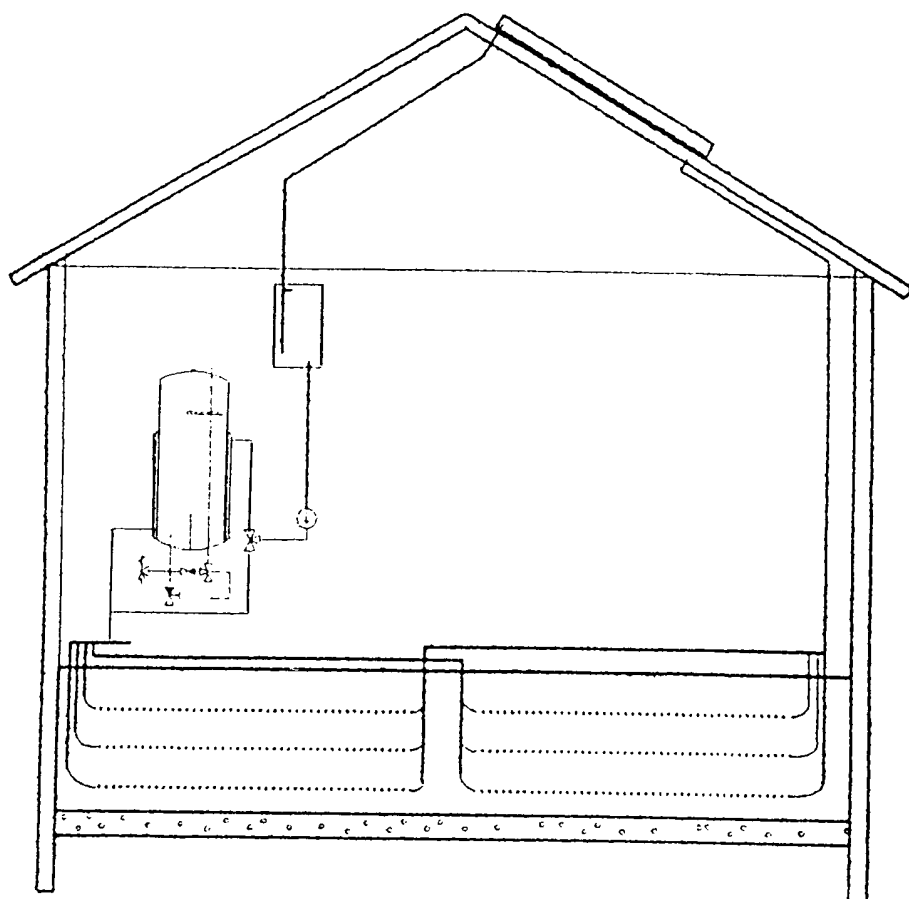


BYGNINGSINTEGRERET SANDLAGER

Vejledning for designer og selvbygger

ALFRED HELLER
LARS THOMSEN NIELSEN

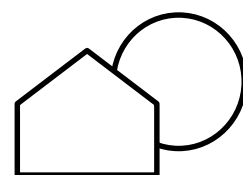
DTU



RAPPORT
R-007
1996

ISSN 1396-4011
ISBN 87-7877-006-8

INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET



IBE



Forord

Denne rapport beskriver resultaterne af projektet "Undersøgelse af solvarme med bygningsintegreret sandlager", j.nr. 51181/94-0004, finansieret af Energistyrelsens Udviklingsprogram for Vedvarende Energi m.v. I forbindelse med samme projekt er der udarbejdet to rapporterⁱ:

1.) "Undersøgelse af solvarme med bygningsintegreret sandlager." I denne rapport gengives resultaterne fra en undersøgelse gennemført på et anlæg fra AIDT-MILJØ i Ulsted, Jylland. Der er blevet gennemført målinger på anlægget for at finde konceptets energieffektivitet. Rapporten er primært rettet mod fagfolk.

2.) "Solvarme med bygningsintegreret sandlager - Vejledning til designer og selvbygger." I denne rapport opsamles de erfaringer, der findes om emnet bygningsintegreret sandlager. Målgruppen for rapporten er den almindelige borger, der evt. går med tanker om at udstyre sit hus med et sandlager eller lignende.

Ud over de anførte rapporter har Stjernstrøm i 1996 skrevet en artikel omkring emnet, som delvist er baseret på erfaringer fra det foreliggende projekt.

Undersøgelsen ville ikke have været mulig uden stor hjælp af familien Schioldann, Birgitte, Knud og Rasmus, som har stillet deres nybyggede hus i Ulsted til rådighed samt medvirket ved en række arbejder. Jeg håber at familien, som tak for deres medvirken og på grund af husets lave energiforbrug, får medhold i deres kamp mod myndighederne vedrørende tilslutningspligt til fjernvarmenettet.

Tak også til AIDT-MILJØ, hvorfra følgende var involveret i projektet:

Trevor Wright	Elektrotekniker og alt-mulig-mand
Hans-Jørgen Christensen	Direktør

Også en tak til "smeden", der har udført et sandt kunststykke af en VVS-installation på et arbejdsområde mindre end én kubikmeter.

Den sidste tak skal adresseres til to eksamensprojektstuderende på Institut for Bygninger og Energi, Troels K. Møller og Marcos A.H. Vieira [Møller, 1994a],[Møller, 1994b]. I deres arbejde har de gennemført størstedelen af udviklingen af de teoretiske modeller, der er anvendt i projektet. Dermed bygger mange af resultaterne i den foreliggende rapport på de modeller de to studerende har fundet frem til. Ligeledes er de fleste billeder taget fra deres eksamensprojekt.

