

Konstruktion af solfangere

en håndbog/idébog

Søren Østergaard Jensen

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

MEDDELELSE NR. 173

MARTS 1986

Medvirkende ved projektets udførelse:

Søren Østergaard Jensen, civilingeniør

Vibeke B. Nielsen, assistent

Angela C. Maktabi Henriksen, kontorelev

Kenneth P.B. Sørensen, teknisk tegner

Ideer, kommentarer og kritik er givet af:

Svend Erik Mikkelsen, civilingeniør

Peder Vejsig Pedersen, civilingeniør

Svend Aage Svendsen, lektor, civilingeniør, lic.techn.

Simon Furbo, civilingeniør, lic.techn.

Forord

Nærværende rapport, der omhandler erfaringerne med konstruktion af solfangere med fokus på holdbarhed og driftssikkerhed, var oprindeligt tænkt som et delbidrag til en revision af solvarmehåndbogen. Men da de øvrige delprojekter ikke realiseres, udkommer resultatet af nærværende projekt som en selvstændig rapport.

Rapporten afslutter forskningsprojektet "Solvarmehåndbog - konstruktion af solfangere", der er en del af projektområdet "Solfangere" under Energiministeriets Solenergiforskningsprogram, EFP-83, journal nr. 2255-304.

Resumé

I denne rapport behandles mulighederne for at konstruere gode, holdbare og driftssikre solfangere.

Der tages udgangspunkt i erfaringerne fra 1. generationssolfangerne. Ud fra disse erfaringer opsummeres det, 1) hvad der kan gå galt, hvis de enkelte detailløsninger er dårlige eller mangelfulde, 2) der gives eksempler på detailløsninger, der har vist sig enten gode eller dårlige, og 3) der beskrives hvilke forhold, man skal være opmærksom på ved konstruktion af solfangere. Rapporten kan således bruges både som checkliste og som inspirationskilde.

Sidst i rapporten beskrives det, hvordan erfaringerne fra 1. generationssolfangerne har bevirket, at de markedsførte solfangere i Danmark i dag er forbedret væsentligt i forhold til 1. generationssolfangerne.

Desuden gives der eksempler på, hvordan det er muligt at slippe fantasien løs, når man har de indhøstede erfaringer i baghovedet. Til sidst gives et eksempel på, hvad fremkomsten af nye materialer kan betyde for fremtidige solfangerkonstruktioner.

Summary

This report deals with the possibility of constructing solar collectors with good reliability and durability.

The experience gained from the first generation of solar collectors has been used as a basis, and a summary has been made of 1) things that may go wrong if a bad or insufficient solution is chosen, 2) examples are given of certain solutions which have been proved either good or bad, and 3) a description of some details worth paying special attention to when constructing solar collectors. In this way the report can be used as a checklist or a source of inspiration.

By the end of the report the experience we have achieved from the first generation of solar collectors has been described and a description is also given of how much the solar collectors on the Danish market have been improved compared to the first generation of solar collectors.

Further examples are also given of how we can use our imagination if only we do not forget the experience gained from the first generation of solar collectors. It is finally mentioned that invention of new materials may also influence the construction of solar collectors.

Indhold

	Side
FIGURLISTE	6
TABELLISTE	8
1. INDLEDNING	9
2. SAMMENFATNING	12
3. KONSTRUKTION AF SOLFANGER	13
3.1. Absorberen	14
3.1.1. Overfladen	14
3.1.2. Absorbertyper	16
3.1.3. Ødelæggelse af absorberen	23
3.1.3.1. Dårlige samlinger	23
3.1.3.2. Korrosion af absorberen	23
3.2. Dæklaget	26
3.2.1. Dæklaget som isolering	26
3.2.1.1. Det konvektive varmetab fra absorberen	32
3.2.2. Dæklaget som beskyttelse	34
3.2.2.1. Spændvidder for dæklaget	40
3.2.2.2. Ødelæggelse af dæklaget	41
3.2.2.3. Snavs på dæklaget	43
3.3. Isoleringen	43
3.3.1. Isoleringstyper	45
3.3.2. Problemer	46
3.3.3. Bagbeklædning	50
3.4. Kassen	50
3.4.1. Materialer	51
3.4.2. Kondens i solfangeren	56
3.4.3. Rørgennemføringer	59
3.5. Forseglingen	59
3.5.1. Opsamling af vand og snavs	60
3.5.2. Tætningsproblemer	62
3.6. Montage af solfangere	68
4. SOLFANGERE PÅ DET DANSKE MARKED I DAG	70

4.1.	Solfangermoduler	70
4.1.1.	Absorberen	70
4.1.1.1.	Belægningen	71
4.1.2.	Dæklaget	72
4.1.3.	Isoleringen	72
4.1.4.	Kassen	73
4.1.5.	Forseglingen	73
4.2.	Inddækning af store tagintegrerede solfanger- arealer	77
5.	EN NY GENERATION AF SOLFANGERE	83
5.1.	Letvægtssolfangere	83
5.2.	Store solfangerarealer	86
5.3.	Fremtiden	87
REFERENCER		91
PROJEKTORGANISATION		93

Figurliste

	Side
Fig. 1. Absorberen og emittansens afhængighed af lysets bølgelængde	15
2. Absorber med parallelle kanaler	16
3. Absorber med fuldt bestrøget areal	17
4. Absorber udformet som serpentin	17
5. Absorber udformet som spiral	17
6. Absorber med vinkelrette ribber	18
7. Kanaldesign i absorbere	19
8. Transmittansen for jernfrit glas	27
9. Transmittansens afhængighed af lysets indfalds- vinkel	29
10. Varmetabets afhængighed af luftspalten mellem absorber og dæklag	33
11. Dæklag af præformet acrylplade	37
12. Kombineret dæklag og forseglings	38
13. To dæklag i samme indspænding	38
14. Dæklag af glasfiberarmeret polyester	39
15. Spændvidder for glas	40
16. Brud på glasdæklag p.g.a. forkert fastspænding ..	42
17. Kuldebroer	44
18. Kondensering af udgasningsprodukter på dæklaget .	47
19. Deformeret og forkullet bagsideisolering af isoleringsskum	48
20. Mineraluld mellem absorber og isoleringsskum	49
21. Luftspalte mellem absorber og isoleringsskum	49
22. Solfangerkasse af glasfiberarmeret polyester	55
23. Dæklag med kraftig kondens	57
24. Korrosionspletter på absorberen som følge af kondensdryp	57
25. Ventilering af solfangerkassen	58
26. Kasseprofil der kan opsamle meget vand og snavs .	60
27. Korrosion af absorber som følge af ringe regn- tæthed	61
28. Solfanger hvor regnvandet frit kan løbe af	62
29. Dårlig komprimering af forseglingen	64
30. Dårlig komprimering af forseglingen	64

31.	Dårlig komprimering af forseglingen	65
32.	Solfanger hvor kantlisten er gledet ud	65
33.	Tre forseglingsløsninger der skulle sikre en god regntæthed	67
34.	Dæklag og forsegling i et	68
35.	Solfanger med en forsegling som fig. 33 foreslår	74
36.	Solfanger der burde, men ikke skaber fugtproblem	74
37.	Kasseprofil der sikrer regntæthed	75
38.	Kasseprofil der sikrer regntæthed	76
39.	Drænhuller i det nederste kasseprofil	76
40.	Kasseprofilet fra fig. 37 med en folie som dæklag	76
41.	Kasseprofilet fra fig. 38 i en tagintegreret løs- ning	77
42.	Dæklag af vacuumformede acrylplader	78
43.	Solfanger med dæklagsløsningen fra fig. 42	79
44.	Snit af dæklagsløsningen fra fig. 42	80
45.	Opsætning af sprosser og glaslister af gummi	80
46.	Opsætning af dæklaget fra fig. 42	81
47.	Topinddækning	82
48.	Inddækning i bunden af dæklagsløsningen fra fig. 42	82
49.	Letvægtssolfangere	84-85
50.	Alt i et inddækningssystem	86
51.	Solfanger med inddækningsløsningen fra fig. 50 ..	87
52.	Effektivitetskurver for solfangere med aerogel i dæklaget	89

Tabelliste

	Side
Tabel 1. Eksempler på overfladers optiske egenskaber og pris	15
2. Eksempler på priser for absorbere	20
3. Nogle fysiske egenskaber for forskellige mate- rialer	22
4. Den galvaniske spændingsrække for nogle mate- rialer	25
5. Korrosionsmiljøer	26
6. Transmittansen for solstråling og termisk strå- ling for nogle materialer	28
7. Eksempler på priser for glas	30
8. Eksempler på priser for Teflonfolier	30
9. Eksempler på priser for Tedlarfolier	31
10. Eksempler på priser for Flexigard-folier	31
11. Eksempler på priser for transparente plast- plader	32
12. Eksempler på priser for Rockwool	45
13. Eksempler på priser for Glasuld	45
14. Eksempler på priser for polystyrenskumplader....	46
15. Eksempler på priser for polyurethanskumplader...	46
16. Eksempler på priser for metalplader	51
17. Eksempler på priser for træ	52
18. Eksempler på priser for spån-, krydsfinér- og træfiberplader	53
19. Eksempler på priser for plastplader	54
20. Eksempler på priser for plastplader	55

1. Indledning

I slutningen af 70'erne opstod der i Danmark en lang række firmaer, der producerede solfangere. Desuden gik nogle etablerede firmaer med på ideen.

Solfangerne, der kom på markedet, var præget af en stor idérigdom, men også af at konstruktion og materialevalg skulle tilpasses et produktionsapparat, der allerede eksisterede eller var let og billigt at anskaffe. Samtidigt var kendskabet til de særlige problemer, der knytter sig til solfangere ikke særligt udbredt (og ofte ikke kendt). Da der heller ikke var nogen erfaringer at bygge på, var en stor del af disse solfangere ikke særligt gode. En undersøgelse af 22 solfangere på markedet i 1974-80 viste, at kun 40% af solfangere var acceptable ud fra et driftssikkerheds- og holdbarhedsmæssigt synspunkt.

De ofte dårlige solfangere samt andre problemer i solvarmeanlæggene (f.eks. stort varmetab fra lagerbeholderne, driftsforstyrrelser o.s.v.) medvirkede til, solvarmen kom i miskredit.

Der er siden ydet en stor indsats for at rette op på solvarmeanlæggenes børnesygdomme. Mange solfangere og solvarmeanlæg er blevet inspiceret. Resultaterne fra disse inspektioner er så udnyttet i 2. generationssolfangere og -anlæg. I dag er det således muligt at anskaffe solvarmeanlæg, der fungerer problemfrit og har en tilfredsstillende ydelse og holdbarhed.

Når der i dag eksisterer gode løsninger på solfangere, hvorfor så denne rapport?

Det er altid en god idé at opsummere både de fejl og de gode ting, man har lavet, før man bevæger sig videre. Dels for at have noget at bygge videre på. Dels for at undgå, at gøre lignende fejl i fremtiden. For selv om en solfanger er næsten

perfekt, kan det lille næsten gøre, at solfangeren alligevel ikke holder den ønskede årrække. Inspektionerne af solfangere viser nemlig, at næsten alle solfangerne havde gode detailløsninger og viste eksempler på gode anvendelser af materialer, men på grund af en eller flere fejl i konstruktionen, var solfangernes holdbarhed begrænset.

Rapporten prøver ikke at konkludere, hvorledes en solfanger skal konstrueres. Dette er afhængig af flere ting, f.eks. anvendelse og produktionsudstyr. Desuden vil nye materialer og konstruktionsløsninger hurtigt gøre en sådan rapport forældet. Rapporten er en opsummering af

- Hvad der kan gå galt, hvis de enkelte detailløsninger er dårlige,
- Eksempler på detailløsninger, der har vist sig henholdsvis gode og dårlige og
- hvilke forhold man skal være opmærksom på.

Rapporten kan derfor opfattes som en checkliste for, om der i en given solfangerkonstruktion er taget højde for de forhold, solfangeren skal kunne klare. Samtidigt kan rapporten fungere som en inspirationskilde, hvor man kan plukke i de enkelte detailløsninger og evt. stykke dem sammen med egne løsninger, således at solfangeren passer til den tilsigtede anvendelsesform og produktionsudstyret. Sammenstyknings af detailløsninger skal dog ske med omtanke, idet en detailløsning, der fungerer godt i én sammensætning, kan være meget uheldig i en anden sammenhæng.

Da udbredelsen af solvarmeanlæg afhænger af anlæggenes ydelse og pris, undgår rapporten ikke at berøre disse områder. Det er således muligt at sammenligne flere af detailløsningerne både ydelsesmæssigt og prismæssigt. Det bliver på den måde muligt at vurdere og udvalgte detailløsningerne ud fra holdbarhed, ydelse og pris, og dermed være medvirkende til at give optimale solfangerkonstruktioner.

Rapporten kan virke deprimerende, idet den opsummerer på erfaringerne fra 1. generationssolfangere. De havde mange fejl og mangler, beskrivelsen af disse fejl og mangler vil derfor være dominerende i rapporten. For ikke at efterlade læseren i dårligt humør, er der to afsnit sidst i rapporten, der dels viser, at vi har taget ved lære, dels at kendskabet til hvad der kan gå galt, kan virke som springbræt til både bedre og billigere solfangere, end de der i dag findes på markedet.

2. Sammenfatning

I denne rapport diskuteres det, hvordan det er muligt at opnå gode holdbarheder og driftssikkerheder for solfangere. Der er mange forhold at tage hensyn til, og mange mulige løsninger. Her skal blot opsummeres de væsentligste forhold, der skal tages hensyn til.

- Solfangeren skal være regntæt, så regn ikke trænger ind og ødelægger solfangeren,
- da det ofte er umuligt at hindre, at fugt trænger ind, skal der sørges for en tilstrækkelig ventilation, så den indtrængte fugt ikke skader solfangeren. Desuden skal evt. indtrængende vand kunne slippe ud, uden at forvolde skade.
- solfangere opnår ved stagnation ofte meget høje temperaturer, det skal de anvendte materialer kunne klare,
- i solfangere anvendes mange forskellige materialer med forskellige udvidelseskoefficienter. Solfangeren skal opbygges sådan, at de forskellige materialer kan ekspandere uden at ødelægge konstruktionen,
- når forskellige metaller anvendes sammen, vil der ofte opstå galvanisk korrosion. Dette skal undgås enten ved at isolere metallerne elektrisk fra hinanden eller ved at skabe et ilt- og/eller vandfrit miljø omkring dem,
- mange materialer udgasser ved høje temperaturer. Dette skal undgås enten ved indkapsling af disse materialer, eller ved at undgå at materialerne opnår for høje temperaturer.

Ovenstående er de vigtigste forhold at tage hensyn til ved konstruktion af solfangere. Hvis disse 6 punkter er opfyldt, er der meget stor sandsynlighed for, at solfangeren holder og fungerer i den forventede årrække - 20 år.

Solfangere på det danske marked i dag bygger på erfaringerne fra 1. generationssolfangere, og de udviser en god holdbarhed og driftssikkerhed. Mulighederne er dog endnu ikke udtømte for at forbedre og billiggøre solfangere. Men i det fortsatte udviklingsarbejde skal der tages hensyn til ovenstående 6 punkter.

3. Konstruktion af solfangere

I denne del af rapporten opsummeres erfaringerne med 1. generationssolfangerne. Et hurtigt blik hen over erfaringerne med disse solfangere viser, at størstedelen af solfangere har en dårlig holdbarhed. Dette er dog en lidt for hurtig konklusion. Det er rigtigt, at der har været en del holdbarheds- og driftsmæssige problemer med 1. generationsanlæggene. Men det betyder ikke, at de helt igennem har været dårlige. De fleste solfangere indeholder gode detaljer og konstruktionsløsninger, men på grund af en eller flere fejl og mangler er solfangernes holdbarhed begrænset.

Opsummeringen over erfaringerne med 1. generationsanlæggene foretages ved at gennemgå:

- hvad der kan gå galt, hvis de enkelte detailløsninger er dårlige eller mangelfulde,
- eksempler på detailløsninger, der har vist sig enten gode eller dårlige og
- hvilke forhold man skal være opmærksom på ved konstruktion af solfangere.

Solfangere er opbygget af mange komponenter, det ville derfor være uoverskueligt - og dermed uanvendeligt - at behandle solfangeren under et. Afsnittet er derfor delt op i underafsnit, hvor delområderne behandles hver for sig. Disse delområder er:

- absorberen,
- dæklaget,
- isoleringen,
- kassen,
- forseglingen mellem dæklag og kasse og
- montage af solfangeren.

Det er dog ikke muligt at holde en så skarp opdeling mellem delområderne, da disse områder indbyrdes påvirker hinanden.

Derfor er det nødvendigt at foretage henvisninger mellem underafsnittene.

Rapporten beskæftiger sig kun med erfaringerne fra plane ikke koncentrerende solfangere. Ligeledes tages der udgangspunkt i solfangere med væsker i kanaler som varmetransporterende medium. Det skyldes dels, at det er her den største erfaring findes, dels at det i dag næsten udelukkende er denne type solfangere, der markedsføres i Danmark.

3.1. Absorberen

Hjertet i en solfanger er absorberen, idet dennes funktion er at omdanne solens stråler til varme og at overføre varmen til den væske, der strømmer i solfangerkredsen mellem solfanger og lager.

3.1.1. Overfladen

En absorber skal have en høj absorptans for solstråling, der har en bølgelængde på mellem 0,3 og 2,5 μm . Men da absorberen opvarmes, og derved bliver varmere end dæklaget, vil der ske en udstråling (varmestråling) til dæklaget. Denne varmestråling foregår mellem bølgelængder på 3-50 μm . Det er muligt at minimere denne udstråling (emittans) til dæklaget.

På fig. 1. er vist to overfladers evne til at absorbere solstråling og emitte varmestråling. De to bølgelængde områder anskueliggøres på figuren ved hjælp af solstrålingens spektre og emittansen fra et sort legeme ved 50 °C. Som det ses, kan man ved brug af mat sort maling opnå en høj absorptans af solstråling, til gengæld er emittansen af varmestråling også høj. Ved hjælp af en selektiv belægning er det muligt at opnå en meget lav emittans af varmestråling. Den selektive belægning skal tilpasses således, at den lave emittans falder i det normale temperaturarbejdsområde for absorberen.

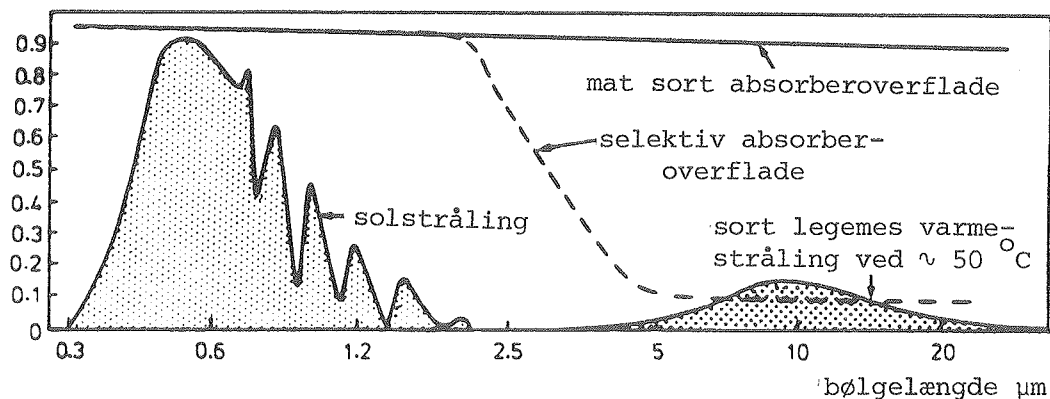


Fig. 1. Absorptansen og emittansen for to overflader afhængig af bølgelængden (ref. (1), 1985).

I tabel 1. er angivet eksempler på absorptanser (α_{sol}), emittanser (ϵ_{term}) og priser for fire forskellige belægninger. Med undtagelse af belægningen "selektiv behandlet" påføres belægningerne på stedet, mens "selektiv behandlet" er påført fra fabrikken. De her nævnte værdier for α og ϵ er kun vejledende, idet de afhænger meget af omhuen ved påførslen og af eventuelle senere beskadigelser. Priseksemplerne på belægninger er for 1000-2000 m² i 1984, når de er påført, d.v.s. inkl. arbejdsløn og fortjeneste på 30%, men uden moms.

belægning	α_{sol}	ϵ_{term}	pris kr/m ²
sort maling	0,98	0,98	25
selektiv maling	0,94	0,25	25
selektiv behandlet	0,95	0,15	60
selektiv folie	0,97	0,09	150

Tabel 1. Eksempler på overfladers optiske egenskaber og priser (ref. (2), Møllgaard, 1984). Prisen er uden moms.

Som det ses af tabellen er der sammenhæng mellem pris og egenskaber. Det bliver dyrere med forbedringen.

Man har efterhånden opnået stor erfaring med holdbarhed af absorberbelægninger. Selektive belægninger er nu så udviklede, at mange anses for at have den ønskede holdbarhed på omkring 20 år. Sort malings holdbarhed afhænger af den anvendte maling, den skal således kunne tåle høje temperaturer, - hvilket også findes. Et krav for god holdbarhed er dog stadig, at overfladerne, hvor belægningerne skal påføres, behandles rigtigt, og at man i det hele taget er omhyggelig med pålægningen, samt følger fabrikantens anvisninger. Efter pålægning vil forkert håndtering og behandling også kunne forringe belægningen, undgå f.eks. at berøre belægningen eller støde noget mod den.

3.1.2. Absorbertyper

Absorbere til solfangere kan udformes på mange måder, også når vi kun holder os til plane væskefyldte absorbere. Fig. 2. - Fig. 6. viser, hvordan det er muligt at arrangere væskekanalerne i en absorber, mens fig. 7. viser mulige kanaldesign.

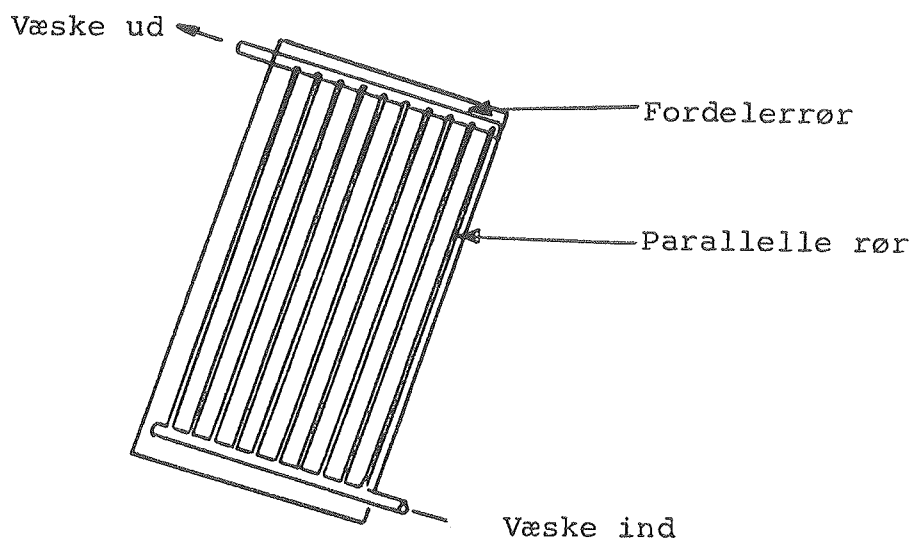


Fig. 2. Absorber med parallelle kanaler samlet i manifold foroven og forneden (ref. 2), Møllgaard. 1984).

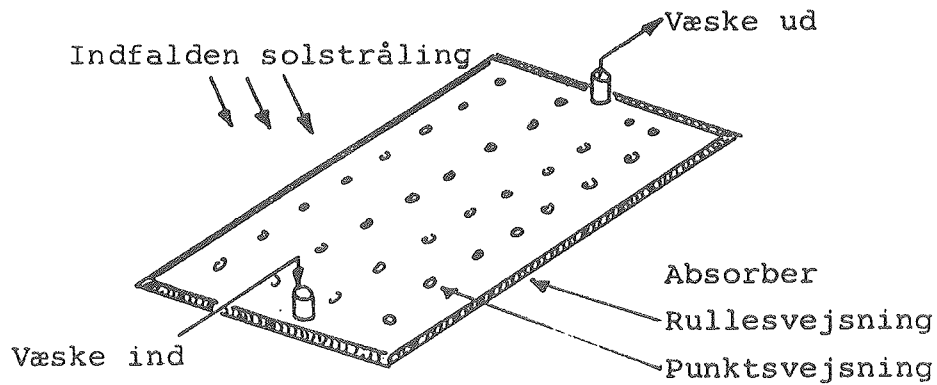


Fig. 3. Absorber bestående af to metalplader, der er punkt- og rullesvejst og derefter blæst op under tryk (ref. (2), Møllgaard, 1984).

