

Perspektiver vedrørende solvarme nu og i fremtiden

Klaus Ellehauge

Søren Østergaard Jensen

Meddelelse nr. 138

Januar 1984

PERSPEKTIVER VEDRØRENDE SOLVARME NU OG I FREMTIDEN

KLAUS ELLEHAUGE

SØREN ØSTERGAARD JENSEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

MEDDELELSE NR. 138

JANUAR 1984

Indledning

Nærværende rapport indeholder dels en beskrivelse af solvarmeteknologien, som den ser ud i dag, dels en vurdering af solvarmens fremtidige rolle i dansk energiforsyning. Vurderingen af solvarmens fremtidige rolle er foretaget på baggrund af den hidtidige udvikling, teknologien og økonomien på området i dag og på baggrund af de teknologiske og økonomiske udviklingsmuligheder, der allerede i dag skimtes. Denne vurdering er sammenholdt med tendenserne i den øvrige energiplanlægning og samfundsudviklingen. Det er sket ud fra den erkendelse, at solvarmens rolle i fremtiden i høj grad er bestemt af de energipolitiske beslutninger, der træffes fremover.

Rapporten omhandler kun den termiske udnyttelse af solenergi (omdannelse af solenergien til varme ved hjælp af solfangere eller passiv solvarme). Men solens energi kan også udnyttes på andre måder. F.eks. har der indenfor solcelleområdet (omdannelse af solenergien til elektricitet) været en kraftig udvikling indenfor de seneste år. Dette kan også blive tilfældet med andre solteknologier - såvel kendte som ukendte.

Rapporten er en viderebearbejdelse af et notat, der i oktober 1983 blev udarbejdet til brug for udredningsopgaven "Den teknologiske udvikling og dennes betydning for udformningen af det fremtidige energisystem", som Forsøgsanlæg RISØ udfører for Energiministeriet. Dette notat findes som rapport nr. 83-38 ved Laboratoriet for Varmeisolering.

I notater ønskedes hovedvægten lagt på de fremtidige perspektiver vedrørende solvarmen, men da den igangværende debat om solvarme især beskæftiger sig med den nutidige situation, har vi fundet det relevant at udvide nævnte notat med nogle nutidige økonomiske betragtninger. Vi håber herved at rapporten kan finde anvendelse i den igangværende debat.

Resumé

Gennem de sidste 10 års arbejde med solvarme i Danmark er der fremkommet gode og højtydende solvarmeanlæg. Der har i perioden været adskillige danske solvarmefabrikater, men idag er antallet af fabrikater under 10. Afsætningen af solvarmeanlæg har været svingende og er idag lille på trods af, at de anlæg, der fremstilles idag, er langt bedre end de tidligere anlæg.

Internationalt set er de danske anlæg af høj kvalitet, og den danske forskning har f.eks. med brugsvandsanlæggene været først med de gode resultater.

Solvarme anvendes idag på en række områder.

Brugsvandsanlæggene er de, der haves flest erfaringer med. Brugsvandsanlæggene dimensioneres ofte, så de dækker 60 - 70% af husets varmtvandsforbrug.

Et brugsvandsanlæg til et eksisterende parcelhus vil typisk være på 5 m². Nettoydelsen vil være ca. 380 - 400 kWh/år pr m² solfanger, totalydelsen 750 - 1100 kWh/år pr. m² solfanger. Prisen for et sådant anlæg er idag inclusive moms ca. 5000 kr/m² solfanger.

Et gunstigere forhold mellem pris og ydelse kan opnås for større brugsvandsanlæg f.eks. til en boligblok, for anlæg til nybyggeri, hvor en varmtvandsbeholder kan spares, eller ved anlæg med billigere og måske derfor mindre holdbare komponenter. Sådanne anlæg har nettoydelser på mellem 330 og 400 kWh/m² solfanger pr. år og totalydelser på mellem 600 og 800 kWh/m² solfanger pr. år. Prisen for sådanne anlæg er idag mellem 2500 og 3000 kr. pr. m² solfanger inclusive moms.

Anlæg til kombineret rum- og brugsvandsopvarmning. Til et parcelhus vil et sådant anlæg typisk være på 15 m² og dække omkring 30% af husets årlige energiforbrug (ca. 20% af rumopvarmningsbehovet og 60 - 65% af brugsvandsbehovet).

Anlægget vil have en nettoydelse på f.eks. 310 kWh/m² solfanger pr. år og totalydelser på mellem 450 og 650 kWh/m² solfanger pr. år. Prisen for anlægget vil være ca. 4000 kr. m² solfanger incl. moms.

Også her vil et sådant anlæg kunne udføres billigere f.eks. i nybyggeri. Nettoydelsen vil være ca. 250 kWh/år og totalydelser 450 kWh/m² solfanger pr. år. Prisen pr m² solfanger vil være ca. 3000 kr. inklusive moms.

Hvis den forventede holdbarhed for solvarmeanlæg på 20 år opnås, kan det (med ovennævnte anlægspriser og ydelser) betale sig for brugeren at investere i solvarmeanlæg - også uden statsstøtte.

Den samfundsmæssige rentabilitet afhænger dels af, hvilke faktorer der medregnes, dels af hvilken forrentning af investeringerne det findes rimeligt for samfundet at kræve. I nærværende rapport er der ikke foretaget beregninger over solvarmens samfundsøkonomi med alle direkte og afledede effekter (beskæftigelse, valutabesparelse, forurening, m.m.). Der er kun lavet beregninger over den samfundsmæssige driftøkonomi (almindelig driftøkonomi uden skatter og afgifter) med to forskellige forrentninger af den investerede kapital.

De kombinerede anlæg ses at have dårligere forhold mellem ydelse og pris end brugsvandsanlæggene. Til gengæld har de højere dækningsgrader.

Passiv solvarme. Udnyttelse af solvarmen ved udformningen af selve bygningskonstruktionen kan i nybyggeri ofte ske uden nævneværdig merpris.

Der kan idag øjnes nogle tekniske og økonomiske udviklingsmuligheder

Hvis det bliver muligt at fremstille solvarmeanlæggene under

stordriftsforhold samt ved yderligere formindskelse af anlæggene som følge af forbedrede ydelser, vil de forannævnte priser kunne reduceres med 40 til 50%.

Endvidere findes der en række nye muligheder for anvendelser af solvarme.

Anlæggene kan eventuelt billiggøres ved anvendelse af nye materialer f.eks. plastic eller ved opbygning som nøglefærdige units.

Nye lagringsmetoder kan vise sig at få afgørende betydning. Der kan her peges på smeltevarmelagre, kemiske varmepumper og damvarmelagre.

Især kemiske varmepumper og damvarmelagre kan være velegnede som sæsonvarmelagre. For damvarmelagrene kan der allerede idag peges på, at disse med solfangerpriser, som vil kunne opnås inden for en kortere årrække, vil være konkurrencedygtige med almindelig fjernvarme, idet solvarmen vil kunne leveres til 0,30 kr/kWh.

I hvor høj grad, solvarmen vil finde anvendelse fremover, er dels afhængigt af, hvorledes prisudviklingen vil blive for den energi, som solvarmen skal erstatte, samt et spørgsmål om, hvorledes energisystemet nu og fremover bliver udformet. Bestræbelser på at spare på den højkvalitative energi ved at omlægge forbruget til lavkvalitative energiformer vil øge den relative og absolutte rolle, solvarmen vil kunne spille i fremtiden.

I det eksisterende byggeri vil en kraftig udnyttelse af solenergien bedst kunne lade sig praktisere i forbindelse med kollektive lavtemperatur-fjernvarmenet, såfremt sådanne opbygges eller omstilles til lavtemperaturnet. Man vil her kunne opbygge sæsonvarmelagre, som vil give en stor udnyttelse af solvarmen.

I nybyggeri kan passiv solvarme og lavenergiforanstaltninger bringe energiforbruget meget langt ned, men også her kan kollektive solvarmeanlæg bidrage væsentligt.

Indholdsfortegnelse

1.	Solvarme idag	3
1.1.	Udviklingen fra 1973 til 1983	3
1.2.	Teknikken i solvarmeanlæg idag	8
1.2.1.	Traditionelle solvarmeanlæg	8
1.2.1.1.	Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning	9
1.2.1.2.	Solvarmeanlæg til rum- og brugsvandsopvarmning	10
1.2.2.	Andre typer anlæg	11
1.2.3.	Passiv solvarme	12
1.3.	Økonomien i solvarme idag	13
1.3.1.	Holdbarhed og vedligeholdelsesudgifter	13
1.3.2.	Solvarmeanlægs rentabilitet	14
1.3.2.1.	Brugsvandsanlæg	16
1.3.2.2.	Kombinerede anlæg til brugsvands- og rumopvarmning	18
1.3.3.	Passiv solvarme	20
2.	Tekniske og økonomiske udviklingsmuligheder	21
2.1.	Videreudvikling af kendte anlægs- og komponenttyper	21
2.1.1.	Forbedringer i ydelse	21
2.1.2.	Prismæssig forbedring	23
2.1.2.1.	Eventuel storproduktions indflydelse på anlægsprisen	23
2.2.	Udvikling af nye typer komponenter og anlæg	24
2.3.	Eksempel	28
3.	Udnyttelse af solvarmeteknologien set i sammenhæng med andre energiteknologier og samfundsstrukturer	30
3.1.	Overordnede betragtninger	30

3.2.	Solvarmens rolle i nybyggeri	31
3.3.	Solvarme i det eksisterende byggeri	31
3.3.1.	Kollektive anlæg	31
3.3.2.	Individuelle anlæg	32
3.4.	Afslutning	33
4.	Referencer	34

1. Solvarme i dag

1.1. Udviklingen fra 1973 til 1983.

Principperne i et solvarmeanlæg er gammelkendte, og der har da også i århundreder været eksperimenteret med forskellige udnyttelser af solenergien. I Danmark kan den første interesse for solvarmeanlæg dog passende dateres til energikrisen i efteråret 1973. På dette tidspunkt havde man i udlandet (især USA og Israel) allerede praktiske erfaringer med udnyttelse af solvarme. I USA blev der fra begyndelsen af 50'erne installeret i tusindvis af solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning i Californien og Florida. De fra det tidspunkt faldende oliepriser udkonkurrerede dog disse anlæg. "The International Solar Energy Society" blev dannet i 1954. (ref. [1]).

