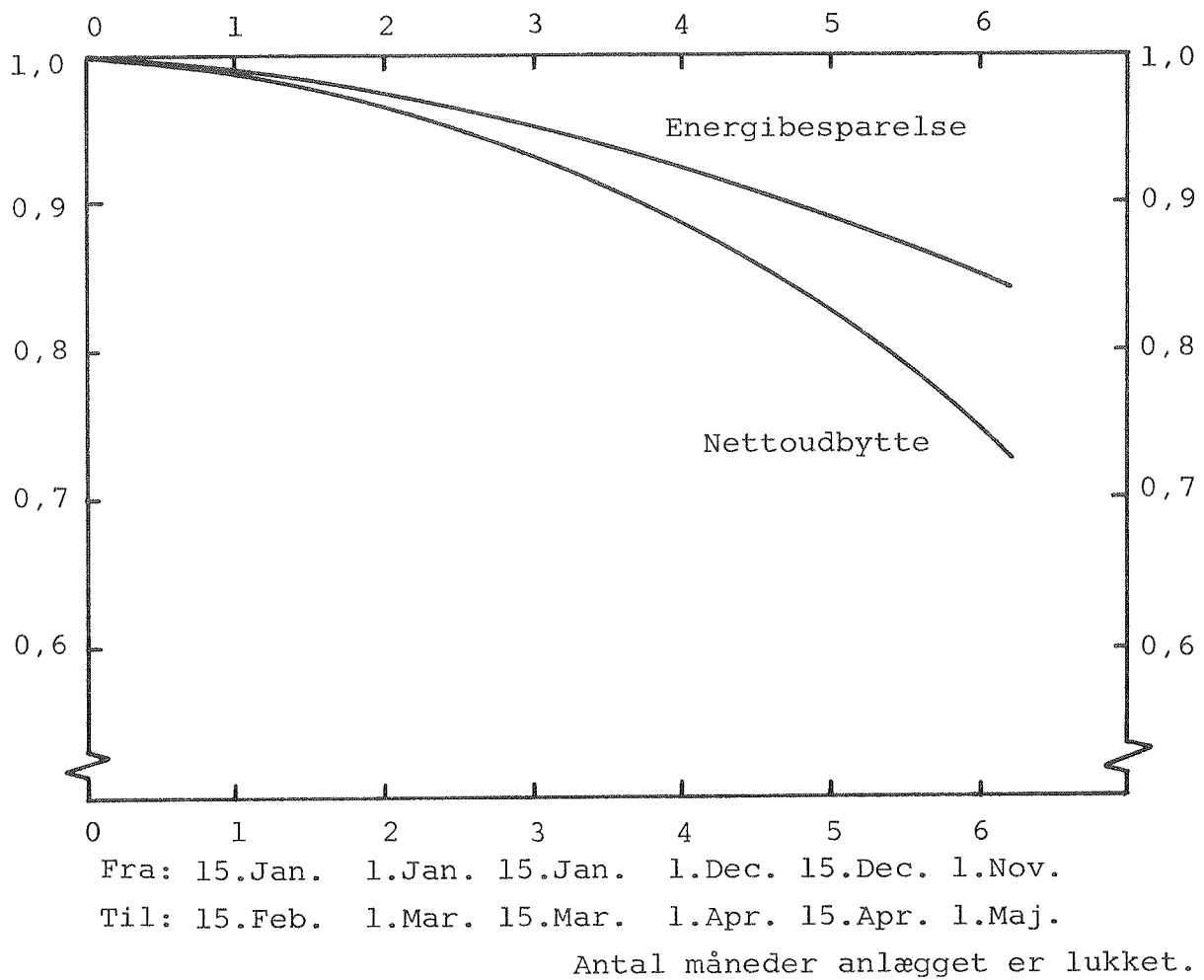


Fig. 5.3.2 Den reducerede anlægsydelse som funktion af den tid, anlægget er lukket.

5.4 Parametervariationer

Med henblik på dimensioneringen af det optimale anlæg, er referenceanlægget gennemregnet med en række varierende parametre. Disse er:

- Transparent areal
- Lagervolumen
- Varmevekslerstørrelse
- Isoleringstykkelse
- Solfangerhældning
- Absorberbelægning
- Forskellige dæklag
- Mobil isolering.

Resultaterne er dels givet i form af anlæggets nettoudbytte (den tappede energimængde), dels som energibesparelsen, som opnås ved hjælp af anlægget. Energibesparelsen er beregnet som beskrevet i [5].

På kurverne er referenceanlægget markeret med "0".

5.4.1 Anlægsstørrelse

Figur 5.4.1 viser arealets indflydelse på anlæggets ydelse. Nettoudbyttet viser en svag stigning med stigende areal, 13% ved en fordobling fra 4 til 8 m² ved et lagervolumen på 50 liter/m². Derimod sker der en voldsom forøgelse af besparelsen, nemlig næsten 40%. Dette kan forklares ved, at den periode fyret kan slukkes i ved det store areal, er meget længere end ved det lille, hvorfor det sparede tomgangstab forøges tilsvarende.

Om et større areal er fordelagtigt, afhænger naturligvis af merprisen for dette.

5.4.2 Lagerstørrelse

Figur 5.4.2 viser lagervolumenets indflydelse på anlæggets ydelse. En forøgelse af vandindholdet fra 200 til 300 l har næsten ingen betydning for nettoydelsen, men bevirker en 10% større energibesparelse. En halvering af lagerstørrelsen

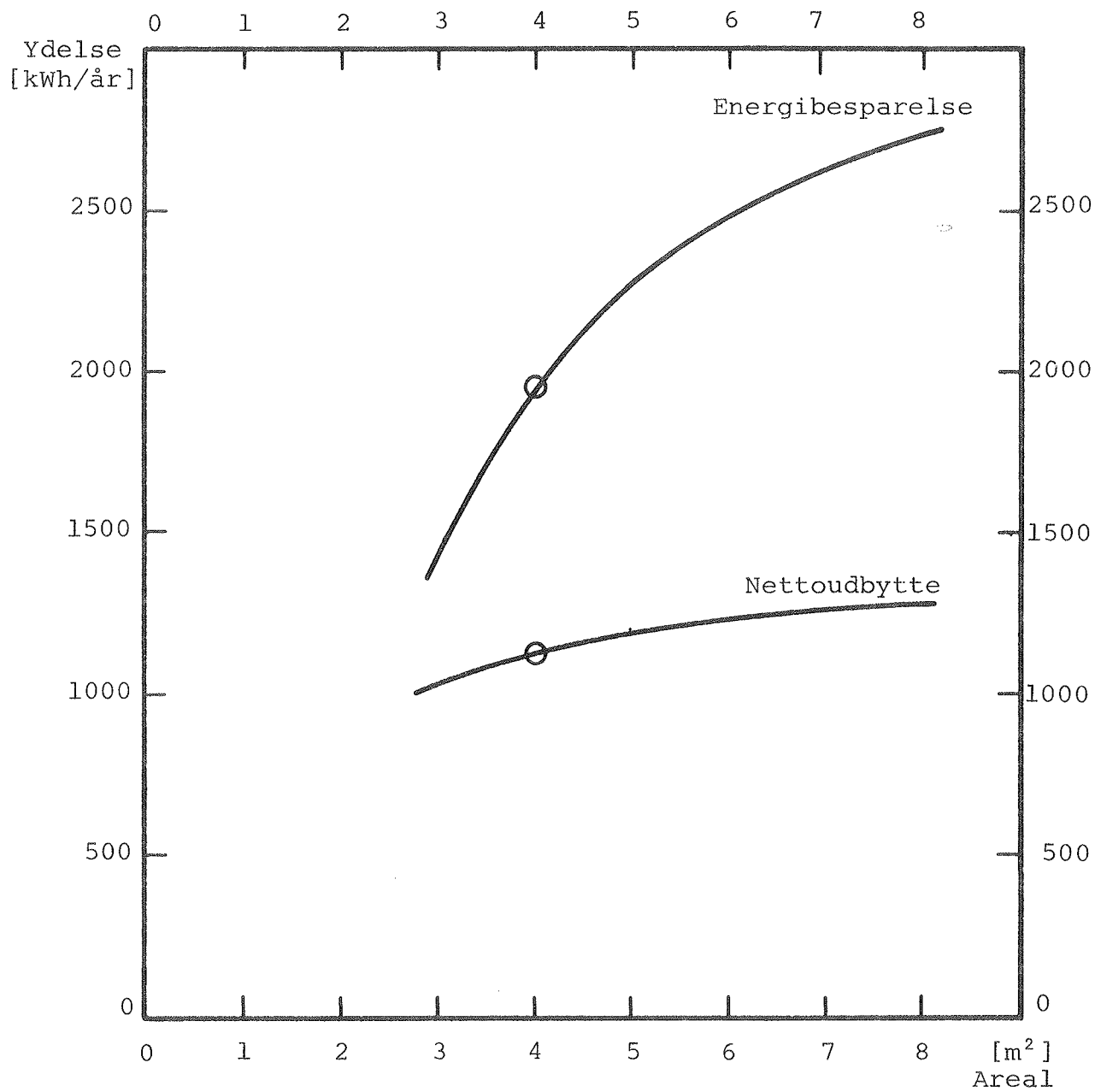


Fig. 5.4.1 Nettoudbytte og energibesparelse som funktion af det transparente areal. Lagervolumenet er fastholdt på 50 liter/ m^2 .

