

EKSEMPEL PÅ DIMENSIONERING AF ET SOLVARMESYSTEM TIL VARMT BRUGSVAND

AF

HENRIK LAWÆTZ

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



MAJ 1977

MEDDELELSE NR. 62

1. Indledning.

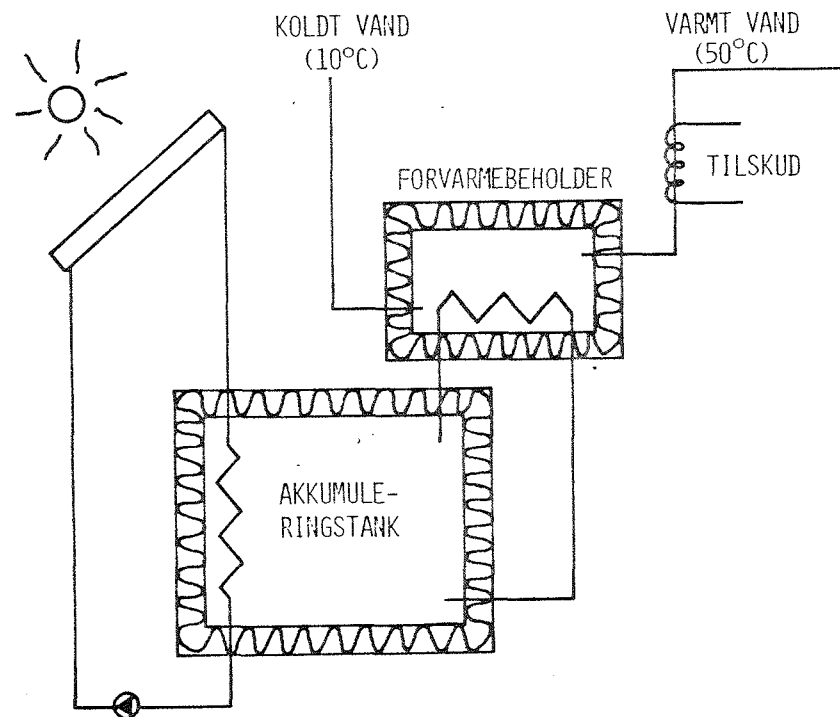
Formålet med de her foretagne beregninger er at vise, hvad man under givne forudsætninger kan forvente at få af energi fra et solvarmesystem til varmt brugsvand. Som klimadata er benyttet Referenceåret [1], og derfor må de absolutte værdier af udbyttet tages med et vist forbehold, specielt i vinterhalvåret. Beregningerne kan dog give et ganske godt indtryk af, hvorledes udbyttet ændrer sig som funktion af solfangerorientering og varmtvandsforbrug. Endelig er der på grundlag af beregningsresultaterne opstillet en simpel dimensioneringsmetode og vist et eksempel på, hvorledes den kan benyttes til økonomisk optimering af anlægsstørrelsen.

2. Solvarmesystemet.

Et solvarmesystem kan udformes på mange måder. Det her benyttede, der er skitseret på fig. 1, er derfor kun et enkelt eksempel på, hvorledes det i princippet kan udføres. Det består af en solfanger, der via en varmeveksler afgiver den absorberede solenergi til en vandfyldt akkumuleringskøle.

Det kolde brugsvand rekrues at komme med en temperatur på 10°C ind i en forvarmebeholder. Her bliver det ved hjælp af en varmeveksler opvarmet til akkumuleringskøles temperatur, inden det fortsætter til tapstedet. Hvis det ikke her har opnået den ønskede brugstemperatur på 50°C , fås denne ved på en eller anden ikke nærmere specificeret måde at tilføre supplerende energi. I praksis må man desuden også sikre sig imod, at temperaturen bliver så høj, at der opstår fare for skoldning.

Systemet er udformet på den skitserede måde, hovedsagelig af hensyn til beregningerne, idet forvarmebeholderen virker som en god "varmeveksler" forstået på den måde, at man her er sikker på, at vandet ved gennemløb af denne får tanktemperaturen uanset strømningshastigheden. Dette ville man ikke være, hvis man lod det kolde brugsvand løbe igennem en eller anden varmeveksler inde i selve tanken, idet opvarmningen



VARMT BRUGSVANDSSYSTEM
PRINCIPSKITSE

Fig. 1

foruden af varmevekslerens areal også ville afhænge af strømningshastigheden.

