

Kombineret solvarme - varmepumpeanlæg i Næstved.

Klaus Ellehauge
Niels Mejlhede Jensen

Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks tekniske Højskole
Meddelelse nr. 155

Energiministeriets Solvarmeprogram - rapport nr. 27

Juni 1984

INDHOLDSFORTEGNELSE

	FORORD.....	3
1.	INDLEDNING.....	5
2.	SAMMENFATNING.....	6
3.	ANLÆGGETS OG BEBYGGELSENS UDFORMNING.....	9
3.1	Generel beskrivelse af anlægget.....	9
3.2	Beskrivelse af bebyggelsen.....	12
3.3	Varmecentralen.....	13
3.4	Solfangeren.....	16
3.5	Forvarmebeholder og varmtvandsbeholder.....	17
3.6	Jordslanger.....	19
3.7	Varmepumper.....	19
3.8	Supplerende gasfyr.....	21
3.9	Væskeflow.....	21
3.10	Styresystem.....	21
4.	MÅLESYSTEMET OG DET UDFØRTE MÅLEPROGRAM.....	29
5.	ANLÆGGETS FUNKTION VURDERET UD FRA MÅLEPROGRAMMET.....	35
5.1	Bebyggelsens forbrug.....	35
5.2	Varmens produktion.....	38
5.3	Varmetab.....	52
5.4	Funktion af solfanger.....	54
5.4.1	Solfangerens effektivitet.....	54
5.4.2	Overførsel af varme fra solfangeren.....	57
5.4.3	Solfanger med to hældninger.....	58
5.5	Styring af anlægget.....	63
5.5.1	Styring af pilotsolfanger.....	63
5.5.2	Styring af varmpumper.....	64
5.5.3	Styring af sekundærkreds (kredsen mellem de to beholdere).....	65
5.5.4	Styring af gulvvarmesystemet.....	65
5.5.5	Styring af varmetilførsel til varmtvandsbeholder.....	66
5.6	Varmepumper.....	68
5.7	Jordslangerne.....	69

5.8	Solvarme til brugsvand.....	71
5.9	Samlet vurdering af anlægget.....	72
6.	REFERENCER.....	75
7.	SUMMARY.....	76
	Bilag I.....	77
	Bilag II.....	79

FORORD

Nærværende rapport omhandler et kombineret solvarme-varmepumpeanlæg for en tæt lav bebyggelse i Næstved. Anlægget er indgået som et demonstrationsprojekt under Energiministeriets forsknings- og udviklingsprogram vedrørende solvarmeanlæg.

Demonstrationsprojektet er udført i et samarbejde mellem Teknologisk Institut, Varmeteknik samt Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. Teknologisk Institut har forestået tilsyn med opførelsen af anlægget samt tilsyn med driften af anlægget. Laboratoriet for Varmeisolering har forestået målinger på anlægget samt vurderinger af disse.

Anlægget i Næstved må betegnes som et såkaldt 1. generations-solvarmeanlæg, d.v.s. et anlæg, der er udtænkt og opført før der var reelle erfaringer at bygge på.

Målingerne på anlægget har fundet sted i perioden februar 1980 til juli 1981. Nærværende rapport er hovedsageligt skrevet i efteråret 1981, men uheldige omstændigheder har forsinket udgivelsen af rapporten.

1. INDLEDNING

Nærværende rapport omhandler et kombineret solvarme-varmepumpe-anlæg for en tæt lav bebyggelse i Næstved.

Rapporten indeholder en beskrivelse af bebyggelsen og af opvarmningssystemet. Endvidere er målesystemet og målingerne beskrevet samt erfaringer fra driften af anlægget. Målingerne og iagttagelser af anlægget i øvrigt er benyttet til at vurdere anlæggets funktion.

Forud for projektet er der foretaget en EDB-beregning af et solvarmesystem, som i hovedprincipperne svarer til anlægget i Næstved. Disse beregninger er beskrevet i ref. 1. Det skal understreges, at det opførte anlæg på en række punkter afviger fra det beregnede anlæg.

Anlægget udgør, sammen med et gasfyr, der virker som supplerende varmforsyning, varmecentralen for 2 blokke af en større bebyggelse. I den samlede bebyggelse er der ca. 200 lejligheder.

I de 2 blokke er der i alt 14 lejligheder. De øvrige blokke i bebyggelsen opvarmes ved fjernvarme.

Bygherre for bebyggelsen er L.A.B. byggeselskab. Arkitekt er Suensons Tegnestue A/S og rådgivende ingeniørfirma for bebyggelsen er S.E. Brockhus A/S.

Projekteringen af varmecentralen er udført af det rådgivende ingeniørfirma "Energia" ved rådgivende civilingeniør Ole Jensen. De to blokke som forsynes med solvarme/jordvarme blev færdiggjort til indflytning d. 1 februar 1979.

Selve varmecentralen påbegyndtes i vinteren 1979 og er færdiggjort efteråret 1979.

Indtil varmecentralen blev færdig har lejlighederne været opvarmet ved gasvarmerne alene.

Adresse for bebyggelsen er Nøddehegnet, 4700 Næstved.

2. SAMMENFATNING

Bebyggelsen har i måleperioden haft et årsforbrug på 131 MWh/år. Heraf er brugt 105 MWh/år til rumopvarmning samt 26 MWh/år til brugsvandsopvarmning. Rumopvarmningsforbruget har været 0,6% større end det beregnede forbrug for et normalår, medens brugsvandsforbruget har været 41% mindre.

Der har i måleperioden været produceret 176 MWh/år i varmecentralen. En stor del af denne varme (45 MWh/år) er endt som tab. Varmeproduktionen har fordelt sig således.

fra solfanger	17 MWh/år	10%
fra jordslanger via varmepumper	72 MWh/år	41%
fra gasfyr	33 MWh/år	19%
fra el-forbrug til varmepumpe	39 MWh/år	22%
fra el-forbrug cirkulationspumpe	15 MWh/år	8%

176 MWh/år 100%

Foruden de 17 MWh/år, som solfangeren har leveret til forvarmebeholderen, har solfangeren også leveret 18 MWh/år til jordslangerne. En del af denne energi er nyttiggjort af varmepumperne og er inkluderet i de 72 MWh/år.

Solfangeren har altså i alt produceret 35 MWh/år. Dette svarer til 411 kWh/m² solfanger. Af disse er 58 kWh/m² solfanger nyttiggjort direkte til det varme brugsvand, medens 141 kWh/m² er tabt i varmecentralen. De resterende 212 kWh/m² er leveret til jordslangerne. I hvor høj grad denne energi er kommet anlægget til gode er vanskeligt at vurdere.

I ref. (1) er der foretaget beregninger af et anlæg svarende til anlægget i Næstved. Der er her benyttet en simpel model for jordlageret, men der konkluderes, at solvarme tilførsler til jordlageret ikke har væsentlig indflydelse på varmepumpernes ydelse, idet der ville have været en større varmetilførsel fra de omkringliggende jordlag, såfremt solenergien ikke var tilført.

Varmepumperne har i perioden kørt med en gennemsnitlig effektfaktor på 2,5. Sammenlignet med andre varmepumper må det nok vurderes, at varmepumperne har haft en forholdsvis høj virkningsgrad. Samtidig har de dog også været hårdt belastede, hvilket har medført driftsstop og reparationer.

Det ses altså, at både solfangere og varmepumper har fungeret med rimeligt høje ydelser. Det er derfor skuffende, at meget af den indvundne ydelse tabes i varmecentralen. Der er i rapporten redegjort for disse tab, som hovedsageligt skyldes tekniske og driftsmæssige problemer. En del af disse problemer er blevet afhjulpet i løbet af måleperioden og kunne måske have været undgået fra starten.

I så fald måtte der have været afholdt en afleveringsforretning, som i dette tilfælde måtte have været yderst detaljeret, idet anlægget generelt jo må siges at være kompliceret i sin opbygning.

Det er værd at bemærke, at udviklingen inden for solvarmen siden anlægget i Næstved er gået i retning af at forenkle system og komponenter. Det er denne filosofi, som har ført til de højtydende anlæg, som haves i dag. Ideelt set burde et anlæg som i Næstved, hvor der er mulighed for at lagre solvarmen direkte eller at udnytte den via varmepumperne, kunne give højere ydelser end anlæg, hvor disse muligheder ikke findes. Imidlertid viser det sig ofte ved beregninger, at den ekstra ydelse, som de yderligere muligheder giver, ofte er af mindre størrelsesorden, og i praksis skal der ikke meget til, før den ekstra ydelse tabes på grund af problemer med anlæggets "komplicerethed". Bringes økonomien også ind i billedet må det ud fra erfaringerne indtil nu kun anbefales, at der arbejdes med så enkle systemer som muligt.

Et anlæg baseret på solenergi og varmepumper kunne f.eks. udformes således, at al solvarmen lagres direkte i varmtvandsbeholderen. Derved ville solvarmeanlægget i princippet kunne udføres som et forstørret BV300 anlæg. Et sådant anlæg ville med det halve solfangerareal (45 m^2) kunne give en dækningsgrad på 63% af det varme brugsvand, og ydelsen pr. m^2 ville være 370 kWh/m^2 .

3. ANLÆGGETS OG BEBYGGELSENS UDFORMNING

3.1 Generel beskrivelse af anlægget

Varmecentralen er placeret i et glashus mellem de to blokke, som forsynes af varmecentralen (se fig. 1).

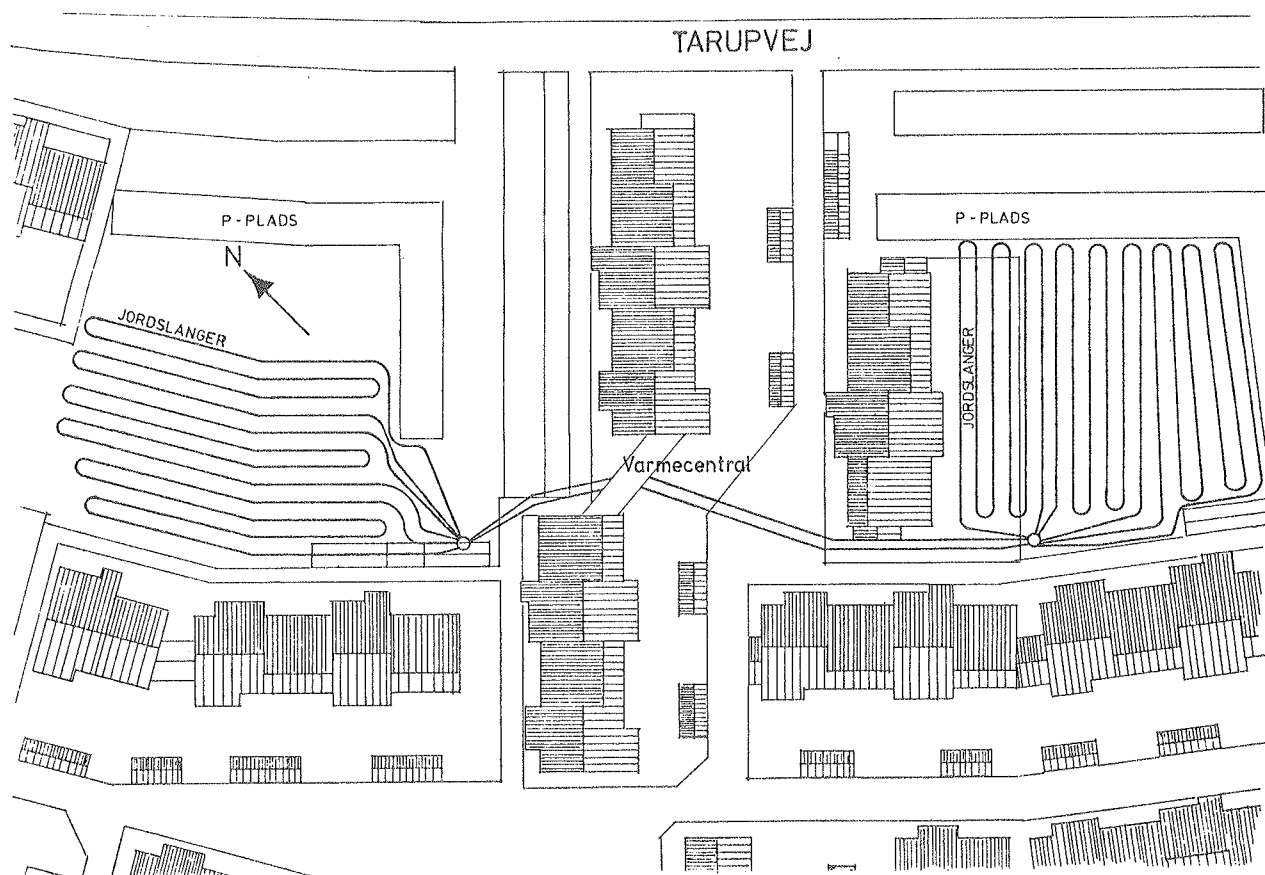


Fig. 1 Varmecentralens samt jordslangernes placering

Varmecentralens opbygning fremgår af principdiagrammet fig. 2.

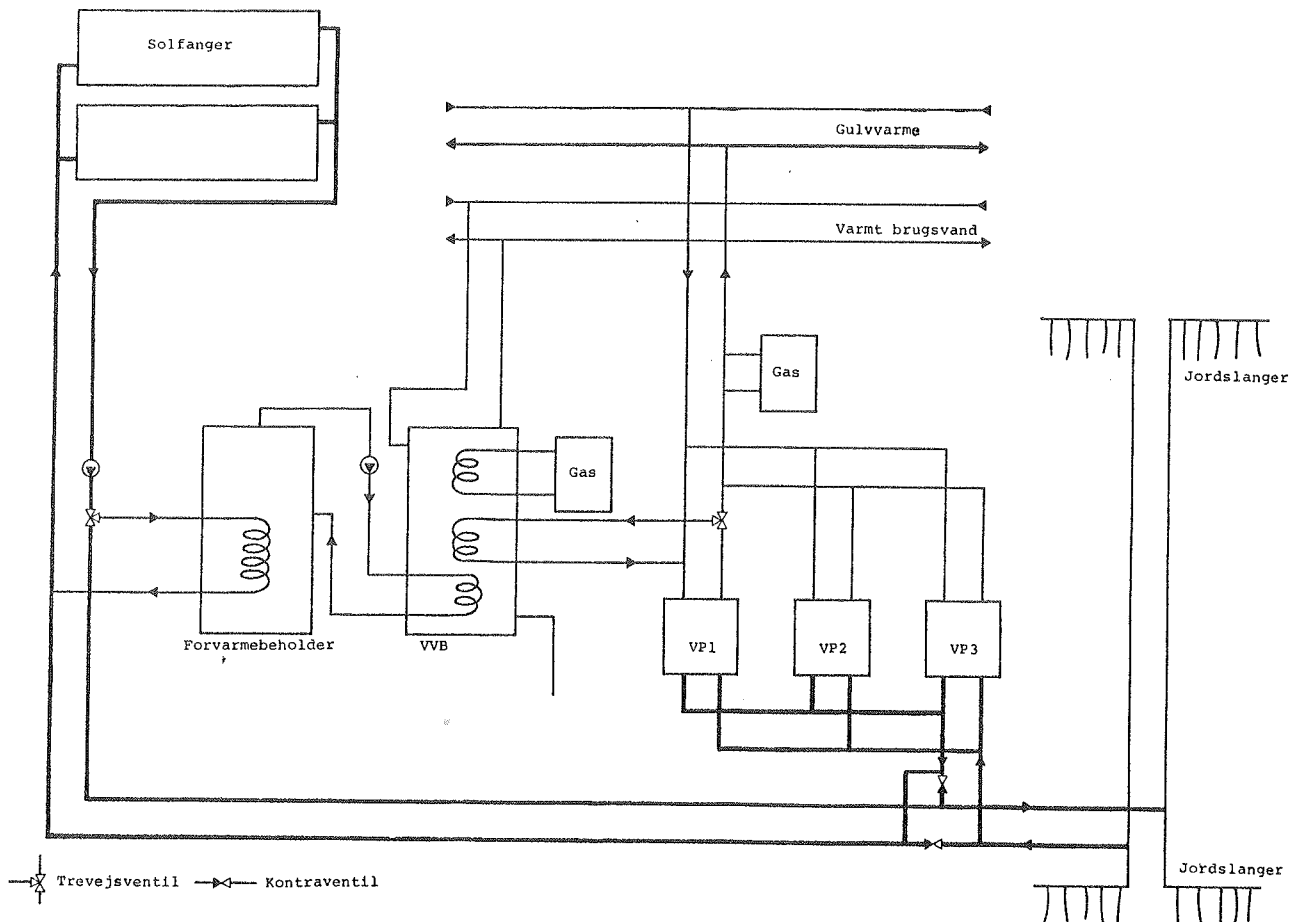


Fig. 2 Varmeanlæggets opbygning - principdiagram
Sikkerhedsudstyr, armaturer m.v. er ikke vist

I varmecentralen indgår:

- 1 solfanger på 85 m²
- 3 varmpumper på hver 14,3 kW
- Jordslanger på i alt ca. 1000 m dækkende et areal på ca. 2000 m²
- 4 gasvarmere på hver ca. 20 kW
- 1 forvarmebeholder på 3 m³
- 1 varmtvandsbeholder på 3 m³.

Anlæggets funktionsmåde kan i korte træk beskrives således:

De 14 lejligheder opvarmes via et gulvvarmesystem, som forsynes med varme fra varmpumpernes kondensatordel.

Varmpumperne indkobles parallelt og kan indkobles 1, 2 eller 3 ad gangen. Fremløbstemperaturen i gulvvarmesystemet reguleres af en udeklimakompensator, som registrerer lufttemperatur, solind-

fald og vindhastighed.

Varmepumperne henter varmen fra systemet af jordslanger.

Solfangeren styres således, at varmen fra solfangeren enten lagres i jorden gennem systemet af jordslanger eller i forvarmebeholderen afhængig af temperaturniveauet i solfangeren og i forvarmebeholderen.

Varmtvandsbeholderen, som forsyner de 14 lejligheder med varmt brugsvand, kan dels opvarmes ved at cirkulere varme fra forvarmebeholderen til brugsvandsbeholderen, eller den kan opvarmes ved hjælp af den ene varmepumpe.

Som ekstra supplement er anbragt 4 gasvarmere, hvoraf de to kan opvarme fremløbsledningen til gulvvarme, og de andre to kan opvarme varmtvandsbeholderen.

Styringen af anlægget er således, at lagring af solvarme i forvarmebeholderen går forud for lagring af solvarme i jord, såfremt temperaturniveauerne muliggør dette.

Endvidere går opvarmning af varmtvandsbeholderen fra forvarmebeholderen forud for opvarmning ved hjælp af varmepumpen.

Kun såfremt varmepumper og solvarmeanlæg ikke kan levere den fornødne varme træder gasvarmerne i funktion.

3.2 Beskrivelse af bebyggelsen

Bebyggelsen består af rækkehuse i 2 etager (se fig. 3).



Fig. 3 Bebyggelsen - solfangeren placeret bagerst i billedet

Lejlighederne har varierende størrelse mellem 53 og 110 m², idet der i de to blokke findes 6 forskellige lejlighedstyper. En enkelt af disse er i to etager.

Det samlede bruttoetageareal er på 1016 m² og indvendigt areal på ca. 920 m². I alle lejlighederne er der toilet/bad på 3 m² samt køkken.

Lodrette skille vægge mellem lejlighederne samt gulve er udført i beton, medens facaderne er udført i krydsfinerelementer. Taget består af cementtagsten på træspær.

Ydervæggene er isoleret med 15 cm mineraluld og lofterne med 20 cm mineraluld. Under gulv mod jord er der 20 cm mineraluld.

Vinduerne består af 3 lags termoruder.

Husenes dimensionerende varmetab er beregnet til 49 kW i alt. På grundlag af Referenceårets vejrdato er der udført en simulering af varmetabet med edb-programmet BA4, som også tager hensyn til gratisvarme fra personer, elektriske installationer og solindfald gennem vinduer. Til rumopvarmning er der beregnet et årligt forbrug på 77,1 MWh/år.

I de to blokke, som forsynes fra varmecentralen, består opvarmningssystemet af gulvvarmeslanger af PEL udlagt i betongulvet i hvert rum.

Varmtvandsforbruget er forud skønnet til 2500 l/dag, som opvarmes fra 10°C til 50°C, hvilket medfører, at der til varmt brugsvand skal bruges en varmemængde på 44,3 MWh/år (inclusive varmetab fra varmtvandsbeholderen 4% af nettovarmebehovet eller ca. 200 W).

Det forud beregnede nettovarmebehov for de to blokke er altså:

Rumopvarmning	77,1 MWh/år
Varmt brugsvand	44,3 MWh/år
Nettovarmebehov	121,4 MWh/år

De anførte beregninger er omtalt i ref. 1.

3.3 Varmecentralen

Varmecentralen består af et ca. 60 m² rum, som er bygget mellem de to boligblokke, og som herved er blevet orienteret således, at den ene væg vender direkte mod syd. Rummet er opbygget af aluminiumdrivhusprofiler og glas. I den sydvendte væg og i taget indgår solfangeren som en integreret del af konstruktionen. Varmecentralens opbygning er vist på fig. 4. På fig. 5 er vist varmecentralens bygning.

