ENERGIFORBRUG TIL FREMSTILLING AF SOLVARMEANLÆG

AF

HENRIK LAWAETZ

OG

SIMON FURBO

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



MEDDELELSE NR. 87

AUGUST 1979

REVIDERET JUNI 1981

Forord

Ved udgivelsen af denne meddelelse 1. gang i august 1979 blev der i meget stor udstrækning benyttet energidata fra en foreløbig udgave af reference [1]. I den endelige udgave heraf et halvt år senere var der foretaget korrektioner af nogle af dataene. Disse ændringer medførte generelt, at der medgik et lidt større energiforbrug til fremstilling af enkelte materialer.

For at bringe denne meddelelse i overensstemmelse med [1] er der foretaget en fornyet gennemregning med de lidt ændrede værdier. Dette har medført, at i forhold til den 1. udgave er energiforbruget til fremstilling af solvarmeanlæg fundet at være lidt større, omkring 10 - 15%, hvorved de beregnede simple "energitilbagebetalingstider" er blevet tilsvarende større.

Endelig er der foretaget en fremskrivning af prisgrundlaget, således at resultaterne kan anses for at være gældende idag.

Derudover er der kun foretaget enkelte ændringer af sproglig art, således at denne reviderede udgave kun afviger fra den første på ovennævnte punkter.

Lyngby, juni 1981

Henrik Lawaetz Simon Furbo

Indholdsfortegnelse

side

1. Resumé 1

2. Energi og energiforbrug 2
   2.1 Energiforbrug - definition 2
   2.2 Energiforbrug til materialefremstilling 3
      2.2.1 Specifikke materialers energiforbrug 5
      2.2.2 Direkte og tilhørende energiforbrug 6
      2.2.3 Energiafskrivning af produktionsapparat 7
      2.2.4 Energiforbrug til transport 7

3. Energi til fremstilling af solvarmeanlæg 8
   3.1 Solfangere 8
   3.2 Varmelager 12
      3.2.1 Brugsvandsanlæg 12
      3.2.2 Rum- og brugsvandsanlæg 15
   3.3 Solfangerkredsen, rør og væske 22
   3.4 Solvarmeanlægs energiforbrug 24

4. Solvarmeanlægs energimæssige tilbagebetalingstid 27
   4.1 Oliefyret og dets brændselsforbrug 27
   4.2 Solvarmeanlægs drift og ydelse 30
   4.3 Brændselsfortrængning og tilbagebetalingstid 30

5. Alternative udformninger af solvarmeanlæg 34
   5.1 Ændrede energiforbrug til materialefremstilling ... 37

6. Konklusion 38

7. Referencer 39

1. Resumé

Solvarmeanlæg omsætter solenergi til varme, der kan nyttiggøres til opvarmningsformål. Herved spares der brændsel. Fremstillingen og monteringen af solvarmeanlæg bruger dog også energi.

I denne rapport undersøges det, hvor stort fremstillingsenergiforbruget er til solvarmeanlæg. Dette energiforbrug sammenlignes med de forventede brændselsbesparelser, der kan opnås med gennemsnitsanlæg. Endelig peges der på, hvorledes fremstillingsenergiforbruget i fremtiden kan reduces.

2. Energi og energiforbrug

Det ville være ønskeligt, om alle former for energi var ligeværdige, således at de umiddelbart kunne sammenlignes. Det er desværre ikke tilfældet, og når vi her har til hensigt at sammenligne forskellige energiforbrug, opstår der visse vanskeligheder.

2.1 Energiforbrug - definition

Som enhed for energimængder benyttes der i det følgende kWh. Da f.eks. 1 kWh elektricitet er mere "højværdig", dvs kan bruges til flere typer af arbejde end 1 kWh "varmeenergi", er det nødvendigt at have et fælles udgangspunkt for med rimelighed at kunne sammenligne energimængder. Da vi i dag kan benytte fossile brændsler gas, olie og kul til alle vores energibehov er det muligt at omregne alle energiforbrug til forbrug af brændsel, dvs forbrug af kemisk bundet energi ved hjælp af de aktuelle virkningsgrader for konverteringsprocesserne.

I det følgende er energiforbrug defineret som forbrug af kemisk bundet energi i form af brændsel.

Denne definition er overført fra [1],der specielt omhandler energiforbruget til fremstilling af de mest benyttede byggematerialer i Danmark.

Nu kræves der også energi til at udvinde og raffinere brændsel, men da dette til dels foregår uden for landet, er det valgt at definere brændsel som brugsklar brændsel og dets nedre brændværdi som energiindholdet.

Specielt er virkningsgraden for konvertering af kemisk bundet energi til elektricitet af interesse.På baggrund af oplysninger fra de danske elværker i 1975-76 udregnes i [1], at til at producere 1 kWh el/fjernvarme kræves 2,9 kWh i form af brændsel. I dette regnestykke er fjernvarmeproduktionen tillagt samme effektivitet som elproduktionen. I det følgende benyttes ligeledes faktoren 2,9 mellem energiforbrug i form af elektricitet og energiforbrug i form af brændsel.

2.2 Energiforbrug til materialefremstilling

Det er vigtigt, at det område inden for hvilket analysen af energiforbruget skal foregå, er så klart defineret som muligt. Følgende afgrænsning er benyttet i [1] og bruges også her, da det således er muligt direkte at overføre de angivne værdier.

Til fremstilling af et materiale medregnes:

a) energiforbruget til fremstilling af råvarer. Det kaldes også råvarens skjulte energiforbrug og sættes kun til nul, når råvaren endnu ikke er produceret, dvs den f.eks. ligger uberørt i jorden. Den sammensættes af de følgende energiforbrug.

b) det direkte energiforbrug til produktionen.

c) det tilhørende energiforbrug til komfort (opvarmning, ventilation m.m.) i produktionslokaler, byggepladser og administrationsbygninger.

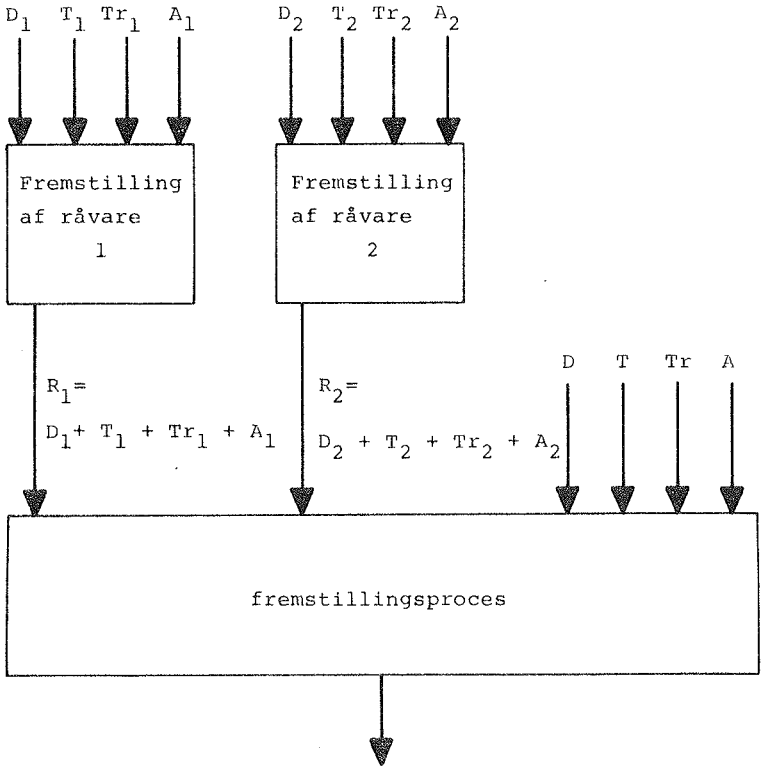
d) energiforbrug til transport i forbindelse med produktion eller levering.

e) afskrivning af energiforbruget til fremstilling af produktionsapparatet.

Det totale energiforbrug til materialefremstilling er herefter summen af forbrugene a) til e). Yderligere kunne medtages energiforbrug til sikring mod forurening m.v., men dette ses der i denne analyse bort fra.

For hvert materiale kan der på denne måde beregnes det til fremstillingen medgåede energiforbrug. Princippet er vist på fig. 1, idet der her er skitseret fremstillingen af et materiale af 2 råvarer, der hver især kræver een fremstillingsproces (dvs råvaren fremstilles af et materiale, der har et skjult energiforbrug på nul).

E = energiforbrug til materialefremstilling.
R = energiforbrug til råvarefremstilling (skjult energiforbrug).
D = direkte energiforbrug.
T = tilhørende energiforbrug (komfort).
Tr = energiforbrug til transport.
A = energiafskrivning af produktionsapparat.



$$E = R_1 + R_2 + D + T + Tr + A$$

Figur 1

2.2.1 Specifikke materialers energiforbrug

I Danmark produceres en lang række emner helt eller delvis af importerede råvarer eller materialer. Disses skjulte energiforbrug vil variere i afhængighed af oprindelsessted, da der kan være forskelle i produktionsapparat og - metode. I [1] er der derfor udregnet et middelenergiforbrug for de enkelte materialer baseret på produktionslandenes andel i den danske import. Disse oplysninger er sammenholdt med undersøgelser i en række danske virksomheder,og der er herved fundet de i tabel 1 anførte værdier (let afrundede).

Energiforbrug til materialefremstilling

materiale	massefylde kg/m^3	energiforbrug kWh/kg
tagsten af tegl	1800	1,4
glaseret tegl	1900	2,0
valset stål	7850	8,4
støbejern	7200	9,7
kobber	8900	19,5
aluminium	2700	65,3
zink	7100	12,0
bly	11300	7,0
brædder, lægter	500	1,5
imprægnerede brædder	500	1,6
træfiberplader, imp.	1000	4,3
mineraluld		5,3
planglas	2600	5,2
syntetisk gummi	1150	18,0
polyurethan		19,0
polyvinylklorid	1380	24,7
glasfiberar.polyester	1200	10,0
akryl	1180	19,0
asbestcement	1900	2,4
fugemasser	1200	17,3
bolte, skruer og søm	8000	11,0
oliemaling		4,5
emner af svejst stål	7850	9,4

Tabel 1

Disse værdier er gældende for materialer leveret til fabrik eller byggeplads. Til produktion af færdige emner skal desuden lægges de i afsnit 2.2 omtalte energiforbrug b) - e). For emner af svejst stål er dette i [1] fundet således, at man kan benytte et energiforbrug pr. kg som angivet nederst i tabel 1.

2.2.2 Direkte og tilhørende energiforbrug

Solfangere fremstilles i Danmark typisk af mindre industrivirksomheder. Her indkøber man materialerne glas, stål, mineraluld osv, bearbejder og samler dem til en færdig solfanger, der transporteres til kunden.

Det direkte og tilhørende energiforbrug til denne produktion skønnes ud fra oplysninger om energiforbruget pr. kr omsætning som anført i [2]. For 4 industrivirksomheder er angivet de i tabel 2 anførte energiforbrug i 1974, idet deres elforbrug er ganget med 2,9 for at få brændselsforbruget. I perioden 1974-81 skønnes inflationen kombineret med et svagt stigende energiforbrug at have reduceret tallene med 5% pr. år, på 7 år ialt ca. 30%.

Direkte og tilhørende energiforbrug til produktion

Virksomhed	1974 Forbrugsfordeling[1] % el	% olie	1974 energiforbrug Wh/kr	1981 energi[2] forbrug Wh/kr
Dieselmotorfabrik	29	71	121	84
Montagevirksomhed	28	72	109	76
Maskinfabrik	17	83	85	59
Større maskinfabrik	28	72	74	52
gennemsnit			97	68

1) ukorrigeret forbrug

2) korrektion 5% pr. år fra 1974 til 1981

Tabel 2

Solfangere synes typisk at blive fremstillet i virksomheder, der er en mellemting mellem montagevirksomheden og maskinfabrikken. Det synes derfor rimeligt at benytte de 4 virksomheders gennemsnitlige energiforbrug som repræsentativ for solfangerproduktion.