I praksis kunne forvarmebeholderen f.eks. være en traditionel varmtvandsbeholder, og tilskudsvarmen kunne tilføres af en lille elektrisk vandvarmer i umiddelbar nærhed af tapstedet.

En lidt ændret udførelse vil være at lade akkumuleringsstanken være forvarmebeholder, dvs. det kolde brugsvand først løber ind i denne og siden får tilført evt. tilskudsvarme f.eks. fra et oliefyr i en traditionel varmtvandsbeholder. Denne løsning synes velegnet til sammenkobling med et eksisterende varmeanlæg.

3. Beregningsforudsætninger.

Solvarmesystemet gennemregnes hver time igennem Referenceåret. Indenfor hver enkelt time regnes med stationære forhold, dvs. at f.eks. den beregnede øjeblikkelige ydelse af solfangeren antages at gælde for hele timen.

Solfangeren består af en ikke selektiv sortmalet kølekanalflade som absorlator med 1 dæklag af glas og på bagsiden isoleret med mineraluld.

De benyttede formler for beregning af solfangeren findes nærmere beskrevet i [2], mens solindfaldet beregnes på samme måde som anført i [3]. Vandgennemstrømningen i solfangeren er sat til 1 l/min m², og der regnes ikke med varmetab i rørføringer mellem solfanger og tank.

Akkumuleringsstanken regnes at være cirkulærcylindrisk med længde lig diameter. Den er isoleret med 20 cm mineraluld og placeret i et rum med konstant temperatur på 17° C. Ved beregningerne sættes tanktemperaturen til samme værdi overalt, dvs. der ses bort fra en evt. temperaturvariation mellem top og bund. Ligeledes regnes tilgangstemperaturen til solfangeren at være lig tanktemperaturen, dvs. varmeveksleren regnes at have en effektivitet på 1.

Endelig ses der bort fra varmetab fra forvarmebeholderen og ved varmeoverførslen til denne.

Varmtvandsforbruget regnes at være ens hver dag, og der benyttes den fra fig. 2 viste variation indenfor hvert enkelt døgn.

4. Beregningsresultater.

Der skal her kort omtales de vigtigste resultater af en række beregninger. Disse er alle gjort med en fastholdt solfangerstørrelse på 10 m^2 absorberareal, en akkumulerings-tank på 500 l og en forvarmebeholder på 200 l. Dvs. at man ialt har et akkumuleringsvolumen på 700 l.

På fig. 3 er vist den årlige dækningsgrad som funktion af solfangerhældning og varmvandsforbrug. Det ses, at maximal dækningsgrad fås for hældninger omkring 60 grader fra vandret. Desuden findes naturligt nok, at alt andet lige fås en større dækningsgrad jo mindre forbruget er. Denne forskel er dog ikke så stor, at det også medfører, at systemets ydelser i kWh også bliver større, idet den største ydelse forekommer ved det største forbrug. Dette fremgår af nogle af beregningsresultaterne anført i tabel 1.

For fastholdt varmtvandsforbrug på 300 l/døgn er der for 3 hældninger vist den månedlige dækningsgrad på fig. 4. Det fremgår heraf, at for alle hældninger er dækningsgraden og dermed ydelsen større om sommeren end om vinteren. Denne variation er størst for en vandret og mindst for en lodret solfanger.

På fig. 5 er den årlige dækningsgrad som funktion af solfangerens hældning og orientering vist for et fastholdt varmtvandsforbrug. Det fremgår heraf, at en retningsorientering op til 45 grader fra syd ikke har den store indflydelse på årsbasis, hvorimod en ren øst/vest orientering nedsætter udbyttet en del.

For en lodret solfanger er på fig. 6 vist dækningsgradens variation gennem året for 3 orienteringer. Man finder her, at