ⁱ Se referencer for yderligere informationer.



Indholdsfortegnelse

Forord

1. Indledning	3
2. Anlægsbeskrivelse	4
2.1 Sandlageropbygning	5
2.2 Styringen	6
3. Økonomisk vurdering	6
3.1 Forudsætninger	6
3.2 Økonomisk vurdering	7
4. Erfaringer gjort med det testede sandlager	8
4.1 Anlægseffektivitet og økonomi	8
4.2 Brugererfaringer	9
4.3 Erfaringer med anlægget i måleperioden	9
4.3.1 Fejldimensionering, uhensigtsmæssig udførelse eller placering	9
4.3.2 Uhensigtsmæssig brugeradfærd	10
4.3.3 Unormale ydre omstændigheder	10
4.3.4 Forslag til fremtidige opbygninger af sandlagre	10
4.4 Erfaringer med anlægget på grundlag af beregninger	13
5. Konklusion	13
Referencer	



1. Indledning

Ved traditionelle solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning kan der normalt ikke opnås soldækningsgrader større end 5-10% af energiforbruget til rum- og brugsvandsopvarmning. For at opnå større dækningsgrader for tilsvarende bygninger skal solvarmen lagres på en eller anden måde. Firmaet AIDT MILJØ har udviklet et solvarmebaseret anlæg til rum- og brugsvandsopvarmning med et bygningsintegreret varmelager. Anlægget består af et sand- eller jordvolumen placeret under bygningens gulv. En del af varmetabet fra lageret vil blive tilført huset som *passivt* varmetilskud. Hvis lagerets temperatur er høj nok, kan varmen fra lageret tilføres bygningen *aktivt* ved at opvarme cirkulationsvandet fra gulvvarmen i lageret.

I den foreliggende rapport er der opsamlinger af de erfaringer, der er lavet vedrørende solvarme med bygningsintegreret sandvarmelager. Her gengives bl.a. de resultater, der er fundet gennem det måleprojekt, der er udført på et anlæg i Ulsted, Jylland. Nærmere oplysninger findes i hovedrapporten [Heller, 1996] og for de mere teoretiske erfaringer henvises til forprojektet [Olesen, 1993].

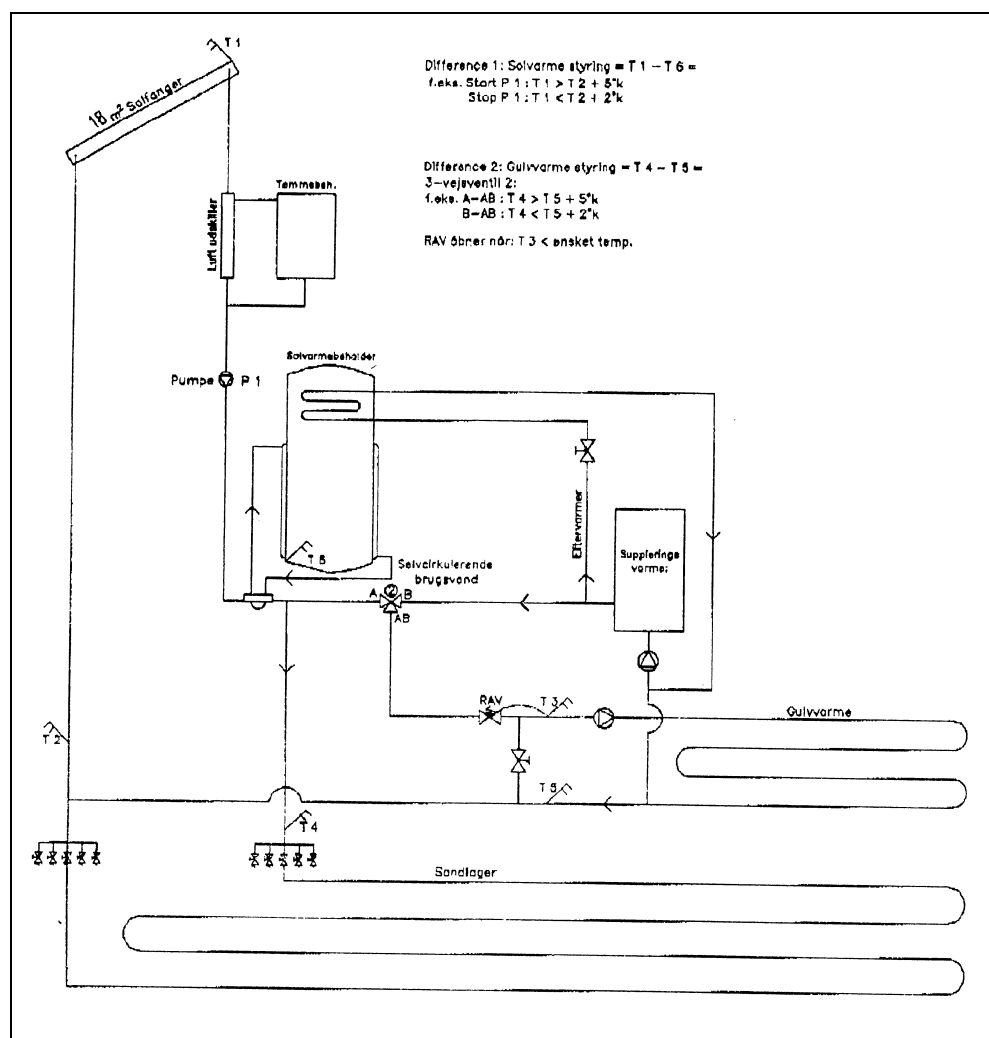
Rapporten er stilet til enhver med interesse i emnet. Derfor undlades tekniske udtryk, hvor det er muligt. Meningen med rapporten er at hjælpe designere og selvbyggere med at opbygge deres egne anlæg og undgå de største fejl.

