

må ikke fjernes

SOLVARMESYSTEMER

DEFINITION OG PRINCIPPER

S. SVENDSEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



OKTOBER 1974

MEDDELELSE NR. 33

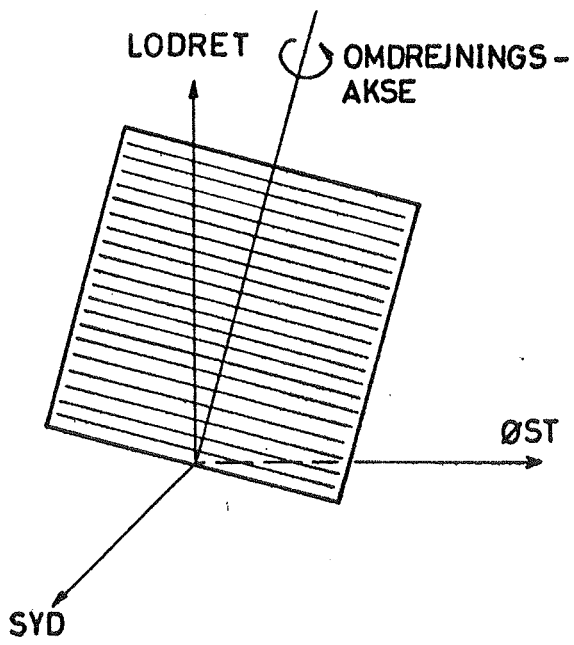


Fig. 1 a

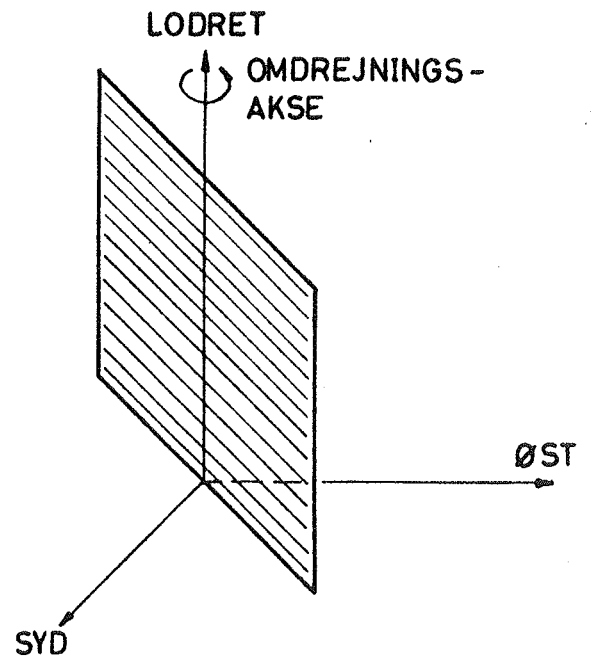


Fig. 1 b

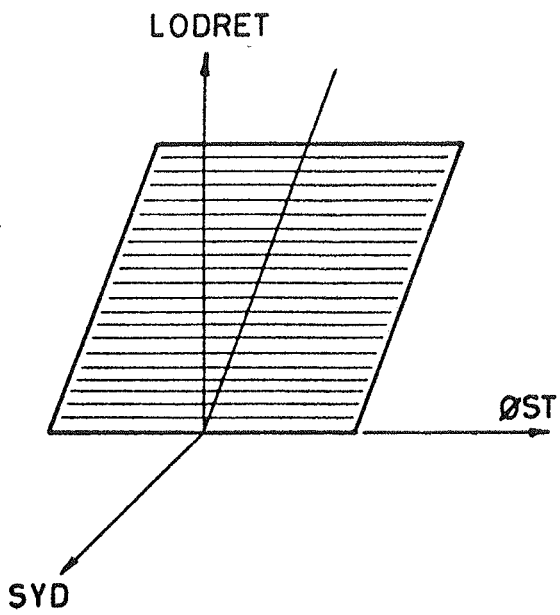


Fig. 1 c

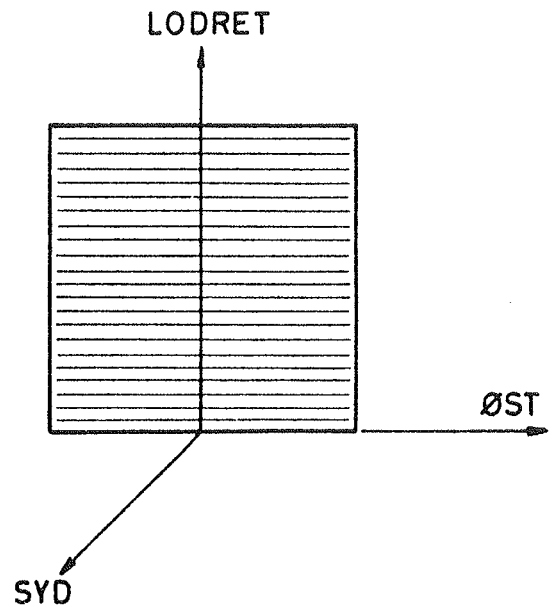


Fig. 1 d

Definition på et solvarmesystem

Et solvarmesystem er et system med det primære formål at udnytte sollyset til hel eller delvis dækning af opvarmningsbehovene i bygninger.

Et almindeligt vindue i en bygning er således ikke et solvarmesystem, da dets primære formål er at give udsynsmulighed fra rummet og at oplyse det.

Det ses, at definitionen både dækker systemer til rumopvarmning og til opvarmning af brugsvand.

Grundlaget for solvarmesystemer

Grundlaget for et solvarmesystem er selvfølgelig solindfaldet og opvarmningsbehovene.

Da begge størrelser varierer hele året igennem, må man have fat på deres årssummer og især på deres fordeling over året. Man kan få et godt indtryk af solindfaldets og opvarmningsbehovenes fordeling over året ved at udregne månedssummerne. Dette er gjort ud fra Referenceåret [1].

I skema 1 er månedssummerne af den indfaldende stråling fordelt på direkte og diffus stråling^{*)} beregnet for følgende tilfælde:

1. en plan, der er normal til sigtelinien til solen.
2. en plan med omdrejningsakse parallel med jordaksen og drejende sig med solen, se fig. 1a.
3. en plan med lodret omdrejningsakse og drejende sig med solen, se fig. 1b.
4. en skrå (45°) fast plan vendende mod syd, se fig. 1c.
5. en lodret fast plan vendende mod syd, se fig. 1d.

Ligeledes er der i skema 1 vist opvarmningsbehovene fordelt på opvarmning af rum og brugsvand for:

1. et almindeligt isoleret hus.
2. et højisoleret hus.

^{*)} Den diffuse stråling omfatter diffus himmelstråling og reflekteret stråling. Ved beregning af den sidste er antaget $\phi=0,5$ og reflektionskoefficient lig 0,25. Beregningen er tilnærmet.

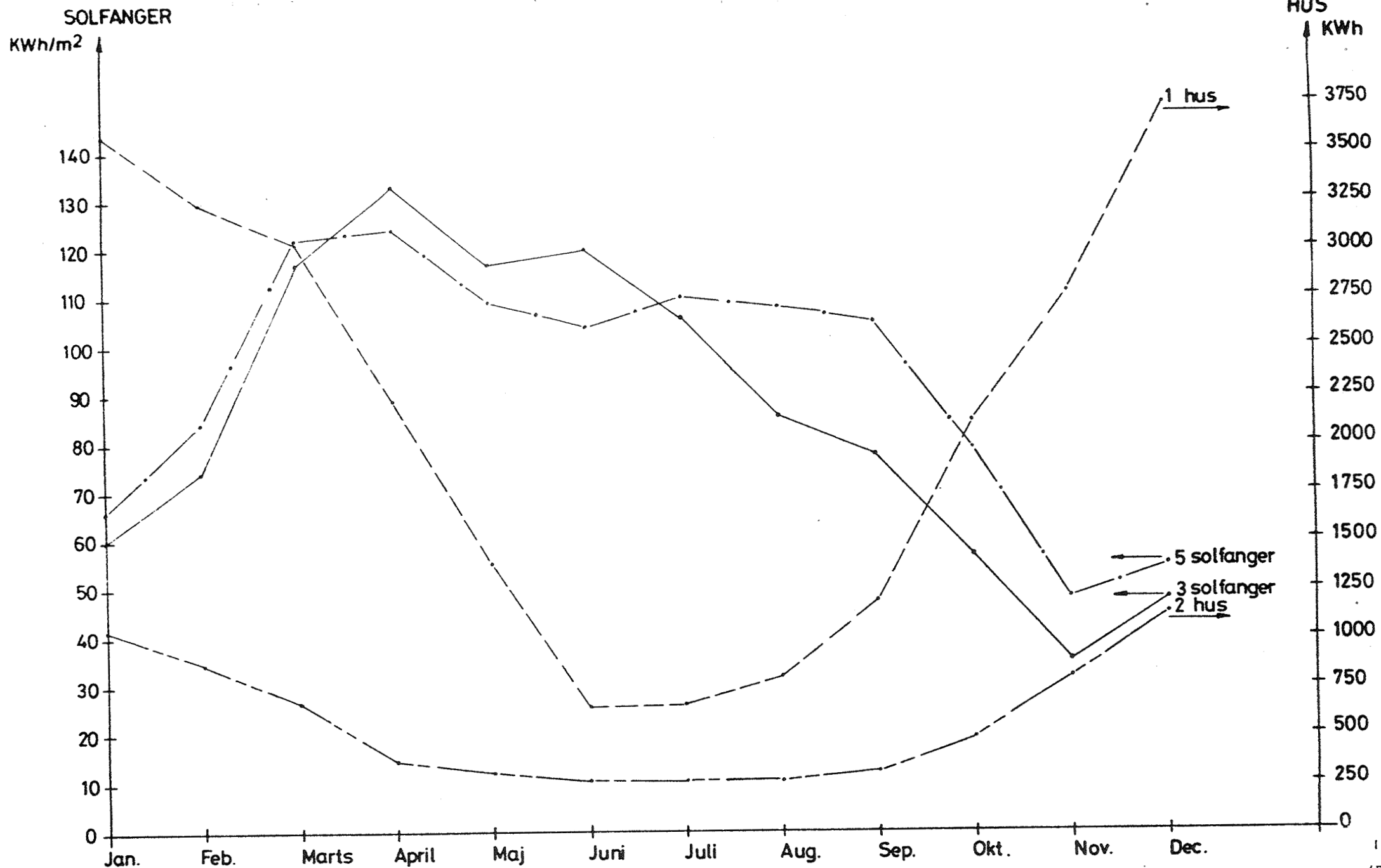


Fig. 2. Direkte solstråling på flade svarende til solfanger-tilfælde 3. Direkte + diffus solstråling på flade svarende til solfanger-tilfælde 5. Varmebehov for hus-tilfælde 1 og 2.