VARMTVANDSFORBRUGET RELATIV FORDELING

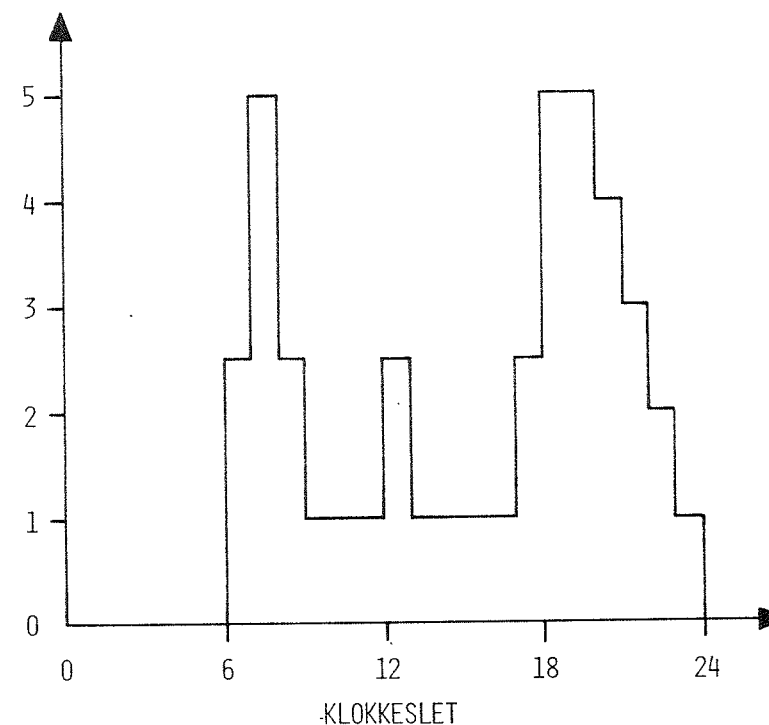
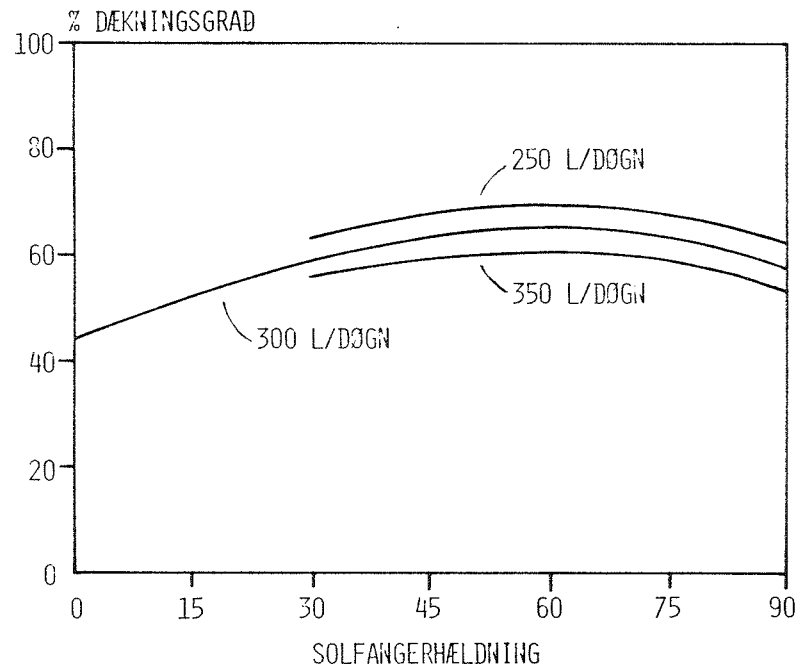


Fig. 2

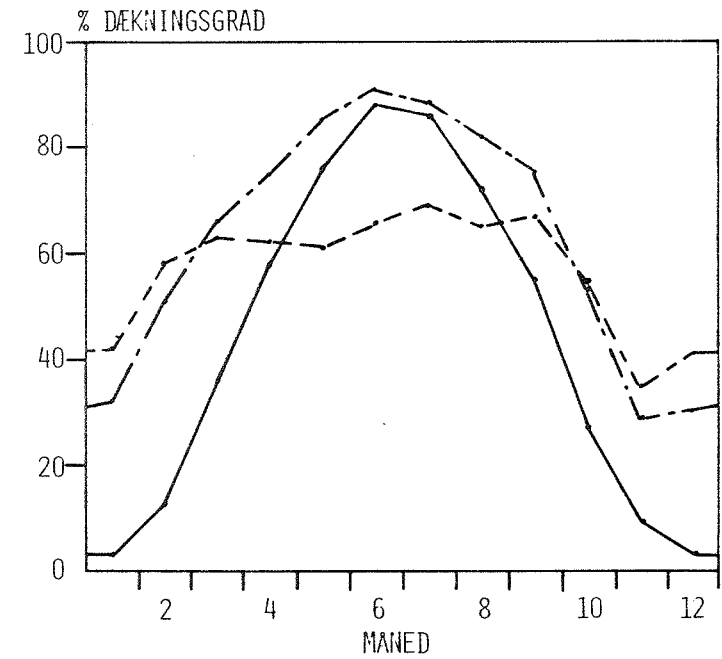
SOLFANGER: 1 DÆKLAGE, AREAL = 10 M², SYDVENDT
TANK: 500 L, ISOLERINGSTYKKELSE = 20 CM