Rapporten gengiver i store træk anlægskonceptet, der er udarbejdet af AIDT MILJØ. Derefter gennemgås de ændringer og forslag, der skal huskes på, når man bygger et sandlager. Herefter gennemgås økonomien i store træk for sådanne anlægstyper.

2. Anlægsbeskrivelse

I det følgende beskrives et solvarmeanlæg med bygningsintegreret sandlager, som det bliver produceret af AIDT MILJØ. Systemet er principielt et solvarmeanlæg med supplerende bygningsintegreret sandlager. Solfangerarealet er større end for almindelige anlæg for at kunne opvarme sandlageret. Konceptet involverer en del styringsmæssige finesser, der gør det muligt at kombinere flere forskellige varmekilder, eksempelvis solvarme, varme fra brændeovne og effektilførsel fra elpatron i varmtvandsbeholderen. Anlægget fra AIDT MILJØ er skitseret i figur 2-a.

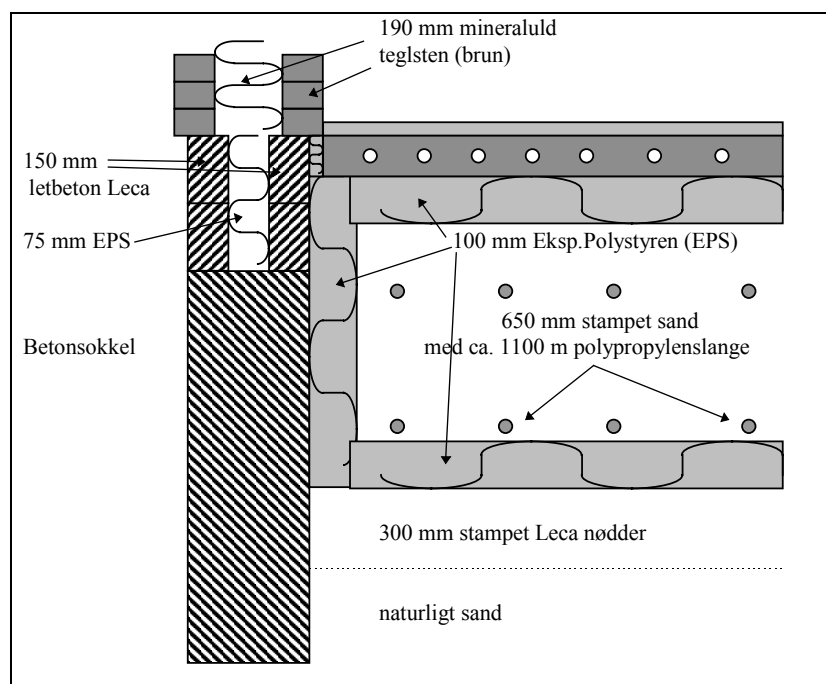
De forslag der vil blive givet i de kommende afsnit bygger for størstedelens vedkommende på undersøgelsen beskrevet i Heller, 1996. Her er der undersøgt et anlæg af den beskrevne type monteret i en lavenergibygning på 130 m² med 18 m² AIDT MILJØ-solfanger orienteret mod syd, en 300 liters varmtvandsbeholder med 1,1 kW elpatron og et 100 m³ sandlager, hvilket er usædvanligt stort. Selve solfangernes ydeevne er undersøgt og rapporteret af Østergård, 1993. Det må bemærkes, at andre anlæg ville medføre andre resultater, dog forsøges her at give generelle anbefalinger.



Figur 2-A AIDT MILJØS anlægskoncept.

2.1 Sandlageropbygning

Sandlageret og gulvvarmen er typisk opbygget som vist i figur 2-b.



Figur 2-B Sandlagerkonstruktion

Sandlageret har, afhængigt af den ønskede varmekapacitet, et samlet volumen på mellem 30 og 100 m³ stampet sand. Sandlageret ligger på 300 mm stampede LECA-nødder, der hviler på naturligt forekommende jord eller sand. Sandlageret er typisk mellem 0,3 og 1 m højt og isoleret hele vejen rundt med 100 mm Ekspanderet Polystyren (EPS), også kaldt Flamingo-plader. Varmeslangerne af ribberør er lagt ud i en til flere niveauer. Slangerne lægges, som det fremgår af figur 2-c, i spiralform med den varmeste ende i centrum.



Figur 2-C Udlægning af varmeslangerne.

Gulvvarmen er udlagt efter de traditionelle metoder. Ribberør af plastmateriale er støbt ned i et betondæk, der ligger på sandlagerets flamingoplader. Afslutningen kan være et slidlag af beton belagt med henholdsvis fliser, trægulv eller tæppe.

2.2 Styringen

Varmesystemet er designet med ønske om at opnå et simpelt system med mindst mulig styring. Solfangerkredsen tændes og slukkes på baggrund af temperaturdifferensen mellem frem- og tilbagestrømmen. Hvis temperaturen i solfangeren (T1) er 5 grader højere end temperaturen i fremløbsvæsken (T2), tænder solfangerpumpen (P1). Når temperaturdifferencen falder til en difference på 2 grader slukker pumpen og kredsen tømmes i en tømmetank, der er placeret mellem loftrum og installationsrummet.

