Varmeplanudvalgets 3. delbetænkning, bilagsrapport nr. 3

KOLLEKTIVE SOLVARMEANLÆG

EN GENNEMGANG OG ANALYSE AF MULIGHEDERNE

HENRIK LAWAETZ

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

MEDDELELSE NR. 89

DECEMBER 1979

side

Indholdsfortegnelse 1

1. Sammenfatning 2

2. Kollektive solvarmeanlæg 3

3. Traditionelle fællesanlæg 4
   3.1 Anlægsudformninger 4
   3.2 Installationsforhold 5
      3.2.1 Brugsvandsanlæg 5
      3.2.2 Indpasning i eksisterende byggeri 6
      3.2.2 Indpasning i nyt byggeri 7
   3.3 Fællesanlægs brændselsbesparelser 7
      3.3.1 Varmebehov 7
      3.3.2 Anlægsstørrelse 8
      3.3.3 Beregning af nettoydelsen 8
      3.3.4 Brændselsbesparelser 11
   3.4 Økonomisk analyse 12
      3.4.1 Anlægs- og driftsomkostninger 13
      3.4.2 Brændselspriser 14
      3.4.3 Nuværdi og intern rente 15
      3.4.4 Følsomhedsanalyse 17
   3.5 Samfundsøkonomisk analyse 18
      3.5.1 Samfundsøkonomisk beregning 19

4. Sol - fjernvarmeanlæg 21
   4.1 Anlægsudformning og indpasning 21
   4.2 Beregnede brændselsbesparelser 22
   4.3 Økonomisk analyse 24
   4.4 Samfundsforhold i øvrigt 25

5. Solvarmeanlæg med sæsonlagring 26
   5.1 Anlægsudformning 26
   5.2 Anlægsstørrelser 27
   5.3 Økonomisk analyse 28
   5.4 Samfundsforhold 31
   5.5 Udenlandske erfaringer 31

6. Konklusion 32

7. Referencer 34

1. Sammenfatning

Forskellige former for kollektive solvarmeanlæg beskrives kortfattet.Mulighederne for at sammenkoble dem med eksisterende og kommende energikilder omtales.

På baggrund af beregninger over solvarmeanlæggenes ydelser vurderes deres brændselsbesparelser i kombination med forskellige energiformer.

Ud fra dagens brændselspriser og skøn over de forventede anlægs- og driftsomkostninger foretages der økonomiske analyser af de forskellige anlægstyper.

Beregningerne suppleres med følsomhedsanalyser ligesom anlæggenes indflydelse på beskæftigelse, betalingsbalance, miljø og forsyningssikkerhed gennemgås.

2. Kollektive solvarmeanlæg

Solindfald

Solindfaldet er i Danmark på vandret i gennemsnit ca. 3,6 GJ/m^2·år og op til 4,3 GJ/m^2·år på en hældende sydvendt flade, hvoraf 80% falder i sommerhalvåret, april - september.

Udnyttes en del af dette solindfald til opvarmning ved hjælp af et solvarmeanlæg, der forsyner flere boligenheder, er der tale om et kollektivt solvarmeanlæg.

Kollektive solvarmeanlæg

Kollektive solvarmeanlæg er således traditionelle fællesanlæg for lejlighedsbebyggelse og tætliggende huse, centrale anlæg i forbindelse med fjernvarmeværker eller anlæg med sæsonlagring, der helt eller delvis forsyner en bebyggelse med varme.

Individuelle solvarmeanlæg

Solvarmeanlæg kan også udføres til individuelle boliger. Disse anlæg er omtalt i [1] og vil derfor ikke blive nærmere behandlet her. De nævnte kollektive anlægstyper, traditionelle fællesanlæg, sol-fjernvarme og solvarme med sæsonlagring er ikke alle lige kendte.

Kendt og ukendt teknik

I Danmark er der således opført adskillige fællesanlæg med den i dag kendte teknik, der er den samme som benyttes i individuelle solvarmeanlæg, blot er fællesanlæg normalt større. Derimod er der ikke opført anlæg, der centralt supplerer et traditionelt fjernvarmeværk eller kraftvarmeværk. Endelig er anlæg med sæsonlagring endnu kun på forsøgsstadiet og vil nok først kunne tages i praktisk brug om en kortere årrække.

I det følgende vil de 3 anlægsformers forventede muligheder og økonomi blive nærmere behandlet.

3. Traditionelle fællesanlæg

Solvarmeanlæg der forsyner flere boligenheder kaldes fællesanlæg. De er meget lig de individuelle anlæg [1]. Der kan således være tale om brugsvandsopvarmning eller kombineret rum- og brugsvandsopvarmning.

Supplerende anlæg

Med dagens teknik vil det som for individuelle anlæg gælde, at de kan supplere men ikke på årsbasis erstatte alle de kendte opvarmningsmetoder, forudsat at der benyttes et vandbaseret varmefordelingssystem.

3.1 Anlægsudformninger

Fællesanlæg kan som nævnt dække en del af opvarmningsbehovet. Dette gøres ved at forbinde anlægget med boligernes fællesopvarmningssystem på en sådan måde, at solvarmen har 1. prioritet. I perioder med stort solindfald dækkes varmebehovet fuldstændig med solvarme, og den traditionelle varmekilde udkobles. I solfattige perioder yder solvarmen så stort et tilskud som muligt.

Varmelagring i vand

Med dagens teknik bruges varmelagring i vand. Som regel benyttes lagerstørrelse på 50-100 l pr.m^2 solfanger, hvorfor lagringskapaciteten i langt de fleste tilfælde svarer til varmebehovet i under en uge.

Der er ikke den store principielle forskel på anlægsudformningen i afhængighed af den benyttede energikilde. Det vil være relativt let at supplere opvarmningen med solvarme, hvadenten der i en fælles varmecentral fyres med olie eller naturgas eller boligerne får varmen som fjernvarme eller kraftvarme. Derimod kan solvarmen kun kombineres med

elektrisk rumopvarmning såfremt der eksisterer eller udføres et varmefordelingssystem.