VARMTVANDSFORBRUG VED 10 - 50°C

Fig. 3

SOLFANGER: 1 DÆKLAGE, AREAL = 10 M², SYDVENDT
TANK : 500 L, ISOLERINGSTYKKELSE = 20 CM
VARMTVANDSFORBRUG: 300 L/DØGN ≈ 5000 KWH/AR



	HÆLDNING, GR.	ÅRSGNS. %
—	0	44
- - -	45	63
— · — ·	90	57

Fig. 4

SOLFANGER: 1 DÆKLAGE, AREAL = 10 M²,
 TANK: 500 L, ISOLERINGSTYKKELSE = 20 CM
 VARMTVANDSFORBRUG = 300 L/DØGN, 10 - 50°C

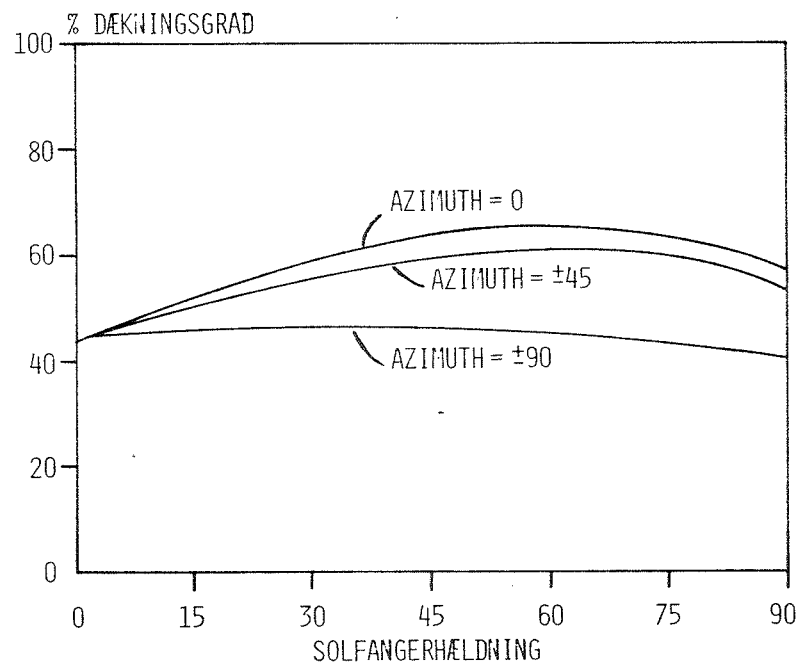
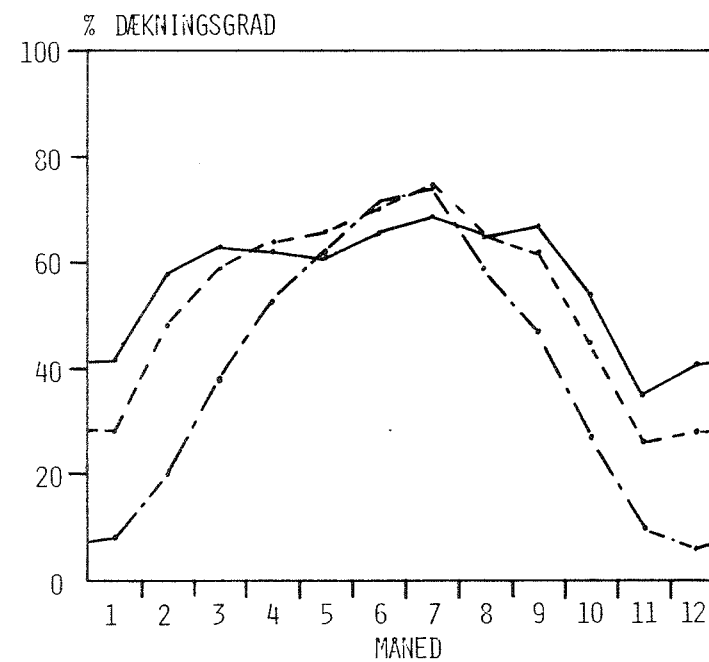