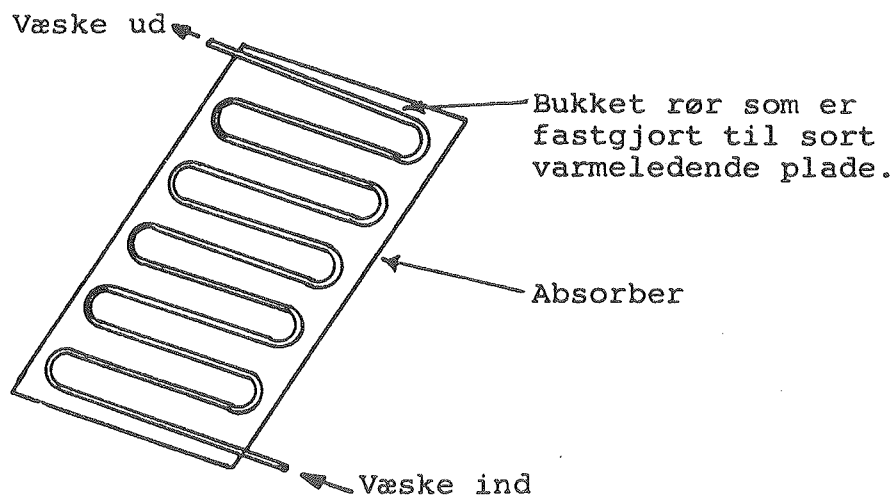


Fig. 4. Bukket rør fastgjort til plade (ref. (2), Møllgaard, 1984).

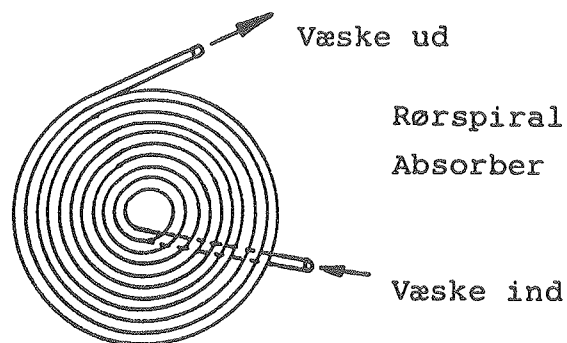


Fig. 5. Rørspiral (ref. (2), Møllgaard, 1984).

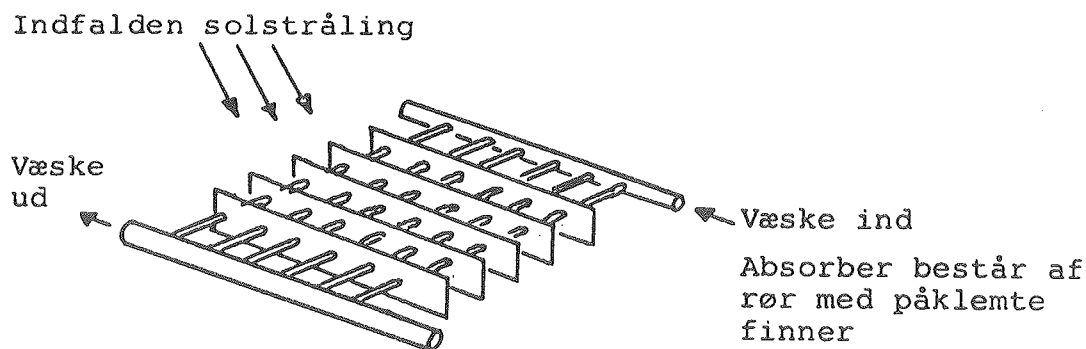


Fig. 6. Kanaler med vinkelrette påklemte finner og manifold foroven og forneden (ref. (2), Møllgaard, 1984).

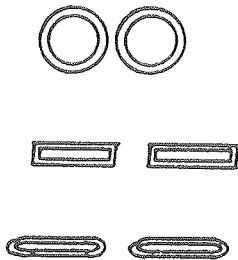
Hvilken af ovenstående absorberløsninger, der er bedst, afhænger af den aktuelle udformning og de benyttede materialer. Udfra formlerne i ref. (3) (Duffie og Beckmann, 1980) er det muligt at regne på de fleste af de ovenstående design. I dag i Danmark anvendes udelukkende absorbertyperne fra fig. 2. og 3. Dette siger noget om effektiviteten af denne type absorber, men mindst lige så meget om prisen. I tabel 2 er angivet eksempler på priser for absorbere på det danske marked i 1984. Priserne er uden moms. De to første absorbertyper er de fra fig. 3. De tre sidste fra fig. 2, hvor den tredje absorber er "sammenhængende kanaler med finner" fra fig. 7., og de to sidste "mange løse kanaler uden finner".

Priserne i tabel 2 er kun eksempler, og skal kun tages som sådan. De er i høj grad afhængige af materialevalg og valg af produktionsmetode, samt af prisudviklingen inden for disse to områder. Materialer og procesmetoder i tabel 3 er følgende.

- 1: To 1,25 mm stålplader rulle- og punktsvejst sammen.
- 2: To 0,5 mm rustfritstålplader rulle- og punktsvejst sammen.
- 3: To 0,75 mm aluminiumsplader valset sammen.
- 4: En 0,9 mm aluminiumsplade klemt omkring et 10/8 mm kobberør.
- 5: To 0,25 mm aluminiumsplader valset omkring et 8/7,3 mm kobberør.

KANALDESIGN :

Profiler :

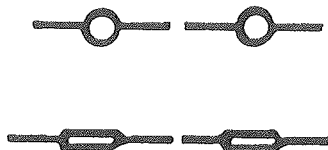


Forklaring :

Mange løse kanaler uden finner

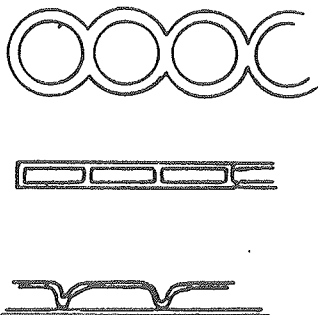
Absorber dannet af mange løse kanaler, som er lagt ved siden af hinanden således, at de danner en flade.

Mange løse kanaler med finner



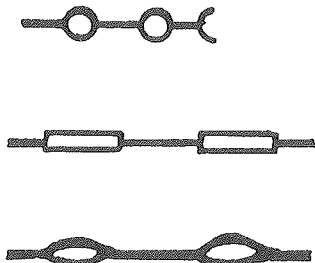
Absorber dannet efter ovenstående princip. Her er kanalerne udstyret med finner. Finnerne kan være loddet, svejset, valset eller klemt på kanalerne.

Sammenhængende kanaler uden finner



Denne absorbertype kan være dannet ud fra svejste stålprofiler eller ekstruderede plastikprofiler.

Sammenhængende kanaler med finner



For denne absorbertype findes Roll Bond-plader, ekstruderede aluminiumsprofiler, samt rør, som er loddet, svejst, valset eller klemt på en plade.

Fig. 7. Kanaludformninger (ref. (2), Møllgaard, 1984).

Processen under 5 er langt den mest automatiserede, idet den fabrik, der producerer denne absorber, har en årlig produktionskapacitet på 2 mill. m².

Tallene i tabel 2 er fremkommet på følgende måde: De to første kolonner er opgivet af fabrikanterne, mens den sidste kolonne er beregnet ud fra materialepriser i de følgende tabeller i denne rapport. Tallet i kolonne 3 fremkommet ud fra overvejelser om fortjeneste og reduktion af omkostninger ved storproduktion. Tallet i kolonne 4 er fremkommet ved at trække kolonne 5 fra kolonne 3. En grundigere gennemgang af beregningsgrundlaget findes i ref. (2), Mølgaard, 1984.

Materiale	Samle-Proces	Pris1 kr/m ²	Pris2 kr/m ²	Pris3 kr/m ²	Pris4 kr/m ²	Pris5 kr/m ²
Stål	Svejsning	430	365	193	100	93
Rustfrit stål	Svejsning	670	370	245	119	126
Aluminium	Valsning	395	295	186	84	102
Al/Cu	Klemning	285	285	250	87	163
Al/Cu	Valsning	340	240	150	78	72

Tabel 2. Eksempler på priser på absorbertyper excl. moms i 1984 (ref. (2), Møllgaard, 1984).

Pris 1: Detailpris,

Pris 2: Engrospris (for mængder på 50-100 m²),

Pris 3: Halvfabrikatpris (for mængder på 1000-2000 m²),

Pris 4: Fabrikationsomkostninger og

Pris 5: Materialepris.

I dag anvendes der hovedsagelig materialerne fra tabel 2. til fabrikation af solfangere. Der har flere gange været forsøgt lavet absorbere af plast, da dette for visse plastarters vedkommende er billigt. Men desværre knytter der sig en del problemer til brugen af plast. De fleste (det vil her sige de billigste) plastarter, kan ikke klare de høje temperaturer,

der kan opstå i en solfanger f.eks. under stagnation (ingen væskestrømning). I en solfanger med sort (ikke selektiv) overflade med et dæklag, kan temperaturen under stagnation nå op på 120-130 °C. Et andet problem ved plast, der skal tages hensyn til, er, at det har en meget stor udvidelseskoefficient. Ved anvendelse af plast som absorber er det nødvendigt at sikre, at det kan ekspandere frit, da absorberen ellers kan blive ødelagt, eller absorberens ekspansion kan sprænge kassen, den ligger i.

På det danske marked markedsføres i dag en solfanger af plast. Denne anvendes hovedsagelig uden dæklag til opvarmning af svømmebade. Absorberen er af det forholdsvis billige polyolefin, der er relativt varmebestandigt, men dog ikke tåler temperaturer væsentligt over 100 °C samtidigt med, at der er tryk på absorberen.

Udvidelseskoefficienten samt varmeledningsevnen, massefylden og varmfylden for forskellige materialer er listet i tabel 3.

Absorberen skal designes således, at der under drift er væsecirkulation i alle absorberens kanaler og alle elementer, når flere solfangere er koblet sammen. Dette sikres dels ved, at der er et stort tryktab over de enkelte absorbere, dels at tryktabet over de enkelte kanaler er væsentligt større end tryktabet over manifolden, hvortil kanalerne er forbundet. Størrelsen af strømningsarealet i manifolden er afhængig af den påtænkte måde, hvorpå flere solfangerelementer skal kobles sammen. Der kræves f.eks. et større strømningsareal, hvis manifold kobles direkte sammen, end hvis de forbindes til en ekstern manifold.

Risikoen for, at der opstår luftlommer i absorberen, skal minimeres. Bagudvendte udløb fra solfangeren bør derfor undgås (se fig. 3). Om der opstår luftlommer i solvarmeanlægget afhænger dog først og fremmest af installationen og volumenstrømmen i solfangeren under drift. Solvarmeanlæg skal

Materiale	Varmeled- ningsevne W/mK	Massefylde kg/m ³	Varmefylde kJ/kg K	Udvidel- seskoef- ficient %/K 10 ⁻⁶
<u>Metaller</u>				
Aluminium	210	8700	0,88	25
Messing	100	8520	0,38	19
Kobber	386	8960	0,38	16,7
Blødt stål	45-60	7800	0,45	11
Rustfrit stål	15-60	7800-8700	0,46	10,4
<u>Ikke-metaller</u>				
Tegl	0,4-1,3	1600-2000	0,84	5-15
Beton	0,9-1,5	1900-2500	0,84	5-15
Glas	0,8-1,1	2400-2700	0,84	8,6
Gummi	0,1-0,2	900-1100	1,5-2,1	220
Træ	0,1-0,2	400-800	1,5-3	5-50
<u>Isolering</u>				
Glasfibre	0,04	25-100		8,5-10
Mineraluld	0,04	30-200		
Ekspanderet polystyren	0,04	15-16		70
Polyurethan- skum	0,03	20-60		22-?
<u>Plastic</u>				
Acryl (PMMA)	0,20	1190	1,50	70
GP	0,16	1500		32-40
Teflon (PTFE)	0,25	2100	1,05	55
Tedlar (PVF)	0,16	1400		40-50
PVC	0,19	1300-1500		50-70
Polyester		1300-1400		70-10
Polypropylene	0,20	905	0,6-1,1	7-110
Polycarbonate	0,23	1300	1,40	60-70

Tabel 3. Cirka-værdier for forskellige materials varmeled-
ningsevne, massefylde, varmfylde og udvidelseskoef-
ficient, (ref. (1), 1985).

altid installeres med mulighed for luftudladning i det højeste punkt, og volumenstrømmen skal (i hvert fald i starten) være så høj, at evt. luft rives med rundt, og derved havner ved luftudladeren.

3.1.3. Ødelæggelse af absorbereren

Ud over beskadigelse af absorbereren ved produktion, transport og montage, kan absorbereren blive ødelagt som følge af to forhold: Dårlige samlinger og korrosion.

3.1.3.1. Dårlige samlinger

En absorber kan samles på flere måder - valsning, limning, svejsning og lodning. Disse samlinger er et af absorberens svage punkter. Hvis fladerne ikke har fået den rette forbehandling, samlingerne ikke har fået det rigtige tryk ved valsning og punktsvejsning, der ikke er anvendt de rette tilsatsmaterialer og flusmidler ved svejsning og lodning eller den forkerte lim, så er risikoen for at solfangeren bliver utæt, meget stor. Derfor bør absorbereren altid tryk-prøves med et større prøvetryk, end den vil blive udsat for i et solvarmeanlæg.

3.1.3.2. Korrosion af absorbereren

Absorbereren er udsat for to forskellige korrosionsfarer:

- indvendig korrosion i væskekanalerne og
- udvendig korrosion som følge af forkert miljø.

Galvanisk korrosion opstår, når metaller med forskelligt elektrisk potentiale, er i elektrisk forbindelse med hinanden i et vand- og iltrigt miljø. Tabel 4 viser den galvaniske

spændingsrække for nogle metaller. For metaller, der ligger tæt i spændingsrækken, er der kun lille tendens til, at der opstår galvanisk korrosion. Men jo længere væk metallerne befinder sig fra hinanden i spændingsrækken, jo stærkere er den korroderende tendens på det metal, der står højest i tabellen. F.eks. vil kobber og aluminium sammen have en stærk tendens til at nedbryde aluminiumet. Der bruges netop tit både kobber og aluminium i solfangere. Den korroderende virkning kan standses, ved at fjerne ilten og/eller vandet fra miljøet (eller mindske deres betydning) eller ved at isolere de forskellige metaller elektrisk fra hinanden. De absorbere, der består af kobberrør med påvalsede aluminiumsfiner er et eksempel på det første, da de er valset så tæt sammen, at hverken ilt eller vand kan trænge ind. Hvis solfangeren er placeret i et lukket kredsløb, vil ilten i solfangeren hurtigt blive opbrugt, og korrosionen som følge af dette vil stoppe.

Den indvendige korrosion kan opstå på flere måder - strømningskorrosion, galvanisk korrosion og tilstedeværelse af ilt, vand og ioner. Strømningskorrosionen kan undgås ved at sørge for, at lysningen af kanalerne er udformet sådan, at hastigheden aldrig bliver større end ca. 1 m/sek. (ref. (5), Halling Sørensen og Wowern, 1979). Anden indvendig korrosion kan stoppes ved at tilsætte solfangervæsken forskellige korrosionshæmmende stoffer - såkaldte inhibitorer. Dette er specielt nødvendigt i absorbere af aluminium og stål. Man kunne tænke sig at korrosionsbeskytte stålet med et zinklag - det er en meget udbredt metode inden for andre områder. Dette må på det kraftigste frarådes. De i dag anvendte solfangervæsker indeholder nitratbaserede inhibitorer. Disse inhibitorer vil gå i forbindelse med zinken, og dermed forsvinder for det første deres beskyttende virkning, for det andet vil zink-nitratforbindelsen bundfældes og tilstoppe rør og kanaler med faldende solfangereffektivitet til følge.

Den udvendige korrosion opstår som følge af et forkert miljø i solfangeren. Tabel 5 viser en klassifikation af korrosionsmiljøer.

Korroderende ende - anodisk
Magnesium
Zink
Aluminium
Cadmium
Aluminiumslegeringer
Stål
Støbejern
Loddetin
18/8 rustfrit stål i aktiv tilstand
Bly
Nikkel
Messing
Kobber
70-30 kupronikkel
18/8 rustfrit stål i passiv tilstand
Sølv
Guld
Platin
Beskyttet ende - katodisk

Tabel 4. Den galvaniske spændingsrække for nogle metaller (ref. (4), 1975).

Absorberen må ikke udsættes for miljøklaser højere end 2. I afsnittet 3.4. og 3.5. diskuteres nærmere, hvordan et godt miljø opretholdes i solfangeren.

Som fig. 24 og 27 viser, ødelægges i første omgang absorberbelægningen, som følge af et korroderende miljø, hvilket betyder faldende effektivitet af solfangeren. Hvis korrosionen får lov at fortsætte, vil selve absorberen til sidst blive ødelagt.

Korrosions- klasse DS 142/DS 419	Miljøets aggressivitet	Miljøeksempler
0	Ingen	Indendørs i tørre lokaler (relativ luftfugtighed 60%)
1	Ubetydelig	Indendørs i uopvarmede velventilerede rum
2	Middel	Indendørs ved skiftende fugtpåvirkning. I land- atmosfære langt fra indu- stri og tæt bebyggelse
3	Stor	Ved tæt bebyggelse. I industriområder. Over vand og ved kyster.
4	Meget stor	I konstant fugtigt miljø. Ved kemiske fabrikker. I vand og jord.

Tabel 5. Korrosionsmiljøer (ref. (6), Hansen et.al., 1980).

3.2. Dæklaget

Dæklaget har to funktioner. Det skal dels mindske varmetabet fra absorberen, dels beskytte absorberen og isoleringen mod vejrliget. I nogle solfangertyper hjælper glasset desuden med til at afstive kassen, idet denne er ledeløs uden dæklag, dog ikke så ledeløs at glasset udsættes for store mekaniske spændinger.

3.2.1. Dæklaget som isolering

Dæklaget skal virke som isolering mellem absorberen og omgivelserne, både med hensyn til konvektive tab (f.eks.

vindpåvirkning) og varmestråling til omgivelserne. Samtidigt må det ikke hindre solens stråler i at ramme absorbereren. Dæklagets transmittans (gennemskinelighed) for solstråling skal således være høj, mens dets transmittans for varmestråling skal være lav. Fig. 8. viser transmittansen for jernfrit glas i det aktuelle bølgelængdeområde. Til orientering er også indtegnet solstrålingens spektrum og udstrålingen fra et sort legeme ved 50 °C.

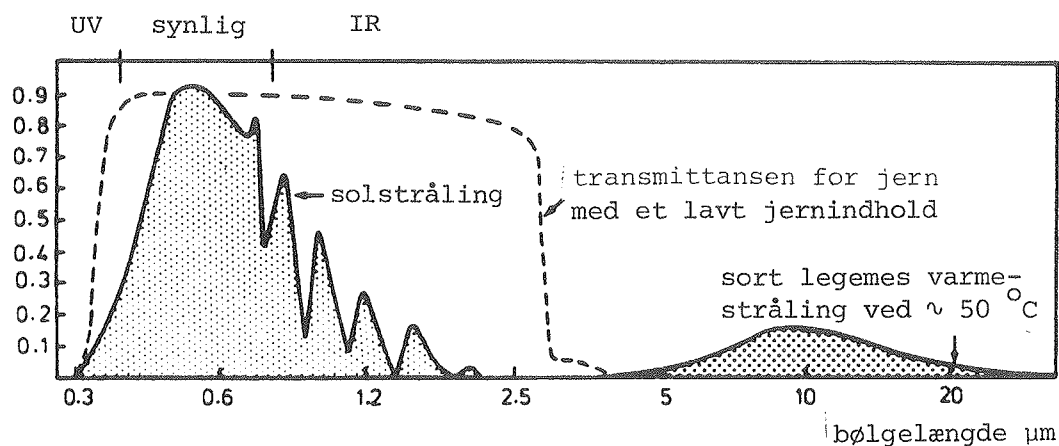


Fig. 8. Transmittansen for jernfrit glas afhængig af bølgelængden (ref. (1), 1985).

I tabel 6 er listet transmittansen for forskellige materialer i de to interessante bølgelængdeområder.

Tallene for transmittansen af solstråling i tabel 6 varierer fra fabrikat til fabrikat. Således er transmittansen for glas mindsket inden for de seneste år på grund af større jernindhold - for 4 mm glas kan en transmittans på helt ned til 0,78 forekomme. For plastmaterialernes vedkommende afhænger transmittansen af tilsætningsmaterialerne: 3 mm acryl kan have en transmittans på 0,92, mens transmittansen for klar PVC kan falde til 0,8.

Materiale	Tykkelse mm	Transmittans for solstråling 0,3-2,5 μm ($\pm$ 0,02)	Termisk (0-100°C) transmittans 2,5-50 μm ($\pm$ 0,02)
Float glas	3	0,86	0,02
(højt jernindhold)	4	0,84	"
	6	0,80	"
Float glas	3	0,90	0,02
(lavt jernindhold)	4	0,88	"
	6	0,86	"
Acryl (PMMA)	3	0,88	0,02
	4	0,85	"
	6	0,78	"
Glasfiberarmeret polyester (35% glas)	1	0,81	0,03
Teflon (PTFE)	0,025	0,95	0,55
Tedlar (PVF)	0,1	0,92	0,22
PVC	0,8	0,84	0,04
Polycarbonat (PC)	3	0,82	0,04
Polycarbonat (PC)	3 (0,3)	0,84	0,04
ribbeplade	5 (0,45)	"	"
	10 (0,55)	"	"
Polyester	0,1	0,87	0,18

Tabel 6. Transmittansen for solstråling og termisk stråling for forskellige materialer (ref. (1) og ref. (2)). Parenteserne ved ribbepladerne angiver tykkelsen af de yderste lag.

I tabel 6 er angivet transmittansen gennem forskellige dæklag, når solstrålingen er vinkelret på dæklaget. Men transmittansen er afhængig af indfaldsvinklen, som fig. 9 viser. Figuren viser samtidigt, at jo flere reflekterende flader, der er i dæklagskonstruktionen, jo hurtigere falder transmittansen med indfaldsvinklen.

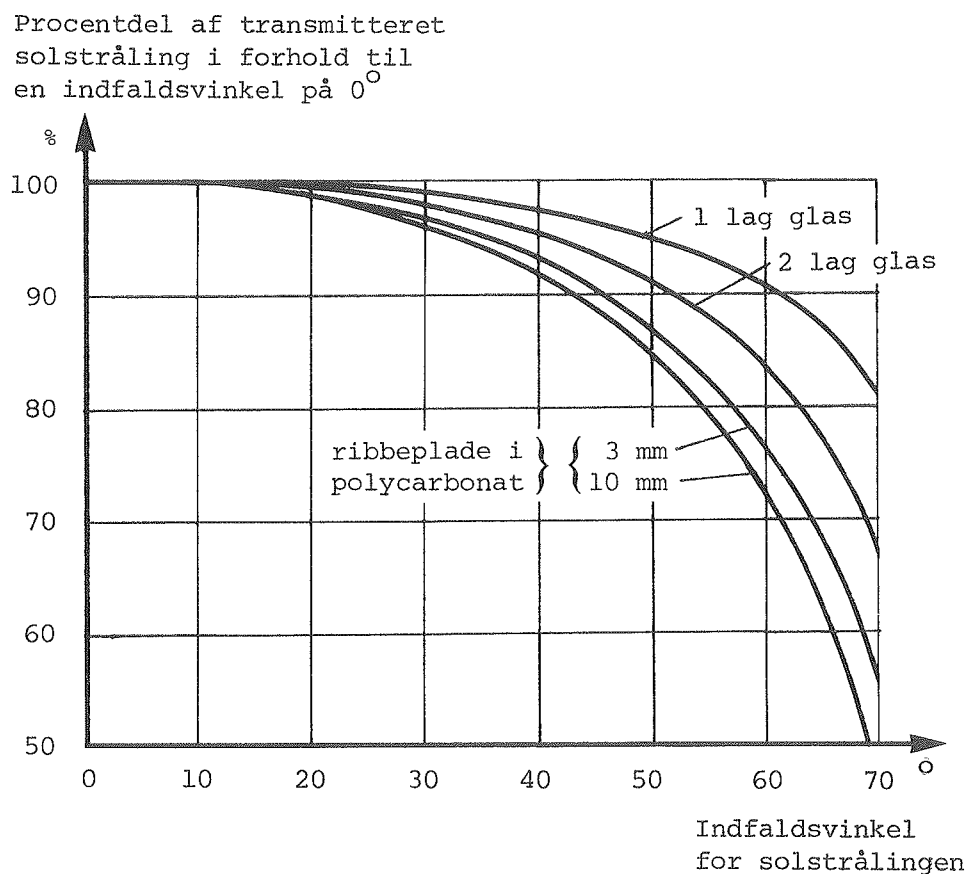


Fig. 9. Den transmitterede solstrålings afhængighed af strålingens indfaldsvinkel og dæklagskonstruktionen.

I tabellerne 7-11 er angivet eksempler på priser for forskellige dækmaterialer. Flexigard er et laminat folie bestående af acryl og polyester. Denne folies fysiske egenskaber er derfor at finde et sted mellem disse to materialer.