En væsentlig inspiration til interessen for solvarmeanlæg herhjemme var det såkaldte "Nul-Energihus", som blev opført ved Danmarks Tekniske Højskole i årene efter energikrisen i 1973. Hovedformålet med dette hus var især at formindske energibehovet i et hus, men på huset blev der endvidere monteret et solvarmeanlæg, som skulle udgøre en væsentlig varmekilde til husets forbrug.

I perioden 1974-1976 blev der på Laboratoriet for Varmeisolering udført forskelligt forberedende forskningsarbejde vedrørende solvarmens muligheder i Danmark. Samtidig dukkede de første danske fabrikanter af solvarmeanlæg op. Disse havde et ganske væsentligt salg i 1976 og 1977. Endvidere var en del selvbyggere gået i gang med at bygge solvarmeanlæg.

I 1977 startede Energiministeriets (dengang Handelsministeriets) forskningsprogram om solvarme. Udførelsen af dette program blev overvejende udlagt til Laboratoriet for Varmeisolering og Teknologisk Institut.

Hovedaktiviteten i dette program blev fra starten lagt på udførelsen af 8 demonstrationsprojekter af forskellige kategorier:

Brugsvandsanlæg til parcelhus

Stort solvarmeanlæg til rum- og brugsvandsopvarmning på nyt parcelhus

Mindre solvarmeanlæg til rum- og brugsvandsopvarmning på ældre parcelhus

Solvarmeanlæg til brugsvand på etageejendom

Solvarmeanlæg til brugsvand i tæt lav bebyggelse.

Solvarmeanlæg til brugsvand på campingplads

Solvarmeanlæg til brugsvand på gymnasium

Solvarmeanlæg kombineret med varmepumpeanlæg.

Resultaterne fra disse anlæg var skuffende, idet ydelserne ikke blev som beregnet. Endvidere var mange af anlæggene behæftede med funktions- og holdbarhedsmæssige problemer. Detaljerede målinger gjorde det dog muligt at påpege manglerne samt at foreslå forbedringer.

I 1978 blev de første tanker vedrørende tilskud til vedvarende energianlæg fremført fra boligministeriets side. Indtil ordningen blev etableret i august 1979 stoppede salget af solvarmeanlæg, men samtidig dukkede en masse nye fabrikanter op på markedet i forventning om fremtidige afsætningsmuligheder. Ved slutningen af 1979 fandtes således 25-26 fabrikanten på det danske marked.

På Laboratoriet for Varmeisolering foregik der i denne periode et arbejde med afprøvning af solfangere og varmelagre. Resultaterne herfra førte i samarbejde med fabrikanterne til meget forbedrede udgaver af komponenterne hos en del af fabrikanterne. De offentlige tilskud til solvarmeanlæg skulle kun gives til anlæg med godkendte systemløsninger og komponenter. Til varetagelse af disse godkendelser blev Prøvestationen for Solvarmeanlæg oprettet i 1981.

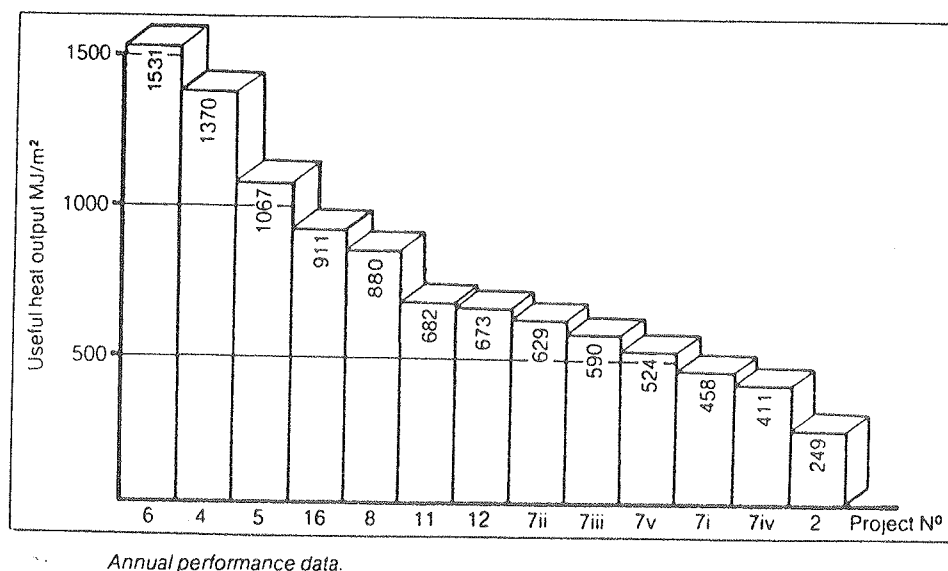
Siden antallet af fabrikanter toppede i slutningen af 1979 er antallet af disse gået tilbage, således er der i 1983 kun ca. 5-6 fabrikanten tilbage.

Arsagerne til denne tilbagegang skyldes især:

- Den periodevise tilskudsordning vanskeliggjorde en stabil omsætning
- De øgede myndighedskrav vanskeliggjorde forholdene for små virksomheder, idet komponentprøvninger og systemgodkendelse påførte virksomhederne ekstra udgifter
- De skuffende resultater fra Energiministeriets demonstrationsprojekter kølnede den første optimisme omkring solvarmeanlæg.

På baggrund af udviklingen af gode komponenter samt erfaringerne fra de første demonstrationsprojekter, blev det på Energiministeriets forskningsprogram besluttet at opføre nogle optimerede "2. generations" demonstrationsprojekter. Det var nærliggende at starte med små anlæg til brugsvandsopvarmning i parcelhuse. Resultater herfra kunne så overføres til kombinerede anlæg til rum- og brugsvandsopvarmning og til større anlæg. De optimerede anlæg til brugsvand (BV300-anlæggene) blev bygget i 1980, og målingerne blev afsluttet i 1981. Resultaterne herfra var gode, idet anlæggene fungerede uden problemer, samt ydede det de beregningsmæssigt skulle. Endvidere var systemopbygningen væsentligt forenklet og forbedret.

Udviklingen på dette punkt kan illustreres af nedenstående figur, som viser udbyttet fra en række brugsvandsanlæg i EF, som er rapporteret af EF's Performance Monitoring Group (ref. [2]).



Figur 1. Brugsvandsanlæg rapporteret til EF ref. [2].

System nr. 2 er demonstrationsprojektet i Bloustrød fra 1977, medens system nr. 4 er det såkaldte BV300-anlæg. Dette anlæg var det bedst ydende af samtlige 28 rapporterede anlæg i EF, idet anlægget både har en høj ydelse pr. m^2 solfanger (380 kWh/m^2), en høj systemeffektivitet (38% af den indfaldne sol udnyttes til brugsvand) samt en høj dækningsgrad (66% af energiforbruget til brugsvand dækkes af solenergi). Endvidere var anlægget mindre og enklere end de fleste andre rapporterede systemer. (På figur 1 synes anlæg 6 i Freiburg at være bedre ydende, hvilket dog skyldes, at anlægget er hårdere belastet og altså har mindre dækningsgrad).

De tekniske forbedringer af brugsvandsanlæggene kan overføres til andre typer anlæg. Dette er gjort ved et kombineret anlæg til rum- og brugsvandsopvarmning, som er opført på Laboratoriet for Varmeisolering. Dette anlæg, som har et solfangerareal på 15 m^2 , yder 310 kWh/m^2 og dækker hermed 29% af et parcelhus' samlede forbrug (et hus på 120 m^2 isoleret til BR77/BR82 standard) til brugsvand og rumopvarmning.

Anlægget er foreløbig kun et forsøgsanlæg, men når tilstrækkelige erfaringer haves, vil det kunne danne prototype for fabrikanterne på samme måde som BV300-anlæggene.

Sideløbende med forskningen indenfor de traditionelle solvarmeanlæg har der også været udført forskning vedrørende andre anvendelser af solvarme. Således kan nævnes passiv udnyttelse af solvarme, d.v.s. udnyttelse af solenergi ved brug af bygningsmæssige forhold f.eks. vinduers placering m.m. Endvidere kan nævnes forskning i solvarmeanlæggenes komponenter, herunder kemiske lagre til små solvarmeanlæg og sæsondamvarmelagre til store solvarmeanlæg. Selvom resultaterne herfra på længere sigt er lovende, er der endnu ikke i væsentlig grad sket nogen anvendelse heraf.