Fig. 5

SOLFANGER: 1 DÆKLAGE, AREAL = 10 M²
 HÆLDNING = 90 GR.
 TANK: 500 L, ISOLERINGSTYKKELSE = 20 CM
 VARMTVANDSFORBRUG: 300 L/DØGN ≈ 5000 KWH/AR



	AZIMUTH, GR.	ÅRSGNS. %
—	0	57
- - -	45	53
- . - .	90	40

Fig. 6

at om sommeren, dvs. fra maj til august, er der ikke ret stor forskel i udbyttet, men dette er dog mindst mod syd, hvorimod det omvendte er tilfældet om vinteren.

Af fig. 4 fremgik det, at selv om sommeren opnåede man ikke 100% dækning af varmtvandsforbruget. Dette betyder dog ikke, at dette ikke sker i perioder, og på fig. 7 er vist for en sydvendt solfanger med en hældning på 45 grader og et varmtvandsforbrug på 300 l/døgn, dels hvorledes dækningsgraden og dels hvorledes tanktemperaturen varierer igennem juli måned.

For dette system er der i tabel 2 anført yderligere beregningsresultater for hver måned i året med et varmtvandsforbrug på 300 l/døgn.

Variere dette forbrug fås på årsbasis de i tabel 3 anførte værdier, og heraf er dækningsgraden optegnet som funktion af forbruget på fig. 8. Det må her stadig huskes, at selvom dækningsgraden falder med stigende forbrug, så stiger solvarmesystemets ydelse.

Endelig er indflydelsen af akkumuleringsstankens størrelse på systemets ydelse undersøgt. Resultaterne er anført i tabel 4. Det ses heraf, at gevinsten ved at gøre tanken stor er minimal. Det må dog huskes, at beregningerne er foretaget med det på fig. 2 viste forbrugsmønster, og dette kan have nogen indflydelse på resultatet. Desuden findes, at et større tankvolumen giver lidt lavere dækningsgrad om vinteren, men til gengæld er den lidt højere om sommeren sammenlignet med et mindre volumen. Forskellen er dog ret ringe og mindre end 5% på månedsbasis.

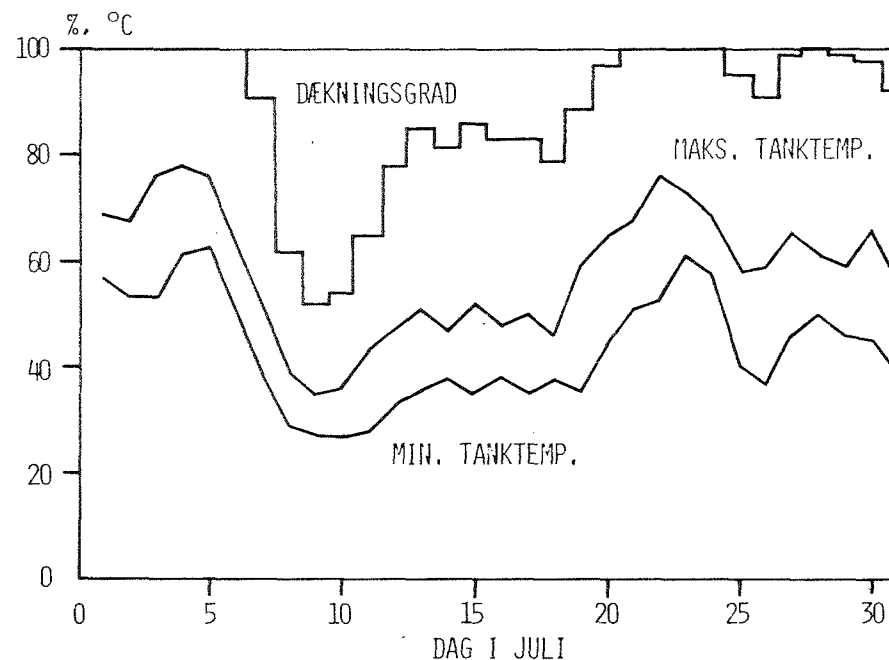
5. Dimensionering.