Glastype	Tykkelse mm	Pris 1 kr/m ²	Pris 2 kr/m ²
Float-glas, alm.	3	145	35
Float-glas, alm.	4	179	40
Float-glas, alm.	5	235	53
Float-glas, hærdet	4	410	95
Float-glas, hærdet	5	490	115

Tabel 7. Eksempler på priser for glas (ref. (2), Møllgaard, 1984)

Pris 1: Detailpris for mindre mængder,
 Pris 2: Ved køb af mængder på mere end 20 kg.
 Glas med lavt jernindhold kan fås til næsten samme pris som jern med højt jernindhold, hvis der indkøbes tilstrækkeligt store mængder ad gangen. Det er dog mere skørt, og beskadigelsesprocenten vil derfor være højere end for almindeligt glas.

Tykkelse mm	m ² /kg	Pris 1 kr/m ²	Pris 2 kr/m ²	Pris 3 kr/m ²
0.025	18.4	39	36	32
0.051	9.2	68	63	56

Tabel 8. Eksempler på priser på teflonfolie (ref. (2), Møllgaard, 1984)

Pris 1: ved køb af 12-25 kg,
 Pris 2: ved køb af 25-100 kg,
 Pris 3: ved køb af mere end 100 kg.

Tykkelse mm	Pris 1 kr/m ²	Pris 2 kr/m ²	Pris 3 kr/m ²
0.1016	150	90	70

Tabel 9. Eksempler på priser på Tedlar - PVF-folie (ref. (2), Møllgaard, 1984)

Pris 1: Ved køb af mindre end 180 m²,
 Pris 2: Ved køb af 180-720 m²,
 Pris 3: Ved køb af mere end 720 m².

Tykkelse mm	Pris 1 kr/m ²	Pris 2 kr/m ²	Pris 3 kr/m ²	Pris 4 kr/m ²	Pris 5 kr/m ²
0.18	166	143	136	129	122
0.28	212	189	179	170	161

Tabel 10. Eksempler på priser på Flexigard - acryl/polyester-folie (ref. (2), Møllgaard, 1984).

Pris 1: Ved køb af mindre end 35 m²
 Pris 2: Ved køb af 35-100 m²
 Pris 3: Ved køb af 100-250 m²
 Pris 4: Ved køb af 250-500 m²
 Pris 5: Ved køb af mere end 500 m².

Som før nævnt er priserne i denne rapport kun eksempler, der ikke må bruges ukritisk. F.eks. er prisen for den tynde Flexigard-folie (0,18 mm) i marts 1986 faldet til 85 kr. pr. m² ved køb af ca. 56 m². Dette eksempel er ekstremt, de andre priser i rapporten vil sandsynligvis ikke vise så store udsving. Faldet i prisen på Flexigard var forudset, idet prisen på de indgående materialer ikke berettiger til den høje pris. Prisen er således afhængig af omkostningerne ved selve produktionsprocessen. Faldet i prisen på Flexigard er derfor sket som følge af en større produktion.

Pladetype	Tykkelse mm	Pris 1 kr/m ²	Pris 2 kr/m ²	Pris 3 kr/kg
PMMA ekstruderet	2	142	123	52
PMMA ekstruderet	4	198	172	36
PMMA ekstruderet	6	273	252	36
PMMA slagfast	2	135	116	49
PMMA slagfast	4	262	226	48
PMMA ribbeplade	16	215	184	35
PC UV-stabiliseret	0.75	106	86	96
PC UV-stabiliseret	1	140	113	94
PC UV-stabiliseret	2	238	194	81
PC UV-stabiliseret	4	461	374	78
PC ribbeplade	5	104	86	72
PC ribbeplade	10	167	139	70
PC folie	0.25	56	48	160
PC folie	0.5	105	89	148

Tabel 11. Eksempler på priser på acrylplader (PMMA) og polycarbonatplader (PC), (ref. (2), Møllgaard, 1984). Ribbeplader har følgende udseende



Pris 1: Detailpris for mindre mængder,
 Pris 2: Ved køb af mere end 300 m²,
 Pris 3: Pris 2 pr. kg, med massefylder på
 PMMA: 1180 kg/m² og PC: 1200 kg/m².

3.2.1.1. Det konvektive varmetab fra absorberen

Det konvektive varmetab består dels af direkte vindpåvirkning på dæklaget, dels konvektionsstrømme mellem den varme absor-

beroverflade og det koldere dæklag. Den konvektive varmestrøm mellem absorberen og dæklaget er dels afhængig af temperaturniveauet, men også af afstanden mellem absorber og dæklag samt af absorberoverfladens emittans, som fig. 10 viser.

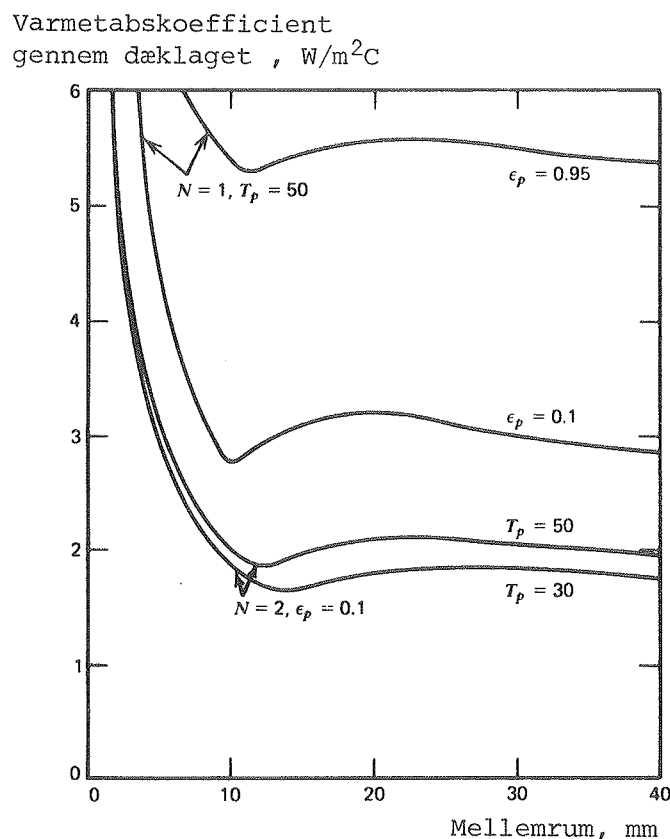


Fig. 10. Varmetabet fra dæklagets afhængighed af afstanden mellem absorber og dæklag for en solfanger med en hældning på 45 °C. (ref. (3), Duffie & Beckmann, 1980).

N = antal dæklag,
 T_p = absorberens temperatur og
 ϵ_p = absorberens emittans.

Figuren viser, at afstanden helst skal være over 15 mm. Afstanden mellem dæklag og absorber må dog ikke blive for stor, idet skyggen fra solfangerens side samtidigt vokser. En afstand mellem absorber og dæklag på mellem 20 og 30 mm er velegnet, og en afstand mellem flere dæklag på 12-15 mm. Fig. 10 viser, at varmetabet mindskes ved brug af flere dæklag. Men samtidigt falder transmittansen gennem det samlede dæklag,

og sidernes skyggepåvirkning øges. Når der i dag anvendes flere dæklag, benyttes ofte folier - f.eks. teflon, idet de har en bedre transmittans end de "tykke" dæklag, til gengæld er de også transparente for varmestraling. Dette er dog uden betydning, når det ene dæklag ikke er transparent for varmestraling (f.eks. glas) og der anvendes en selektiv overflade på absorberen.

3.2.2. Dæklag som beskyttelse

Dæklaget skal beskytte absorberen for ydre påvirkninger - f.eks. vejrliget. D.v.s. dæklaget skal selv kunne tåle disse ydre påvirkninger. Følgende liste giver en kort oversigt over de forskellige dæklags fordele og ulemper.

Float glas

- dårligt til at modstå tryk, slag og termiske spændinger,
- transmittansen afhænger af jernindholdet,
- tungt,
- ridses ikke let,
- ældes ikke (i løbet af solfangerens levetid).

Hærdet glas

- mere modstandsdygtig over for tryk, slag og termiske spændinger end almindeligt glas,
- kan ikke tilskæres efter hærkning,
- tyndere glas end almindeligt glas kan benyttes med bedre transmittans til følge,
- tungt,
- ridses ikke let,
- ældes ikke.

Acryl

- kan formes i f.eks. kupler, for bedre at modstå varmen fra absorbereren, vindtryk og snelag (se fig. 11),
- god temperaturbestandighed op til 90 °C,
- holdbar i over 20 år udendørs,
- kun ringe fald i transmissionskoefficienten over årene,
- revner og krakelerer ved store temperaturgradienter og spændinger i materialet,
- tendens til at tiltrække støv og snavs,
- god slagstyrke.

Glasfiberarmeret polyester (GRP)

- Kan formes til f.eks. kupler for at hindre nedbøjning,
- polyesteren vil ældes (blive gul), hvis den udsættes for ultraviolet lys. Ydersiden skal derfor beskyttes,
- egenskaberne varierer med mængden af glas,
- god slagstyrke,
- udseende ændres med tiden,
- der sker en stor spredning af lyset, (se fig. 14).

Teflon-folie

- høj transmittans for solstråling,
- høj transmittans for varmestråling,
- meget stor temperaturbestandighed (grænse ca. 275 °C),
- kan kun bruges som indvendig dæklag,
- svært at fæstne og håndtere, har tendens til at kruse,
- kan ikke svejses eller limes,
- stærk tendens til at tiltrække støv,
- stor udvidelseskoefficient.

Tedlar-folie

- Høj transmittans for solstråling,

- høj transmittans for varmestraling,
- holdbarhed 5-10 år,
- kan monteres ved hæfteklammer eller klæbestoffer (lim eller tape),
- vil varmekrympe og derved udspændes,

PVC

- Ridses let,
- kan kun bruges til lavtemperaturformål. Derfor ikke anvendelig som indvendig dæklag,
- kan formes som f.eks. kupler for at modstå vindtryk og sne-lag.

Polycarbonat

- Transmissionskoefficienten nedsættes med årene (omkring 10% på 10 år),
- holdbar 10-15 år,
- ældningsproblem, dog afhængigt af fabrikat,
- sejt og ridses ikke let,
- bruges bl.a. som anti-vandal glas.

Polyester-folie

- kan kun bruges som indvendigt dæklag.

I de fleste solfangere på det danske marked anvendes glas som dæklag. Det er naturligt, da der er meget stor erfaring med brug af glas samtidigt med, at det er billigt, har god transmission for solstråling og ikke ældes. Men brugen af glas giver også nogle begrænsninger. Det er skørt, det går let i stykker under forarbejdning og montage, ligesom det er nødvendigt med en ret stiv kasse til at bære glasset. Tætning mellem glas og kasse er vanskelig, som det beskrives i afsnit

3.5. Glas er desuden tungt, hvilket gør, at solfangermodulerne skal være relativt små for at kunne monteres ved håndkraft.

Plastplader og -folier har den ulempe, at de er dyrere end glas, og at de har en stor termisk udvidelseskoefficient (se tabel 3 s. 22). Under opvarmning vil dæklag af disse materialer synke ned mod absorbereren. I afsnit 5 gives eksempler på, hvordan dette undgås for dæklag af folier. Plastpladernes plasticitet kan udnyttes i en konstruktiv retning. De kan præformes som fig. 11 viser. Den kuplede struktur gør, at dæklaget ikke kolapser ved opvarmning, samtidigt med, at holdbarheden overfor vindtryk og snelag øges. Ved brug af præformede dæklag er det endvidere muligt at lade dæklaget selv være forsegling mellem det selv og kassen (se fig. 12). Da folierne, som før nævnt, er transparente for varmestråling, kan de kun anvendes i forbindelse med absorbere, der har en selektiv overflade. Solfangerens varmetab vil ellers blive for stort.

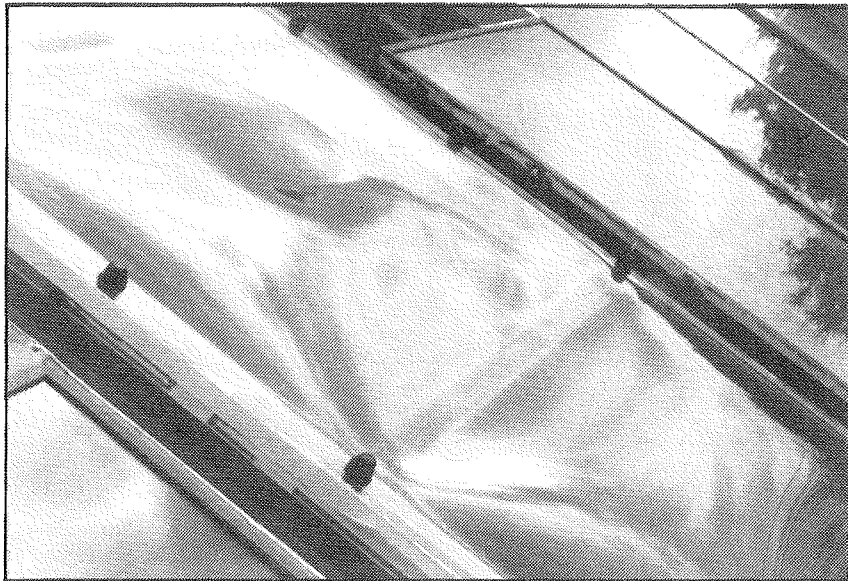


Fig. 11. Præformet acrylplade som dæklag (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

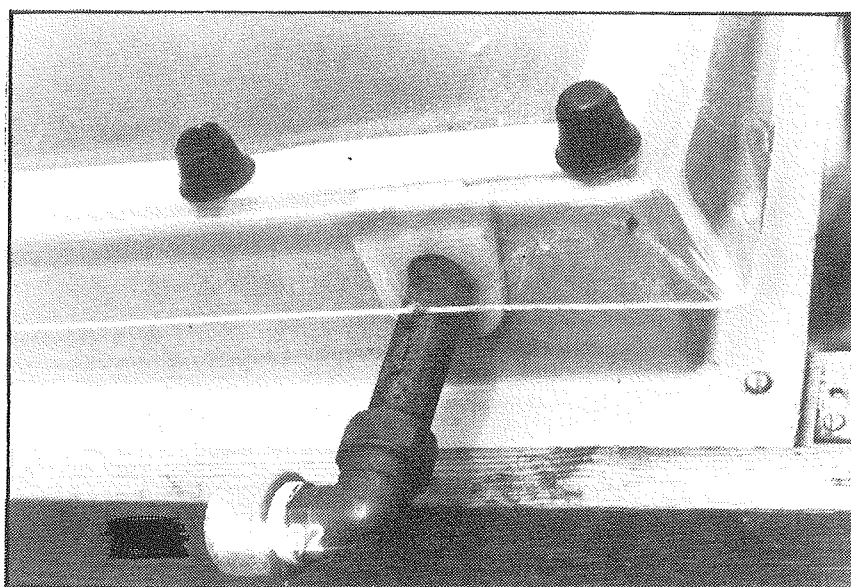


Fig. 12. Præformet acrylplade som kombineret dæklag og forsegling (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

Ved anvendelse af præformede dæklag er det endvidere muligt at montere to dæklag i samme indspænding - se fig. 13.

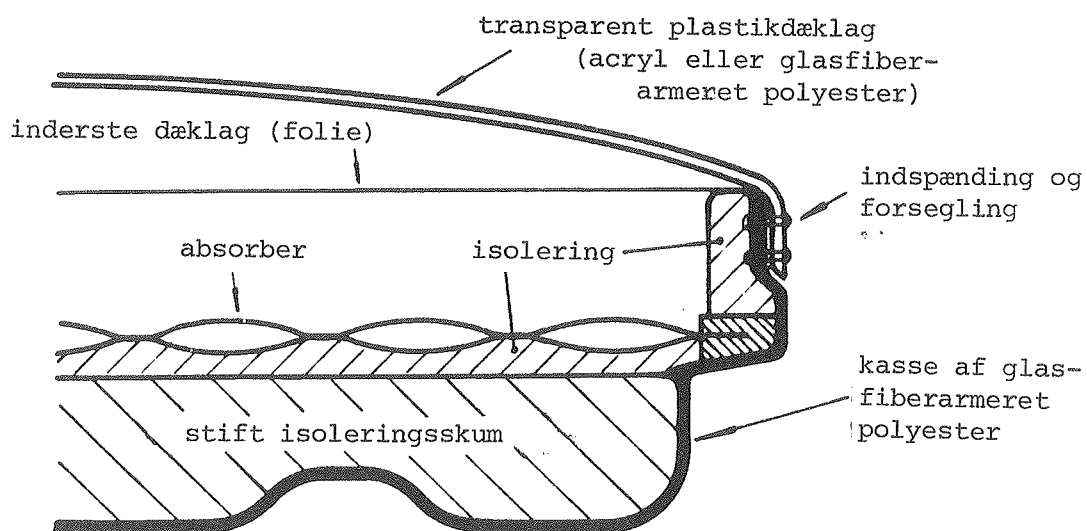


Fig. 13. To dæklag i samme indspænding, hvor det øverste dæklag er en præformet acrylplade (ref. (1), 1985).

En del plastarter degenererer ved udsættelse for solens ultraviolette stråler, ligesom transmissionen kan nedsættes ved ridser og krakeleringer i overfladen. Fig. 14 viser en solfanger med dæklag af glasfiberarmeret polyester. Som det ses, sker der en meget stor spredning af lyset, det er faktisk umuligt at se absorberen.

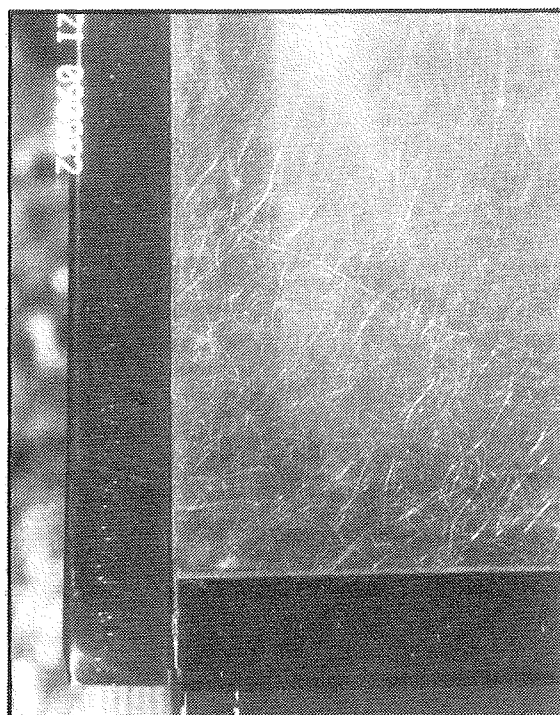


Fig. 14. Solfanger med dæklag af glasfiberarmeret polyester, hvor spredningen af lyset er stor (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

Folier er meget lette, det er derfor muligt at fabrikere store solfangermoduler, der alligevel kan håndteres. Ved for store spændvidder, skal folien dog understøttes, da denne ellers ville synke ned på absorberen ved opvarmning.

Dæklagets virkning for solfangerens effektivitet kan beregnes ud fra formlerne i ref. (3) (Duffie & Beckmann, 1980). På den måde er det muligt, at skabe en ydelsesmæssig vurdering af de enkelte dæklagsløsninger.

3.2.2.1. Spændvidder for dæklaget

Dæklaget bliver udsat for mekaniske belastninger fra vejrliget - vindstød og snelag. Dette skal dæklaget kunne klare, d.v.s. det må ikke have en større spændvidde end at det kan klare belastningen uden at sprænges (glas) eller bøje så meget ned, at det ikke kan komme tilbage til den oprindelige position, når belastningen er væk.

For glas afhænger spændvidden af glassets tykkelse. Fig. 15 viser den krævede tykkelse for forskellige spændvidder.

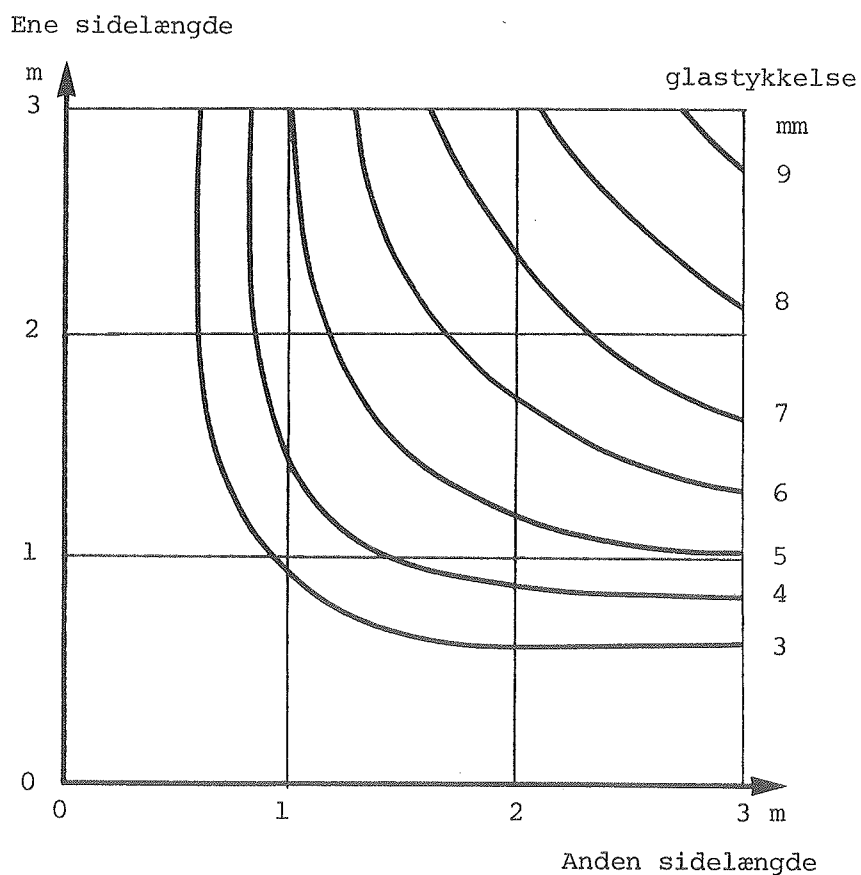


Fig. 15. Glassets tykkelse afhængig af spændvidden. Glastykkelsen er beregnet ved en belastning på 100 kg/m^2 (hvilket svarer nogenlunde til snebelastning på vandret og vindpåvirkning på lodret) (ref.(8), Krægpøth, 1978).

I stedet for at anvende meget tykke plastplader, der kan tåle belastningen, kan der i stedet anvendes tyndere plader, der er formet i et passende antal kupler. Dette øger dæklagets evne til at modstå belastninger, samt forhindre at dæklaget under opvarmning synker ned mod absorberen.

Folier fås normalt i bredder op til 1-1,2 m. D.v.s. spændvidden på den ene led er begrænset. Ved brug af folier skal der sørges for, at folien monteres med en forspænding, enten ved fjedre (se fig. 49-G) eller ved at presse solfangerkassens sider mod hinanden under montagen. På den måde opnås en forspænding af folien, der kan optage den udvidelse af folien, der sker ved høje temperaturer. Alternativt kan der under dæklaget placeres en gitter- eller netkonstruktion, der bærer dæklaget.

Solfangermoduler produceres i dag som regel med dimensioner på max. $1 \times 2 \text{ m}^2$. For større arealer (der markedsføres en solfanger på ca. $2 \times 3 \text{ m}^2$) kræves understøtning, - f.eks. med varmebestandige ikke ledende klodser mellem absorber og dæklag. I tagintegrerede solfangere benyttes som regel en bredde på max. 1 m.

3.2.2.2. Ødelæggelse af dæklaget

Dæklaget (glasset) kan ødelægges ved brug af forkert forsegling. Fig. 16 viser en sådan situation.

Glas i solfangere kan dels knække som følge af slag, stød og hærverk, dels som følge af de mekaniske spændinger, der opstår under opvarmning.

Mekaniske spændinger opstår, når glasset ikke kan ekspandere frit ved opvarmning. Enten fordi fastspændingen er forkert som fig. 16 viser, eller fordi der ikke er plads nok langs kanten af glasset og kassen til at optage denne ekspansion. Fastspændingsgraden afhænger af den valgte tætningsmåde (hårdheden af f.eks. gummilisterne). Den nødvendige afstand

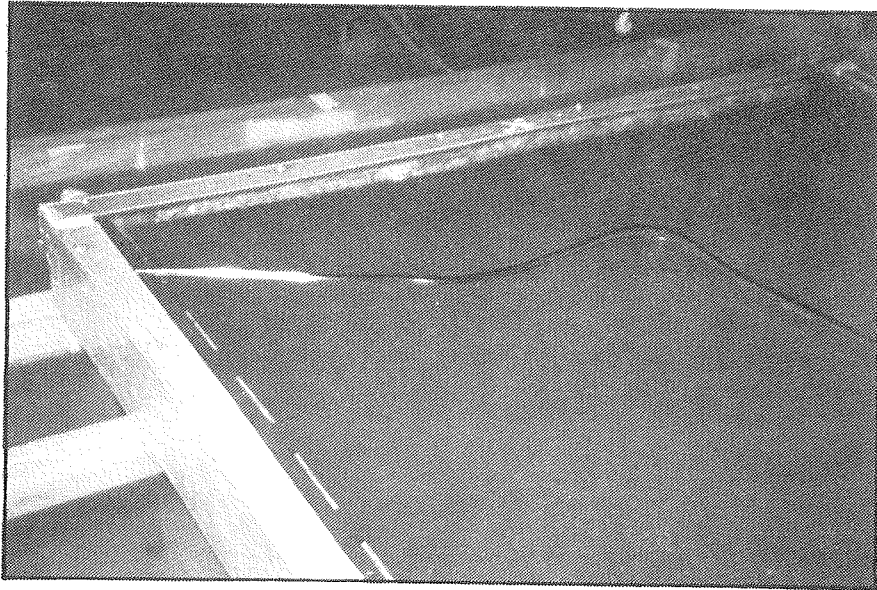


Fig. 16 Knækket glas sandsynligvis på grund af for hård og eller uensartet fastspænding (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen 1983).

mellem glaskant og kasse kan beregnes ud fra glassets udvidelseskoefficient, når glasarealet og dets maximale temperaturniveau kendes. Normalt er nogle få millimeter tilstrækkelig.