Brændsels-besparelsen

Brændselsbesparelsen vil som minimum være solvarmeanlæggets nettoydelse divideret med den benyttede opvarmningsmetodes fyringsnyttevirkning. I solrige perioder vil der desuden være mulighed for helt at stoppe varmecentralens fyr eller afbryde forbindelsen til varmeværket. Herved kan yderligere et uønsket varmetab spares, men i forhold til den samlede besparelse vil det normalt være af ringe betydning.

3.2. Installationsforhold

Ydelsen af fællesanlæg afhænger af anlægsstørrelsen i relation til varmebehovet, af solfangerens hældning og orientering samt af det temperaturniveau varmefordelingssystemet er dimensioneret til og varmeanlæggets udformning i øvrigt.

3.2.1 Brugsvandsanlæg med cirkulationsledning

Normalt har den fælles varmecentral også en fælles varmtvandsbeholder. Herved bliver der stor afstand ud til tapstederne og det er derfor nødvendigt at udføre varmtvandsanlæg med cirkulationsledning. Denne har ofte i forhold til varmtvandsforbruget et stort varmetab, der dog normalt ikke er helt spildt, idet det hjælper med til at dække rumopvarmningen.

Brugsvandsanlæg skal udføres i så stor en størrelse at det kan dække forbruget 100% i perioder før det også kan dække cirkulationsledningens varmetab i de samme tidsrum. Derfor ses almindeligvis, at brugsvandsanlæg delvis dækker forbruget, mens resten heraf og cirkulationsledningens varmetab dækkes af det traditionelle varmeanlæg.

3.2.2 Indpasning i eksisterende byggeri

Indpasningen af fællesanlæg i eksisterende byggeri kan ikke altid ske problemfrit. Tagets hældning og orientering er ikke altid optimal og varmeanlægget er ofte dimensioneret for relativt høje fremløbstemperaturer, selvom en efterisolering af boligerne dog medfører, at det mindre varmebehov kan dækkes ved et lavere temperaturniveau.

Opdeling af varmeanlæg

I større bebyggelser med fælles beholderrum, vil det være vanskeligt at undgå store varmetab ved at føre rør frem og tilbage til fjerntliggende solfangerarealer. Det vil derfor være mere hensigtmæssigt at opdele varmeanlægget således at et mindre antal boligenheder forsynes fra en undercentral. Dette fordyrer solvarmeanlægget, hvis man da ikke af andre grunde, f.eks. alder, alligevel vil ændre varmeanlægget.

Placering af varmelagre

Varmelageret kan i traditionelle blokbebyggelser placeres nogenlunde problemfrit i kælderrum. Specielt er der i bebyggelser, der blev opført med egen kul- eller oliefyret varmecentral, og hvor man senere er gået over til fjernvarme, meget gode muligheder for at placere varmelageret i de tidligere kedel- eller brændselslagerrum.

I bebyggelser uden større fællesrum eller kældre vil det være nødvendigt at placere varmelageret i sin egen bygning tæt ved varmecentralen.

Placering af større solfangerarealer

Mulighederne for at indpasse optimale solvarmeanlæg i eksisterende byggeri begrænses altså af en række fysiske forhold, der varierer fra bebyggelse til bebyggelse. Større solfangerarealer pr. boligenhed vil normalt ikke kunne anbringes på en blokbebyggelses begrænsede tagareal. Solfangerplaceringen på vægge og gavle eller helt fri af bygningen kan derfor komme på tale.

3.2.3 Indpasning i nyt byggeri

I nyt byggeri er der mulighed for allerede ved projekteringen at tage hensyn til solvarmeanlægget. Solfangerplaceringen kan blive optimal og samtidig kan indpasningen af varmelageret og installationerne i øvrigt udføres mere hensigtsmæssigt end i eksisterende byggeri. Endelig kan varmefordelingssystemet dimensioneres til et lavt temperaturniveau, hvorved solvarmeanlæggets ydelse øges.

3.3 Fællesanlægs brændselsbesparelser

Der eksisterer endnu ikke forsøgsresultater fra udførte fællesanlæg her i landet. De forventede brændselsbesparelser må derfor baseres på beregninger af anlæg, der må anses for at være typiske. Beregningsresultaterne må desuden tages med et vist forbehold, da der ikke endnu er udviklet tilstrækkelig sikre metoder til beregning af fællesanlæg. Der benyttes som regel de samme modeller som for individuelle solvarmeanlæg under antagelse af proportionalitet.

3.3.1 Varmebehov

De enkelte boligenheder har meget forskellige varmebehov i afhængighed af størrelse, isoleringsstand og beboervaner. Der benyttes derfor i det følgende de i [2] angivne enhedsforbrug, der er repræsentative her i landet. Der er tale om nettoforbrug, dvs varmebehov umiddelbart efter varmeproducerende eller varmekonverterende apparat.

Nettovarmebehov GJ/år pr. bolig	
Eksisterende huse	95
Fremtidige huse	60
Eksisterende lejligheder	60
Fremtidige lejligheder	45
Brugsvand alene	14

Tabel 3.3.1.1 Kilde [2]

Kun 2 varmebehov benyttes

Da fællesanlæg sandsynlig vil være vanskeligt at etablere i en eksisterende bebyggelse med fritliggende huse indgår kun varmebehov på 60 og 45 GJ/år i beregningerne.

3.3.2 Anlægsstørrelse

Da fællesanlæg kan udføres i alle størrelser i afhængighed af antallet af boligenheder vælges at beregne ydelsen for forskellige solfangerarealer pr. boligenhed.

Valgte anlægsstørrelser pr. boligenhed	
Anlægstype	Solfangerareal m^2 (netto)
brugsvandsanlæg	2
- " -	4
- " -	6
- " -	8
rum- og brugsvandsanlæg	10
- " -	20
- " -	30
- " -	40

Tabel 3.3.2.1

Hvor stort selve anlægget bliver afhænger således af antallet af de tilsluttede boligenheder.