Pumpen i gulvvarmekredsen styres manuelt og kører hele tiden. Væsken pumpes til gulvvarmekredsen gennem en lukket kreds. Der tilføres kun varmt vand til kredsen, når der er behov for det. Varmebehovet styres individuelt for hvert værelse på basis af vandets tilbageløbstemperatur (T3), dvs. ikke efter lufttemperaturen. Ved varmebehov åbner en RAV-ventil og varm væske trækkes ind i kredsen udefra. Dermed tilføres den mængde varme til gulvvarmekredsen, der er nødvendig for at opretholde gulvvarmetemperaturen og dermed indirekte indetemperaturen.

Varmekilden til gulvvarmen kan være solvarme direkte fra solfangerne, varme fra lageret eller varme fra det supplerende opvarmningssystem, i vores situation en elpatron i varmtvandsbeholderen. Varmekilden styres af en 3-vejsventil, der er styret af temperaturdifferensen mellem returvæsketemperaturen af gulvvarmekredsen (T4) og fremløbstemperaturen til sandlagerkredsen (T5). Når T4 stiger fem grader over T5, åbner ventilen strækningen A-AB, hvorved varmen bliver hentet fra enten solfangeren eller sandlageret. Når temperaturdifferensen falder til to grader skiftes strømningskredsen, så der trækkes varmt vand fra strækning B-AB, dvs. varmtvandsbeholderen.

Varmtvandsbeholderen er typisk en kappebeholder med supplerende gas, olie eller elopvarmning, hvilket har vist sig optimalt for solvarmeanlæg. Solvarmen tilføres gennem kappen eller nederst i tanken, hvis almindelig beholder anvendes. Når solfangere producerer varme, tilføres denne først til varmtvandsbeholderen, hvorefter den ledes til gulvvarme og sandlageret. Væskestrømmen i solfangerkredsen er større end i gulvvarmekredsen, hvorved der vil være samtidige strømme i gulvvarmen og sandlageret.

3. Økonomisk vurdering

En økonomisk vurdering af sandlagerkonceptet er meget afhængig af de kriterier der lægges til grund for beregningerne. Fortalere for solvarme foretrækker "bløde" kriterier, som "bæredygtighed" eller "termisk komfort", andre ser rent økonomisk på sagen. I dette afsnit foretages først nogle simple økonomiske overvejelser, der bunder i rent økonomiske termer. En "blød" vurdering er kun antydnet sidst i dette kapitel.

3.1 Forudsætninger

Komponentpriser er bestemt ud fra anvisninger fra prisbøger fra V&S-Byggedata. Priser er inklusiv levering, montering af rørkreds, isolering mv., men eksklusive moms



og energi-tilskud. Timeforbruget er sat ud fra erfaringer fra AIDT MILJØ. I eksemplet er brugt et traditionelt solvarmeanlæg fra AIDT MILJØ med 4,83 m² solfanger og en kappebeholder på ca. 290 liter.

Solfanger fra AIDT MILJØ (4,83 m² solfanger + 290 liters kappebeholder) ca. 25000,00 kr.

Merpris per m ² solfanger af Aidt Miljø og Arcon	1000,00 kr./m ²
3-vejsventil Honeywell.....	898,00 kr.
Temperaturføler	140,00 kr.
PP-rør, yderdiameter 25 mm	8,80 kr./m
Isolering (Rockwool) 100 mm (en lag à 100 m ²) ⁱⁱ	69,00 kr./m ²
Lønomkostninger pr. udlagt rørlag (6 timer á 225 kr./time)(2 lag)	1350,00 kr./lag
Udgifter til PP-rør per lag inkl. 328 meter rør (2 lag)	3168,00 kr./lag
Sandpris, komprimeret, højde 1 m, hvorfra kun halvdelen tilskrives sandl.	82,00 kr./m ²

Dermed beregnes merpris for et typisk sandlager med 100m² sandlager,

2 rørlag, 4 temperaturfølere, en 3-vejsventil og arbejdet til ca. 15000,00 kr.

Merpris for solfangerne (ekstra 15 m²)..... 15000,00 kr.

Total merpris for sandlager (minus gulvvarme) 30000,00 kr.

Gulvvarmedelen koster ca. 6500,00 kr./m²

Total for solvarmeanlæg med bygningsintegreret sandlager og gulvv. 61500,00 kr.

Energiprisen sættes til 0,50 kr./kWh for varmen og 1,00 kr./kWh for elektricitet, hvilket synes passende for privatøkonomiske beregninger. Tilskud fra det offentlige er ikke medtaget i beregningerne.

3.2 Økonomisk vurdering

Den maksimale besparelse på grund af sandlageret er bestemt til 2300 kWh/år. Denne besparelse fås fra den passive overførsel af varme mellem lager og gulvvarme, samt det mindre varmetab til jorden grundet højere sandlagertemperatur. Andelen til opvarmning af vand, der skyldes et større solfangerareal, er bestemt til maksimalt ca. 1400 kWh om året. En simpel tilbagebetalingstid bliver for det givne anlæg derfor ikke under

$$\frac{30000 \text{ kr}}{2300 \cdot 0,50 \text{ kr / kWh} + 1400 \cdot 1,00 \text{ kr / kWh}} = 12 \text{ år.}$$

For at give et sammenligningsgrundlag vil almindelige solvarmeanlæg under de samme forudsætninger have tilbagebetalingstider på ca. 10-15 år. Dermed har solvarme med og uden bygningsintegreret sandlager en sammenlignelig tilbagebetalingstid.