Også andre mekaniske spændinger kan opstå under opvarmning af solfangeren. Her bliver midten af glasset varmere end kanten. Hvis kanten af glasset ikke er isoleret fra glaslisten og kassen, vil glaskanten yderligere blive afkølet. Dette kan medføre brud på glasset. Derfor er en isolering nødvendig, f.eks. med gummilister.

Det har været forsøgt at anvende termoglas i solfangere med to dæklag. På den måde kunne man undgå dug mellem glassene. Men de to dæklag bliver opvarmet til forskellige temperaturniveauer. Da de samtidigt er fast indspændte i forhold til hinanden, vil deres forskellige ekspansion næsten uvægerlig føre til brud - som regel på det inderste glas.

Dæklag af plast kan ødelægges ved, at dæklaget på grund af varmepåvirkningen fra absorberen synker ned på denne og ødelægges. Dæklag af plastplader er mindre følsomme for slag, stød og hærværk end glas. Mens dæklag af folier er meget følsomme over for slag, stød og hærværk, og kan desuden revne som følge af kærvdannelse i folien.

3.2.2.3. Snavs på dæklaget

For at bevare dæklagets høje transmittans, er det nødvendigt at holde dette fri for støv og snavs. Regnen vil for en stor dels vedkommende kunne vaske dette væk. Den nederste forsegling mellem dæklaget og kassen vil dog kunne opsamle en del snavs, og derved mindske transmittansen gennem den nederste del af dæklaget. Metoder til at undgå dette diskuteres i afsnit 3.5.

Under drift af solfangeren vil udgasningsprodukter fra f.eks. isoleringen kunne sætte sig på dæklagets inderside og dermed mindske transmissionen. Undgåelse af dette diskuteres i næste afsnit.

3.3. Isoleringen

Varmetabet fra en solfanger sker ikke kun ud gennem dæklaget. Der er også et varmetab gennem kanten og bagsiden af solfangeren. Disse skal derfor isoleres. En tommelfingerregel er, at disse to tab kun må være 20% af varmetabet ud gennem dæklaget i en solfanger med ét dæklag og selektiv belægning på absorberen. Det svarer til en tykkelse af bagsideisoleringen på 50 mm og 20-30 mm kantisolering.

Ud over den isolerende funktion har isoleringen ofte også andre formål. Ofte er det isoleringen, der bærer absorberen, isoleringen skal derfor kunne bære den nødvendige vægt. I nyere konstruktionsideer kan isoleringen udgøre det afstivende

element i solfangeren - det har overtaget kassens rolle. Dette gives der eksempler på i afsnit 5.

Kuldebroer giver store varmetab. Hvis isoleringen er konstrueret til at bære absorberen, kan den slags kuldebroer helt undgås. De kuldebroer, man skal være opmærksom på, er direkte termisk forbindelse mellem den varme absorber og den kolde kasse, samt rørgennemføringer gennem kassen (f.eks. absorberens manifold), - se fig. 17.

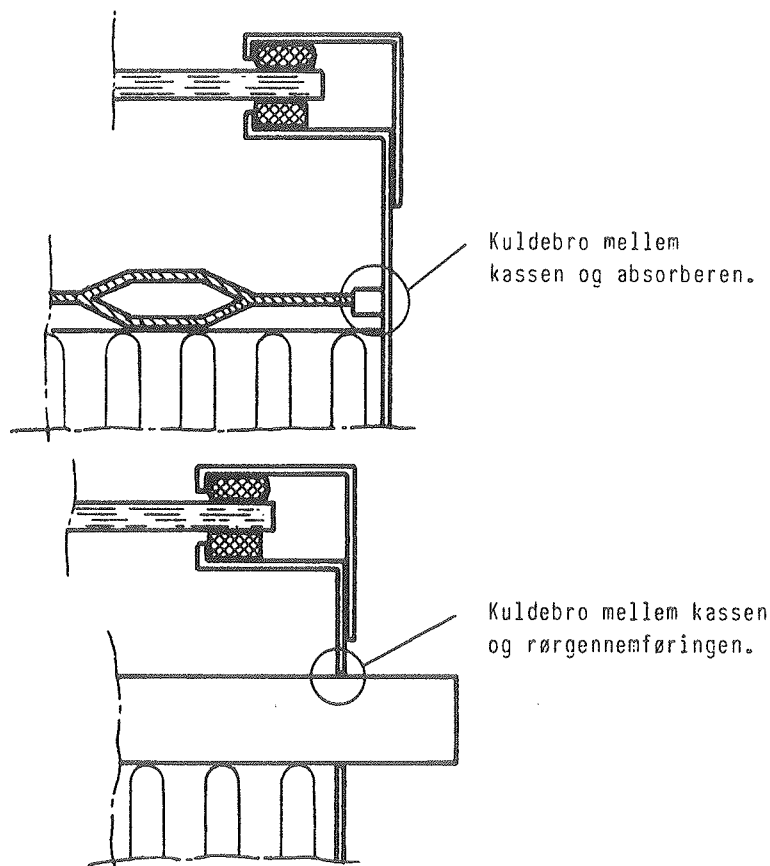


Fig. 17. Eksempler på kuldebroer mellem absorber og kasse (ref. (9), Ladekarl, Skøtt og Johnsen, 1984).

3.3.1. Isoleringstyper

I tabel 3. s. 22 angives cirka værdier for varmeledningsevnen for forskellige materialer, - bl.a. isoleringsmaterialer. I tabellerne 12-15 er angivet eksempler på priserne for de i dag hyppigst anvendte isoleringsmaterialer.

Type	Pris 1 kr/m ³	Pris 2 kr/m ³
A-batt	240	180
A-rullebatt	240	180
A-pladebatt 10	470	350
A-pladebatt 20	520	400
A-pladebatt 30	1020	760
A-tagplade GF 2000	1190	890
Facadebatt 1	980	740
Facadebatt natur	1070	800

Tabel 12. Eksempler på priser for Rockwool (ref. (2), Møllgaard, 1984)

Pris 1: Detailpris for mindre mængder,
Pris 2: Pris ved køb af mere end 100 m³

Type	Pris 1 kr/m ³	Pris 2 kr/m ³
Hård plade 1702*	535	445
Hård plade 1602**	490	405
Rullefilt 7014	225	180
Lamel tagplade	950	810

Tabel 13. Eksempler på priser for glasuld (ref. (2), Møllgaard, 1984).

x kan sammenlignes med mineraluld A-batt 10,
xx kan sammenlignes med mineraluld A-batt 5.
Pris 1: Detailpris i mindre mængder,
Pris 2: Pris ved køb af mere end 100 m³

Densitet kg/m ³	Pris 1 kr/m ³	Pris 2 kr/m ³
20	300	220
40	750	560

Tabel 14. Eksempler på priser for polystyrenskumplader (ref. (2), Møllgaard, 1984).
 Pris 1: Detailpris for mindre mængder,
 Pris 2: Pris ved køb af mere end 100 m³.

Densitet Kg/m	Pris 1 kr/m ³	Pris 2 kr/m ³	Pris 3 kr/m ³
30	1200	510	460
60	2400	1020	920

Tabel 15. Eksempler på priser for polyurethanskumplader (ref. (2), Møllgaard, 1984).
 Pris 1: Detailpris for mindre mængder,
 Pris 2: Pris ved køb af over 200 l (1 tønde),
 Pris 3: Pris ved køb af mindst 10 tønder.

3.3.2. Problemer

Skumisolering anvendes i solfangere, fordi polystyrenskumplader er billige. Polyurethanskum skummes op på stedet (i solfangeren), og kan således medvirke til at stabilisere kassen, eller være selve kassen.

Desværre har disse isoleringsmaterialer nogle uheldige egenskaber ved benyttelse i solfangere. De degenererer - smelter og udgasser - ved lavere temperaturer end mange solfangere opnår ved stagnation. De har desuden en større udvidelseskoefficient end de fleste andre materialer, der anvendes i solfangere (se tabel 3 s. 22).

Degenerationen af isoleringsskummet betyder dels mindsket isoleringsevne, dels kan udgasningsprodukterne volde problemer. Udgasningsprodukterne kondenseres på solfangerens koldeste del - dæklaget (se fig. 18).

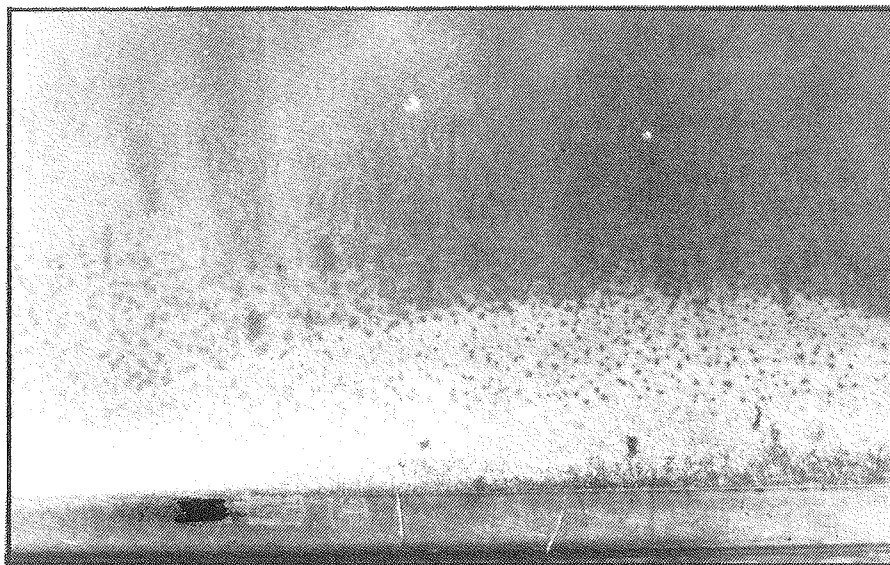


Fig. 18. Kraftigt lag af udgasningsprodukter på dæklaget (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

Udgasningsprodukter på glaslaget betyder mindsket transmittans og dermed mindsket effektivitet for solfangeren. Udgasningsprodukterne kan desuden angribe dæklaget - selv hvis dette er glas.

Mineral- og glasuld med organiske bindemidler kan også give udgasningsproblemer. Dette har dog ikke vist sig alvorligt.

Skumisolering degenererer ved direkte solpåvirkning. Disse materialer bør derfor afskærmes for sollyset, når de f.eks. anvendes som kantisolering.

Ved høje temperaturer ekspanderer isoleringsskum normalt kraftigere end det materiale kassen er lavet af. Hvis skummet ydermere indgår som stabilisering af kassen (ligger helt tæt

til denne), vil isoleringen enten bule ud bagpå eller sprænge kassen. Fig. 19 viser hvordan isoleringsskum er bulet ud og er stærkt forkullet efter at solfangeren har været udsat for stagnation.

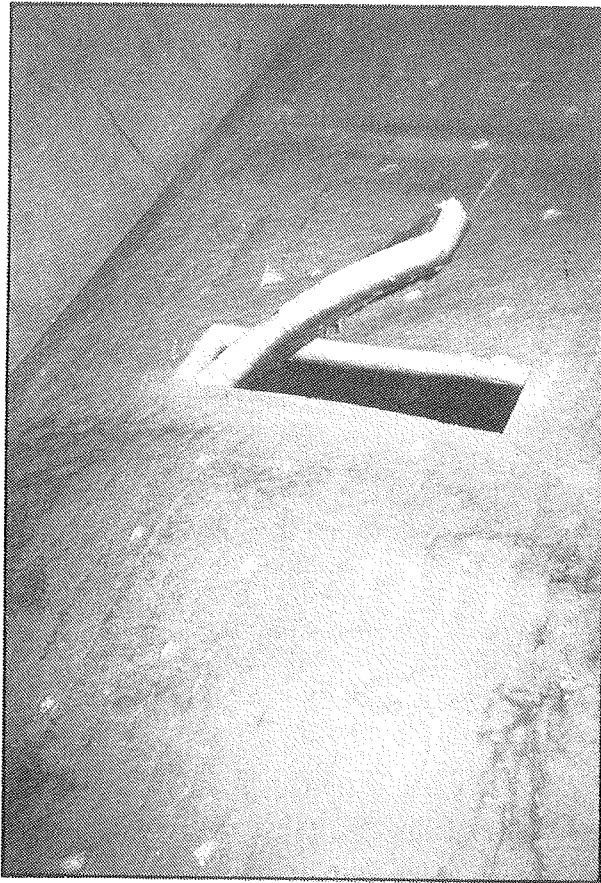


Fig. 19. Skumisolering der er bulet ud og stærkt forkullet efter at have været udsat for stagnationstemperaturen (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

Isoleringsskum duer altså ikke til solfangere - eller hvad? De duer ikke til at være i kontakt med varme flader - her absorberen, så dette må undgås. Hvordan det kan undgås viser fig. 20 og 21 eksempler på. I solfangeren på fig. 20 er der anbragt et isoleringsmateriale, der kan tåle stagnationstemperaturen, mellem skum og absorber. På fig 21 er vist en solfanger med en luftspalte mellem skum og absorber. For at hindre at strålevarmen fra absorberen skal ødelægge isoleringen,

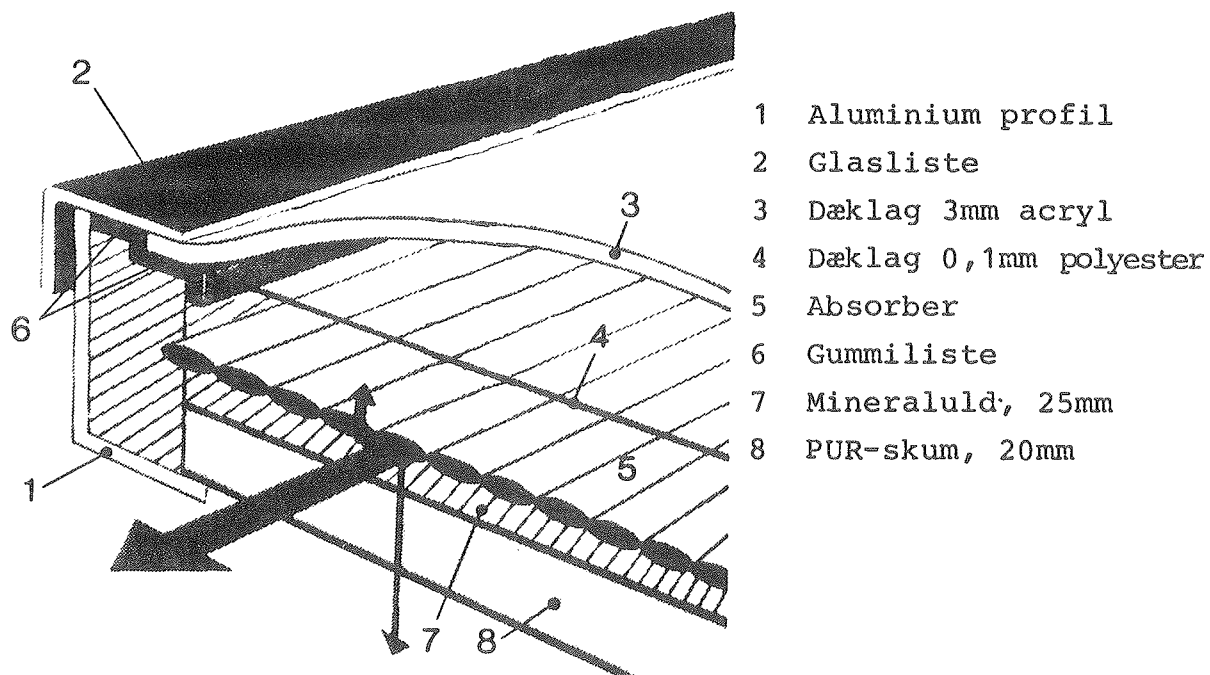


Fig. 20. Solfanger med varmebestandigt mineraluld mellem absorber og skumisolerung (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

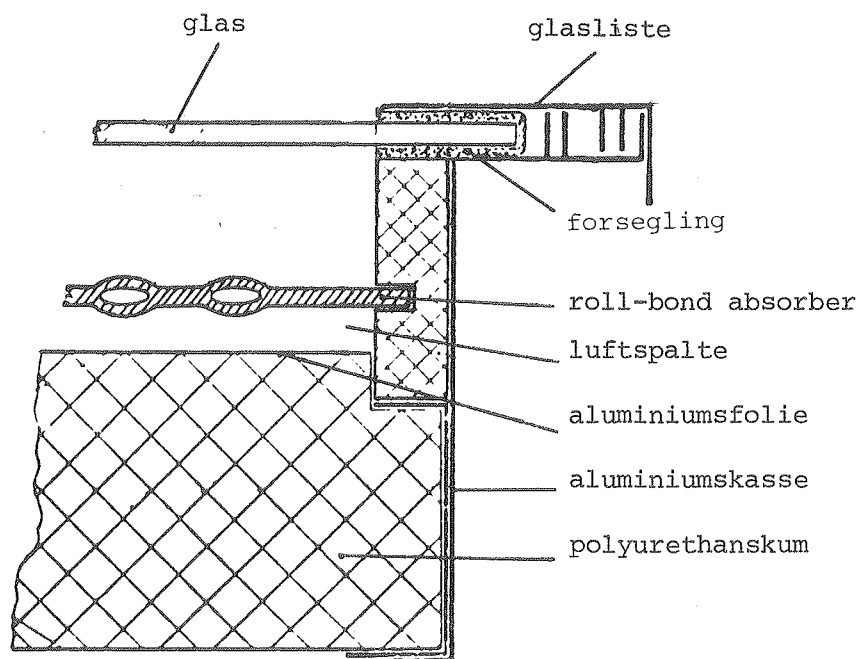


Fig. 21. Solfanger med luftspalte og aluminiumsfolie mellem absorber og skumisolerung (ref.(10)).

er der anbragt en reflekterende aluminiumsfolie oven på skumisoleringen. Isoleringsskum kan også anvendes i lavtemperatursolfangeren, hvor stagnationstemperaturen ikke er så høj, at isoleringsskummet degenereres. Om udgasning fra skummet her vil være et problem, må undersøges i de konkrete tilfælde.

Isoleringsmaterialets holdbarhed afhænger også af andre forhold end temperaturniveauet, her kan nævnes vand, fugt, mug, insekter osv. Vand og fugt i isolering skyldes enten regnindtrængning eller dårlig ventilation af solfanger - eller begge ting på en gang. Vand og fugt i solfangeren kan føre til korrosion på absorberen og kasse samt mugangreb. Regnindtrængning og ventilation behandles i de næste to afsnit, ligesom forhindring af insektangreb.

Ved montering af kantisolering skal det sikres, at vedhæftningen er i orden. Isoleringen ved den kant, der vender opad, vil ellers let kunne skride ud med større varmetab og dækning af en del af absorberen til følge.

3.3.3. Bagbeklædning

Bagbeklædningens funktion er at holde styr på "løs" isolering, stabilisere kassen, hindre vandindtrængning og hindre beskadigelse af isoleringen ved transport og montage. Bagbeklædningen kan bestå af alt fra aluminiumsplader over masonitplader til folier.

Det har vist sig at i konstruktioner, hvor isoleringen er det bærende element, er bagbeklædningen ikke altid nødvendig (se afsnit 5).

3.4. Kassen

Kassens formål er dels at beskytte solfangeren mod ydre påvirkninger f.eks. vejrliget, dels at holde sammen på solfangeren bl.a. bære dæklaget.

I solfangere, hvor isoleringen er det bærende element, og folier benyttes som dæklag, er det muligt at reducere kassen til den første funktion - beskyttelsen, eller helt at undvære den. Dette bliver nærmere gennemgået i afsnit 5.

3.4.1. Materialer

I tabellerne 16-20 er angivet eksempler på priser for metalplader, brædder, finer-, spån- og plastikplader.

Pladetype	Tykkelse mm	Pris 1 kr/kg	Pris 2 kr/kg	Pris 3 kr/m ²
Kobber	0.5	44	29	128
Kobber	0.7	42	28	172
Kobber	1.0	41	27	237
Aluminium	0.5	43	28	37
Aluminium	0.75	41	27	54
Aluminium	1.0	40	26	70
Rustfrit stål	0.7	33	20	110
Rustfrit stål	1.0	29	18	126
Jern	0.5	5.2	5.0	20
Jern	0.75	5.0	4.8	28
Jern	1.0	4.9	4.7	37
Jern galvaniseret	0.5	6.4	6.1	24
Jern galvaniseret	0.75	5.8	5.5	32
Jern galvaniseret	1.0	5.6	5.3	42

Tabel 16. Eksempler på priser på metalplader. Prisen på ekstruderede aluminiumsprofiler er ikke væsentligt højere end de her angivne priser for aluminiumsplader (ref. (2), Møllgaard, 1984).

Pris 1: Detailpris for mindre mængde,

Pris 2: Pris ved køb af mindst 1 ton,

Pris 3: Pris 2 omregnet til kvadratmeterpris.

Trætype	Mål mm x mm	Pris 1 kr/m	Pris 2 kr/m	Pris 3 kr/m	Pris 4 kr/m
Brædder og planker	19x100	7.80	5.60	3.40	
Brædder og planker	25x100	10.00	7.25	4.50	
Brædder og planker	50x100	17.25	13.60		
Brædder og planker	75x150	38.80	30.65		
Trykimprægneret	25x100		8.50	5.75	
Trykimprægneret	50x100			13.00	
Tømmer	50x100				8.45
Tømmer	75x100				18.95
Tømmer	100x200				36.95
Støbebrædder	32x125				7.40

Tabel 17. Eksempler på priser for brædder, alle priser er detailpris for mindre mængder (ref. (2), Møllgaard, 1984).

Pris 1: 1. Kvalitet,
Pris 2: 2. Kvalitet,
Pris 3: 3. Kvalitet,
Pris 4: Uklassificeret.

Aluminium

- god bestandighed over for vejrliget,
- korroderer let i forbindelse med kobber eller stål sammen med vand,
- let og stærkt som profiler,
- mange legeringer med et vidt spekter af egenskaber.

Rustfrit stål

- der eksisterer mange typer. Det bør undersøges før anvendelse, hvilke der kan klare vejrliget,
- områder nær svejdesømme kan kræve ekstra korrosionsbeskyttelse.

Pladetype	Tykkelse mm	Pris 1 kr/m ²	Pris 2 kr/m ²
Alm. spånplade	8	23	16
Alm. spånplade	10	24	17
Alm. spånplade	19	37	26
Vandfast spånplade	10	41	29
Vandfast spånplade	19	63	44
Krydsfinérplade	6	41	29
Krydsfinérplade	9	52	36
Krydsfinérplade	19	86	60
Træfiberplade	3.5	12	9

Tabel 18. Eksempler for priser på spån-, krydsfinér- og træfiberplader (ref. (2), Møllgaard, 1984).

Pris 1: Detailpris for mindre mængder.

Pris 2: Pris ved køb af over 50 plader.

Galvaniseret jern og stål

- skal beskyttes mod kontakt med kobberkomponenter og vand, der drypper fra kobberkomponenter,
- fittings, huller, bolte, svejdesømme, osv. skal beskyttes mod korrosion med maling eller lignende,
- levetiden for galvaniseret jern og stål afhænger af området, hvor det er placeret. I industrielle områder og nær havet kan levetiden være kort.

Plast

- Plasten skal være beskyttet mod solens ultraviolette stråling,
- plast kan produceres i alle mulige faconer, således at den ønskede form og styrke opnås, - se f.eks. fig. 22.

Pladetype	Tykkelse mm	Pris 1 kr/m ²	Pris 2 kr/m ²	Pris 3 kr/kg
PE ekstruderet HD	1	26	21	23
PE ekstruderet HD	2	51	41	22
PE ekstruderet HD	4	102	82	22
PP ekstruderet	1	24	19	21
PP ekstruderet	2	46	37	20
PP ekstruderet	4	94	75	20
ABS ekstruderet	2	71	60	27
ABS ekstruderet	3	106	90	27
ABS ekstruderet	4	141	120	27
PVC ekstruderet	1	41	33	24
PVC ekstruderet	2	78	62	22
PVC ekstruderet	4	157	126	23
PVC UV-stabiliseret	1	47	38	28
PVC UV-stabiliseret	2	88	70	25
PVC UV-stabiliseret	4	177	141	26

Tabel 19. Eksempler på priser for plastplader: Polyethylen (PE), polypropylen (PP), ABS (et blandingspolymerisat) og PVC (ref. (2), Møllgaard, 1984).