Alle beregningerne er udført med 10 m^2 absorbatorareal, og det kunne derfor være ønskeligt, om man kunne bestemme ydelsen af et anlæg med en anden solfangerstørrelse, og et andet forbrug. Dette kan lade sig gøre ud fra fig. 8, idet der her skal anføres en metode, som sandsynligvis vil give tilfredsstillende resultater for varmtvandssystemer, der ikke afviger alt for meget fra det her benyttede. Forudsætningen er, at kurven på fig. 8 er den samme, når der i stedet for absolutte

SOLFANGER: 1 DEKLAG, AREAL = 10 m^2

HÆLDNING = 45 GR., SYDVENDT

TANK : 500 L, ISOLERINGSTYKKELSE = 20 CM



VARMTVANDSFORBRUG = 300 L/DØGN (10 - 50°C)

Fig. 7

SOLFANGER: 1 DÆKLAGE, AREAL = 10 M²
 HÆLDNING = 45 GR., SYDVENDT
 TANK : 500 L, ISOLERING = 20 CM

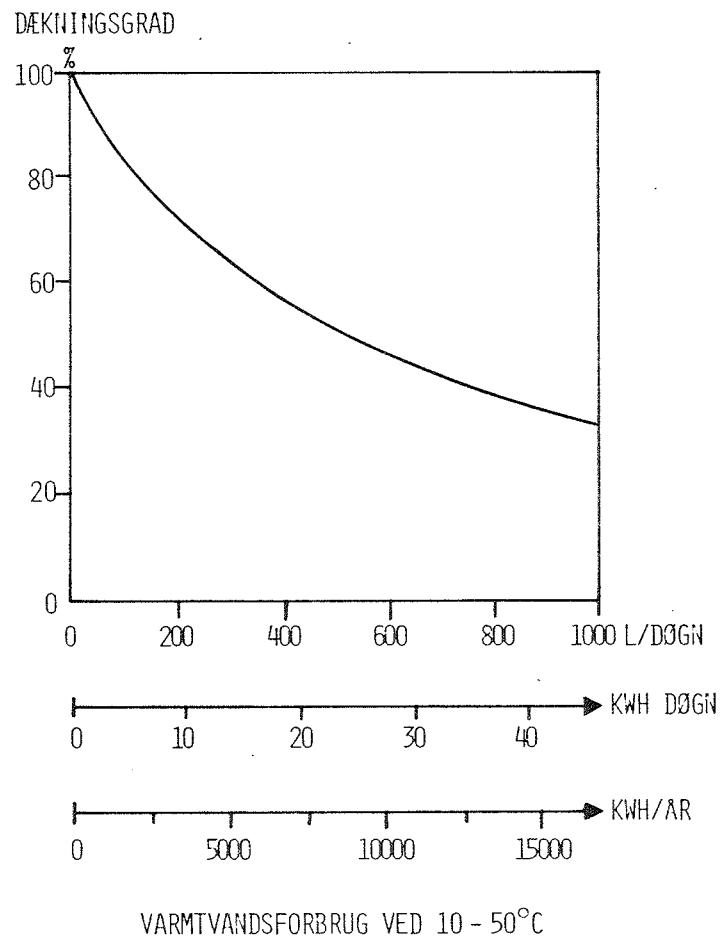


Fig. 8

værdier for forbruget på X-aksen benyttes forbruget pr. m² absorberareal, dvs. de anførte værdier skal divideres med 10.

Når man kender det årlige varmtvandsforbrug, kan man ved at dividere dette med det ønskede solfangerareal finde den forventede dækningsgrad. Lader man arealet variere, kan man optegne dækningsgradskurven som funktion af solfangerarealet. I stedet for at aflæse på kurven fig. 8 kan man benytte ligningen for denne, der ved en regressionsanalyse er fundet at være:

$$D = 100 \cdot e^{-3,82 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{F}{A}\right)^{0,768}}$$

hvor D er forventet årlig dækningsgrad i % med det årlige forbrug F i kWh og med et absorberareal på A m².

For at være nogenlunde sikker på, at dette gælder for alle arealer A, må man nok også forudsætte, at akkumuleringsstankens volumen varierer med solfangerarealet, således at denne er i størrelsesordenen 50 - 100 l/m² absorberareal. Endelig må huskes, at metoden gælder for en sydvendt solfanger med 45 graders hældning.

6. Økonomisk optimering.