2.2.3 Energiafskrivning af produktionsapparat

Afskrivning af energiforbruget til fremstilling af produktionsapparatet sættes til 5% af det direkte og tilhørende energiforbrug, således at summen af direkte og tilhørende energiforbrug samt energiafskrivning af produktionsapparatet i 1981 regnes at udgøre 71 Wh pr. krone af omsætningen.

2.2.4 Energiforbrug af transport

Energiforbruget til transport er i [1] opgjort til de i tabel 3. anførte gennemsnitsværdier. Da solfangere stort set kan regnes at blive transporteret med bil og det skønnes at den gennemsnitlige transportlængde er 100 km, fås transportenergiforbruget til 60 Wh/kg.

Energiforbrig til transport

transportmiddel	energiforbrug Wh/kg km
skib	0,15
tog	0,15
lastbil	0,60

Tabel 3

3. Energiforbrug til fremstilling af solvarmeanlæg

Et solvarmeanlæg består af 2 hovedkomponenter, nemlig solfanger og varmelager. Disse to er forbundet indbyrdes og sammenkoblet med et varmeanlæg. Hvorledes et anlæg i praksis ser ud afhænger i høj grad af de fysiske omgivelser, det skal placeres i. I denne analyse vil vi derfor tage udgangspunkt i eksisterende udførelser af solfangere, små lagerunits og større beholdere. Ved at antage nogle rimelige sammenhænge mellem solfangerareal, lagerstørrelse, varmevekslere og rørdimensioner kan det på baggrund af de i afsnit 2 anførte energiforbrug til materialefremstillingen med nogenlunde sikkerhed angives,hvor stort et energiforbrug fremstillingen af forskellige størrelser anlæg kræver. Denne metode er valgt fremfor at analysere en række udførte anlæg, idet der ikke eksisterer et tilstrækkeligt antal veldokumenterede udførelser.

3.1 Solfangere

En solfanger regnes her at bestå af 4 dele, nemlig dæklag, absorber og isolering indbygget i en ramme. Der er her tale om solfangere i færdige moduler, der efter placeringen kobles sammen. Alternativt kunne man opbygge solfangeren på stedet og derved spare nogle materialer. Denne type solfanger omtales nærmere i afsnit 5.

Ved laboratoriet er der i løbet af 1977 og 1978 afprøvet en række solfangermoduler for termisk ydeevne, [3] og [4]. Blandt disse er udvalgt 7 dansk producerede med 1 dæklag. Ud fra prøvningsrapporterne og evt.brochurematerialе er der foretaget en nærmere analyse af de enkelte deles energiforbrug. Hovedresultatet er anført i tabel 4, idet energiforbruget er omregnet til energiforbrug pr. m^2 transparent areal. De nærmere tal er anført i bilag I, idet der er anvendt de i tabel 1 anførte værdier for massefylde og energiforbrug. Dog er der for stål benyttet værdien for emner af svejst stål,idet der herved antages, at de benyttede overfladebehandlinger er medregnet. Ende-

lig er der til hver solfanger lagt 2 kg med et stort energiforbrug (20 kWh/kg). Dette dækker forbruget af fugemasse, skruer, maling o.lign.

Energiforbrug til fremstilling af forskellige solfangere

ID nr.[1]	Vægt kg/m^2	rumindhold l/m^2	energiforbrug kWh/m^2
1	40	1,2	516
3	37	3,6	304
6	37	2,8	327
11	23	0,6	535
13	27	1,1	396
17	28	2,3	637
19	35	0,9	325
gns	32	1,8	434

Tabel 4

1) ID nr. refererer til identifikationsnumrene i [3]og [4]

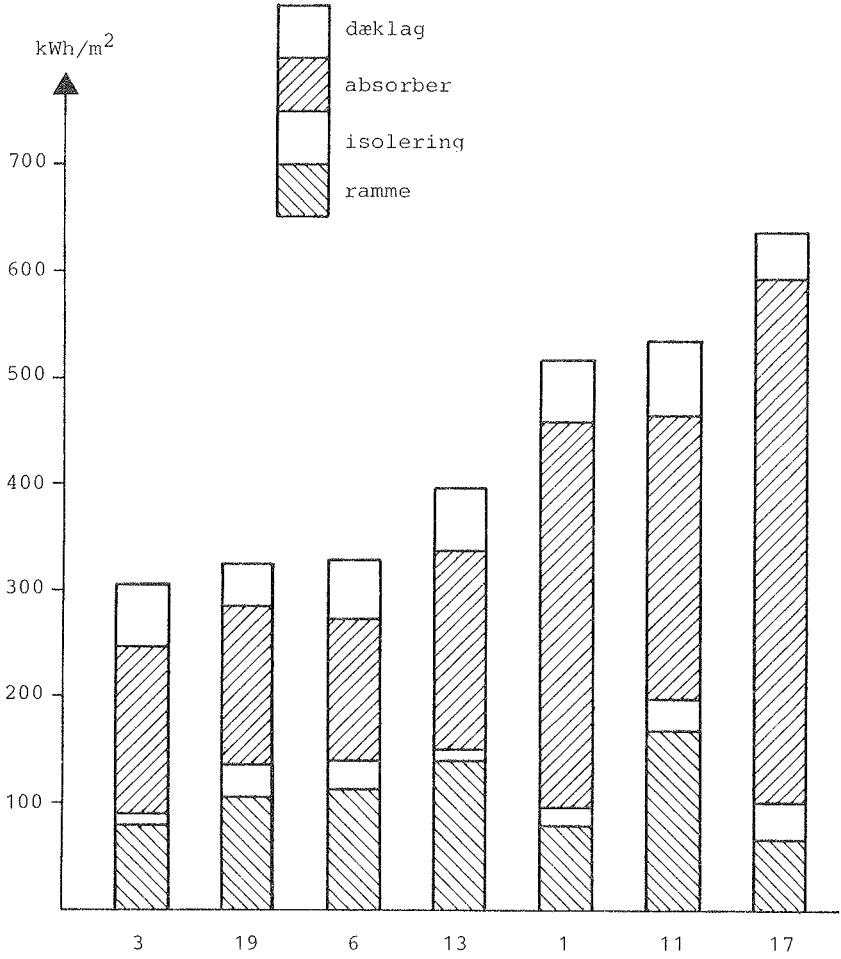
Det ses, at energiforbruget varierer en del og for at belyse hvorfra variationen stammer er energiforbruget opdelt og optegnet på figur 2. Det ses, at absorberen er det mest energiforbrugende enkeltelement med den største variation i energiforbrug. Dette kan måske retfærdiggøres af en større ydelse, men som vist på figur 3, hvor de termiske effektivitetskurver er optegnet, er der ikke nogen entydig sammenhæng.

Ved de efterfølgende beregninger af hele solvarmeanlægs energiforbrug benyttes den i tabel 4 fundne gennemsnitsværdi. Hertil skal lægges de i afsnit 2 beregnede energiforbrug. Under antagelse af, at solfangere koster ca. 1000 kr. ab fabrik (eksklusiv moms) fås det i tabel 5 angivne energiforbrug for en gennemsnitssolfanger.

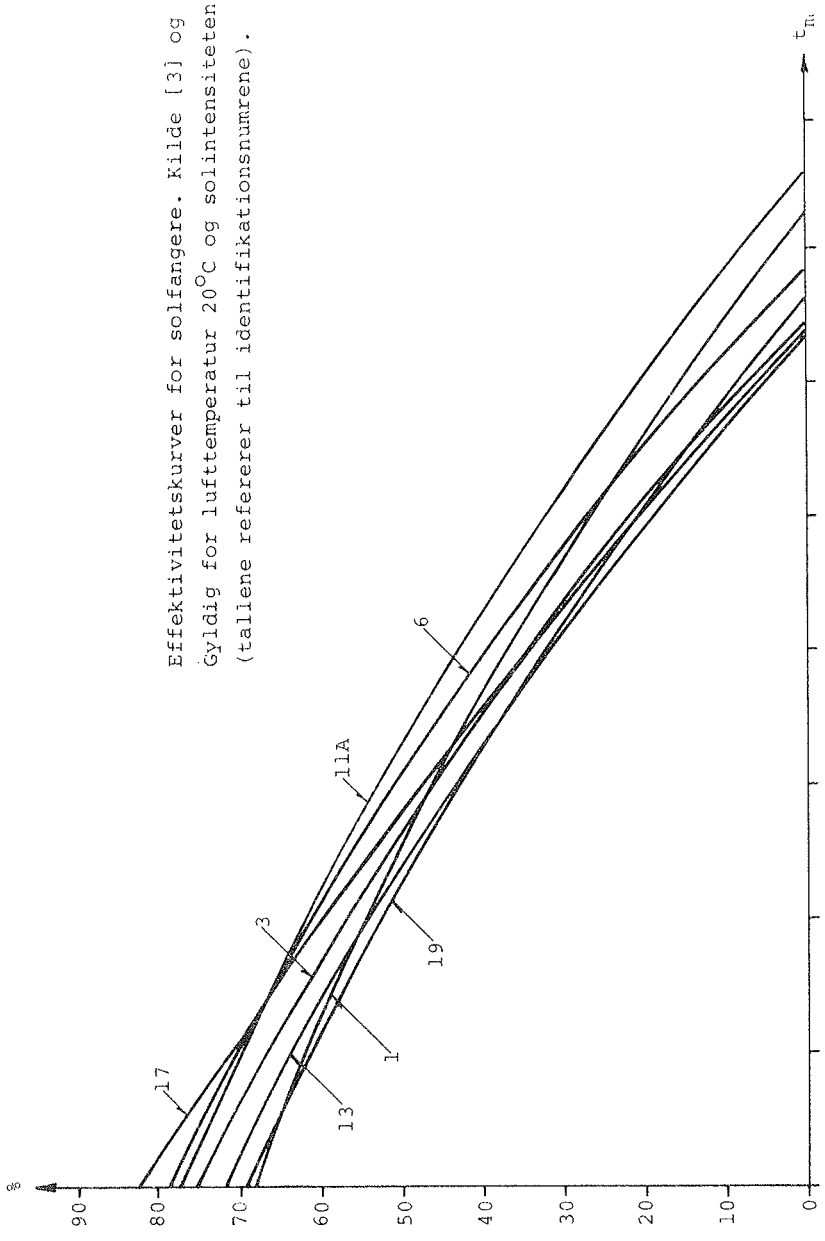
materialer	434	kWh/m^2
direkte og tilhørende energiforbrug samt energimæssig afskrivning	71	-
transport	2	-
ialt	507	kWh/m^2

tabel 5

Energiforbrug til fremstilling af solfangere



Figur 2


Effektivitetskurver for solfangere. Kilde [3] og [4]
Gyldig for lufttemperatur 20°C og solintensiteten 800W/m²
(tallene refererer til identifikationsnumrene).
η
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
20
30
40
50
60
70
80
90
100
t_m °C
17
3
11A
6
19
1
13

Figur 3

3.2 Varmelager

I næsten alle solvarmeanlæg benyttes vand som varmelagermedium. Vandet opbevares som regel i en isoleret stålbeholder. Denne placeres ofte i umiddelbar nærhed af den sædvanligvis benyttede varmekilde, oftest et oliefyr. På markedet findes i dag en række mindre lagertanke beregnet til solopvarmning af brugsvandet. Større varmelagre udføres som regel individuelt, således at de afpasses efter forholdene. Det er derfor mest hensigtsmæssigt at dele analysen op i brugsvandsanlæg og rum- og brugsvandsanlæg.