Pris 1: Detailpris for mindre mængder.

Pris 2: Pris ved køb af mere end 500 kg,

Pris 3: Pris 2 omsat til kg-pris

Træ

- skal beskyttes mod høje temperaturer, der vil reducere dets styrke og tørre det ud,
- både ubehandlet og behandlet træ afgiver udgasningsprodukter, der ikke må nå dæklaget,
- kræver vedligeholdelse af overflader mod vejrliget, da det ellers let nedbrydes - rådner.

Pladetype	Tykkelse mm	Pris 1 kr/m ²	Pris 2 kr/m ²	Pris 3 kr/kg
PS ekstruderet	1	33	27	26
PS ekstruderet	2	66	53	25
PS ekstruderet	4	132	105	25
PA ekstruderet	1	111	83	73
PA ekstruderet	2	220	165	73
PA ekstruderet	4	442	332	73
POM ekstruderet	1	130	96	68
POM ekstruderet	2	260	195	68
POM ekstruderet	4	520	390	68
GRP	1	91	74	51
GRP	2	125	101	34

Tabel 20. Eksempler på priser for plastplader: Polystyren (PS), polyamid eller nylon (PA), polyacetat (POM) og glasfiberarmeret polyester (GRP), (ref. (2), Møllgaard, 1984).

Pris 1: Detailpris for mindre mængder,
Pris 2: Pris ved køb for mere end 3000 kr,
Pris 3: Pris 2 omregnet til kg-pris.

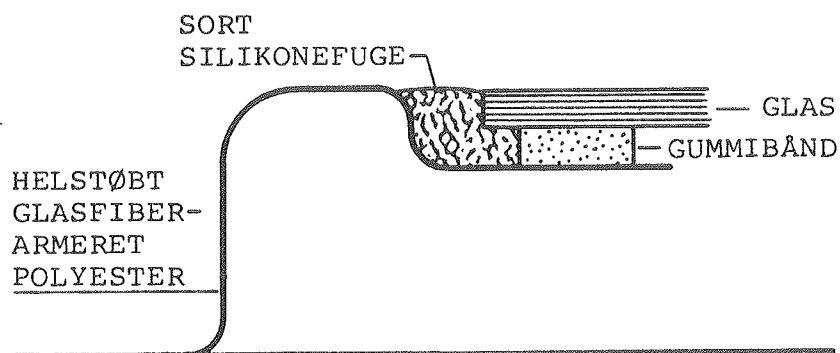


Fig. 22. Kasse formet i glasfiberarmeret polyester (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

Da kassen skal beskytte isoleringen mod vejrliget, er det nødvendigt, at den hindrer vandindtrængning. Samlingerne skal derfor være tætte.

Ved brug af metaller til konstruktion af kassen, er det nødvendigt at hindre korrosion. Forskellige metaller skal således være isoleret elektrisk fra hinanden. Og der må ikke være mulighed for, at der kan opstå vandlommer, der øger korrosion betydeligt.

3.4.2. Kondens i solfangeren

Kondens i solfangeren kan opstå på tre måder. Ved direkte vandindtrængning; hvilket diskuteres i næste afsnit (afsnit 3.5). Ved fugtindtrængning under solfangerens drift: En solfanger kan ikke gøres helt tæt. Ventilationen (skorstenseffekten - se senere) af solfangeren vil trække fugtig luft ind i solfangeren udefra. Denne fugt vil kondenseres på solfangerens koldeste flade - dæklaget, når solfangeren om eftermiddagen og natten afkøles. Vindstød på dæklag vil også kunne pumpe fugt ind i solfangeren. Den tredje årsag til kondens er, at materialerne i solfangeren fra starten har indeholdt fugt.

Fugten i solfangeren kondenseres ved afkøling på dæklaget. Dette gør ikke noget så længe, der ikke er mere end der kan optages i luften ved den efterfølgende opvarmning. Og at det ikke drypper ned på absorberpladen. Fig. 23 viser en så kraftig kondensdannelse på dæklaget, at vand er begyndt at løbe. Fig. 24 viser en absorber, der har været udsat for dryp fra dæklaget.

For kraftig kondensdannelse kan undgås ved at ventilere solfangeren passende, således at fugtighedsgraden kun når et rimeligt niveau. Denne ventilation skabes bedst ved at udnytte skorstenseffekten som fig. 25 viser. Ved opvarmning mindskes luftens massefylde, den vil derfor søge opad (naturlig konvektion). Denne kraft kan udnyttes til at ventilere solfangeren.

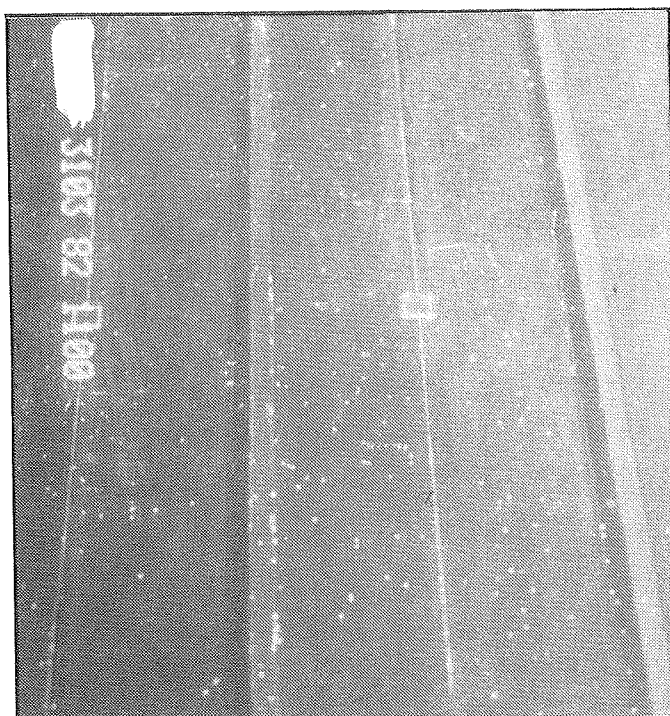


Fig. 23 Kraftig kondens på dæklagets inderside. Så kraftigt at det er begyndt at løbe (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).



Fig. 24 Korrosionspletter på absorber som følge af for stor kondensdannelse (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

Der skal altså placeres huller foroven og forneden på solfangeren, dog på en sådan måde, at vand ikke kan trænge ind. Der skal samtidigt sørges for, at fugten ikke kondenserer før den forlader solfangeren. D.v.s. ventilationshullerne må ikke være "kolde". Ventilationen øger solfangerens varmetab lidt, - et luftskifte på 10 pr. time vil dog kun øge varmetabet med 1% (ref. (11), Francesco Aleo, 1984). Desværre findes der ikke regler for ventilationsgraden i en solfanger. Så man må prøve sig frem, således at der opnås et sådant miljø i solfangeren, at absorberen ikke korroderer (se s. 26). Som tommelfingerregel kan dog benyttes et luftskifte på 2 pr. time.

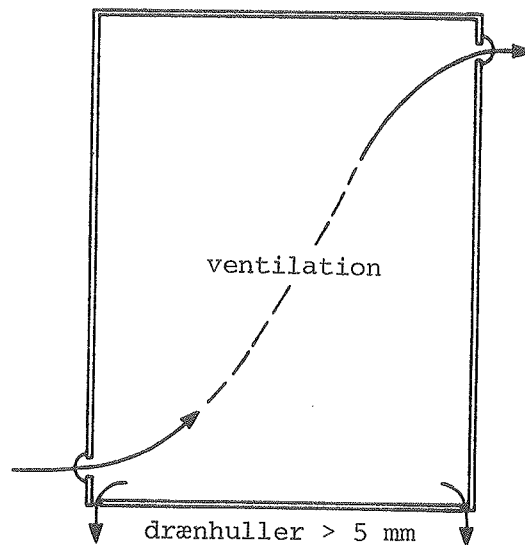


Fig. 25 Solfangeren er ventileret ved hjælp af skorstenseffekten (ref. (1), 1985).

Problemerne med kondens i solfangere minimeres (forsvinder), hvis solfangeren er regntæt (dette beskrives i afsnit 3.5). Hvis solfangeren er regntæt, er den mængde fugt, der kan trænge ind i solfangeren så minimal, at den ikke vil give anledning til de gener, der er beskrevet i det foregående.

Skulle det ske at regntætheden forsvinder, er det nødvendigt at have drænhuller i bunden af solfangeren (se fig. 25), således at vandet ikke ophobes, men frit kan løbe ud.

Gennem ventilations- og drænhullerne er det muligt for insekter at komme ind og ødelægge f.eks. isoleringen. Dette kan undgås ved at sætte plastikpropper med mange små huller i ventilationshullerne, eller ved at anvende fintmasket fluenet. Insektangreb er dog kun sjældent et problem.

3.4.3. Rørgennemføringer

Rørgennemføringerne skal være regntætte og fleksible. Flexibiliteten er især vigtig, hvor den termiske udvidelseskoefficient for absorber og kasse ligger langt fra hinanden. Desuden udsættes absorberen for større temperatursvingninger end kassen. Rørgennemføringen skal desuden isolere røret fra kassen for at mindske kuldebrovirkningen. Som rørgennemføring kan f.eks. anvendes en gummimanchet.

3.5. Forseglingen

Formålet med en forsegling mellem kassen og dæklaget er at hindre vand i at trænge ind i solfangeren. Dette er solfangerens svageste punkt. Mange ellers gode konstruktioner er strandet på dette punkt. De fleste andre problemer med solfangere er ofte lette at løse, men ved forseglingen vil der altid være en risiko for, at den ikke holder.

Hvorfor er det så svært at lave en god forsegling? Det skyldes, at en næsten hermetisk tæt forsegling skal foretages mellem vidt forskellige materialer. Som tabel 3 viser, er der forskel på udvidelseskoefficienterne for dæklag og kassemateriale. Denne forskel øges yderligere af, at temperaturniveauerne under drift er forskellige. Desuden har materialerne vidt forskellige overfladebeskaffenheder. Hvad der duer som forsegling mod dæklaget, duer måske ikke som forsegling mod kantlistten. I det følgende vil nogle af de observerede fejl, deres konsekvenser og løsninger blive beskrevet.

3.5.1. Opsamling af vand og snavs

Nogle solfangeres kasse eller kantlister har været konstrueret sådan, at vand og snavs kan ophobe sig. Dette skete specielt ved bunden af solfangeren og langs vandrette sprosser hen over dæklaget. Fig. 26 viser et grelt eksempel på dette. Ved denne solfanger kan der ophobe sig store mængder vand og snavs, idet dette ikke kan løbe af fornedden på solfangeren, hvis dette profil anvendes i bunden af solfangeren.

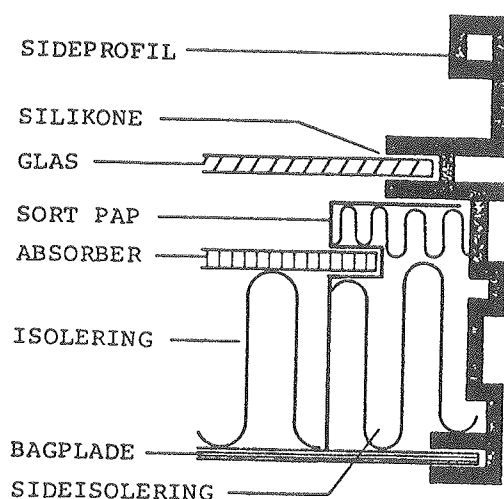


Fig. 26 Sideprofil (kombineret kasse og kantliste) hvor der kan opsamle sig store mængder vand og snavs. (ref.(7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

Opsamling af vand og snavs langs kantlisten kan få flere konsekvenser. Hvis tætningen mellem dæklaget og kantlisten svigter, vil der løbe vand ind i solfangeren. Dette vil mindske isoleringens isoleringsevne og værre endnu skabe et miljø i solfangeren, der bevirker at absorberen hurtigt korroderer se f.eks. - fig. 27.

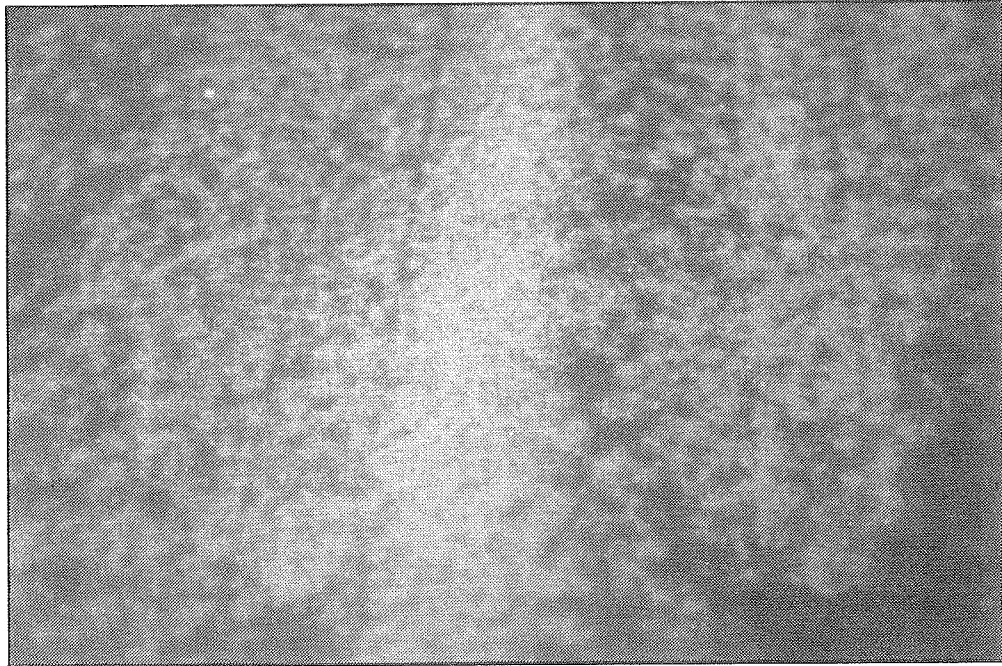


Fig. 27 Absorber fra solfanger hvor regntætheden er gået sig en tur (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

Opsamling af vand enten i pytter eller opsuget i snavs vil virke korroderende på kantlisten (hvis den er af metal). Denne korrosion vil foregå hastigere, hvis kantlisterne er i elektrisk kontakt med mere ædle materialer. Opsamlet vand eller indtrængende vand vil desuden kunne medføre frostska-der.

Problemet med opsamlet vand løses simplest ved, at vandet uhindret kan løbe af solfangeren f.eks. ved at undvære en kantliste i bunden af solfangeren som fig. 28 viser, hvor dæklaget simpelthen går ud over kassens nederste side, og derved danner en drypnæse.

Hvis man ved denne løsning mener, at der er fare for, at glasset vil skride ned, kan man anbringe et par små stopklodser, som glasset støtter på. Eller ved som fig. 28 viser, at lade kantlisten fortsætte lodret ned.

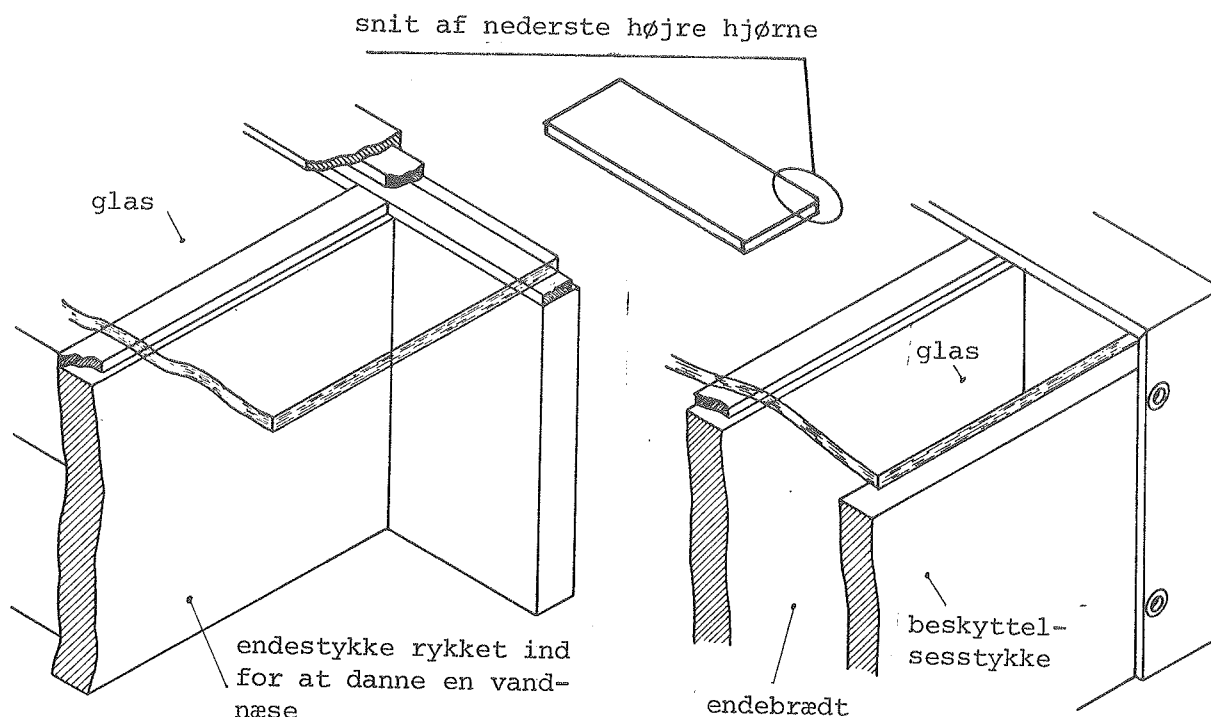


Fig. 28. Tegningen viser en solfanger, hvor vandet frit kan løbe af (ref. (9), Ladekarl, Skøtt og Nielsen, 1984).

3.5.2. Tætningsproblemer

De fleste problemer ved forsegling knytter sig til dette område. Enten har tætningen fra starten været dårlig - utæt, eller også er den hurtigt blevet ødelagt. Her vil der blive givet nogle eksempler.

Den hyppigste årsag til utætheder i forseglingen er anvendelsen af forkerte materialer. Ofte er der anvendt tætningsløsninger, som er gode i vindueskonstruktioner, men som især på grund af det højere temperaturniveau er uanvendelige i solfangerkonstruktioner. Her tænkes specielt på at mange tætningsmaterialer krymper, når de bliver udsat for højere temperaturer, end der forekommer udendørs. Desuden degenererer mange af dem ved disse høje temperaturer og ved udsættelse for solens

stråler. I starten (ved 1. generationsanlæggene) var det meget populært at anvende U-profilgummilister, idet de udgjorde tætning over og under glasset på én gang. I hjørnerne skulle der bare skæres en trekant ud og derefter bukkes rundt om hjørnet. Men her blev der ikke taget hensyn til gummiets krympning. I løbet af kort tid åbnede hjørnerne sig på grund af denne krympning. Dette er specielt katastrofalt i solfangeren, der har en kantliste nederst. I de to nederste hjørner vil vandet næsten uhindret kunne løbe ind i solfangeren. Dette blev forsøgt løst ved at lade gummilisterne lappe ind over hinanden i hjørnerne - så var der noget at give af. Men det er lige så slemt, idet tætningen her bliver dobbelt så tyk, hvorved det bliver umuligt ved hjælp af kantlisten at komprimere tætningslisterne, der støder op til hjørnet, tætte.

Før løsningen på ovenstående bliver diskuteret, vil en anden problemstilling blive belyst. Tætningslisterne fungerer kun, når de bliver komprimeret. På fig. 29-31 er vist tre eksempler på, at den nødvendige kompression er mislykkedes.

Når kompressionen mislykkes kan vand sive ind i solfangeren. Da der heller ikke er noget til at holde på tætningslisterne, kan de glide ud (se fig. 32), vandet får herefter uhindret adgang til solfangeren.

Ofte har man forsøgt at forbedre regntætheden ved yderligere at lægge et lag siliconefugemasse langs kantlisten. Dette er en udmærket løsning, hvis man har valgt den rette silicone (der findes en del), og hvis overfladen, siliconen skal klæbe til, er forbehandlet rigtigt. Der findes mange eksempler på, at vedhæftningen mindskes eller ophører efter nogle få år.

Ovenstående virker ret deprimerende, men det er faktisk muligt at lave solfangere regntætte.

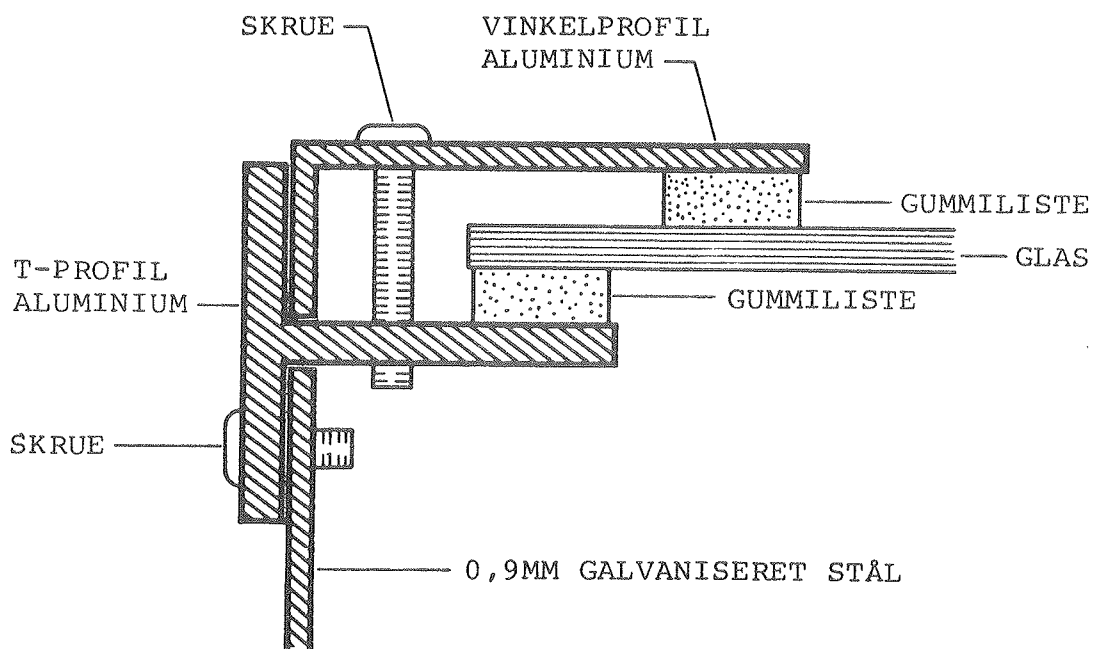


Fig. 29. Tætningsløsning hvor tætningslisterne ikke bliver komprimeret på begge sider (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

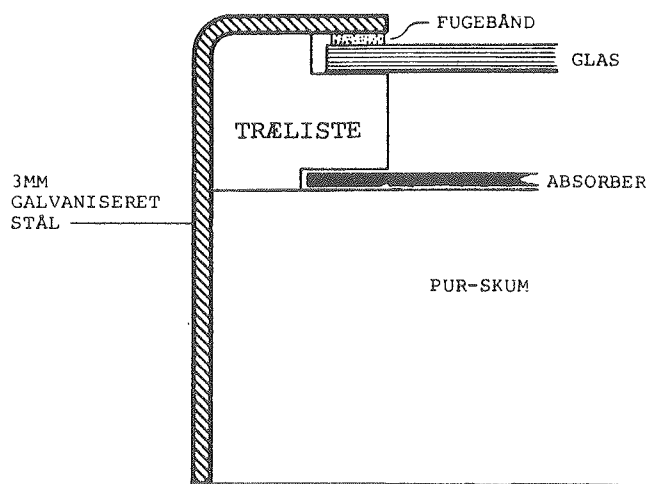


Fig. 30. Tætningsløsning hvor isoleringen bærer tætningslisterne. Kompressionen vil forsvinde, hvis isoleringskummet krymper (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

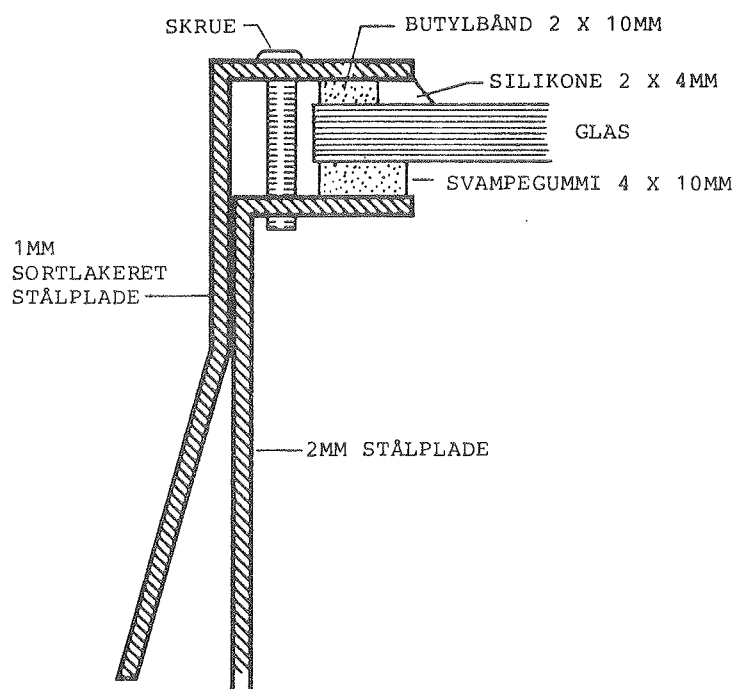


Fig. 31. Tætningsløsning hvor kantlisten er af så tynd plade, at den ikke kan opretholde den nødvendige kompression (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).