Konkluderende om de sidste 10 års arbejde med solenergi i Danmark kan det anføres, at der inden for de sidste år er udviklet traditionelle solvarmeanlæg, som er højtydende og teknisk tilfredsstillende.

På baggrund af materiale fra tilskudsordningen og fra fabrikantoplysninger kan det skønnes at der i dag er etableret 2.500 - 3.000 solvarmeanlæg i Danmark. Ca. 59% af disse anlæg er rene brugsvandsanlæg medens størstedelen af resten er anlæg til delvis rumopvarmning og brugsvand. Den sidste kategori af anlæggene fordeler sig på forskellige anvendelsesområder, f.eks. opvarmning af svømmebassiner, brugsvand til idrætsanlæg, diverse institutioner m.m., fælles anlæg for flere boliger, eventuelt i kombination med andre energikilder f.eks. jordvarme.

I Energiplan 81 er der i basisalternativet regnet med en udbygning af vedvarende energianlæg til 150.000 anlæg i 1995. Heraf skulle der være 30.000 solvarmeanlæg. Ved en sådan udbygning skulle de vedvarende energianlæg i alt kunne leve-
re 3,3% af landets brændselsforbrug. På denne baggrund må den nuværende udbygning på ca. 3.000 anlæg anses for meget lille.

Markedet for solvarmeanlæg har været meget svingende, men har måske i øjeblikket stabiliseret sig på et lavt niveau.

De gode anlæg, som produceres nu, er stadig lidt for dyre. Desværre er en af forudsætningerne for en billiggørelse, at fabrikanterne kan opnå produktioner af en vis størrelse. Der er altså tale om en slags "ond cirkel", som på en eller anden måde må brydes.

Indenfor forskningsprogrammet vil det fremtidige arbejde bl.a. derfor også blive lagt på at finde nye materialer og konstruktionsmetoder til billiggørelse af anlæggene.

1.2. Teknikken i solvarmeanlæg i dag

1.2.1. Traditionelle solvarmeanlæg

Principperne i et traditionelt solvarmeanlæg er enkle. Man kan derfor forledes til at tro, at design og konstruktion af solvarmeanlæg ikke kræver særlig ekspertise, idet selve solfangeren er den eneste komponent, som ikke er kendt fra normal VVS-teknik.

Erfaringerne fra Energiministeriets første demonstrationsprojekter viser imidlertid, at en del af problemerne stammer fra, at der er benyttet normal VVS-teknik på en del af løsningerne. I et solvarmeanlæg er det således meget vigtigt at holde nøje regnskab med eventuelle varmetab, og det er vigtigt at dimensionere anlægget for det rigtige forbrug. Dette har man ikke i samme grad været vant til ved traditionelle energianlæg.

I det følgende gennemgås opbygningen af ét brugsvandsanlæg og ét anlæg til kombineret rum- og brugsvandsopvarmning.

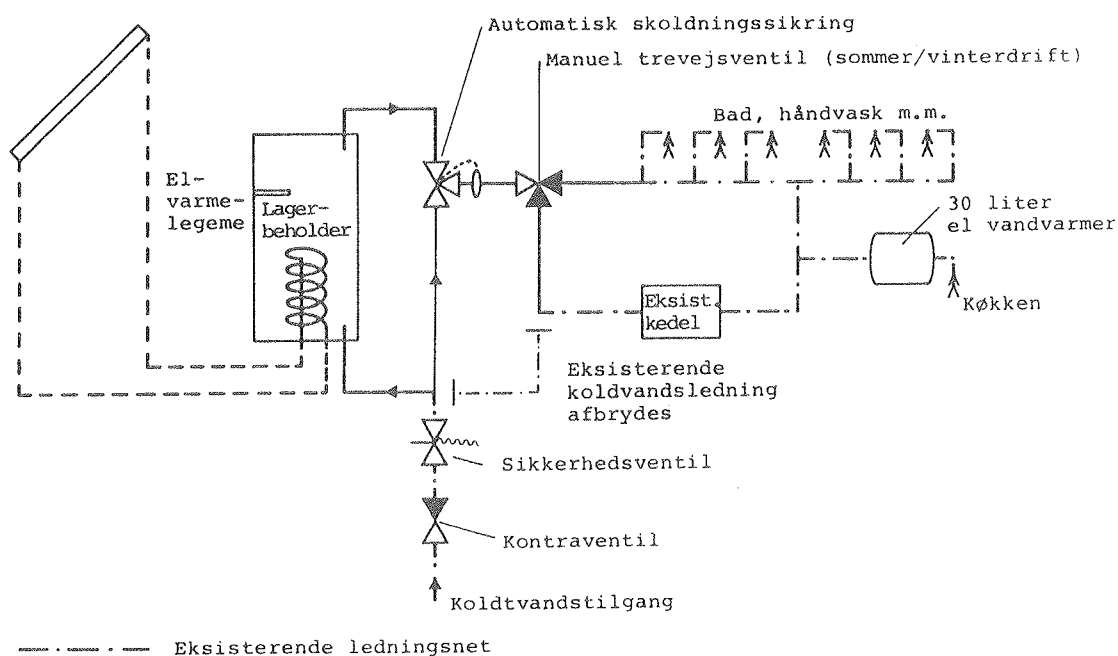
Begge anlæg er baseret på korttidslagring (d.v.s. lagring i tidsperioder på mindre end 4-5 dage).

Med den lagringsteknik (små tanklagre) som hidtil er blevet anvendt og afprøvet, er det ikke økonomisk at lagre energien i længere perioder. Anvendelse af store lagre til store solvarmeanlæg vil åbne mulighed for et gennembrud for solvarme.

1.2.1.1. Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning

Et principdiagram for et typisk brugsvandsanlæg er vist på figur 2.

Anlægget er vist i forbindelse med et eksisterende olie-fyret opvarmningssystem. For et normalt vandforbrug på 150 l/døgn i et parcelhus, vil en passende størrelse på anlægget være 4 m² solfanger samt 200 liter vand-lager. Et sådant anlæg vil kunne dække 60-70% af energibehovet til varmt vand og have en årlig ydelse på 380 kWh/m². Dette forudsætter at solfangeren er effektiv evt. med selektiv belægning. For at undgå store varmetab fra lagerbeholderen skal uundgåelige kuldebroer være placeret forneden i lageret. Rørforbindelser skal være ført ned således, at varmt vand ikke ved selvcirkulation cirkulerer ud i rørsystemet. Indløb af det kolde brugsvand skal være placeret forneden i beholderen og udtaget af varmt brugsvand foroven. Herved sikres temperaturlagdeling i



Figur 2. Principdiagram: Tilkobling af brugsvandsanlæg til eksisterende varmtvandsanlæg.

tanken. Varmeveksleren i solfangerkredsen skal være placeret lavest i tanken, så den i videst muligt omfang arbejder på det kolde vand i lagertanken. Af øvrige komponenter til anlægget skal der være:

ekspansionsbeholder
cirkulationspumpe
kontraventil
sikkerhedsventil
differenstermostat til styring af pumpen.

I de fleste installationer vil der endvidere skulle etableres en skoldningssikring.

Såfremt det er muligt at placere solfangeren lavere end lagertanken, kan anlægget fungere ved naturlig cirkulation, hvorved pumpe og styring kan spares.

I nybyggeri eller hvor der etableres nye varmeinstallationer, vil solvarmeanlægget kunne sammenbygges med det øvrige varmesystem, således at der kun er én varmtvandsbeholder. Dette vil give en økonomisk fordel, og vil i forbindelse med f.eks. et gasfyr kunne udføres som en kompakt og velfungerende enhed. Ved renovering af kedelanlæg i eksisterende bebyggelse kan de samme fordele opnås.

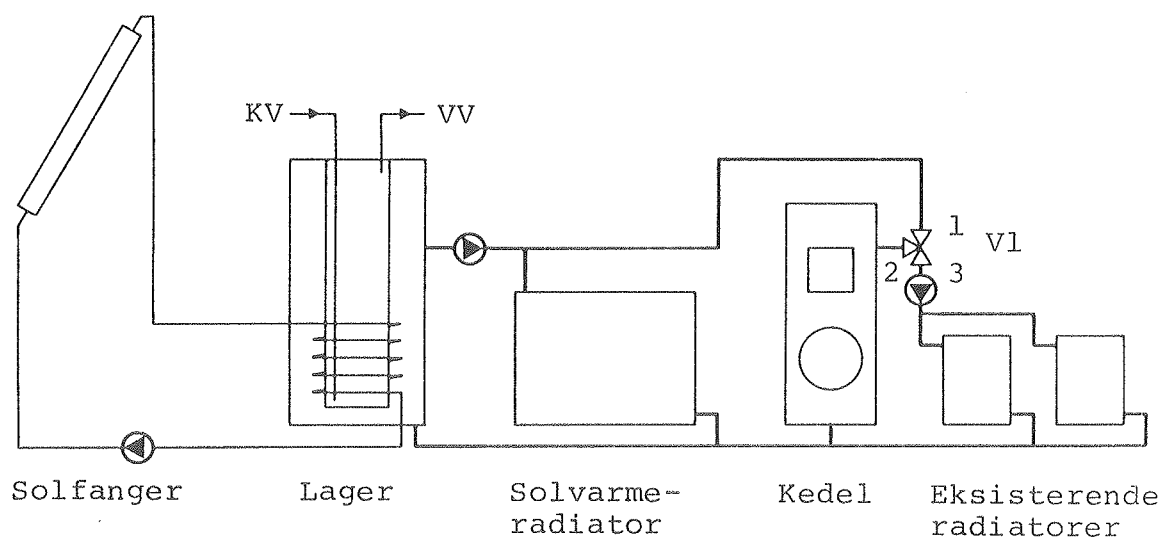
Endvidere vil solfangeren kunne gøres billigere ved integration i tagkonstruktionen.