Skema 1. Solindfald og varmebehov udfra Referenceåret. (Ændret dec. 75)

Solindfald i KWh/m ²	jan.	feb.	mar.	apr.	maj	juni	juli	aug.	sep.	okt.	nov.	dec.	sum
Tilfælde 1 direkte	62	77	130	156	148	158	138	105	88	61	36	49	1208
	9	16	33	52	67	79	81	66	45	24	11	8	491
Tilfælde2 direkte	59	75	129	153	140	145	129	102	88	60	34	45	1161
	8	16	33	52	67	79	80	65	45	24	11	8	489
Tilfælde 3 direkte	61	74	117	133	117	120	106	86	78	57	35	49	1033
	9	17	35	52	64	75	76	61	43	23	11	8	472
Tilfælde 4 direkte	46	58	94	98	88	87	81	67	65	45	28	37	795
	8	16	32	49	64	77	77	64	43	23	11	7	472
Tilfælde 5 direkte	53	61	80	67	46	38	39	41	52	44	31	44	598
	8	16	32	46	57	65	66	54	40	21	10	8	425

Varmebehov i KWh	jan.	feb.	mar.	apr.	maj	juni	juli	aug.	sep.	okt.	nov.	dec.		
Tilfælde 1	rum	3100	2787	2536	1745	881	168	164	303	699	1611	2317	3242	19553
	brugsvand	496	448	496	480	496	480	496	496	480	496	480	496	5840
Tilfælde 2	rum	766	615	394	93	34	0	0	0	48	205	530	846	3531
	brugsvand	279	252	279	270	279	270	279	279	270	279	270	279	3285

For nogle systemer er det dog vanskeligt at afgøre, hvor et bestemt element i systemet hører til. Solfanger og akkumulator kan være sammenbygget som i det system, der består af en betonvæg med to lag glas foran. Her er glasset både en del af solfangeren og af varmeakkumulatoren.

Hvis man gør sig klart, hvorledes de enkelte funktioner udføres, betyder det ikke noget, at der er overlapninger i opdelingen.

I det før nævnte system udføres dæklagsfunktionen for solfangeren af de to lag glas og isoleringsfunktionen for varmeakkumulatoren af de samme to lag glas.

1. Solfangeren

En solfanger karakteriseres ved konstruktion og virkemåde. Det er naturligt at opdele en solfangerkonstruktion i følgende dele: reflektor eller refraktor (linse) og kollektor.

Ved den plane type solfangere har man kun kollektoren, som kan opdeles i følgende dele:

Bærende og beklædende konstruktion

Absorbatorplade

Dæklag (gennemsigtig forside)

Isolering (bagside- og randisolering)

Herudfra kan man opdele solfangere i forskellige typer som vist i skema 2.

Med en solfangers virkemåde forstås den måde, man benytter den på.

Virkemåden for en solfanger afhænger af følgende:

Bevægelighed

Styring af bevægelsen

Transportmedium

Transportmåde

Driftsform

Styring af driften

Herudfra kan man yderligere opdele solfangere i forskellige typer som vist i skema 3.

Begge huse er på 144 m² og regnes beboet af fire personer.
Tallene er taget fra [2].

Solfanger-tilfælde 3 og 5 samt hus-tilfælde 1 og 2 er tegnet
op på fig. 2.

Opdeling af systemet

Et solvarmesystem kan opdeles i tre dele:

1. Solfanger
2. Varmeakkumulator
3. Varmeafgiver

Solfanger plus varmeakkumulator kaldes det primære system.

Varmeakkumulator plus varmeafgiver kaldes det sekundære system.

Dette er skit ret på fig. 3.

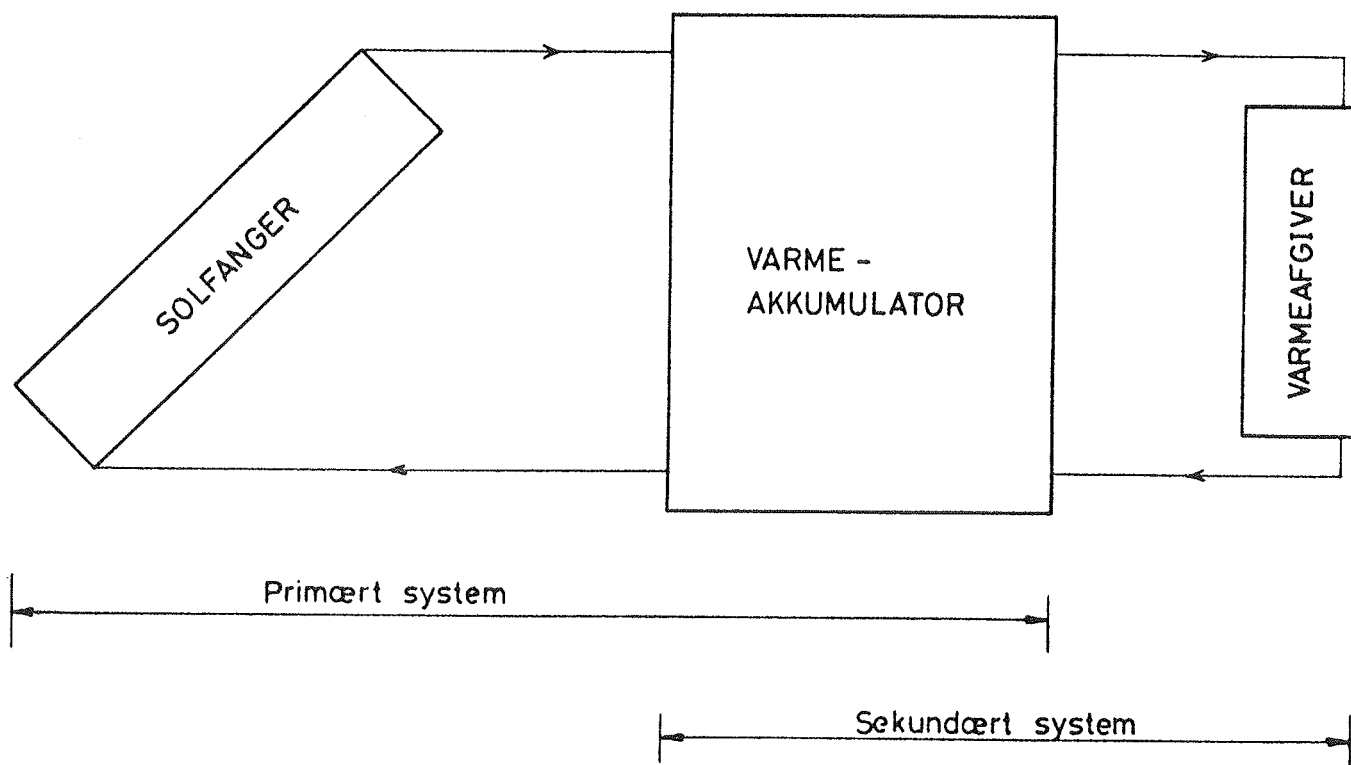


Fig. 3 Opdeling af solvarmesystem

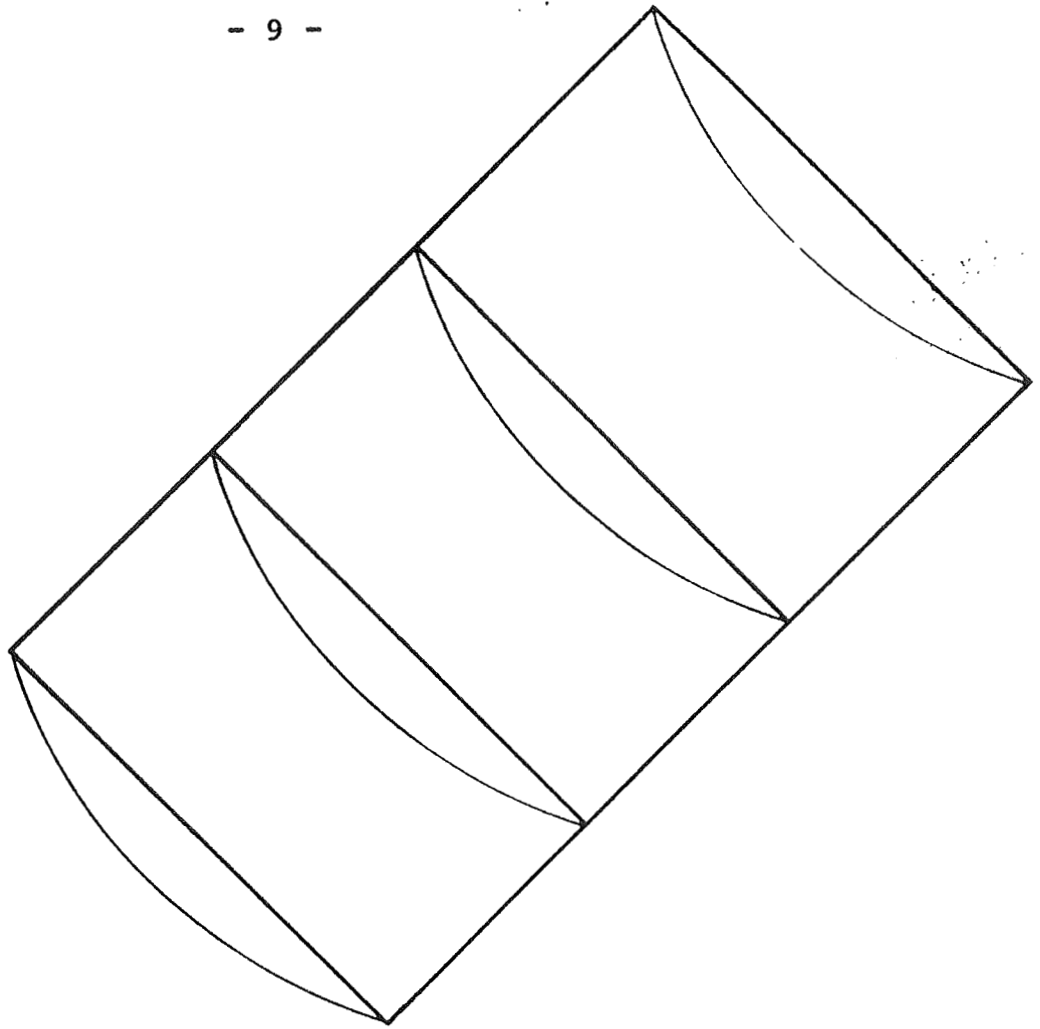


Fig. 4 a Parabolsk Cylinderflade

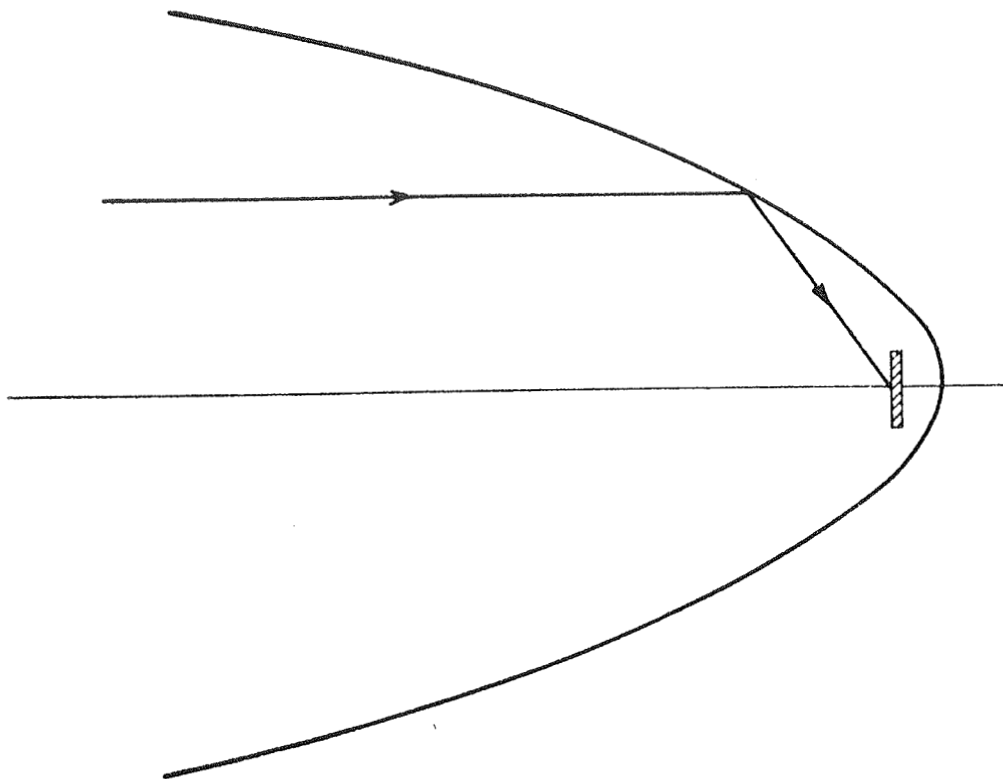


Fig 4 c Bagside belyst

Skema 2. Solfangeropdeling efter konstruktion

Solfangerkonstruktion.		
Reflektor (spejl)	paraboloid	
	parabolisk cylinderfalde (fig 4a)	
	glas med spejlende belægning	
	plast med spejlende belægning	
	poleret rustfrit stål	
		poleret aluminium
Refraktor (linse)	cirkulær	
	cylindrisk	
	almindelig samlelinse, (fig. 5a)	
	fresnel-linse (fig. 5b)	
	glas	
	klar plast	
Kollektor (opfanger)	enkelt-belyst (fig. 4b, 4c)	
	dobbel-belyst (fig. 4d)	
	absorbator	alm. sort overflade selektiv overfladebelægning (fig. 6a, 6b)
	absorbator med luft	konvektorplade (fig. 7a) fibermateriale (fig. 7b)
	absorbator m. væske	dobbel plade (fig. 8a) enkelt plade med rør (fig. 8b) tætsiddende parallelle rør (fig. 8c)
	absorbator m. fast stof	betonplade (fig. 9)
	dæklag	ubehandlet (fig. 10a) selektiv overfladebelægning (fig. 10b)
		honeycomp (fig. 10c) mini linser + spalteplade (fig. 10d) glas plast