Solvarmesystemer kræver meget lidt vedligeholdelse i forhold til andre opvarmningsformer, hvorved økonomien igen forbedres til fordel for solvarmeanlæg. Da et solvarmeanlæg typisk ikke kan erstatte andre opvarmningsformer helt, skal der en anden form for opvarmning til. Derfor kan fordelene ved solvarmen kun medregnes i det omfang som solvarmen påvirker dette "andre" opvarmningssystem.

ⁱⁱ Isoleringen i siderne skal være og et lag isolering skal være der også uden sandlagret.



Den økonomiske beregning tager ikke hensyn til sociale og økologiske udgifter, som energiproduktionen medfører. Her tænkes bl.a. på forureningen med drivhusgasser og partikler fra afbrænding af fossile brændsler. En økonomisk vurdering indeholder heller ikke vurderinger af den energimæssige uafhængighed, som et individuelt anlæg vil medføre. Og til sidst og ikke mindst tager økonomiske betragtninger ikke hensyn til psykisk velfærd og god samvittighed, som en solvarmeejer kan nyde. Det er op til læseren at vurdere disse størrelser i forhold til den beskedne økonomi.

4. Erfaringer gjort med det testede sandlager

Almindelige solvarmeanlæg har vandbeholdere som varmelagre. Tanke til opbevaring af vand er dyre og kan give anledning til skader, hvis der opstår utætheder. Derfor er anvendelse af faste materialer interessante for varmelagring. Dog har faste materialer det tilfælles, at varme ikke så nemt kan overføres til og fra dem. AIDT MILJØ synes at være den eneste udbyder i Danmark og evt. hele Europa, der fabrikkerer kommercielle solvarmeanlæg med bygningsintegreret varmelager. Her anvendes sand som lagermateriale. Gennem plastslanger ledes varmt vand ned i lageret, og varmen kan her enten afgives eller modtages alt efter behov. Konceptet virker overbevisende på muligt interesserede. I projektets periode er der kommet mange henvendelser til undertegnede, hvilket bekræfter forholdet.

De forslag der fremsættes i de følgende afsnit er delvist taget fra et teoretisk forprojekt, gennemført af Olesen, 1993, og delvist taget fra de undersøgelser der er gennemført i det aktuelle projekt, som bl.a. denne rapport er et resultat af, Heller 1996. Der henvises ikke til kilder ved gennemgang af forslagene. En del forslag bygger på beregninger og målinger fra et anlæg monteret i et lavenergihus på 130 m² med et solvarmeanlæg på 18 m², en varmtvandsbeholder på 300 liter og et sandlagervolumen på ca. 100 m³.

4.1 Anlægseffektivitet og økonomi

I en indledende undersøgelse på DTU [Olesen, 1993] er konceptet vurderet til at kunne dække 45% af varmebehovet for en bygning. AIDT MILJØ påstår endda, at op til 70% af varmebehovet kan dækkes. En teoretisk undersøgelse [Møller, 1994a] har dog forkastet disse antagelser og fundet frem til, at der i stedet for et sandlager kan anvendes et lidt tykkere betondæk og merisolering mellem jord og bygning. Møller og Vieira beregnede ingen nævneværdig effekt af sandlageret. For at belyse sagen nærmere gennemførtes det foreliggende måleprojekt.

Det viser sig, at effekten fra sandlageret, for et lavenergihus med et varmebehov på ca. 6000 kWh om året, maksimalt er på ca. 38% til rumopvarming og ca. 30-40% i merydelse til opvarmning af brugsvand, da solfangerarealet er større end ved almindelige brugsvandsanlæg. Hermed er den totale soldækningsgrad for anlægget på 30-40%, hvilket ligger under forventningerne fra den teoretiske undersøgelse [Olesen, 1993], dog over vurderingen på nogle få procenter fra [Møller, 1994].

Merudgiften til solvarmeanlægget er bestemt til 21600 kr. inklusiv moms, men uden statstilskud. Tilbagebetalingstiden for et anlæg af denne type er beregnet til ca. 10 år ved varmepriser på 0,50 kr. pr. kWh og elpriser på 1,00 kr. pr. kWh. Der er ikke taget hensyn til de "bløde" økonomiske aspekter.

Der opnås, ved den udformning der er anvendt i Ulsted, ikke nogen nævneværdig aktiv tilførsel af varme fra lageret, da temperaturen i lageret er for lav til det (Maks-temperaturer på 42-47 grader uden for fyringssæsonen og op til 35 grader i fyringssæsonen.) Lagertemperaturen var i starten af december 1996 dog stadig over



20 grader, hvilket tyder på, at lageret også i vinterperioden yder et passivt bidrag ved at nedsætte varmetabet til jorden.