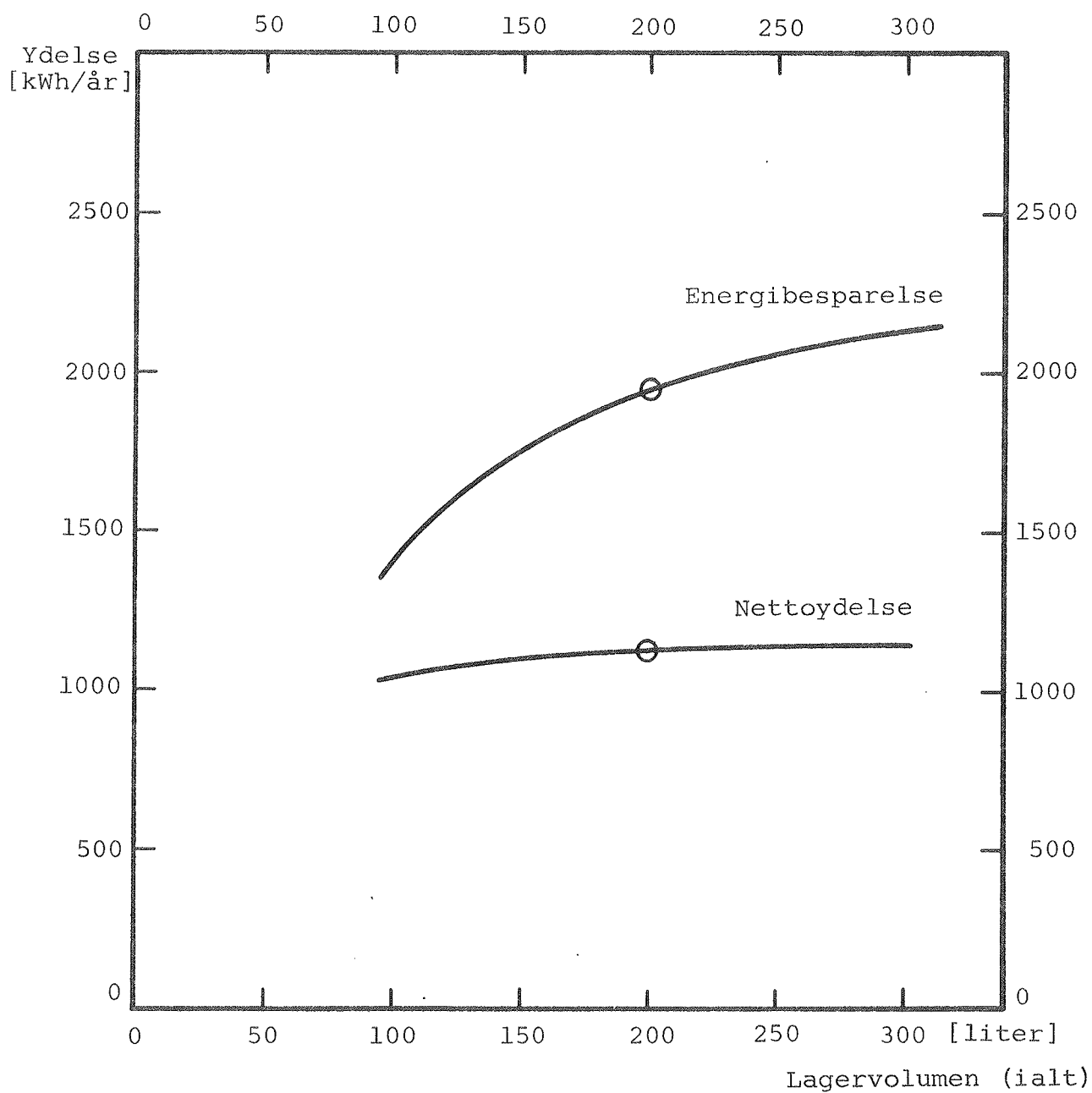


Fig. 5.4.2 Nettoydelse og energibesparelse som funktion af lagerstørrelse incl. brugsvandsbeholder på 50 liter.

til 100 l reducerer energibesparelsen med 28% i forhold til referenceanlægget.

5.4.3 Varmeveksler

Figur 5.4.3 viser varmeoverføringsevnen indflydelse på anlæggets ydelse. En forøgelse af varmeoverføringsevnen udover de anvendte $(100 + 1,0 \cdot \Delta T)$ W/°C ses at have ringe indflydelse på ydelsen. Først ved en reduktion til 25% falder besparelsen mærkbart, nemlig med 21%. Det skal bemærkes, at der aldrig tappes mere end varmevekslerens vandindhold ad gangen. Ved en varmeveksler med lille væskeindhold (gennemstrømningstype), ville en bedre varmeoverføringsevne formentlig være påkrævet.

5.4.4 Isoleringstykkelse

Figur 5.4.4 viser isoleringstykkelsens indflydelse på anlæggets ydelse. Nettoudbyttet er svagt afhængigt af isoleringstykkelsen, mens besparelsen falder meget (26%) ved en halvering til 5 cm. En forøgelse af isoleringstykkelsen giver ikke det store merudbytte, fordi tabet gennem dæklaget bliver dominerende.

5.4.5 Solfangerhældning

Figur 5.4.5 viser solfangerhældningens indflydelse på anlæggets ydelse. Hældningen har stor betydning for ydelsen, idet energibesparelsen har et tydeligt optimum ved en hældning på 30-40° fra vandret, som giver optimal indstråling i sommerperioden og hermed mulighed for at slukke fyret. Kurverne falder særdeles kraftigt, når hældningen nærmer sig vandret. Dette skyldes dels, at den konvektive varmeoverføring fra absorberen bliver større ved små hældninger, dels at solindstrålingen på en vandret flade er ca. 15% lavere end solindstrålingen på en flade med 45° hældning.

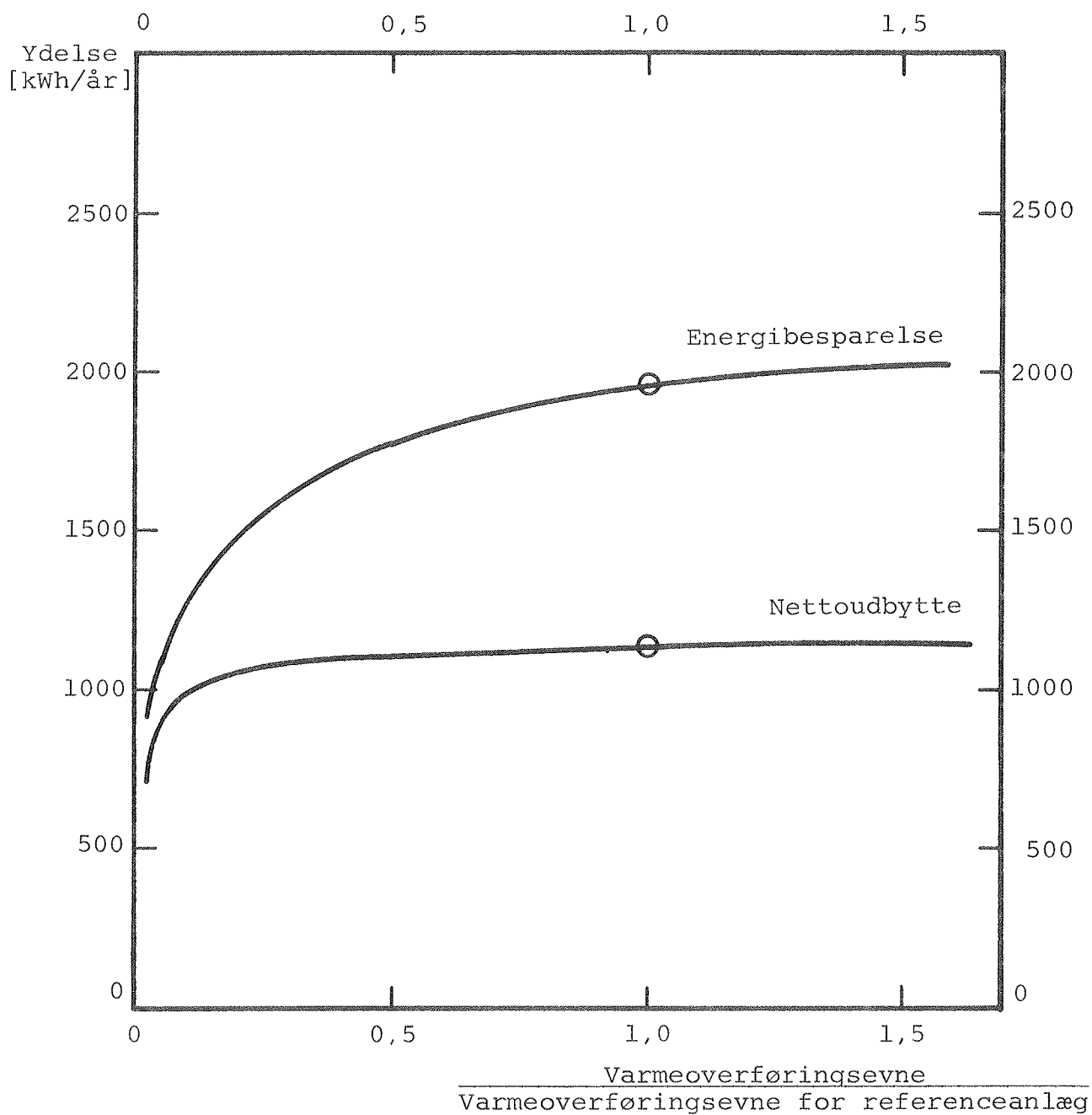


Fig. 5.4.3 Nettoudbytte og energibesparelse som funktion af varmevekslerens varmeoverføringsevne. Vandindhold 50 liter i veksler.