1.2.1.2. Solvarmeanlæg til rum- og brugsvandsopvarmning.

Principdiagrammet for et sådant anlæg til et eksisterende hus er vist på næste side.

Foruden at fungere som et brugsvandsanlæg er der medtaget rumopvarmningsmuligheder, som fortrinsvis vil være af værdi i forårs- og efterårsmånederne.

Tilslutningen til det eksisterende opvarmningssystem sker i det viste anlæg ved en separat radiator, som i fyringssæsonen udelukkende kører på solvarmeanlægget. En passende størrelse for et sådant anlæg til et normalt parcelhus vil f.eks. være 10-15 m² solfanger og lagerbeholder 500-1000 liter (inklusiv varmtvandsbeholder). Et sådant anlæg vil kunne yde 310 kWh/m²/år med en dækningsgrad af husets tota-



Figur 3. Solvarmeanlæg til rum- og brugsvandsopvarmning.
kv: koldt brugsvand. vv: varmt brugsvand.
Fyringssæson: V1: 2-3. Solvarmeradiator kører på
lageret, de eksisterende radiatorer
på kedel.
Fyr afbrudt: V1: 1-3. Alle radiatorer kører på
lageret.

le varmebehov på ca. 30% (heraf brugsvand 60-65% og rumopvarmning 20-25%, (i et hus på 120 m² isoleret til BR77/BR82 standard)).

I forbindelse med nybyggeri vil solvarmeanlægget lettere kunne integreres med husets totale varmesystem, dette vil billiggøre solvarmeanlægget. Hvor stor en dækningsgrad af rumopvarmningsbehovet, der vil være optimal, er dog usikkert, da dette skal ses i sammenhæng med mulighederne for passiv solvarme og lavenergiforanstaltninger.

1.2.2. Andre typer anlæg

De forannævnte solvarmesystemer er de mest benyttede i Danmark i dag, og de der haves mest viden om. De kan naturligvis udføres i mange variationer og i større skala til institutioner eller større bebyggelser. En sådan mindre opskalering vil ikke volde problemer, og vil ofte kunne billiggøre anlæggene relativt (i kr./m² solfanger). En speciel anvendelse er opvarmning af svømmebassiner.

I udlandet anvendes ofte solvarmesystemer med luft som varmebærende medium med lagring i f.eks. stenlager. Sådanne

anlæg kan have fordele, men anvendes mest i forbindelse med luftopvarmningssystemer, der har ringe udbredelse i Danmark.

1.2.3. Passiv solvarme

Ved passiv solvarme kan hele bygningen betragtes som en stor "beboelig" solfanger, der har relativt store vinduer eller glasdækkede opholdsarealer, som vender mod syd, sydøst eller sydvest.

Bygningen er samtidig en "beboelig" lagerenhed. Lagringseffekten opnås ved, at der placeres materialer med høj varmekapacitet i bygningskonstruktionen. Disse materialer kan være beton, teglsten, vand, o.s.v. Materialerne opsuger varmen fra solindstrålingen og afgiver den, når rumtemperaturen falder.

Varmeoverførslen sker hovedsagelig ved naturlige drivmidler - stråling, konvektion og varmeledning.

Udnyttelse af passiv solvarme behøver ikke at medføre væsentlige ændringer i forhold til traditionel byggemåde.

Solvarmeudnyttelsen kan ske efter følgende principper:

- vindueskonstruktioner
- glastilbygninger
- solvægge

(ref. [3]).

Udnyttelse af passiv solvarme ved hjælp af vindueskonstruktioner er muligt i nybyggeri, hvor en bevidst planlægning af vinduer og husets varmeakkumulerende evne kan medføre en bedre udnyttelse af solindfaldet.

En glastilbygning til et hus kan udover en brugsmæssig fordel medføre en række energimæssige besparelser.

Endelig kan der opføres solvægge hvor princippet er, at solstrålingen absorberes i en vægflade og transmitteres ind i bygningen til senere dækning af en del af energiforbruget til bygningens varmetab.

Udnyttelsen af passiv solenergi er ved at finde indpas ved projektering af nybyggeri, men har næppe større praktisk betydning i den i dag eksisterende boligmasse. Da en del af de passive udnyttelser kan udføres uden væsentlig merpris i et nybyggeri, er der dog ingen tvivl om, at passiv udnyttelse vil vinde større udbredelse.

Hvorledes balancen i fremtidigt byggeri mellem passiv solvarme og lavenergiforanstaltninger (isolering m.m.) bliver, er svært at afgøre, men ved udnyttelse af begge muligheder er der dog ingen tvivl om, at energiforbruget i fremtidigt byggeri vil være væsentligt lavere end nu (ref. [17]).

1.3. Økonomien i solvarme i dag

1.3.1. Holdbarhed og vedligeholdelsesudgifter

I forbindelse med vurdering af rentabiliteten af en investering i et solvarmeanlæg, må der indgå en vurdering af, hvor længe solvarmeanlægget kan holde, samt hvilke vedligeholdelsesudgifter der vil forekomme.

I de nutidige anlæg er det kun solfangeren, som ikke er en traditionel VVS del. For den del af solvarmeanlægget, der ikke er solfanger, vil det derfor være rimeligt at regne med en holdbarhed på 20 år, som man normalt regner med for VVS komponenter.

For solfangere er det vanskeligt at vurdere, hvor længe de kan holde, da der i Danmark kun haves erfaringer, som højst strækker sig over 10 år. De seneste års arbejde med dette problem (bl.a. ved hjælp af accelererede holdbarhedsprøvninger) tyder dog på, at for velgennemtænkte solfangerkonstruktioner vil der kunne regnes med holdbarheder på 20 år eller mere. De holdbarhedsproblemer, som er registreret, har alle kunnet henføres til uhensigtsmæssige konstruktioner - f.eks. utætte inddækninger m.m. Af de solfangere, der forhandles idag, vil

nogle formentlig have holdbarheder på 20 år eller mere, medens andre næppe vil kunne holde så længe.

For et rigtigt udført solvarmeanlæg med langtidsholdbare komponenter vil den årlige vedligeholdelse være minimal eller praktisk taget lig nul. Det vil dog nok være rimeligt at medregne en mindre årlig vedligeholdelsesudgift på f.eks. 20 kr. pr. m^2 solfanger incl. moms. For et 5 m^2 brugsvandsanlæg vil beløbet altså udgøre 100 kr årligt. Dette beløb kan f.eks. dække udskiftning af glas i solfangeren som følge af beskadigelse på grund af stenkast el. lignende. Eller det kan dække efterfyldning af glucol på anlægget som følge af overkogning.

Hvis solvarmeanlægget substituerer et oliefyr i sommerperioden, vil det ved afbrydelse af oliefyret være en god ide at få rensat dette. Udgiften hertil vil dog rimeligt kunne regnes til oliefyrets normale vedligeholdelse.

1.3.2. Solvarmeanlægs rentabilitet

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

I tabel 1 er forudsætningerne for de følgende økonomiberegninger opstillet.

Tabel 2 viser nuværdifaktorerne for private og samfund for levetider på henholdsvis 15 og 20 år. Nuværdifaktorerne bruges til at tilbagediskontere fremtidige indtægter og udgifter til anlægsåret.

I de følgende beregninger antages det, at den årlige driftsudgift er 20,- kr. pr. m^2 inkl. moms. I beregningerne tages der også hensyn til cirkulationspumpernes forbrug af elek-

	Privatøkonomi	Samfundsøkonomi 1)
Gasoliepris 7)	0,350 kr/kWh 2)	0,246 kr/kWh 2)
El-pris	0,725 kr/kWh 2)	0,439 kr/kWh 2)
Prisstigninger (inflation)	8% p.a. 3)	8% p.a. 3)
Energiprisstigninger	10% p.a. 4)	10% p.a. 4)
Nominel kalkulationsrente	16% 5)	9 og 17,7% 6)
Marginal skatteprocent	55%	0%

- Tabel 1. 1) Samfundsøkonomi beregnet som foreskrevet af Energiministeriet. Der indgår ikke hensyn til beskæftigelse, forurening, valutariske konsekvenser, m.m.
- 2) Priserne er fra 15. sept. 1983. I energipriserne under samfundsøkonomi er ikke medtaget skatter og afgifter (herunder moms).
- 3) Tallet stammer fra [4], der bygger på Det økonomiske Råds Sekretariat.
- 4) 2% realprisstigning på energi er hentet fra [5].
- 5) Opringning til Handelsbanken uge 40 1983. Banken beregner sig ud over renten en provision på 2% af det lånte beløb.
- 6) 9% svarer til en realrente på 0-1%. 17,7% - realrente = 9% - benyttes af Energiministeriet. Energiministeriet kræver således en højere forrentning end private.
- 7) For gasolie regnes med en nedre brændværdi på 10.000 kcal/kg = 9.77 kWh/l.