4.2 Brugererfaringer

- Brugere af anlægget i Ulsted er glade for deres solvarme og sandlager. Det er ikke økonomien der har styret dem, men derimod bevidstheden om en miljørigtig opvarmningsform.
- Anlægget har været svært at overskue for brugerne. Dermed har det også været svært at vurdere anlæggets drift og effektivitet. Der er behov for flere "visere" der hjælper brugeren med at forstå anlæggets drift.
- Efter et driftsstop skal der gennemføres en omfattende procedure for at få anlægget i gang igen. Der skal udluftes flere steder og pumper skal styres flere steder. Denne procedure er alt for vanskelig for den almindelige bruger og den skal forenkles og eventuelt automatiseres.
- Der er observeret driftsproblemer efter kolde perioder. Der forekommer ispropper i systemet, hvilket ikke er acceptabelt for solvarmeanlæg med tømmesystemer. Problemet er kendt og behandlet i eksisterende rapporter på Institut for Bygninger og Energi. Dette problem er naturligvis uacceptabelt og skal løses.
- I sommerperioden er temperaturen i bygningen meget høj og kan overstige 30 grader. Da ventilationsdelen pga. målingerne var afkoblet, var det ikke muligt at bortventilere denne overskudsvarme. Problemet anses som mindre alvorligt, når anlægget kører med alle komponenter, dvs. også med ventilatorerne.

4.3 Erfaringer med anlægget i måleperioden

Ved gennemførelse af måleprogrammet på Ulsted-anlægget har der vist sig en del forhold, der kan forbedres eller forventes anderledes i forhold til måleperioden. Endvidere har det givet idéer til hvordan man kan forbedre kommende sandlagre. Alle disse forhold er behandlet i forskellige afsnit som overordnet indeholder følgende fire områder:

- Fejldimensionering, uheldig udførelse eller placering af komponenter under opbygning. Måleapparatur, følere, pumper, ventiler m.m. har enten ikke virket ordentligt eller har været placeret forkert.
- Brugere har handlet uhensigtsmæssigt.
- Ydre omstændigheder har bevirket at resultaterne afviger fra det resultat man ville forvente under normale omstændigheder.
- Forslag til kommende opbygning af sandlager.

Disse forhold er behandlet i de kommende afsnit.

4.3.1 Fejldimensionering, uhensigtsmæssig udførelse eller placering

- Ved etableringen af sandlageret blev varmeslangerne mærket. Mærkningen af varmeslangerne gik dog tabt, som arbejdet med bygningen skred frem. Derfor var der ikke styr på, hvilke varmeslanger der ligger hvor. Det må derfor anbefales, at mærkningen foretages omhyggeligt og på en permanent måde.
- Styringen af 3-vejsventilen anvender en temperaturføler, der er placeret ved manifolden af varmeslangerne til sandlageret. Placeringen er uhensigtsmæssig, da



den føler en tilfældig temperatur der ligger mellem rumtemperatur og vandtemperatur i manifolden. Føleren for sandlageret skal derfor placeres inde i sandlageret i et varmt område, hvor den gengiver lagerets temperatur.

- Indløbet til og udløbet fra sandlageret er i Ulsted placeret tæt på hinanden. Der er mindst en meter, hvor slangerne følges ad uden at være isoleret fra hinanden, hvorved de virker som varmeveksler og nedsætter anlægsydelsen. Dette skal undgås i fremtidige anlæg.
- Ved målingerne observeredes, at indløbstemperaturerne for de forskellige varmeslanger igennem lageret ikke har ens temperatur. Dette forklares ved, at tryktabene over de enkelte rør er forskellige, hvilket giver sig udslag i forskellig varmetilførsel. Dette skal styres bedre og kan udnyttes til at tilføre varmen der hvor det er mest ønskeligt.
- Det er ikke sikkert, at der er mulighed for at overføre varme fra gulvvarmen og varmtvandsbeholderen til sandlageret. Hvis dette er tilfældet, skal dette forhold rettes.
- Der observeredes overtemperaturer i bygningen i det meste af sommerperioden. Dette forhold bliver yderligere forværret, da sandlageret også tilfører varme til bygningen. Det anbefales derfor at tage problemet med overtemperaturer om sommeren endnu mere seriøst, når der anvendes bygningsintegrerede varmelagre.
- Aidt Miljø har foreslået at overføre varme i forårs- og sommerperioden, ikke til sandlageret, men til det underliggende jordvolumen. Dermed undgås overophedning og der udnyttes yderligere varmekapacitet. Dette synes ikke rentabelt da voluminet i forvejen vurderes for stort.

4.3.2 U hensigtsmæssig brugeradfærd

- Brugere har glemt at styre pumperne. Dermed har gulvvarme- og solvarmepumpen kørt på højeste trin i hele måleperioden. Dette er spild af elektrisk energi. Her anbefales computerstyrede og selvregulerende pumper.
- 3-vejsventilen blev tvangsstyret af brugerne, hvilket medførte uhensigtsmæssig drift under tvangsstyringen og endnu mere, da man glemte at frigive ventilen igen.

4.3.3 Unormale ydre omstændigheder

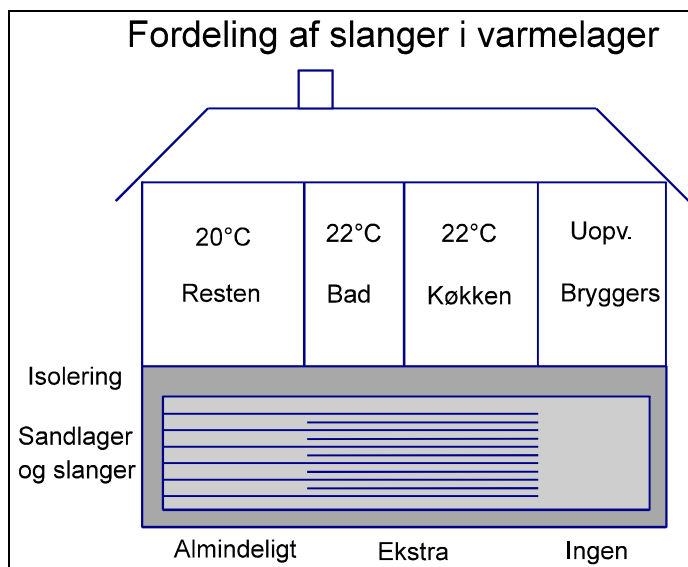
- Vejret i måleperioden, april til oktober 1996, har været en del anderledes end for et normalår eller referenceår. Det varme sommervejr kom først midt i juni, men varede til gengæld til midt i september. Det kan derfor fremover forventes, at anlægget vil yde tidligere om foråret, dog vil temperaturen i lageret falde tidligere. Summen af energimængderne og virkemåden af lageret vil være som målt eller måske lidt højere i et normalår.