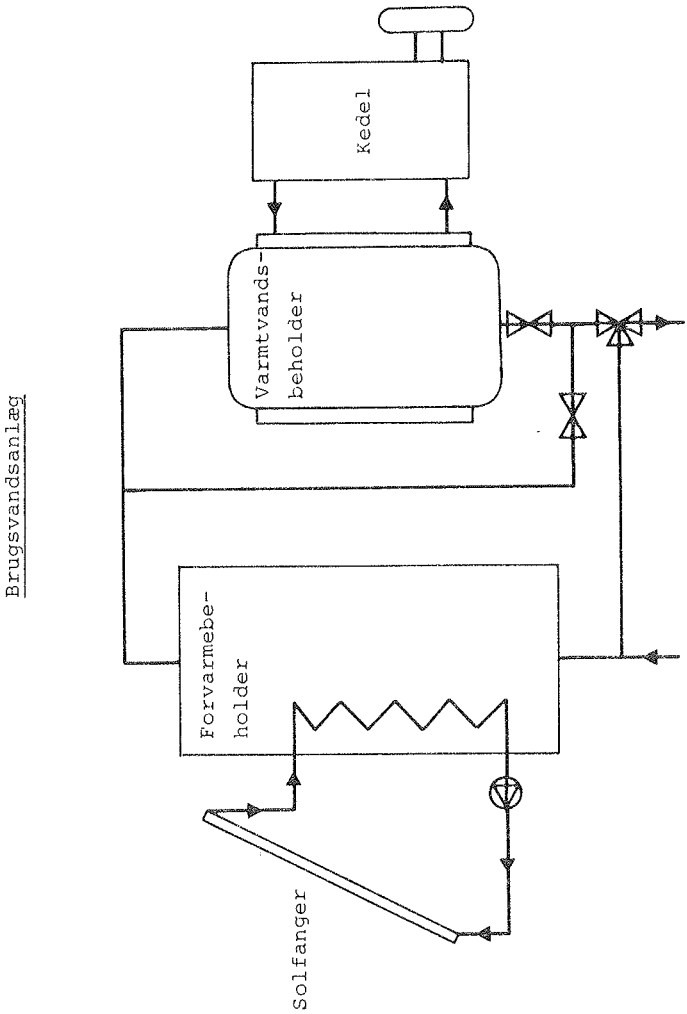
3.2.1 Brugsvandsanlæg

Brugsvandsanlæg udføres normalt med brugsvandet som lagermedium i en trykbeholder.

Anlægget skal enten have en dokumenteret ugiftig solfangervæske eller være forsynet med dobbelt adskillelse mellem brugsvand og solfangervæske.

Udformningen af lagerunits varierer, men de fleste består foruden tank(e) med isolering også af ekspansionsbeholder, pumpe(r), ventiler og styringsenhed, alt sammen indbygget i stativ(er) med kabinet. Herved bliver monteringsarbejdet hos køberen minimeret.

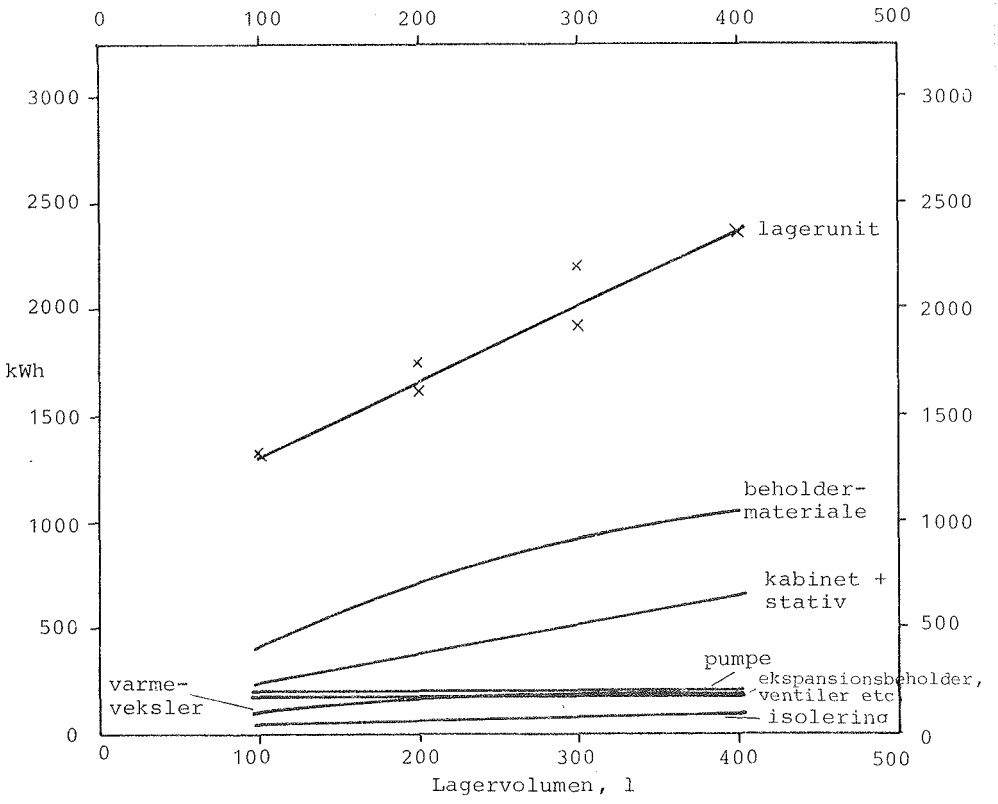
På bilag II er energiforbruget til 6 lagerunits beregnet. Der er her benyttet de i afsnit 2.2 beregnede værdier for direkte og tilhørende energiforbrug samt for energimæssig afskrivning af produktionsapparatet og energiforbrug til transport. Dette kan gøres, idet der skønnes en pris på kr. 5000 + 5 · volumenet i l (eksklusiv moms). Lagrene fås op til 4-500 l og for de 6 units er energiforbrugets fordeling vist på figur 5. Det fremgår heraf at selve beholderen kun udgør knap halvdelen af det totale energiforbrug. Specielt er der for de små pumper benyttet et energiforbrug på 50 kWh/kg, idet denne værdi er skønnet gældende for rustfrit stål, der er hovedbestanddelen. For trykekspansionsbeholdere, ventiler, følere og lign. er benyttet et energiforbrug på 29,7 kWh/kg svarende til middelværdien af rustfrit stål og svejst stål.



Princippet for solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning med brugsvand som varmelagringsmedium.

Figur 4

Energiforbrug til lagerunits



Figur 5

Ifølge solfangerfabrikanternes anbefalinger benyttes der ca. 50 l varmelager for hver kvadratmeter solfanger. Derfor er der på figur 6 optegnet de færdige lagerunits totale energiforbrug som funktion af volumenet og som funktion af det anbefalede solfangerareal.

Tilnærmes energiforbruget til en lineær funktion af volumenet og solfangerarealet som vist på figur 6, ses at der for store volumener er tale om en ret grov tilnærmelse. Dette skønnes, de benyttede usikkerheder taget i betragtning, dog at være tilladeligt, og der findes følgende ligninger for laverunits energiforbrug E_ℓ:

$$E_\ell = 1310 + 200\ A \quad kWh \quad (3.2.2.1)$$

hvor A er solfangerens transparente areal i m^2.

3.2.2 Rum- og brugsvandsanlæg

Solvarmeanlæg til både rum- og brugsvandsopvarmning regnes udført med kedelvand som lagermedium og i øvrigt som vist på figur 7. Der findes ikke standard udførelser og derfor konstrueres en efter vores opfattelse typisk udførelse, hvor lagervolumenet sættes til 75 l pr. m^2 solfanger.

Lagertanken udføres af en standardbeholder og på figur 8 er beholdervægten optegnet som funktion af volumenet gældende for en række fabrikater på markedet.

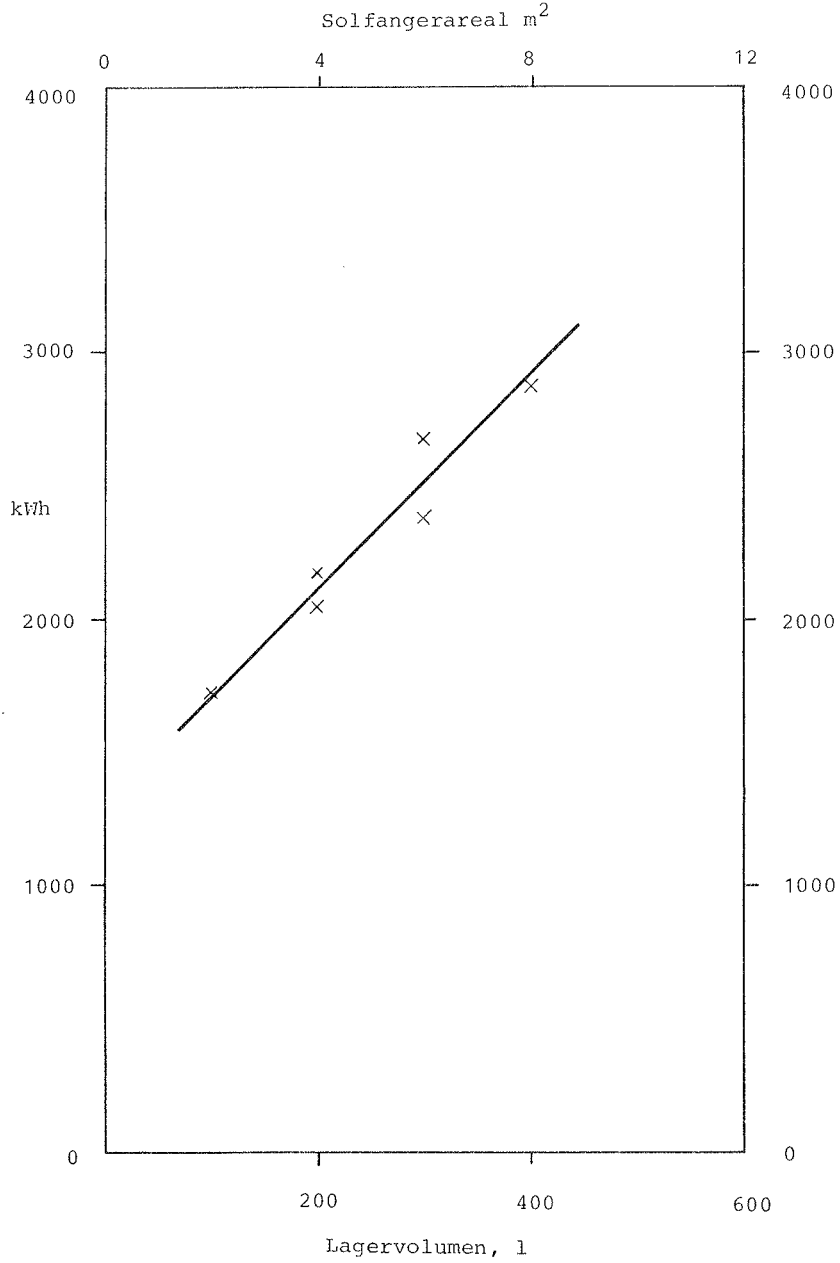
Tilnærmes vægten M til en retlinet funktion af volumenet findes