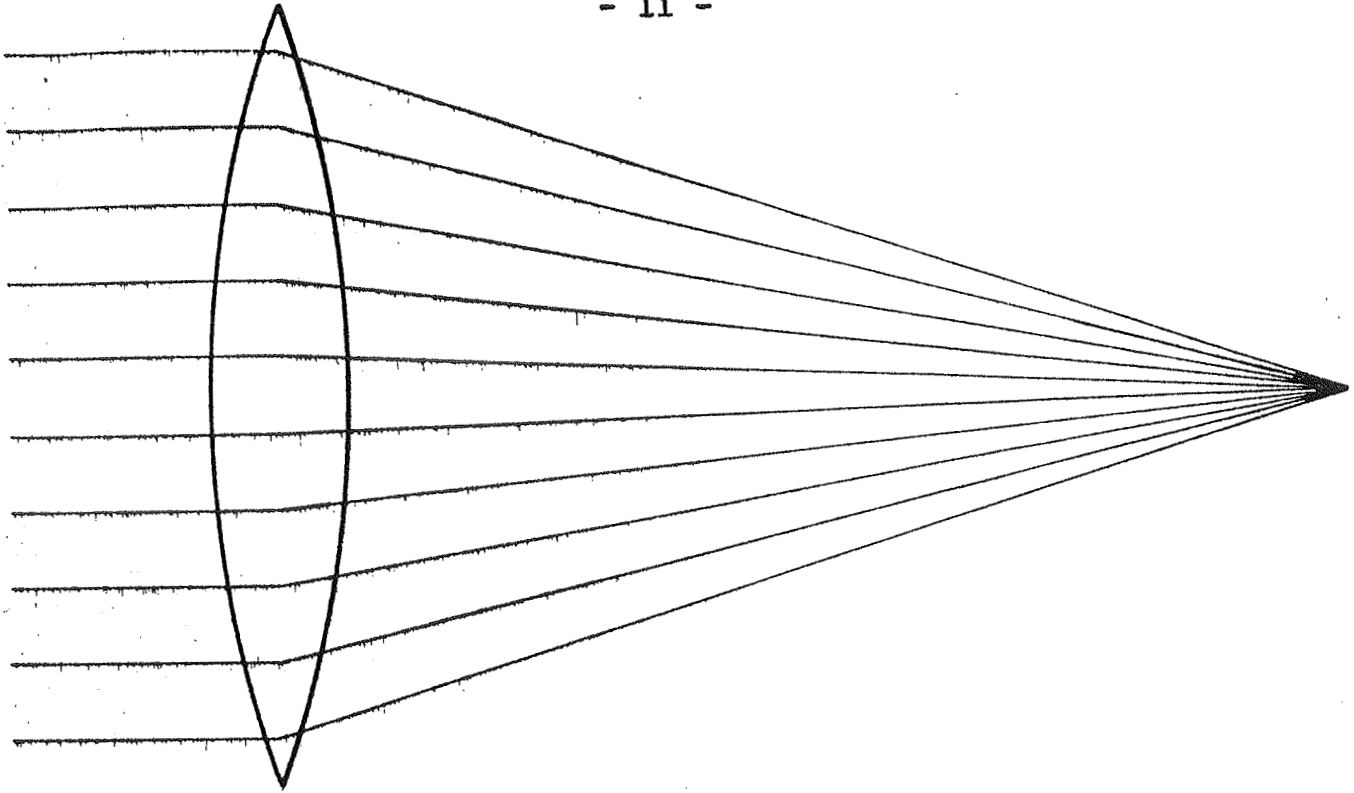


Fig 5a Almindelig samlelinse

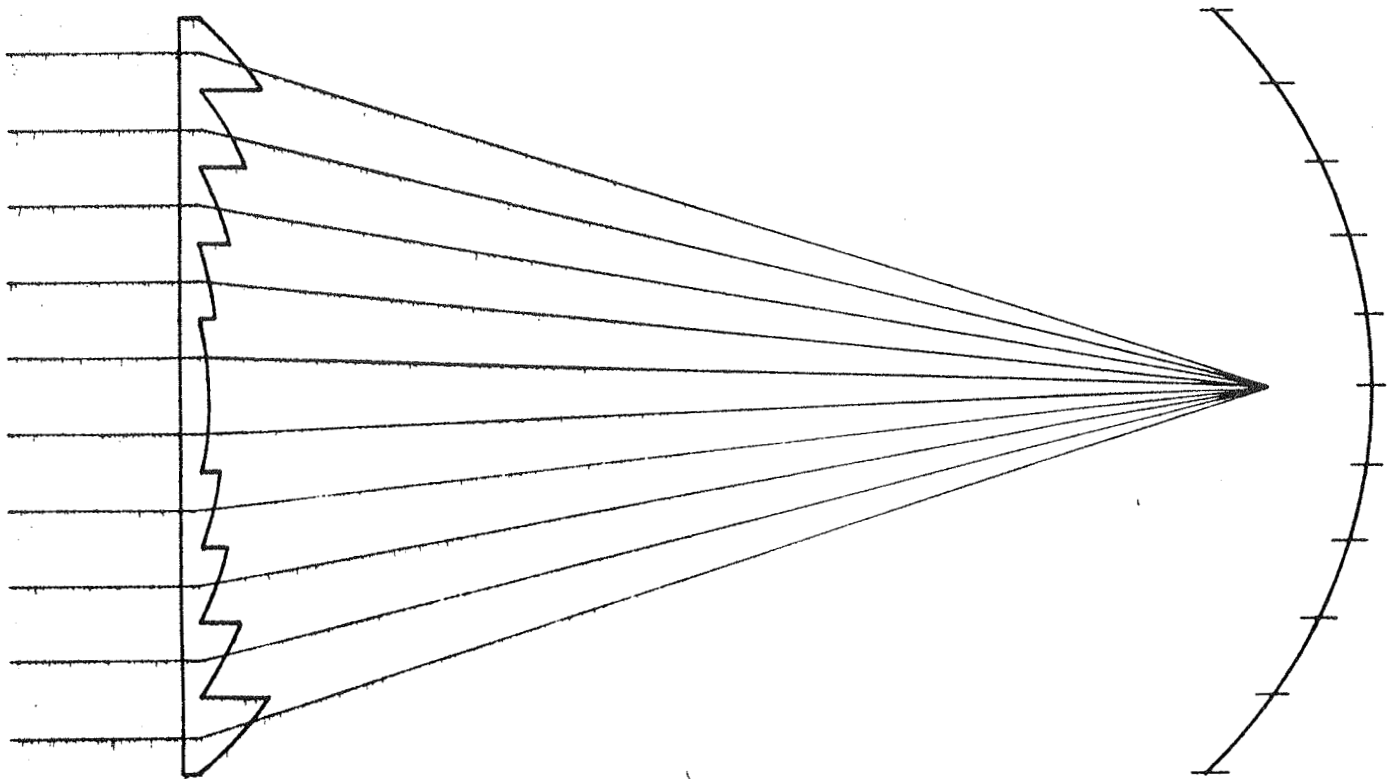


Fig 5b Fresnellinse

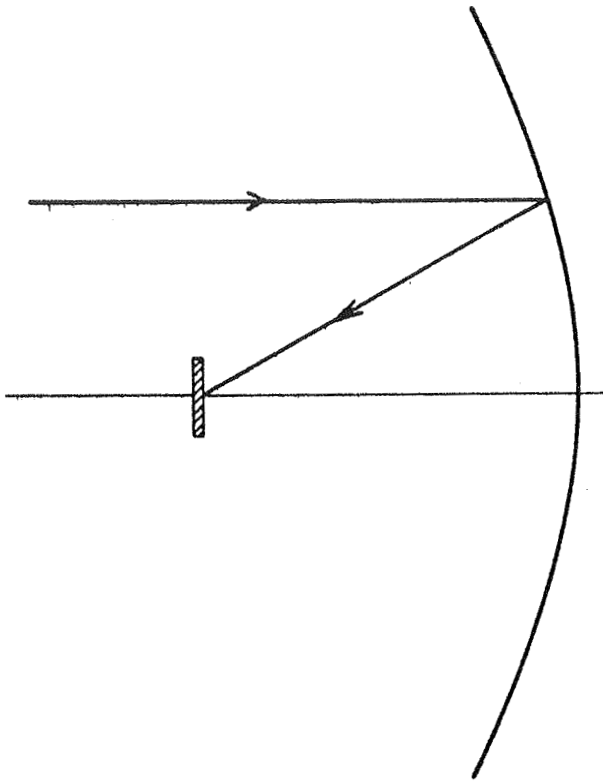


Fig. 4 b Forside belyst

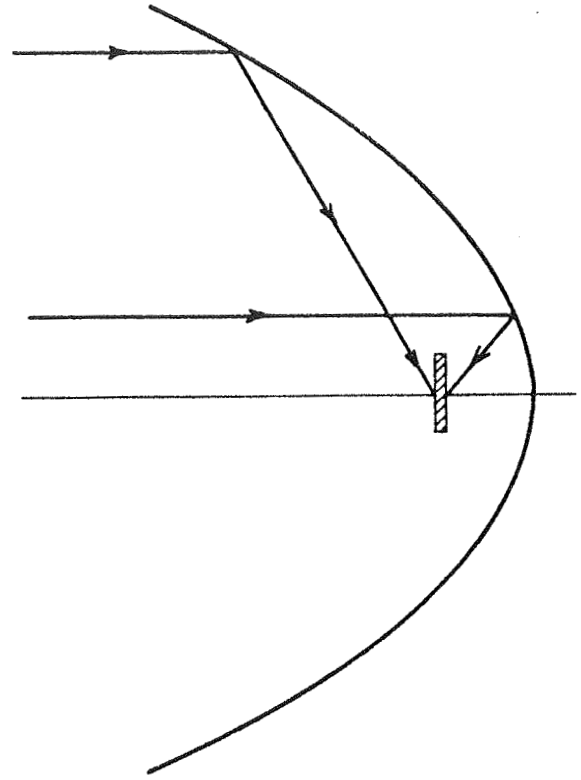


Fig. 4 d Dobbelt belyst

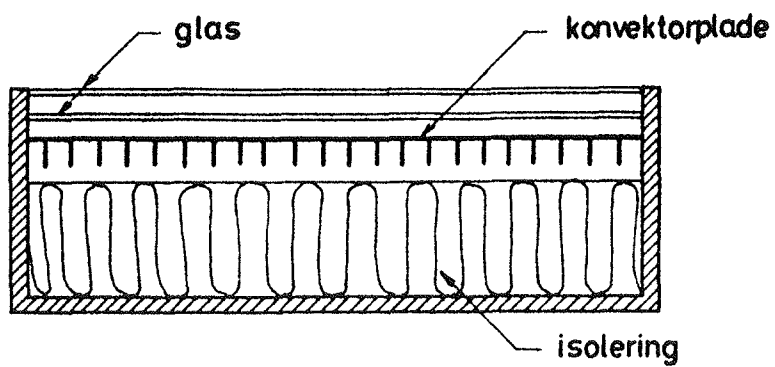


Fig. 7a Solfanger med konvektorplade

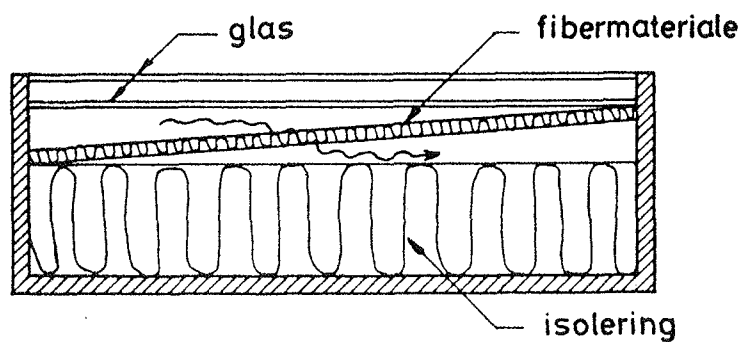


Fig. 7b Solfanger med fibermaterialer

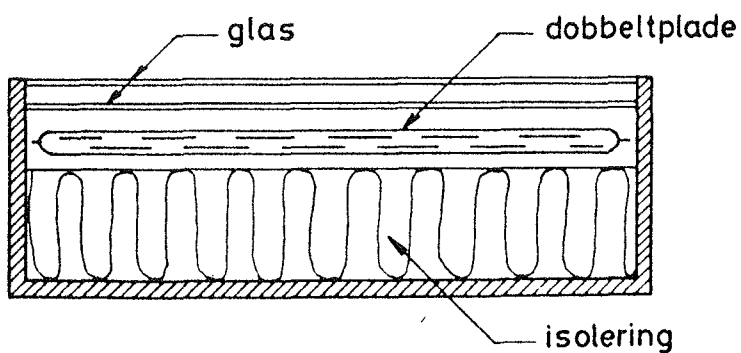