4.3.4 Forslag til fremtidige opbygninger af sandlagre

- Generelt må det anbefales, at installationerne ikke komprimeres for meget, da man ellers ikke kan danne sig et overblik og reparationer bliver besværliggjort.
- Brugeren skal nemmere kunne overskue hvad anlægget yder og kunne justere anlægget med simple manøvrer.
- Slangernes placering og tæthed skal tages i betragtning. Det ville være smart hvis man lagde mange slanger under de rum som kræver højere temperaturer

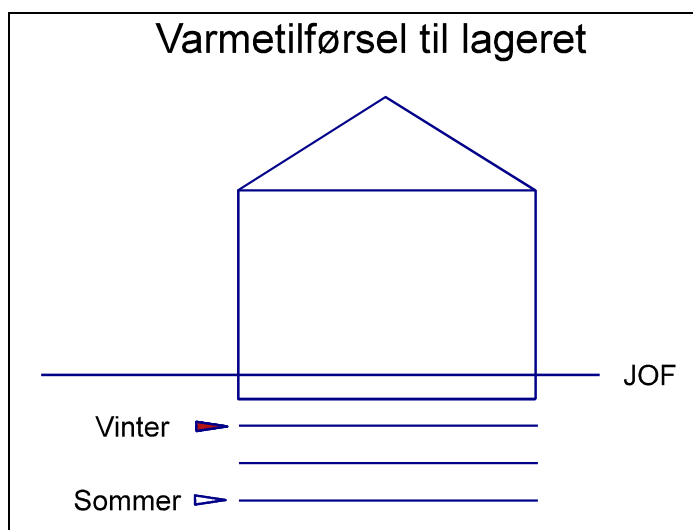


(badeværelse og køkken), mens man lagde færre slanger under rum med køligere temperaturer (soveværelse, gang). Endvidere kan man undgå at lægge slanger under steder der ikke opvarmes (bryggers, udestuer mm.). Et eksempel herpå er vist på figur 4-a.



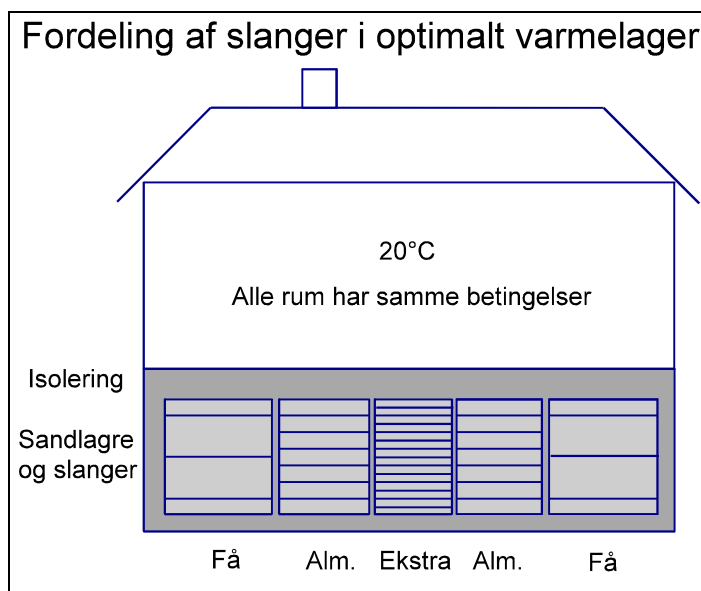
Figur 4-A Sandlager med zoneopdeling.

For at mindske problemerne med overophedning om sommeren er det en god idé at ændre det sted hvor varmen til lageret tilføres. Om vinteren hvor lageret formodes at være koldt, vil det være bedst at tilføre varmen højest muligt oppe i lageret. Herved opnår man det mindste varmetab fra gulvet til lageret. Om sommeren ønsker man ikke ekstra varme i huset, og derfor skal varmen tilføres længst nede i lageret. Her vil varmen så opbygge en slags varmebuffer over sommeren og måske oven i købet kunne opvarme jorden neden for sandlageret en smule. Dette skal styres automatisk. Der kan dog opstå problemer da dette komplicerer den overordnede styring, men det bør kunne løses. figur 4-b viser hvordan varmen tænkes tilført til lagret i fremtidige udførelser.



Figur 4-B Årstidsbestemt varmetilførsel til sandlager.

Fremtidige anlæg anbefales ændret således, at den aktive varmetilførsel fra sandlager til bygning øges. Dette kan opnås ved at anvende mindre sandvoluminer (0,3 meter dybt). Man mindsker godt nok varmekapaciteten, men øger temperaturen i lageret, da den tilførte varmemængde ikke skal fordeles i så stort et sandvolumen. Man kan også opnå højere temperaturer ved at zoneinddele lageret. De enkelte zoner isoleres mod hinanden og man tilfører varmen til en zone hvor der er mange slanger. Det lettere afkølede vand føres herefter videre gennem slangerne ud i andre zoner, der så ikke opnår de samme høje temperaturer. På denne måde skaber man en slags temperaturlagdeling, eksempelvis med en varm midterkerne og køligere zoner uden for denne. Dette er vist på figur 4-c



Figur 4-C Sandlager med zoneopdeling og "temperaturlagdeling".