Levetid	Privat		Samfunds	
	Energipris	Andre priser	Energipris 1)	Andre priser 1)
15	18.55	15.93	15.12 9.11	13.94 8.06
20	26.51	21.64	20.21 10.59	18.18 9.13

Tabel 2. Nuværdifaktorer.

- 1) Første kolonne er beregnet med en nominel kalkulationsrente på 9%, anden kolonne med 17.7%.

tricitet. Derimod er der ikke medregnet offentligt tilskud.

1.3.2.1. Brugsvandsanlæg

Opvarmning af brugsvand er i dag den anvendelsesmåde, der er mest udbredt indenfor solvarmeområdet. I det følgende beregnes økonomien for fire forskellige anlæg:

- 1) Anlæg på 5 m^2 solfanger med en lagerbeholder på 250 l. Det daglige forbrug er 200 l/døgn ved 45°C . Et sådant anlæg koster 22.500,- kr. excl. moms (inkl. moms: 27.450,- kr). Anlægget er beregnet til installation i eksisterende byggeri, hvor det skal supplere enten en moderne eller en ældre kedel. Totalydelsen pr. år bliver 3.800 og 5.470 kWh for henholdsvis en moderne og en ældre kedel. Totalydelsen er den nyttiggjorte energi fra solvarmeanlægget korrigeret for kedlens virkningsgrad plus sparet tomgangstab i sommermånederne, hvor fyret er slukket. For en moderne kedel regnes med en virkningsgrad på 0,85 og et tomgangstab på 350 W. De tilsvarende tal for en ældre kedel er 0,75 og 600 W.
Tallene stammer fra [6] og svarer til, hvad der er målt på de seneste demonstrationsanlæg.
- 2) Brugsvandsanlæg til en boligblok med 15-20 lejligheder. Anlægget er på 40 m^2 solfanger, det daglige forbrug er 2000 l. varmt vand. Anlægget antages at have samme årlige nettoydelse pr. m^2 som det lille brugsvandsanlæg - 380 kWh/m^2 . Varmetabet fra store beholdere er mindre pr. volumenend end for små beholdere. Det gælder både for lagerbeholderen i solvarmeanlægget, men især for varmtvandsbeholderen i forbindelse med kedlen. Der regnes derfor med, at tomgangstabet fra kedlens varmtvandsbeholder er $1/3$ mindre pr. volumenend end fra en parcelhuskedel. Den årlige totalydelse for anlægget bliver da 23800 og 30900 kWh for henholdsvis en moderne og en gammel blokcentral. Et sådant solvarmeanlæg vil ifølge [7] koste omkring 100.000 kr. excl. moms (122.000,- kr inkl. moms).
- 3) Et solvarmeanlæg, der er billiggjort ved brug af enk-

lere og billigere komponenter. Anlægget er på 6 m² solfanger og har en årlig nettoydelse på 2000 kWh (Dette tal er skønnet ud fra erfaringer med andre anlægstyper - der er endnu ikke foretaget målinger på anlægget). Dette svarer til en totalydelse på 3500 og 5000 kWh for henholdsvis en moderne og en ældre kedel som back-up-enhed. Prisen på anlægget er angivet til 12.300,- kr. excl. moms, (15.000,- kr inkl. moms) [8]

- 4) Anlæg til nybyggeri: Her er der muligt både at spare på materialer og monteringsomkostninger. Således er det muligt kun at have en varmtvandsbeholder, hvor både solvarme og fyr er tilkoblet - en såkaldt kombi-beholder. Anlægget er på 5 m² og har en total årlig ydelse på 3300 kWh i forbindelse med en moderne kedel. En ældre kedel er ikke aktuel i nybyggeri. Anlægget vil kunne laves for en merudgift på 14.500,-kr. excl. moms (17.690,- kr inkl. moms) [9].

Det skal bemærkes at priserne under 1) er erfarede priser, medens priserne 2) og 4) er beregnede. Prisen under 3) er opgivet af forhandleren. Priserne er uden offentligt tilskud.

Tabel 3 viser, hvor stor en brøkdel kapitalværdien udgør af anlægsprisen.

Som det ses af tabel 3, kan det allerede i dag betale sig for forbrugeren at investere i solvarme (også uden stats-tilskud), hvis anlæggene holder i op mod 20 år. Samtidigt ses det, at anlæggenes rentabilitet stiger, når anlægget vokser, når der anvendes billigere materialer og hvis anlægget installeres samtidigt med husets opførelse. I dette notat er der ikke forsøgt at konkludere på samfundsøkonomien, idet valget af forudsætninger er endnu vanskeligere her end ved privatøkonomi. Desuden er investeringernes afledede effekter på samfundsøkonomien ikke medregnet.

Brugsvandsanlæg		Kapitalværdi divideret med anlægspris			
Anlæg	levetid år	privatøkonomi		samfundsøkonomi	
		back-up-enhed		back-up-enhed	
		moderne kedel	ældre kedel	moderne kedel 1)	ældre kedel 1)
5 m ² 1)	15	0,79	1,18	0,54 0,33	0,82 0,50
	20	1,13	1,69	0,73 0,38	1,10 0,58
40 m ² 2)	15	1,11	1,49	0,76 0,46	1,03 0,62
	20	1,60	2,13	1,02 0,54	1,37 0,72
billigt an- læg 6 m ² 3)	15	1,28	1,93	0,89 0,54	1,34 0,81
	20	1,85	2,77	1,19 0,63	1,79 0,94
Anlæg i ny- byggeri 5 m ² 4)	15	1,07	-	0,74 0,45	-
		1,53	-	0,99 0,52	-

Tabel 3. Kapitalværdi divideret med anlægsprisen. Når tabelværdien er over 1, kan investeringen betale sig. Hvis værdien er under 1, skal prisen på anlægget formindskes med $(1 - \text{tabelværdien}) \times 100\%$, før investeringen bliver rentabel. Anlægsprisen er excl. tilskud, men inkl. montage.

1) Første kolonne er beregnet med en nominel kalkulationsrente på 9%, anden kolonne med 17.7%.

1.3.2.2. Kombinerede anlæg til brugsvands- og rumopvarmning

Her er beregnet økonomi for to anlæg:

- 5) Anlæg i eksisterende byggeri. De anvendte tal er målt på et demonstrationsanlæg på Lab. for Varmeisolering, DTH. Anlægget yder næsten det samme pr. m² som brugsvandsanlæg - 310 kWh/m² år mod 380 kWh/m² år. Anlægget har et solfangerareal på 15 m² og en lagerbeholder på

1200 l. Anlægget er dimensioneret til at dække 29% af det årlige behov (opdelt på 21% af rumopvarmningsbehovet og 62% af brugsvandsforbruget). Anlæggets årlige totale ydelse (incl. tomgangstab) er på 7220 og 9360 kWh for henholdsvis en moderne og en ældre kedel. Prisen på anlægget vil være 51.000 excl. moms og statstilskud (62.220,- kr inkl. moms) [10].

- 6) Anlæg i nybyggeri. Anlægget er på 10 m². Den årlige totale ydelse vil være 4400 kWh i forbindelse med en moderne kedel. Merudgiften vil være 22.200,- kr. excl. moms og statstilskud (27.100,- kr. inkl. moms) [11].

Som det ses af tabel 4 skal anlæggenes pris reduceres med mellem 0 og 40% for at være rentable (uden statstilskud) for brugeren.

Kombineret brugsvands- og rumopvarmningsanlæg		Kapitalværdi divideret med anlægspris			
Anlæg	levetid år	privatøkonomi		samfundsøkonomi	
		back-up-enhed		back-up-enhed	
		moderne kedel	ældre kedel	moderne kedel 1)	ældre kedel 1)
eksisterende byggeri 15,7 m ² 5)	15	0,63	0,86	0,43 0,26	0,59 0,37
	20	0,91	1,23	0,58 0,31	0,79 0,42
nybyggeri 10 m ² 6)	15	0,86	-	0,59 0,36	-
	20	1,24	-	0,79 0,42	-

Tabel 4. Kapitalværdien divideret med anlægsprisen.

1) Første kolonne er beregnet med en nominel kalkulationsrente på 9%, anden kolonne med 17.7%.

Ved sammenligning mellem et kombineret anlæg og et rent brugs-

vandsanlæg synes det kombinerede anlæg at have en lidt dårligere økonomi. De kombinerede anlæg er dog ikke lige så veludviklede som brugsvandsanlæggene, billedet kan derfor let forrykke sig. Da et kombineret anlæg har en større dækningsgrad af hele husets varmebehov, kan dette tale til fordel for det kombinerede anlæg.

Også ved kombinerede anlæg er det en økonomisk fordel at installere anlægget samtidigt med opførelsen af huset.