Når man kender et solvarmesystems ydelser som funktion af størrelsen, er spørgsmålet så, hvilken størrelse man i praksis skal vælge. Dette kan der ikke gives et generelt svar på, da det bl.a. afhænger af de praktiske muligheder for placering af solfanger og tank, anlæggets pris og installationsomkostninger samt af ejerens prioritering/forventning til afkastet af en given investering. De fleste dimensioneringsmetoder i traditionel investeringsteori benytter en eller anden form for sammenligning mellem investeringen og det forventede udbytte henregnet til samme tidspunkt. Dette medfører normalt, at der indføres en række skønnede værdier så som anlæggets levetid, inflationsraten, energiprisstigninger, skattefræk osv..

Her skal anføres en simpel metode, der ikke har disse usikkerheder indbygget. Den består i, at man udregner forholdet mellem forventet ydelse pr. år og investering. Hvor dette forhold er størst, findes den optimale anlægsstørrelse. Et eksempel vil belyse metoden. På fig. 9 er optegnet den årlige dækningsgrad som funktion af solfangerarealet for et system, der har et varmvandsforbrug på 300 l/døgn svarende til ca. 5000 kWh/år. Kurven er udregnet ved hjælp af den tidligere anførte ligning.

Under forudsætning af at solvarmesystemets pris kan deles op i en del, der er proportional med størrelsen og en del, der er uafhængig heraf, er anlægsomkostningen optegnet, når de faste omkostninger er skønnet til 8000 kr. og de variable til 1000 kr/m².

Endelig er forholdet mellem årlig ydelse og investeringen (kWh/kr) også optegnet på fig. 9. Det ses, at denne kurve har maximum for et solfangerareal på ca. 6 m².

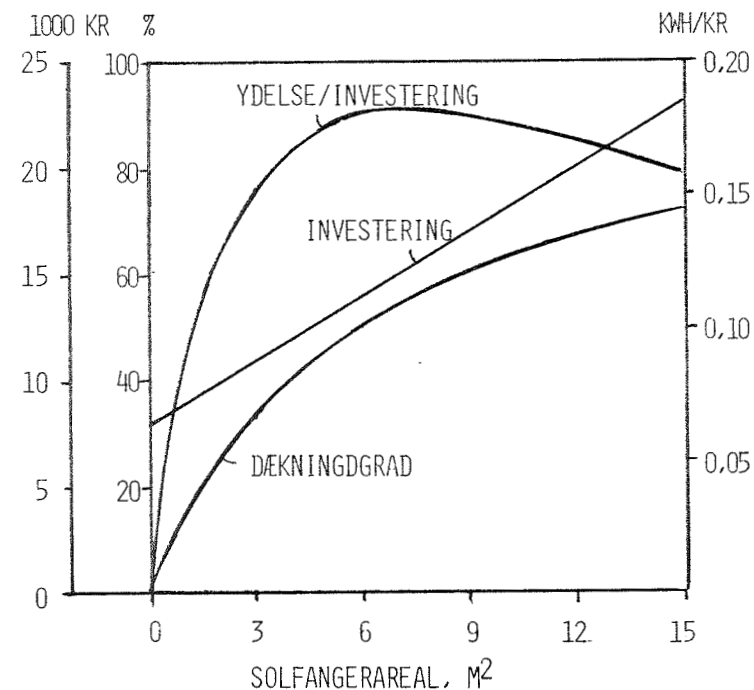
Denne anlægsstørrelse er således den optimale og kræver en investering på ca. 14.000 kr. Det bliver således op til ejeren at vurdere, om "afkastet" på 0,18 kWh pr. investeret krone er rimelig i forhold til hans forventninger.

Det skal bemærkes, at de anførte priser er tilfældigt valgt, og man med andre selvfølgelig ville få en anden optimal anlægsstørrelse.

7. Referencer.

- [1] Referenceåret, Vejrdata for VV-tekniske beregninger. SBI-rapport nr. 89, København 1974.
- [2] Lawaetz, H. & Svendsen, S.: Termisk effektivitet af en solfanger, beregnet og målt. Lab. f. Varmeisolering, Dth, april 1977.
- [3] Lawaetz, H.: Beregning af solindfald, Lab. f. Varmeisolering, Dth, december 1975, meddelelse nr. 42.

SOLVARMESYSTEM TIL VARMT BRUGSVAND
SOLFANGER: 1 LAG GLAS, 45 GR., SYDVENDT
TANK: 50 L/M² SOLFANG



VARMTVANDSFORBRUG = 300 L/DØGN = 5000 KWH/AR
TEMPERATURNIVEAU = 10 - 50°C
INVESTERING = 8000 + 1000 · A KR.