$$M = 29 + 0{,}112 \cdot V \quad kg \quad (3.2.2.1)$$

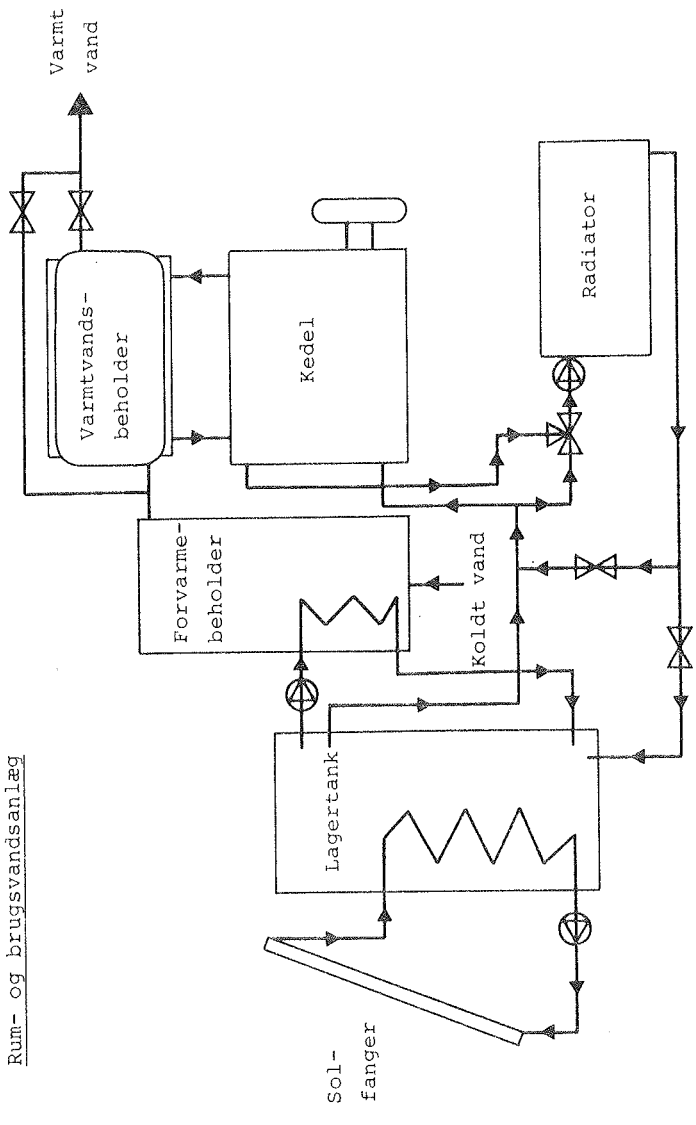
hvor V er volumenet i liter.

Den nødvendige ekspansionsbeholder (trykløs) kan evt. placeres ovenpå selve lagertanken og dens størrelse bør være 44 l pr. m^3 lager. Den udføres i stål og på figur 9 er vægten angivet som funktion af lagervolumen og beholderstørrelse.

Energiforbrug til fremstilling af varmelagre til brugsvands-anlæg med regulerings- og sikkerhedsudstyr.



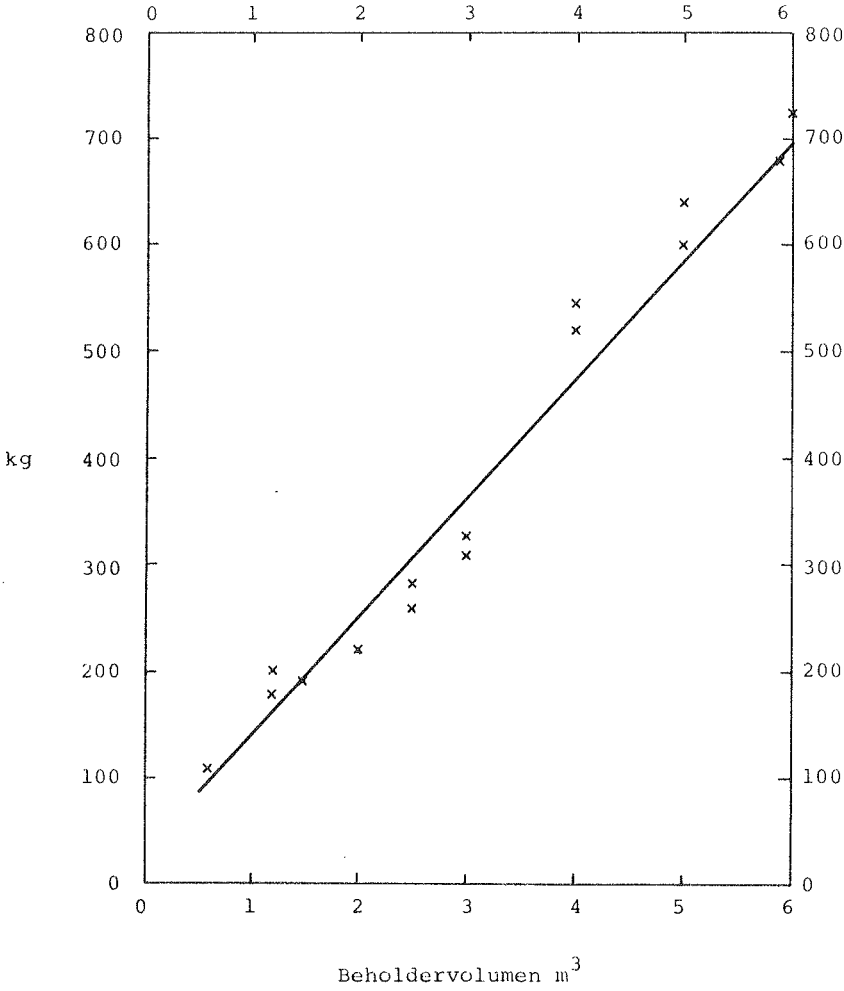
Figur 6



Princippet for solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning og rumopvarmning.

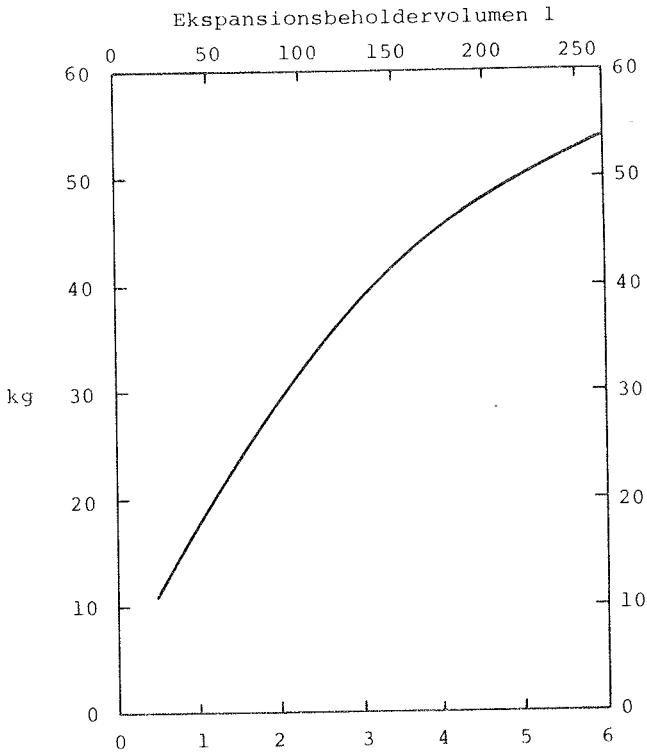
Figur 7

Beholdervægt for forskellige stålbeholdere



Figur 8

Ekspansionsbeholdermasse som funktion af lagervolumenet.



Figur 9

Varmevekslingen mellem solfanger og lager sker i en sømløs stålrørsspiral. Det forudsættes,at væsken er vand/propylenglykol og spirallængden dimensioneres således at varmeoverføringen bliver 50 $W/^{o}C$ pr. m^2 solfanger. For at nedsætte tryktabene i spiralen opdeles den i sektioner og med de i [5] anførte varmeovergangstal fås de nødvendige rørdimensioner og -længder, som anført i tabel 6, idet der anvendes et lagervolumen på 75 l pr. m^2 solfanger.

Varmeveksler spiraler mellem solfanger og lager

lagervolumen, m^3	1	2	3	4	5	6
spiralrør, dy/di mm	30/26	30/26	30/26	40/35	40/35	40/35
antal sektioner	1	3	3	3	4	4
rørlængde, m	19	27	53	80	107	128
rørmasse, kg	37	74	110	197	246	295

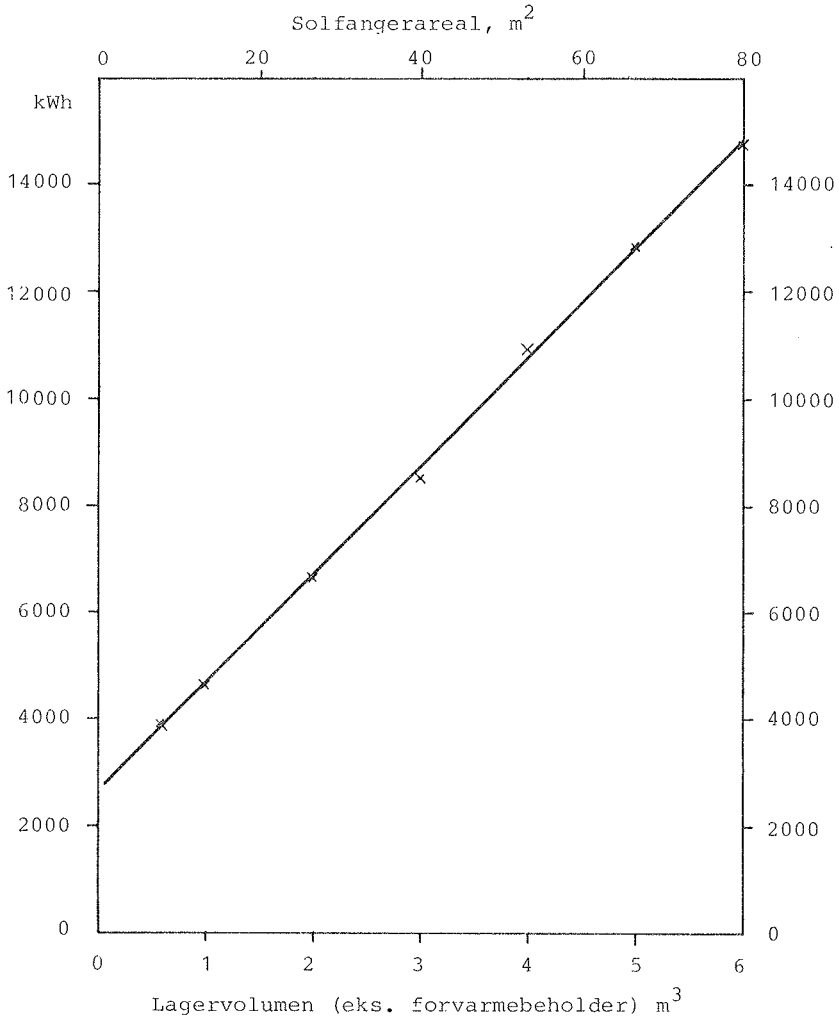
Tabel 6

Forvarmebeholderens volumen sættes til 200 l. Af figur 5 findes, at energiforbruget til beholder, isolering og varmeveksler er ca. 950 kWh. Hertil kommer de nødvendige rørforbindelser + det i afsnit 2.2 beregnede tillæg, hvorfor det skønnes, at en komplet monteret forvarmebeholder har et energiforbrug på 1200 kWh.

Når lagertanken isoleres med 15 cm mineraluld overalt, og der ses bort fra isoleringens evt. inddækning samt skønnes en pris på kr. 6000 + 3·volumenet i l (eksklusiv moms), fås de i bilag III beregnede energiforbrug for forskellige varmelagerstørrelser. Disse værdier er optegnet på figur 10 og som funktion af solfangerarealet A findes lagerets energiforbrug E_ℓ

$$E_\ell = 2610 + 152 \cdot A \quad kWh \quad (3.2.2.2)$$

Energiforbrug til fremstilling af varmelagre til rum- og brugsvandsanlæg incl. regulerings- og sikkerhedsudstyr.



Figur 10

3.3 Solfangerkredsen - rør og væske

Solfangerne forbindes med lageret ved hjælp af et rørsystem. Rørdimensionen varierer trinvis med solfangerarealet. Typisk anvendes stålrør med dimensioner og isoleringstykkelser som anført i tabel 7, hvor også energiforbruget pr. m rør er angivet.