Fig. 8a Solfanger med dobbeltplade

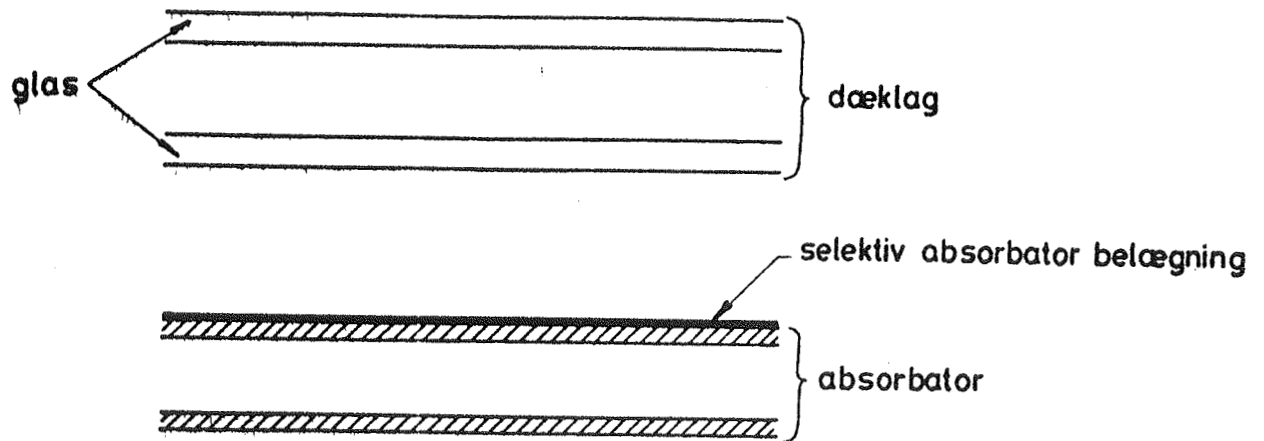


Fig. 6a. Selektiv belægning på absorbator

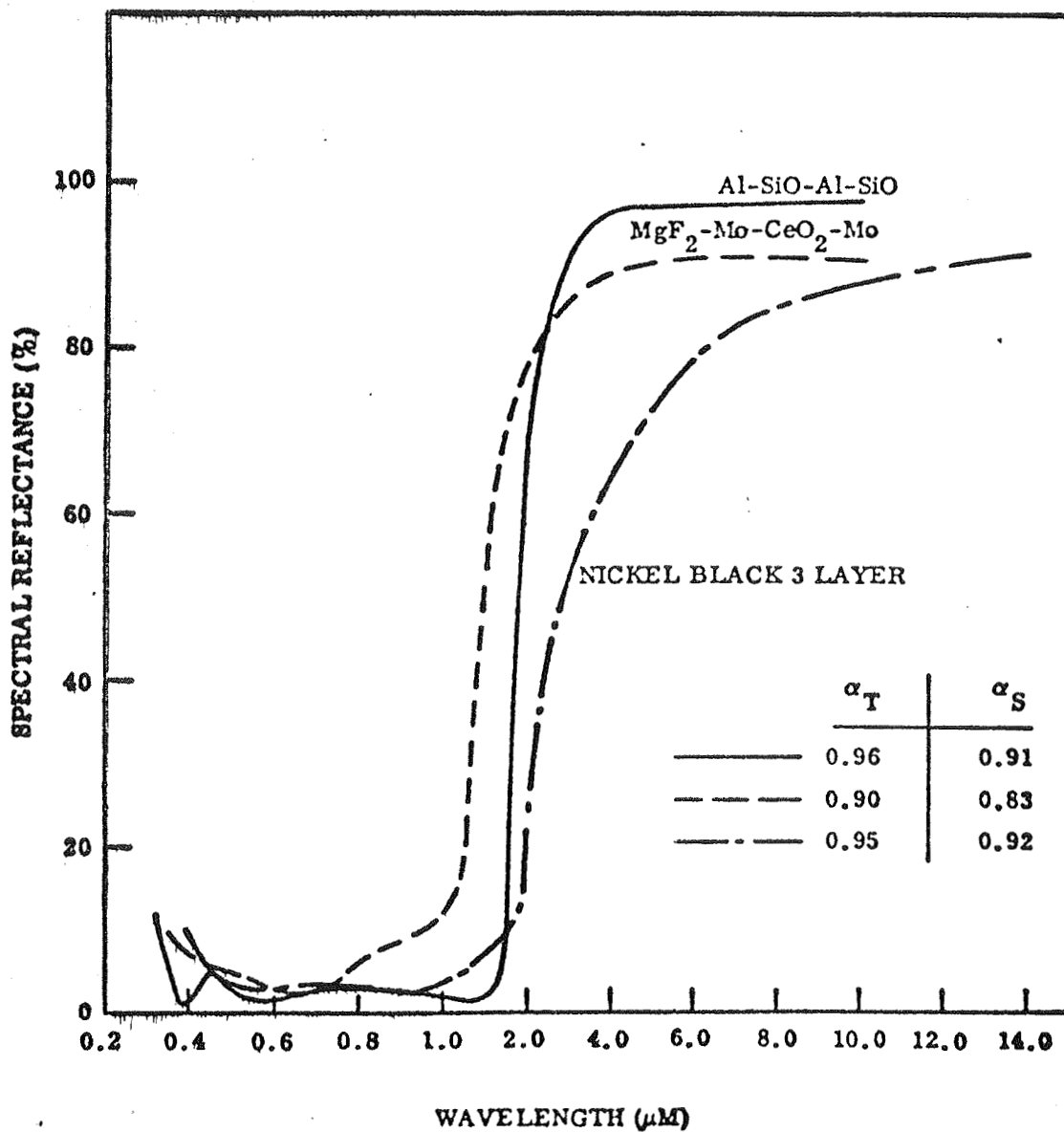


Fig. 6b. Selektiv absorbatorbelægning, taget fra [3].

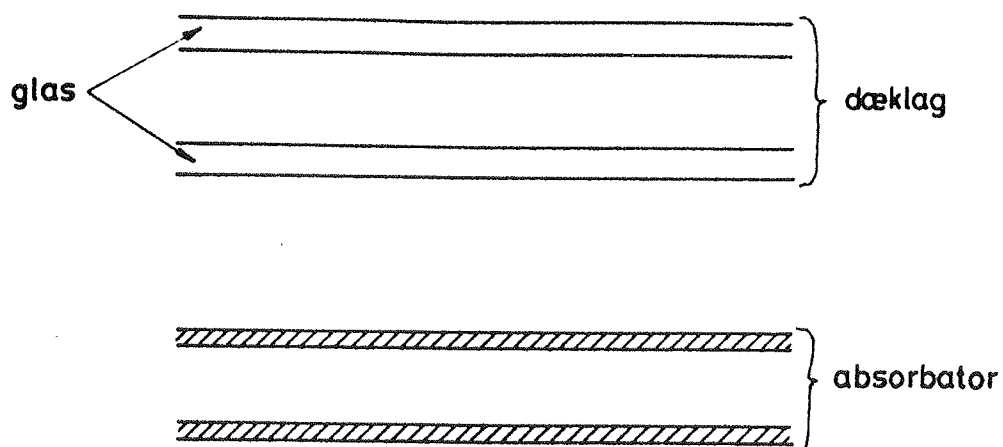
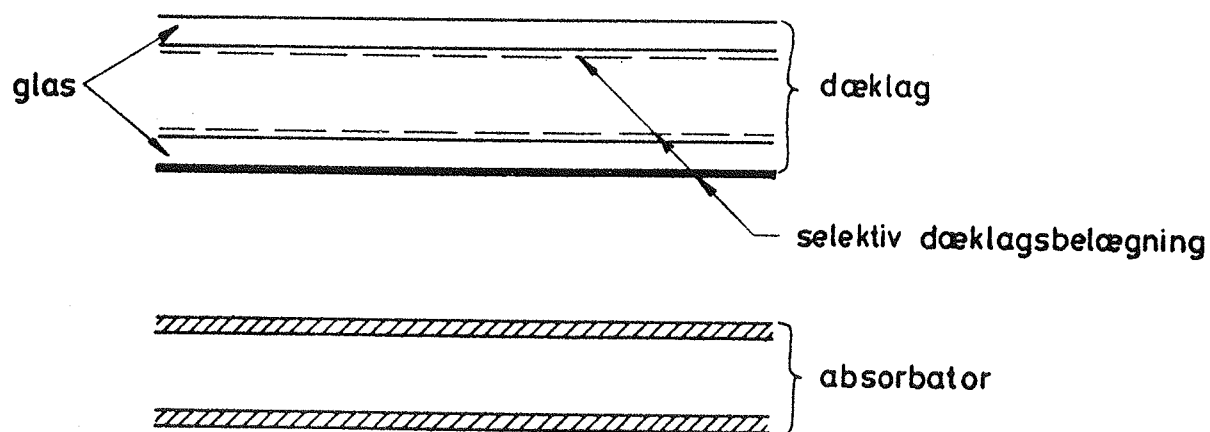


Fig. 10a Alm. ubehandlet termorude



Selektiv belægning på dæklag

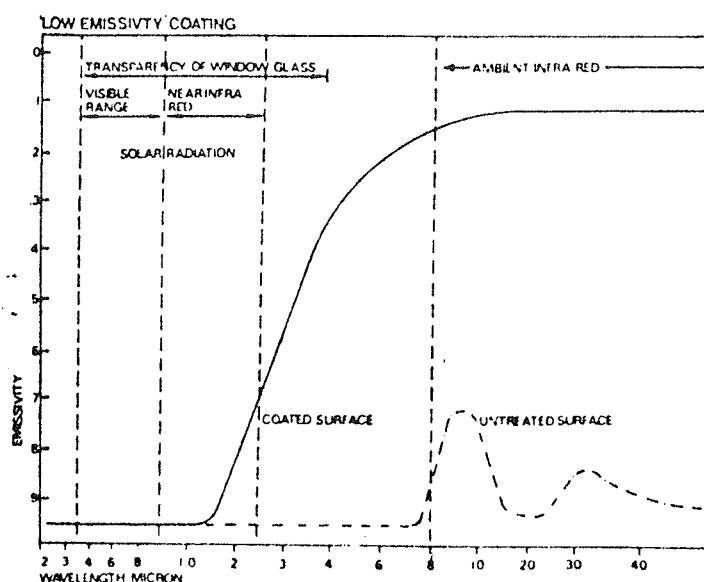


Fig. 10b. Selektiv belægning på dæklag. Kurven er fra [4].