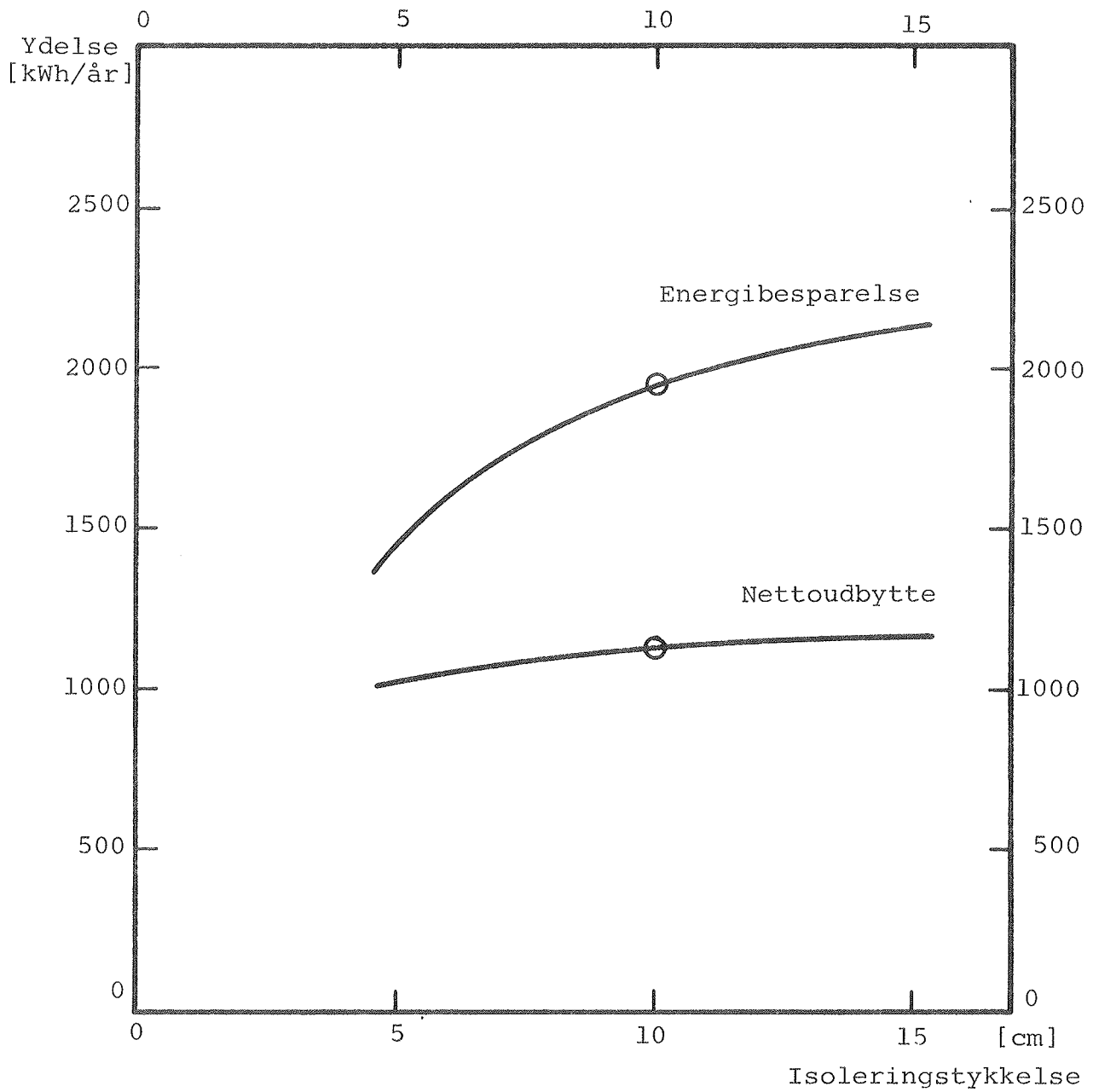


Fig. 5.4.4 Nettoudbytte og energibesparelse som funktion af isoleringstykkelse i anlæggets bund og sider. Varmeledningsevnen er sat til $0,045 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, svarende til mineraluld.

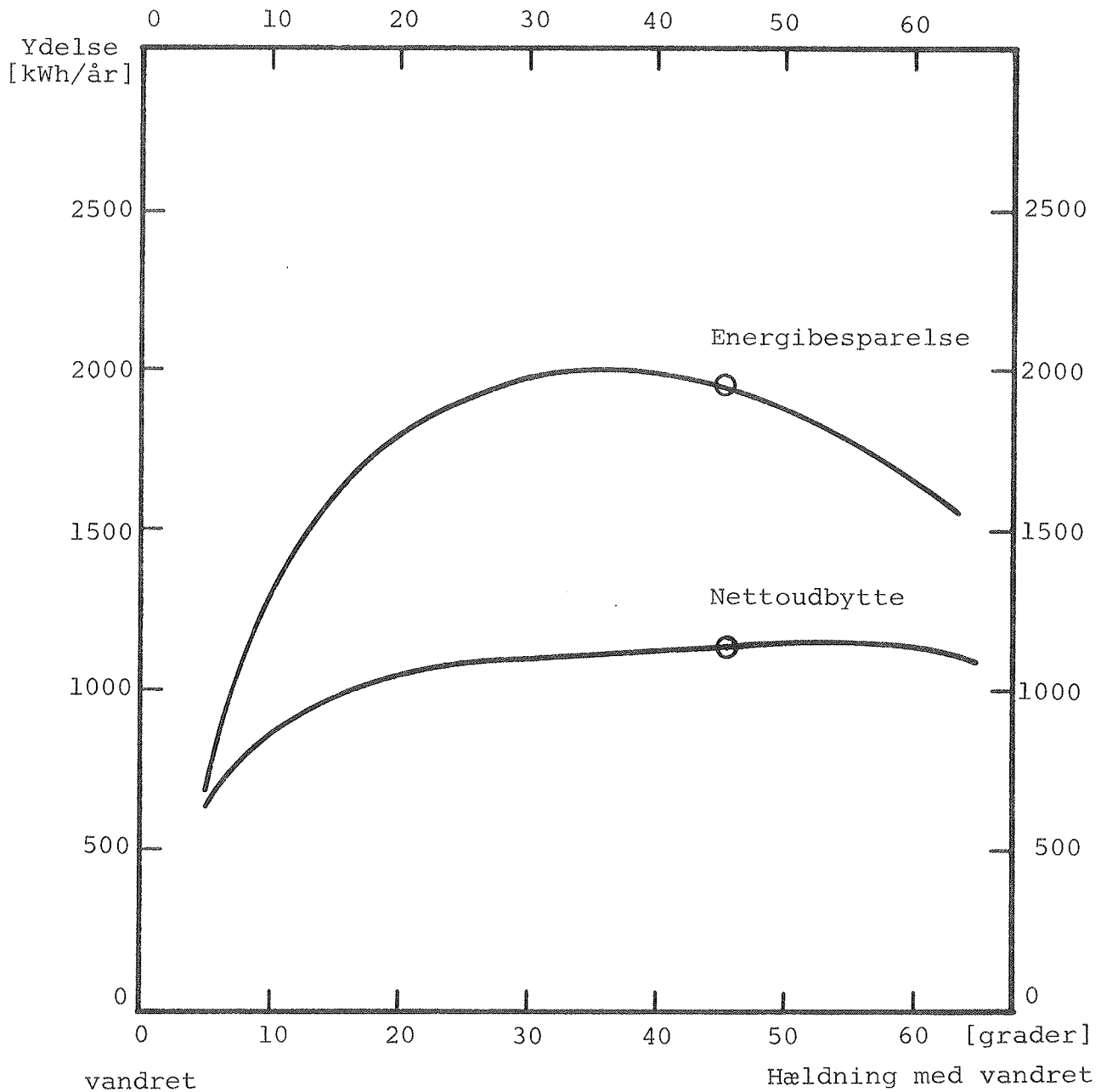


Fig. 5.4.5 Nettoudbytte og energibesparelse som funktion af hældningen fra vandret for en sydvendt solvarme-unit.

5.4.6 Absorberbelægning

Figur 5.4.6 viser absorberbelægningens indflydelse på anlæggets ydelse. Ved anvendelse af en sort absorber i stedet for en selektiv, bortfalder det sparede tomgangstab helt, hvilket giver en reduktion i besparelsen på 43%. Det er altså helt afgørende, at absorberen er selektiv, da varmetabet gennem den uisolerede forside ellers er alt for stort.