Fig. 9

Solfanger: 10 m²

Akkumuleringstank: 0,5 m³, isoleringstykkelse = 0,2 m, omg. temp. = 17° C

Varmtvandsforbrug: indløbstemp. = 10°, brugstemp. = 50° C

Varmtvandsforbrug	Solfanger				Akkumuleringstank			Systemet	
	hældning	absorberet	effektivitet	drifttid	max.temp.	min.temp.	tab	solvarme	dækningsgrad
l/døgn	grader	kWh	%	h	°C	°C	kWh	kWh	%
250	30	2862	31	1675	82	11	199	2663	63
	45	3072	32	1642	81	11	220	2852	68
	60	3150	34	1637	77	11	223	2927	69
	90	2783	35	1709	65	11	175	2608	62
300	0	2329	30	1855	70	11	106	2223	44
	15	2800	32	1844	76	11	144	2655	52
	30	3169	33	1801	79	11	175	2994	59
	45	3396	34	1772	79	11	194	3202	63
	60	3469	35	1777	74	11	196	3273	65
	75	3362	37	1787	71	11	182	3179	63
	90	3027	37	1827	62	11	152	2875	57
350	30	3439	35	1906	77	10	156	3283	56
	45	3679	36	1876	76	11	172	3507	59
	60	3748	37	1879	71	11	174	3574	60
	90	3237	39	1919	60	11	134	3103	53

Tabel 1

Solfanger: 10 m², hældning 45 grader, sydvendt

Akkumuleringstank: 0,5 m³, isoleringstykkelse = 0,2 m, omg. temp. = 17° C

Varmtvandsforbrug: 300 l/døgn, indløbstemp. = 10° C, brugstemp. = 50° C

Måned	Solfanger			Akkumuleringstank			Varmtvandsforbrug		
	absorberet	effektivitet	drift	max.temp.	min.temp.	tab	behov	solvarme	dækningsgrad
	kWh	%	h	°C	°C	kWh	kWh	kWh	%
1	149	36	76	44	11	5	430	139	32
2	214	36	104	47	15	10	388	199	51
3	328	34	139	69	15	18	430	283	66
4	325	29	177	73	16	21	416	311	75
5	389	33	197	69	26	24	430	364	85
6	411	33	201	79	30	27	416	377	91
7	394	32	213	78	27	29	430	483	89
8	381	37	197	66	26	22	430	355	82
9	330	38	172	59	26	19	416	314	75
10	222	41	122	54	14	12	430	227	53
11	127	40	96	43	12	4	416	122	29
12	127	37	78	43	12	4	430	129	30
Sum	3396	34	1772	79	11	194	5064	3202	63

Tabel 2

Solfanger: 10 m², hældning 45 grader, sydvendt
 Akkumuleringsstank: 0,5 m³, isoleringstykkelise = 0,2 m, omg. temp. = 17° C
 Varmt brugsvand: indløbstemp. = 10° C, brugstemp. = 50° C

Varmt- vands- forbrug	Solfanger		Akkumuleringsstank			Systemets Ydelse		
	effektivitet	drifttid	max.temp.	min.temp.	tab	behov	solvarme	dæknings- grad
l/døgn	%	h	°C	°C	kWh	kWh	kWh	%
50	18	916	94	18	423	844	796	91
100	23	1172	91	13	347	1688	1419	84
200	30	1518	85	11	252	3376	2448	73
250	32	1642	81	11	220	4220	2852	68
300	34	1772	79	11	194	5064	3202	63
350	36	1876	76	11	172	5908	3507	59
500	41	2136	69	10	124	8440	4220	50
1000	48	2649	58	10	45	16880	5492	33

Tabel 3

Tankvolumen:

Solfanger: 10 m², 45° sydvendt
 Tankisolering: 0,2 m, omg.temp. = 17° C
 Varmtvandsforbrug: indløbstemp. = 10° C, brugstemp. = 50° C

Akkumu- lerings- tank	Varmtvandsforbrug							
	200 l/døgn				300 l/døgn			
	solfanger effektivitet	tanktab	dæknings- grad	solfanger effektivitet	tanktab	dæknings- grad	solfanger effektivitet	tanktab
3 m ³	%	kWh	%	%	kWh	%	%	%
0,3	29	191	72	34	146	62	34	194
0,5	30	252	73	34	194	63	35	284
1,0	31	366	73	37	519	63	37	519
3,0	33	654	73					

Tabel 4