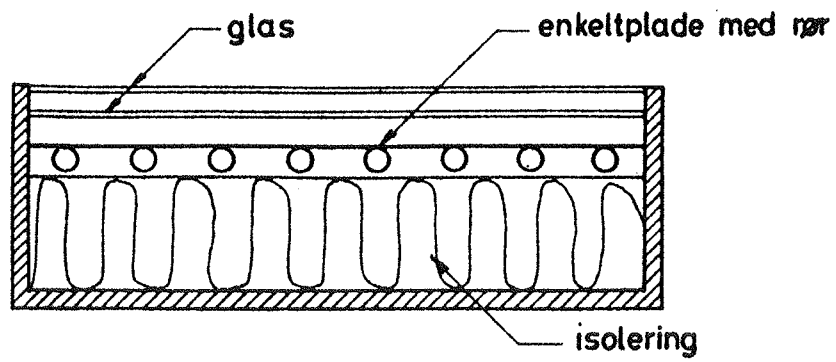


Fig. 8b Solfanger med enkeltplade med rør

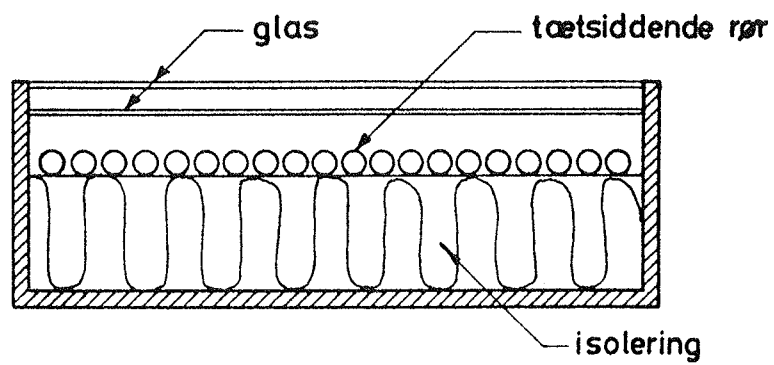


Fig. 8c Solfanger med tætsiddende rør

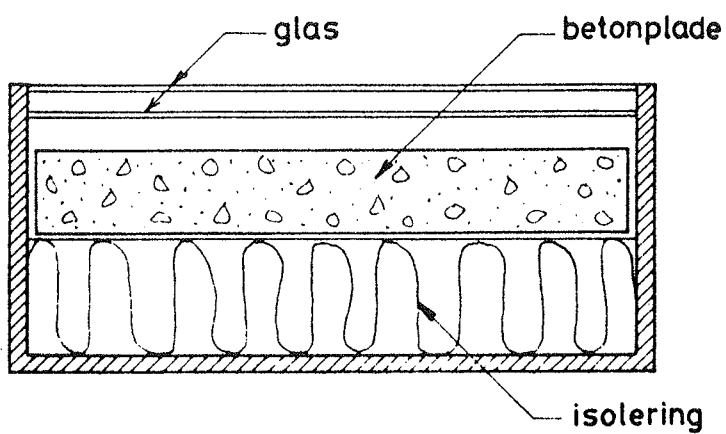


Fig. 9 Solfanger med betonplade

Skema 3. Solfangeropdeling efter virkemåde

Solfangervirkemåde	
Bevægelighed	dobbelt bevægelig (drejelig om to akser) enkelt bevægelig (drejelig om én skse) stationær
Styring af bevægelsen	urværk føler for direkte sollys
Transportmedium	væske gas
Transportmåde	naturlig cirkulation tvungen cirkulation
Driftsform (om dagen)	kontinuert med konstant mængde kontinuert med variabel mængde intermitterende (stop - start)
Styring af driften	føler for transport mediets temp. differens føler for solindfald og lufttemperatur

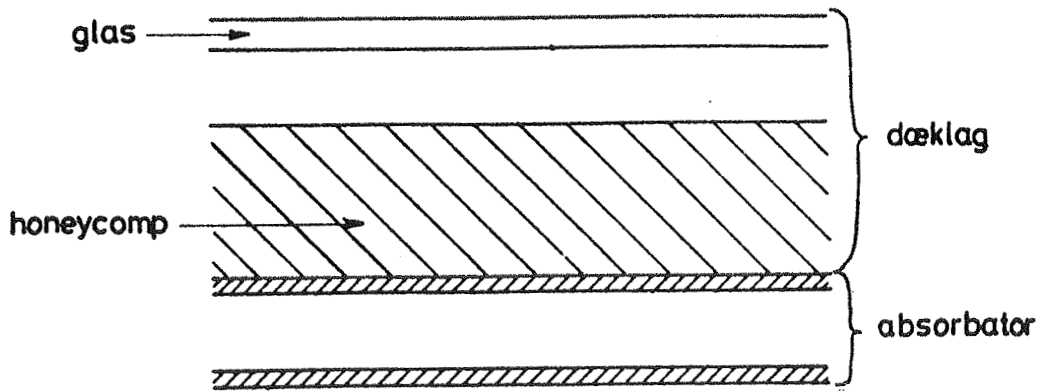
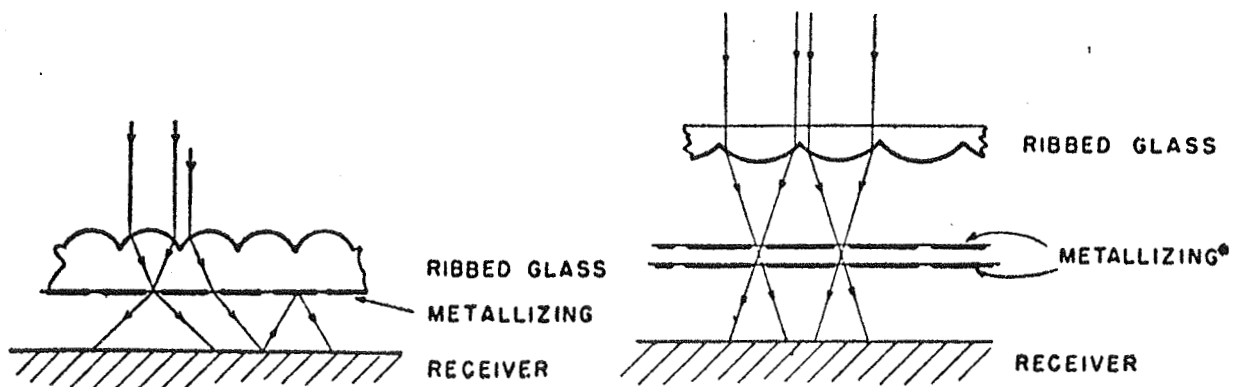


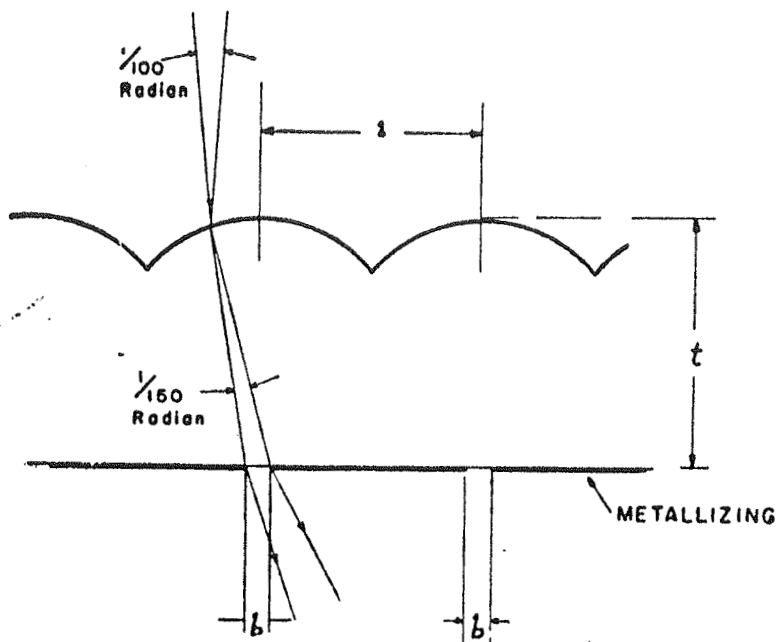
Fig. 10 c Dæklag med honeycomp



a) Single sheet Solartrap.

c) Two sheet Solartrap.

* Metallizing on one or both sides of glass sheet, or slotted aluminium sheet.



b) Enlarged section showing allowance for angular size of sun.

Fig. 10d. Minilinser og spalteplade. Tegning er fra [5].

Skema 4. Opdeling af varmeakkumulator

Varmeakkumulator		
Benyttet fysisk egenskab	1. varmfylde	
	2. faseændringsvarme	
	3. ab- og adsorptionsvarme	
	4. reaktionsvarme	
Det varmeakkumulerende stof	1. fast stof (sten, beton, metal) væske (vand, olie)	
	2. glaubersalt	
	3. ammoniak og vand	
	4. svovlsyre plus vand	
Opbevaringssystemet	tank	metal, beton, plast kugle, cylinder, kasse
	vold	vold af sten opbygget på isolering og dækket (fig. 11) med isolering, plast og jordlag
	grund	sten i isoleret krybekælder (fig. 12)
	grav	hul i jorden isoleres, beklædes med plast, fast stof eller væske fyldes i, overdækkes med plastfolie, bærende dæk, isolering og jordlag (fig. 13)
Isoleringen	traditionelle isoleringsmaterialer: mineraluld, plastskum, klinker.	
	modstrømsisolering (fig 14a, 14b)	
	vakuum isolering: pulver (fig 15a), multilag (fig. 15b)	
Overføringssystemet	direkte, d.v.s. solfanger, varmeakkumulator og varmeafgiver betjenes med det samme transport-medium	
	indbygget varmeveksler, f. eks. mellem luft og sten i et stenmagasin	
	varmeveksler f. eks- fra luft i solfanger til vand i akkumulator	

2. Varmeakkumulatoren

En varmeakkumulator karakteriseres ved den fysiske egenskab, man benytter sig af ved opbevaringen af varmen.