1.3.3. Passiv solvarme

Udnyttelse af passiv solvarme kan i nybyggeriet ofte ske uden nævneværdig fordyrelse af byggeriet. Såfremt udnyttelsen af passiv solvarme kan ske i overensstemmelse med komfortmæssige og bygningstekniske krav, vil en sådan udnyttelse ligge lige for.

For andre passive udnyttelser, der vil medføre en ændring i bygningens brugsværdi (positiv eller negativ), er det vanskeligt at opgøre økonomien.

2. Tekniske og økonomiske udviklingsmuligheder

I dette afsnit vurderes hvilke udviklingsmuligheder, der er på solvarmeområdet. I en sådan vurdering må der dels tages udgangspunkt i de anlægstyper, der kendes og udnyttes i dag, dels i nye anlægstyper, der evt. fremover kan spille en rolle.

2.1 Videreudvikling af kendte anlægs- og komponenttyper

Som det fremgår af det foregående afsnit er man idag nået langt med ydelsen for solvarmeanlæg. Den årlige solindstråling på en sydvendt flade med en hældning på 45° fra vandret er i Danmark ca. 1200 kWh/m^2 år. Brugsvandsanlæggene har således en systemeffektivitet på lige over 0,3. Den teoretisk opnåelige systemeffektivitet er lig solfangerens starteffektivitet, som idag, afhængig af dæklagets optiske egenskaber og absorberens belægning, ligger mellem 0,8 og 0,9. Denne høje systemeffektivitet kan kun opnås, hvis solfanger, rør og lager intet varmetab har. Dette er kun muligt, hvis den ønskede brugstemperatur er lig omgivelsernes temperatur. De høje systemeffektiviteter kan således opnås i forbindelse med f.eks. opvarmning af svømmebassiner. Men jo højere temperaturer der ønskes, jo større bliver varmetabet, og systemeffektiviteten falder derfor. I det følgende gennemgås først kort mulighederne for ydelsesmæssige forbedringer, dernæst mulighederne for prismæssige forbedringer, idet det er her, der er de største muligheder for forbedring af solvarmeanlægs rentabilitet.

2.1.1 Forbedringer i ydelse

Når der i det følgende diskuteres ydelsesmæssige forbedringer, skal dette ses i forhold til de gode anlæg, som er udviklet idag. Det er klart, at disse anlæg endnu ikke er slået helt igennem på solvarmemarkedet. Størstedelen af de eksisterende anlæg har en mindre ydelse pr. m^2 .

Ved selve solfangeren er det især varmetabet, der kan ned-sættes. I [12] er det angivet, at det ved omhyggelig opti-mering og materialevalg skulle være muligt at sænke varme-tabet for solfangeren fra $5,5 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (der gælder for de bedste solfangere idag) til $3 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. I samme retning trækker ideerne om fremover at udføre solfangerne i større moduler, idet kanttabene således reduceres.

En sådan forbedring af solfangeren vil for et typisk brugsvandsanlæg (4 m^2 solfanger og 200 l lager) betyde et øget udbytte på 11%. Denne forbedring af solfangeren kan ske uden væsentligt højere produktionspris.

I stedet for en forøgelse af ydelsen, er det mere nærliggende at mindske solfangerarealet, således at den samme ydelse som idag opnås. For et typisk brugsvandsanlæg (4 m^2) vil det betyde en formindskelse i solfangerarealet på $0,95 \text{ m}^2$ eller næsten 25%.

Også akkumuleringsbeholderne i solvarmeanlæg kan forbedres. Her er der flere ting, der kan gøres: Forbedring af varme-overføringen fra solfangervæsken, forøgelse af muligheden for temperaturlagdeling, formindskelse af varmetabet, forbedrede rørforinger, m.m. Sådanne forbedringer i beholderudform-ningen vil for et typisk brugsvandsanlæg øge totaludbyttet mellem 5 og 10%. Som beskrevet ovenfor vil det også her være muligt i stedet at mindske solfangerarealet. Dette vil yderligere formindske den nødvendige anlægsstørrelse.

I dag arbejdes der på at forbedre grundlaget for dimensio-nering af solvarmeanlæg. Det vil resultere i mindre anlægs-størrelser, men med samme ydelse som idag. Den bedre og mere optimale dimensionering af anlægget vil i sig selv give en reduktion i anlægsprisen.

De solvarmekomponenter, der er på markedet idag, har alle været produceret i forholdsvis kort tid. Der må derfor med tiden ventes en prisreduktion alene som følge af optimal materialevalg og optimalt valg af produktionsproces.

En ændring i systemudformningen, således at solvarmeanlæggene opbygges af letsammenbyggelige moduler, vil lette montagen. Dette vil dels billiggøre anlæggene, dels formindske fejlmulighederne og derved øge den gennemsnitlige ydelse fra anlæggene.

2.1.2 Prismæssig forbedring

For de enkelte anlægstyper kan en prismæssig reduktion dels ske gennem et større salg, der vil formindske produktionsomkostningerne, dels gennem optimeret anvendelse af materialerne (evt. indførelse af nye materialer). Yderligere forbedringer i ydelsen (mindre anlæg), bedre systemløsninger og installationsvenlighed vil også virke prisreducerende.

2.1.2.1 Eventuel storproduktions indflydelse på anlægsprisen

Prisen for solvarmeanlæg under 10 m^2 kan idag opdeles på følgende måde:

solfanger	40%
beholder + andet tilbehør	30%
montage	30%, [13].

"Andet tilbehør" er pumpe, styringssystem, rør, fittings o.s.v.

Gennem storproduktion kan priserne reduceres. Dette vil ske som følge af storindkøb af materialer (ingen halvfabrikata), rationalisering af arbejdsgangen, bedre udnyttelse af maskinparken m.m. I ref. [13] er det angivet, at ved en produktion på over 40.000 m^2 solfangere pr. år pr. fabrikant (i 1981 har ingen dansk fabrikant leveret over 1.000 m^2) vil detailprisen på solfangere kunne reduceres med ca. 43%.

Prisen pr. m^2 solfanger for en traditionel solfanger vil så iflg. [13] blive 763 kr (1982-priser excl. moms). [12] angiver prisen for en solfanger med den svenske absorber "Sunstrip" til $64 \text{ ECU/m}^2 \approx 510 \text{ kr/m}^2$ (1983-kr.). I produktionen af "Sunstrip" er der virkelig tale om storproduktion, idet den installerede produktionskapacitet er på 2 mio m^2 pr. år.

Øget afsætning af solvarmeanlæg vil betyde, at fabrikation af akkumuleringstanke til solvarmeanlæg bliver en selvstændig produktion og ikke som idag en sideproduktion hos beholderfabrikanterne. Dette vil ifølge ref. [12] betyde en reduktion i prisen på beholder + andet tilbehør på omkring 20%.

Den øgede afsætning af solvarmeanlæg vil give plads for egentlige solvarmemontører. Disse vil blive så trænede i installation af solvarmeanlæg, at en reduktion i monteringsprisen ifølge ref. [13] på 25% er mulig. En produktion af solvarmeanlæg i moduler vil yderligere reducere denne udgift.

Prisen på små solvarmeanlæg kan altså reduceres på følgende måde:

solfanger	43% af 40% =	17%
beholder + andet tilbehør	20% af 30% =	6%
montage	25% af 30% =	7,5%
		<hr/>
		30,5%
		<hr/>

For større anlæg ($>10 \text{ m}^2$) vil reduktionen blive større, idet solfangeren - hvor den største reduktionsmulighed findes - vil veje tungere i den samlede pris. [13] angiver den samlede m^2 -pris for brugsvandsanlæg mindre end 6 m^2 (incl. stordriftsfordele) til 2.800-3.000 kr., hvorimod et anlæg på 100 m^2 antages at ville koste 1.600 kr. pr. m^2 .

2.2 Udvikling af nye typer komponenter og anlæg

Der arbejdes idag på flere områder på at forbedre solvarmens konkurrenceevne. Dette arbejde foregår især inden for fire delområder: a) Anvendelse af billigere materialer, b) integrerede løsninger, c) andre måder at indsamle solenergien på og d) andre måder at lagre varmen på.

a) Der næres idag store forhåbninger til plastic som et fremtidigt materiale i solfangere. Plastic har flere fordele: Det korroderer ikke, visse plasticsorter er

billigere, det er mindre energikrævende i fabrikation, lettere, m.m. Til gengæld har det i øjeblikket nogle ulemper: Dårlig stabilitet ved høje temperaturer og nedbrydning over for ultraviolet bestråling. Der er dog begrundet håb om, at disse problemer kan løses inden for dette årti. I [12] regner man med, at det vil være muligt at fremstille absorbere til 176 kr. pr. m^2 , der er på højde med de højtydende absorbere, vi har idag. Absorberen "Sunstrip" (uden inddækning) koster omkring 300 kr. pr. m^2 . En sådan reduktion i materialeprisen vil, selv efter at stordriftfordele er udnyttet, betyde, at prisen på selve solfangeren kan halveres.