Fig. 32. Solfanger hvor tætningslisten er gledet ud på grund af ringe komprimering (ref. (7), Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

Ref (6) (Hansen, Madsen og Mikkelsen, 1980) foreslår tre forseglingsløsninger - fig. 33. Her kan også findes en uddybende forklaring på metoderne. Ved den første løsning er anvendt 2 tætningslister af cellegummi og en topforsegling med silikone fugemasse. Selvom tætningslisten er selvklæbende er det nødvendigt yderligere at anvende kontaktlim, eller hæfteklammer på en trækasse. Silikonefugemassen hæfter normalt dårligt på galvaniserede overflader og ofte også dårligt på aluminium. Det er derfor vigtigt nøje at udvælge den rette silikone og nøje at følge den angivne forbehandling af overfladerne.

Ved den anden tætning er der et armeret butylbånd foroven og et massivt gummibånd forneden med en hårdhed på mindst 60. Problemet ved denne løsning er, at gummibåndet skal placeres på et helt plant underlag for at få god kontakt med glasset. Butylbånd giver en god tætning, da den klæber sig fast til overfladen - hvis denne er rengjort korrekt. Ved udskiftning af glasset vil det ofte være lettest også at udskifte kantlisten, da det er svært at fjerne resterne fra butylbåndet.

I det tredje forslag er butylbåndet anbragt under glasset, mens en tætningsliste af cellegummi er anbragt foroven sammen med en topforsegling med silikone. Denne løsning giver nok den bedste tætning, idet glassets vægt sørger for god kontakt til butylbåndet. Påvirkninger fra vand, støv og frost er også mindre.

Rigtige materialer til tætning betyder, at de kan tåle høje temperaturer (op til 125 °C), at de har en tilfredsstillende holdbarhed, kan tåle de nødvendige kompressioner uden at flyde og har en god vedhæftning på de anvendte materialer. Alt dette må diskuteres med fabrikanten af tætningsmaterialerne, ligesom de nødvendige forbehandling af klæbefladerne må overholdes. Tætningsmaterialerne udsat for direkte sollys skal kunne klare solstrålerne og udtørringen. Her er hvide og farveløse materialer at foretrække, idet de ikke bliver så varme som sorte materialer.

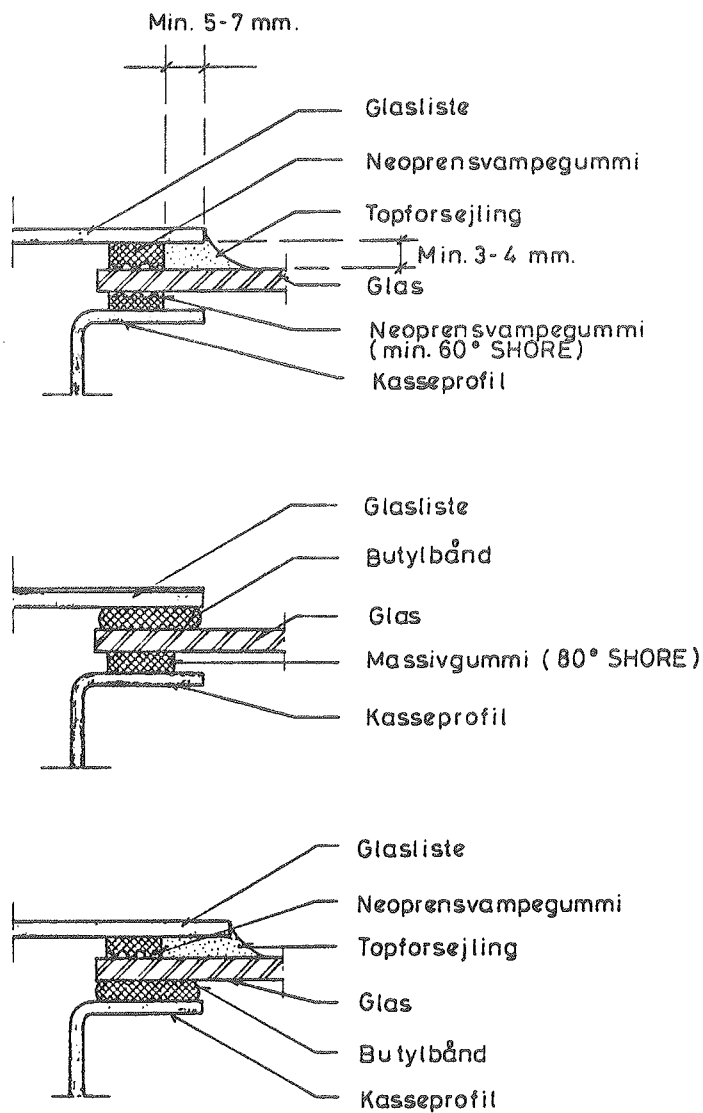


Fig. 33. Tre forseglingsløsninger der skulle sikre en god regntæthed under forudsætning af anvendelse af de rigtige materialer og rigtig behandling af disse (ref. (6), Hansen, Hansen, Madsen og Mikkelsen, 1980).

For at hindre utætheder ved krympning skal tætningslisterne komprimeres i længderetningen, således at den maksimalt forekommende krympning kan foregå uden at efterlade huller i forseglingen.

I praksis vil det ofte ikke være muligt at gøre forseglingen fuldstændig tæt. Der må derfor sørges for, at det vand, der

trænger ind ved forseglingen ikke når ind i selve solfangeren. Fig. 37 og 44 (s. 75 og 80) viser eksempler på, at forseglingen ikke behøver at være så tæt, samtidigt med at solfangeren er "regntæt". Hvis regnvandet trænger ind under den øverste glasliste i disse løsninger, vil vandet blive opfanget af en kanal og ledt væk, før det kan nå at trænge ind i selve solfangeren. Sådanne løsninger, der ikke kræver en fuldstændig hermetisk tæt forsegling, er at foretrække, idet deres virkning i mindre grad afhænger af materialer og omhu ved arbejdets udførelse. De er kort sagt mere idiotsikre.

Regntæthed kan desuden opnås ved helt at "undgå" forseglingen - se fig. 12 side 38 og fig. 34, hvor dæklaget er præformet og føres ned langs kassens sider, så vandet uhindret løber af.

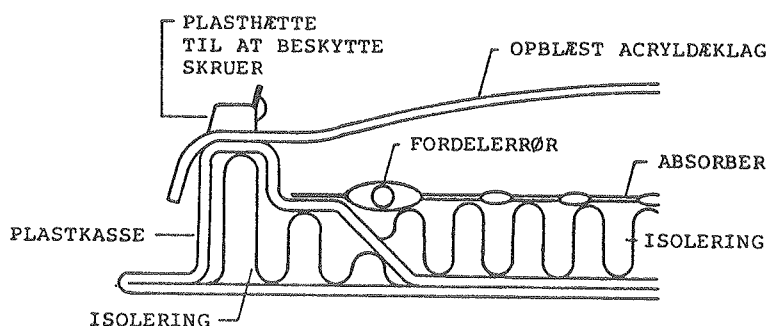


Fig. 34. Dæklaget er ført ud som kassens sider, og er dermed regntæt (ref. (7) Vejsig Pedersen og Mikkelsen, 1983).

I afsnit 5 beskrives solfangere "uden" forsegling, der så at sige er født regntætte.

3.6. Montage af solfangere

Montage af solfangeren på f.eks tage hører ikke direkte ind under konstruktion af solfanger. Men da der har vist sig nogle problemer på dette område, skal disse alligevel kort omtales.

Følgende forhold skal overholdes:

- Ved integrering i tagfladen skal der sørges for en ordentlig inddækning mellem solfangeren og tag. Problemstillingen her er meget lig den beskrevet under forsegling,
- Det bør tilrådes, at tagintegrerede solfangere oplægges på et (billigt) undertag, der kan hindre vandskader på huset, hvis dæklagets regntæthed svigter,
- Ved tagintegrerede solfangere skal sørges for en passende udluftning omkring spær, så disse ikke udtørres og mister styrke,
- Solfangeren skal opsættes på en sådan måde, at vand, sne, is og snavs ikke bliver fanget bag solfangeren eller ved monteringsanordninger,
- Metaller af forskellig ædelhed skal isoleres elektrisk fra hinanden for at mindske korrosionen,
- Ved anvendelse af træ i montagen, skal der sørges for, at der ikke kan opstå råd og svamp i dette.

4. Solfangere på det danske marked i dag

Som nævnt i de foregående kapitler har man taget ved lære af fejlene i 1. generationssolfangerne. Antallet af solfangerfabrikater (og solfangerfabrikanter) er desuden gået betydeligt ned. Man må formode, at det kun er de mest seriøse, der er tilbage på markedet.

Dette kapitel består af to hovedafsnit, der dels omhandler solfangermoduler dels inddækning af store tagintegrerede solfangerarealer.

4.1. Solfangermoduler

Dette afsnit er opbygget lig det foregående kapitel. D.v.s. solfangernes delkomponenter gennemgås enkeltvis. De enkelte solfangerfabrikater bliver ikke gennemgået enkeltvis, men under et.

4.1.1. Absorberen

I 1. generationssolfangerne var de største problemer knyttet til aluminiumssolfangerne (roll-bond), der korroderede meget hurtigt. I dag anvender ingen af solfangerne på det danske marked aluminium i berøring med solfangervæskens. Den eneste absorber, hvor der indgår aluminium, er Sunstrippen, hvor kanalerne udgøres af kobberrør, hvorpå der er påvalset aluminiumsfiner. Forbindelsen mellem aluminium og kobber er gjort vand- og iltfri gennem den tætte sammenvalsning, så galvanisk korrosion undgås.

De andre absorbere på markedet består af rustfrit stål, kobber og varmebestandig plast. Sandsynligheden for ødelæggelse af absorberen som følge af korrosion er derfor ikke mere til stede.

En meget benyttet absorberudformning er de såkaldte strips. Enten den førnævnte sunstrip eller kobberrør, hvorpå der er

loddet eller klemt finner. Denne absorbertypes svage punkt er overgangen mellem strip og manifold. Her er berøringsfladen mellem de to rør meget lille og geometrisk vanskelig at udføre korrekt. Det er nødvendigt at anvende en meget stærk og holdbar forbindelsesteknik. De fleste fabrikanter anvender derfor hårdlodning (sølvlodning), der har den fornødne styrke. Der er set eksempler på absorbere af denne type, hvor der er anvendt blødlodning (tinlodning). Disse absorbere bestod ikke stagnationstesten (udsat for en solstråling på ca. 1000 W/m^2 uden væske i absorberen), men sprang læk. Solfangerne opnåede ikke systemgodkendelse før blødlodningen var erstattet med hårdlodning.

Plastabsorberne har klaret testene i forbindelse med systemgodkendelse, men udsat for en lidt hårdere test (med tryk i absorberen) (ref. (12), Svendsen, 1985) gik der hul i en plastabsorber under stagnation, da denne var placeret i en solfanger med to dæklag.

De fleste absorbere har i dag til- og fraløb i siden, luftlommer er derfor lettere at undgå.

4.1.1.1. Belægningen

I dag benyttes for det meste selektive belægninger på absorberne (dog ikke på plastabsorbere). Disse belægninger er i dag yderst holdbare. I et reklamefremstød for en selektiv folie har fabrikanten påstået, at folien kunne anvendes udendørs direkte eksponeret for vejrliget, og alligevel holde 15-20 år. Sandsynligheden, for at folien holder i 20 år i en solfanger bag et dæklag, er derfor stor. Samtidigt siger det en del om hvor langt, man er nået med holdbarheden af disse overflader. Da overfladerne nu er så holdbare, betyder det mindre for holdbarheden, at kondens drypper ned på absorberen. Dog vil aflejringer på absorberen og fugtig isolering mindske effektiviteten, hvorfor kondens og fugt i solfangeren stadig skal undgås.

4.1.2. Dæklaget

Glas er stadig den mest anvendte dæklagstype, dog begynder forskellige plasttyper at blive mere udbredt. Der anvendes stadig næsten udelukkende glas med et højt jernindhold, men ringere transmittans end f.eks. jernfrit glas. Desværre er det anvendte glas blevet af en ringere kvalitet, da transmittansen er faldet inden for de sidste år. Dette skyldes bl.a., at Pilkinton, der sidder på størstedelen af glasmarkedet i Danmark, har et standardkrav, der siger, at hele deres glasproduktion over hele verden skal være ens (eller lige så dårlig som det dårligste glas, de producerer).

Inden for de seneste år er der fremkommet flere og flere solfangere med ribbeplader af polycarbonat som dæklag, ligesom der er opnået systemgodkendelse af enkelte solfangere med folier som dæklag.

4.1.3. Isoleringen

Solfangerne på det danske marked i dag anvender næsten udelukkende mineraluld som bagsideisolering, hvis det ikke er svømmebadssolfangere helt uden isolering. Ved brug af mineraluld som bagsideisolering undgås problemer som nedbrydning af isoleringsmaterialet og ekspansion i isoleringsmaterialet, der kan sprænge solfangerkassen. Aflejring af udgasningsprodukter er heller ikke længere et problem.

Ofte er det bagsideisoleringen, der bærer absorbereren. I andre tilfælde er det kantisoleringen, der udfører dette hverv. Antallet af kuldebroer er derfor stærkt reduceret. Også ved rørgennemføringerne er kuldebroseffekten minimeret, idet rørene ikke er i kontakt med solfangerkassen.

Kantisoleringen består i dag af træ, mineraluld eller mangler helt (dog i de færreste solfangere). Placeringen af kantisoleringen er foretaget sådan, at den ikke kan skride ud. Den holdes på plads enten af absorbereren eller bagsideisoleringen.

Alle solfangere har en bagbeklædning. Denne består som regel af en tynd aluminiumsplade, men tjærepap, masonit og aluminiumsfolie bliver også anvendt.

4.1.4. Kassen

De fleste solfangere har i dag en kasse af ekstruderet aluminium. Dette har mange fordele: Aluminium har en god vejrbestandighed, det vejer lidt og det er let at arbejde med, især da ekstrudering giver mulighed for et utal af former.

Ingen af solfangerne har direkte ventilationshuller eller drænhuller. Men ofte kan hullerne til rørgennemføringerne gøre det ud for ventilationshuller, hvis da ikke rørisoleringen tildækker dem. På databladene udarbejdet ved systemgodkendelsen anbefaler fabrikanterne, at ventilations- og drænhuller kan laves, hvis dette viser sig nødvendigt. Dette vanskeliggøres dog, hvis modulet er monteret på en ikke direkte tilgængelig tagflade. Fugtproblemerne i solfangerne på markedet i dag er dog væsentlig reduceret i forhold til problemerne i 1. generationssolfangerne.

4.1.5. Forseglingen

Det store problem i de i dag markedsførte solfangere er stadig regntætheden - om end det er mindsket i forhold til 1. generationssolfangerne.

I fig. 35 og 36 er givet to eksempler på tætningsløsninger (fra 1984). Tætningsløsningen i fig. 35 ligner meget tæt op ad løsningen fra fig. 33, og skulle derfor være tæt, hvis arbejdet er udført med omhu. Fig. 36 viser et eksempel på en solfanger, hvor man umiddelbart skulle tro at der vil opstå fugtproblemer. Glaslisten er lavet af 0,5 mm bukket aluminiumsplade, og skal derfor mere ses som en beskyttelse af siliconefugemassen end til at holde på dæklaget eller at komprimere gummilisten. Glaslisten mangler i bunden, så vandet frit kan løbe af dæklaget. Hvis siliconefugemassens vedhæftning

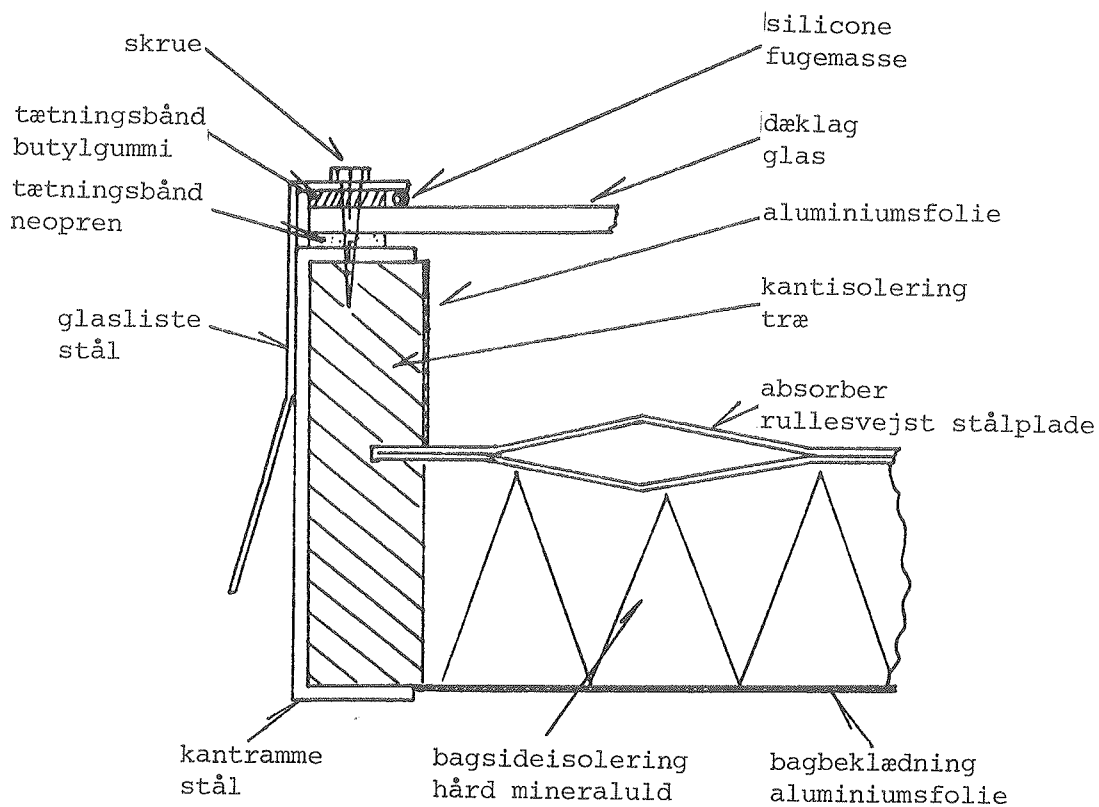


Fig. 35. Solfanger hvor forseglingen er udført som foreslået i fig. 35 (ref. (2), Møllgaard, 1984).

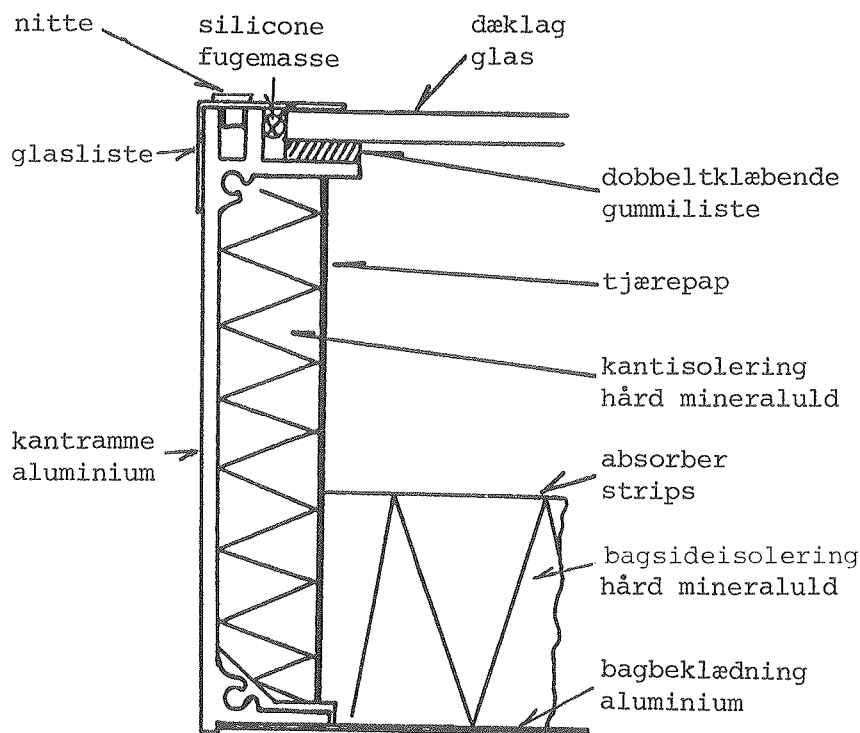


Fig. 36. Solfanger med en forsegling der kan skabe fugtproblemer, men ikke gør det (ref. (2), Møllgaard, 1984).

svigter (hvad den af og til gør) kan vand trænge ned i hulrummet ud for gummilisten, hvor det ophobes. Det har dog vist sig, at denne solfanger ikke har nævneværdige fugtproblemer - dette må da skyldes kvaliteten af den dobbeltdklæbende gummi-liste og/eller den omhu, hvormed forseglingen er udført.

Som nævnt under afsnit 3.5 behøver topforseglingen ikke at være tæt, hvis bare vandet ledes væk fra forseglingen under glasset. Et eksempel på det er fig. 44. Men også et kasseprofil udviklet i forbindelse med ref. (9) (Ladekarl, Skøtt og Nielsen, 1984) udnytter dette princip. Fig. 37 og 38 viser snit af dette profil. Som det ses vil vand, der trænger ind under topforseglingen havne i en kanal, der leder det til bunden af solfangeren. Her er der boret to dræn-huller, hvor vandet kan løbe ud - se fig. 39. Ved den nederste glaskant

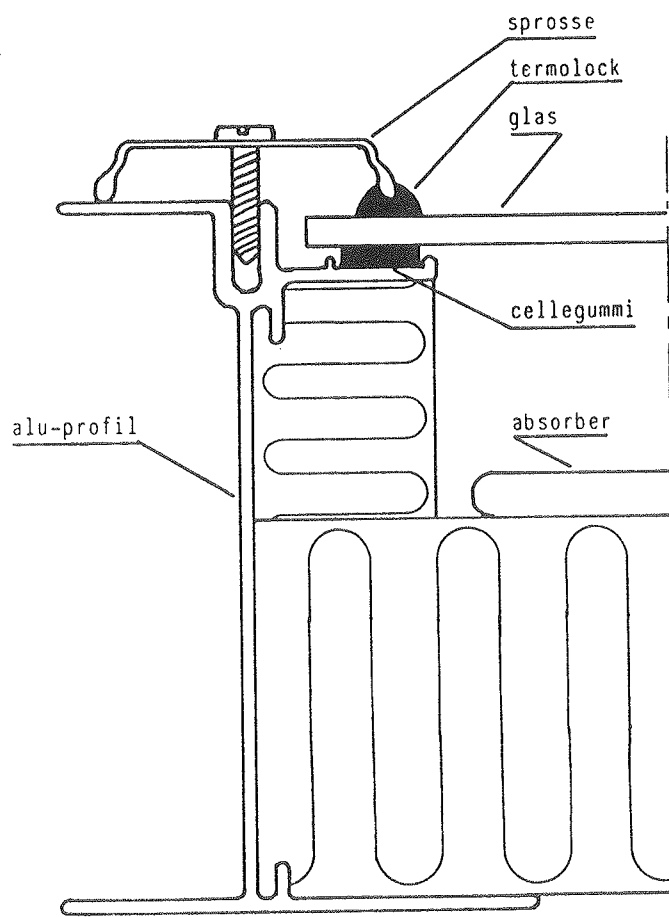


Fig. 37. Kasseprofil med glas som dæklag (ref. (9), Ladekarl, Skøtt og Nielsen, 1984).

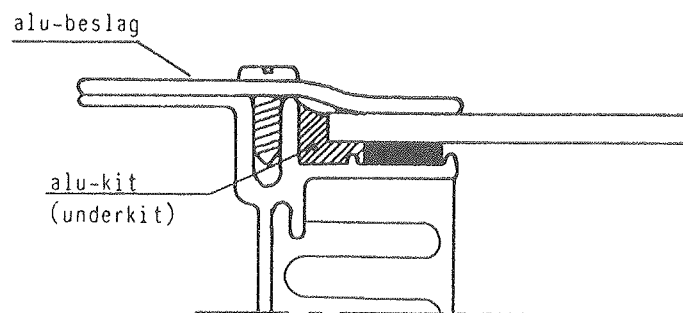


Fig. 38. Nederste kasseprofil med beslag og fugning (ref. (9), Ladekarl, Skøtt og Nielsen, 1984).