5.4.7 Dæklagskonstruktion

Figur 5.4.7 viser hvorledes antallet af glaslag påvirker anlæggets ydelse. 1 lag glas reducerer den sparede energi med 16% og 3 lag øger den med 5,5%. Det er således næppe fordelagtigt med mere end 2 lag, da lystransmissionen forringes uforholdsmæssigt meget ved flere lag.

Figur 5.4.8 viser anlæggets ydelse for forskelligt dæklagskonstruktioner. 2 lag plast med høj transparens i stedet for standard glas er en tydelig fordel, idet besparelsen øges med 19%. 3 lag giver meget lidt ekstra, og ved 4 lag falder ydelsen ligefrem. Dette skyldes, at den reducerede soltransmission gennem dæklagskonstruktionen overstiger det reducerede varmetab fra uniten.

5.4.8 Mobil isolering

Figur 5.4.9 viser hvorledes en mobil isolering af dæklagskonstruktionen om natten påvirker anlæggets ydelse. Mobil isolering har en kraftigere effekt på ydelsen end antallet af dæklag, f.eks. giver 1 lag glas + mobil isolering 24% mere end referenceanlægget. Derimod er der ingen fordele ved flere dæklag, når der først er etableret mobil isolering.

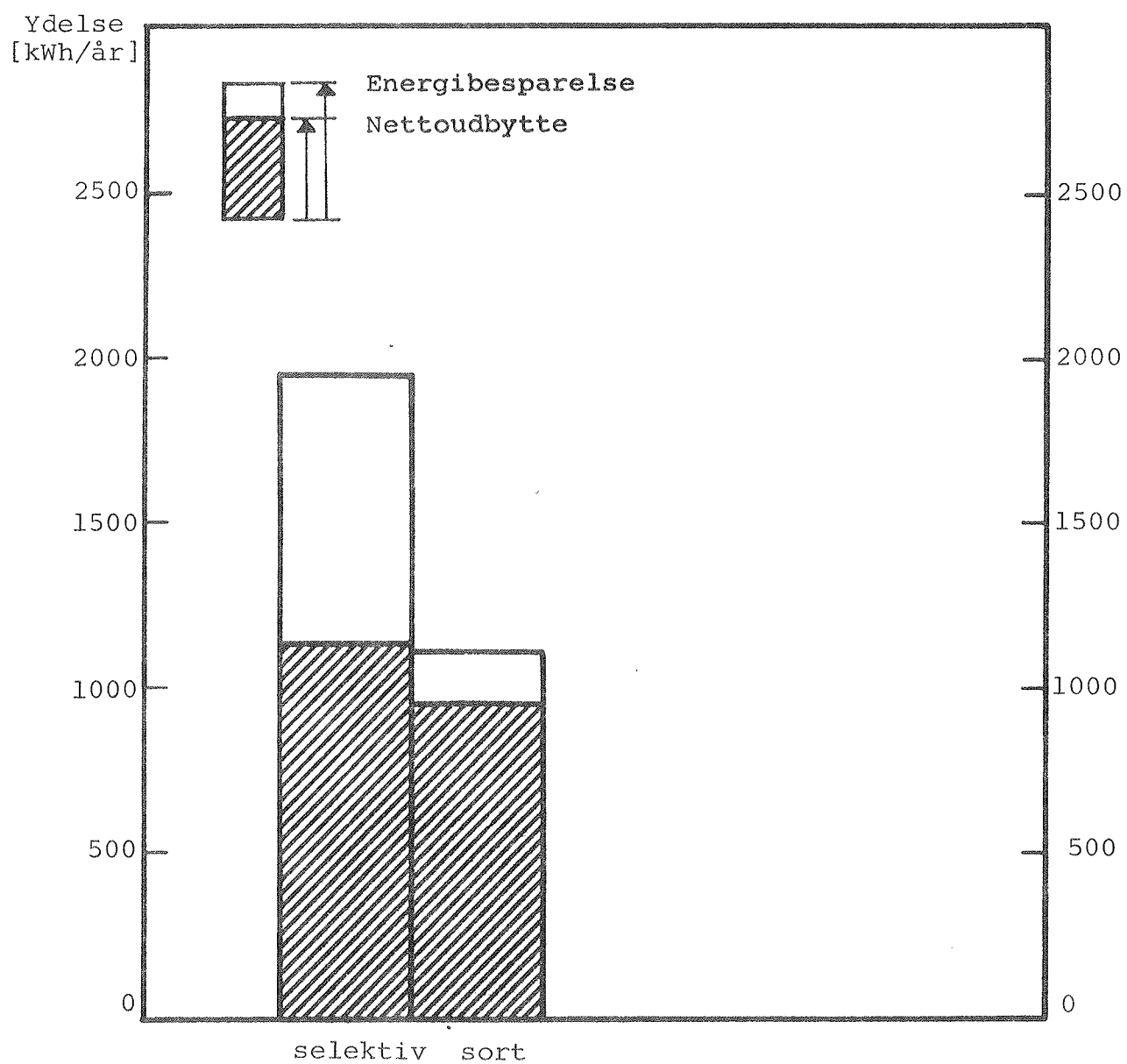


Fig. 5.4.6 Nettoydelse og energibesparelse for referenceanlægget med selektiv og sort absorber.

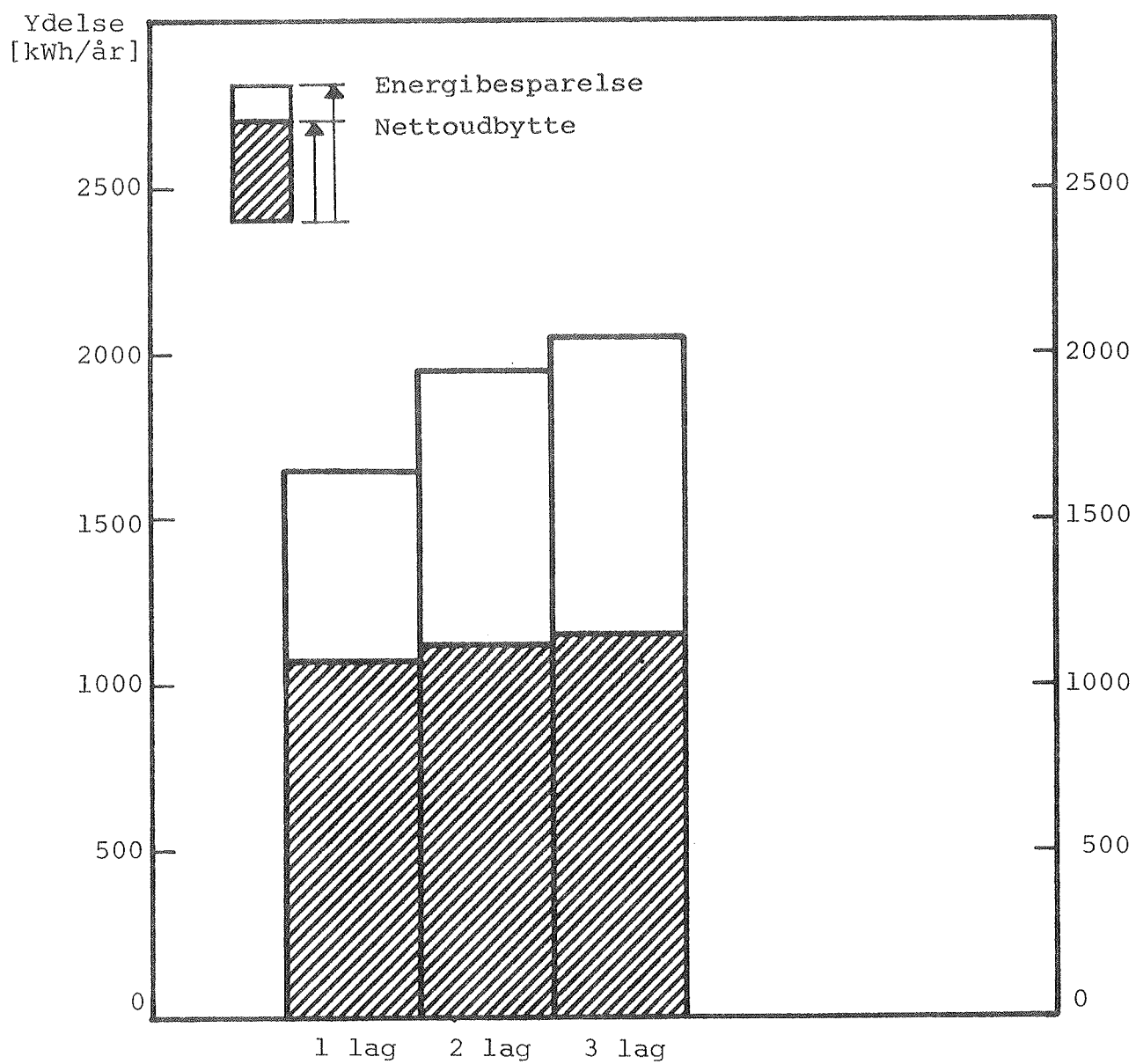


Fig. 5.4.7 Nettoudbytte og energibesparelse for referenceanlægget med h.h.v. 1,2 og 3 dæklag af alm. 4 mm glas.