Der kan således være tale om:

- Varmedfyld
- Fase ændringsvarme
- Reaktionsvarme
- Absorptionsvarme

En varmeakkumulator kan opdeles i følgende dele:

- Det varmeakkumulerende stof
- Opbevaringssystemet
- Varmeisoleringen
- Overføringsystemet

Herudfra kan varmeakkumulatorer videre opdeles som vist i skema 4.

3. Varmeafgiveren

Man kan opdele varmeafgivere i to grupper, afhængig af hvad de opvarmer:

- Rumopvarmning
- Vandopvarmning

Desuden kan de opdeles efter:

- Transportmedium (vand, luft)
- Overføringsmåde (stråling, naturlig og tvungen konvektion, direkte indblæsning af luft)

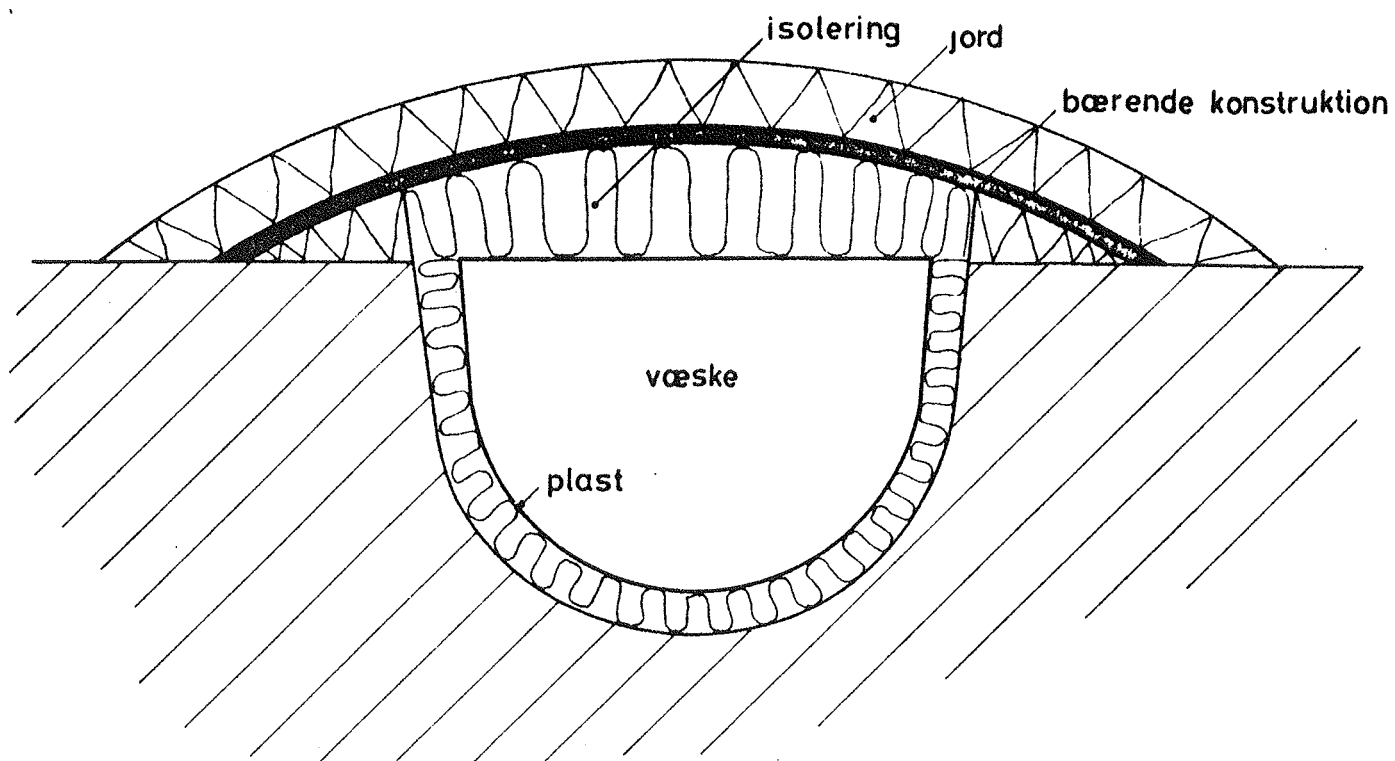


Fig. 13 Grav med væske

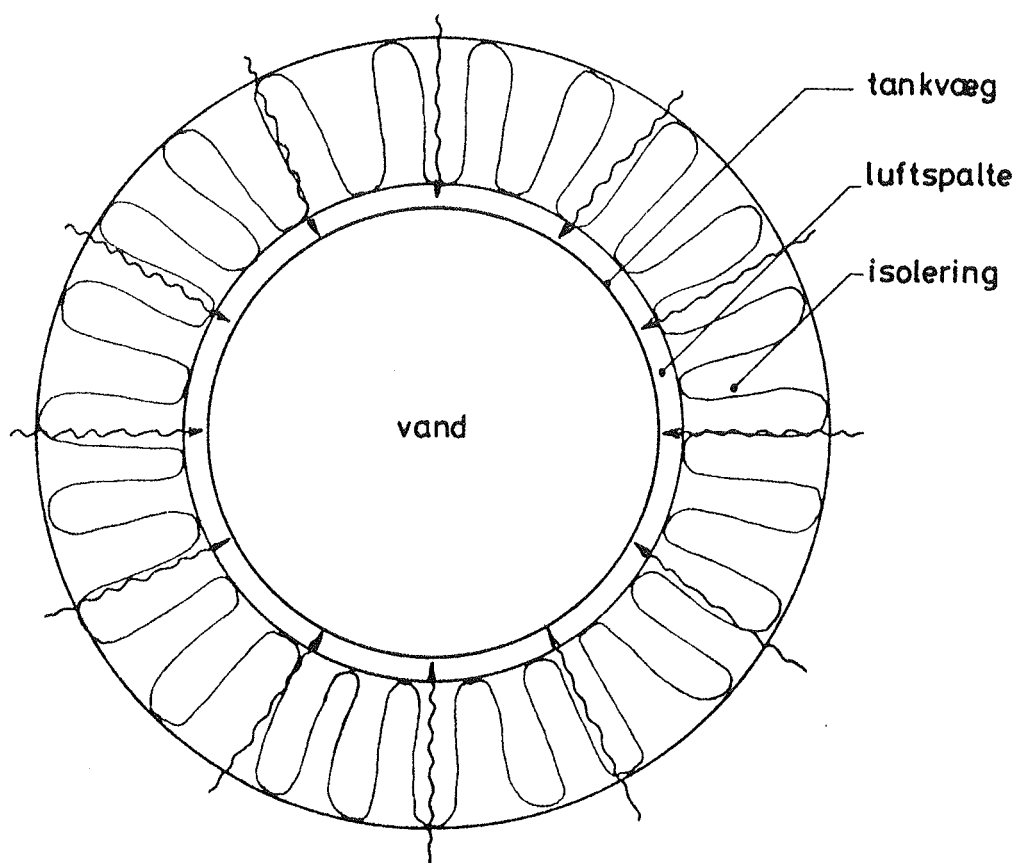


Fig. 14 a Modstrømsisoleret vandtank

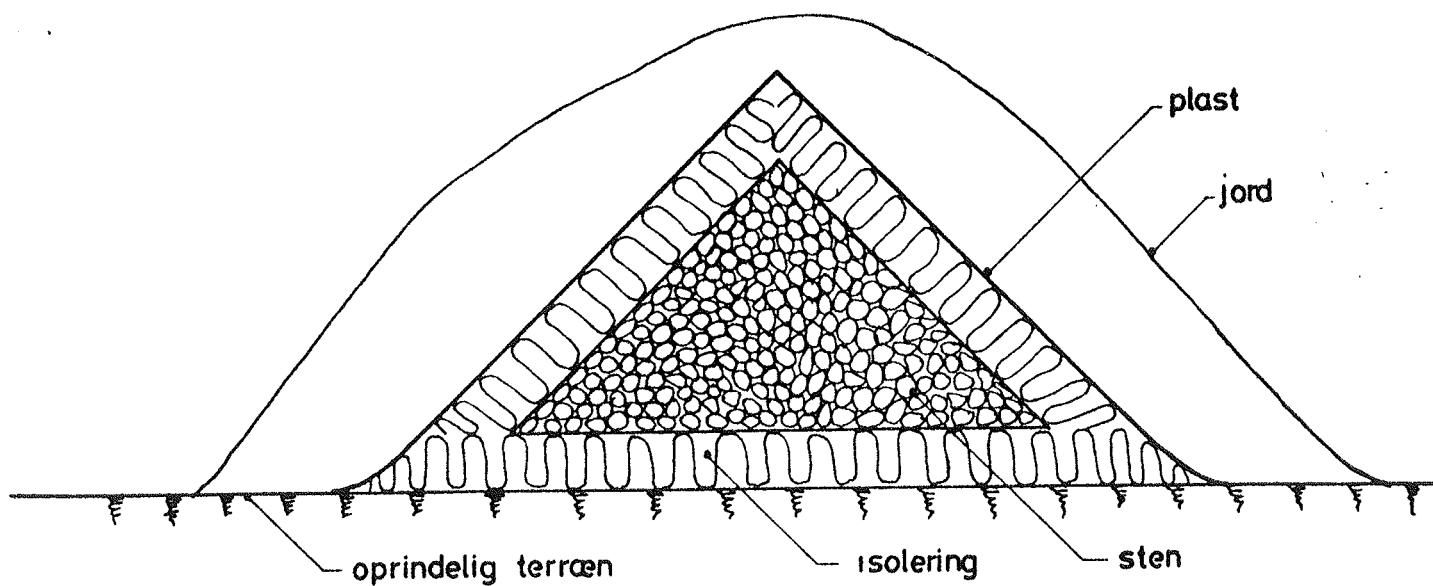


Fig. 11 Stenvold i tværsnit

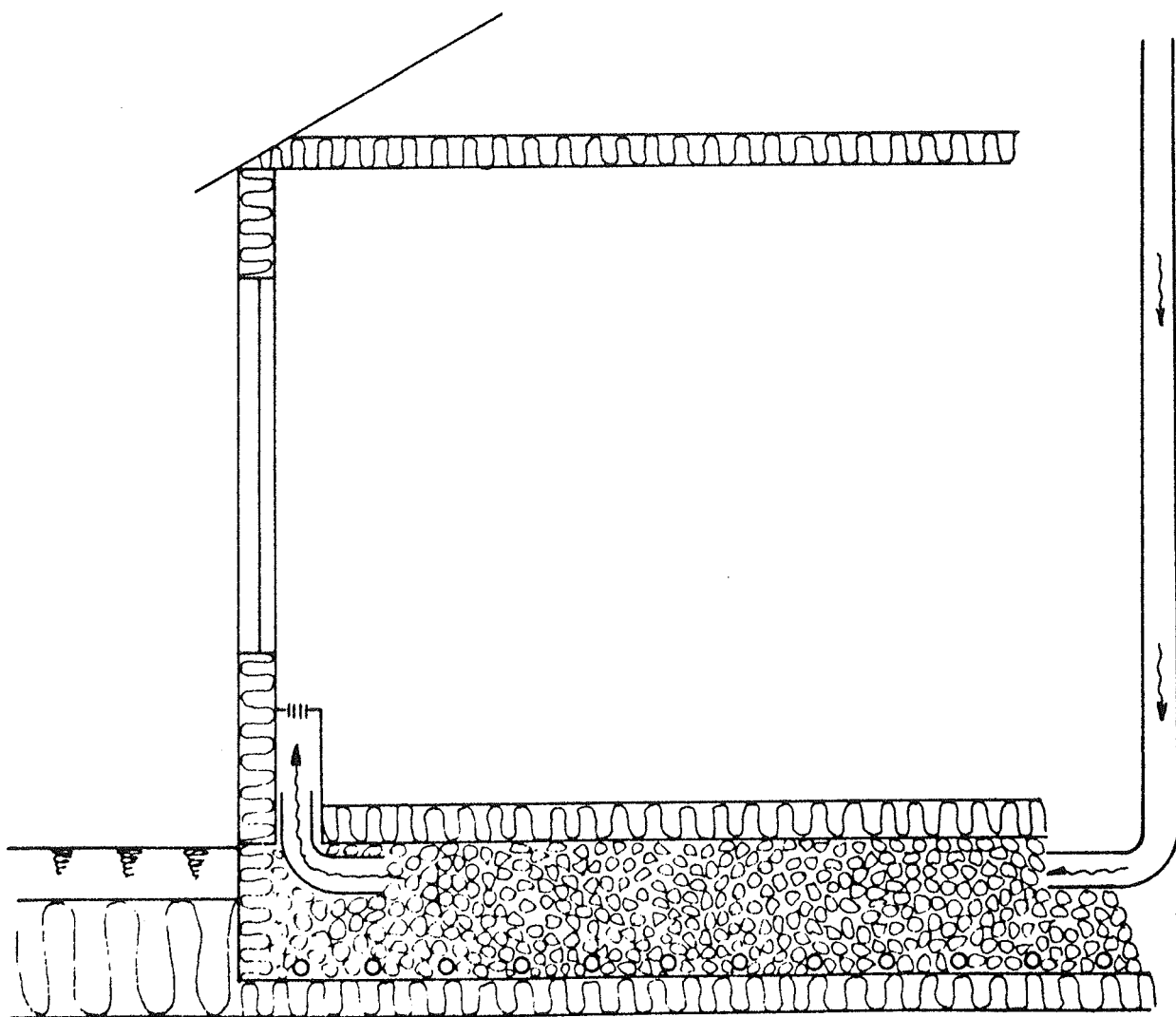


Fig. 12 Varmegrund

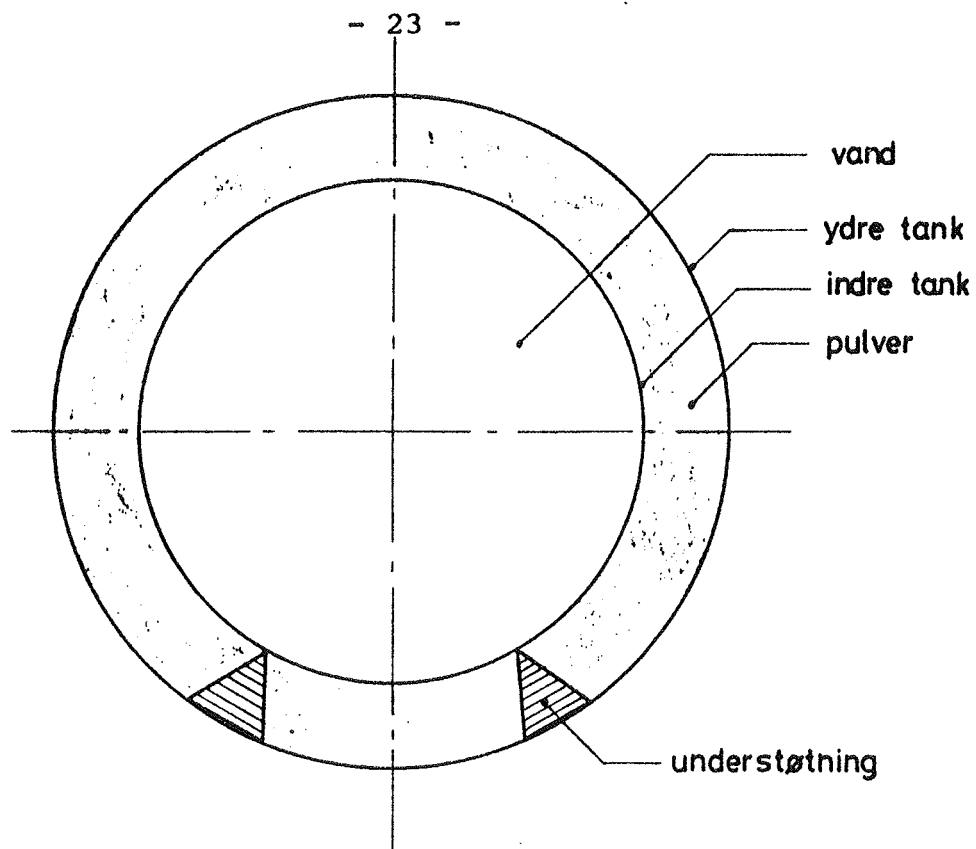


Fig. 15a Vakuum isolering med pulver

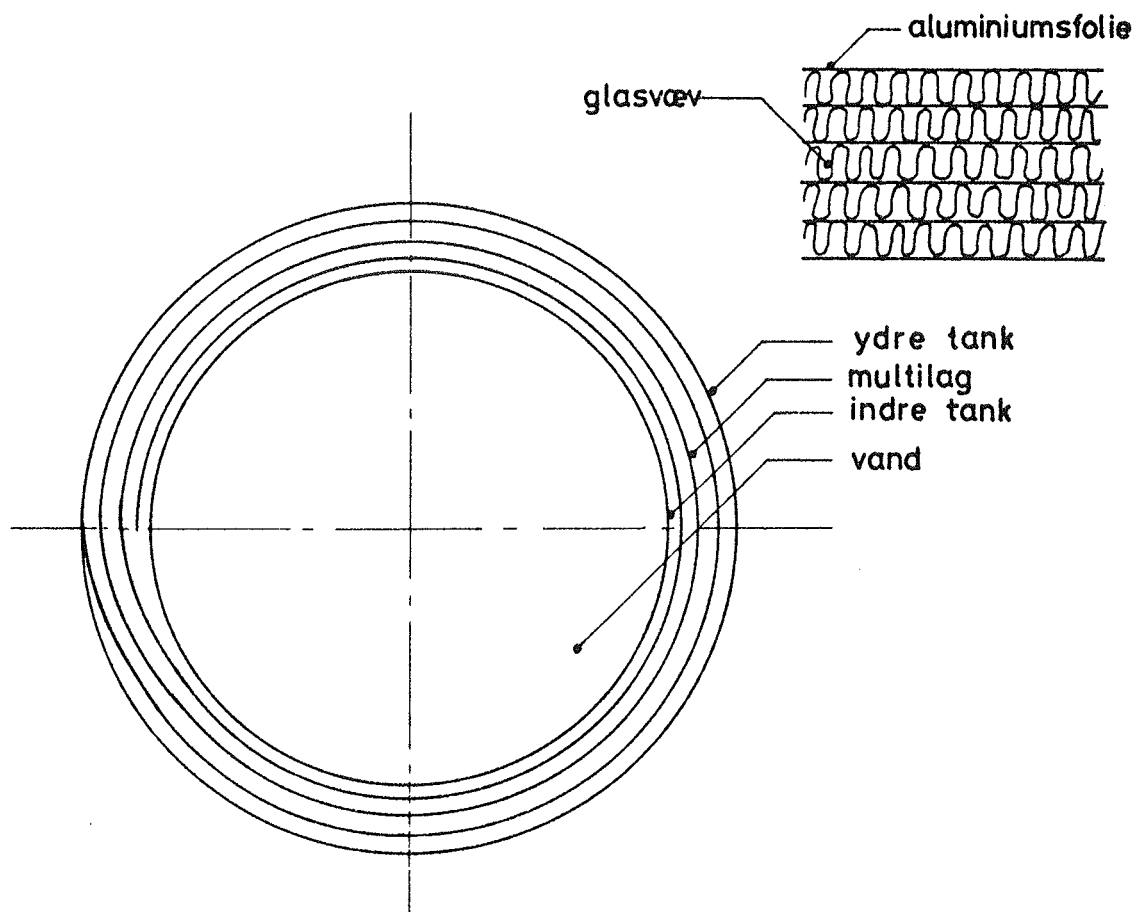


Fig 15b Vakuum isolering med multilag

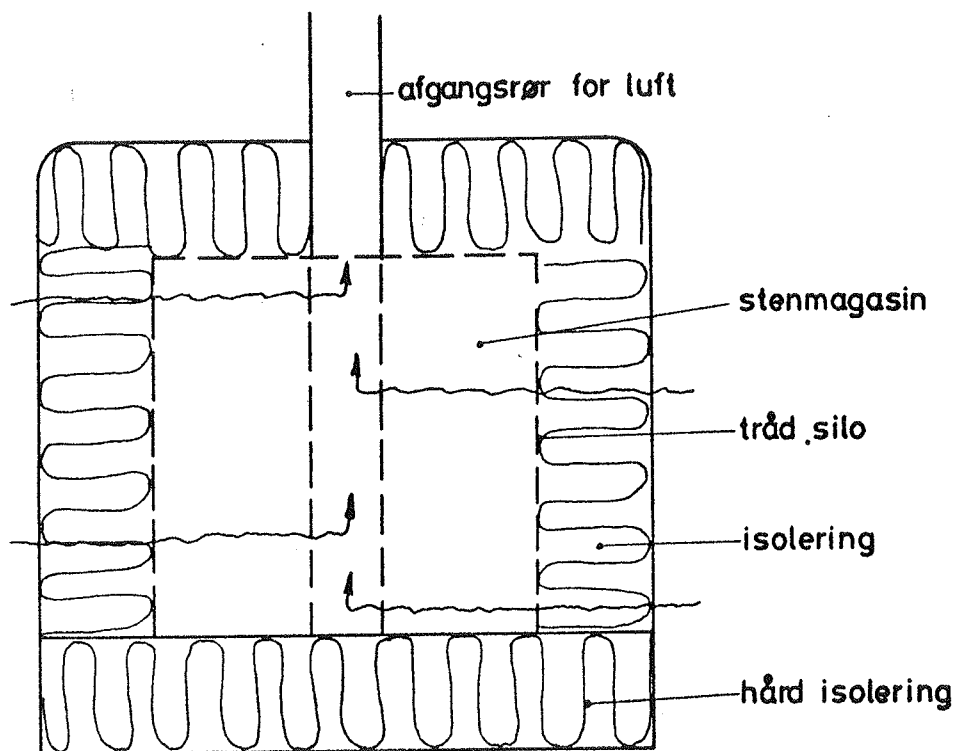


Fig. 14 b Modstrømsisoleret stenmagasin

Optimeringen af opvarmningssystemet kan opdeles i en række trin:

1. Fastlæggelse af, hvor stor en del af opvarmningsbehovet der skal dækkes af et solvarmesystem og af et traditionelt system.