Energiforbrug til rør og isolering i solfangerkredsen

Solfanger areal m^2	rørbetegnelse	isoleringstyk.mm	vægt kg/m		energiforbrug kWh/m		
			rør	isoler.	rør	isoler.	ialt
0-10	3/4"	30	1,65	0,21	15,5	1,1	16,6
10-30	1"	30	2,55	0,24	24,0	1,3	25,3
30-80	1 1/4"	40	3,28	0,41	30,8	2,2	33,0

Tabel 7

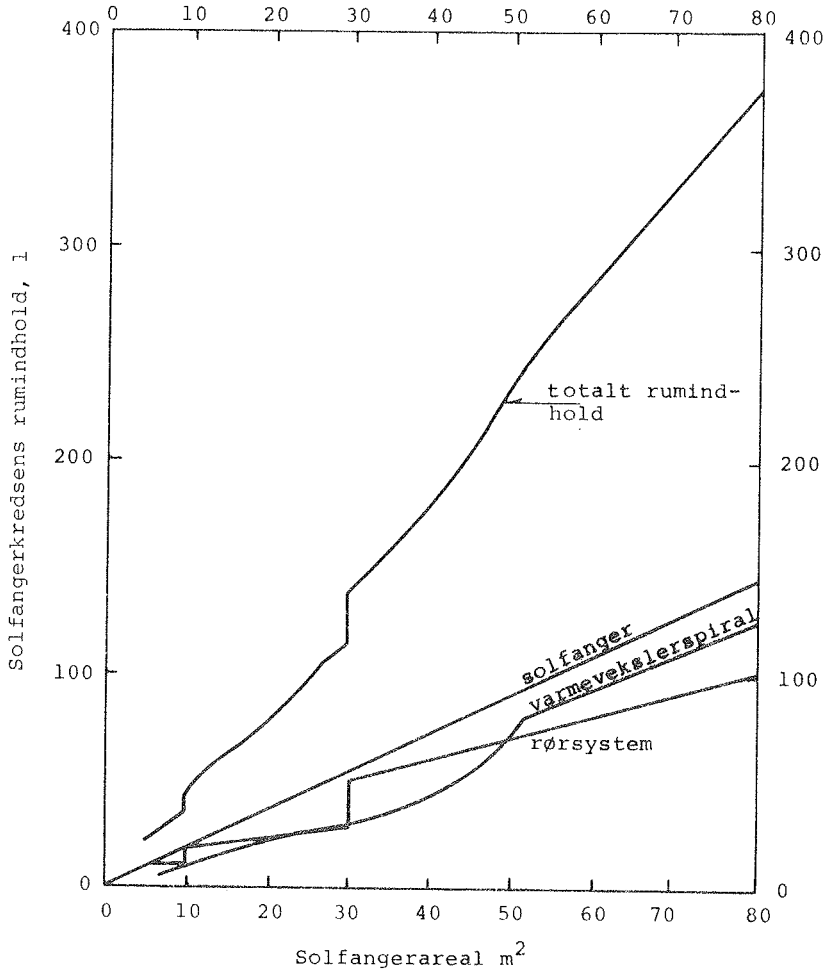
Med de tidligere beregnede varmevekslere og en gennemsnitssolfanger fås det på figur 11 viste totale rumindhold som funktion af solfangerarealet. Ved beregningen heraf er forudsat, at hvert solvarmeanlæg har en solfangerkreds, hvor rørlængden består af 20 m mellem lager og solfanger plus 1 m pr. m^2 solfanger.

Af hensyn til frostrisiko benyttes en frostsikker væske som varmetransporterende medium. Der er oftest tale om en vand/glykol blanding, hvor tilsætning af f.eks. 40% ethylenglykol sikrer mod frysning ned til -20° C. Tilnærmes kurven på figur 11 til 2 rette linier gældende for solfangerarealer på 0 - 10 m^2 og 10 - 80 m^2 og skønnes ethylenglykol at kræve et energiforbrug til fremstillignen på 10 kWh/l, fås de i tabel 8 anførte energiforbrug for rør og væske.

Solfangerkredsens energiforbrug

solfangerareal A	rør		væske		totalt
	længde	energiforbrug	volumen	energiforbrug	energiforbrug
m^2	m	kWh	l	kWh	kWh
0 - 10	20+A	332+17A	8+3 A	32+12A	364+29A
10 - 30	20+A	506+25A	4,5 A	18 A	506+43A
30 - 80	20+A	660+33A	4,5 A	18 A	660+51A

Tabel 8


Solfangerkredsens rumindhold, l
Solfangerareal m2
totalt rumind-
hold
solfanger
varmevekslerspiral
rørsystem
0
10
20
30
40
50
60
70
80
100
200
300
400

Figur 11

3.4 Solvarmeanlægs energiforbrug

Af de i afsnit 3.1 - 3.3 beregnede energiforbrug kan hele solvarmeanlægs energiforbrug til fremstilling nu findes ved simpel summation.Hertil skal dog lægges energiforbruget til montering og til inddækning af solfangerne. Det skønnes dog forsvarligt at se bort herfra, idet monteringen af solfangere uden på et eksisterende tag ikke kræver noget stort materialeforbrug, da inddækning ikke er nødvendigt. Solfangere monteret som en del af tagfladen kræver inddækning, men til gengæld spares den traditionelle tagbelægning. Denne har et energiforbrug der f.eks. for teglsten er ca. 45 kWh/m^2 og for eternit ca. 25 kWh/m^2. Disse værdier skønnes at være af samme størrelse som inddækningens energiforbrug og da solfangere ca. vejer det samme som teglbelægningen kræves ingen ændring af spærkonstruktionen.

Summeres de fundne energiforbrug fås de i tabel 9 og tabel 10 anførte værdier gældende for henholdsvis brugsvandsanlæg og rum- og brugsvandsanlæg.

Energiforbrug til fremstilling af brugsvandsanlæg

Solfangerareal A	m^2	0 - 10	10 - 20
Solfanger	kWh	507·A	507·A
Varmelager	kWh	1310+200·A	1310+200·A
Rør og væske	kWh	364+ 29·A	506+ 43·A
Ialt	kWh	1674+736 A	1816+750 A

Tabel 9

Energiforbrug til fremstilling af rum- og brugsvandsanlæg

Solfangerareal A	m^2	10 - 30	30 - 80
Solfanger	kWh	507·A	507·A
Varmelager	kWh	2610+152·A	2610+152·A
Rør og væske	kWh	506+ 43·A	660+ 51·A
Ialt	kWh	3116+702·A	3270+710·A

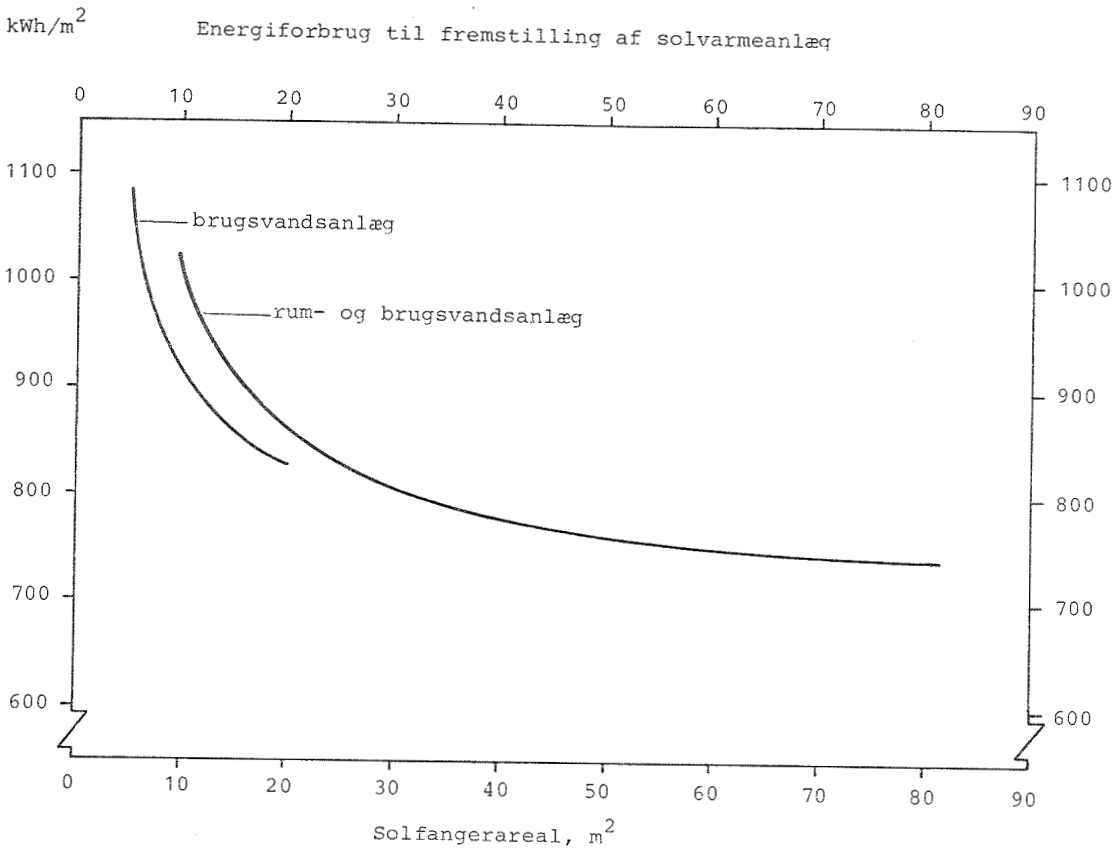
Tabel 10

De anførte værdier er tilnærmede gennemsnitsværdier og i praktiske udførelser vil der naturligvis forekomme afvigelser. Desuden er der visse steder benyttet skønnede størrelser, så opdelingen efter anlægsstørrelser bør ikke tages for mere end den er. Det synes derfor rimeligt kun at benytte een ligning for hver anlægstype, hvorfor der i det følgende anvendes

$$1740 + 740 \cdot A \quad kWh \qquad (3.4.1)$$

$$3190 + 710 \cdot A \quad kWh \qquad (3.4.2)$$

gældende for henholdsvis brugsvandsanlæg (solfangerareal 5-20 m^2, lagervolumen 50 l pr. m^2) og rum og brugsvandsanlæg (solfangerareal 10-80 m^2, lagervolumen 75 l pr. m^2), hvor A er solfangerens transparente areal. Udregnes energiforbruget pr. m^2 solfangerareal fås de på figur 12 optegnede værdier. Det ses heraf, at energiforbruget varierer mellem 1090 og 750 kWh/m^2, størst for små anlæg og lidt større for rum- og brugsvandsanlæg end for brugsvandsanlæg alene, hvilket hovedsageligt skyldes det lidt større lagervolumen.


kWh/m2
Energiforbrug til fremstilling af solvarmeanlæg
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
1100
1000
900
800
700
600
brugsvandsanlæg
rum- og brugsvandsanlæg
Solfangerareal, m2

Figur 12

4. Solvarmeanlægs energimæssige tilbagebetalingstid

Det er i forrige afsnit beregnet, hvor meget energi der kræves for at fremstille de i dag forekommende udførelser af solvarmeanlæg. Når et anlæg tages i drift, spares der brændsel. Når man kender den årlige brændselsfortrængning, kan man ved at dividere energiforbruget til fremstillingen med denne beregne anlæggets simple energimæssige tilbagebetalingstid. Denne regnestørrelse kan være af en vis interesse til vurderingen af anlæggets "godhed" samt evt. benyttes ved en energimæssig optimering af anlægsstørrelsen. Man må dog ikke alene basere vurderingen af solvarmeanlæg på tilbagebetalingstiden, idet ikke alle energiformer, som tidligere nævnt, er ligeværdige.

Hvor meget brændsel der spares på grund af solvarmeanlægget afhænger primært af anlæggets størrelse i relation til det årlige varmebehov samt af hvorledes dette behov dækkes.