- b) Der findes allerede idag adskillige anlæg, hvor solfanger og lagertank er integreret i en unit som f.eks. anbringes på et tag eller i haven. Herved spares rør, armatur, isolering o.s.v. samtidig med, at f.eks. rørtabene reduceres. Udviklingen fremover vil nok vise nye bud på sådanne anlæg. Men der er især muligheder for at integrere solvarmeanlægget med husets øvrige varmesystem. Sådanne løsninger vil være oplagte i nybyggeri. Også i eksisterende byggeri vil sådanne "nøglefærdige" opvarmningssystemer komme på tale ved renovering af eksisterende systemer. I et lavenergihus vil rumopvarmningsbehovet være af samme størrelsesorden som brugsvandsopvarmningen. De gængse oliefyr vil da være overdimensionerede, og der må udvikles nye opvarmningssystemer. Et solvarmeanlæg i kombination med f.eks. et gasfyr kan i sådanne tilfælde udføres billigt, især hvis det udføres i en rationel produktion.
- c) I flere lande forskes der idag i højtydende solfangere. Disse højtydende solfangere er enten solfangere med meget lille varmetab - $1 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ (absorbere i evakuerede glasrør) eller koncentrerende solfangere. Disse solfangere vil (iflg. [12] og [14]) inden for en kortere årrække blive konkurrencedygtige med plane solfangere. Dette vil betyde, at markedet for solvarme bliver udvidet betydeligt, idet disse solfangere kan arbejde effektivt også ved temperaturer over 100°C . El-produktion v.h.a. solvarme, plus en Rankinéproces med kølemiddel (f.eks.

freon) som arbejdsmedium, kan da blive en mulighed.

Solfangere, hvor det varmetransporterende medium er luft, frembyder også nogle spændende muligheder for videre udvikling. Disse solfangere er især velegnede til rumopvarmning i huse med luftvarme, idet der her spares varmeveksling mellem solfangermedium og varmesystem. Luftsolfangere har en mindre ydelse pr. m^2 end væskesolfangere, til gengæld er produktionsomkostningerne lavere.

- d) Solvarmens største problem er, at energien især forekommer om sommeren, hvor der kun er et lille behov for den, medens behovet om vinteren er stort. Varmen skal altså sæsonlagres for at kunne dække hele opvarmningsbehovet. En sådan lagring betyder, med de idag benyttede lagre, et stort varmetab. Derfor er det mest rentabelt med de i dag benyttede små vandlagre kun at dække 65% af brugsvandsbehovet og under 1/3 af rumopvarmningsbehovet.

Når sæsonlagringsproblematikken løses, vil dette være et afgørende skridt for solvarmens udnyttelse.

Der kan idag peges på følgende muligheder for mere økonomisk lagring af solvarme: Smeltevarmelagre, kemiske varmepumper og damvarmelagre.

Ved et smeltevarmelager forstås et lager, hvor en stor del af den lagrede varmemængde afgives/optages under materialets størkning/smeltning. Da smeltevarmen pr. volumenenhed er særlig stor for uorganiske salthydrater, er disse velegnede som lagringsmedium. Ydermere findes der en række uorganiske salthydrater med smeltepunkt i det (for aktive solvarmeanlæg) interessante temperaturområde: $30^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$.

Et salthydrat er et vandfrit salt med tilsvarende krystalvand. Det vandfrie salt har den egenskab, at det under afkøling ved en vis temperatur - smeltepunktet - binder vand til sig i krystalgitre under afgivelse af varme. Tilføres disse krystaller senere varme, smelter de ved en konstant temperatur - smeltepunktets temperatur - under

optagelse af varme. Smeltevarmen, som både optages og afgives ved smeltepunktets temperatur, anvendes således ved varmelagringen.

Fordelen ved et smeltevarmelager er stor varmelagringskapacitet i et snævert temperaturinterval omkring smeltepunktet. Disse lagre kræver derfor mindre plads og isolering end vandlagre. Desuden bliver muligheden for udnyttelse af stratifikation i lagrene bedre på grund af salthydratkrystallernes ringe varmeledningsevne. Ulempen ved lagrene er øget komplicitet og derved en fordyrelse pr. volumenenhed i forhold til vandlagre. Smeltevarmelagre kan blive økonomisk attraktive i forhold til vandlagre, men der kræves yderligere udviklingsarbejde før dette mål nås.

Smeltevarmelagre vil fortrinsvis finde anvendelse som korttidslagre, da denne lagringsform indebærer et vist varmetab, som dog er mindre end for vandlagre.

I forbindelse med sæsonlagring frembyder den kemiske varmelagring (her en kemisk varmepumpe) to meget væsentlige fordele: Den ene er energitætheden, der er op til 10 gange større end for vandlagre. Den anden fordel er, at energien kan lagres tabsfrit så længe som ønsket. Princippet i kemisk varmelagring er at forbruge overskudsvarme (f.eks. solvarme) til en varmekrævende, reversibel kemisk proces, og derefter lade processen forløbe baglæns under varmeudvikling, når der er behov for varmen. Ved at adskille reaktionsprodukterne, forhindres den varmeudviklende proces i at forløbe. Reaktionsprodukterne kan desuden lagres ved omgivelsernes temperatur, på den måde opnås en tabsfri lagring af energien.

Den kemiske varmepumpe vil kunne udføres med en maksimal effektafgivelse inden for vide grænser og vil derfor sammen med et lager af passende størrelse kunne udføres til individuelle såvel som kollektive anlæg. Der vil blive

tale om anlæg, der i høj grad anvender kendt teknologi. Det må antages, at der til styring og hjælpeapparater skal bruges elektrisk energi svarende til 5-10% af den omsatte varmemængde.

Der mangler stadig et stort udviklingsarbejde, før den kemiske varmepumpe kommer på markedet. Men alt tyder på, at problemerne kan løses, og at denne lagringsmåde vil blive økonomisk fordelagtig i forhold til dagens vandlagre.

Hvis det drejer sig om kollektiv opvarmning v.h.a. solvarme er måske især lagring i store damme interessant. Her udnyttes, at overfladen og dermed varmetabet falder pr. volumenenhed, når lageret gøres større. Da det kun er nødvendigt at isolere lageret i toppen, vil lageret blive billigt pr. m^3 og pr. lagret kWh. Denne lagringsform beskrives ikke nærmere her, idet en udførlig beskrivelse findes i et andet notat [15] i samme serie som dette notat. Idag tyder meget på, at anlægsprisen for damvarmelagre kan komme ned på 50 kr./ m^3 . Dette sammenholdt med en solfangerpris på 500 kr./ m^2 (som jvf. de foregående afsnit kan blive nået inden for en kortere årrække) vil bevirke, at solvarme kan konkurrere med en fjernvarmepris på ca. 0,30 kr./kWh [15]. Prisen på fjernvarme er 0,3 og 0,53 kr./kWh for henholdsvis København og Hillerød [16].

2.3 Eksempel

De foregående afsnit beskriver nogle muligheder for reduktion af anlægsprisen på solvarmeanlæg. Der beskrives dog ikke, hvor stor en reduktion der kan opnås, hvis flere af mulighederne udnyttes samtidigt. Det er ikke muligt at give en generel beskrivelse af den samlede mulige reduktion i anlægsprisen på solvarme, idet den er afhængig af anlægstype, størrelse og anvendelsesform. Her vil blive gennemgået et eksempel for, hvor meget anlægsprisen for et brugsvandsanlæg på 4 m^2 solfanger med 200 l lagerbeholder kan reduceres.

Indsatsområde	Reduktion i %		
	Solfanger	Beholder + tilbehør	Montage
Forbedret ydelse	25-? 1)	-	-
Stordrift	43	20	25
Billigere materialer	50 2)	? 3)	-

Tabel 5. Reduktionsmuligheder af anlægsprisen.

- 1) Her er kun medtaget reduktionen som følge af mindsket varmetab fra solfangeren. Forbedringer af lagrene vil give en reduktion i samme størrelsesorden. Hvis begge forbedringer foretages samtidigt, vil den samlede reduktion blive mindre end summen af reduktionerne, men større end den største enkeltreduktion.
- 2) Halveringen af solfangerprisen er efter at stordriftfordelene er medregnet.
- 3) Andre materialer kan også inddrages i lagrene. I denne rapport er det dog ikke undresøgt, hvilke reduktionsmuligheder det vil give.

Som det fremgår af de foregående afsnit, er der mulighed for større reduktionsmuligheder end tabellen antyder. Hvis fordelingen over anlægsprisen fra side 21 benyttes kan den samlede reduktionsmulighed beregnes.

Solfanger	$0,4 \cdot 0,75 \cdot 0,57 \cdot 0,5 = 0,09$	
Beholder + tilbehør	$0,3 \cdot 0,80$	$= 0,24$
Montage	$0,3 \cdot 0,75$	$= 0,23$
		<hr/>
		0,56

Med de her foreslåede forbedringer kan anlægsprisen på et lille brugsvandsanlæg reduceres med 45%. For store solvarmeanlæg, hvor selve solfangeren (hvor der er den største reduktionsmulighed) vejer væsentligt tungere i den samlede anlægspris, samtidigt med at montagen bliver billigere pr. m², er der mulighed for en større reduktion end eksemplet antyder.

3. Udnyttelsen af solvarmeteknologien set i sammenhæng med andre energiteknologier og samfundsstrukturen

I det foregående kapitel er vurderet, hvilke muligheder solvarmeteknologien i sig selv har fremover. Det er klart, at i en vurdering af, hvilken rolle solvarmen kan spille i fremtiden, skal solvarmen både ses i sammenhæng med andre energiteknologier og i sammenhæng med udviklingen i samfundet.