3.3.3 Beregning af nettoydelsen

Kombineret med varmebehovene giver de valgte anlægsstørrelser 16 forskellige anlæg, hvor brugsvandsanlæg på eksisterende og fremtidigt byggeri dog vil have samme ydelse.

Beregnings-forudsætninger

Anlæggenes nettoydelse beregnes efter formlerne i [3] med solfangere, der har et dæklag af glas. Desuden benyttes der yderligere de i tabel 3.3.3.1 angivne forudsætninger, der kan antages typiske for dagens bedste anlæg og i øvrigt er identiske med de forudsætninger, der er benyttet for individuelle solvarmeanlæg. [1]

Beregningsforudsætninger	
Solfanger:	
antal dæklag	1
absorberoverflade	alm.sort.
orientering	syd
hældning	45^{o}
solfangerkredsens effektivitet	0,85
varmelagerstørrelse	50 l/m^{2}
radiatordimensionering	60/40^{o}C
varmt brugsvandstemperatur	50^{o}C

Tabel 3.3.3.1

Herved findes for de forskellige anlæg følgende dækningsgrader og nettoydelser:

Fællesanlæg for boliger med varmebehov på 60 GJ/år			
anlægsstørrelse m^2/bolig	dækningsgrad %	nettoydelse GJ/år	nettoydelse GJ/m^2 · år
2	6	3,5	1,75
4	10	5,9	1,47
6	12	7,3	1,22
8	14	8,2	1,02
10	20	12,0	1,20
20	31	18,5	0,92
30	38	22,5	0,75
40	43	25,6	0,64

Tabel 3.3.3.2

Fællesanlæg for boliger med varmebehov på 45 GJ/år			
anlægsstørrelse m^2/bolig	dækningsgrad %	nettoydelse GJ/år	nettoydelse GJ/m^2 · år
2	8	3,5	1,75
4	13	5,9	1,47
6	16	7,3	1,22
8	18	8,2	1,02
10	24	11,0	1,10
20	36	16,4	0,82
30	44	19,7	0,66
40	49	22,2	0,56

Tabel 3.3.3.3

De beregnede ydelser gælder for dagens bedste anlæg. De fremtidige anlæg kan sandsynligvis udføres med højere termisk effektivitet, således at ydelserne pr. m^2 kan blive større end her angivet.

3.3.4 Brændselsbesparelser

Fællesanlæggenes brændselsbesparelser beregnes som nettoydelserne divideret med fyringsanlæggets fyringsnyttevirkning. Desuden er der i perioder, hvor solvarmeanlægget alene dækker varmebehovet, mulighed for at stoppe fyringsanlægget helt og derved spare dets varmetab.

Det antages, at fyringsanlæggets varmetab er ubetydeligt i forhold til det varmebehov det dækker. Derfor beregnes brændselsbesparelsen ved brug af solvarme alene ud fra følgende fyringsnyttevirkninger:

Varmeanlægs fyringsnyttevirkning	
Varmeanlæg	fyringsnyttevirkning
oliefyr	0,87
gasfyr	0,90
fjernvarme	0,88
kraftvarme	2,00
elvarme	0,37

Tabel 3.3.4.1

Gennemsnitlige brændselsbesparelser

Under hensyntagen til beregningernes usikkerhed og installationsforholdene i eksisterende byggeri skønnes det rimeligt at benytte følgende gennemsnitlige brændselsbesparelser til en nærmere økonomianalyse.

Fællesanlægs gennemsnitlige brændselsbesparelser [1]			
Anlægsstørrelse	Brændselsbesparelse i kombination med		
	olie, gas fjernvarme	kraftvarme	elvarme
m^2/bolig	GJ/m^2·år	GJ/m^2·år	GJ/m^2·år
2	1,9	0,9	4,7
4	1,6	0,7	4,0
6	1,4	0,6	3,3
8	1,2	0,5	2,8
10	1,2	0,5	3,0
20	0,9	0,4	2,2
30	0,7	0,3	1,8
40	0,6	0,3	1,5

Tabel 3.3.4.2

1) Gælder både for eksisterende og fremtidigt byggeri med varmebehov på henholdsvis 60 og 45 GJ/år pr. bolig.

De beregnede brændselsbesparelser gælder som nævnt for dagens teknik og med antagelsen om, at der ikke sker alt for stor reduktion i ydelsen i de eksisterende byggerier p.g.a. installationsforhold, der afviger fra det optimale.

3.4 Økonomisk analyse

Ud fra de beregnede brændselsbesparelser kan der, når anlægs- og driftsomkostningerne er kendte foretages en nærmere økonomisk analyse af fællesanlæg.

Merinvestering

Da solvarmen kun supplere en anden energikilde foretages analysen med den forudsætning, at fællesanlægget er en merinvestering og dets brændselsbesparelse sker i anlæg, hvor investeringerne er foretaget og derfor ingen indflydelse har på beregningerne.

Faktorpriser

Faste priser

Analysen sker med faktorpriser, dvs forbrugerpriser fratrukket moms og alle former for afgifter, og der regnes i faste priser, dvs der ses bort fra den til enhver tid værende inflation.

Priser medio 1979

Endelig er værdien af brændselsbesparelsen regnet lig værdien af brændslet, og der indgår ikke forrentning og afskrivning af energiforsyningsanlæggene i brændselsprisen.

De benyttede anlægsomkostninger og brændselspriser er priserne medio 1979.

3.4.1 Anlægs- og driftsomkostninger

På baggrund af indhentede priser fra eksisterende anlæg kan følgende anlægs- og driftsomkostninger skønnes.

Fællesanlægs pris og driftsomkostninger		
anlægsstørrelse m^2	anlægspris kr/m^2	driftsomkostninger kr/m^2 · år
100	1700	8
200	1600	7
500	1500	6

Tabel 3.4.1.1

Usikre anlægspriser

Anlægspriserne må tages med et vist forbehold, da monteringsomkostningerne på eksisterende byggeri kan variere meget afhængig af forholdene på stedet. I fremtidigt byggeri forventes det, at nogen prisreduktion efterhånden vil kunne opnås, når der ved projekteringen tages hensyn til indpasning af solvarmeanlæg.