Da hovedparten af de installerede solvarmeanlæg findes i forbindelse med enfamilehuse, der som regel er individuelt opvarmet af oliefyr, betragtes kun brændselsfortrængningen for denne type anlæg.

4.1 Oliefyret og dets brændeslsforbrug

Udgangspunkt for beregningerne er en moderne oliefyrsunit med en fyringsnyttevirkning på 0,85 og et effektivt varmetab, der ikke regnes at kunne nyttiggøres i sommmerhalvåret, på 350 W. Solvarmeanlæggets brændselsfortrængning vil i perioder, hvor oliefyret er i drift, således være den leverede ydelse divideret med fyringsnyttevirkningen. Denne værdi kaldes den marginale solfangerydelse.

Hvis oliefyret kan stoppes helt i en kortere eller længere periode, vil man yderligere spare kedelens varmetab samt elforbruget til oliefyrets drift. For en sommermåned er brændselsforbruget hertil angivet i tabel 11. Normalt indgår der en cirkulationspumpe i en oliefyrsunit, men denne regnes også at blive benyttet i solvarmesystemer med rumopvarmning, jvf figur 7. Denne cirkulationspumpe kan således stoppes, når der ikke er noget rumopvarmningsbehov, uanset om der er tilkoblet et solvarmeanlæg eller ej. Dens energiforbrug skal derfor ikke medtages i disse beregninger.

Oliefyrets brændselsforbrug en sommermåned

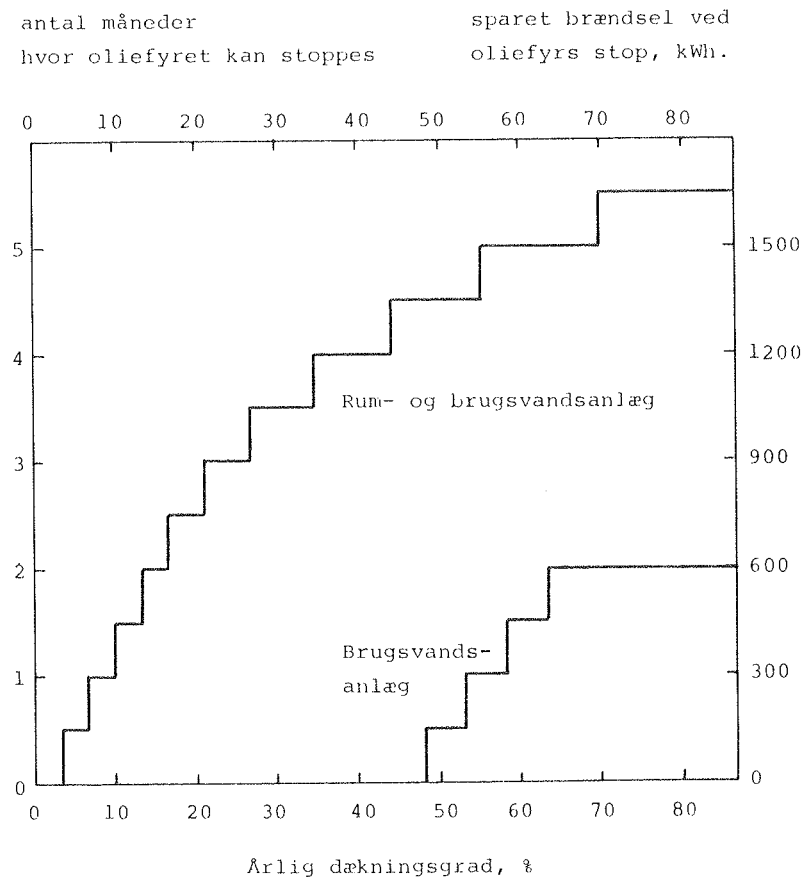
	effekt W	drifttid timer	nettoforbrug kWh	brændselsforbrug kWh
kedelens varmetab	350	720	252	296
oliepumpe, ventil o.lign.	120	30	4	10
ialt ca.				300

Tabel 11

I tabel 11 er drifttiden valgt lavest muligt, svarende til at der kun dækkes opvarmning af brugsvand og kedelens varmetab.

I perioder med større varmebehov vil drifttiden være større, men der er måske samtidig mulighed for at en del af kedelens varmetab kan medvirke til at dække rumvarmebehovet. Hvor vidt dette er tilfældet afhænger af kedelens placering. Det skønnes derfor rimeligt at bruge det fundne brændselsforbrug som værdi for brændselsbesparelsen for hver måned oliefyret kan stoppes i sommerhalvåret.

Af de edb-beregninger der danner grundlag for [6] er der optegnet de på figur 13 viste kurver over antal måneder om året, hvor solvarmeanlægget dækker varmebehovet 100% og oliefyret således kan standses. Her kan man som funktion af den årlige dækningsgrad også finde den tilsvarende årlige brændselsbesparelse. Da kurverne er tilnærmede,fordi de er lidt afhængige af forbruget, er der i det videre arbejde valgt kun at regne med halve måneder, som trappefunktionen viser. Endelig skønnes det for brugsvandsanlæg kun muligt at stoppe oliefyret i 2 mdr om året, da det i de øvrige skal dække rumvarmebehovet.


antal måneder
hvor oliefyret kan stoppes
sparet brændsel ved
oliefyrs stop, kWh.
0
10
20
30
40
50
60
70
80
1
2
3
4
5
300
600
900
1200
1500
Rum- og brugsvandsanlæg
Brugsvands-
anlæg
Årlig dækningsgrad, %

Figur 13

4.2 Solvarmeanlægs drift og ydelse

For at solvarmeanlægget kan fungere kræves der i de tidligere skitserede anlæg (figur 4 og 7) at der tilføres el til cirkulationspumperne. Pumpen i solfangerkredsen har en størrelse og et effektforbrug, der varierer med solfangerarealet. Dens drifttid og dens årlige brændselsforbrug er angivet i tabel 12. Pumpen mellem lagertanken og forvarmebeholderen skønnes at være i drift i ca. 20% af tiden, hvorved der findes de i tabellen anførte årlige brændselsforbrug til drift af solvarmeanlægget.

Årligt brændselsforbrug til drift af solvarmeanlæg

solfanger areal m^2	solfangerkredsens pumpe			brugsvandspumpe			totalt brænd. forbrug kWh
	effekt W	drifttid timer	nettoforbrug kWh	effekt W	drifttid timer	nettoforbr. kWh	
0-10	40	1200	48				140
10-25	70	1000	70	40	1600	64	390
25-50	130	1000	130	40	1600	64	560
50-80	200	1000	200	40	1600	64	770

Tabel 12

De årlige drifttider for solfangeren er fundet af de til [6] udførte edb-beregninger. Heri er der ligeledes angivet ligninger til beregning af forskellige systemers årlige ydelser. Disse ligninger benyttes i det følgende, idet ydelserne let fås, når det årlige varmebehov kendes.

I rumopvarmningssystemer regnes cirkulationspumpen til radiatorkredsen som nævnt at være den samme som oliefyrets, hvorfor energiforbruget til drift heraf ikke indgår. Endelig er der set bort fra energiforbruget til styresystemet, da dette er beskedent.

4.3 Brændselsfortrængning og tilbagebetalingstid

Solvarmeanlægs brændselsfortrængning beregnes nu som dets marginale ydelse plus sparet brændsel til oliefyret minus brændselsforbruget til driften.

For forskellige størrelser af anlæggene er der i bilag IV anført brændselsfortrængningen, idet der er benyttet en solfanger med effektivitetskurve, der er et gennemsnit af de på figur 3 optegnede. (Total effektivitetsfaktor F_R = 0,84). Ligeledes er der korrigeret for de i praksis fundne lidt mindre isoleringstykkelser, end der er forudsat ved opstilling af ligningerne i [6].

Der er for brugsvand valgt at beregne brændselsfortrængningerne for et årligt forbrug på henholdsvis 4000 og 2000 kWh svarende til et dagligt forbrug på ca. 240 og 120 l vand opvarmet fra 10 - 50°C. For disse forbrug er der i bilag V anført den energimæssige tilbagebetalingstid for udvalgte anlægsstørrelser, idet energiforbruget til fremstillingen beregnes efter ligning 3.4.1. På figur 14 er de fundne værdier optegnet, og det ses deraf, at minimum-tilbagebetalingstid, 3 til 4 år, findes for en anlægsstørrelse på omkring 8 m^2, ret uafhængig af forbruget.

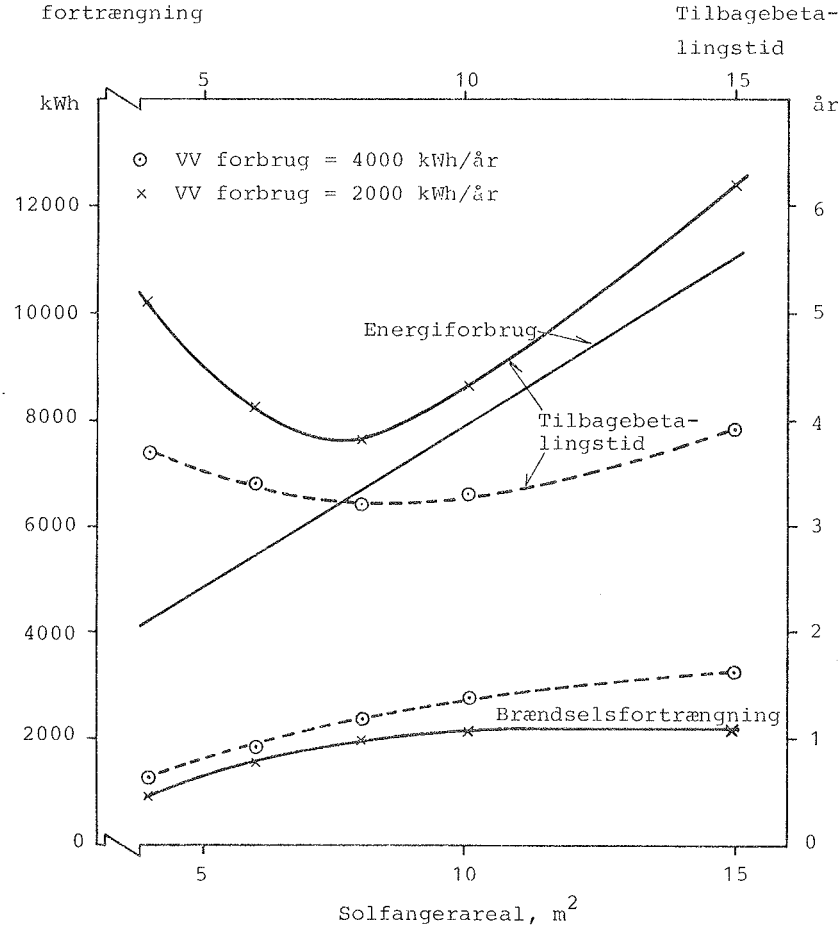
For rum- og brugsvandsanlæg er de tilsvarende beregninger udført med et årligt nettovarmebehov på henholdsvis 26500 kWh (≈ 23 Gcal) og 17500 (≈ 15 Gcal) svarende til et almindeligt hus bygget før 1977 og et hus bygget efter bygningsrelementet BR 77. Disse varmebehov er de samme, som er anvendt ved udarbejdelsen af varmeplanudvalgets varmeatlas for Danmark [7].

Beregningsresultaterne er anført i bilag V samt optegnet på figur 15.

Igen ses at minimum tilbagebetalingstid, godt 3 år, er ret uafhængig af forbruget. Desuden ses, at kurverne er ret flade, således at f.eks. en fordobling af anlægsstørrelsen fra de optimale 20 - 40 m^2 solfanger kun øger tilbagebetalingstiden med ½ til 1 år.