- Når der opstår problemer med solvarmeanlægget, specielt sandlageret, skal der være mulighed for afkobling af nogle solfangere for at undgå overophedning i solfangere.
- Anlægget skal ikke placeres ved steder, hvor grundvandet trænger for tæt op under bygningen.



- Der skal være mulighed for at tage nogle af solfangerne ud af drift, hvis varmelageret af en eller anden grund ikke skulle virke. Gør man ikke det risikerer man ekstreme temperaturer i solfangerkredsen, da den ikke kan slippe af med sin varme.

4.4 Erfaringer med anlægget på grundlag af beregninger

Der er lavet en del beregninger på computer for at simulere anlægget ud fra de data som er blevet målt. Følgende størrelser blev beregnet til at give optimal anlægs- og lagerudformning:

- solfangerareal = 20 m²
- solfangerhældning = 60 grader
- væskeflow = 0,6 l/min. per m² solfanger
- lagerhøjde = 30 cm
- isoleringstykkelse = 10 cm hele vejen rundt
- rørafstand mellem varmeslanger i lageret = 30 cm

Herudover giver anlæg med høj solfangereffektivitet merydelse på op til 25% pga. længere driftstid og højere driftstemperaturer. Bygninger med større varmebehov giver bedre anlægsøkonomi.

Da varmetabet gennem bunden af sandlageret er meget beskedent i midtfeltet, kan isoleringen her fravælges, hvorved lagervolumen øges og varmetabet ikke ændres afgørende. Dette kræver dog, at grundvandsspejlet er mindst to meter lavere end lagerets underside.

5. Konklusion

Helt overordnet kan den ud fra den foreliggende undersøgelse konkluderes:

Det er som led af projektet blevet klargjort, at solvarmeanlægget med bygningsintegreret varmelager i et lavenergihus medfører et særdeles lavt energiforbrug. Dette er et resultat af samspillet mellem høj isoleringsgrad og en passiv og aktiv solvarmeudnyttelse og kan ikke tilskrives de enkelte komponenter.

Anlægskonceptet giver en økonomisk rentabilitet som kan sammenlignes med almindelige solvarmeanlæg. Anlægget giver en høj forsyningssikkerhed.

Anlægskonceptet fra AIDT MILJØ synes at være det eneste produkt på markedet for bygningsintegreret varmelagring i sand eller grus. Konceptet synes overbevisende for brugere, hvorved dets eksistens er berettiget.

Undersøgelsen har vist, at anlægskonceptet kan optimeres betragteligt, hvorved resultaterne forventes forbedret afgørende. Forslag til fremtidige anlæg er behandlet i afsnit 4.3.4.

Specielt opdeling af sandlageret i zoner vil være interessant at undersøge i fremtiden. Her vil man muligvis kunne benytte varmelageret aktivt og dermed øge den samlede effektivitet.

Projektet har ikke formået at vise, om en yderligere isolering af bygningen mod jorden kunne give den samme effekt som en anvendelse af sandlagre.

De anvendte simuleringsmodeller giver realistiske beregninger og kan anbefales, dog ville et mindre begrænset alternativ til anvendelse af simuleringsprogrammet EMGP3 være at foretrække.



Referencer

- [Energihåndbogen] "Energistyringshåndbog",
Energi-Spareudvalget, Foreningen for Energistyring.
- [Duer, 1990] Duer K., "Sæsonlagring af varme i borehulslagere",
Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske
Højskole, 1990
- [Heller, 1996] Heller A., "Undersøgelse af solvarme med bygningsintegreret
sandlager.", Institut for Bygninger og Energi, Danmarks
Tekniske Universitet, december 1996
- [Møller, 1994, a] Møller K.T. og Vieira M.A.H., "Solvarmeanlæg med
bygningsintegreret varmelager", Eksamensprojekt,
Hovedrapport", Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks
Tekniske Universitet, juli 1994
- [Møller, 1994, b] Møller K.T. og Vieira M.A.H., "Solvarmeanlæg med
bygningsintegreret varmelager", Eksamensprojekt,
Bilagsrapport", Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks
Tekniske Universitet, juli 1994
- [Olesen, 1993] Olesen Ole, "Varmeteknisk vurdering af solvarmeanlæg med
sandlager", LfV-rapport 93-22, ISSN 0905-1511, Laboratoriet
for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, august
1993
- [Shah, 1996] Shah J.L., "Undersøgelse af små solvarmeanlæg til
brugsvandsopvarmning. Ydelsesmålinger og beregninger.",
IBE-Rapport R-1, Institut for Bygninger og Energi, Danmarks
Tekniske Universitet, 1996
- [Stjernstrøm, 1996] Stjernstrøm L., "Sandlager", VEinformation, 72,
Informationssekretariat for Vedvarende Energi, Dansk
Teknologisk Institut, oktober, 1996
- [V&S-Byggedata] V&S-Priser, 1989
- [Østergård, 1993] Østergård S., "Afprøvning af solvarmeanlæg fra Aidt Miljø -
Ydelsesberegning, Laboratoriet for Varmeisolering,
Danmarks Tekniske Højskole, 1993