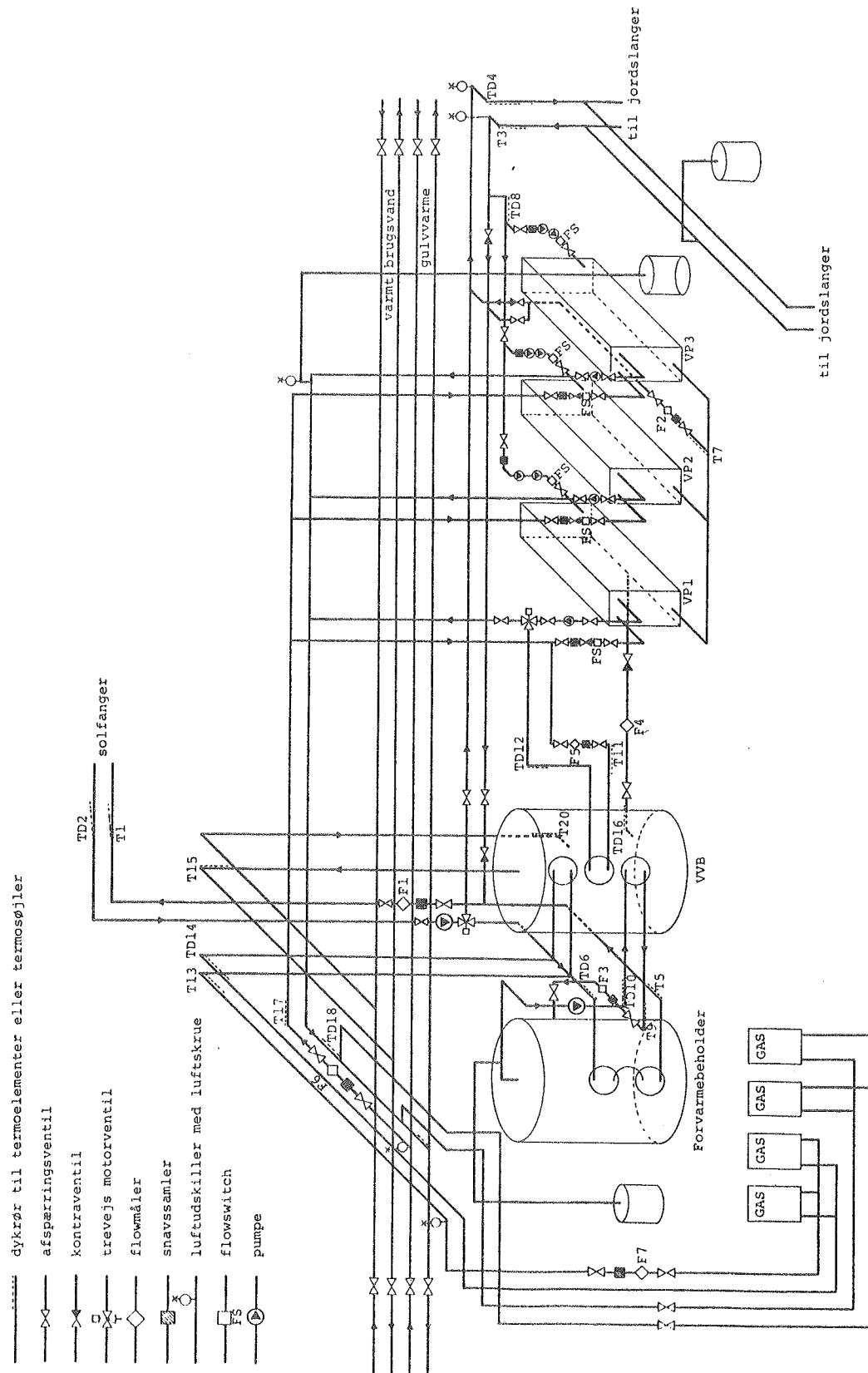


Fig. 4 Varmeanlæggets opbygning - komponenternes indbyrdes placering

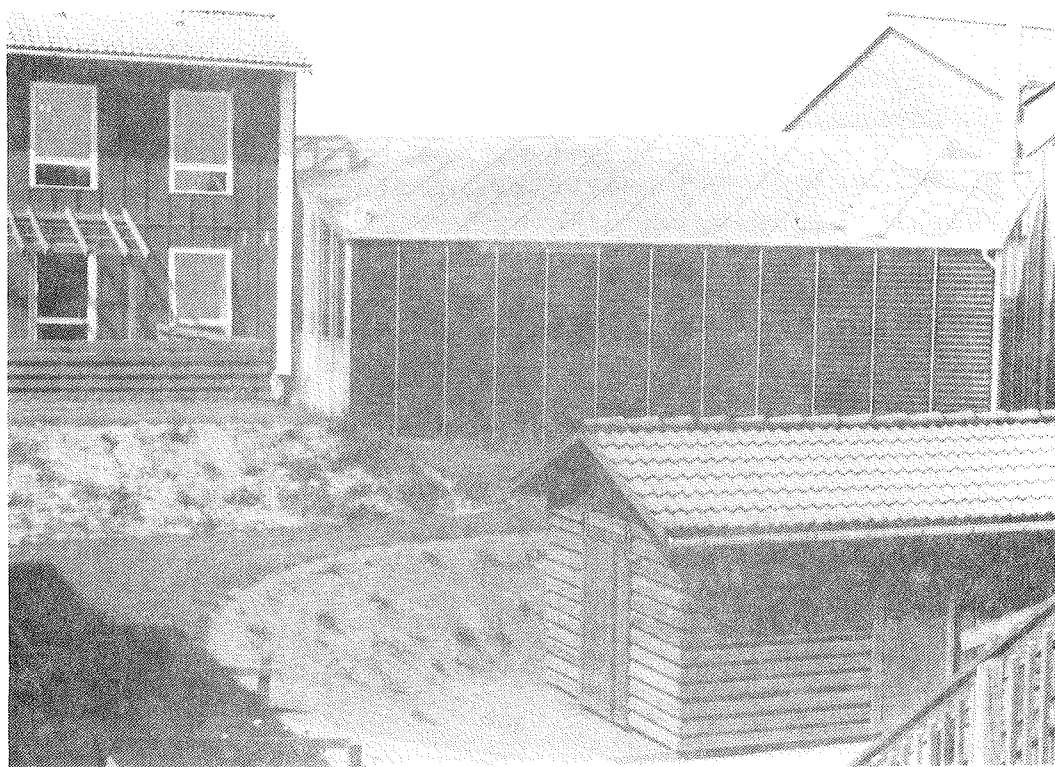
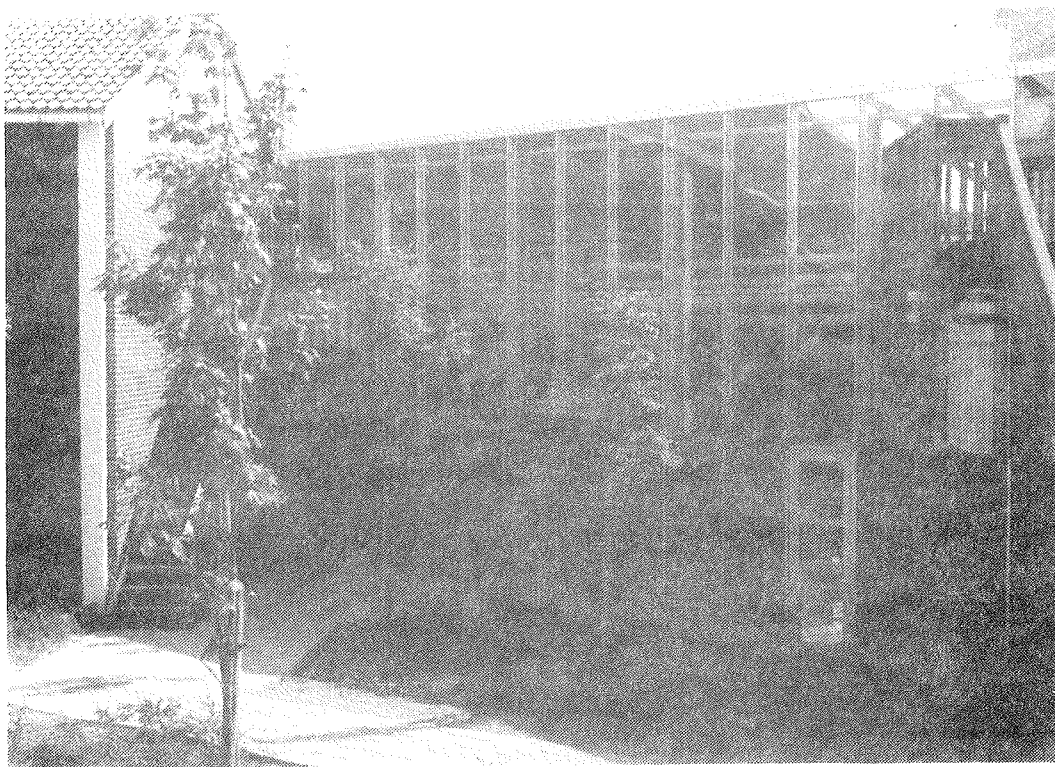


Fig. 5 Varmecentralen - nordside samt sydside med solfanger

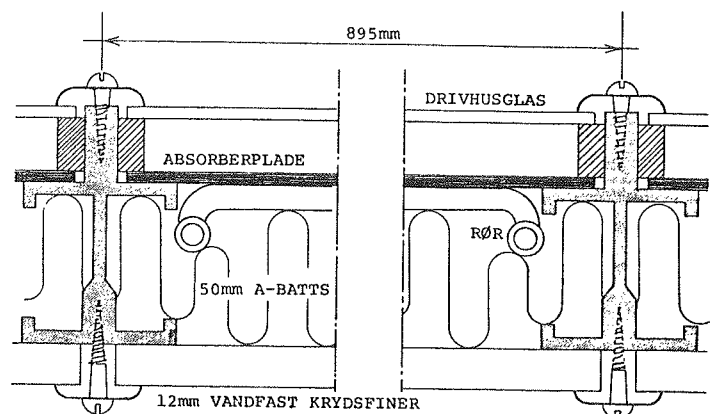


Fig. 6 Snit af solfanger

3.4 Solfangeren

Solfangeren har et areal på 85 m², hvoraf de 33,6 m² er indbygget i varmecentralens lodrette sydvæg, og de 51,4 er indbygget i varmecentralens sydvendte tag, som holder 25° med vandret.

Solfangeren er opbygget af stålpaneler af kanalpladetyper. Panelerne har et vandindhold på 2,15 l/m².

Panelerne er beklædt med polyester og absorptions- og emissionskoefficienterne er bestemt til henholdsvis 0,96 og 0,87. Panelerne er indbygget under et lag glas fastgjort i aluminium-drivhusprofiler. Panelets opbygning fremgår af fig. 6.

På bagsiden er panelerne isoleret med 50 mm isoleringsbatts.

I taget er panelerne 2,4 m lange og i væggen 3,25 m lange. I taget er panelerne forbundet i serie to og to. Den lodrette del af solfangeren og den skrå del er forbundet parallelt. Opbygningen fremgår af fig. 7.

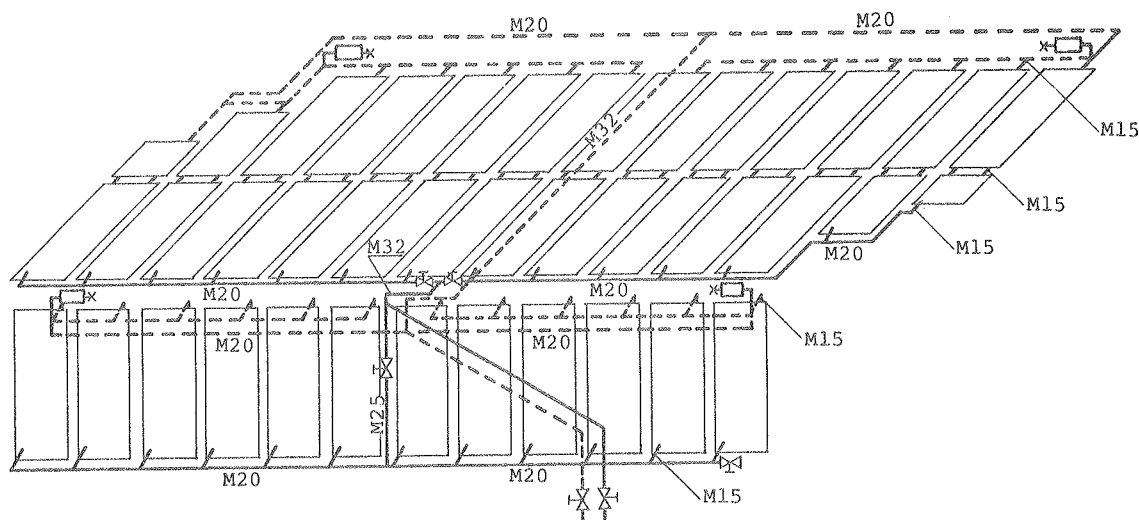


Fig. 7 Solfangertag

3.5 Forvarmebeholder og varmtvandsbeholder

Forvarmebeholder og varmtvandsbeholder består af to lige store tanke på hver 3000 liter. I beholderne er der indbygget varmevekslere af kobberør. I varmtvandsbeholderen findes der varmevekslere for varme fra forvarmebeholder, varme fra varmepumpe og varme fra gasvarmer. I forvarmebeholderen er der 2 stk. serieforbundne varmevekslere for varme fra solfangeren.

Varmevekslernes ydeevne er:

Forvarmebeholder

Varmeveksler for solfangerkreds
2 stk. serieforbundne varmevekslere
ydeevne 35 kW ved $\Delta t_m = 10^\circ\text{C}$

Varmtvandsbeholder

Varmeveksler for gasfyr
ydeevne 20 kW ved $\Delta t_m = 25^\circ\text{C}$

varmeveksler for varmepumpe
ydeevne 14 kW ved $\Delta t_m = 7^\circ\text{C}$

varmeveksler for varme fra forvarmebeholder
ydeevne 12 kW ved $\Delta t_m = 10^\circ\text{C}$

Forvarmebeholderen og varmtvandsbeholderen er isoleret med 100 mm mineraluld. Endvidere er alle beholderdæksler og mandehuller isoleret med aftagelige isoleringsdæksler. (Denne isolering blev dog først udført i maj 1980). Forvarmebeholderen og varmtvandsbeholderen er vist på fig. 8.

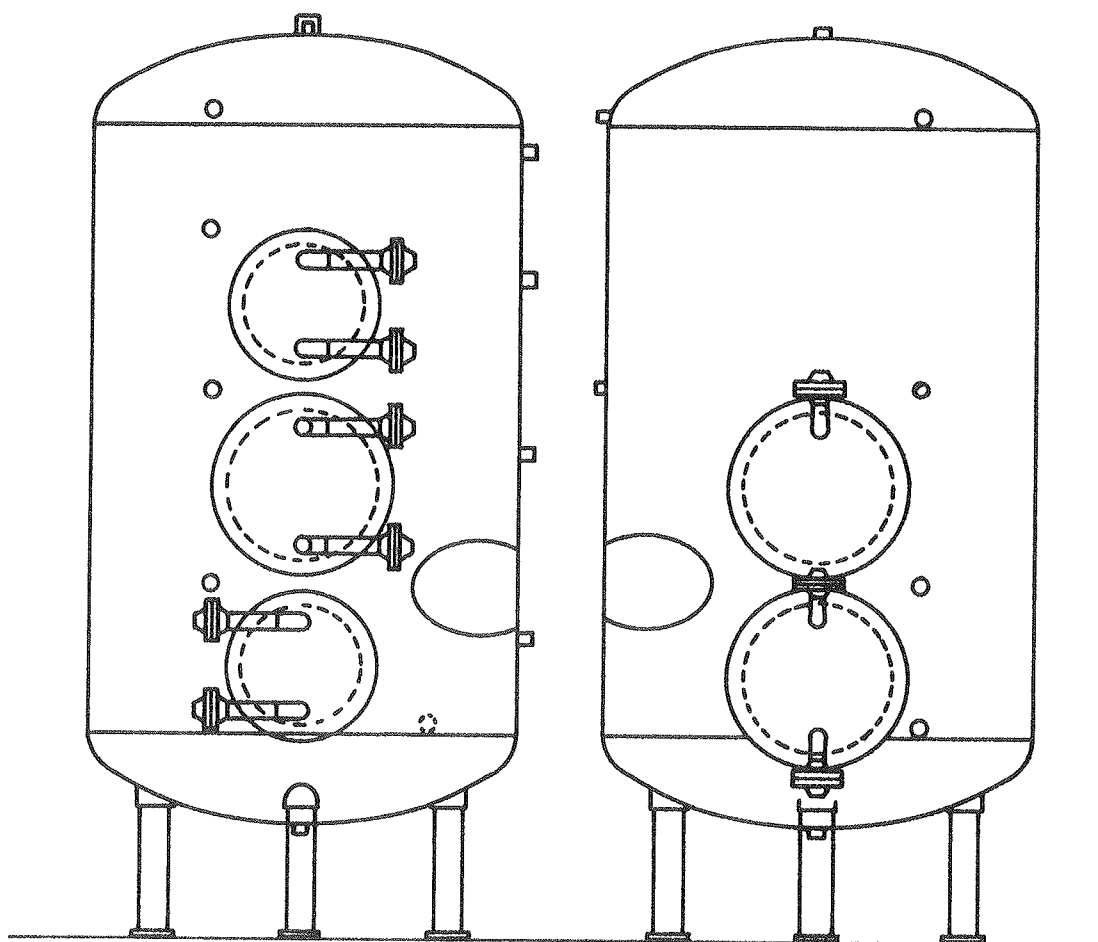


Fig. 8 Varmtvandsbeholder - Forvarmebeholder

3.6 Jordslanger

Jordslangerne er nedgravet på 2 arealer sydøst og nordvest for varmecentralen. Arealerne benyttes som parkeringsplads og som grønt område. Arealerne udgør henholdsvis ca. 770 m² og ca. 1150 m² og længden af slangerne i de to arealer er 460 m og 600 m.

Jordslangerne er lagt i bugter med ca. 1,7 m's afstand.

Jordslangerne er nedgravet til 1,5 m's dybde, idet de dog ligger dybere i en del af arealet, da dette skråner.

Slangerne er lagt i en ca. 1/2 m bred rende, hvor bunden er blevet afrettet med ca. 15 cm grus. Efter at slangerne er nedlagt, er renderne fyldt op igen med det opgravede materiale (moræneler).

For slangerne i selve arealerne er der benyttet PEL-rør med udvendig diameter 40 mm, medens slangerne, der forbinder teknikkummet og samlebrøndene er udført af PEL-rør med udvendig diameter 60 mm. Jordslangernes placering er vist på fig. 1.

3.7 Varmepumper

Varmepumpeanlægget består af tre varmpumper, hvoraf de to udelukkende betjener gulvopvarmningen, medens den tredje bruges dels til opvarmning af varmtvandsbeholderen og dels til gulvvarmesystemet, når de to andre varmpumper ikke alene kan klare rumopvarmningsbehovet.

Varmepumperne er leveret af Christian Berg A/S og består hver af følgende enheder:

Kølekompressor DWM - DNHM - 603

Kapacitet 12,7 kW

Driftstrøm 13,6 amp

380 V

Vandkølet kondensator Dunham Bush SCC5.

Kapacitet 14,3 kW fra 36°C - 40°C.

Vandmængde 0,9 l/s.

Vandkøler Dunham Bush CH 448 B

Kapacitet 10,5 kW, fra -10°C til -6°C

Vandmængde 0,5 l/s.

Varmepumperne er vist på fig. 9.

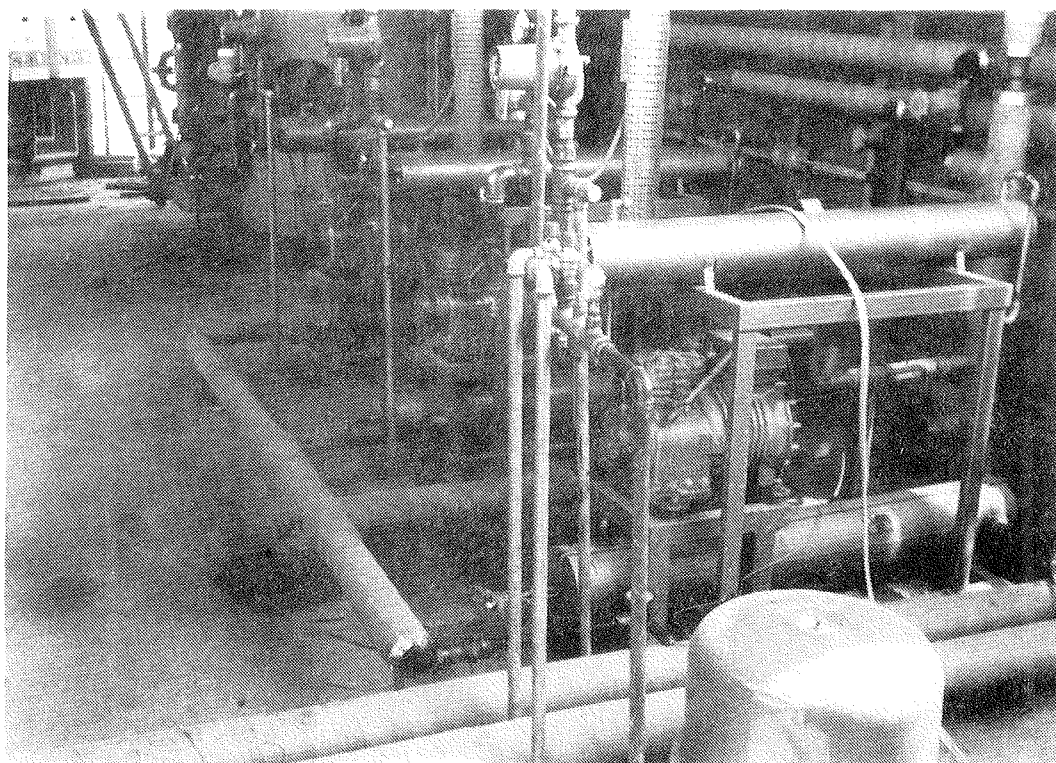


Fig. 9 Varmepumperne
(før isolering af kondensatorerne)

3.8 Supplerende gasfyr

De supplerende gasfyr er tænkt som nødvarmeforsyning. Der findes 4 fyr i alt, hver på ca. 20 kW. To er koblet til rumopvarmningen, og to til varmtvandsforbruget.

3.9 Væskeflow

I primærkredsen (solfangere og jordslanger) består transportmediet af vand iblandet 20% propylenglycol, hvilket frostsikrer til ca. -10°C .

I de øvrige kredse består transportmediet af vand.

Rumindholdet af primærkredsen er udregnet til 1580 l, hvoraf 210 l findes i solfangerne og 1170 l i jordslangerne.

Gennem solfangeren er der en væskestrøm på ca. 100 l/min svarende til 1,2 l/min/m² solfanger, og gennem jordslangerne en væskestrøm på mellem 60 og 110 l/min svarende til 0,031 - 0,052 l/min/m² jordareal.

3.10 Styresystem

Styring af primærkreds (solfanger-jordslange-kreds).

Solvarmen kan lagres dels i jordslangen og dels i forvarmebeholderen, altså ved 2 temperaturniveauer. Dette har givet anledning til nogle specielle styringsproblemer. Problematikken er søgt løst ved hjælp af den såkaldte pilotsolfanger, idet det er nødvendigt med en registrering af de potentielle muligheder for opsamling af solenergi. Hvis solfangeren f.eks. kører på jordslangerne vil en normalt anbragt differenstermostatføler i solfangeren ikke blive varmere end jordslangernes temperatur + Δt (f.eks. $10^{\circ} + 10^{\circ}$), selvom der er sol nok til, at der kan lagres solvarme i forvarmebeholderen ved f.eks. 50°C .

Omkobling mellem lagring i forvarmebeholder og lagring i jord

sker ved hjælp af en trevejsmotorventil. Motorventilen og pum-
pen, som cirkulerer væsken gennem solfangeren, styres af 3 dif-
ferenstermostater (SED 1, SED 2, SED 4) samt 2 absolutte ter-
mostater (T 4, T 5) se fig. 10.