Skønnede driftsomkostninger

Driftsomkostningerne er ligeledes behæftet med stor usikkerhed og først når pålidelige erfaringer fra praksis i løbet af en årrække foreligger, vil mere præcise tal kunne gives.

3.4.2 Brændselspriser

Brændselspriserne medio 1979 i faktorpriser er angivet i følgende tabel:

Brændselspriser medio 1979		
Brændsel	kr/GJ	kr/Gcal
gasolie	34,6	145
fuelolie (fjernvarme)	19,1	80
fuelolie (kraftværker)	16,7	70
kul	8,4	35
kraftvarme [1)]	11,0	46
elektricitet [1)]	11,0	46

Tabel 3.4.2.1

[1)] Beregnet med et produktmix i kraftværker i 1979 på ca. 70% kul og 30% fuelolie.

Naturgasprisen sen ukendt

Da man først om nogle år begynder at bruge naturgas kendes prisen herpå endnu ikke. Det skønnes dog, at den til den tid vil befinde sig et sted mellem prisen på gasolie og fuelolie, hvorfor beregninger med disse kan benyttes som retningsgivende.

3.4.3 Nuværdi og intern rente

Ved en investering i et solvarmeanlæg opnås brændselsbesparelser i fremtiden. Værdien af disse skal sammenlignes med investeringen og de løbende driftsomkostninger. For at dette kan ske på rimelig måde kan man henregne alle de fremtidige besparelser og omkostninger til eet tidspunkt, investeringstidspunktet med en given kalkulationsrente. De således beregnede besparelser minus driftsomkostninger og investering kaldes anlæggets nuværdi.

Benyttes de i tabel 3.4.3.1 anførte beregningsforudsætninger kan man ud fra de gennemsnitlige brændselsbesparelser i tabel 3.3.4.2, de i tabel 3.4.1.1 anførte anlægspriser og driftsomkostninger og med brændselspriserne fra tabel 3.4.2.1 beregne nuværdien for forskellige fællesanlæg.

Beregningsforudsætninger	
kalkulationsrente	5%
anlæggenes levetid	20 år
gns brændselsprisstigninger pr. år	5%

Tabel 3.4.3.1

Fællesanlæg til 25 boliger

Fællesanlægs størrelse afhænger i høj grad af antallet af boligenheder. For at belyse de økonomiske forhold vælges at gennemregne 3 forskellige størrelser af anlæg til en bebyggelse med 25 boligenheder i kombination med de traditionelle opvarmningsformer.

Det skønnes, at solfangerarealer pr. bolig på henholdsvis 4, 8 og 20 m^2 (netto) er repræsentative og med 25 boligenheder bliver de tilsvarende totale solfangerarealer 100, 200 og 500 m^2. Med disse 3 anlægsstørrelser fås de i tabel 3.4.3.2 angivne nuværdier pr. bolig.

Nuværdi pr. bolig for fællesanlæg til 25 boliger

Anlægs-størrelse	Anlægs-pris	Nuværdi i kombination med			
		oliefyr	fjern-varme	kraft-varme	elvarme
m^2/bolig	1000 kr	1000 kr	1000 kr	1000 kr	1000 kr
4	6,8	- 2,8	- 4,8	- 6,6	- 3,7
8	12,8	- 6,9	- 9,8	-12,6	- 8,6
20	30,0	-19,0	-24,6	-29,7	-21,8

Tabel 3.4.3.2

Intern rente

I stedet for at benytte en på forhånd valgt kalkulationsrente kan man beregne den kalkulationsrente, der netop giver nuværdien nul. Denne rente kaldes investeringens interne rente og for de samme 3 anlæg er den angivet i tabel 3.4.3.3.

Intern rente for fællesanlæg til 25 boliger				
Anlægs-størrelse	Intern rente i kombination med			
	oliefyr	fjern-varme	kraft-varme	elvarme
m^2/bolig	%	%	%	%
4	- 0,1	- 5,1	-16,0	- 1,8
8	- 2,0	- 6,7	-18,5	- 4,3
20	- 3,6	- 8,2	-20,2	- 5,6

Tabel 3.4.3.3

Bedst økonomi i kombination med oliefyr

Af tabellerne fremgår det, at fællesanlæg økonomisk set er bedst i kombination med oliefyr og ringest i kombination med kraftvarme. Det ses samtidig,at små solfangerarealer pr. bolig er at foretrække fremfor lidt større anlæg. Det skyldes at værdien af den større ydelse pr. arealenhed ved små anlæg vejer tungere end besparelserne i anlægs- og drifts-omkostningerne for større anlæg. Sammenlignes med tilsvarende beregninger for individuelle solvarme-anlæg [1] findes, at fællesanlæg har en intern rente der er 4 - 5% højere.

Bedre end individuelle anlæg

3.4.4 Følsomhedsanalyse

På samme måde som for individuelle solvarmeanlæg kan der foretages følsomhedsanalyser for at belyse, hvilke parametre, der har størst indflydelse på beregningsresultaterne.

Dette gøres dog ikke her idet resultaterne fra [1] direkte kan overføres.

Energiprisstigninger

Det kan således konstateres, at energiprisstigninger ud over den almindelige inflation før eller siden vil gøre næsten alle fællesanlæg økonomisk forsvarlige, dvs give positive interne renter. Der kræves blot gns. energiprisstigninger på lidt over 5% pr. år i en 20 års periode, før dette er opfyldt for de økonomisk set bedste anlæg.

Levetid

En følsomhedsanalyse vil ligeledes vise, at det er fordelagtigt at forøge anlæggets levetid ved en omhyggelig vedligeholdelse fremfor at spare på denne mod en reduktion i levetid.