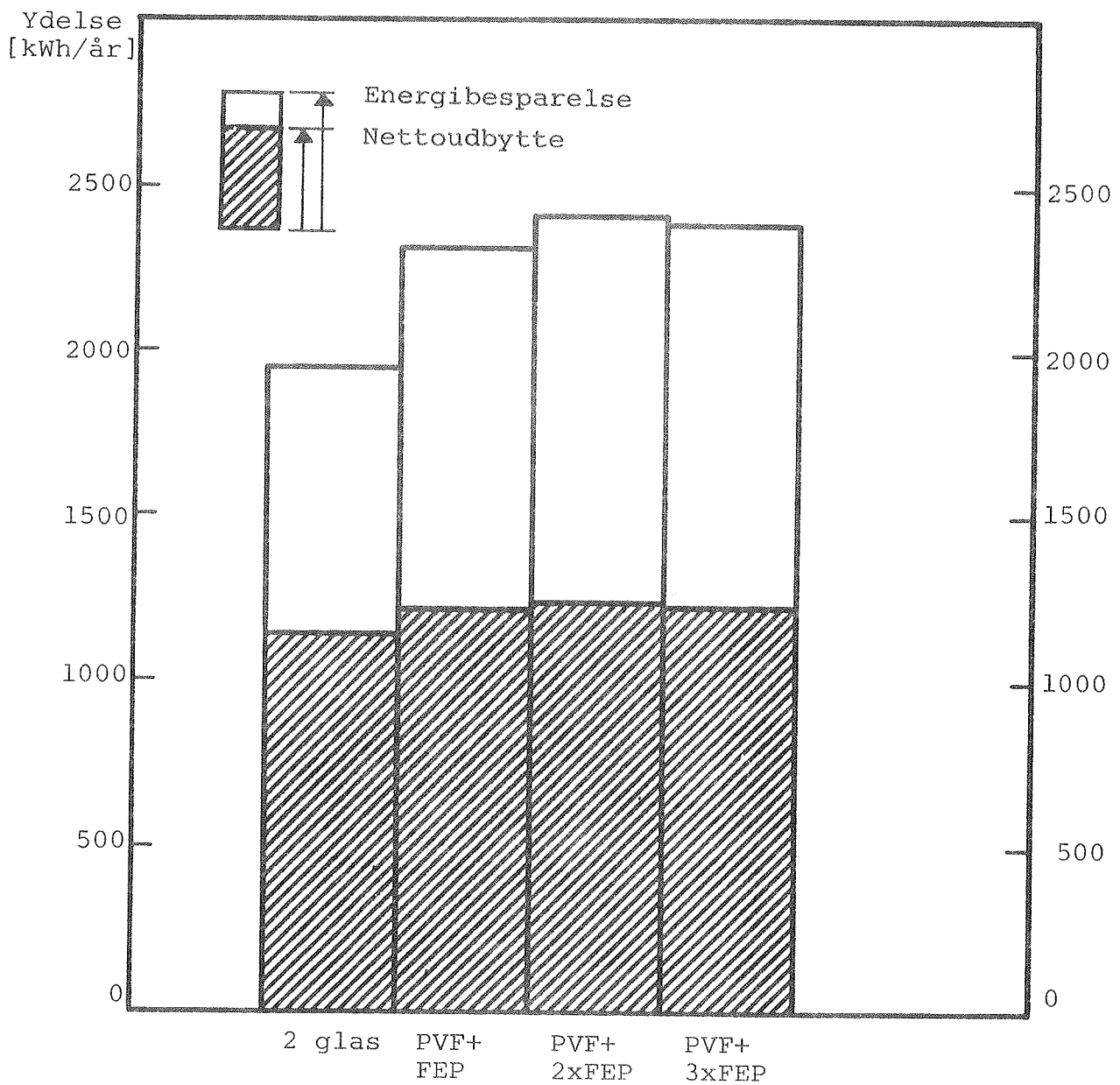


Fig. 5.4.8 Nettoydelse og energibesparelse for referenceanlægget med forskellige dæklagskonstruktioner. Først 2 lag glas, derefter 2,3 og 4 lag plastfolie. Yderste plastfolie : PVF folie ("TEDLAR"). Indre - " - : FEP folie ("TEFLON").

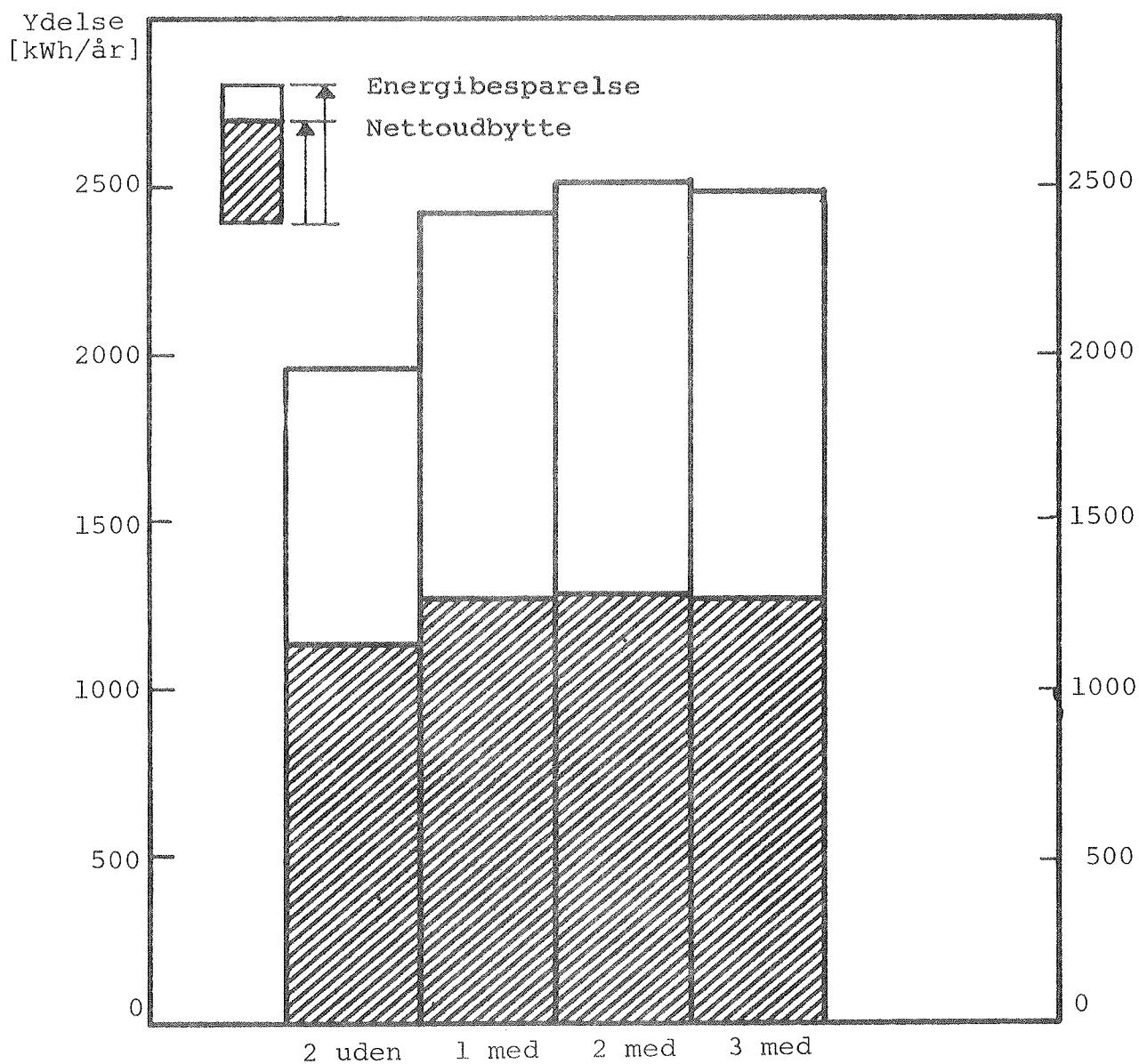


Fig. 5.4.9 Nettoydelse og energibesparelse for referenceanlægget, først med 2 lag glas, derefter med 1,2 og 3 lag glas med mobil isolering.

Isoleringen er, som ved sider og bund, 10 cm mineraluld.

Mobilisoleringen er forudsat lukket, når solen er under horisonten.

5.5 Økonomisk vurdering

Prisen for den unit, som er taget i beregning i de foregående afsnit afhænger af materialeprisen, arbejdslønnen i forbindelse med fremstillingen af uniten, installationsomkostningen og af fortjenesten. Den eneste af disse poster, som kan vurderes forholdsvis sikkert, er materialeprisen. De øvrige afhænger i høj grad af samlemetoder, produktionsudstyr, salgspolitik m.v.

I [4] er anlægspriser og materialepriser for en række danske solvarmeproducenters produkter undersøgt. På basis af disse undersøgelser vurderes det, at salgsprisen excl. moms for et anlæg med rimelighed kan findes af: Materialeprisen ganget med 3. Hertil kommer så installationsomkostningerne.

Installationsomkostningen for et almindeligt lille solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er omtrent 7000 kr., når solfangerne monteres på taget og lagertanken installeres i fyrrummet. Dette beløb vil formentlig kunne halveres, hvis anlægget er en frit placeret unit, som blot skal tilkobles gennem to vandrør til det eksisterende anlæg.