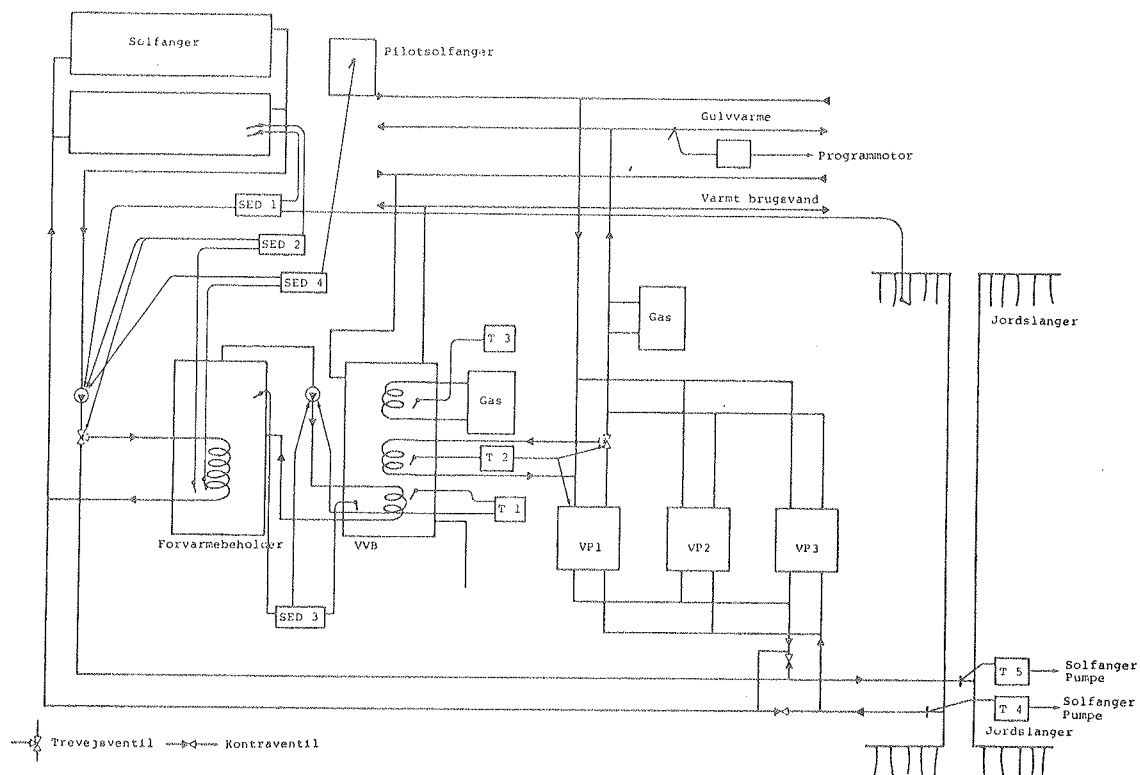


Fig. 10 Styling af varmeanlægget

For differenstermostaterne kan funktionsmåden beskrives således:

Differenstermostat SED 1 er anbragt mellem jord og udløb af sol-
fanger, differenstermostat SED 2 er anbragt mellem tank og udløb
af solfanger og differenstermostat SED 4 er anbragt mellem tank
og pilot-solfanger. Pilot-solfangeren er en lille solfanger, som
ikke køles og altså derved hele tiden befinder sig på stagna-
tionstemperatur. Pilot-solfangeren er indrettet således, at var-
metabet kan justeres, så pilot-solfangerens stagnationstempe-
ratur bedst muligt svarer til den rigtige solfangers stagnationstempe-
ratur. Pilot-solfangeren er anbragt på teknikrummets tag med en
hældning, som ligger midt imellem de to solfangerfladers
hældning, (se fig. 11).

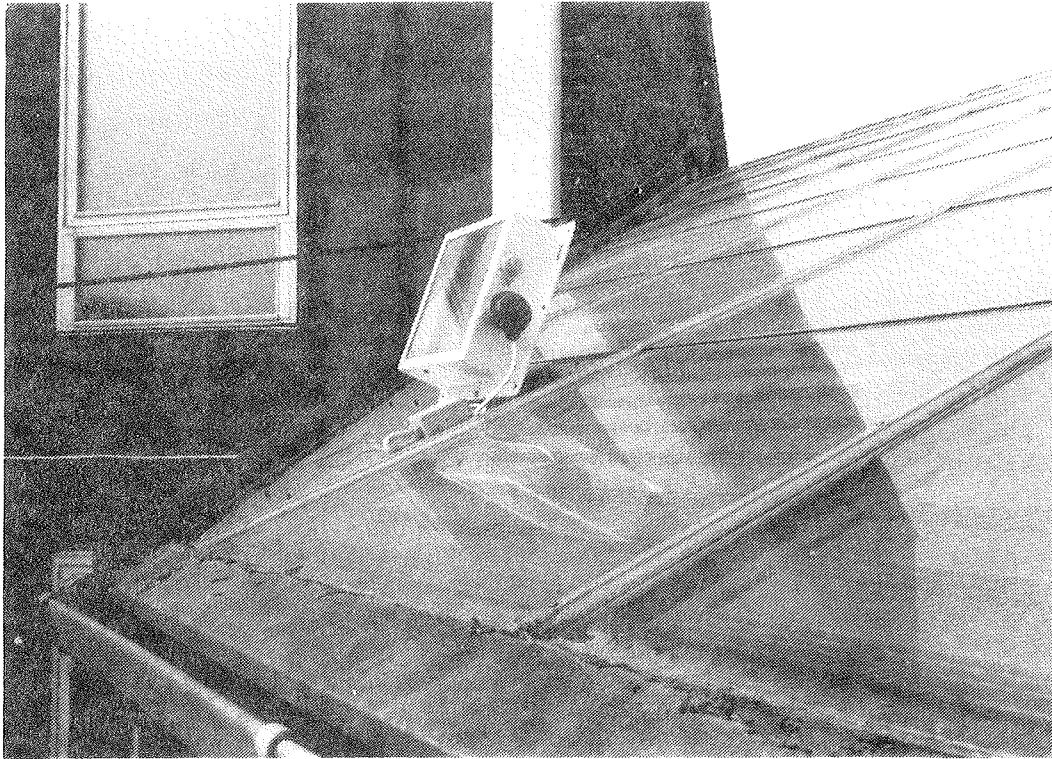


Fig. 11 Pilotsolfanger

De tre differensternostaters virkemåde kan beskrives ved følgende driftstilfælde:

tu = temperatur udløb solfanger

tp = pilotsolfangertemperatur

tj = temperatur i jorden (føleren er anbragt
uafhængigt af jordslangen)

tt = temperatur i forvarmebeholder

1. $tu < tj$, $tu < tt$, $tp < tt$.

Pumpen stoppet, motorventil i hvilestilling, d.v.s.
mod tank. Der kan ikke opsamles solvarme.
(vist på figur 12a)

2. $tu > tj$, $tu < tt$, $tp < tt$.

Pumpen kører, motorventil mod jordslanger.

Lagring af solvarme i jordsystemet.
(vist på figur 12b)

3. $t_u < t_t$, $t_p > t_t$.

Pumpen stoppet, motorventil mod tank.

Da pilotsolfangeren er varmere end tanken, er der en potentiel mulighed for lagring af solvarme i tanken. Dette kan ikke registreres ved t_u , som kan være lav på grund af cirkulation af koldt vand fra jordslangerne. Pumpen stoppes, så solfangeren kan opvarmes til over tankens niveau, såfremt solindfaldet fortsætter.

4. $t_u > t_t$.

Pumpen kører, motorventil mod tank.

Der opsamles varme i forvarmebeholderen.

(vist på figur 12c)

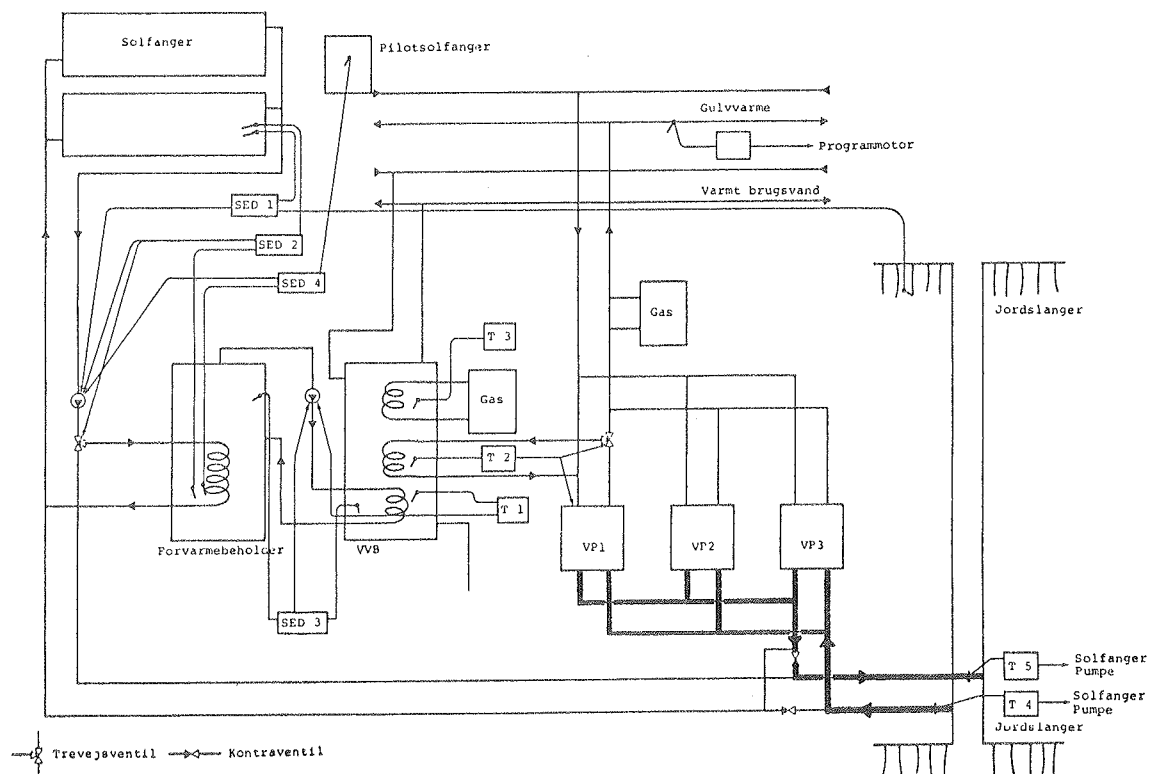


Fig. 12 a) Der opsamles ikke solenergi

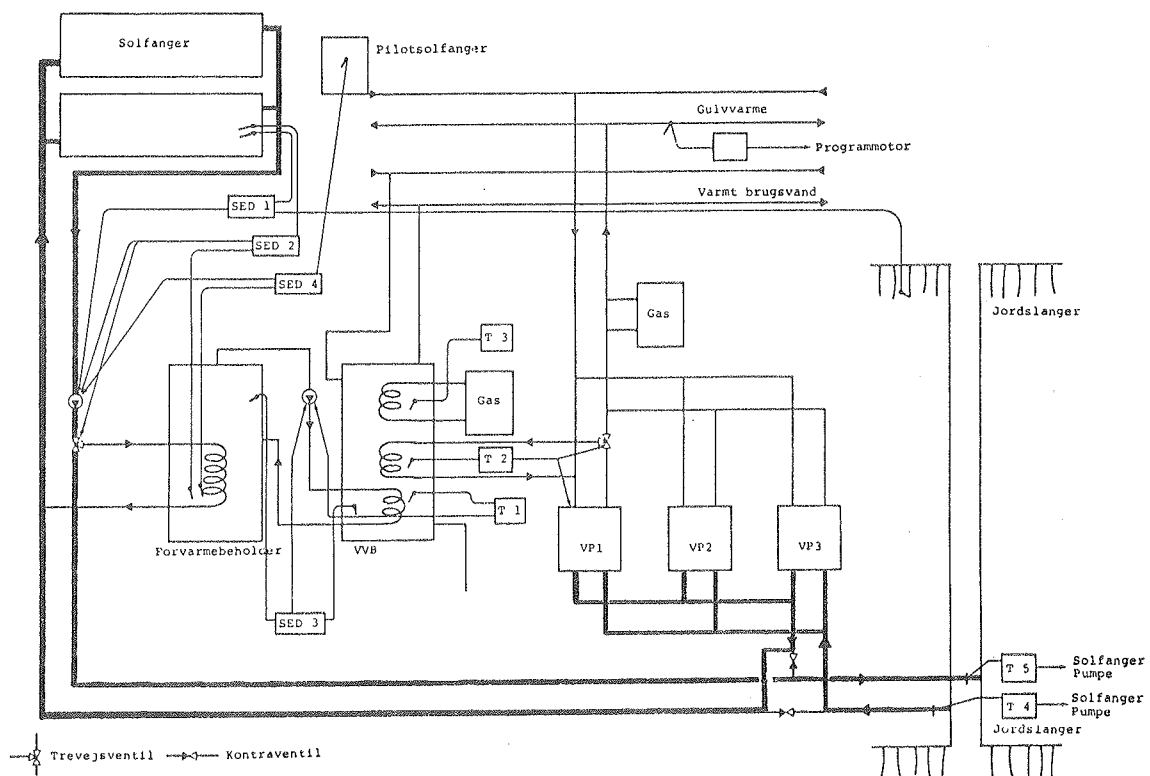


Fig. 12 b) Lagring af solvarme i jordslangesystemet

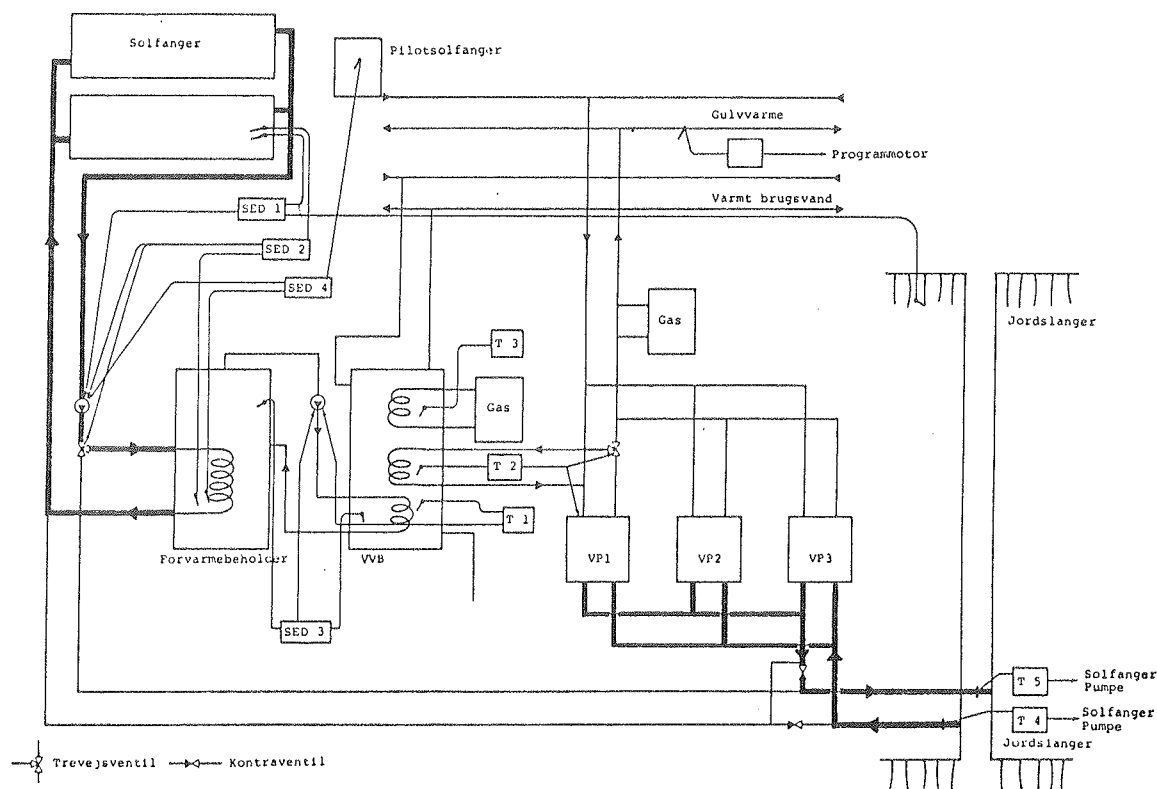


Fig. 12 c) Lagring af solvarme i forvarmebeholder

Den absolutte termostat T 4 stopper pumpen, såfremt afgang fra jordslanger er større end 25°C . (Beskyttelse af varmepumperne). Den absolutte termostat T 5 stopper pumpen, såfremt tilgang til jordslanger er større end 35°C . (Beskyttelse af PEL jordslanger).

Styring af varmepumper

Varmepumperne styres efter forbrugsstedernes behov for varme (se senere). Varmepumpernes indkobling i primærkredsen kan beskrives således:

1. Solfangerpumpe i drift og motorventil mod jord.

Væske til varmepumperne cirkuleres fra returledningen fra jordslangerne, gennem varmepumperne, og tilbage til returledningen, gennem solfangeren og til jordslangerne. (se figur 12 b)

2. Solfangerpumpen stoppet eller solfangerpumpe i gang og motorventil mod tank.

Væske til varmepumperne cirkuleres fra returledningen, gennem varmepumperne og til jordslangerne. (se figur 12a og 12c)

Forskellen mellem de to driftstilfælde sikres af to kontraventiler, som på grund af trykforskelle, forårsaget af solfangerpumpen og motorventilen, styrer væskestrømmen fra varmepumperne til henholdsvis retur- og tilgangsledning til jordslangerne.

Styring af sekundærkreds (kredsen mellem de to beholdere).

Pumpen i sekundærkredsen styres af en differenstermostat (SED 3) med følerne anbragt i toppen af forvarmebeholderen samt i niveau med overkant af varmeveksler i varmtvandsbeholderen.

Endvidere findes en absolut termostat T 1, som stopper pumpen i tilfælde af for høj temperatur i varmtvandsbeholderen (skoldningssikring).

Styring af gulvvarmesystemet.

Gulvvarmesystemets fremløbstemperatur bestemmes af en udeklima-kompensator, Danfoss type ECT - 60 (0021), som kompenserer for udetemperatur, vindhastighed og solindfald. (Natsenkning har ikke været benyttet). Fremløbstemperaturen opnås via en programmotor som kan indkoble en eller flere varmepumper samt gasfyret. Varmepumperne indkobles således, at der ved hver ny indkobling veksles mellem varmepumpe 2 og 3. Såfremt både varmepumpe 2 og varmepumpe 3 ikke kan klare forbruget indkobles varmepumpe 1 og til sidst eventuelt gasfyret. Såfremt der er behov for varmepumpe 1 til varmt brugsvand prioriteres dette dog højere.

Styring af varmetilførsel til varmtvandsbeholder.

Styring af sekundærkredsen er beskrevet tidligere.

Varmetilførsel fra varmepumpe 1 styres med en absolut termostat, som igangsætter varmepumpe 1 samt drejer motorventilen, så snart der er et opvarmningsbehov i tanken.

Gasfyret tilkobles tillige med en absolut termostat.

4. MÅLESYSTEMET OG DET UDFØRTE MÅLEPROGRAM

Målesystemet er installeret i efteråret 1979 og efter en indkøringsperiode er målingerne påbegyndt i februar 1980. Målingerne er afsluttet i efteråret 1981. Måleprogrammet har været meget detaljeret, hvilket har medført sårbarhed over for fejl i målesystemet. Dette har betydet, at der i mindre perioder har været udfald af målinger.

Til gengæld har det detaljerede måleprogram i mange tilfælde været forudsætningen for at fejl i det komplicerede varmeanlæg kunne opdages.

Oversigt over måleparametre

Klimaparametre.

totalt solindfald i lodret plan.
totalt solindfald i skråt (tagets) plan
diffust solindfald i skråt plan
vindhastighed
udelufttemperatur

Driftsparametre.

Der er målt 29 temperaturer rundt omkring i anlægget.
Endvidere er der målt 7 væskeflow.
Temperaturer og flow er regnet sammen til 10 varmestrømme.
Endvidere er der målt driftstid for varmepumperne og for solfangerpumpen.

De målte temperaturer og flow er angivet på fig. 13.

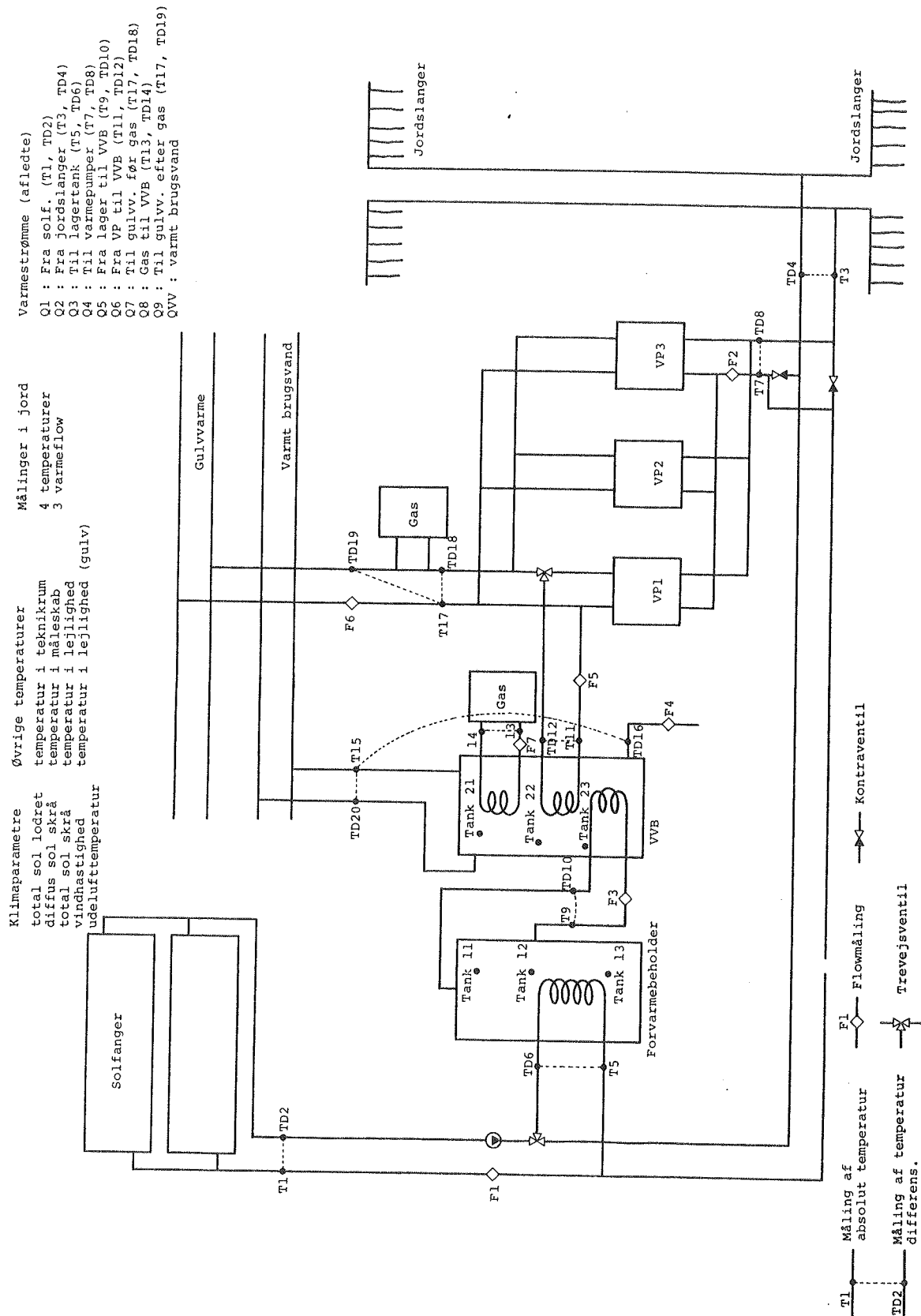


Fig. 13 Måleparametre

Målinger i jord.

Ved en enkelt lokalitet på jordslangesystemet (omkring midten af det nordlige areal) er der omkring jordslangen blevet udlagt 4 temperaturmålinger og 3 varmeflowmålere.

Måling i lejlighed.