Forbedrede anlæg

Endelig synes der på samme måde som for individuelle solvarmeanlæg at være gode muligheder for at forbedre anlæggene på en rækkke punkter. En fortsat produktudvikling vil kunne reducere prisen, forøge levetiden, mindske driftsomkostningerne samt øge ydeevnen. Opnås blot en eller to af de nævnte forbedringer fås anlæg med tilfredsstillinde økonomi. Forudsætningen for at denne produktudvikling finder sted er dog, at fabrikanterne fortsat har en afsætning, der giver grundlag herfor.

3.5 Samfundsøkonomisk analyse

Opførelsen af fællesanlæg har også indvirkning på andre forhold i samfundet end de rent økonomiske, idet det også påvirker beskæftigelsen, valutaforbruget, det fysiske miljø og energiforsyningssikkerheden.

Fællesanlæg ligner som nævnt individuelle anlæg så meget,at den samfundsøkonomiske analyse vil blive næsten identisk med den i [1] gennemførte. Det kan antages, at løn- og importkvoterne for dansk producerede anlæg stort set er ens for fællesanlæg og individuelle anlæg.

Løn-og importkvoter		
direkte og indirekte kvoter for	løn	import
fællesanlæg	80	20
olieforsyning	20	80
gns. offentlig investering	70	30
gns. årsløn for industriarb. i 1979 ca. 100.000 kr		

Tabel 3.5.1 Kilde [1]

Merbeskæftigelse og bedre valutaforhold

I forhold til gennemsnitlige offentlige investeringer vil investering i fællesanlæg således give en merbeskæftigelse og en forbedring af valutaforholdene.

Valutabesparelse, miljøforbedringer

Øget forsyningssikkerhed

Derudover vil anlægget i hele levetiden spare valuta til import af energi og medvirke til en forbedring af det fysiske miljø p.g.a. reduceret afbrænding af fossile brændsler samt øge landets forsyningssikkerhed,idet behovet for importeret energi reduceres.

3.5.1 Samfundsøkonomisk beregning

Ved at sammenligne investeringen i fællesanlægget med en gennemsnitlig offentlig investering er der i [4] angivet en metode til at værdisætte merbeskæftigelsen og forbedringen af valutaforholdene. Med udgangspunkt i løn- og importkvoterne fra tabel 3.5.1 findes den samfundsøkonomiske gevinst til 0,522 gange investeringen under forudsætning af, at samfundet befinder sig i en situatuion, hvor forbedringer i beskæftigelsen og valutaforholdene er ønskelige.

Indregning af samfundsmæssig gevinst i investeringen

Indregnes den samfundsøkonomiske gevinst i investeringen vil nuværdien og den interne rente blive ændret. For et fællesanlæg til 25 boliger med et solfangerareal på 4 m^2/bolig er dette vist i tabel 3.5.1.1 under de samme forudsætninger,som tidligere benyttet.

Samfundsøkonomisk beregning af fællesanlæg Solfanger = 4 m^2/bolig, investering = 6.800 kr/bolig		
kombination med	oliefyr	fjernvarme
nuværdi kr	780	- 1200
intern rente %	6,8	0,6

Tabel 3.5.1.1

Sammenlignes med tabellerne 3.4.3.2 og 3.4.3.3 ses, at den samfundsøkonomiske beregning forøger nuværdierne med ca. 3.500 kr og giver en intern rente, der er 6-7% højere. Hertil kommer yderligere vigtige men ikke værdisatte valutabesparelser samt forbedringer af miljøet og forsyningssikkerheden gennem anlæggets levetid.

4. Sol - fjernvarmeanlæg

I stedet for at forsyne hvert enkelt hus i et fjernvarmeområde med solvarmeanlæg kan man centralt placere et større solfangerareal, der tilkobles ledningsnettet. Herved fås et såkaldt sol - fjernvarmeanlæg. Denne anlægstype er endnu ikke opført i Danmark, hvorfor vurderingen heraf alene må baseres på beregninger.

4.1 Anlægsudformning og indpasning

Solfangerne sammenkobles med returledningerne

Solfangere har størst ydelse, når temperaturniveauet er lavt. Solfangeren i forbindelse med et fjernvarmeværk bør sammenkobles således at driftemperaturerne bliver lavest mulige. De laveste temperaturer findes i returledningerne. Derfor skal solfangerne placeres således, at det let kan sammenkobles med disse.

Solfangerplacering

Solfangerne kan placeres på stativer direkte på jorden eller på tage af institutioner, fabriksbygninger o.lign. Er anlægget uden varmelager, forbindes det direkte via en varmeveksler med returvandet.

Varmelagring

Der kan i et sådant anlæg kun lagres en beskeden varmemængde i ledningsnettet. Det betyder, at det normalt ikke er muligt at lagre solvarme fra dag til nat. Større anlæg bør derfor udføres med et varmelager, således at en bedre udnytttelse af solvarmen opnås.

Areal- og temperaturkrav

De væsenligste problemer med indpasning af sol - fjernvarmeanlæg i eksisterende bebyggelse er sandsynligvis dels at finde egnede arealer til place-

ring af solfangerne og dels at temperaturniveauet normalt er ret højt, hvorfor solfangerydelserne bliver forholdsvis små med de traditionelle solfangertyper.

Nye bebyggelser giver bedre muligheder

I nye bebyggelser har man derimod mulighed for at reservere de nødvendige arealer til solfangerne og udføre varmefordelingssystemerne i husene så de er velegnede til lave temperaturer.

4.2 Beregnede brændselsbesparelser

Beregninger for typisk fjernvarmeværk

Et sol - fjernvarmeanlæg er nærmere beregnet i [5]. Der er her taget udgangspunkt i et typisk fjernvarmeværk, med en fremløbstemperatur på ca. 90 ^{o}C om vinteren og ca. 75 ^{o}C om sommeren. Med en afkøling af vandet på ca. 30 ^{o}C året igennem og med et varmetab i ledningsnettet på 20% af det årlige nettovarmebehov findes de i tabel 4.2.1 angivne brændselsbesparelser pr. m^2 solfanger for forskellige anlægsstørrelser.