De i [4] fundne materialepriser for større partier benyttes i denne undersøgelse. Materialepriserne for solfanger/lager uniten fremgår af tabel 5.5.1.

Materiale	Pris	Bemærkninger
Dæklagskonstruktion:		Der regnes desuden med et ekstra materialeforbrug på 10% af det transparente areal p.g.a. fastgørelse o.l.
A: 2 lag glas	80 kr/m ²	
B: 2 lag plast, teflon yderst og tedlar inderst	126 kr/m ²	
Absorber:		
plade med selektiv belægning	150 kr/m ²	
Beholder:		
1 mm rustfrit stål	126 kr/m ²	
Isolering:		
mineraluld	350 kr/m ³	
Varmeveksler:		
galvaniseret jernrør	350 kr	skøn
Diverse:	500 kr	skøn

Tabel 5.5.1 Materialepriser for solfanger/lager uniten.

Solfanger/lager unitens materialepris bestemmes ved hjælp af unitens udformning og de i tabel 5.5.1 anførte priser. Den totale pris for solfanger/lager unit incl. installation og moms bestemmes altså med rimelig nøjagtighed af:

$$\text{Totalpris} = (3 \cdot \text{materialepris} + 3500) \cdot 1,22 \text{ kr.}$$

Totalprisen for forskellige unitstørrelser er vist på fig. 5.5.1.

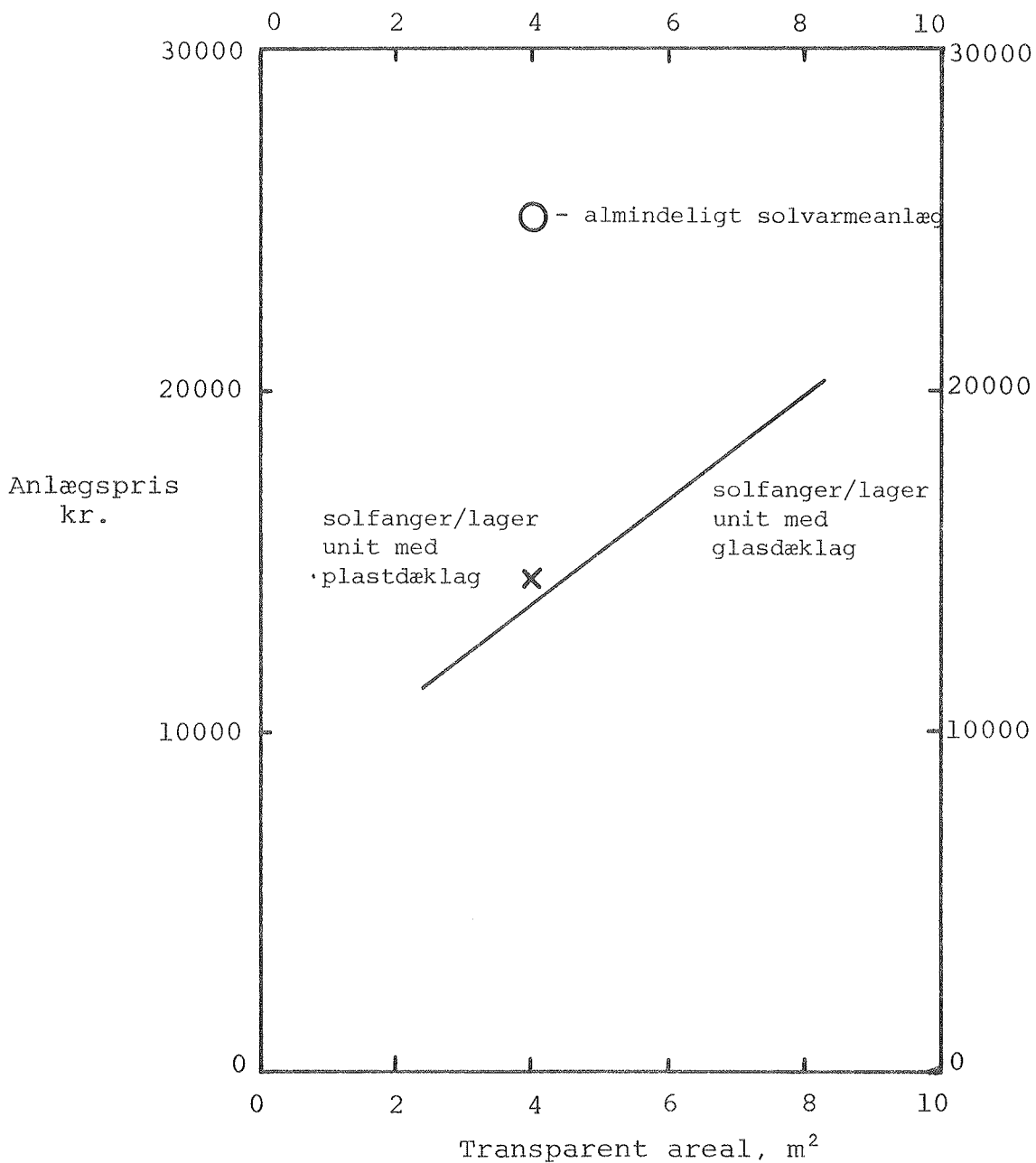


Fig. 5.5.1 Totalprisen for forskellige anlæg.

Økonomien for solvarmeanlæg kan vurderes på flere forskellige måder. Her er valgt at se på kapitalværdien i forhold til anlægsprisen. Kapitalværdien er fremtidige indtægter og udgifter tilbagediskonteret til anlægsåret. Kapitalværdien er altså den pris, anlægget maksimalt må koste for at være rentabelt.

Tabel 5.5.2 indeholder de økonomiske forudsætninger for de følgende økonomiberegninger.

Gasoliepris:	0,35 kr/kWh
El-pris:	0,63 kr/kWh
Prisstigninger/inflation:	8% p.a.
Energiprisstigninger:	10% p.a.
Nominel kalkulationsrente:	14% p.a.
Marginal trækprocent:	60%

Tabel 5.5.2 Forudsætninger for økonomiberegningerne.

Ved en levetid for solvarmeanlægget på 20 år, kan der regnes med følgende nuværdifaktorer:

Energiprisstigning $\alpha_1 = 31,56$ og andre
prisstigninger $\alpha_2 = 25,54$.

Kapitalværdien K kan beregnes af udtrykket:

$$K = (Q \cdot P_O^0 - Q_{el} \cdot P_{el}^0) \cdot \alpha_1 - V_O \cdot \alpha_2$$

hvor Q er den årlige totale besparelse, som opnås ved hjælp af solvarmeanlægget, [kWh],
 P_O^0 er olieprisen i år 0 [kr.],
 Q_{el} er det årlige el-forbrug til cirkulationspumpen, [kWh],
 P_{el}^0 er el-prisen i år 0 [kr.],
 α_1 er nuværdifaktoren for energiprisen,
 V_O er vedligeholdelsesomkostningerne i år 0 [kr.] og
 α_2 er nuværdifaktoren for andre priser.

Den årlige vedligeholdelsesudgift antages at være 80 kr/år incl. moms.

Forholdet mellem kapitalværdien og anlægsprisen fremgår af figur 5.5.2 for forskellige udformninger af solfanger/lager uniten. Desuden er forholdet vist for et almindeligt solvarmeanlæg, hvis ydelse er anført i [5]. I alle beregninger er benyttet en levetid for anlæggene på 20 år.

Af figur 5.5.2 ses, at det optimale transparente areal er omtrent 5 m^2 , når dæklagskonstruktionen er opbygget ved hjælp af glaslag. En dæklagskonstruktion bestående af plastlag synes mere attraktiv end en dæklagskonstruktion bestående af glaslag. Endelig ses det, at solfanger/lager unit-løsningen udviser en væsentlig bedre rentabilitet end almindelige solvarmeanlæg. Rentabiliteten for uniten med plastdæklagene er omtrent 25% bedre end rentabiliteten for et almindeligt solvarmeanlæg.