I en tilstødende lejlighed er der anbragt en temperaturmåler, som måler værelsets lufttemperatur og en temperaturmåler, som måler gulvets temperatur under gulvtæppet. Denne temperaturmåler har dog kun været benyttet i en del af måleperioden.

Udskrift af målinger.

Driftstidsparametre og solindfaldsparametre er udskrevet hvert kvarter, øvrige parametre er udskrevet hver time.

De udskrevne parametre er beregnede middelværdier af målingerne, som foretages henholdsvis hvert 15. sek. (udskrift hvert kvarter) og hvert minut (udskrift hver time).

Ud over de beskrevne målinger er der manuelt ca. hver 13. dag foretaget aflæsning af el-forbrug dels til varmepumpen og dels til cirkulationspumper.

Måleapparatur - dataloggersystem.

Dataloggersystemets opbygning fremgår af figur 14. Det består af følgende elementer:

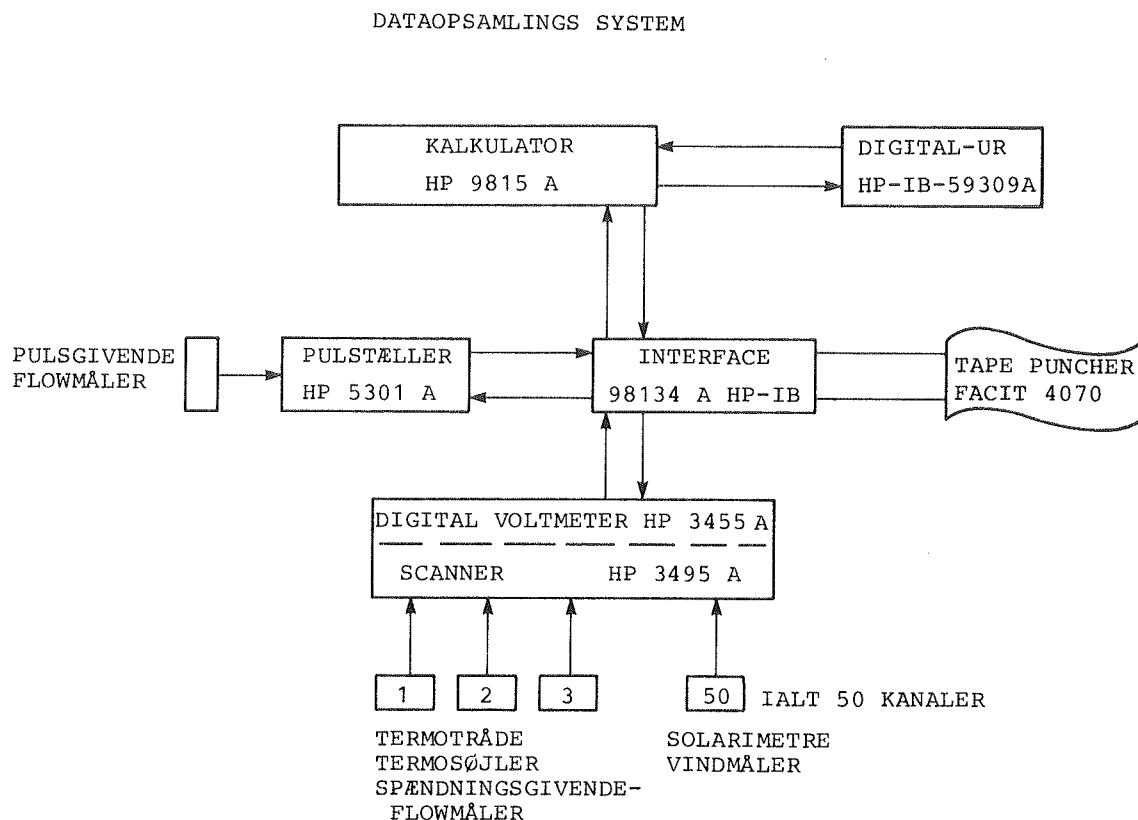


Fig. 14 Dataloggersystemet

kalkulator	HP 9815
voltmeter	HP 3455 A
scanner	HP 3495 A
pulstæller	HP 5301 A
tape puncher	Facit 4070
digital-ur	HP-IB-5930 A

Temperaturerne er målt med Cu/K termotråd. I kombination med præcisionsvoltmetret giver dette en nøjagtighed på temperaturmålingerne på $\pm 0,5 - 1,0^\circ\text{K}$ på absolutte temperaturer og $\pm 0,1 - 0,15^\circ\text{K}$ på differensstemperaturer. Flowene er hovedsageligt målt med turbine flow målere, som har en nøjagtighed på under 5%.

Kalkulatoren har styret målingerne ud fra aflæsning af tiden. Endvidere har den omsat de af voltmeteret aflæste spændinger til fysiske størrelser, og der er foretaget opsummeringer og middelværdiberegninger.

Resultaterne er udskrevet på papirhulstrimmel, som senere er indlæst på datacentret NEUCC til videre behandling.

Dataloggersystemet har været anbragt i et skab (figur 15), hvor en ventilator og et varmelegeme har sørget for stabile temperaturforhold.

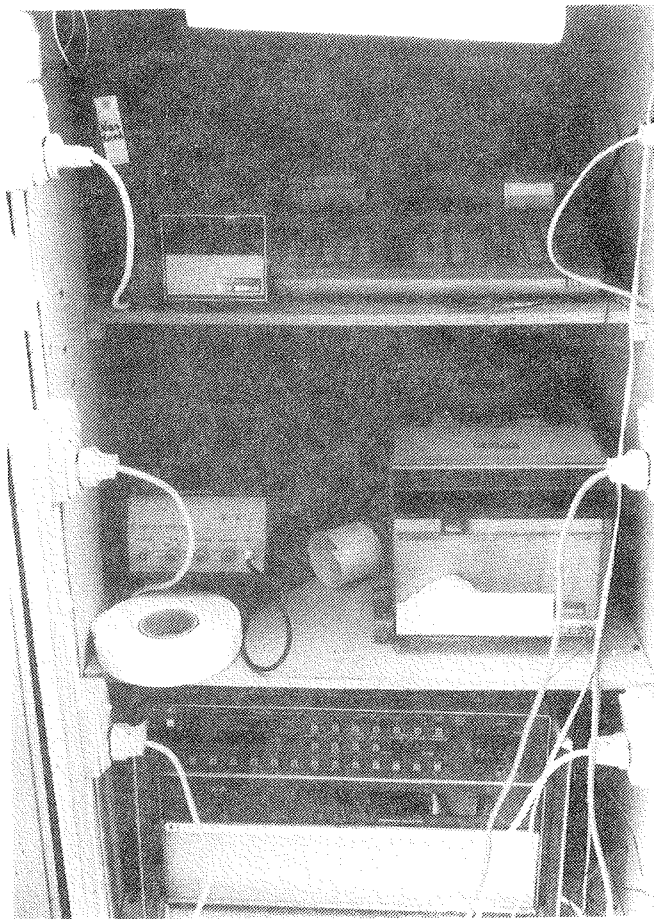


Fig. 15 Måleskabet

Der har været målt på anlægget i 18 måneder, fra februar 1980 til august 1981. En del af de følgende vurderinger er foretaget ud fra de første 14 måneders målinger, men de sidste 4 måneder ændrer dog ikke noget videre på det samlede resultat.

Desværre er en del målinger faldet ud. Der er i vurderingerne kun medtaget målinger fra døgn med alle 24 timemålinger intakte (i forsøg på at borttage en evt. statistisk skævhed fra variationer over døgnet). De manglende dage kan præge billedet af en måned, især når der mangler målinger fra hele den ene halvdel af måneden. For perioden februar 1980 til juli 1981 er der således udfald af målingen i 16% af tiden, medens det i perioden august 1980 til juli 1981 drejer sig om 9%. Da udfaldene er forholdsvis jævnt fordelt regnes der ikke med, at der begås store fejl ved at regne med gennemsnitsbetragtninger for de manglende perioder.

5.0 ANLÆGGETS FUNKTION VURDERET UD FRA MÅLEPROGRAMMET

I det følgende vurderes anlæggets funktion i måleperioden, dels ud fra målingerne og dels ved supplerende iagttagelser og beregninger. Diagrammerne på fig. 19a til 19j giver et godt overblik over varmestrømmene i anlægget dels for hele året (fig. 19a) dels for de enkelte måneder.

5.1 Bebyggelsens forbrug

Til rumvarme har der for de 18 måneder feb. 80 - juli 81 været brugt i gennemsnit 0,89 kW pr. lejlighed og for de 12 måneder aug. 80 - juli 81 0,86 kW pr. lejlighed (= 7,5 MWh pr. lejlighed pr. år eller 105 MWh for de 14 lejligheder pr. år).

Varmtvandsforbruget har både for alle 18 måneder og de sidste 12 måneder været 0,21 kW pr. lejlighed (=1,8 MWh pr. lejlighed pr. år eller 26 MWh for de 14 lejligheder pr. år).

De 14 lejligheder bebos af 23 voksne og 15 børn i alt 38 personer, d.v.s. 2,7 personer pr. lejlighed. De bruger således ca. 40 l varmt vand pr. person pr. døgn.

De målte forbrug kan sammenlignes med de i ref. 1 beregnede forbrug.

	målt forbrug	beregnet forbrug
rumvarme	105 MWh/år	77 MWh/år
brugsvand	26 MWh/år	44 MWh/år
I alt	131 MWh/år	121 MWh/år

Det ses, at forbruget til brugsvand har været 41% mindre end oprindelig antaget. Til gengæld har forbruget til rumopvarmning været 36% større, dette skønt fyringssæssonen 1980/81 har været mildere (2793 graddage) end referenceåret (3038 graddage), som er benyttet til beregningerne i ref. 1.

De månedlige forbrug fremgår af fig. 16.

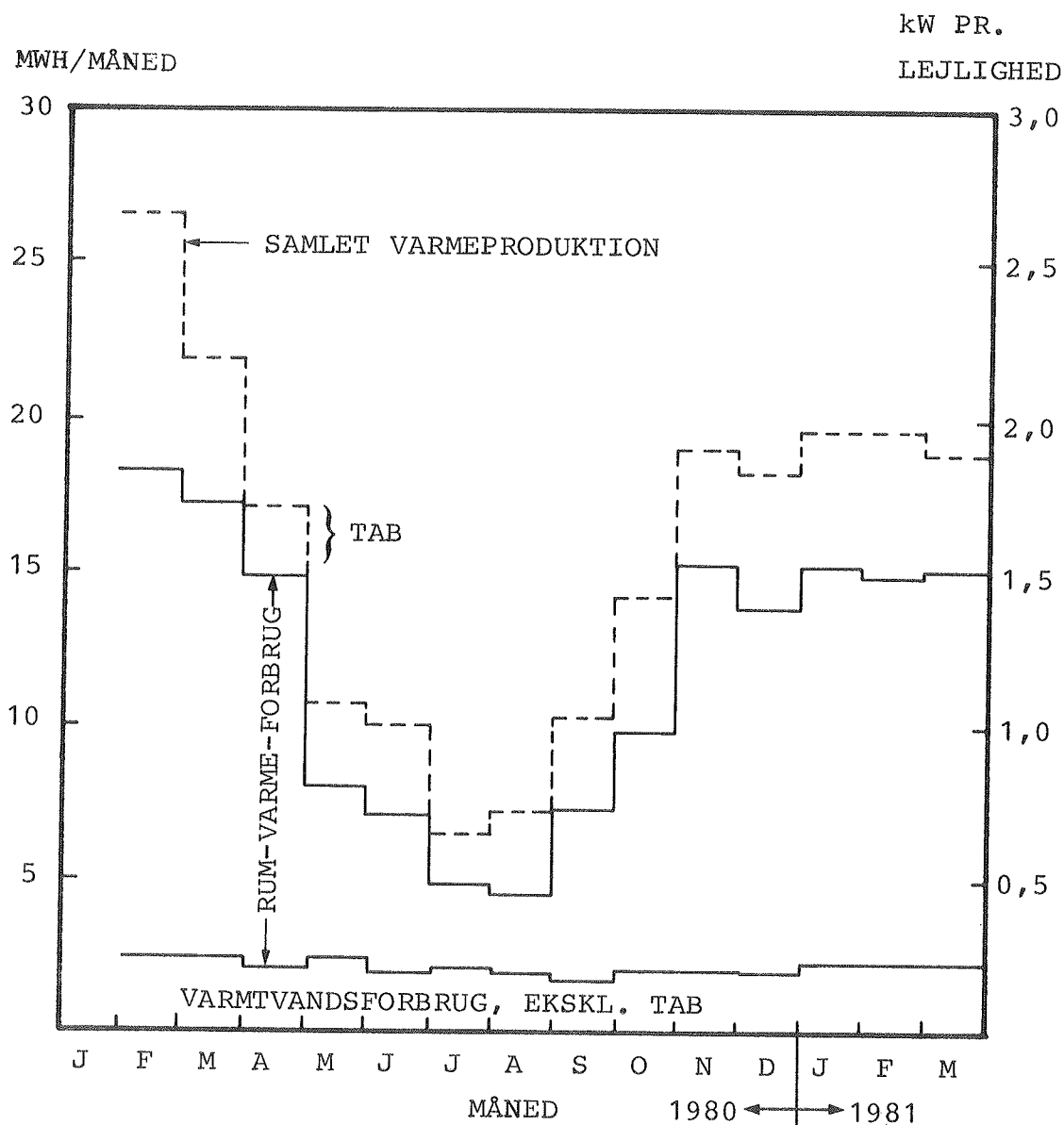


Fig. 16 Forbrug til rumvarme og varmt brugsvand

De 14 lejligheder forsynet med sol- og jordvarme indgår i en samlet bebyggelse på 204 lejligheder, og de øvrige 190 lejligheder forsynes med fjernvarme. Fjernvarmeforbruget måles samlet ved én måler. Fjernvarmeforbruget kan sammenlignes med varme- forbruget i de 14 lejligheder:

kW pr. lejlighed		
	14 lejligheder	190 lejligheder
	varmeforbrug	fjernvarme
1980 juli	0,48	1,7
aug.	0,45	1,9
sept.	0,73	1,9
okt.	0,98	2,9
nov.	1,52	(7,3)
dec.	1,37	3,5
1981 jan.	1,51	2,4
feb.	1,48	2,4
mar.	1,50	1,9

De 14 lejligheder har jo et noget større varmeforbrug end beregnet, men for de 190 lejligheder ses fjernvarmeforbruget at være endnu større. Det er oplyst, at der først i 1981 er opsat fjernvarmemålere i de enkelte lejligheder. Siden er varmeforbruget faldet betydeligt (ca. 33%).

En af årsagerne til de høje fjernvarmeforbrug er, at et varmetab i fordelingsledninger mellem blokkene er indbefattet i ovennævnte forbrug.

At varmeforbruget i de to blokke har været større end beregnet kan skyldes konstaterede isolerings- og tætningsmæssige mangler.

Forbrugsmønster:

Som eksempel på forbruget af varmt vand er valgt de første 5 dage i juni 1980. Derved fås 3 hverdage, en søndag og en speciel fr i dag. Forbruget er på figur 17 angivet som timeforbrug i gennemsnit for de 14 lejligheder. De EDB-producerede kurver over måleresultaterne i dette projekt benytter hele året vintertidsklokkeslæt bl.a. af hensyn til solens gang, men i afbildningen her er vist sommertid af hensyn til forbrugsfordelingen.

Bortset fra, at årets maksimale timeforbrug netop falder på Grundlovsdagen, kan den viste afbildning tages som et relevant udtryk for forbrugsmønstret på hverdage, søndage og specielle

helligdage. Det vil sige: mønstret er for tilfældigt, til at der kan opstilles et time for time tappeprogram. Men visse hovedtræk fremstår.

Forbruget er nær 0 om natten kl. 2 - 6. Om hverdagen er der størst forbrug kl. 16 - 22 med noget forbrug om formiddagen ved 10-tiden. Om søndagen er der forbrug kl. 8 - 23. På Grundlovsdagen (halv eller hel fr i dag med varme og solskin) er der en forbrugsbelastning kl. 9 - 11 og især kl. 17 - 20 (med de usædvanlige spidsbelastninger).

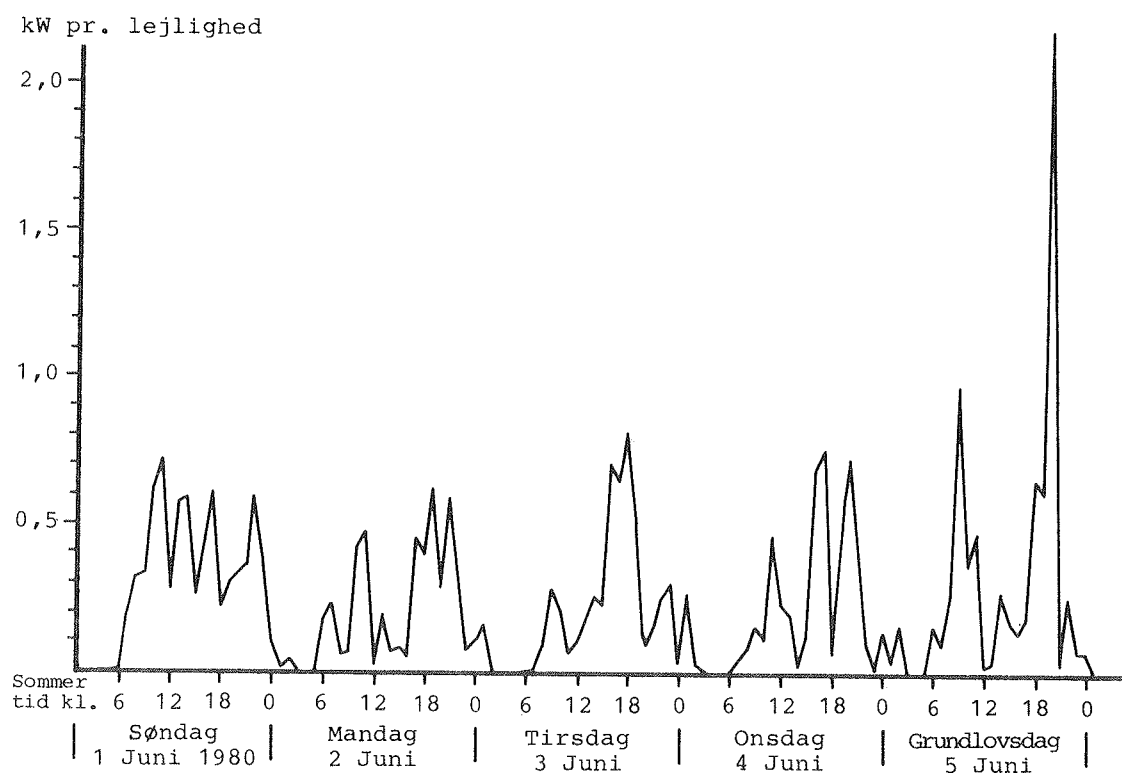


Fig. 17 Gennemsnitsforbrug af varmt vand, time for time

5.2 Varmens produktion.

I måleåret aug. 1980 til juli 1981 er der målt en varmeproduktion således:

fra solfanger	17 MWh	10%
fra jordslanger	72 MWh	41%
fra gasfyr	33 MWh	19%
fra el.forbrug varmepumpe	39 MWh	22%
fra el.forbrug cirkulationsp.	15 MWh	8%
I alt	176 MWh	100%

Ud over de 17 MWh leveret til forvarmebeholderen har solfangeren også leveret 18 MWh til jordslangerne.

Varmeproduktionen er benyttet således:

rumvarme	105 MWh	60%
brugsvand	26 MWh	15%
varmetab	45 MWh	25%
I alt	176 MWh	100%

Rumopvarmningen er produceret således:

fra varmepumper	102 MWh	97%
fra gasfyr	3 MWh	3%

Brugsvandet er produceret således:

fra solvarmeanlæg ca.	5 MWh	20%
fra gasfyr ca.	16 MWh	60%
fra varmepumpe ca.	5 MWh	20%

Varmeproduktionen og varmeforbrugets fordeling er for hver måned og for perioden som helhed afbildet på figurerne 19a - 19j.

Varmestrømmene er angivet i kW pr. lejlighed (i gennemsnit for de 14 lejligheder). Ved at afbilde effekter (i stedet for energimængder) kan perioder af forskelligt antal dage bedre sammenlignes, som f.eks. 8 dages hede bølge, års-gennemsnit, måneder med manglende dage, m.v.

For målingerne af varmeproduktionen gælder specielt:

Forbrug af gasvarme:

Produktion af varme ved gas, måles som tilgang til f.eks. varmtvandsbeholderen af varme fra en cirkulationsledning, der passerer en gennemstrømningsvandvarmer, d.v.s. tab ved denne varmeproduktion er ikke medtaget i det målte varmetab. Ved at sammenligne gasvarmerens ydelse med den indkøbte gas ses at gasvarmerne har fungeret med en effektivitet på 50%.