Solfanger med 2 lag glas

Beregningerne er p.g.a. det høje temperaturniveau foretaget med en solfanger med 2 lag glas, alternativt med 1 lag glas og selektiv overflade, og iøvrigt med samme forudsætninger som angivet i afsnit 3.3.3 idet der dog er korrigeret for varmetab i solfangerkredsen.

Fyringsnyttevirkning

Brændselsbesparelserne er beregnet med fyringsnyttevirkningen fra tabel 3.3.4.1 på 0,88 og under forudsætning af, at selve varmeværkets varmetab er så ubetydeligt i forhold til den leverede varmemængde, at der kan ses bort herfra.

Brændselsbesparelser for sol - fjernvarmeanlæg						
Anlægsstørrelse			Brændselsbesparelse og dækningsgrad			
Forbrug pr. solfang 1)	Solfangerareal pr. bolig 2)		uden lager		med lager	
GJ/m^2·år	m^2	m^2	GJ/m^2·år	%	GJ/m^2·år	%
100	1,1	0,7	1,5	1,3		
50	2,3	1,4	1,4	2,5	1,3	2,2
20	5,7	3,6	1,2	5,2	1,2	5,2
12	9,5	6,0	1,0	7,0	1,1	8,0
6	19,0	12,0	0,6	9,2	0,9	13,2
3	38,0	24,0			0,7	19,4

Tabel 4.2.1

1) Fjernvarmeværkets leverede varme dvs incl. ledningstab

2) Beregnet med nettoopvarmningsbehov på 95 og 60 GJ/år

Af tabellen ses, at anlæg til varmemængder over 20 GJ/år pr. m^2 solfanger bør udføres uden varmelager, mens anlæg under bør have et varmelager for at optimere ydelserne. Endelig ses, at små anlæg giver større ydelse pr. m^2 end større anlæg.

Lavere temperatur giver større ydelse

Af beregningerne i [5] fremgår det desuden, at man ved at sænke temperaturniveauet 10 °C får ca. 20% større ydelse pr. m^2 solfanger. Det kan altså få væsentlig betydning for udnyttelsen af solvarmen, hvis man har mulighed for at sænke driftstemperaturerne i et eksisterende fjernvarmeværk og at fremtidige fjernvarmeanlæg og varmeanlæg i huse projekteres for så lave driftstemperaturer som muligt.

4.3 Økonomisk analyse

Skønnede anlægspriser

Det er endnu ukendt hvad et sol - fjernvarmeanlæg koster i anlæg og drift. Det skønnes dog, at da de er væsentligt enklere end traditionelle fællesanlæg vil omkostningerne også være væsentligt mindre. Med de samme forudsætninger som angivet i afsnit 3.4 er der for 2 anlægspriser beregnet nuværdi og intern rente for eet anlæg, nemlig anlægget med en årlig brændselsbesparelse på 1,2 GJ/m^2. Dette anlæg kan være udført med og uden varmelager.

Nuværdi og intern rente for sol - fjernvarmeanlæg
Brændselsbesparelse = 1,2 GJ/m^2·år, driftsomk. = 5 kr/m^2·år

Brændselsprisstigning pr. år %	Anlægspris 1000 kr/m^2		Anlægspris 700 kr/m^2	
	nuværdi kr	intern rente %	nuværdi kr	intern rente %
2	-730	-6,2	-430	-3,5
5	-600	-3,2	-300	-0,5
10	-360	1,4	- 60	4,3

Tabel 4.3.1

Anlægspriserne er delvis skønnet ud fra den rene solfangerpris ab fabrik i dag, således at 1000 kr/m^2 regnes at repræsentere anlæg med lager mens 700 kr/m^2 gælder for anlæg uden varmelager. Endelig er driftsomkostninger sat til 5 kr/m^2·år.

Mulighed for god økonomi

Af tabellen fremgår, at økonomien er rimelig ved store brændselsprisstigninger og sammenholdt med mulighederne for at sænke temperaturniveauet og derved få anlæg med større ydelse, synes anlægstypen at kunne blive attraktiv i fremtiden.

Bedre end fællesanlæg

Sammenlignet med de tilsvarende tal for fællesanlæg (tabel 3.4.3.3) findes at sol - fjernvarmeanlæg har en intern rente, der er betydelig højere.

4.4 Samfundsforhold i øvrigt

Valutabesparelse, bedre miljø og øget forsyningssikkerhed

Et sol - fjernvarmeanlæg skønnes at have samme løn- og importkvota som en gennemsnitlig offentlig investering. Der er altså ikke en ekstra øjeblikkelig gevinst ved at investere i et sol - fjernvarmeanlæg. Derimod vil anlægget i levetiden spare valuta til import af brændsel, mindske forureningen og medvirke til en bedre energiforsyningssikkerhed.

5. Solvarmeanlæg med sæsonlagring

Varmelagring i store vandbassiner

Skal solvarme lagres fra sommer til vinter, er det nødvendigt at have et lager, der gør dette muligt. En mulighed er at benytte vand i store bassiner. Et sådant lager skal have en vis størrelse for at varmetabet i forhold til varmeindholdet ikke bliver alt for stort. Anlægget skal derfor udføres som et fællesanlæg, dvs et antal boliger benytter et fælles varmelager, der forsynes med varme fra solfangere.

Sæsonvarmelager til en eller få bologer

Der arbejdes også med at udvikle sæsonvarmelagre til en eller få boliger [6]. Disse skønnes dog endnu ikke så udviklede, at det er muligt at give en nærmere teknik/økonomisk vurdering heraf. I det følgende behandles derfor alene anlæg med et stort vandlager.

5.1 Anlægsudformning

Mest velegnet til nye bebyggelser

Solvarmeanlæg med sæsonlagring er ikke opført her i landet,så præcise beskrivelser kan endnu ikke gives. Selve lageret vil som nævnt være af en betragtelig størrelse, hvorfor det skønnes næsten umuligt at indpasse det i eksisterende bebyggelser. Da det samtidig vil være en fordel at holde temperaturniveauet så lavt som muligt, er anlægstypen i praksis kun velegnet til nye bebyggelser, hvor der tages hensyn hertil helt fra projekteringsstarten.