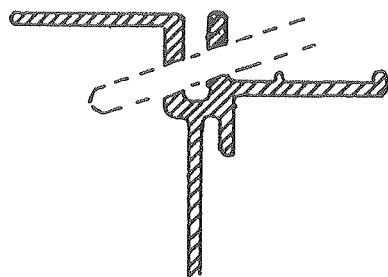


Fig. 39. Boring af drænhuller i kasseprofil (ref. (9), Ladekarl, Skøtt og Nielsen, 1984).

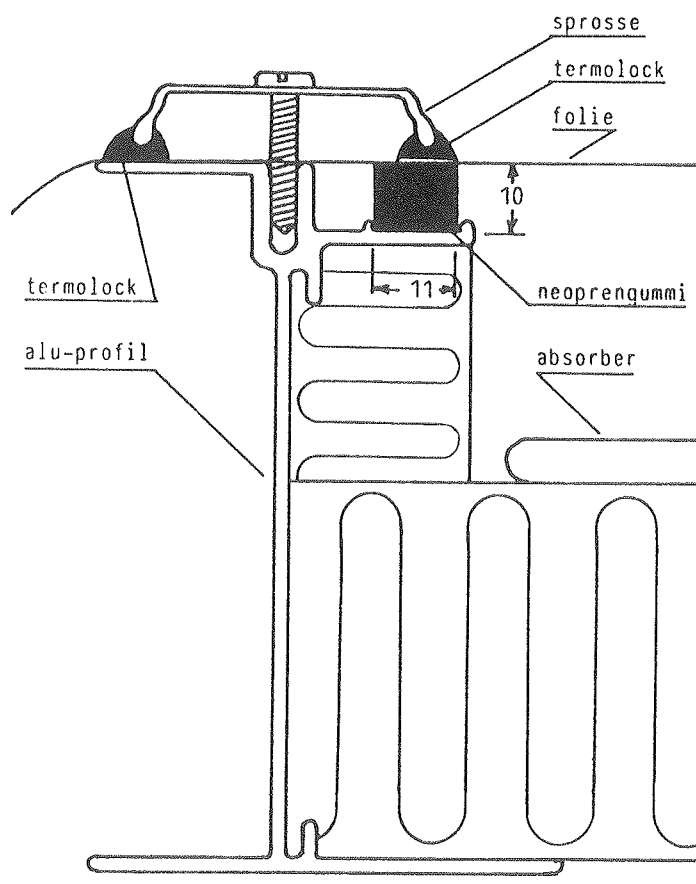


Fig. 40. Kasseprofil med folie som dæklag (ref. (9), Ladekarl, Skøtt og Nielsen, 1984).

monteres der med ca. 300 mm mellemrum beslag til at komprimere gummilisten - fig. 38. Den nederste kanal fuges med alu-kit eller der bores flere drænhuller, så vandet uhindret kan løbe af. Som det ses af fig. 40 kan profilet også anvendes med folier som dæklag, og det er forberedt til at indgå i en tagintegration, - fig. 41.

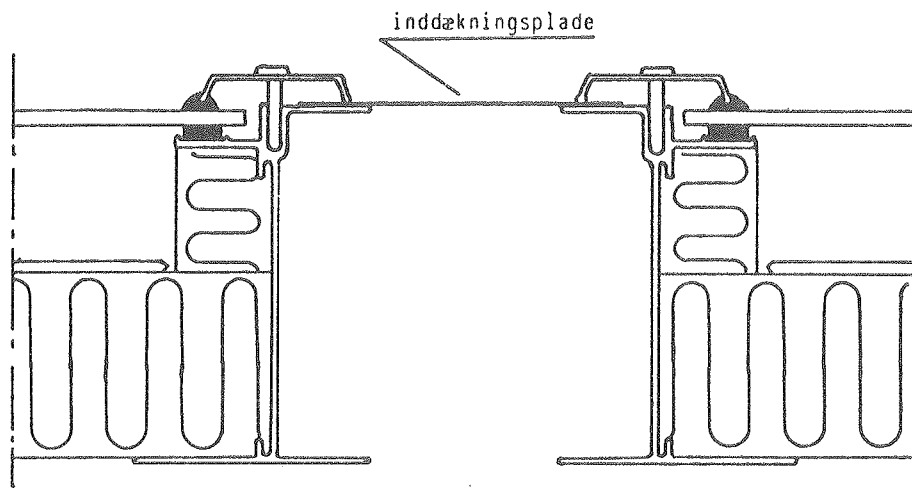


Fig. 41. Kasseprofil i en tagintegrerende løsning (ref. (9), Ladekarl, Skøtt og Nielsen, 1984).

Der er i dette afsnit gjort meget ud af det sidste kasseprofil. Det skyldes, at dette profil er et godt eksempel på, hvor langt det er muligt at nå, når man har de gode og dårlige løsninger fra 1. generationsanlæggene i erindring.

4.2. Inddækning af store tagintegrerede solfangerarealer

Ligesom i solfangere af kassemodultypen har det mest anvendte afdækningsmateriale til tagindbyggede solfangere været glas. Her er det især systemer, der er kendt fra drivhusopbygning, der har været anvendte.

Regntætheden og holdbarheden for drivhusglasafdækningssystemet er dog ikke 100% tilfredsstillende, når solfangeren skal

anvendes som klimaskærm for en bolig. Opbygning på stedet kan desuden være besværlig uden på et tag, især p.g.a. krav til håndtering af glaspladerne.

I de senere år er der gjort mange forsøg på at anvende plastmaterialer til solfangerafdækning, samt at udvikle egnede systemløsninger specielt til dette formål. I dette afsnit vil der kun blive beskrevet ét inddækningssystem (et andet beskrives i næste afsnit). Dette gennemprøvede system er udviklet på baggrund af mange års erfaringer. Systemet består af et dæklag af vacuumformede acrylplader, et aluminiumssprossesystem og glaslister af gummi. Mere detaljerede oplysninger om dette system kan fås i ref. (13), (Vejsig Pedersen, 1985). Acrylpladerne, der måler 1x1 m, er vacuumformede på en sådan måde, at de minder om tagsten samt overlapper hinanden i en vulst, der sikrer vandtæthed - fig. 42 og 43.



Fig. 42. Vacuumformede acrylplader, øverst i billedet ved pilen ses vulsten, der sikrer regntæthed (foto Peder Vejsig Pedersen).

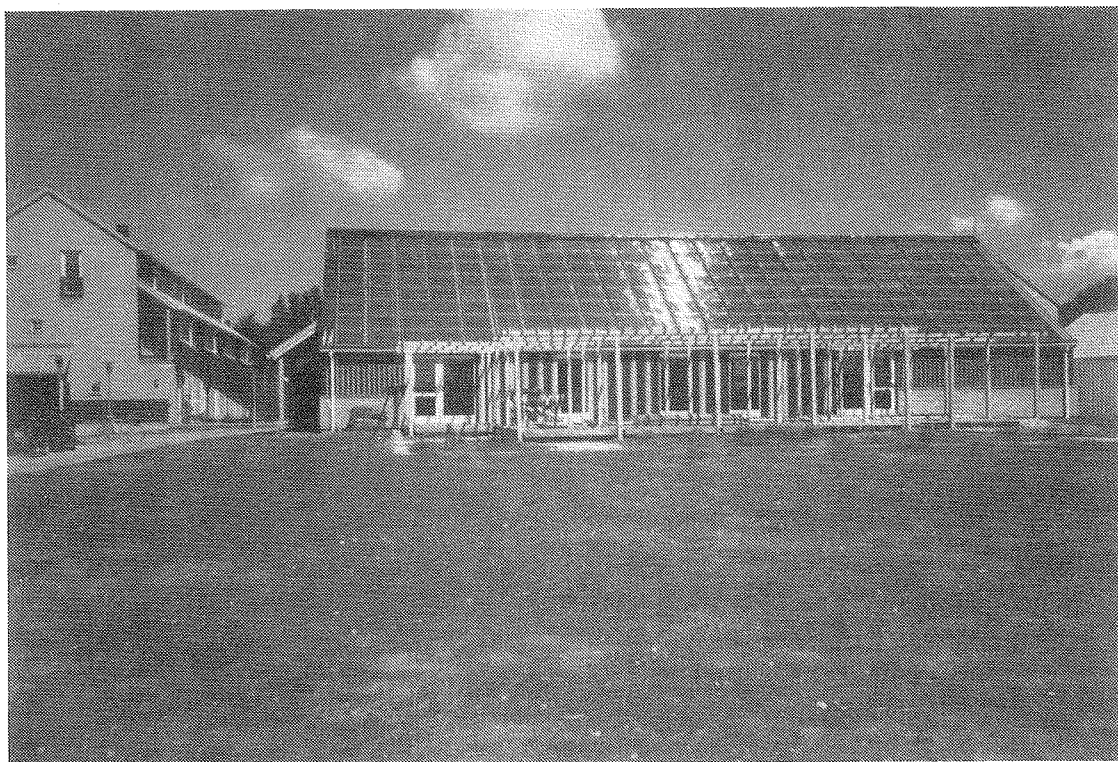


Fig. 43. Stort solfangerareal i Ballerup udført med det omtalte inddækningssystem. Systemet udgør en arkitektonisk attraktiv løsning (foto Peder Vejsig Pedersen).

Sprossesystemet består af en fod, der monteres på et undertag af trapez-aluminiumsplader (se fig. 42) og en sprosse på ca. 0,9 m's længde - se fig. 44 og 45.

Trapez-aluminiumspladerne sikrer regntæthed ind til selve bygningen, selv om solfangerens dæklag skulle blive utæt. Det bør tilrådes, at der ved "tagintegrerede" solfangere altid er en eller form for (billigt) undertag, da en eventuel regnindtrængning ellers kan give anledning til en alvorlig vandskade.

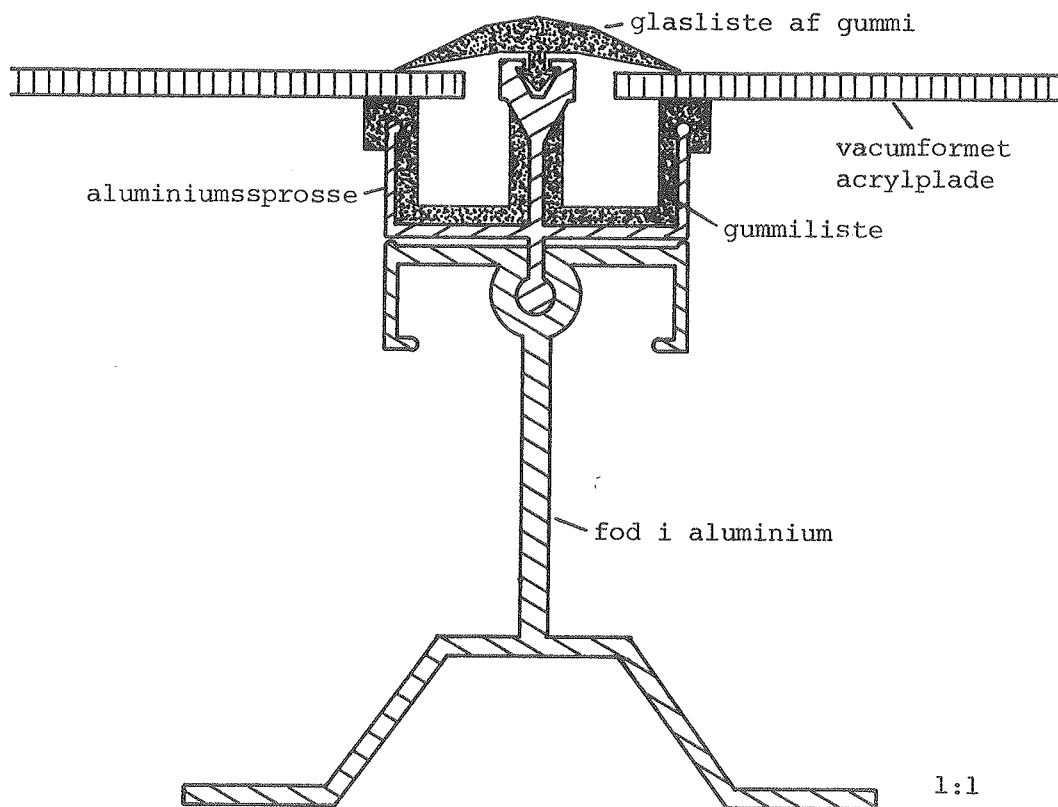


Fig. 44. Snit af sprossesystem og glaslister.

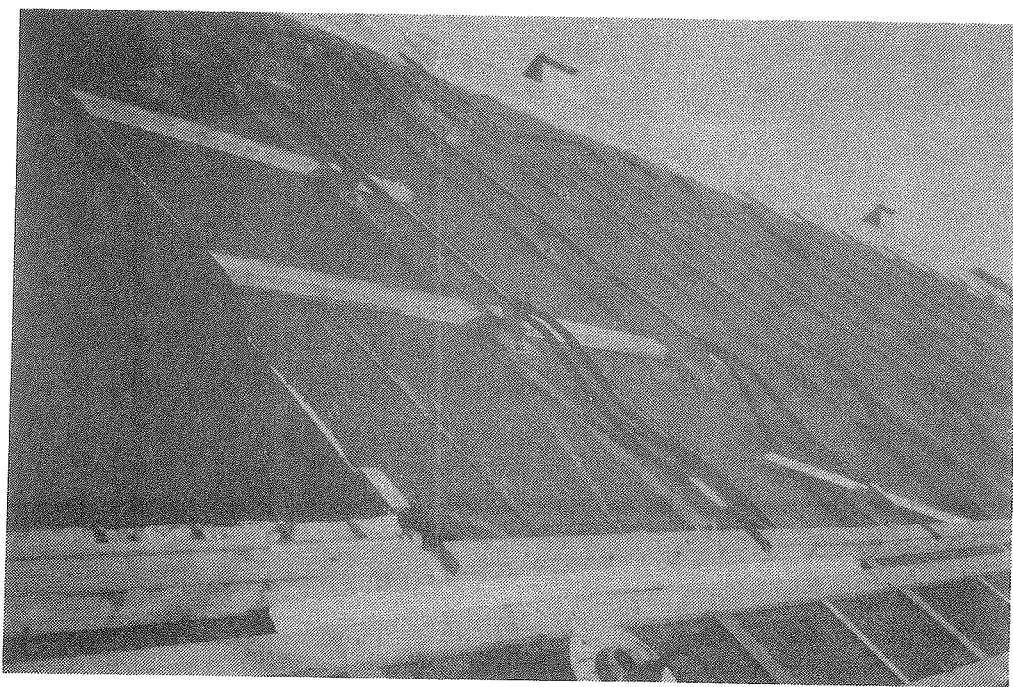


Fig. 45. Opsætning af sprossesystemet, her dog ikke på trapez-aluminiumsplader (foto: Peder Vejsig Pedersen).

I sprossen monteres en glasliste af gummi, der ud over at tætnes mod dæklaget sørger for, at vand, der trænger ind under den øverste glasliste (ligeledes af gummi), bliver ledt væk, før det kan trænge ind i selve solfangeren. Gummilisterne afskæres i samme længde som solfangeren. Der opstår derfor ikke samlinger, hvor vand kan trænge ind. Fig. 46 viser montage af acrylplader og den øverste glasliste.



Fig. 46. Montage af acrylplader og den øverste glasliste (ref. (13), Vejsig Pedersen, 1985).

Rørføringen til og fra absorberen placeres i toppen af solfangeren. D.v.s. solfangervæsken løber ned gennem den ene halvdel af absorberen og op gennem den anden halvdel. Absorberen skal altså kunne produceres i samme længde som hele solfangeren. Ved hjælp af en topinddækningsplade sørges for, at regntætheden også her sikres - se fig. 47. En anden specialplade sørger for regntætheden i bunden af absorberen, fig. 48.

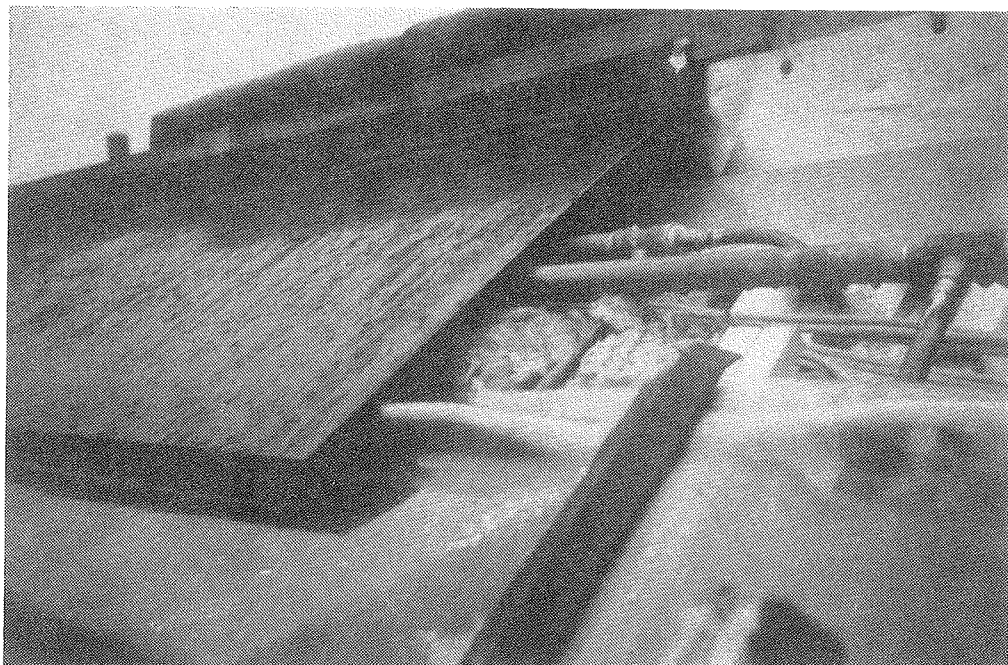


Fig. 47. Topinddækning fra anlægget i Ballerup - fig. 43.
(foto: Peder Vejsig).

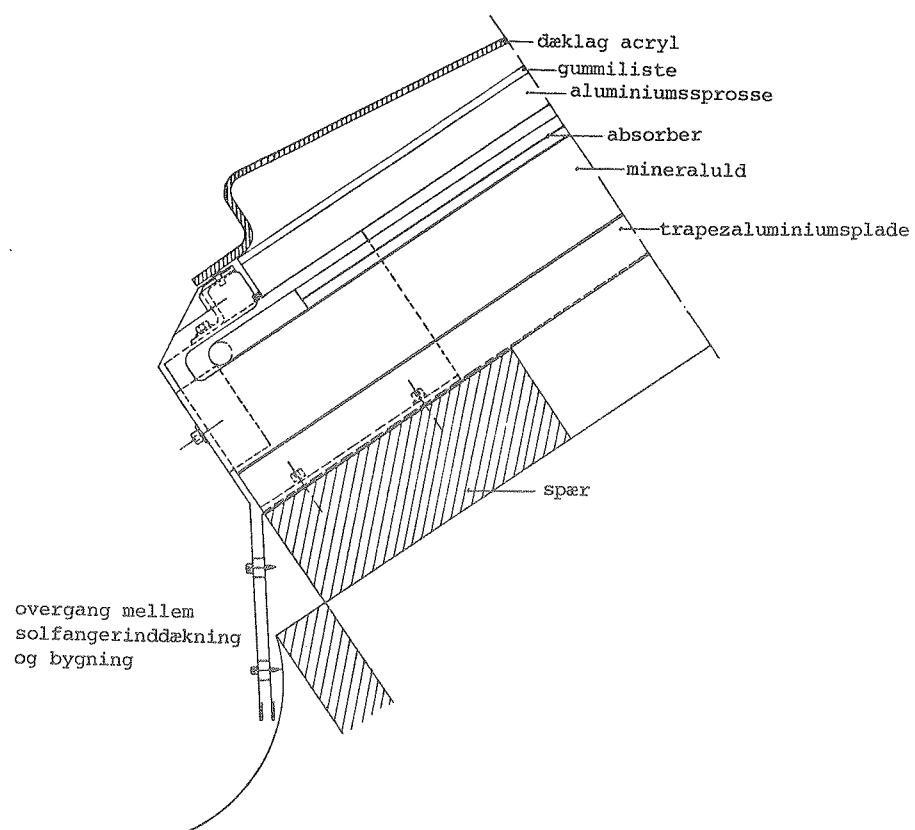


Fig. 48. Inddækning i bunden af solfangeren fra anlægget i Ballerup - fig. 43.

5. En ny generation af solfangere

I kapitel 3 blev det beskrevet, hvilke problemer der har været ved solfangere, samt givet forslag til deres løsning. Kapitel 4 beskrev, hvordan eksisterende solfangere er opbygget på baggrund af erfaringer fra 1. generationssolfangere. Dette afsnit beskriver, hvordan det er muligt med erfaringerne fra 1. generationssolfangere i baghovedet at slippe fantasien løs uden at det går ud over holdbarheden og driftssikkerheden. I de to følgende afsnit er der eksempler på sådanne solfangere.

Først beskrives en solfangertype, der går under navnet letvægtssolfangere, derefter beskrives et inddækningssystem til store solfangerarealer, der bygger på de samme principper som letvægtssolfangerne.

Tredie afsnit i dette kapitel giver et eksempel på, hvad introduktionen af nye materialer kan betyde for solfangerområdet.

5.1. Letvægtssolfangerne

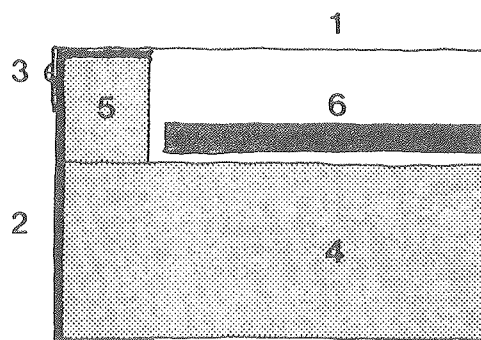
Letvægtssolfangere kan fabrikeres i større moduler end "almindelige" solfangere, og alligevel blive håndteret af to personer. Denne lethed er opnået på flere måder. Der anvendes plastikfolier og plastikplader som dæklag i stedet for glas. Med undtagelse af solfanger A, fig. 49, mangler kassen helt eller er reduceret til udelukkende at have en beskyttende funktion. Dette kan gøres, fordi der anvendes stive isoleringsmaterialer, der kan bære både absorber og dæklag. Der anvendes ikke glas som dæklag, der kræver en stivere konstruktion, for ikke at knuses under transport og montage. Desuden mangler flere af solfangerne bagbeklædning.

Solfangerne er født regntætte. Dette er opnået ved at føre folien eller plastpladen ud og ned over solfangerens sider, så vandet uhindret kan løbe af uden mulighed for at trænge ind i

solfangeren. I solfangeren H udgør dæklaget endda kassens sider.