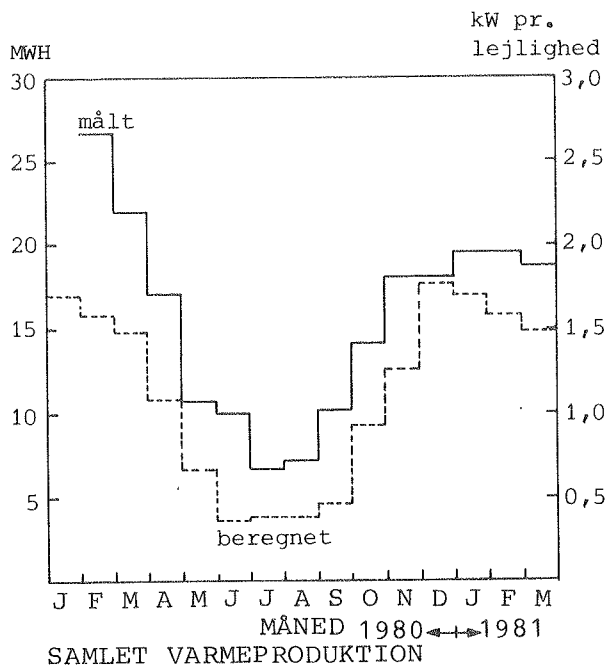
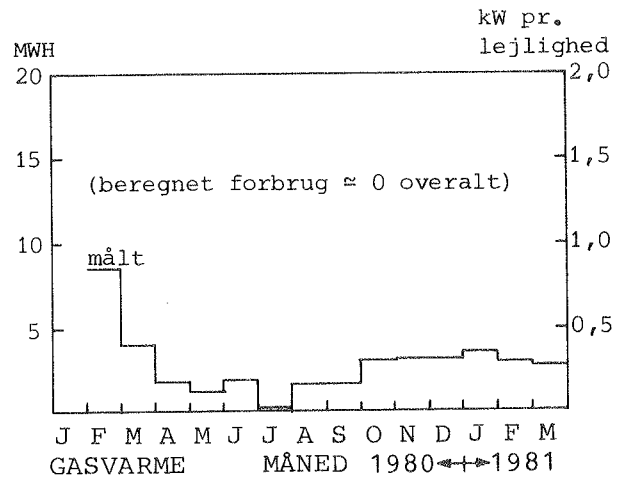
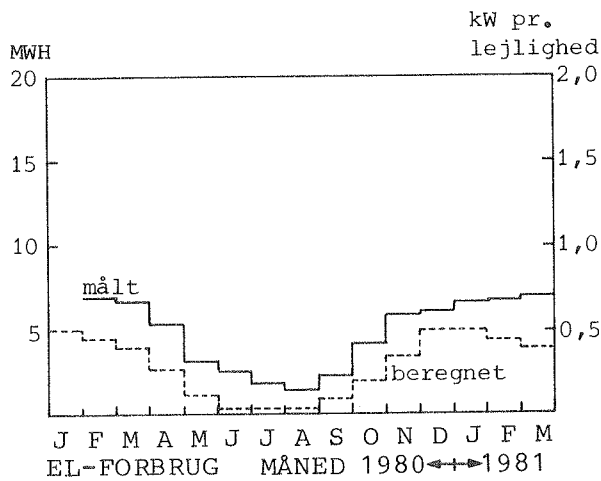
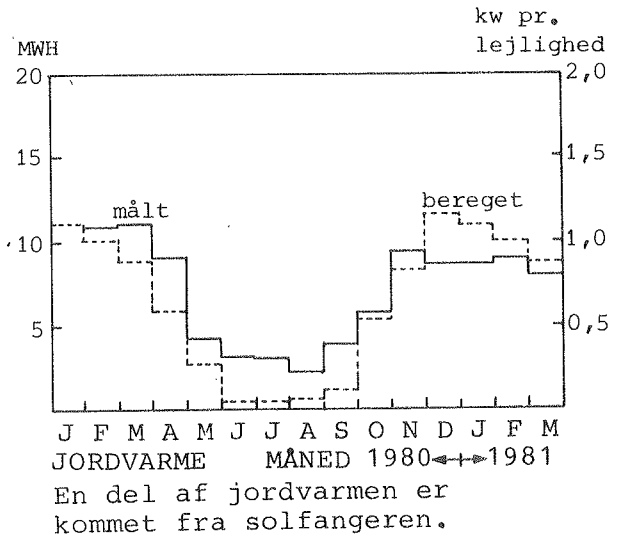
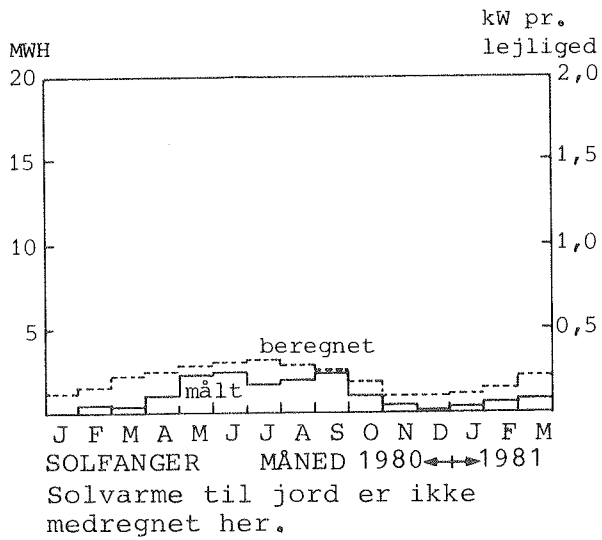
El-forbrug:

Forbrug af elektricitet er aflæst (visuelt) i kWh hver gang anlægget er besøgt fra Lab.f. Varmeisolering, d.v.s. med 2 - 4 ugers mellemrum. Der aflæses 2 stk. målere, dels for forbrug til de 3 varmepumper dels for samtlige cirkulationspumper. Det aflæste forbrug omregnes til gennemsnits-kW, der omregnet kan benyttes i afbildningerne.

El-forbruget til cirkulationspumperne er i afbildningerne skønsmæssigt fordelt med halvdelen til varmepumpernes cirkulationspumper og halvdelen til de øvrige cirkulationspumper. For simpelhedens skyld er dette el-forbrug ført dels til varmepumperne og dels til varmtvandsbeholderen.

De forskellige varmekilders bidrag til varmeproduktionen er vist på fig. 18. Endvidere er vist den produktion, som er beregnet i ref. 1. Det ses, at specielt gasvarmen har måttet yde mere end forventet ud fra beregningerne i ref. 1. Endvidere har jordvarmen og el.forbruget måttet yde mere end forventet, medens solvarmen har ydet mindre.

Der vil senere blive beskrevet nogle af årsagerne til afvigelserne fra, hvad der kunne forventes ud fra de foreløbige beregninger.



Den målte varmeproduktion fordelt på de forskellige kilder.
Til sammenligning er vist den beregnede produktion i det tilsvarende beregnede anlæg.

Fig. 18 Den målte varmeproduktion

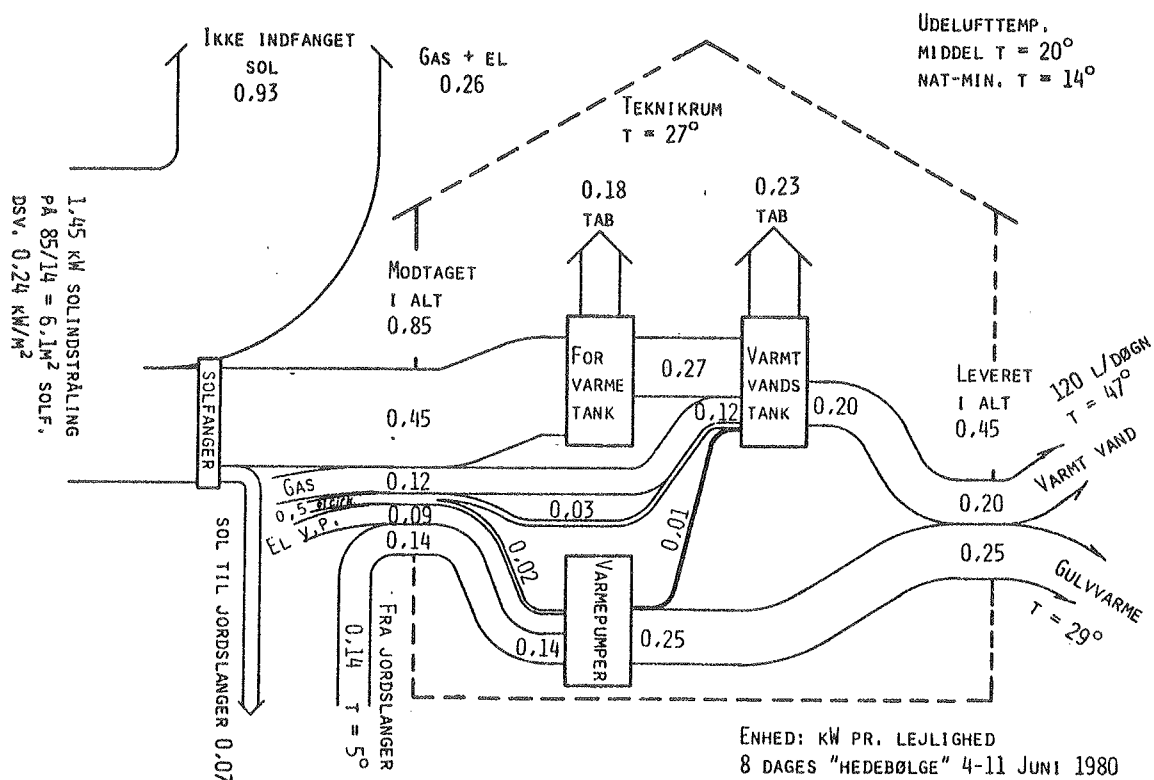


Fig. 19a Varmestrømme: Hele året - 8 dages hedeperiode

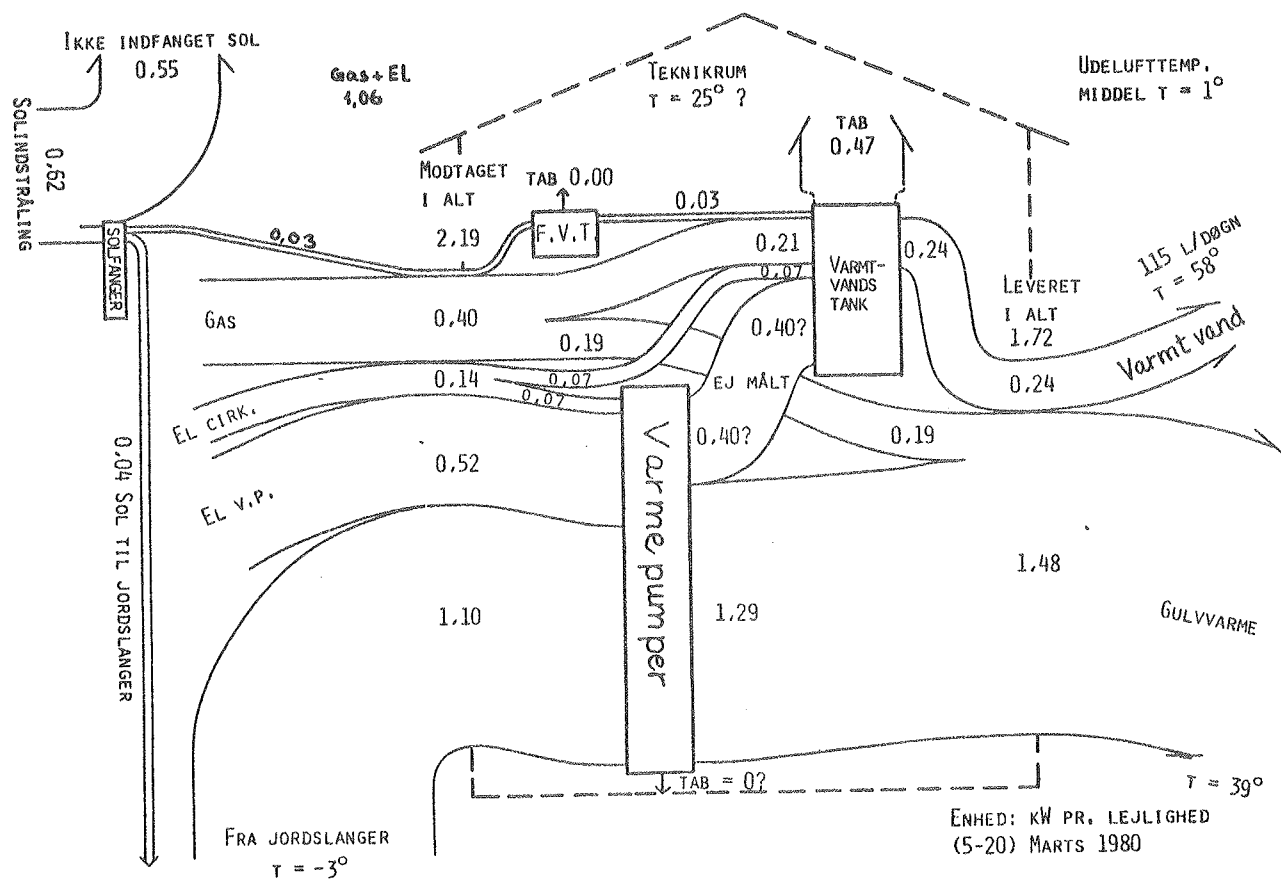
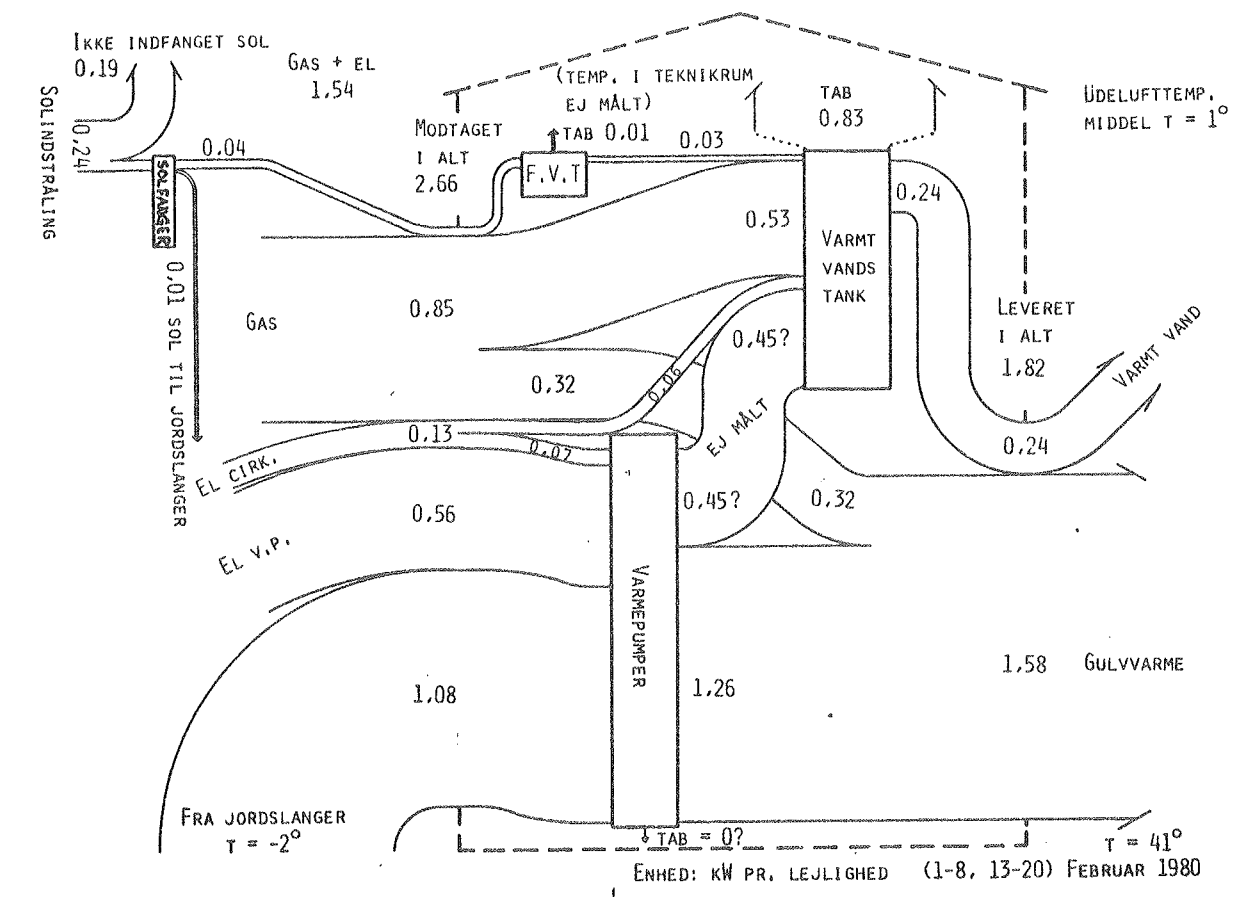


Fig. 19b Varmestrømme: Februar 1980 Marts 1980

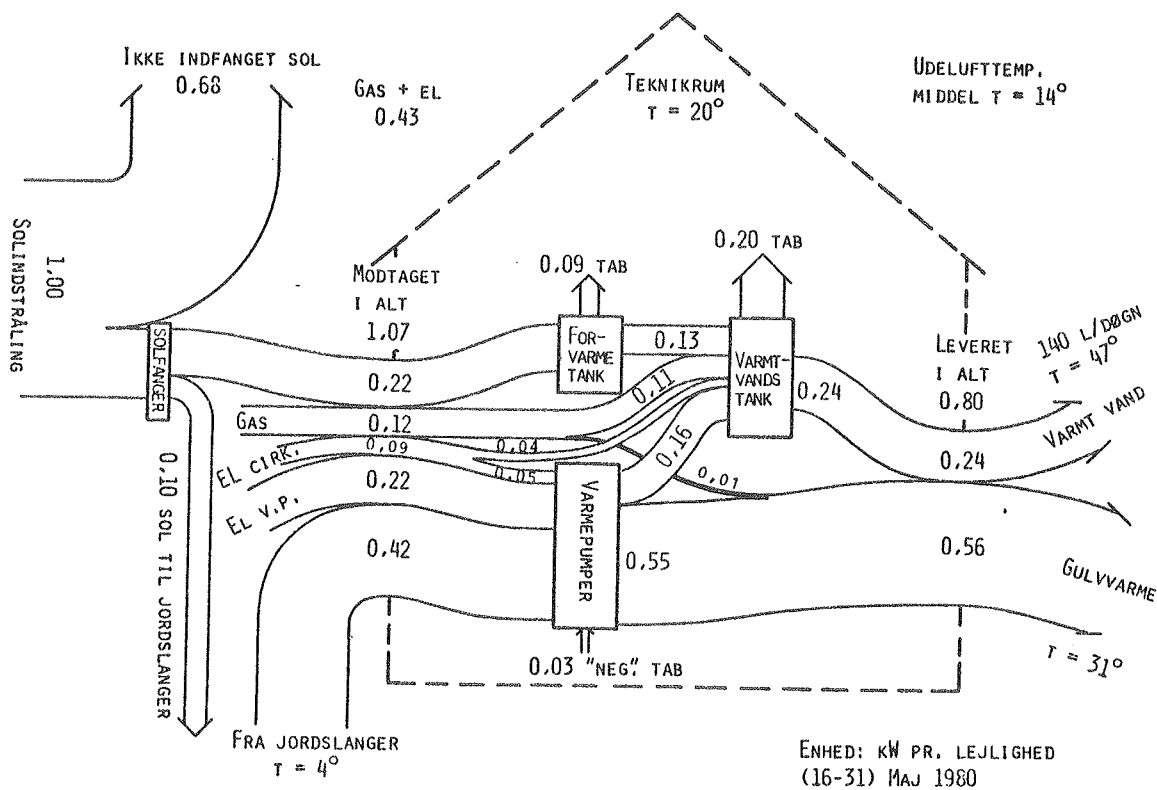
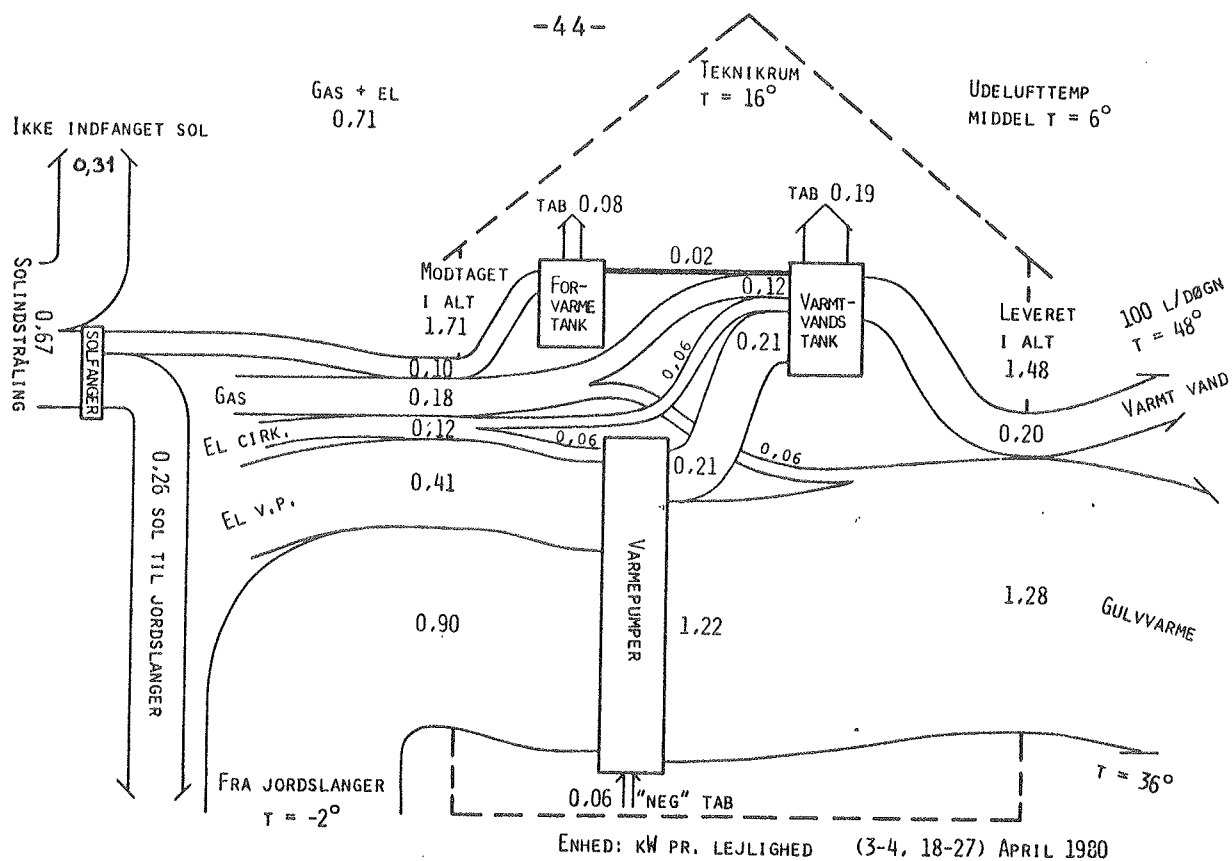