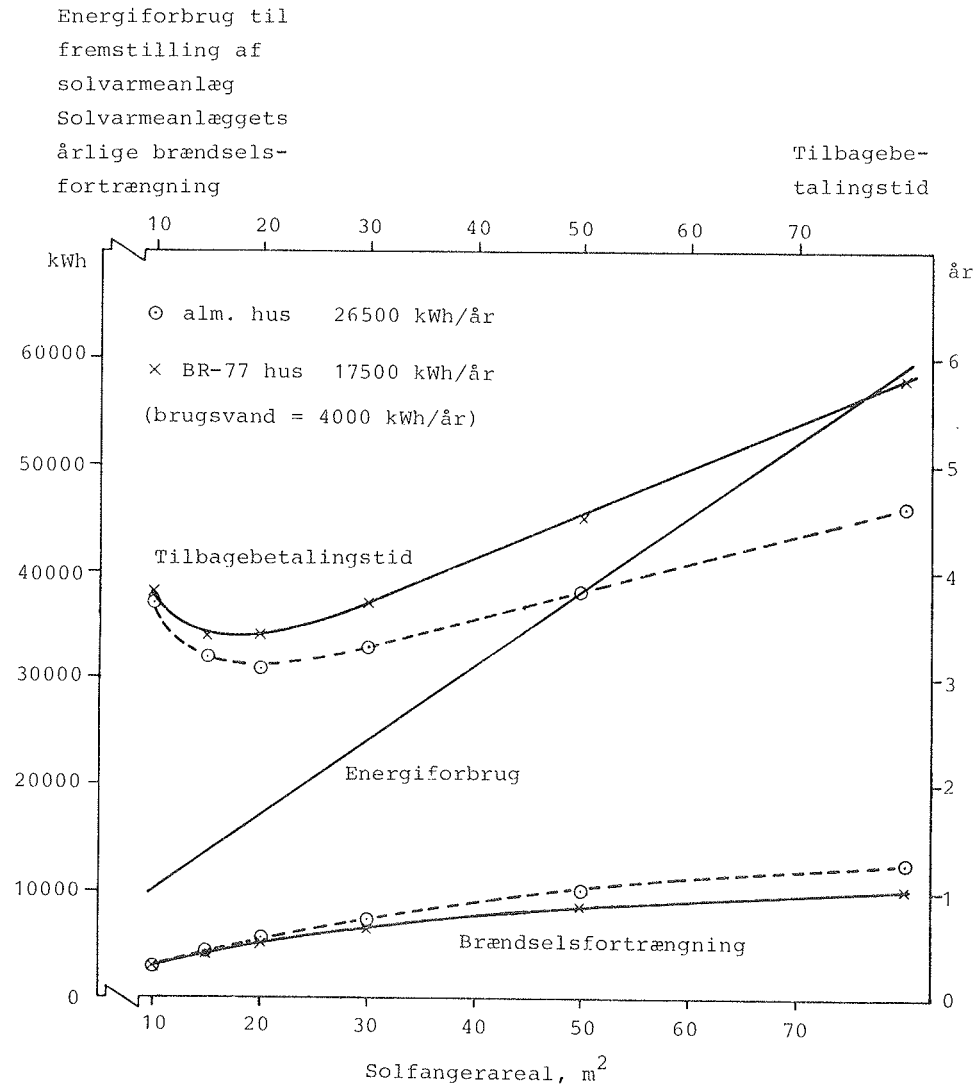
Brugsvandsanlæg

Energiforbrug til fremstilling af solvarmeanlæg. Solvarmeanlæggets årlige brændselsfortrængning



Figur 14

Rum- og brugsvandsanlæg



Figur 15

5. Alternative udformninger af solvarmeanlæg

Såvel solfanger som varmelager kan udformes anderledes og langt mindre energikrævende end beskrevet i det forgående. Her skal blot nævnes et par enkelte udformninger, som kan nedsætte energiforbruget til fremstillingen af solvarmesystemer.

Solfangerens absorber kan udformes af plastmateriale, f.eks. polycarbonat, hvor absorbervægten kan være 3-4 kg/m^2 svarende til et energiforbrug til absorberen skønsmæssigt på 65-90 kWh/m^2, altså en væsentlig energibesparelse i forhold til de sædvanlige metalabsorbere.

De energikrævende solfangerrammer kan undværes og solfangeren kan erstatte tagdækningen hvis solfangerens bestanddele monteres enkeltvis. Eksempelvis kan man som absorber benytte et radiatorpanel og aluminiumsprofiler med en vægt pr. længdeenhed på 0,77 kg/m til montering af et glaslag. Endvidere antages en spændvidde på 60 cm.Af tabel 13 ses solfangerens energiforbrug. Ved denne udformning opnås en energibesparelse på ca. 130 kWh/m^2 i forhold til den tidligere benyttede gennemsnitssolfanger.

Energiforbrug til solfanger monteret direkte i tagfladen

Materiale	4 mm glaslag	alumin. profil	stål-absorber-plade	5 cm mineraluld	tætning ved kanter (skøn)	sum	sparet tagbeklædning	I alt
vægt pr. arealenhed kg/m^2	10.4	1.3	17.4	2.0				
energiforbrug pr. arealenhed kWh/m^2	54	85	164	11	25	339	35	304

Tabel 13

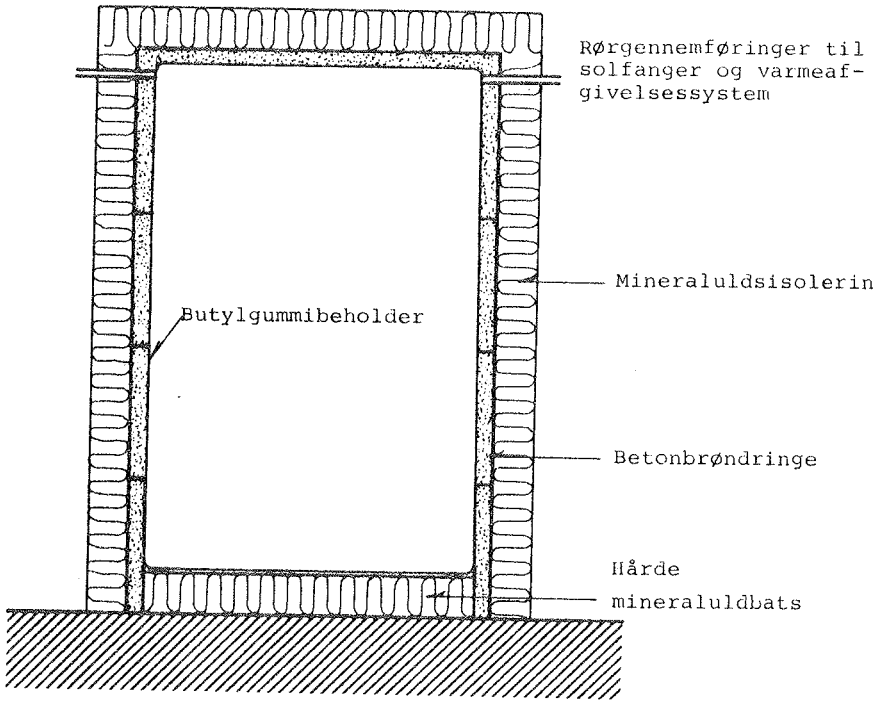
Varmelageret kan ligeledes udformes således, at energiforbruget til fremstillingen formindskes. Varmelagervolumenet, som i det foregående er sat til 50 og 75 l/m^2 solfanger for hhv brugsvandsanlæg og anlæg til rumopvarmning og brugsvandsopvarmning, kan for eksempel reduceres uden at ydeevnen falder væsentligt.

Ved ændret beholdermaterialeudvalg kan energiforbruget også nedsættes væsentligt. For de store systemer kunne den trykløse lagertank f.eks. bestå af en 1,5 mm butylgummitank som støttes af betonbrøndringe med 5 cm tykkelse og så lille en højde, at lageret uden besvær kan passere en dør og monteres på stedet. Figur 16 viser princippet for en sådan lagertank mens materiale- og energi-forbrug til et sådant lager ses af tabel 14. Lageret antages at være cylinderformet med højden lig den dobbelte diameter. Isoleringstykkelsen er sat til 15 cm. Sammenlignes energiforbrugene med de i bilag III angivne, ses det, at betydelige energibesparelser opnås ved denne lagerudformning.

Materiale- og energiforbrug til butylgummivarmelager

volumen l	butylgummi kg kWh	beton kg kWh	mineraluld kg kWh	sum kg kWh
600	7 127	492 280	40 212	539 619
1000	10 181	674 384	52 276	736 841
2000	16 290	1061 605	77 408	1154 1303
3000	21 380	1383 788	97 514	1501 1682
4000	25 453	1670 952	114 604	1809 2009
5000	29 525	1920 1094	130 689	2079 2308
6000	33 597	2158 1230	145 769	2336 2596

Tabel 14



Lagerudformning, hvor en butylgummitank benyttes som beholdermateriale.

Figur 16

5.1 Ændrede energiforbrug til materialefremstilling

De i denne rapport benyttede energiforbrug til materialefremstilling er dem, der i dag findes typiske for det danske materialeforbrug. I forbindelse med fremstillingsprocesserne forekommer der som regel store varmetab, der ikke udnyttes. Hvis disse i højere grad udnyttes, f.eks. på grund af stigende energipriser, vil energiforbruget til materialefremstillingen blive reduceret uden at fremstillingsprocessen ændres. Ændres denne til mindre energiforbrugende,kan materialernes skjulte energiindhold yderligere reduceres.

I [1] er det for nogle af materialerne undersøgt, hvor meget energiforbruget kan reduceres blot ved at udnytte varmetabene ved fremstillingsprocessen eller benytte en anden kendt proces. Endelig er det teoretiske, minimale energiforbrug beregnet ud fra de nødvendige entalpiændringer. For 3 materialer er disse energiforbrug anført i tabel 15, og tilsvarende værdier kan findes for de øvrige materialer.

Ændrede energiforbrug til materialefremstilling.

materiale	aktuelle energiforbrug kWh/kg	minimale energiforbrug kWh/kg	teoretisk minimum kWh/kg
valset stål	8,4	3,7	1,3
glas	5,2	2,3	0,6
mineraluld	5,3	2,3	0,7

Tabel 15

6. Konklusion

På grundlag af det i dag benyttede energiforbrug til materialefremstilling, er forskellige eksisterende solvarmeanlægs energiforbrug beregnet. Benyttes gennemsnitsudformning af solfangere og varmelagre, findes at energiforbruget varierer fra 1100 kWh/m^2 til godt 700 kWh/m^2, størst for de mindste anlæg.

Solvarmeanlæggenes energimæssige tilbagebetalingstid dvs energiforbruget til fremstillingen i forhold til den forventede årlige brændselsfortrængning, varierer mellem 3 og 4½ år i afhængighed af størrelse og varmeforbrug.

Undersøgelsen har vist, at der er nogen variation i energiforbruget fra fabrikat til fabrikat, så i praksis vil der både forekomme anlæg med mindre energiforbrug og kortere tilbagebetalingtid og anlæg med større energiforbrug og længere tilbagebetalingstid.

Tilbagebetalingstiden kan dog ikke alene bruges til vurdering af solvarmeanlægs "godhed", da forskellige energiformer ikke er "ligeværdige" og derfor ikke direkte sammenlignelige. Er det f.eks. "bedre" for landet at købe stål til solfangere fremstillet ved hjælp af kul og derved spare import af olie i en årrække end blot at købe kullene og benytte dem som brændsel? For at svare herpå kræves en større analyse, hvor der nødvendigvis må foretages visse politiske vurderinger.

Endelig har undersøgelsen vist, at der i fremtiden er gode muligheder for at reducere energiforbruget ved en ændret anlægsudformning eller ved hjælp af mere energibesparende fremstillingsprocesser.

7. Referencer

[1] Andersen, Sigurd
Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af byggematerialer
Instituttet for Husbygning,Danmarks Tekniske Højskole
Rapport nr. 134, december 1979.