3.1. Overordnede betragtninger

Termisk solvarme er hovedsagelig en lavkvalitativ energiform, da virkningsgraden for anlæggene er højest ved lave temperaturer. Solvarmens marked er derfor især rumopvarmning, varmt brugsvand og industrielle processer, hvor der kan anvendes lave temperaturer.

Solvarmens rolle i den fremtidige energiforsyning er således i høj grad afhængig af muligheden for at anvende lave temperaturer i opvarmningssystemerne.

Bestræbelser på at spare på den højkvalitative energi ved at omlægge forbruget til lavkvalitative energiformer vil øge den relative og absolutte rolle, solvarme vil spille i fremtiden.

Også anvendelsesmåden af de forskellige energiformer har betydning. Således vil bestræbelser på kun at anvende højkvalitative energiformer, der hvor disse er nødvendige (kraft, lys, proces, o.s.v.), øge solvarmens muligheder, idet konkurrencen på det lavkvalitative energimarked bliver mindre. Hvis f.eks. naturgassen blev udnyttet til kombineret el- og varmeproduktion i kraftvarmeværker, ville naturgassen få en mindre del af det øvrige varmemarked, end der i dag planlægges med. Område IV (uden naturgas eller overskudsvarme) vil da vokse med deraf følgende mulighed for større udbredelse af solvarmen.

Den øgede kraftvarmeproduktion vil betyde flere fjernvarmenet. Hvis de opbygges som lavtemperatursystemer, vil muligheden for udbygning med solvarme øges.

3.2. Solvarmens rolle i nybyggeri

Tendenser peger på, at bortset fra byfornyelsen i bykernen, vil en stor del af fremtidens byggeri blive udført som tæt lav bebyggelse. Sådanne bebyggelser vil være velegnede for indpassning af passiv solvarme, som sammen med isoleringsforanstaltninger vil bringe rumopvarmningsforbruget ned på et meget lavt niveau. Endvidere vil de være velegnede for kollektive lavtemperaturanlæg. Her vil solvarmeanlæg med sæsonlagring i kemisk varmepumpelager eller damvarmelager absolut blive en realistisk løsning.

For individuelle boliger vil opvarmningsbehovet kunne klares med et meget lille varmeanlæg. Her vil et mindre solvarmeanlæg, som er indpasset i varmesystemet, kunne levere en stor del af husets varmeforbrug på en økonomisk fordelagtig måde.

I hvor høj grad solenergien vil finde anvendelse i nybyggeri, afhænger af byggeriets placering i forhold til områdeinddelingen og er derfor et energipolitisk spørgsmål.

3.3. Solvarme i det eksisterende byggeri

3.3.1 Kollektive anlæg

I forbindelse med traditionelle fjernvarmenet kan individuel brugsvandsopvarmning med solenergi (i fyringssæsonen forvarmning af brugsvand) blive en realistisk mulighed. Det vil da være muligt at standse fjernvarmeværket i sommermånederne og derved spare det store ledningstab pr. forbrugsenhed, der er i disse måneder.

Hvis solvarme skal dække en stor del af Danmarks energibehov, er det nødvendigt, at den udnyttes kollektivt. For her ligger det største opvarmningspotentiel samtidigt med, at sæson-

udjævningen bliver lettere at foretage.

Kollektiv udnyttelse af solvarme lader sig bedst praktisere i forbindelse med lavtemperaturfjernvarme. Effektiviteten af både solfanger og lager falder med et stigende temperaturniveau. Det skyldes, at varmetabet forøges med højere temperaturer. Hvor sådanne fjernvarmenet opbygges eller omstilles fra højtemperaturnet, vil det være muligt at kombinere solvarme med andre former for energikilder.

Specielt vil man med fordel kunne kombinere flere former for vedvarende energikilder med solvarme, idet disse energiformer supplerer hinanden sæsonmæssigt. Udvikling af metoder til sæsonlagring af solvarme vil have en betydelig indvirkning på solvarmens fremtidige rolle i disse kombinerede systemer.

I tættere bymæssig bebyggelse er solvarme formentlig den eneste lokale energikilde, der kan give et ordentligt supplement til energiforsyningen. En øget satsning på vedvarende energikilder kræver derfor, at solfangere i stort omfang op sættes på hustagene i byerne.

3.3.2. Individuelle anlæg

Individuel brugsvandsopvarmning og individuel kombineret rum- og brugsvandsopvarmning ved hjælp af solvarme er en realistisk mulighed i eksisterende individuelle boliger. Udenfor område IV vil udbygningen med individuel solvarme dog blive hæmmet, hvis installationsudgiften og/eller den faste forbrugsafgift er for høj ved naturgas og fjernvarme. En høj installationsudgift vil umuliggøre en ellers lønsom investering i solvarme, fordi forbrugerne ofte ikke er i stand til at financiere to opvarmningssystemer. En høj fast forbrugsafgift vil mindske besparelsen og dermed rentabiliteten ved solvarme.

3.4. Afslutning

Solvarmen må anses at have potentielle muligheder for at bidrage med en ikke ubetydelig andel af energiforsyningen de næste 50 år. Som det fremgår af foranstående, er der mange måder, hvorpå dette kan ske.

Et indtryk af potentiellet kan fås af følgende:

- Danmark har omkring 100 km^2 tage, der er velorienteret for solvarme. Hvis disse tage alle tænkes forsynet med solfangere, der yder det samme som BV300-anlægget, vil det give et årligt energibidrag på 137 PJ. Dette svarer til 15% af Danmarks bruttoenergiforbrug i år 2000 efter EP-81's basisalternativ. 100 km^2 er omkring 0.2% af Danmarks samlede areal.

For at solvarme ikke bare skal spille en underordnet rolle i fremtidens energiforsyning, er det nødvendigt allerede i dag at inddrage den i planlægningen. Hvis der ikke i dag tages højde for en senere udnyttelse af solvarme, vil energiforsyningens struktur blokere for en ellers økonomisk udnyttelse af solvarme.

I den forbindelse er det særdeles vigtigt, at der holdes gang i den fabrikation og ekspertise, der findes på området. Produktionsapparatet og erfaringerne skulle gerne være tilstede den dag, gennembruddet for solvarme kommer. Ellers vil enten muligheden for en betydelig udnyttelse af solvarme blive tabt på gulvet, eller også vil udenlandsk produktion og ekspertise overtage det danske marked.

I dag betragtes solvarme udelukkende som et supplement - et vedhæng til andre forsyningsformer. Solvarme bliver derfor ofte anset som en form for luksus - en unødvendig investering. Men hvis solvarme på længere sigt skal spille en rolle i dansk energiforsyning, er det nødvendigt, at solvarme bliver betragtet som en integreret og uundværlig del af energiforsyningen.

4. Referencer

- [1] David K. McDaniels. "The Sun our future energy-source". University of Oregon. 1979.
- [2] Performance Monitoring Group. "Solar Water Heating. An analysis of design and performance data from 28 systems". Commission of the European Communities. 1981.
- [3] Styregruppen for Pilotprojekt Vester Nebel. "Forsyningskatalog - Planlægning af varmforsyning". Afsnit 37 01. 1983.
- [4] Kjeld Johnsen, Michael Kvetny og Hans Skifter Andersen. "Økonomisk vurdering af energibesparende foranstaltninger". SBI-anvisning 132. Statens Byggeforskningsinstitut. 1982.
- [5] Energiministeriet. "Energiplanlægning - Statusnotat 1983." 1983.
- [6] Søren Østergaard Jensen og Simon Furbo. "Lagertyper og lagerstørrelser i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning". Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Udkommer årsskiftet 83/84.
- [7] Styregruppen for Pilotprojekt Vester Nebel. "Forsyningskatalog - Planlægning af varmforsyning". Afsnit 35 05. 1983.
- [8] "Sollliza Solvarme". Brochure fra firmaet Solliza Solvarme.
- [9] P.E.Kristensen. "A solar water heating system for nothern Europe". Performance Monitoring Group. Commission of the European Communities. 1983.

- [10] Nick Bjørn Andersen, Ole Balslev-Olesen. "Højtydende solvarmeanlæg på Laboratoriet for Varmeisolering". Artikel i Ingeniøren d. 28. okt. 1983.
- [11] P.E.Kristensen. "A solar water and space heating system for northern Europe". Performance Monitoring Group. Commission of the European Communities. 1983.
- [12] "Solar thermal energy in Europe". Solar energy R & D in the European Community, series A, volume 3, 1983.
- [13] Per Alling. "Vurdering af prisniveau for solvarmeanlæg under rimelige afsætningsforhold". Dansk Solvarme. 1982.
- [14] Knud Ladekarl Thomsen. "Fokuserende solfangere med klimaskærm". Forsøgsstation RISØ. 1982.
- [15] Kurt Kielsgaard Hansen, Preben Nordgaard Hansen og Vagn Ussing. "Perspektiver vedrørende damvarmelagre i fremtidens energiforsyning". Rapport nr. 83-39. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. 1983.
- [16] "VVS", nr. 9. Sep. 1983. Teknisk Forlag.
- [17] Vagn Korsgaard. "Varmeisoleringens betydning for det fremtidige energisystem". Rapport nr. 83-37. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH 1983.