Fig. 19c Varmestrømme: April 1980 Maj 1980

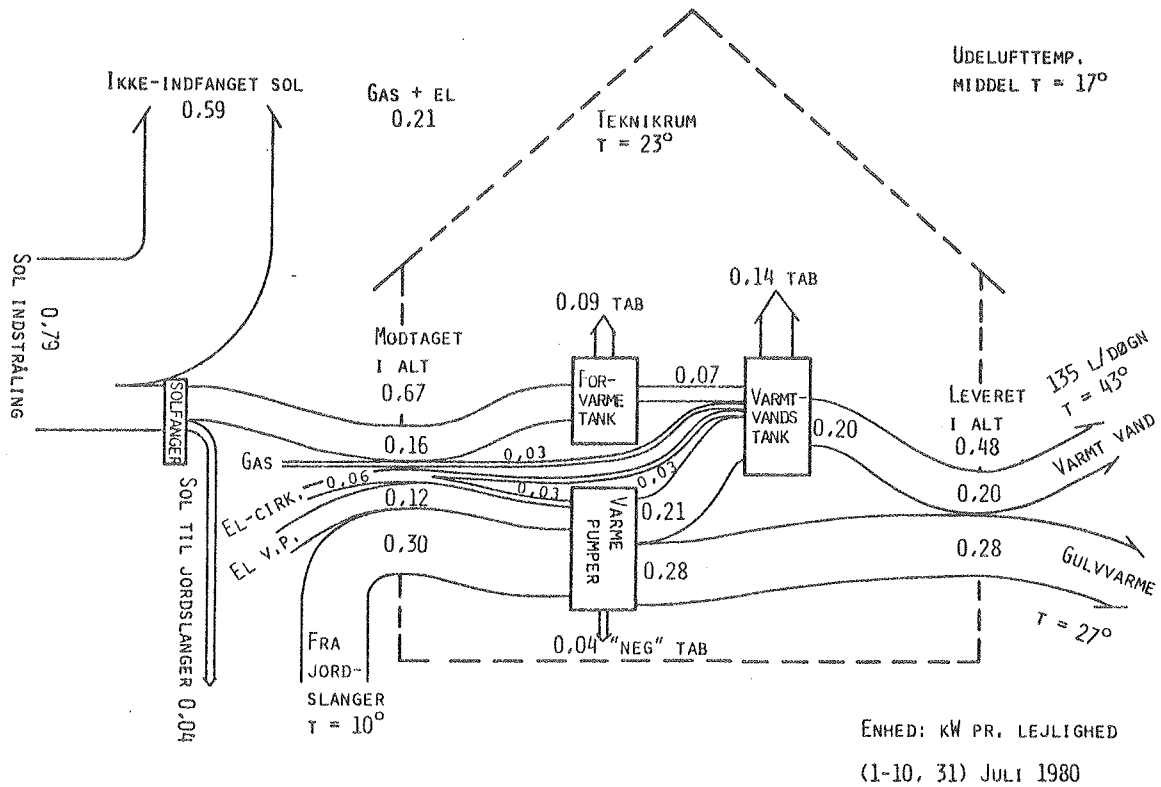
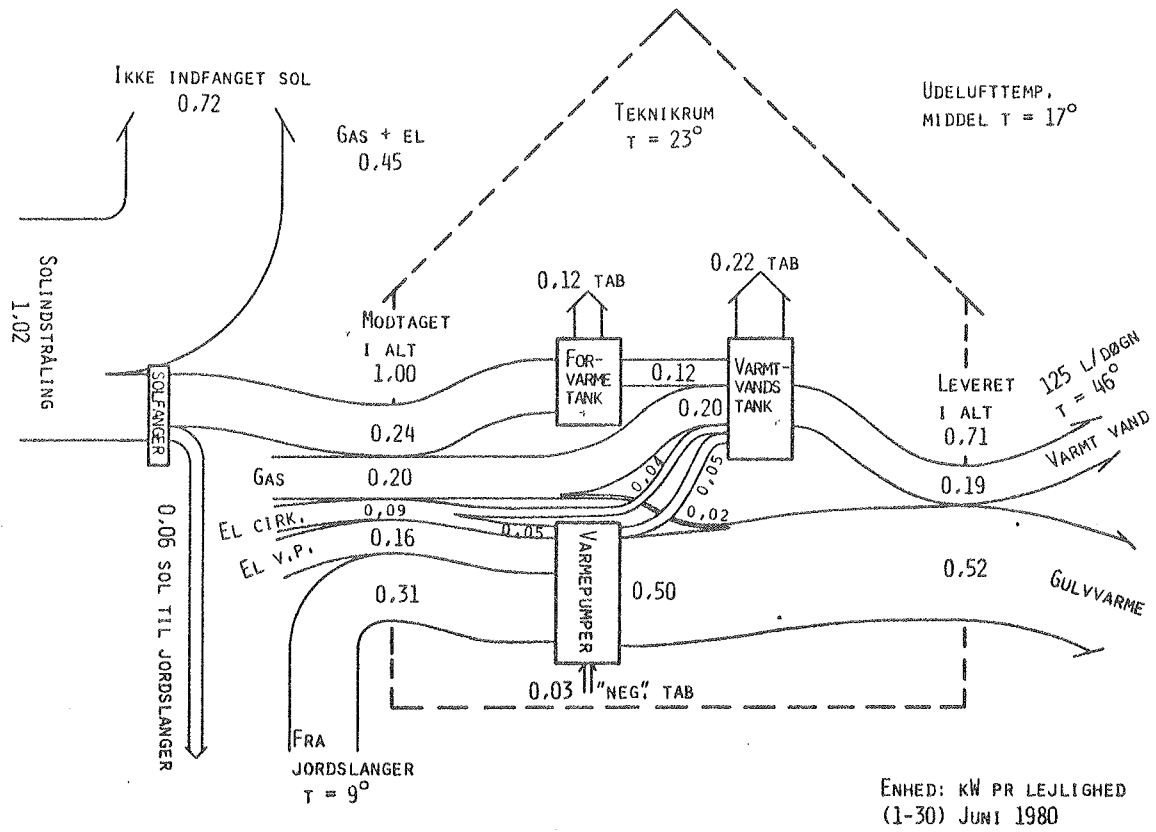


Fig. 19d Varmestrømme: Juni 1980 Juli 1980

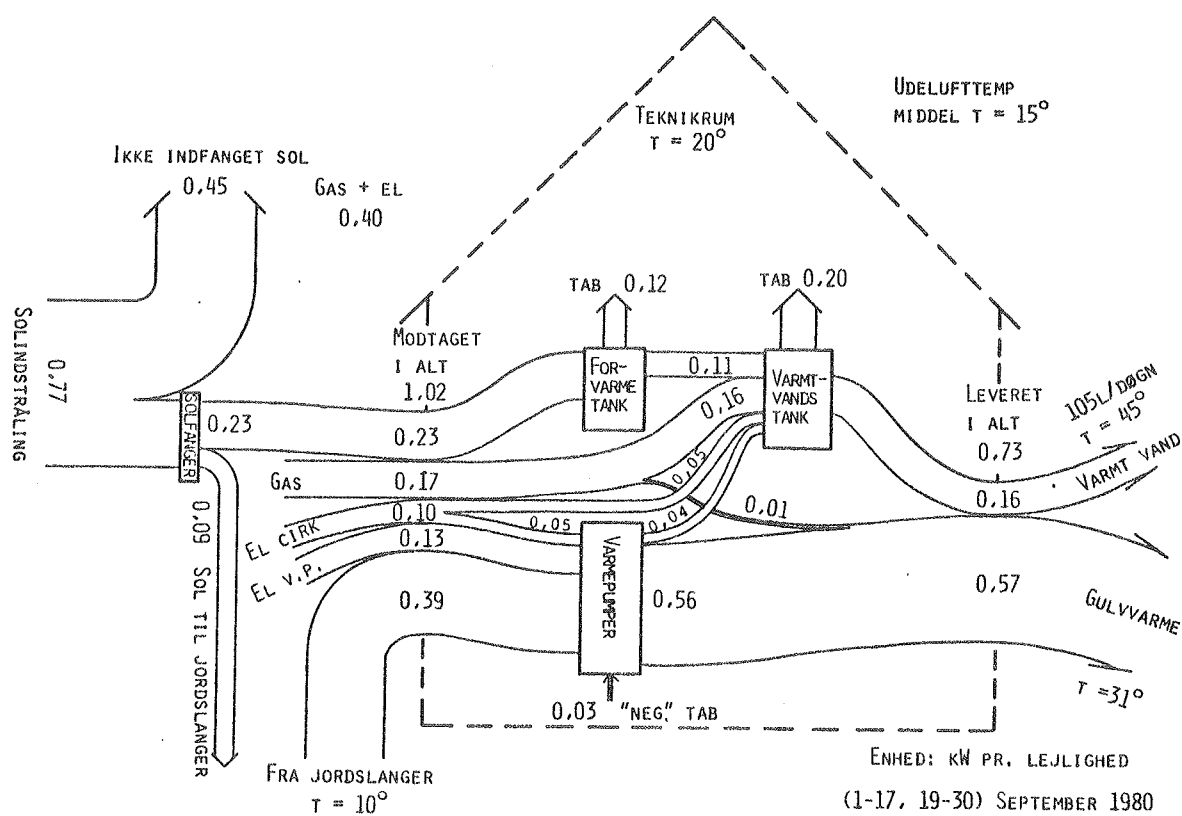
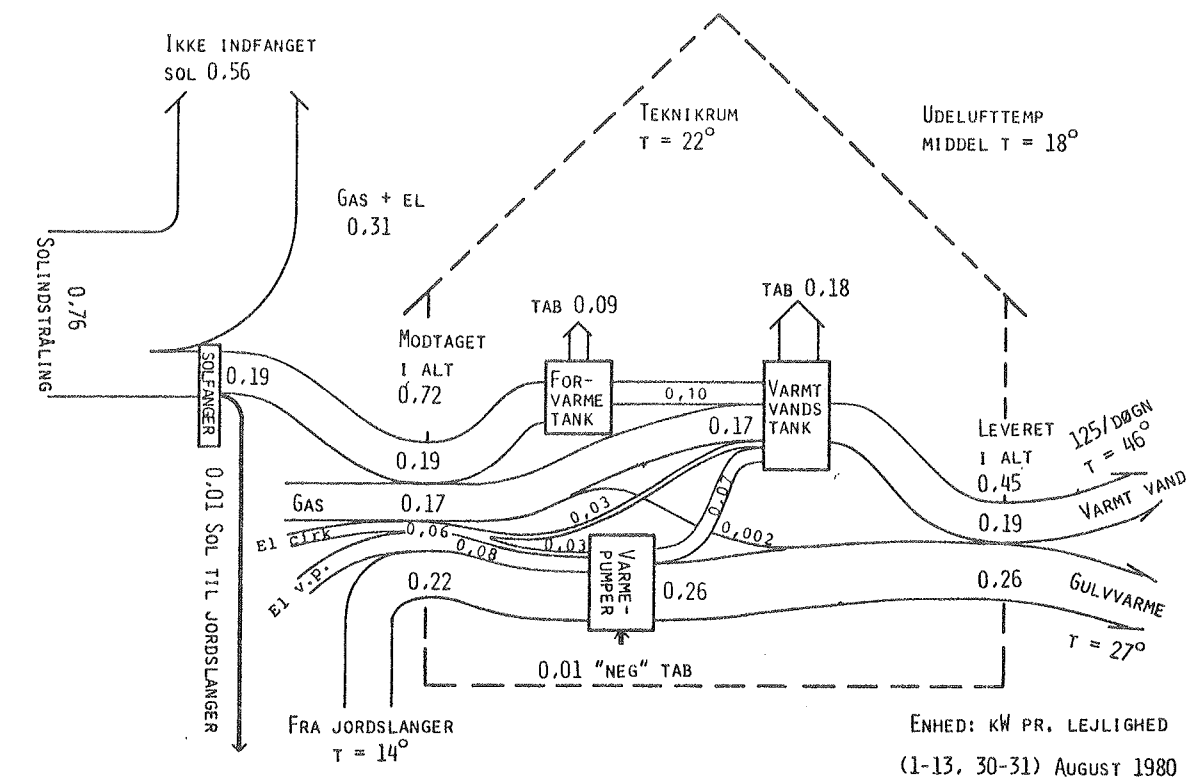


Fig. 19e Varmestømme: August 1980 September 1980

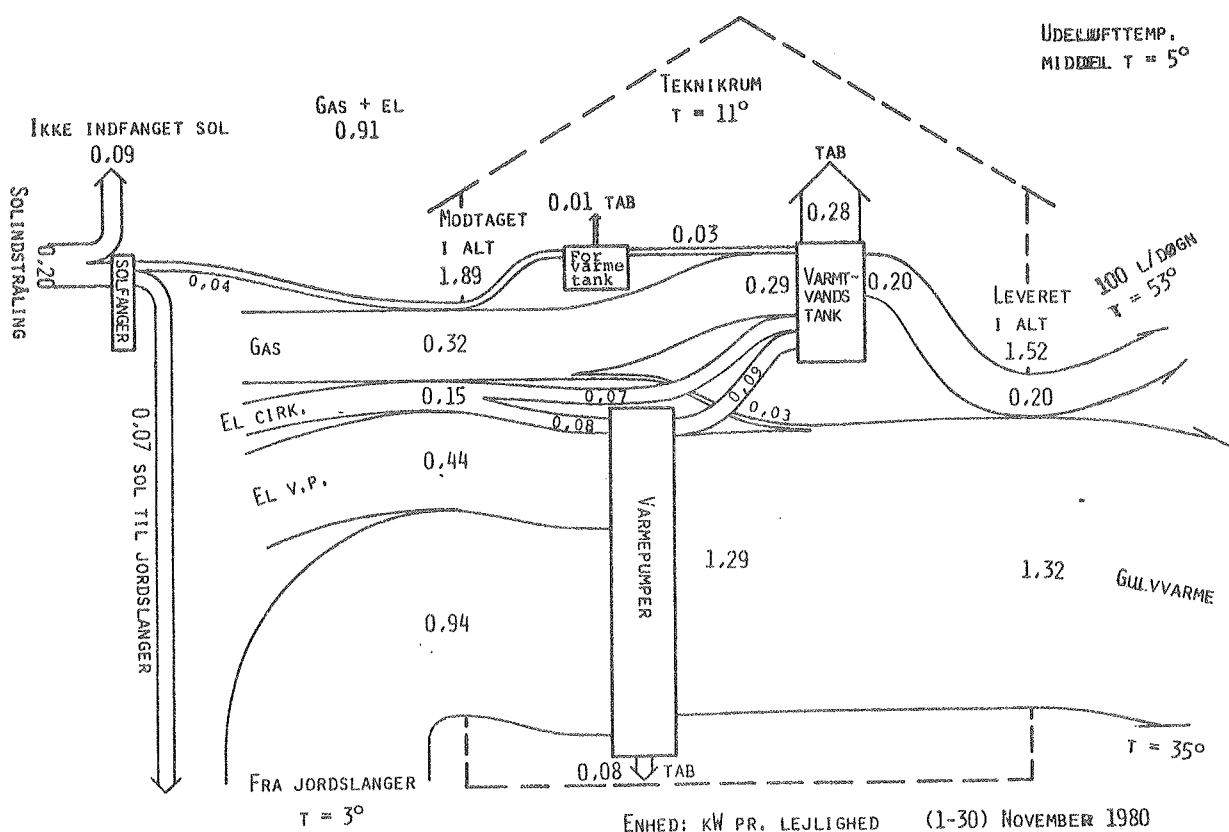
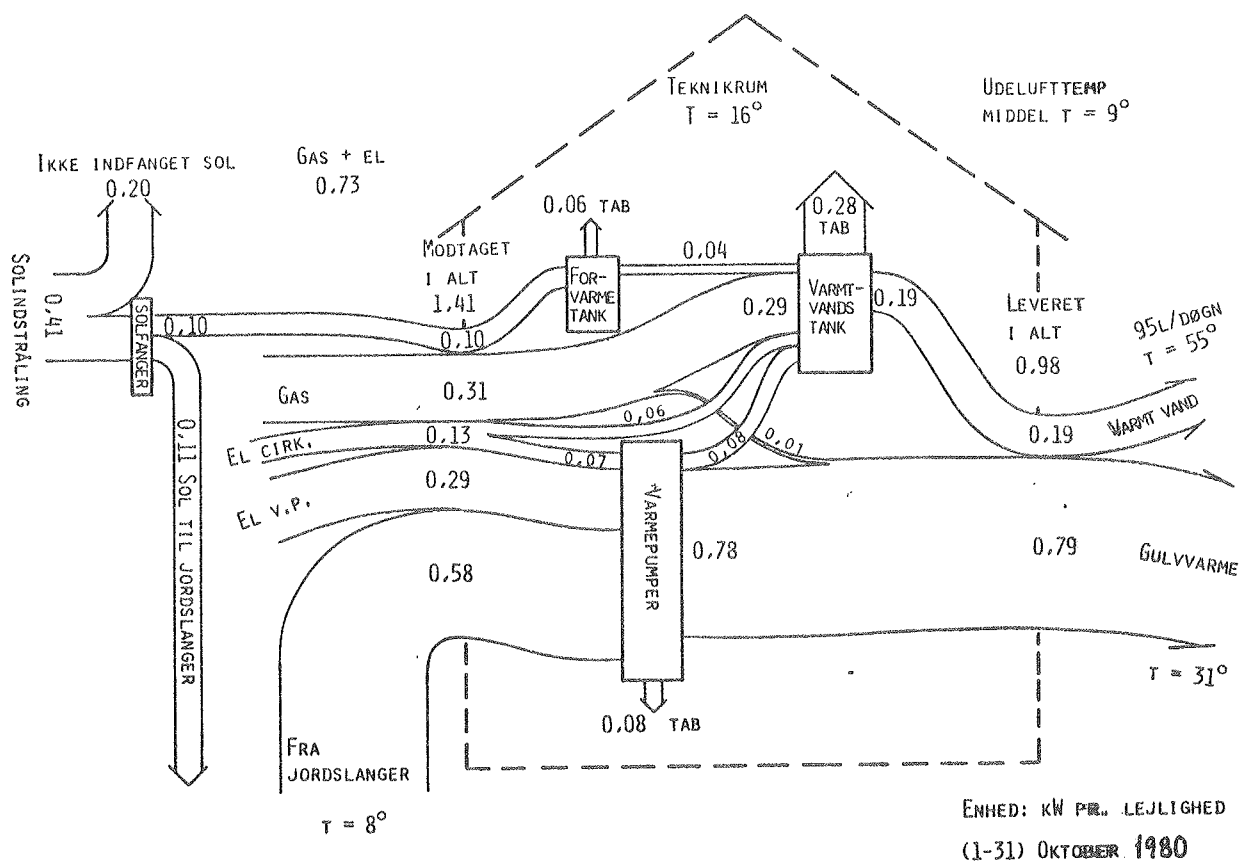


Fig. 19f Varmestrømme: Oktober 1980 November 1980

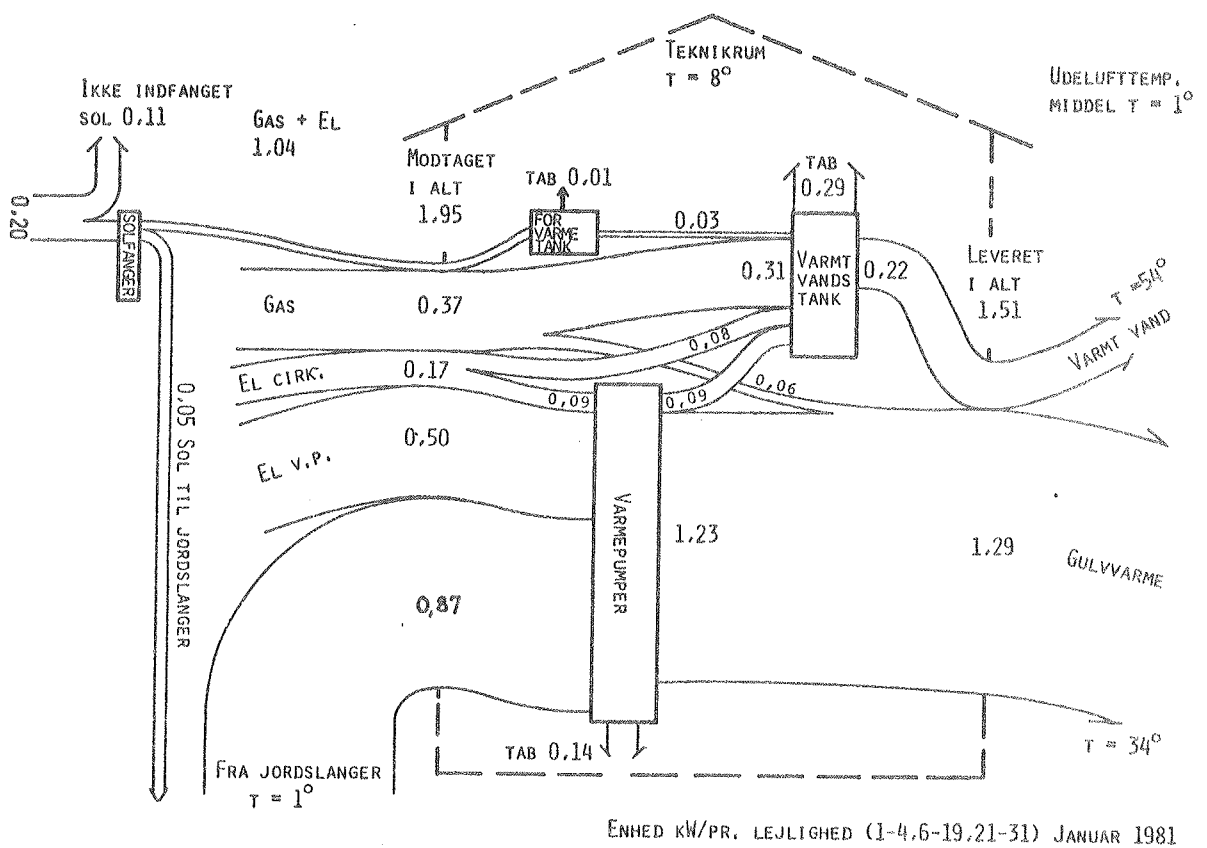
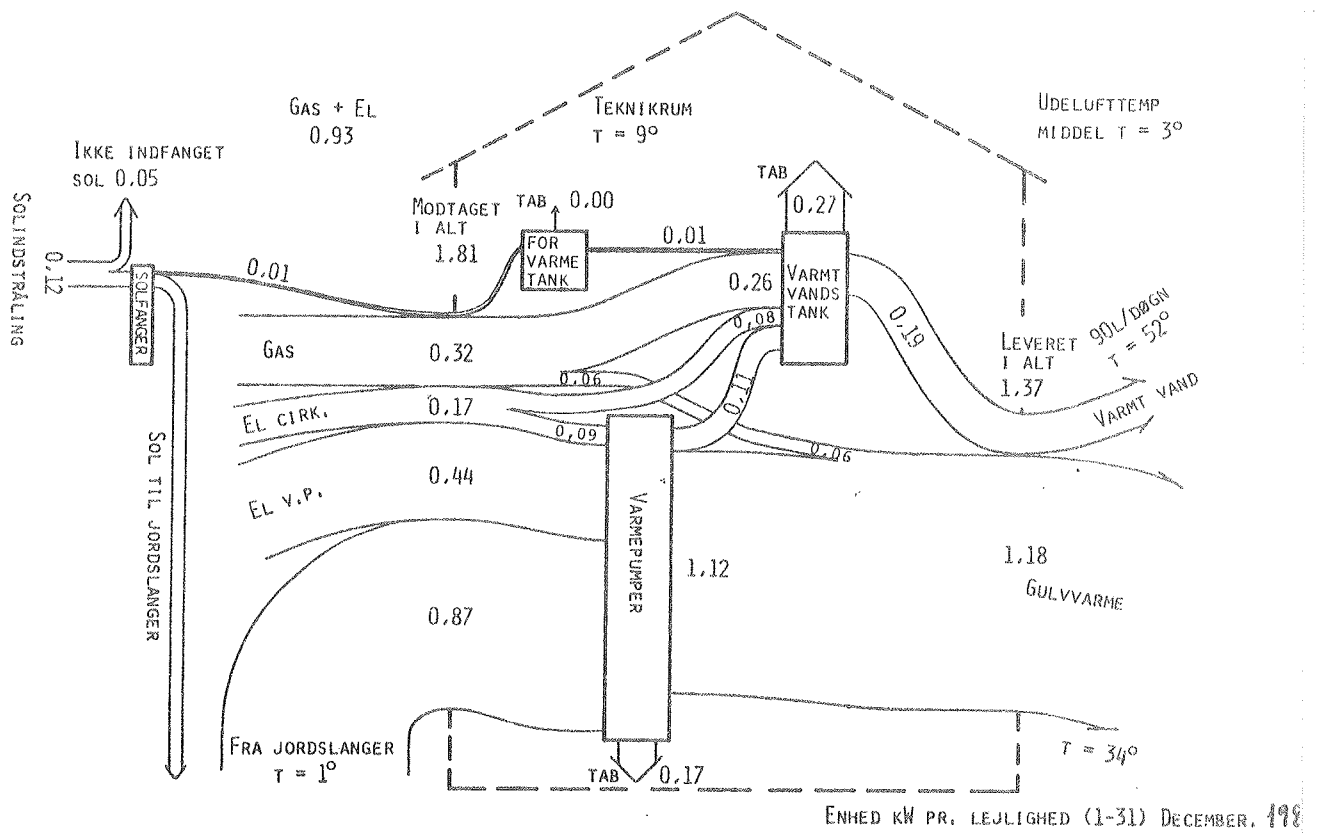