Lager- og solfangerplacering

Lageret placeres rimeligt i bebyggelsen, således at distributionsnettet får et ikke alt for ugunstigt forløb. Solfangerne placeres enten på eller i umiddelbar nærhed af lageret. Alternativt kan de placeres på de enkelte bygninger.

5.2 Anlægsstørrelser

Med et sæsonlager har man muligheden for at dække en bebyggelses varmebehov 100%. Selve lageret kan udføres mere eller mindre isoleret mod omgivelserne og være beregnet til en større eller mindre temperaturvariation.

Beregnede anlægsstørrelser for een lagerudformning

Under forudsætning af, at anlægget skal forsyne en bebyggelse af nye huse med et netto opvarmningsbehov på 60 GJ/år. pr. hus, at der benyttes et vandbassin som lager, der ikke isoleres nedadtil mod jorden, samt at temperaturen i lageret varierer mellem 60 og 30 ^{o}C, findes på baggrund af beregningerne i [7] og [8] de i tabel 5.2.1 nødvendige anlægsstørrelser for at opnå 100% dækning af varmebehovet i et middelår. På grund af det forholdsvis lave temperaturniveau er det skønnet muligt at opnå en solfangerydelse på 1,5 GJ/m^2·år. Endelig er der set bort fra, at temperaturen i en mindre del af året vil være så lav, at brugsvandstemperaturen for de flestes vedkommende er uacceptabel lav.

Solvarmeanlæg med sæsonlagring		
Antal huse a 60 GJ/år	Vandlager m^3/hus	Solfanger[1] m^2/hus
10	510	103
50	450	72
200	425	59
1000	410	51

Tabel 5.2.1

1) Beregnet med ydelsen 1,5 GJ/m^2·år

Ugunstige vejrforhold

Hvis anlægget skal dimensioneres til at klare det ugunstigste vejrforhold, sommer med ringe solindfald efterfulgt af kold vinter, så skal det gøres væsentlig større. I praksis vil man derfor nok forsyne det med en mindre varmecentral, der kan supplere i disse tilfælde.

Brug af varmepumpe, vindmølle o.lign.

Endelig kunne anlægget forsynes med varmepumper til at hæve temperaturerne i de koldeste perioder eller lageret kunne alternativt helt eller delvis opvarmes med en vindmølle.

5.3 Økonomisk analyse

Referenceanlæg

Når solvarmeanlægget skal vurderes økonomisk er det i modsætning til supplerende anlæg nødvendigt at sammenligne med det opvarmningsanlæg der erstattes. Dette anlæg, referenceanlægget, regnes her at være et oliefyret varmeanlæg i hvert hus.

Referenceanlægget antages at have de i tabel 5.3.1 angivne omkostninger og levetider.

Referenceanlæg: individuelt oliefyr		
anlægsdel	anlægspris kr/hus	levetid år
olietank + skorsten	9.000	20 år
fyrrumsinstallationer	11.000	13 år
radiatorer	13.000	20 år
driftsomkostninger		600 kr/år
års-nyttevirkning		0,75

Tabel 5.3.1

Distributions-net

I stedet for oliefyret skal der udføres et distributionsnet tilsluttet sæsonlageret. Desuden skal varmeanlægget udformes som et lavtemperaturanlæg. Ialt skønnet det på baggrund af dagens priser på fjernvarmenet at have de i tabel 5.3.2 anførte omkostninger og levetider.

Solvarmeanlæg med sæsonlagring		
anlægsdel	anlægspris kr/hus	levetid år
distributionsnet	15.000	20 år
stikledning	5.000	20 år
lavtemperaturanlæg	20.000	20 år

Tabel 5.3.2

Skønnede anlægs- og driftsom-kostninger

Varmelagerets anlægspris kan kun skønsmæssigt ansættes. I [9] er der for store vandbassiner nedgravet i jorden og udført uisoleret nedadtil beregnet anlægspriser i afhængighed af størrelse og udførelse. På baggrund heraf er de i tabel 5.3.3 angivne priser skønnet. Desuden er der ligeledes anført et skøn over de årlige driftsomkostninger. Disse er sat til 10 kr pr. m^2 solfanger.

Anlægspriser og driftsomkostninger for solvarmeanlæg med sæsonlager.		
antal huse	lagerpris kr/m^3	driftsomk. kr/hus·år
10	150	1000
50	100	700
200	80	600
1000	60	500

Tabel 5.3.3

Traditionel solfanger eller flydende solfanger

Selve solfangerens pris kan for traditionel udførelse sættes til 700 kr/m^2. Der arbejdes dog også på at udvikle en billig solfanger der samtidig kan virke som lagerets isolerende låg, en såkaldt flydende solfanger [10]. En sådan forventes at kunne udføres væsentlig billigere, således at anlægsprisen for samme ydelse kan sættes til 400 kr/m^2.

Nuværdi og intern rente for 2 anlægspriser

Med de her angivne priser og med de samme forudsætninger som tidligere benyttet, kan der opstilles betalingsrækker for henholdsvis referenceprojektet og solvarmeanlægget. Tages differencen mellem de to betalingsrækker og tilbagediskonteres denne til investeringstidspunktet fås nuværdien. Dette er gjort i tabel 5.3.4 for anlæg med henholdsvis den dyre og den billige solfanger. Ligeledes er der anført de totale anlægsomkostninger og beregnet de tilsvarende interne renter.

Nuværdi og intern rente for solvarmeanlæg med sæsonlagring

antal huse	anlægsomk./hus 1000 kr	nuværdi/hus 1000 kr	intern rente %
10	189 - 158	-101 - -70	- 4 - - 2
50	135 - 114	- 44 - -23	- 1 - 1
200	115 - 98	- 22 - - 5	2 - 4
1000	100 - 85	- 6 - 9	4 - 6

Tabel 5.3.4

Af tabellen ses, at anlæg større end svarende til ca. 50 huse, giver positiv intern rente, der med de gjorte antagelser vokser med antallet af huse.