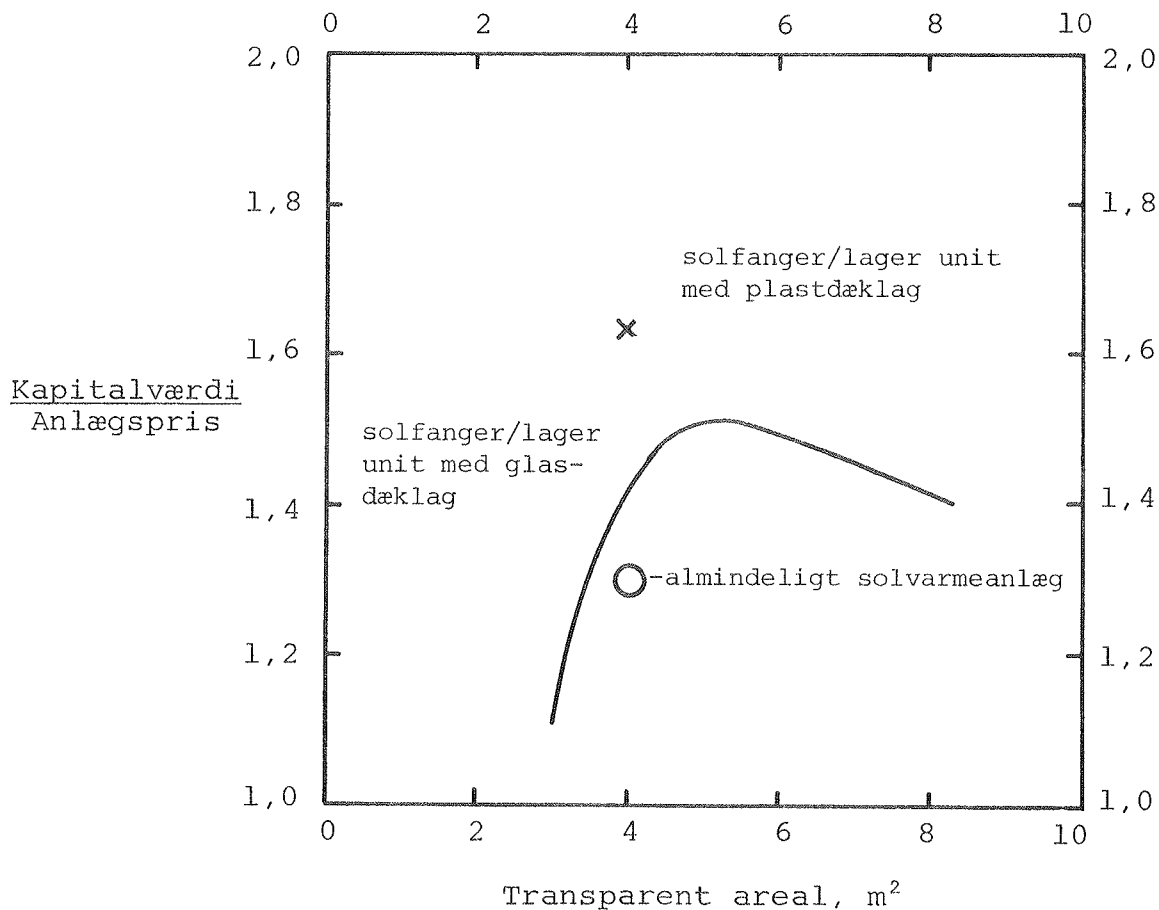


Fig. 5.5.2 Rentabiliteten for forskellige anlægstyper og -størrelser.

Det bør i denne forbindelse understreges, at anlægspriserne for de forskellige solfanger/lager units ikke er priser for markedsførte units. Det bør derfor i praksis eftervises, at prisniveauet for markedsførte units svarer til det skønnede prisniveau. Endvidere bør det eftervises, at holdbarheden af de integrerede solfanger/lager units er lige så god som holdbarheden af almindelige solvarmeanlæg.

De beregnede ydelser for de forskellige solfanger/lager units er baseret på, at uniten er i drift igennem hele året. Det bør dog i denne forbindelse bemærkes, at ydelsen ikke reduceres væsentligt, hvis uniten ikke benyttes i vinterperioden, jfr. afsnit 5.3. Figur 5.5.3 viser de beregnede mindste temperaturer i uniten igennem Referenceåret for forskellige unitstørrelser. Det ses, at der med den benyttede unitudformning og det benyttede varmtvandsforbrug ikke optræder frostproblemer i Referenceåret. Benyttes uniten om vinteren, bør den imidlertid udformes således, at den ikke ødelægges af frost. Eksempelvis kan uniten indeholde interne udvidelsesmuligheder, så frostsprængning forhindres. Eller en saltvandsopløsning, som har et lavt frysepunkt, kan benyttes som lagringsmateriale. Et elvarmelegeme installeret i uniten kan også holde uniten frostfri. Uniten kan endvidere forsynes med en sikkerhedsventil og udformes således, at isvolumenet aldrig udfylder hele lagervolumenet og således, at volumenudvidelsen under isdannelsen bevirker, at vand skydes ud gennem sikkerhedsventilen. Benyttes én af de her nævnte udformninger, vil frostproblemer ikke ødelægge uniten. De her nævnte ændringer af udformningen forøger ikke unitens pris væsentligt.

De beregnede ydelser er sandsynligvis noget forskellige fra de ydelser, som vil opnås i praksis. Dette skyldes, at der i beregningerne ikke er taget hensyn til den gavnlige temperaturlagdeling, som vil opstå i uniten under driften. Endvidere er de units, som er taget i beregning sandsynligvis ikke udformet optimalt.

Varmetabet vil dog være større end det beregnede, idet der ikke er taget hensyn til kuldebroer. Desuden regnes himmelstrålingstemperaturen lig med udelufttemperaturen, selvom den første i virkeligheden altid er lavere end den sidste. Derved undervurderes strålingsvarmetabet til himmelrummet.

Det vurderes, at de nævnte unøjagtigheder delvist ophæver hinanden, således at de beregnede ydelser ligger tæt på de praktisk opnåelige.

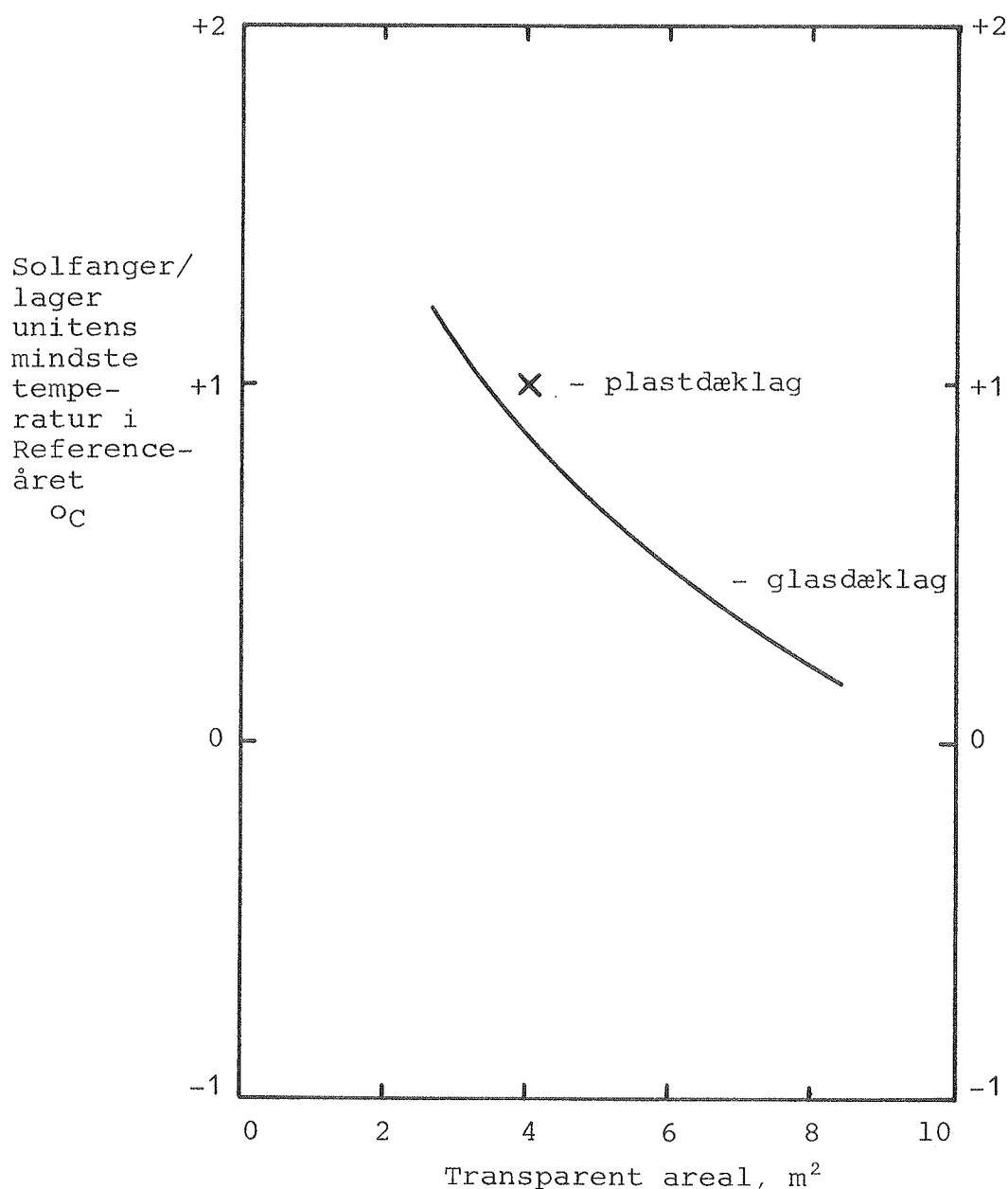


Fig. 5.5.3 Beregnet minimumtemperatur i solfanger/lager uniten i Referenceåret.

5.6 Forbedringsmuligheder for uniten

Unitens relativt store varmetab bevirker, at unitens ydelse er relativt lille. Unitens forholdsvis store varmetab er først og fremmest bestemt af det store varmetab gennem dæklagskonstruktionen. De største forbedringsmuligheder er derfor knyttet til bestræbelserne på at reducere varmetabet gennem dæklagskonstruktionen. Blandt mulighederne for at forbedre unitens ydelse kan nævnes:

- Kun en del af absorberen benyttes også som lagerets overflade.
- Uniten indbygges i en væg eller i et vindue.
- Anvendelse af forbedrede transparente isoleringsmaterialer.
- Brug af reflektorer, så det transparente areal kan reduceres.
- Uniten placeres op ad en eller flere vægge, som virker som reflektorer.
- Unitens transparente areal opdeles og orienteres i forskellige retninger.
- Bedre lagdeling og lavere varmetab gennem variation i dæklagsudformningen i top og bund.
- Anvendelse af neddykket isoleringsplade.
- Anvendelse af brugervenlig mobil isolering.