Fig. 19g Varmestrømme: December 1980 Januar 1981

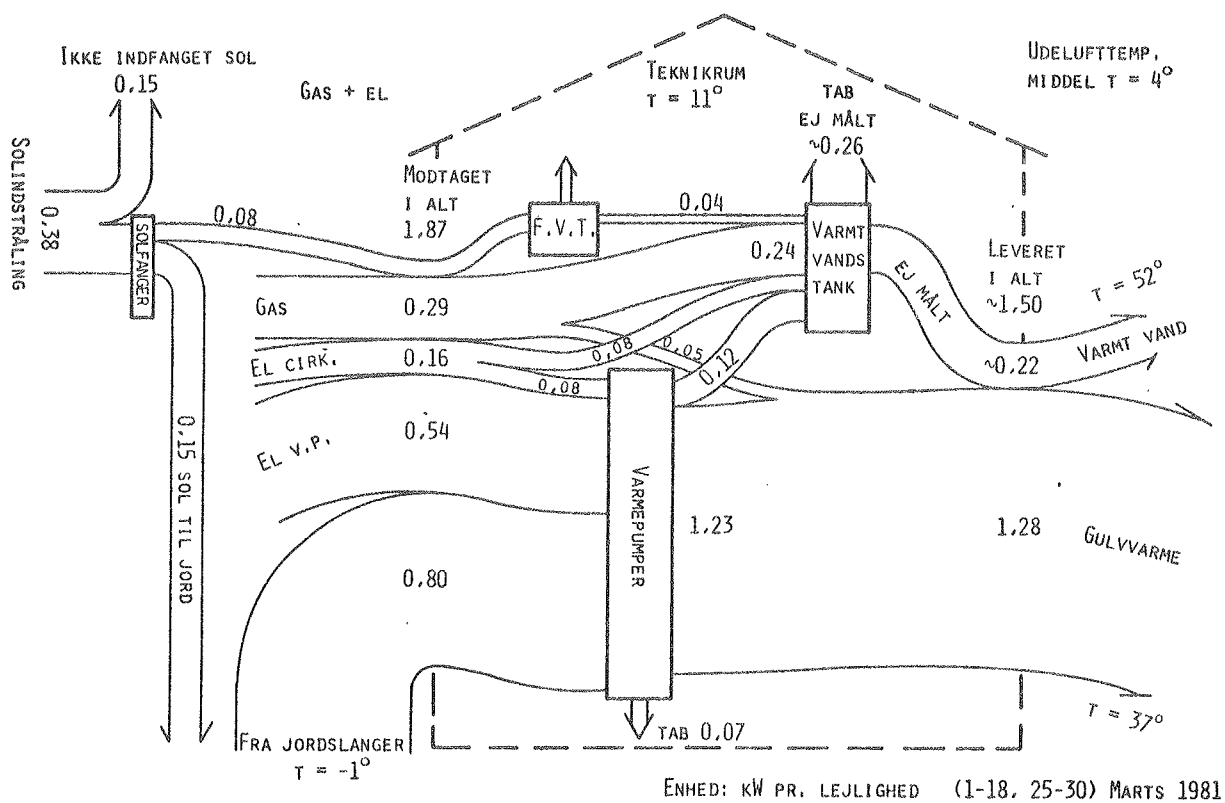
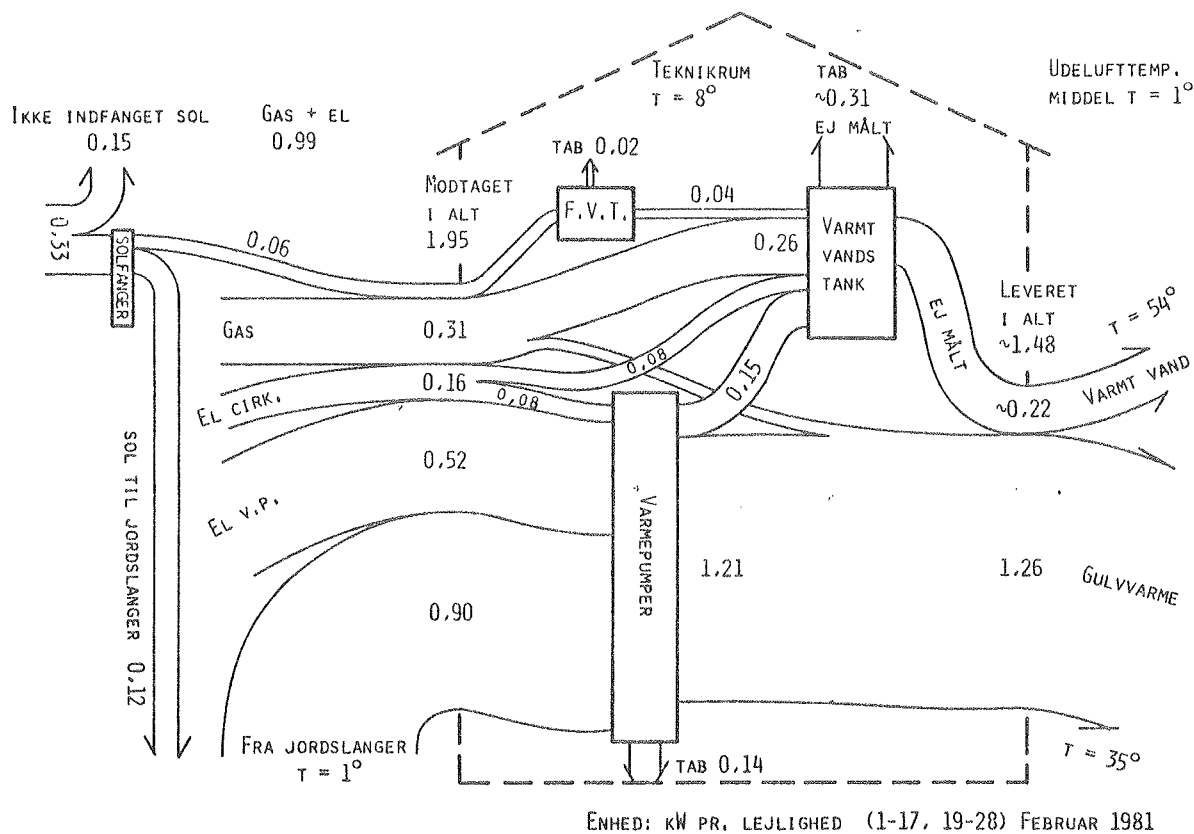


Fig. 19h Varmestrømme: Februar 1981 Marts 1981

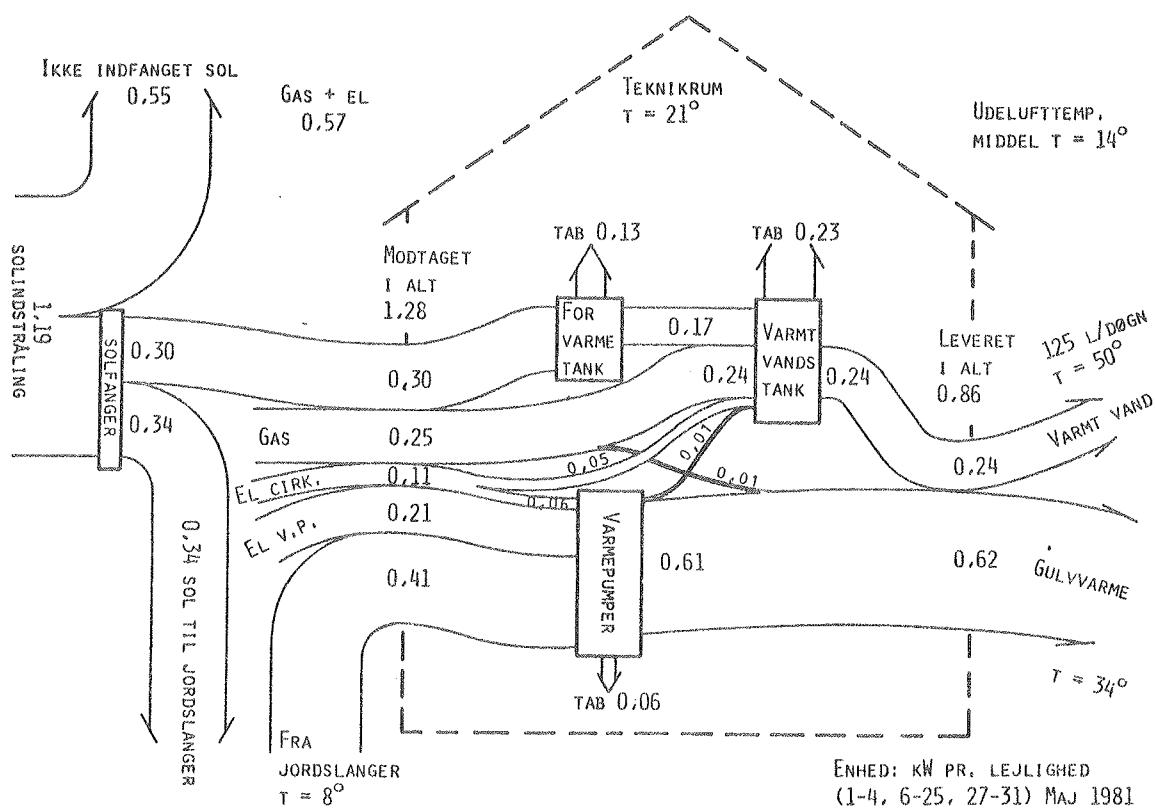
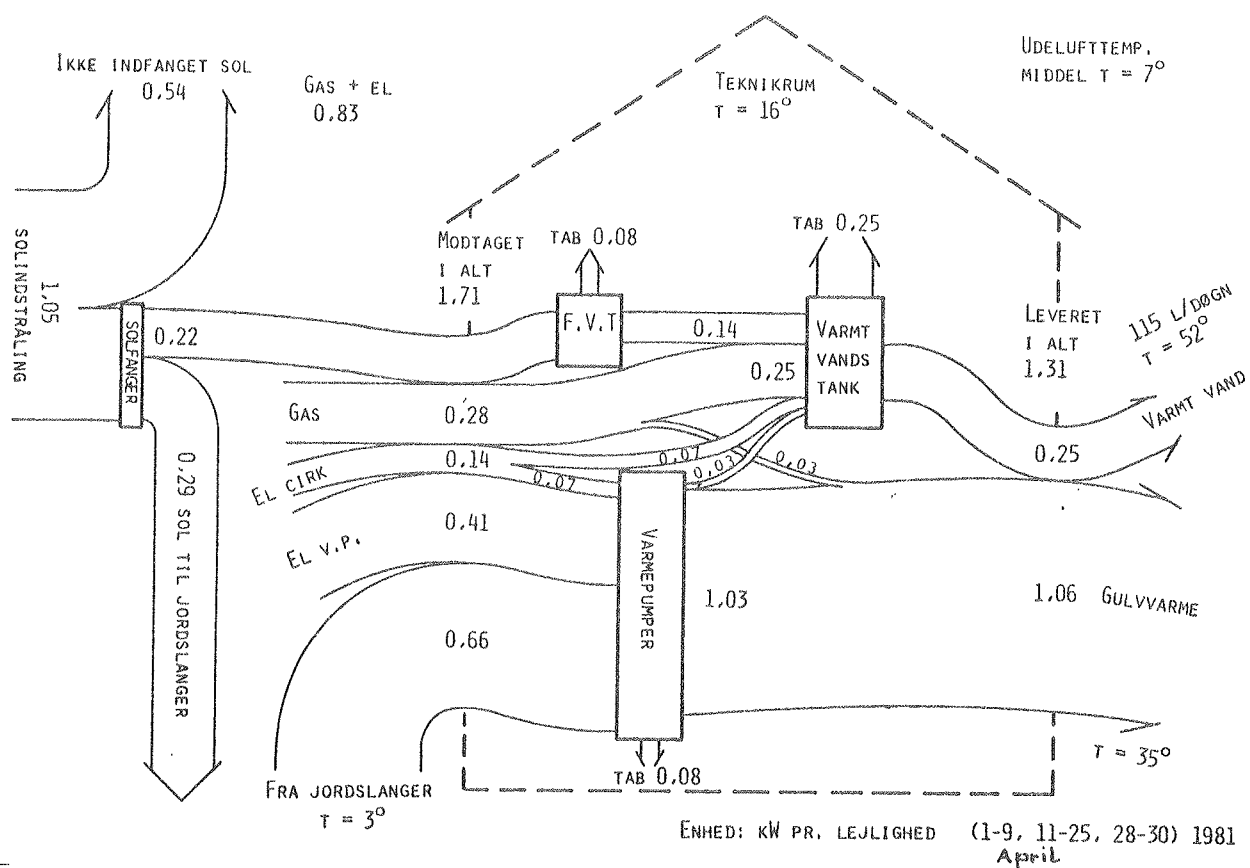


Fig. 191 Varmestrømme: April 1981 Maj 1981

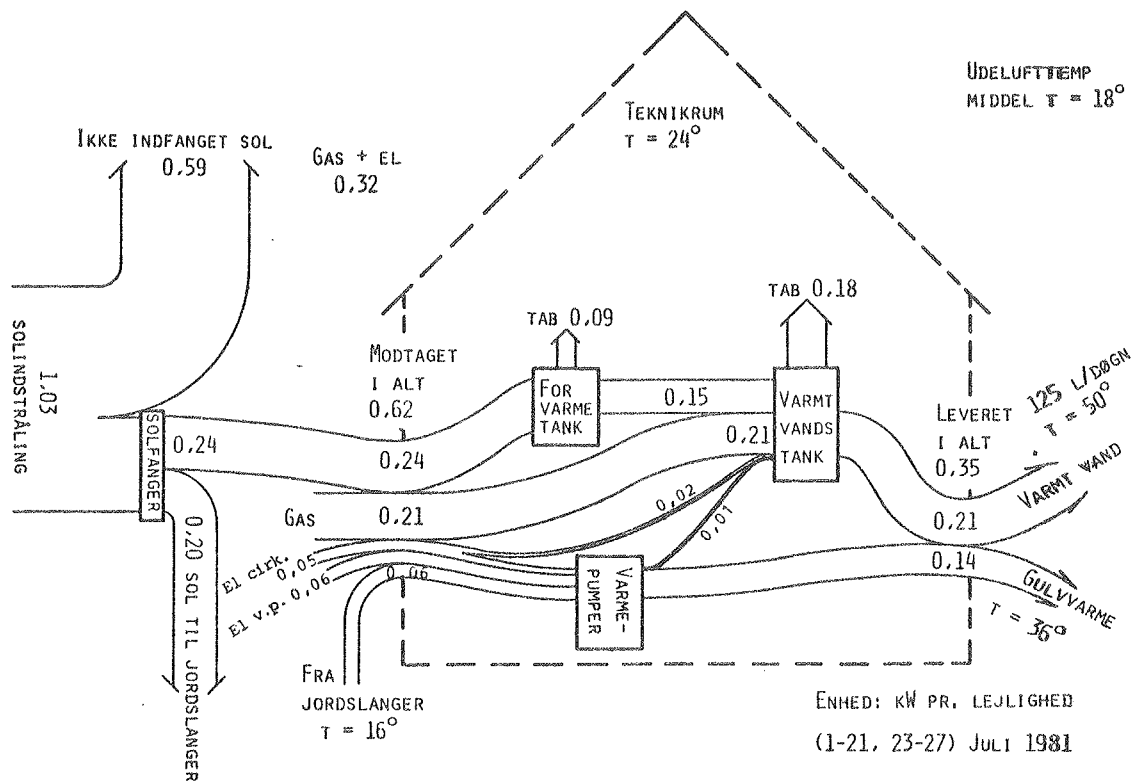
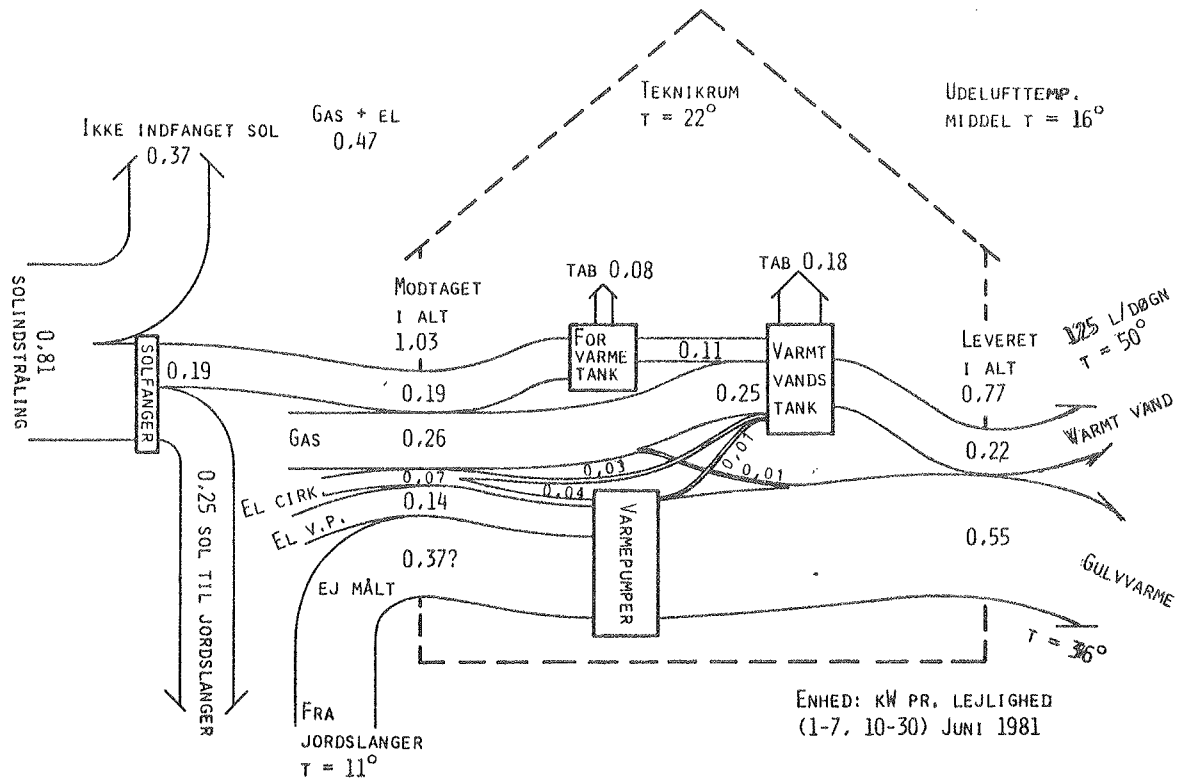


Fig. 19j Varmestrømme: Juni 1981 Juli 1981

5.3 Varmetab

Det målte tab er i gennemsnit 25% af den samlede varmeproduktion d.v.s. 0,36 kW/lejlighed som middelværdi over året.

På grund af den måde varmecentralen fungerer er tabet ret lille fra varmepumperne (til rumopvarmning) og meget stort til varmtvandsforsyningen, idet kun godt 1/3 af energien til varmtvandsproduktionen ender som varmt vand.

På diagrammerne i fig. 19a - 19j er varmetabet fordelt på de to lagerbeholdere og på varmepumperne. Dette er gjort af måletekniske årsager. Der er naturligvis tab fra hele systemet. F.eks. indgår der i tab som er tilskrevet varmtvandstanken et ikke ubetydeligt tab fra ringledningen til det varme brugsvand.

Skønsmæssigt kan der redegøres for varmetabet således:

a) Tab fra ringledning til det varme brugsvand:

Der regnes med 200 m ringledning; transmissionstal $0,2 \text{ W/}^\circ\text{C/m}$
 $\Delta t = 30^\circ\text{C}$

$$\Phi = 0,2 \times 200 \times 30 \times 10^{-3} = 1,2 \text{ kW}$$

eller 0,1 kW pr. lejlighed

Ringledningstab kan også udregnes således:

Målingerne viser en temp.-forskell mellem frem og retur af ringledningen på ca. $0,8^\circ\text{C}$ (sommer $0,6$ vinter $1,1$), og med en cirkulationsstrøm på 20 l/min fås et tab på 1,1 kW altså som før.

Der kan regnes med, at en del af dette ringledningstab kommer lejlighederne til gode til rumopvarmning i fyringssæsonen, selv om det i målingerne registreres som tab.

b) Tab fra rør, ventiler m.m. i varmecentral.

I varmecentralen er der også en del rør, ca. 50 m. De er dog ikke alle fuldt opvarmede hele tiden, så varmetabet her er måske i alt 0,2 kW, hvilket det synes rimeligt at negligere.

Dertil kommer enkelttab fra uisolerede pumpehuse, ventiler, målere, termometre og lign., der i gennemsnit måske har en varmetabskoefficient på 1 W/°C. Hvis der er 50 sådanne enkelttab fås for $\Delta t = 30^\circ\text{C}$:

$$\dot{Q} = 1 \times 50 \times 30 \times 10^{-3} = 1,5 \text{ kW}$$

altså betydeligt større tab end rørtabet i varmecentralen. Rør- og enkelttab i varmecentralen kan altså evt. tænkes at svare til 0,1 kW pr. hver af de 14 lejligheder.

c) Resten af tabet 0,16 kW pr. lejlighed tilskrives varmetab fra beholdere, varmepumper m.m.

5.4 Funktion af solfanger

Solfangeren, hvis opbygning er beskrevet i afsnit 3.4, vurderes i det følgende ud fra målingerne.

5.4.1 Solfangerens effektivitet.

Ved passende stærkt solskin, sendes den varme solfangervæske gennem forvarmebeholderen i varmtvandsforsyningen, som nærmere beskrevet for styresystemets funktion, og ved mindre stærkt solskin sendes solfangervæsken gennem jordslangerne. Solindstrålingen måles med et solarimeter, og sammenlignes den samlede solindstråling på den skrå + lodrette solfanger med den varmemængde, som solfangervæsken afgiver til forvarmebeholder eller til jord, får man den samlede solfangers effektivitet.

For hver måned er der udarbejdet en afbildning af solfangereffektiviteten (= nyttiggjort varme/solindstråling) som funktion af differencen mellem solfangervæsketemperaturen og udelufttemperaturen.

Det kan forventes, at parametre som vindhastighed, solintensitet, solens indfaldsvinkel m.m. har indflydelse på effektiviteten. Hvor disse parametres indflydelse er undersøgt nærmere for visse måneder, har det dog ikke kunnet påvises.

For ikke at bortsortere for mange målinger, er der derfor ikke taget hensyn til disse parametre. Det er dog krævet, at gennemsnitssolindstrålingen pr. m^2 solfanger skal være mindst 60 Watt/m^2 , for at målingen kan bruges, samt at solfangeren en hel klokke time har været i drift enten mod tank eller mod jord.

De månedsvise afbildninger viser nogen spredning, men med tilnærmelse kan der dog for alle månederne indtegnes en linie, der giver effektiviteten $\eta = 0,7$ ved $t_{\text{sol}} = t_{\text{ude}}$, og $\eta = 0$ ved $t_{\text{sol}} = 70^\circ + t_{\text{ude}}$, stagnationstemperaturen. Denne linie ligger lidt for højt i marts, nov., dec. 1980 og jan. 1981 og lidt for lavt i juni 1980.