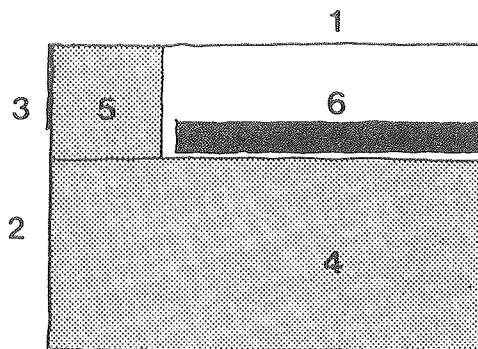
Solfanger A

- 1 tynd plastplade, fx poly-carbonat
- 2 ramme af 2 mm PVC eller aluminium
- 3 dæklag fastgjort med skruer
- 4 hård mineraluld, 50 mm
- 5 hård mineraluld, 25 mm
- 6 absorber



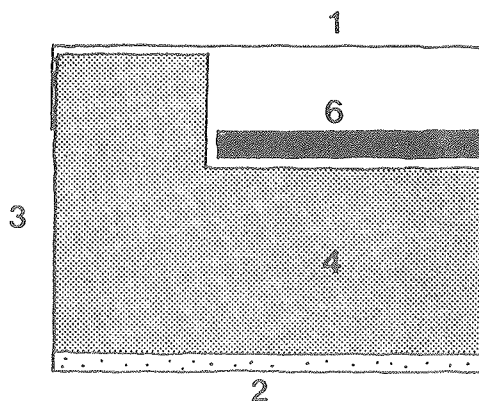
Solfanger B

- 1 plastfolie, 0,2 mm
- 2 kasse af aluminium, 0,5 mm
- 3 plastfolie fastgjort med dobbeltklæbende tape
- 4 hård mineraluld, 50 mm
- 5 hård mineraluld, 30 mm
- 6 absorberplade



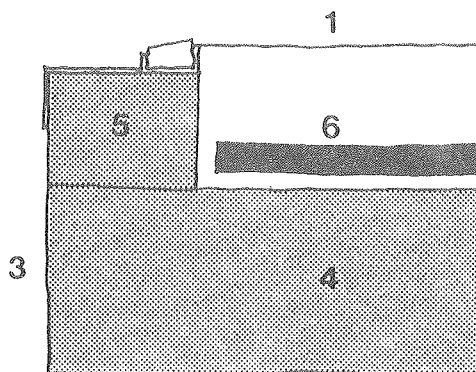
Solfanger C

- 1 tynd plastplade, fx poly-carbonat
- 2 bundplade limet på 4
- 3 mineraluld malet med armeringsmaling, der giver en hård fast overflade
- 4 hård mineraluld
- 6 absorberplade



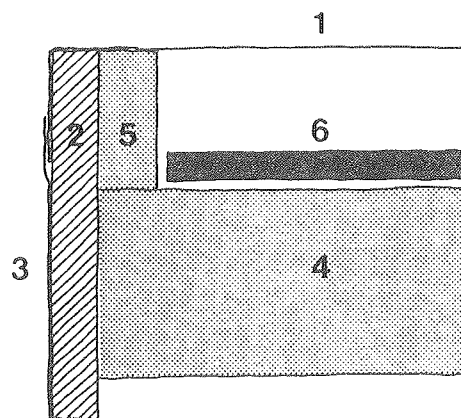
Solfanger D

- 1 plastfolie, 0,2 mm
- 2 aluminiumprofil til montering af 1
- 3 aluminiumkasse, 0,5 mm
- 4 hård mineraluld, 50 mm
- 5 hård mineraluld, 30 mm
- 6 absorberplade



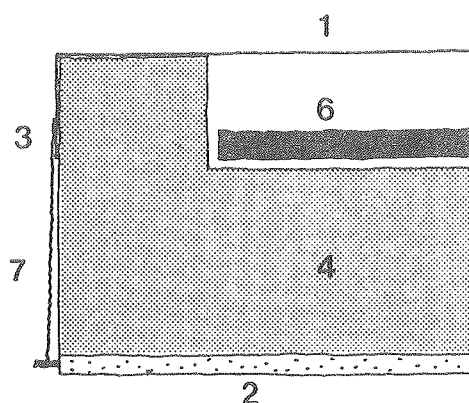
Solfanger E

- 1 plastfolie, 0,2 mm
- 2 træramme
- 3 aluminiumtape, der fastholder 1 og beskytter 2
- 4 hård mineraluld, 50 mm
- 5 hård mineraluld, 30 mm
- 6 absorberplade



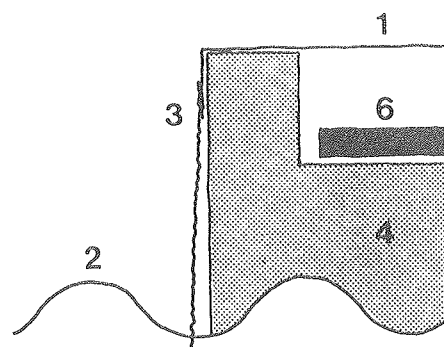
Solfanger F

- 1 plastfolie, 0,2 mm
- 2 bundplade limet til 4
- 3 skinne fastgjort til folie
- 4 hård mineraluld, malet
- 6 absorberplade
- 7 folie fastgjort, fjedrende



Solfanger G

- 1 dæklag fastgjort som på solfanger F
- 2 bundplade (samtidig tagplade)
- 3 fjedrende montering af dæklag
- 4 hård mineraluld
- 6 absorberplade



Solfanger H

- 1 dæklag af acryl
- 4 hård mineraluld, limet til dæklaget
- 5 hård mineraluld
- 6 absorberplade

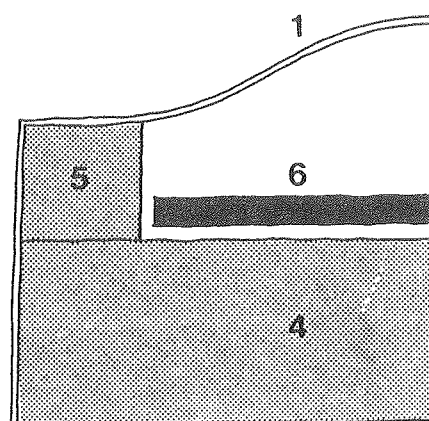


Fig. 49. Letvægtssolfangere (ref. (14), Mikkelsen, 1984).

Hvor der anvendes plastfolier som dæklag, bliver disse holdt udspændte ved hjælp af fjedre (solfanger F og G) eller ved at solfangerens sider bliver trykket lidt mod hinanden under mon-
tagen af dæklaget (solfanger B, D og E), så solfangerens sider sørger for den nødvendige udspænding af dæklaget.

Da solfangerne er regntætte, er ventilation af solfangerne ikke så påkrævet som i solfangere, hvor regntætheden ikke er sikker. I de solfangere, hvor bagbeklædningen mangler, kan solfangeren "ånde" gennem bagsideisoleringen og derved skabe en rimelig ventilation.

5.2. Store solfangerarealer

Det her beskrevne inddækningssystem eksisterer, men har nok endnu ikke fundet sin endelige udformning. En nærmere beskrivelse af systemet findes i ref. (13) (Vejsig Pedersen, 1985).

Systemet bygger på samme principper som letvægtssolfangere - bl.a. født regntæthed. Systemet er i princippet opbygget som solfanger H i fig. 49. D.v.s. en vacuumformet acrylplade som dæklag, hvor dæklaget er ført ned over solfangerens sider og således også udgør solfangerkassen - se fig. 50.

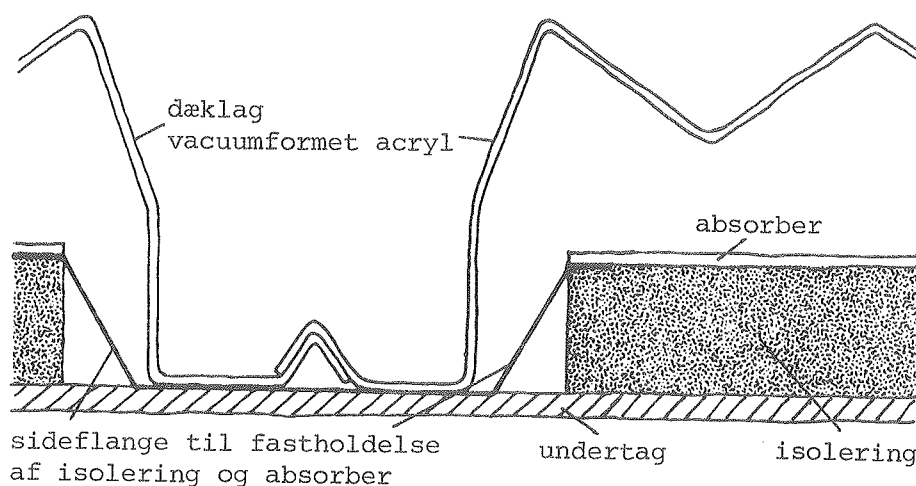


Fig. 50. Snit af inddækningssystem

På Fig. 51 ses inddækningssystemet udlagt over en 5,4 m lang absorber. Systemet består af tre hovedkomponenter: et bundmodul, et forlængelsesmodul og et topmodul, som passer ind over hinanden. I bund- og topmodulet er der indlagt plads i siderne til rørgennemføring.



Fig. 51. Forsøgsopstilling med inddækningssystemet på Lab. for Varmeisolering. Til højre ses inddækningssystemet, der er beskrevet i afsnit 4.2 (ref. (13), Vejsig Pedersen, 1985).

5.3. Fremtiden

De ovenfor skitserede solfangerløsninger viser, at mulighederne for gode, holdbare og billigere solfangerdesign langt

fra er udtømte. Vi må derfor fremover forvente en fortsat positiv udvikling inden for dette område.

Men også fremkomsten af nye materialer får indflydelse på, hvordan fremtidens solfangere vil se ud. I dette afsnit vil vi se på et eksempel.

Det drejer sig om en ny "glastype" bestående af silica aerogel kaldet Airglass. Dette materiale består af en gitterstruktur af kvarts (SiO_2) (ref. (15)). Volumenmæssigt består størstedelen af hulrum enten med luft eller evakuerede. Det nye materiales "styrke" er for det første dets meget lave varmeledningsevne. Ved 20 °C er den henholdsvis 0,021 W/°C og 0,008 W/°C for den ikke-evakuerede og den evakuerede udgave. Til sammenligning er varmeledningsevnen for mineraluld 0,045 W/°C. Den anden fordel ved det nye materiale er den store transmittans - ved en tykkelse på 10 mm passerer 88% af lyset, mens næsten intet reflekteres. Materialet kan modstå temperaturer på op til 750 °C, det kan støbes ud i ønskede former, og man kan save og bore i det. Ulemperne ved det er, at det er skørt, samt at det ikke er resistent over for væsker f.eks. kondens.

Produktet, der i øjeblikket produktmodnes, ventes på markedet i slutningen af firserne. Det vil blive produceret i standardmoduler på 600 x 600 x 20 mm³. Det forventes at kvadratmeterprisen for en tykkelse på 20 mm vil blive under 200 kr.

Umiddelbart virker det som om, dette produkt er som skabt til anvendelse i solfangere. Hvis det blev placeret under et dæklag af f.eks. glas og med en vandtæt folie på indersiden (mod absorbereren), vil det ikke blive udsat for store trykpåvirkninger eller for kondens.

I figur 52 er vist effektiviteten for to solfangere med silica aerogel i forhold til solfangere, der har været eller er på det danske marked. De to solfangere har yderst et dæklag af jernfrit glas, derefter 20 mm silica aerogel der enten er eva-

kueret eller ikke-evakueret, mellem silica aerogelen og absorberen en teflonfolie og en luftspalte. Absorberen er en sunstrip, og bag denne er anbragt 100 mm mineraluld. Varmetabet fra bagsiden udgør nemlig ikke som i almindelige solfangere med selektiv belægning på absorberen kun ca. 20 % af det totale varmetab. For solfangeren med det evakuerede silica aerogel er for- og bagside-tabet lige stort.

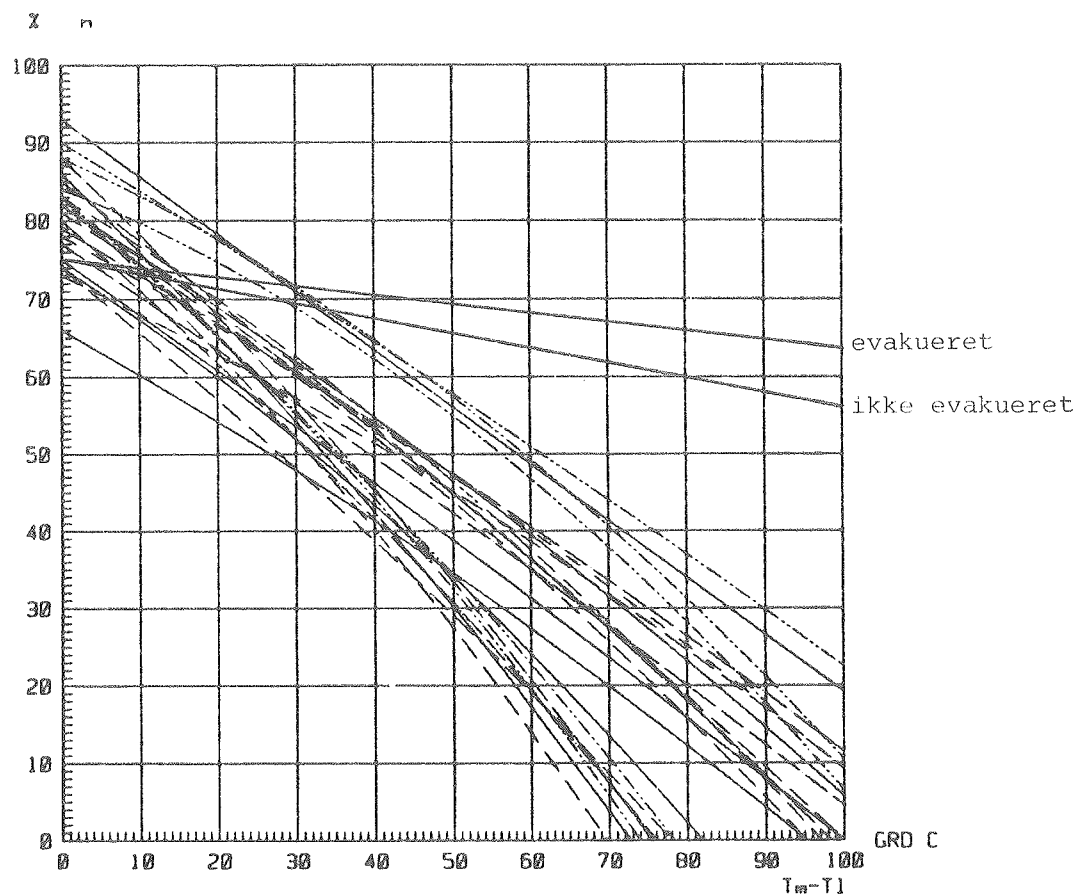


Fig. 52. Effektivitetskurver for to solfangere med aerogel i dæklaget sammenlignet med solfangere afprøvet i Danmark.

T_m er middeltemperaturen af absorberen og
 T_e er lufttemperaturen.
 Kurven er optegnet for en solintensitet på
 800 W/m^2 .

Som det ses af figuren forøger silica aerogelen det temperaturområde, hvor en solfanger kan operere. Stagnationstemperaturer på 200-300 °C er ikke usandsynlige.

For et lille brugsvandsanlæg på ca. 4 m² med en dækningsgrad på 65% vil anvendelsen af aerogel betyde, at den samme dækningsgrad kan opnås med det halve areal. Det er dog næppe inden for lavtemperaturområdet aerogel'en vil have sin fremtid. Med stagnationstemperaturer på over 200 °C begynder der at være fornuft i at anvende solvarme til proces- og kraftproduktion - f.eks. damp til industrien og elektricitet.

Denne type solfangere vil desuden kunne anvendes i eksisterende højtemperaturfjernvarmeanlæg. Markedet for solvarme udvides derfor drastisk.

Men som bekendt vokser træerne ikke ind i himlen, og der er da også visse problemer forbundet med anvendelsen af silica aerogel i solfangere. Dels er der de før omtalte problemer med at undgå stød og kondens. Dette kunne løses ved at støbe aerogel'en ind i plastik f.eks. acryl, - en sådan sandwich-konstruktion vil være meget stærk. Spørgsmålet er så, hvor dyr en sådan løsning er. Et andet og større problem er de høje stagnationstemperaturer. Her vil forskellige udvidelseskoefficienter få endnu større indflydelse end i dagens solfangere, og mange materialer vil sandsynligvis slet ikke kunne anvendes på grund af de høje temperaturer. Kvaliteten af samlingerne i absorberen bliver mere kritisk, o.s.v. Måske bliver vi nødt til at starte helt fra bunden igen, fordi mange af de i dag anbefalede konstruktionsprincipper ikke kan anvendes i den nye type højtemperatursolfangere.

Referencer

- (1) Solar Energy Application to Dwellings - Solar Collectors - Test Methods and Design Guidelines. Solar Energy R&D in The European Community. Series A, Volume 6. Commission of the European Communities. 1985.
- (2) Billiggørelse af solfangere. Michael Møllgaard. Eksamensprojekt ved Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. 1984.
- (3) Solar Engineering of Thermal Processes. John A. Duffie og William A. Beckmann. University of Wisconsin-Madison. 1980.
- (4) Lærebog i katodisk beskyttelse. Udvalget vedrørende katodisk beskyttelse - Korrosionscentralen. 1975.
- (5) VVS Ståbi. L. Halling Sørensen og H. v. Wower. Teknisk Forlag A/S. 1979.
- (6) Solfangeres langtidsholdbarhed. T. Vest Hansen, Gunnar Madsen og Erik Mikkelsen. Teknologisk Institut - Varmeteknik. Energiministeriets solvarmeprogram nr. 7, juli 1980.
- (7) Solfangerens driftssikkerhed og holdbarhed. Peder Vejsig Pedersen og Svend Erik Mikkelsen. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Energiministeriets solvarmeprogram nr. 20, 1983.
- (8) Byg et solvarmeanlæg. Kristian Krægpøth. Teknisk Forlag A/S. 1978.
- (9) Byggehåndbog for solvarmeanlæg. Palle Ladekar, Torben Skøtt og Aage Johnsen Nielsen. Samvirkende Energikontorer. Juni 1984.

- (10) IEA solfangerinspektionsrapporter.

- (11) Condensation problems inside solar collectors in climate in northern countries. Francesco Aleo. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks Tekniske Højskole. November 1984.

- (12) Summary of presentation of work on reliability and durability to the CSTG-meeting in Lyon in December 1985. Svend Aage Svendsen. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks Tekniske Højskole.

- (13) Effektive økonomiske tagintegrerede solfangere. Peder Vejsig Pedersen. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks Tekniske Højskole. Rapport nr. 85-18. Oktober 1985.

- (14) Konstruktion af solfangere. Svend Erik Mikkelsen. Indlæg i jubilæumsskriftet "Aktuel Energiforskning - 1959 - 1984". Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks Tekniske Højskole. Meddelelse nr. 150. Maj 1984.

- (15) Airglass - the result of years of research and development. Datablad. Airglass AB, Sweden.

Reference (1) og (9) kan anbefales som yderligere læsning.

PROJEKTORGANISATION

Styregruppe: Energiministeriet har fra september 1981 udpeget følgende styregruppe for solvarmeprogrammet:

V. Korsgaard, professor, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH,
(formand)

P. Alling, direktør, Dansk Solvarme K/S

E. Christophersen, afdelingsleder, Statens Byggeforsknings-
institut

P. Dirks, afdelingsingeniør, Dansk Kedelforening

K. Hallgreen, ingeniør, Danfoss A/S

L. Ingersholm, Boligselskabernes Landsforening

P. Dorph-Petersen, Energiministeriet

E. Jerking, Byggestyrelsen, Energikontoret

N.I. Meyer, professor, Fys.Lab.III, DTH

J.S.R. Nielsen, civilingeniør, Birch & Krogboe

Hans Larsen, civilingeniør, Risø

E. Petersen, lektor, Kem.Lab. I, H.C. Ørstedts Instituttet

P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut

P.J. Snare, civilingeniør, Energistyrelsen

Projektmedarbejdere:

Laboratoriet for Varmeisolering:

O. Balslev-Olesen, civilingeniør

S. Furbo, civilingeniør, lic.techn.

S. Østergaard Jensen, civilingeniør

S.E. Mikkelsen, civilingeniør

L. Olsen, civilingeniør, lic.techn.

P. Vejsig Pedersen, civilingeniør

V. Ussing, civilingeniør

Teknologisk Institut:

Nick Andersen, civilingeniør
M. Grimmig, arkitekt m.a.a.
M. Lange, ingeniør
H. Lawaetz, akademiingeniør, lic.techn., HD
O. Paulsen, civilingeniør, lic.techn.
E. Petersen, civilingeniør, lic.techn.
P. Steensen, civilingeniør

I forbindelse med demonstrationsanlæggene har endvidere medvirket de pågældende byggeriers rådgivende ingeniør.

Adresser: Laboratoriet for Varmeisolering, Bygning 118, Danmarks Tekniske Højskole, 2800 Lyngby, tlf.: 02-883511.

Teknologisk Institut, Varme- og Installationsteknik, Greger-sensvej, 2630 Tåstrup. tlf. 02-996611.

Liste over udsendte rapporter

Solvarmeprogrammet:

1. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg. Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, april 1979.
2. Solvarme-fjernvarmeanlæg. Beregning af et centralt anlæg med og uden varmelager. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, september 1979.
3. Solvarmeanlæg i Gentofte. Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Årsrapport. Laboratoriet for Varmeisolering, februar 1980.
4. Beregningsprogram til solvarmeanlæg. For TI59 programmerbar lommeregnermaskine. Teknologisk Institut, 1980.

5. Solvarmeanlæg i Herfølge. Solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand, 1/2 års målinger. Teknologisk Institut, juli 1980.
6. Solvarmeanlæg i Greve. Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Årsrapport. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juli 1980.
7. Solfangeres langtidsholdbarhed. Erfaringer med solfangeres udsat for det naturlige vejrlig under kontrollerede, realistiske, ens driftsforhold i 3 år på prøvestand. Teknologisk Institut, juli 1980.
8. Solvarmesystemprøvestand. Resultater fra det første projekt på prøvestanden. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, 1981.
9. Solvarmeanlæg på Juelsminde campingplads. Brugsvand, 3 års målinger. Teknologisk Institut, august 1980.
10. Energiministeriets solvarmeprogram. Statusrapport, august 1980.
11. Energiministeriets solvarmeprogram. Projektforslag - langtidsplanlægning, oktober 1980.
12. To solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En beskrivelse og vurdering efter 4 måneders drift af anlæggene. Laboratoriet for Varmeisolering, december 1980.
14. Solvarmeanlæg i Blovstrød. 2 1/2 års målinger på 10 m² brugsvandsanlæg. Teknologisk Institut, maj 1981.
15. Solvarmeanlæg til rumopvarmning. En udredning baseret på 2 års målinger på anlæg i Greve og Gentofte. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, august 1981.

16. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En udredning baseret på 1 års målinger på 2 anlæg. Laboratoriet for Varmeisolering, september 1981.
17. Solvarmeanlæg i Herfølge. Varmtvandsanlæg i tæt-lav byggeri. Teknologisk Institut, maj 1982.
18. Korrosion i solfangerabsorbere. En undersøgelse af korrosionsforholdene i solfangeres væskekanaler. Teknologisk Institut/Korrosionscentralen, juli 1982.
19. Fokuserende solfanger med klimaskærm. Forundersøgelse. Risø, september 1982.
20. Solfangeres driftssikkerhed og holdbarhed. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juli 1983.
21. Solvarme - fjernvarmeanlæg. Teknisk-økonomisk analyse af systemkombinationer. Teknologisk Institut/Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, maj 1983.
22. Solfangerabsorberes overfladebestandighed. Teknologisk Institut, februar 1984.
23. Solvarmeanlæg i Rødovre. Teknologisk Institut, februar 1984.
24. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand i Gl.Holte. En vurdering efter et års målinger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, oktober 1983.
25. Sol i boligen - et idé-katalog. Teknologisk Institut, marts 1984.
26. Solvarmeanlæg med stort udbytte - systemanalyse. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, april 1984.

27. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg i Næstved. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juni 1984.
28. Et solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Målinger på systemprøvestand. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, september 1984.
29. Billig solfanger/lager unit til brugsvand. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, december 1984.
30. Projekteringsvejledning for passiv solvarme. Teknologisk Institut, december 1985.
31. Plast og gummi i solvarmeanlæg. Teknologisk Institut, maj 1985.
32. Hydrofil solfanger - Prøvning af prototype. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. September 1985.
33. Solvarmeanlæg med stort udbytte - demonstration. Teknologisk Institut, oktober 1985.
34. Solvarmeanlæg i Brøndby. Solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand i en etageejendom, 2 års målinger. Teknologisk Institut, januar 1986.
35. Selvcirkulerende solvarmeanlæg i Lyngby - resultater og erfaringer fra et års målinger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Januar 1986.

Varmelagerprogrammet

1. Litteraturundersøgelser og vurdering af kemiske varmelagre. Peter L. Christensen, august 1979.
2. Sæsonlagring af varme i store vandbassiner. Udført af Dipco Engineering ApS, november 1979.

3. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1). En metode til brug for bordregnemaskiner. Anker Nielsen, februar 1980.
4. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1). Bruger-vejledning for TI-59. Anker Nielsen, februar 1980.
5. Prøvning af varmelagerunits til solvarmeanlæg. Simon Furbo, april 1980.
6. Beregning af ruminddelte bygningers energiforbrug. Anker Nielsen, oktober 1980.
7. Vinduets betydning for enfamiliehusenes energiforbrug. Anker Nielsen, november 1980.
8. Heat Storage with an incongruently melting salt hydrate as storage medium based on the extra water principle. Simon Furbo, december 1980.
9. Enfamiliehus med glasbeklædte uderum. Anker Nielsen, marts 1981.
10. Kemiske varmelagre. Teori og praksis. Peter L. Christensen, december 1981.
11. Varmtvandsforbrug i boliger. Niels Mejlhede Jensen, februar 1982.
12. Prøvemetoder for mindre varmelagre og erfaringer fra prøvningerne. Simon Furbo og Jan-Erik Larsen, november 1982.
13. Solopvarmning gennem vinduer. Niels Mejlhede Jensen, november 1982.
14. Økonomisk solbidrag til opvarmning af brugsvand. Sven Pedersen, Simon Furbo, Preben Nordgaard Hansen og Vagn Ussing, december 1982.

15. Birkerød solhus. Beregninger og målinger. Niels Mejlhede Jensen, december 1983.
16. Lagertyper og lagerstørrelser i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Søren Østergaard Jensen og Simon Furbo, marts 1984.
17. Prøvning af kemisk varmepumpelager. Otto Dyrnum, april 1984.
18. Varmeovergang i små solvarmelagre. Søren Østergaard Jensen, november 1984.
19. Varmelagring ved hjælp af en kemisk varmepumpe med vandig saltopløsning som absorptionsmiddel. Otto Dyrnum, november 1984.
20. BLAST - EDB-program til beregning af passiv solvarme. Jørgen Erik Christensen, november 1984.
21. Solvarmeanlæg med bygningsintegrerede varmelagre. Lars Olsen, december 1984.