- 2a. Fastlæggelse af, hvilket af de traditionelle opvarmnings-systemer der skal anvendes.
- 2b. Fastlæggelse af, hvilket solvarmesystem der skal anvendes.
- 3a. Optimering af det traditionelle opvarmningssystem.
- 3b. Optimering af solvarmesystemet.

Rækkefølgen af disse trin fremgår af fig. 16.

ad 1. Man må vælge dækningsgraden ud fra prisen pr. varmeeenhed for hvert af de to systemer. Prisen beregnes ud fra anlægs- og driftsudgifter for begge systemer taget over en årrække, der svarer til systemernes levetid. Man bliver nødt til for det traditionelle system at skønne energiprisen for denne årrække, hvorfor der på dette valg bliver en temmelig stor usikkerhed.

ad 2a og 2b. De to systemer kan være helt uafhængige af hinanden eller sammenbyggede. Hvis man som det traditionelle system benytter el-radiatorer og som solvarmesystemets varmeafgiver konvektorer med vand, har man to uafhængige systemer. Hvis man i stedet for el-radiatorer laver et el-opvarmet vandkredsløb, der forsyner konvektorerne, har man et sammenbygget system.

ad 3a. Dette system er en normal opgave bortset fra, at det er i brug i kortere tid end normalt.

ad 3b. Her har vi det egentlige problem, hvorfor vi vil se nærmere på det.