Andre referenceanlæg

Gennemføres beregningerne med et andet referenceprojekt, f.eks. et traditionelt fjernvarmeanlæg, fås andre resultater. Dette gøres dog ikke, da usikkerheden på solvarmeanlæggets pris er ret stor og derfor forventes at få større indflydelse end anlægs- og driftsomkostninger for andre referenceanlæg. De anførte resultater skal derfor kun bruges som retningsgivende.

5.4 Samfundsforhold

Valutabesparelse og miljøforbedring

Solvarmeanlæg med sæsonlager er endnu kun på beregningsstadiet, og derfor kan der ikke med rimelighed fastsættes løn- og importkvoter herfor. Derimod vil anlægget som de øvrige solvarmeanlæg spare valuta til importeret brændsel og medvirke til en forbedring af miljøet p.g.a. reduktion i afbrændingen af fossile brændsler.

Øget forsyningssikkerhed

Forsyningssikkerheden forbedres fordi energien produceres her i landet,og en bebyggelse kan blive helt selvforsynende med varme og således ikke være afhængig af brændselstilførelser udefra.

5.5 Udenlandske erfaringer

I udlandet, sær i Sverige og Canada arbejdes der også med sæsonlagring. Endnu findes der ikke praktiske driftserfaringer. Derimod kendes anlægsomkostningerne for et anlæg til 50 huse i Linköping. Disse udgør incl. varmepumper ca. 250.000 kr pr. hus [11]. Et større projekt til 500 huse i Lyckebo skønnes at kunne opføres for ca. 100.000 kr pr. hus [12].

6. Konklusion

Fællesanlæg og sol-fjernvarmeanlæg

Kollektive solvarmeanlæg omfatter alle anlæg, der forsyner flere boligenheder med solvarme. Der kan således være tale om traditionelle solvarmeanlæg, der supplerer opvarmningen af en lejlighedsbebyggelse eller en samling enfamiliehuse. Sådanne anlæg er allerede opført og i drift i Danmark. Derimod er der ikke opført solvarmeanlæg, der centralt er koblet sammen med et traditionelt fjernvarmeværk.

Solvarme som supplement

Fælles for de 2 anlægstyper er, at de kan supplere, men ikke på årsbasis erstatte en anden energikilde, og at de under forudsætning af vandbaserede varmefordelingssystemer kan kombineres med alle fyringsanlæg. Specielt findes, at jo lavere et temperaturniveau varmefordelingssystemet har, jo større del af varmebehovet kan der dækkes med solvarme.

Lavere temperatur giver større ydelser

Muligheder med sæsonlagring

Udføres solvarmeanlæg i kombination med et sæsonlager bliver der mulighed for at dække opvarmningsbehovet 100% på årsbasis. I Danmark er der endnu ikke opført sådanne anlæg.

Økonomien bedst i kombination med gasolie

De økonomiske analyser viser, at fordelen er størst for anlæg, der fortrænger den dyreste brændsel, hvilket i dag er gasolie.

Kollektive anlæg økonomisk set bedre end individuelle

Med dagens teknik og energipriser synes supplerende kollektive solvarmeanlæg at kunne udføres lidt billigere og have en større ydelse pr. m^2 end individuelle anlæg. Derfor bliver anlæggene ud fra rene økonomiske vurderingskriterier lidt bedre end de individuelle, dog ikke så meget, at posetive interne renter opnås.

Anlæg med sæsonlagring udført i stor størrelse synes derimod at have mulighed for at blive økonomisk fordelagtige med dagens priser.

Forbedret valutaforhold miljø og forsyningssikkerhed

Alle anlægstyper har derimod en gunstig indflydelse på valutabalancen og medvirker til forbedring af det fysiske miljø. Forsyningssikkerheden øges specielt ved anlæg med sæsonlagring, idet man herved kan blive helt uafhængig af energitilførelser udefra.

Fremtidige anlæg bedre

Dagens teknik og energipriser kan i løbet af kort tid ændre sig. Bedre og billigere solvarmeanlæg kombineret med en stigning af energiprisen vil hurtigt kunne give anlæg, der er økonomisk forsvarlige. Forudsætningen for, at anlæggene bliver forbedret er dog, at fabrikanterne fortsat har et marked, der giver dem baggrund herfor.

7. Referencer

[1] Lawaetz, H: Samfundsøkonomisk analyse af individuelle solvarmeanlæg. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. November 1979.

[2] Varmeforsyningsplanlægning og områdeafgrænsning. Bilag til handelsministeriets energipolitiske redegørelse, ER-79. Marts 1979.

[3] Solvarme - vejledning i projektering og udførelse af anlæg. Teknologisk Instituts forlag. April 1978.

[4] Nordstrand, R: Beskæftigelses- og betalingsbalancehensyn ved projektvurderingen. Juristen og økonomen, Nr 19. November 1979.

[5] Jørgensen, L.S.: Sol - fjernvarmeanlæg. Beregning af et centralt anlæg med og uden varmelager. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. December 1979.

[6] Christensen, P.L.: Litteraturundersøgelse og vurdering af kemiske varmelagre. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. EM-varmelagerprojekt. Rapport nr. 1, 1980.

[7] Lawaetz, H & Hansen, P.N.: Solvarmesystem med sæsonlagring - et projektforslag. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. Rapport 78-39. December 1978.

[8] Lawaetz, H: Nærmere fastlæggelse af et solvarmeanlæg med sæsonlagring. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. Rapport 79-5. April 1979.

[9] Sæsonlagring af varme i store vandbassiner. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. EM-varmelagerprojekt. Rapport nr. 2, 1980.

[10] Svendsen, S: Solvarmesæsonlager med flydende solfanger. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks tekniske Højskole. Rapport 79-13. August 1979.

[11] Samtale med B. Dättermark, Östgötabyggen, Linköping ("Lambohov projektet").

[12] Åstrand, L: The Lyckebo project. IEA-meeting. Studsvik, januar 1979.