[2] Klokhøj, S. et al.
Kortlægning af erhverslivets energiforbrug
Dansk Kedelforening, 1976

[3] Kristensen, P.E. et al.
Rapport vedrørende prøvning af solfangere. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole
Meddelelse nr. 74, januar 1978

[4] Nielsen, C. et al.
Rapport vedrørende prøvning af solfangere .
Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole
Meddelelse nr. 86, august 1979.

[5] Solvarme - vejledning i projektering og udførelse af anlæg
Teknologisk Instituts Forlag, April 1978

[6] Jørgensen, L.S. & Lawaetz, H
Dimensionering af solvarmeanlæg
Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole
Meddelelse nr. 71, november 1977

[7] Varmeforsyningsplanlægning og områdeafgrænsning
Bilag til handelsministeriets energipolitiske redegørelse ER 79.
Handelsministeriets Varmeplanudvalg, marts 1979.

areal	m^2
brutto	2,15
transparent	1,91

	enhed	pr. modul	pr. m^2
vægt	kg	77	40
rumindhold	1	2,3	1,2

	materiale	vægt	energiforbrug	
		kg	kWh	kWh/m^2
dæklag	glas	20,8	108	57
absorber	aluminium stål	9,5 8,0	620 75	364
isolering	mineraluld	5,7	30	16
ramme	træ asbest cement stål	9,8 13,3 7,1	16 32 67	81
diverse	fugemasse, skruer o.lign.	2,0	40	
sum		76,2	986	516

areal	m^2
brutto	1,86
transparent	1,69

	enhed	pr. modul	pr. m^2
vægt	kg	62	37
rumindhold	1	6,0	3,6

	materiale	vægt	energiforbrug	
		kg	kWh	kWh/m^2
dæklag	glas	18,7	97	58
absorber	dobbelt stålpl.	27,8	261	155
isolering	mineraluld polystyrol	2,7 0,2	14 4	11
ramme	stålplade	10,3	97	81
diverse	fugemasse, skruer o.lign	2,0	40	
sum		61,7	513	304

areal	m^2
brutto	2,09
transparent	1,93

	enhed	pr. modul	pr. m^2
vægt	kg	72	37
rumindhold	1	5,5	2,8

	materiale	vægt	energiforbrug	
		kg	kWh	kWh/m^2
dæklag	glas	20,8	108	56
absorber	dobbelt stålpl.	26,8	252	131
isolering	polyurethan	2,7	52	27
ramme	stålplade	19,2	180	114
diverse	fugemasse, skruer o.lign	2,0	40	
sum		71,5	632	327

areal	m^2
brutto	2,01
transparent	1,82

	enhed	pr. modul	pr. m^2
vægt	kg	48	26
rumindhold	1	1,1	0,6

	materiale	vægt	energiforbrug	
		kg	kWh	kWh/m^2
dæklag	glas	24,7	128	71
absorber	aluminium (roll bond)	7,4	483	266
isolering	polyurethan	2,8	53	29
ramme	aluminium	4,1	268	169
diverse	fugemasse, skruer o.lign.	2,0	40	
sum		41,0	972	535

areal	m^2
brutto	1,44
transparent	1,26

	enhed	pr. modul	pr. m^2
vægt	kg	34	27
rumindhold	l	1,4	1,1

	materiale	vægt	energiforbrug	
		kg	kWh	kWh/m^2
dæklag	glas	14,0	73	58
absorber	aluminium (plade-rør)	3,6	235	187
isolering	rockwool	2,3	12	10
ramme	stålplade	4,7	44	
	træfiberplade	5,4	23	
	aluminium	1,1	72	142
diverse	fugemasse, skruer o.lign.	2,0	40	
sum		33,1	499	396

areal	m^2
brutto	2,10
transparent	1,87

	enhed	pr. modul	pr. m^2
vægt	kg	53	27
rumindhold	1	4,3	2,3

	materiale	vægt	energiforbrug	
		kg	kWh	kWh/m^2
dæklag	glas	15,6	81	43
absorber	aluminiumsribber kobberrør	11,1 9,9	725 193	491
isolering	polyurethan	3,4	65	35
ramme	stålplade	9,4	88	69
diverse	fugemasse, skruer o.lign	2,0	40	
sum		51,4	1192	637

areal	m^2
brutto	1,17
transparent	1,00

	enhed	pr. modul	pr. m^2
vægt	kg	35	35
rumindhold	1	0,9	0,9

	materiale	vægt	energiforbrug	
		kg	kWh	kWh/m^2
dæklag	glas	7,8	41	41
absorber	stål (plade-rør)	15,8	149	149
isolering	polyurethan	1,7	32	32
ramme	stålplade	7,1	67	107
diverse	fugemasse, skruer o.lign.	2,0	40	
sum		34,4	329	329

Bestanddele og energiforbrug til forskellige lagerunits på markedet

Volumen ℓ	Beholder materiale masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh	Isolering materiale masse, kg fremstill. energiforbrug kWh	Varmeveksl. spiral materiale masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh	Kabinet materiale masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh	stativ materiale masse, kg fremstill. energiforbrug kWh	pumpe materiale masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh	Ekspansionsbeholder, ventiler, følere, etc. masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh	SUM masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh
100	stål 43 404	mineraluld 10 53	stål 12 113	stål 26 244	stål 14 132	rustfrit stål 4 200	6 175	115 1321
200	stål 71 667	mineraluld 10 53	stål 19 179	stål 33 310	stål 16 150	rustfrit stål 4 200	6 175	159 1734
200	stål 80 752	polyurethan 3 57	stål+kobber 9+3 = 12 85+59=144	stål 27 254	stål 6 56	rustfrit stål* 4 200	* 5 146	137 1609
300	stål 95 893	mineraluld 19 101	stål 20 183	stål 48 451	stål 20 188	rustfrit stål 4 200	6 175	212 2196

* I lageruniten indgår denne bestanddel ikke. Alligevel er bestanddelene medtaget i skemaet for overskuelighedens sk

Bilag II - 1

Bestanddele og energiforbrug til forskelige lagerunits på markedet

Volumen ℓ	Beholder materiale masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh	Isolering materiale masse, kg fremstill. energiforbrug kWh	Varmeveksl. spiral materiale masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh	Kabinet materiale masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh	stativ materiale masse, kg fremstill. energiforbrug kWh	pumpe materiale masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh	Ekspansionsbeholder, ventiler, følere, etc. masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh	SUM masse, kg fremstill. energiforbrug, kWh
300	stål 98 921	polyurethan 4 76	stål+kobber 14+4 = 18 132+78=210	stål 32 301	stål 6 56	rustfrit stål* 4 200	* 5 146	 167 1910
400	stål 111 1034	mineraluld 18 95	stål 21 197	stål 49 461	stål 21 197	rustfrit stål 4 200	6 175	230 2359

* I lagerunitten indgår denne bestanddel ikke. Alligevel er bestanddelene medtaget i skemaet for overskuelighedens skyld.

Volumen l	Vægt kg	pris * kr.	Energiforbrug, kWh materiale	Direkte og tilh.	transport	ialt ca.
100	115	5500	1321	391	7	1719
200	159	6000	1734	426	10	2170
200	137	6000	1609	426	8	2043
300	212	6500	2196	462	13	2671
300	167	6500	1910	462	10	2382
400	230	7000	2359	497	14	2870

* Skønnet pris = 5000 + 5 · volumenet i l.

Volumen ℓ	stålbeholder masse, kg energiforbrug, kWh	Mineraluldsisolering masse,kg energiforbrug, kWh	stålvarmevekssler spiral masse, kg energiforbrug, kWh	stålekspansionsbeholder masse, kg energiforbrug, kWh	2 pumper masse, kg energiforbrug, kWh	trykekspansionsbeh. ventiler, følere, etc masse, kg energiforbr. kWh	200 l forvarmebeholder masse, kg energiforbrug, kWh	SUM masse, kg energiforbrug, kWh
600	96 902	44 233	22 207	13 122	8 400	8 233	105 1200	296 3297
1000	141 1325	58 307	37 348	17 160	8 400	8 233	105 1200	374 3973
2000	253 2378	87 461	74 696	29 273	9 450	10 291	105 1200	567 5749
3000	365 3431	110 583	110 1034	38 357	9 450	12 350	105 1200	749 7405
4000	477 4484	130 689	197 1852	45 423	19 547	14 408	105 1200	987 9603
5000	589 5537	149 790	246 2312	50 470	19 547	14 408	105 1200	1172 11264
6000	701 6589	166 880	295 2733	54 507	19 547	16 466	105 1200	1356 12922

Masse og energiforbrug til fremstilling af lagersystemer.

Volumen l	Vægt kg	* pris kr.	Energiforbrug, kWh materiale	Direkte og tilh.	transport	ialt
600	296	7800	3297	554	18	3869
1000	374	9000	3973	639	22	4634
2000	567	12000	5749	852	34	6635
3000	749	15000	7405	1065	45	8515
4000	987	18000	9603	1278	59	10940
5000	1172	21000	11264	1491	70	12825
6000	1356	24000	12922	1704	81	14707

* Skønnet pris = 6000 + 3·volumenet i l

Brugs-vandsforbrug	solfanger areal	solfanger-1) ydelse marginalt	sparet brændsel fra oliefyr	drift af solfanger	Brændsels- 2) fortrængning
kWh/år	m^2	kWh/år	kWh/år	kWh/år	kWh/år
4000	4	1410	0	140	1270
	6	1980	0	140	1840
	8	2350	150	140	2360
	10	2610	300	140	2770
	15	3060	600	390	3270
2000	4	1060	0	140	920
	6	1360	300	140	1520
	8	1530	600	140	1990
	10	1670	600	140	2130
	15	1860	600	390	2070

1) marginal solfangerydelse = nettoydelse/0,85

2) brændselsfortrængning = marginal solfangerydelse + sparet brændsel fra oliefyr ÷ brændselsforbrug til drift af solfanger

netto energi-forbrug	solfanger areal	solfanger-1) ydelse marginalt	sparet brændsel fra oliefyr	drift af solfanger	Brændsels- 2) fortræng-ning
kWh/år	m^2	kWh/år	kWh/år	kWh/år	kWh/år
	10	2590	300	140	2750
	15	4120	600	390	4330
26500	20	5180	750	390	5540
Alm.hus	30	7060	900	560	7400
(VV=4000)	50	9650	1050	560	10140
	80	12350	1200	770	12780
	10	2350	450	140	2660
	15	3650	750	390	4010
17500	20	4590	900	390	5100
BR-77 hus	30	6000	1050	560	6490
(VV=4000)	50	7760	1200	560	8400
	80	9650	1350	770	10230

1) marginal solfangerydelse = nettoydelse/0,85

2) brændselsfortrængning = marginal solfangerydelse + sparet brændsel fra oliefyr ÷ brændselsforbrug til drift af solfanger

Brugsvandsanlæg

Solvarmeanlæg		Årligt varmsvandsforbrug			
		4000 kWh		2000 kWh	
Solfanger-areal m^2	Energiforbrug kWh	Brændsels-fortrængning	Tilbagebetalingstid år	Brændsels-fortrængning,kWh	Tilbagebetalingstid år
4	4700	1270	3,7	920	5,1
6	6180	1840	3,4	1520	4,1
8	7660	2360	3,2	1990	3,8
10	9140	2770	3,3	2130	4,3
15	12840	3270	3,9	2070	6,2

Rum- og brugsvandsanlæg

Solvarmeanlæg		Alm. hus		BR-77 hus	
solfanger m^2	energiforbrug kWh	Brændsels-fortrængning kWh	tilbagebetalingstid år	Brændsels-fortrængning kWh	tilbagebetalingstid år
10	10170	2750	3,7	2660	3,8
15	13670	4330	3,2	4010	3,4
20	17170	5540	3,1	5100	3,4
30	24170	7400	3,3	6490	3,7
50	38170	10140	3,8	8400	4,5
80	59170	12780	4,6	10230	5,8