Der er mange andre forbedringsmuligheder end de her nævnte, og der er behov for undersøgelser for at bestemme egnetheden af de forskellige muligheder.

6. Konklusion

Forskellige solfanger/lager unit udformninger er skitseret og vurderet med hensyn til effektivitet, økonomi og holdbarhed. På grundlag af disse undersøgelser er en selvcirkulerende solvarmeunit opbygget og afprøvet igennem en sommerperiode på Laboratoriets forsøgsareal under realistiske forhold. På basis af afprøvningen vurderes det, at rentabiliteten for uniten er lidt bedre end rentabiliteten for almindelige solvarmeanlæg. En nøjagtig angivelse af unitens rentabilitet kræver en detaljeret matematisk model, som simulerer unitens drift. En sådan model er ikke udviklet, idet et sådant arbejde ligger uden for projektets rammer. Der er peget på en række forbedringsmuligheder for den afprøvede unit.

Ydelsen for forskellige integrerede solfanger/lager units er endvidere beregnet ved hjælp af en simpel matematisk model. Priserne og rentabiliteten for sådanne solfanger/lager units er vurderet. Disse units udviser, selv om unitudformningen endnu ikke er optimeret, en væsentlig bedre rentabilitet, omtrent 25% bedre, end almindelige solvarmeanlæg.

Det anbefales derfor, at udviklingsarbejde - teoretisk såvel som eksperimentelt - sættes igang med det formål at udvikle optimale og holdbare integrerede solfanger/lager units.

Referencer

- [1] Varmtvandsforbrug i boliger.
Niels Mejlhede Jensen.
Laboratoriet for Varmeisolering, DTH.
Energiministeriets varmelagerprojekt - Rapport nr. 11.
Meddelelse nr. 117. Februar 1982.

- [2] Selvcirkulerende solvarme.
Peder Vejsig Pedersen.
O.V.E.'s forlag, 1984.

- [3] Solvarmeanlæg til varmt brugsvand
- hvordan bliver de billigere?
Ivan Katić. Eksamensprojekt, Laboratoriet for
Varmeisolering, DTH. August 1984.

- [4] Billiggørelse af solfangere.
Michael Møllgaard. Eksamensprojekt,
Laboratoriet for Varmeisolering, DTH.
April 1984.

- [5] Lagertyper og lagerstørrelser i solvarmeanlæg
til brugsvandsopvarmning.
Søren Østergaard Jensen og Simon Furbo.
Energiministeriets varmelagerprojekt - Rapport nr. 16.
Meddelelse 148, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH.
Marts 1984.

ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM

Styregruppe:

Energiministeriet har fra september 1981 udpeget følgende styregruppe for solvarmeprogrammet:

- V. Korsgaard, professor, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, (formand).
- L. Ingersholm, Boligselskabernes Landsforening.
- P. Alling, direktør, Dansk Solvarme K/S.
- E. Christophersen, afdelingsleder, Statens Byggeforskningsinstitut.
- P. Dirks, afdelingsingeniør, Dansk Kedelforening.
- P. Dorph-Petersen, Energiministeriet.
- K. Hallgren, ingeniør, Danfoss A/S.
- E. Jerking, Byggestyrelsen, Energikontoret.
- N.I. Meyer, professor, Fys.Lab. III, DTH.
- J.S.R. Nielsen, civilingeniør, Birch og Krogboe K/S.
- H. Larsen, civilingeniør, Risø.
- E. Petersen, lektor, Kem.Lab. I, H.C. Ørstedts Instituttet.
- P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut.
- P.J. Snare, civilingeniør, Energistyrelsen.

Projektmedarbejdere:

Laboratoriet for Varmeisolering:

- N.B. Andersen, civilingeniør.
- O. Balslev-Olesen, civilingeniør.
- O. Dyrnum, civilingeniør.
- S. Furbo, civilingeniør.
- K. Kielsgaard Hansen, akademiingeniør, lic.techn.
- S. Østergaard Jensen, civilingeniør.
- I. Katić, civilingeniør.
- S.E. Mikkelsen, civilingeniør.
- L. Olsen, civilingeniør, stud.lic.techn.
- P. Vejsig Pedersen, civilingeniør.
- V. Ussing, civilingeniør.

Teknologisk Institut:

B. Bøhm, civilingeniør, lic.techn., HD.
P. Engkjær, ingeniør
M. Grimming, arkitekt, m.a.a.
L. Hallgreen, ingeniør, lic.techn.
M. Lange, ingeniør.
H. Lawaetz, akademiingeniør, lic.techn., HD.
O. Paulsen, civilingeniør, lic.techn.
E. Petersen, civilingeniør, lic.techn.
P. Steensen, civilingeniør.

I forbindelse med demonstrationsanlæggene har endvidere medvirket de pågældende byggeriers arkitekt og rådgivende ingeniør.

Adresser:

Laboratoriet for Varmeisolering, Bygning 118, Danmarks tekniske Højskole, 2800 Lyngby - telf. 02-883511.

Teknologisk Institut, Varmeteknik, Gregersensvej, 2630 Tåstrup - telf. 02-996611.

OVERSIGT OVER UDSENDTE RAPPORTER

SOLVARMEPROGRAMMET:

1. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg.
Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse.
2. Solvarme-fjernvarmeanlæg.
Beregning af et centralt anlæg med og uden varmelager.
3. Solvarmeanlæg i Gentofte.
Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand.
Årsrapport.
4. Beregningsprogram til solvarmeanlæg.
For TI59 programmerbar lommeregnekalkulator.
5. Solvarmeanlæg i Herfølge.
Brugsvand, ½ års målinger.
6. Solvarmeanlæg i Greve.
Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand.
Årsrapport.
7. Solfangeres langtidsholdbarhed.
Erfaringer med solfanger udsat for det naturlige vejrlig
under kontrollerede, realistiske, ens driftsforhold i 3 år
på prøvestand.
8. Solvarmesystemprøvestand.
Resultater fra det første projekt på prøvestanden.
9. Solvarmeanlæg på Juelsminde campingplads.
Brugsvand, 3 års målinger.
10. Energiministeriets solvarmeprogram.
Statusrapport, august 1980.
11. Energiministeriets solvarmeprogram.
Projektforslag - langtidsplanlægning, oktober 1980.
12. To solvarmeanlæg til varmt brugsvand.
En beskrivelse og vurdering efter 4 måneders drift af
anlæggene.
13. To solvarmeanlæg til varmt brugsvand.
En beskrivelse og vurdering efter 4 måneders drift af
anlæggene.

14. Solvarmeanlæg i Blovstrød.
2½ års målinger på 10 m² brugsvandsanlæg.
15. Solvarmeanlæg til rumopvarmning.
En udredning baseret på 2 års målinger på anlæg
i Greve og Gentofte.
16. Solvarmeanlæg baseret på 1 års målinger på 2 anlæg.
17. Solvarmeanlæg i Herfølge.
Varmtvandsanlæg i tæt-lav byggeri.
18. Korrosion i solfangerabsorbere.
En undersøgelse af korrosionsforholdene i solfangeres
væskekanaler.
19. Fokuserende solfanger med klimaskærm.
Forundersøgelse.
20. Solfangeres driftssikkerhed og holdbarhed.
21. Solvarme - fjernvarmeanlæg.
Teknisk - økonomisk analyse af systemkombinationer.
22. Solfangerabsorberes overfladebestandighed.
23. Solvarmeanlæg i Rødovre.
24. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand i Gl-Holte.
En vurdering efter et års målinger.
25. Sol i boligen - et idé-katalog.
26. Solvarmeanlæg med stort udbytte - systemanalyse.
27. Kombineret solvarme - varmepumpeanlæg i Næstved.
28. Et solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand.
Målinger på systemprøvestand.

VARMELAGRINGSPROGRAMMET:

1. Litteraturundersøgelser og vurdering af kemiske varmelagre.
2. Sæsonlagring af varme i store vandbassiner.
3. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1).
En metode til brug for bordregnemaskiner.
4. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1).
Brugervejledning for TI-59.
5. Prøvning af varmelagerunits til solvarmeanlæg.
6. Beregning af ruminddelte bygningers energiforbrug.
7. Vinduets betydning for enfamiliehusenes energiforbrug.
8. Heat Storage with an incongruently melting salt hydrate as storage medium based on the extra water principle.
9. Enfamiliehuse med glasbeklædte uderum.
10. Kemiske varmelagre. Teori og praksis.
11. Varmtvandsforbrug i boliger.
12. Prøvemetoder for mindre varmelagre og erfaringer fra prøvningerne.
13. Solopvarmning gennem vinduer.
14. Økonomisk solbidrag til opvarmning af brugsvand.
15. Birkerød solhus. Beregninger og målinger.
16. Lagertyper og lagerstørrelser i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning.
17. Prøvning af kemisk varmepumpelager.