Funktionskrav

Solfanger:

Udover de sædvanlige krav til styrke og holdbarhed har man nogle krav til de forskellige elementer.

Reflektoren skal bevare den geometriske form, og reflektionskoefficienten må ikke falde væsentligt.

Refraktoren skal bevare den geometriske form, og materialets gennemskinnelighed må ikke væsentligt forringes.

Kollektoren skal kunne tåle høje temperaturer og hurtige temperaturændringer. De høje temperaturer kan især give problemer for dæklagene og isoleringen, hvis man ønsker at anvende plastmaterialer. Dæklaget skal være "selvrensende", da smuds ned-sætter transmissionskoefficienten.

Varmeakkumulator:

Varmeakkumulatoren skal opfylde de sædvanlige styrke- og sikkerhedsmæssige krav. Den skal kunne tåle høje temperaturer og store temperaturændringer. Der må ikke ske unødigt varmespild ved svigt af isoleringen eller ved direkte tab af det varmeabsorberende medium.

Varmeafgiveren:

Varmeafgiveren skal kunne reguleres, så man får den ønskede temperatur. Den må ikke give lugtgener, dette gælder især for systemer, hvor luften trækkes gennem et stenmagasin.

Optimeringsproblematikken

Optimeringen af et opvarmningssystem, som omfatter et solvarmesystem, er mere kompliceret end optimeringen af et traditionelt opvarmningssystem. Dels har man to systemer, og dels er solvarmesystemet vanskeligt at optimere, bl.a. fordi man har en langtidslagring af varmen.

Optimering af solvarmesystem

Det er vigtigt, at man optimerer det samlede solvarmesystem. Det er således den samlede ydeevne og pris for solfanger, varmeakkumulator og varmeafgiver, som man må se på ved dimensioneringen.

De enkelte deles ydeevne fastlægges ud fra deres størrelse og effektivitet. Størrelsen kan uden videre varieres, hvorimod effektiviteten kun kan ligge i visse intervaller og muligvis i spring mellem værdierne svarende til forskellige typer af solfangere, varmeakkumulatorer og varmeafgivere.

Idet man går ud fra en bestemt resulterende ydeevne, prisen for de enkelte dele som funktion af ydeevne og endelig solindfaldet, skal man finde den optimale kombination af størrelse og effektivitet for hver af de tre indgående dele i systemet.

Dette kan gøres ved iteration som vist på fig. 17, hvor man har opdelt optimeringen i følgende trin:

- 1a. Valg af solfangertype.
- 1b. - - varmeakkumulatorstype.
- 1c. - - varmeafgivertype.

- 2a. Valg af solfangerudformning og orientering.
- 2b. - - varmeakkumulatorudformning og placering.
- 2c. - - varmeafgiverudformning.

- 3. Valg af drifttemperaturer som funktion af tiden.

- 4a. Beregning af solfangerstørrelse.
- 4b. - - varmeakkumulatorstørrelse
- 4c. - - varmeafgiverstørrelse.

De tre sammenbyggede iterationer A, B og C må klares i rækkefølgen C, B og A.

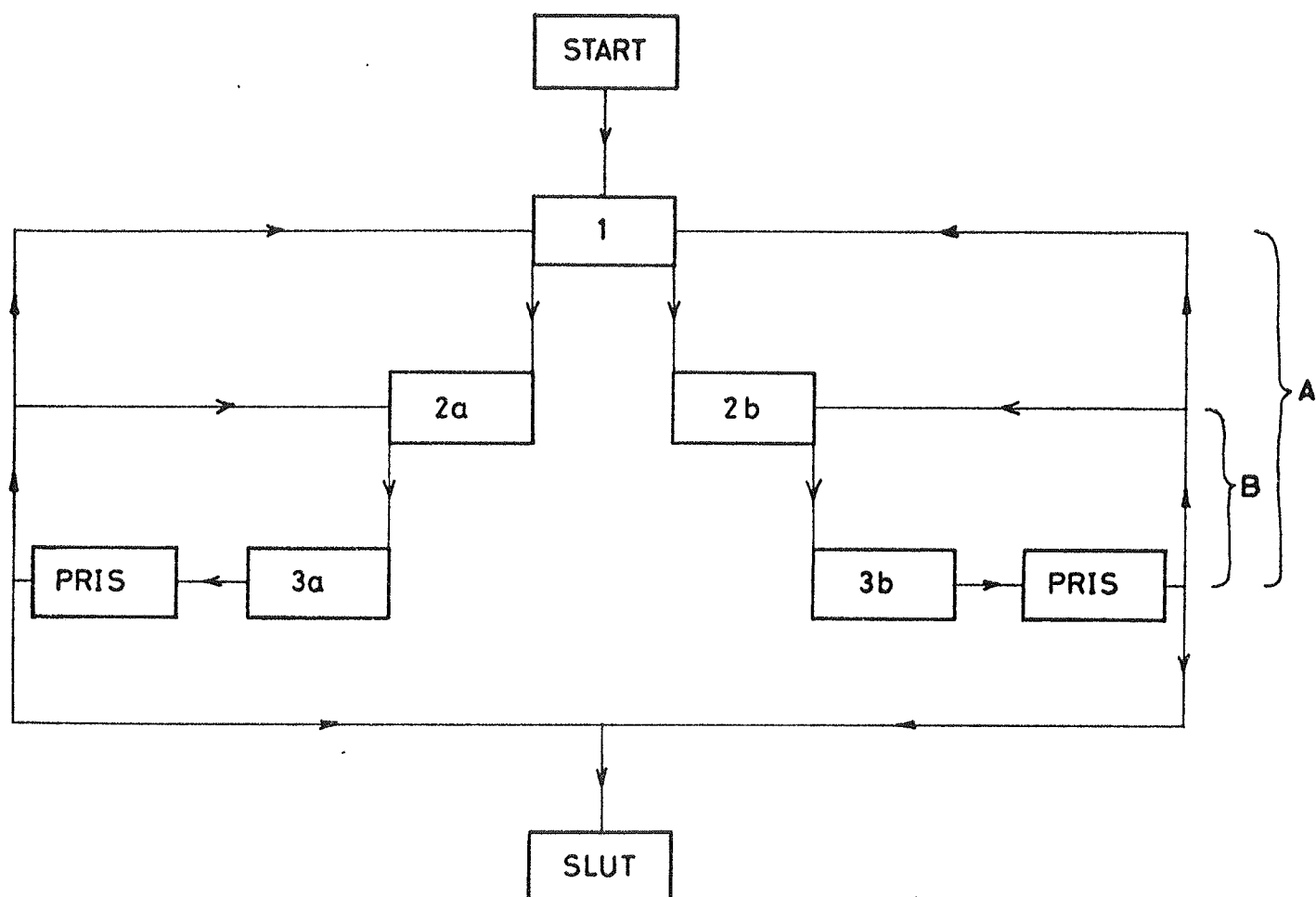


Fig. 16 Optimering af opvarmningssystem

A er en overordnet iteration

B er en underordnet iteration

Litteraturliste

- 1 Referenceåret, SBI-rapport 89.
- 2 Nul-energihus projektet, Statusrapport, feb. 1974.
- 3 Proceedings of the Solar Heating and Cooling for Buildings Workshop. Part I 1973, p 30.
- 4 Building Service Engineer, marts 1974, bind 41, p 276.
- 5 Transactions of the Conference on the Use of Solar Energy. Arizona 1955, p 35.

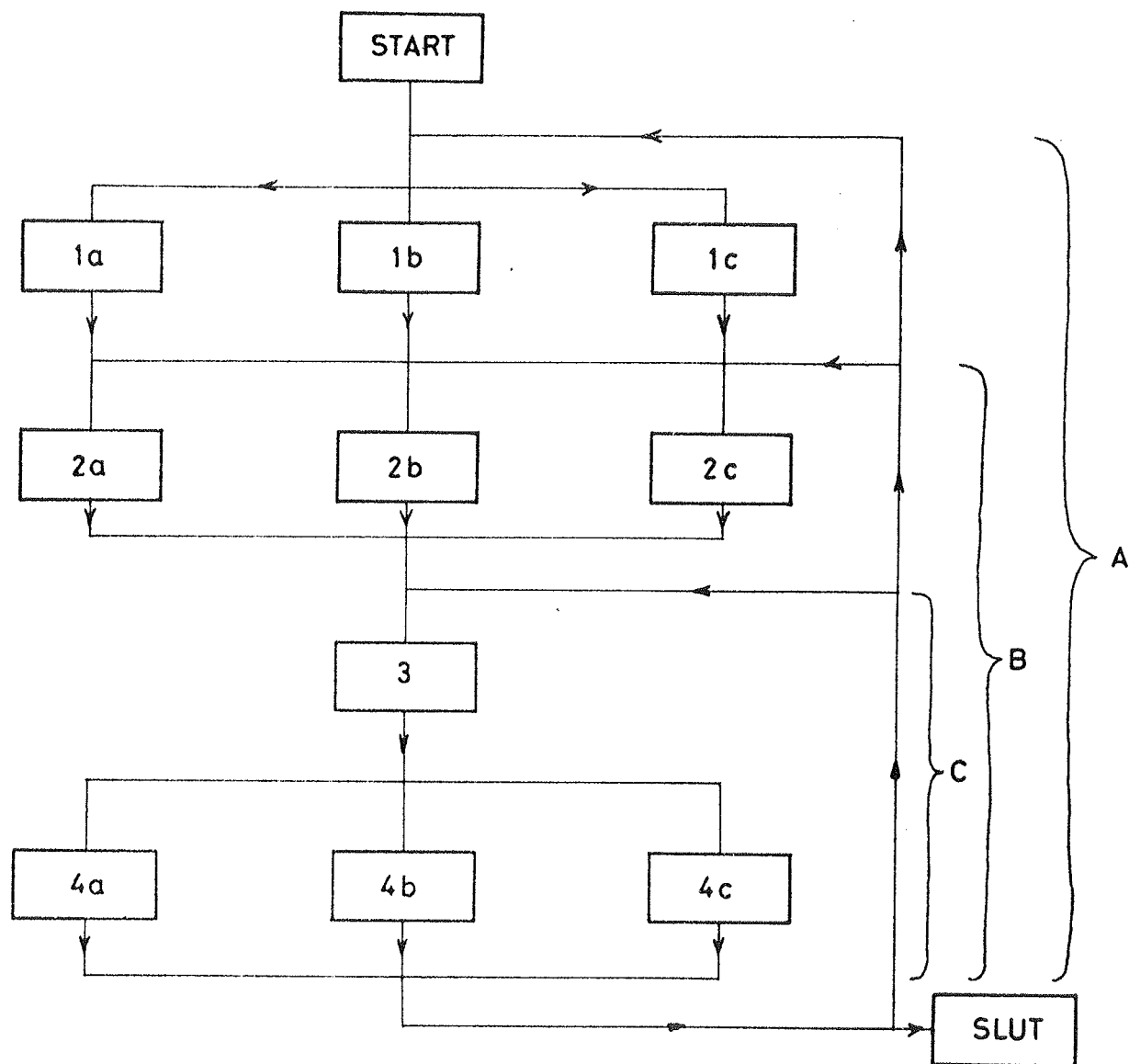


Fig.17 Optimering af solvarmesystem