Solfanger-effektiviteten passer over et år således rimeligt godt med denne linie, idet effektiviteten kan være lidt bedre om sommeren og dårligere om vinteren. Effektiviteten kan derfor skrives som:

$$\eta = 0,70(1 - \frac{1}{70} (t_{\text{solf}} - t_{\text{ude}}))$$

eller:

$$\eta = 0,70 - \frac{1}{100} (t_{\text{solf}} - t_{\text{ude}})$$

(med temperaturer målt i °C). Denne effektivitet er vist på fig. 20.

Ved at benytte afbildninger, hvor ovennævnte temperaturdifferens er divideret med solindstrålingen I, kan man (med lidt dårligere tilnærmelse) indlægge en ret linie med ligningen:

$$\eta = 0,70 - 6 \frac{t_{\text{solf}} - t_{\text{ude}}}{I}$$

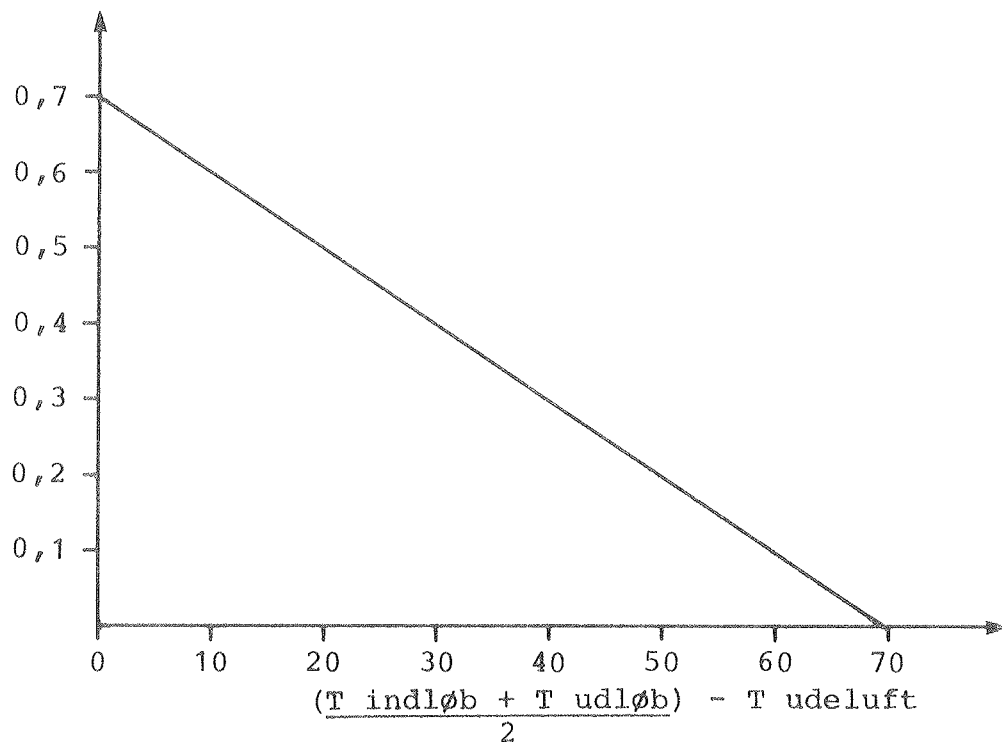
(med temperaturer målt i °C og solindstråling i W/m²). Ligeledes vist på fig. 20.

Dette udtryk for effektiviteten stemmer overens med det andet for $t_{\text{solf}} - t_{\text{ude}} = 0$, og når $I = 600$ også for $\eta = 0$.

Effektivitetskurverne viser ikke en af de bedste solfangere men dog heller ikke en meget dårlig i betragtning af, at der er to hældninger. Imidlertid er effektiviteten ikke stor nok til, at en rimelig mængde solvarme kan føres gennem det tabsgivende tanksystem med tilstrækkelig høj temperatur.

Selv uden varmetab i rør og beholdere vil solfangeren alene kun netop kunne klare den ønskede varmtvandsforsyning under de bedste solskinsperioder, som det kan ses af følgende betragtninger.

SOLFANGER EFFEKTIVITET



(Optegnet for solintensiteten større end 60 W/m^2)

SOLFANGER EFFEKTIVITET

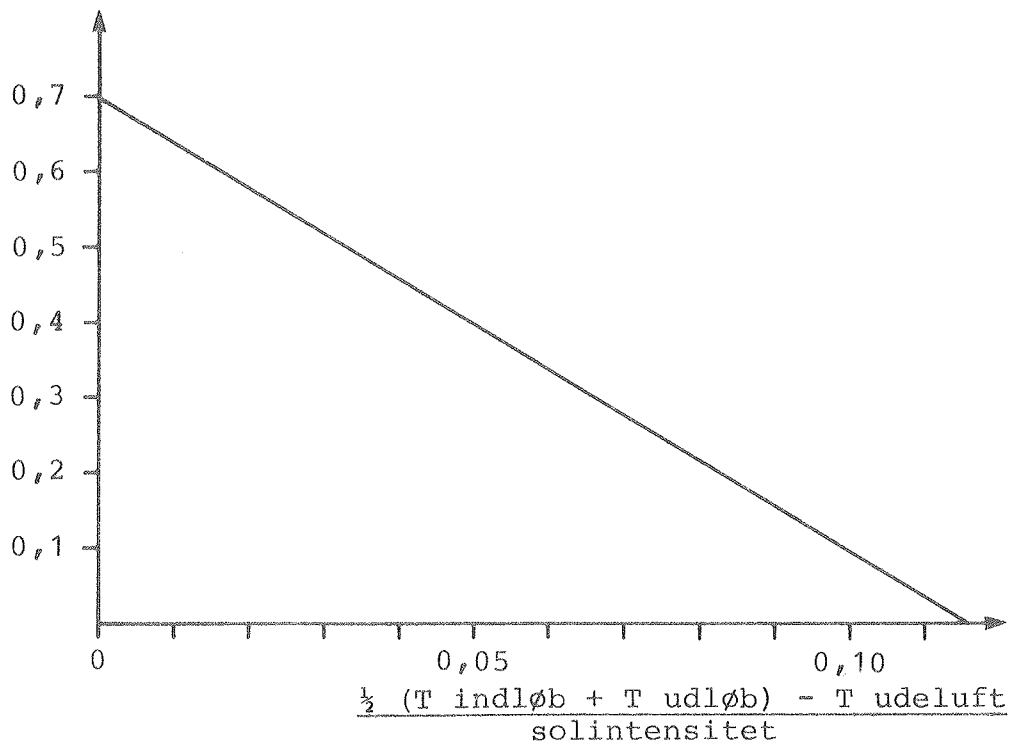


Fig. 20 Solfangerens tilnærmede effektivitet.

5.4.2 Overførsel af varme fra solfangeren

Af målingerne fremgår det, at systemets evne til at overføre varme fra solfangeren til det varme brugsvand næppe er tilstrækkelig. Dette har haft betydning for systemets ydelse.

Selv uden varmetab i rør og beholderen vil solfangeren alene kun netop kunne klare den ønskede varmtvandsforsyning under de bedste solskinsperioder. Dette ses af det følgende:

Solfangervæsken passerer en varmeveksler i bunden af forvarmebeholderen, der er opgivet til at yde 35 kW ved $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$. Endvidere passerer vandet i forvarmebeholderen en varmeveksler i bunden af varmtvandstanken med ydelsen 12 kW ved $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$, og ud fra målingerne er det blevet eftervist, at disse varmevekslere har ydet som forventet.

Ifølge projekteringsgrundlaget ønskes det, at varmtvandstanken i gennemsnit til varmt vand leverer 4,9 kW med en vandtemperatur på 50°C .

Varmeveksleren yder 12 kW ved $\Delta t = 10^{\circ}$, så for at yde 4,9 kW kræves der ved jævn belastning et Δt på

$$\Delta t = \frac{4,9}{12} \cdot 10 = 4^{\circ}\text{C}$$

Varmeveksleren i forvarmebeholderen yder 35 kW ved $\Delta t = 10^{\circ}$. Ved tilnærmet at betragte fuld solydelse i 1/5 af døgnet 24 timer, der så skal give de ønskede 4,9 kW, fås et Δt på:

$$\Delta t = 5 \cdot 4,9 \cdot \frac{1}{35} \cdot 10 = 7^{\circ}\text{C}$$

Hvis den øvre del af varmtvandstanken med varme alene fra solfangersystemet skal holdes på 50°C , skal forvarmebeholderen være 4°C varmere (i den øvre del af udløb).

Skal solfangeren yde varme til en 54°C forvarmebeholder, skal solfangervæsken være 7°C varmere, altså ca. 60°C .

Hvis solfangervæsken skal være 60°C ved en udelufttemperatur på

15°C, d.v.s. $t = 60 - 15 = 45$, fås af de målte effektivitetskurver, at solfangereffektiviteten er $\eta = 0,25$.

På dage med meget solskin modtager solfangeren omkring 480 kWh solskin i alt på et døgn. Med $\eta = 0,25$ giver dette en nyttiggjort energi på

$$0,25 \cdot 480 = 120 \text{ kWh}$$

de 120 kWh svarer til en effekt på 5 kW i et døgn altså omtrent lig de 4,9 kW som er behovet.

Med denne grove betragtning kan solfangersystemet alene altså kun netop klare den ønskede varmtvandsforsyning i en solskinsperiode, hvis tanke og samtlige rørforbindelser er helt tabsfrie. Dette bekræftes af målingerne.

5.4.3 Solfanger med to hældninger.

Solfangeren består af en lodret del (33,6 m²) og en skrå del (51,4 m² hældende 25° med vandret).

For ikke yderligere at komplicere anlægget er der valgt ved styring af anlægget kun at anbringe solfangerfølere på den lodrette solfanger (se afsnit 3.10). Pilotsolfangeren er anbragt med en hældning midt mellem lodret og 25°. De to solfangerdele er forbundet parallelt og startes og afbrydes altså samtidigt.

Dette kan betyde, at en af solfangerdelene teoretisk kan komme til at køre med negativt udbytte, eller at systemet startes for sent eller afbrydes for tidligt, hvorved udbyttet reduceres.

Måledata er blevet gennemgået med henblik på at vurdere, hvorvidt dette har været tilfældet.

Negativt udbytte?

Ud fra måledata kan det konkluderes, at solfangeren praktisk taget aldrig har kørt med negativt udbytte. Derimod er det

forekommet, at en af solfangerdelene har kørt med en lavere temperatur end indløbstemperaturen til solfangeren. Dette er dog kun sket i under ca. 8% af solfangerens driftstid.

For lille driftstid?

En vurdering af målingerne tyder ikke på, at solfangeren har kørt med væsentligt nedsat driftstid på grund af de to hældninger. Hvis solfangeren systematisk både startede for sent og stoppede for tidligt, ville dette eventuelt manifestere sig i form af fravær af små tal for den indvundne energimængde. Som det ses af figur 21, har dette ikke fundet sted. Heller ikke når de enkelte måneder betragtes.

HYPPIGHED
AF SAMTLIGE
MÅLINGER

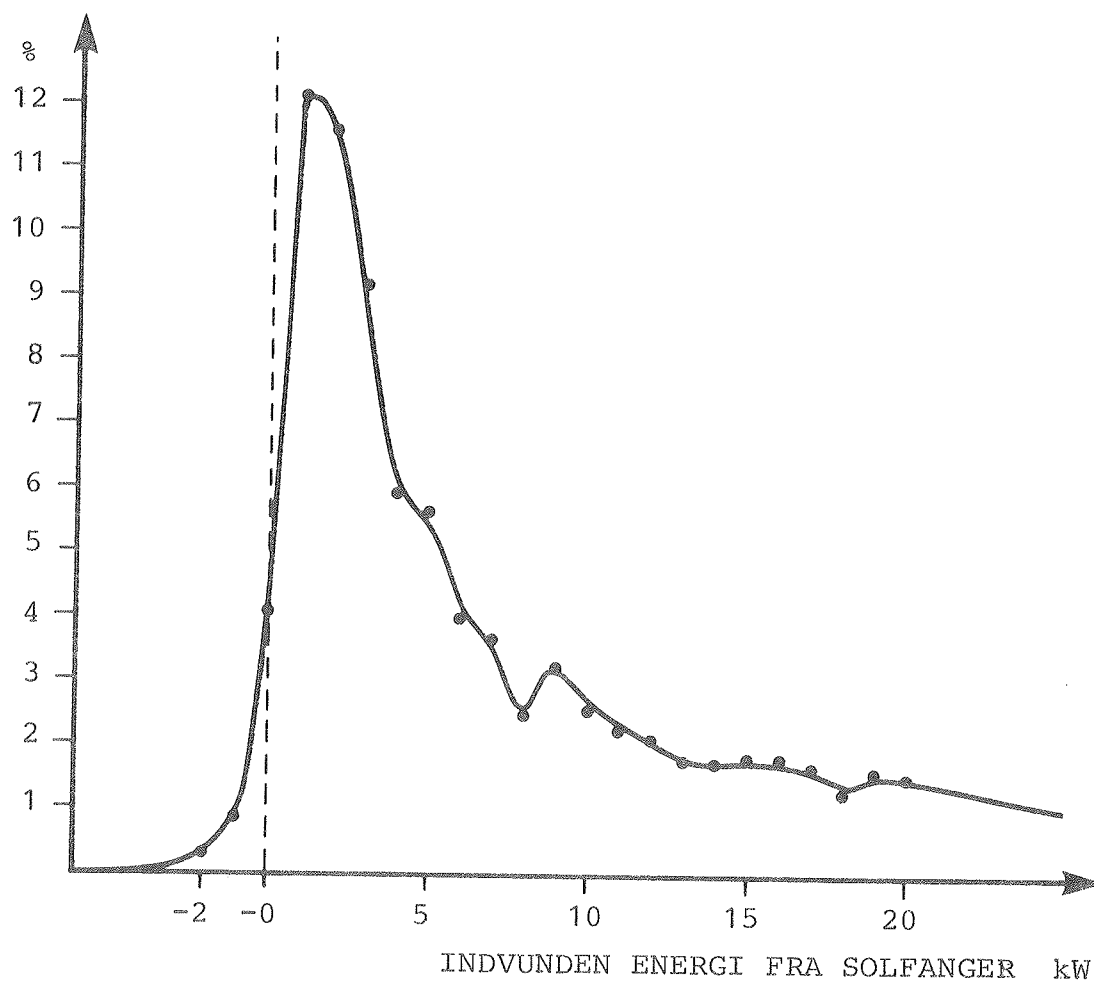


Fig. 21 Fordeling af indvunden energi

HYPIGHED I %
AF SAMTLIGE MÅLINGER

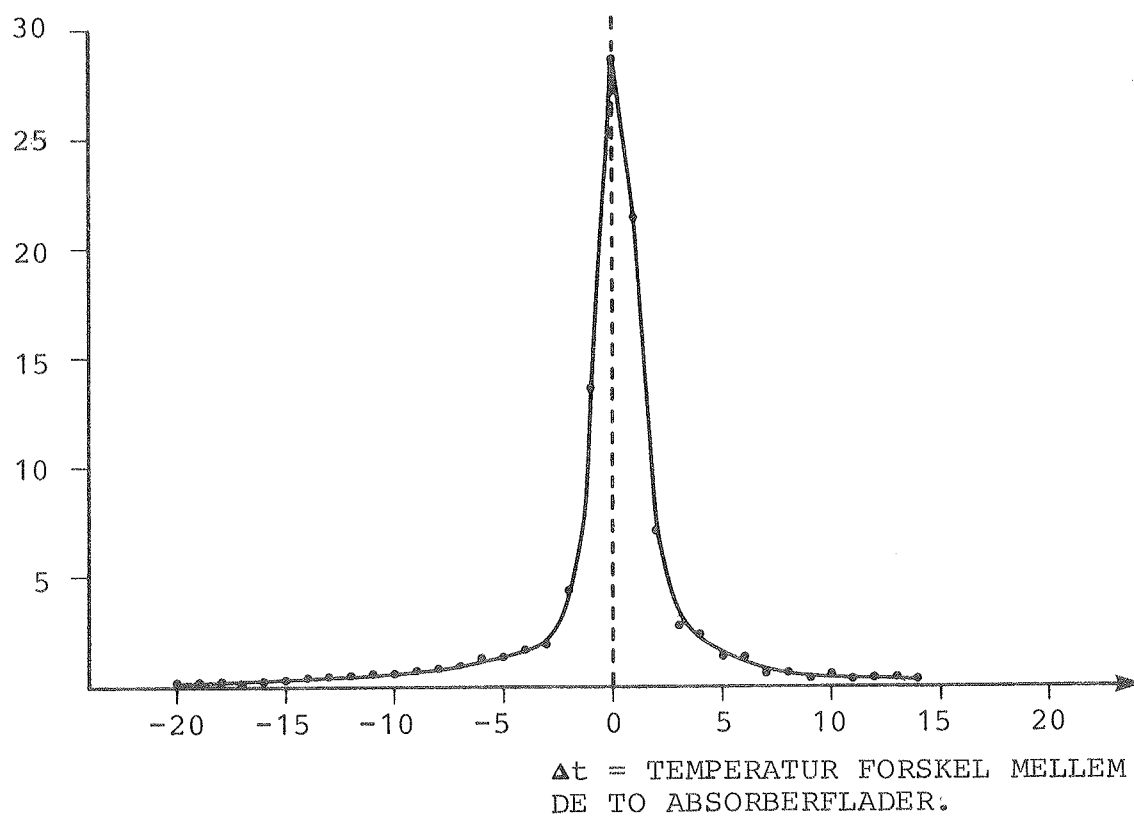


Fig. 22 Temperaturforskel mellem de to absorberflader.

Temperaturforskelle ved de to hældninger.

Et indtryk af, hvorledes driften har været ved de to hældninger, fås også ved at betragte temperaturforskellene mellem de to solfangerdele.

På figur 22 ses fordelingen af forskellen mellem absorberttemperaturen for de to flader.

Absorbertemperaturerne er målt på den øverste del af hver af de to flader og er derfor et udtryk for solfangerens temperatur i nærheden af udløbet fra solfangeren. På figuren er angivet temperaturforskelle, når solfangeren er i drift. Det ses, at langt de fleste temperaturforskelle ligger mellem -3 og $+3^{\circ}\text{C}$. D.v.s. der har som regel kun været lille forskel på temperaturen af de to flader, når solfangeren har været i drift. Om vinteren er det den lodrette solfanger, som har været varmest og om sommeren den skrå.

Idet den maksimale solhøjde ved Næstved om sommeren er 58° vil den meste indfaldne solstråling kunne antages at finde sted ved solhøjder mellem 15° og 50° . Ved disse hældninger kan det let vises, at solintensiteten på de to flader vil forholde sig som 2:3 altså ikke den helt store forskel, hvilket også afspejles i målingerne.

Det må altså af ovenstående kunne konkluderes, at ved anlægget i Næstved har de to solfangerhældninger næppe betydet de store problemer, men med til denne konklusion hører dog også, at anlæggets store varmekapacitet, pilotsolfangerstyringen og solfangerens forskellige driftstilstande gør det vanskeligt at definere en tilstand, hvor solfangeren fungerer optimalt.

5.5 Styling af anlægget

5.5.1 Styling med pilotsolfanger

Da solfangeren skal lagre varme ved to temperaturniveauer har det været nødvendigt at indføre den specielle pilotsolfangerstyring (se afsnit 3.10). Det er interessant at vurdere, hvorledes denne har virket, og dette er forsøgt gjort ud fra målingerne.

Den specielle solfangerstyring består af pilotsolfangeren samt af 3 differenstermostater. Differenstermostaternes start- og stopdifferens er forsøgt indstillet bedst muligt ved at betragte anlægget under drift.

Ud fra målingerne kan det ses, at anlægget stort set har kørt således:

- 1) Solfangeren har kørt mod jord, når solfangeren har været 5°C varmere end temperaturen i jorden i nærheden af jordslangen (denne temperatur er målt jvf. kapitel 4). Det har således ikke betydet så meget, at føleren til termostaten er anbragt i jorden nær varmecentralen og altså ikke ude i selve jordslangearealet.
- 2) Undtaget under 1 er dog når temperaturen i pilotsolfangeren har været ca. 10°C varmere end temperaturen midt i forvarmebeholderen, hvorved pumpen er blevet slukket, således at solfangeren har stået i venteposition til at køre mod tank, eller når solfangertemperaturen har været et par grader varmere end temperaturen midt i forvarmebeholderen, hvorved solfangeren har kørt mod tanken.

Perioden, hvor solfangeren er i venteposition, har typisk været omkring en halv time.

Ved at betragte de målte temperaturforløb og benytte foranstående kriterier kan det findes, at på årsbasis har de

potentielle muligheder for drift af solfangeren været:

Solfanger mod tank	13% driftstid
--------------------	---------------

Solfanger mod jord	10% driftstid
--------------------	---------------

De driftstider, der er målt, er:

Solfanger mod tank	9% driftstid
--------------------	--------------

Solfanger mod jord	13% driftstid
--------------------	---------------

Begrænsende for solfangerens driftstid har også været termostaterne T4 og T5 jvf. afsnit 3.10, som stopper pumpen, når temperaturen i henholdsvis udløb og indløb fra jordslanger overstiger 25 og 35°C.

Termostaterne er indført for at beskytte henholdsvis varmepumper og jordslanger mod for høje temperaturer.

Termostaten for de 25°C har næppe været i funktion, da temperaturen kun i et enkelt tilfælde har tangeret 25°. Termostaten for de 35°C har været i funktion i en del tilfælde, bl.a. fordi tregangshanen sol-jordslanger ikke har været helt tæt, således at der har sivet en delstrøm hen til termostaten. Dette kan have medført, at der ikke er leveret varme til forvarmebeholderen i gode perioder p.g.a. tvangsstop.

Ved beregningerne af anlægget i ref. 1 er der udregnet omtrent dobbelt så store driftstider, og der er nok ingen tvivl om, at en mere præcis styring af anlægget i Næstved ville have kunnet sætte driftstiden i vejret. En sådan styring har ikke været mulig i Næstved på grund af forhold som store varmekapaciteter, pilotsolfangerens styring m.m.

5.5.2 Styring af varmepumper

Sammenkobling mellem varmepumpernes fordamperkreds - jordslange og solfanger.

Varmepumperne er indkoblet på fordamperkredsen, således at retur fra varmpumperne enten går til solfangeren, når solfangeren i øvrigt køres mod jord, eller retur fra varmpumperne går til jordslanger, når solfangeren ikke kører mod jord (solfanger slukket eller mod tank) jvf. afsnit 3.10. Denne styring er opnået med to kontraventiler, som ud fra målingerne ses at have fungeret tilfredsstillende.

5.5.3 Styring af sekundærkreds (kredsen mellem de to beholdere)

Overførslen af varme mellem de to beholdere er styringsmæssigt sket tilfredsstillende ved en differenstermostat, idet der dog i begyndelsen af måleperioden var problemer med luft i systemet på grund af for lille ekspansionsbeholder.

5.5.4 Styring af gulvvarmesystemet

Styringen er som beskrevet i afsnit 3.10 sket ved en vejrkompen-sator, som har indkoblet varmpumperne samt eventuelt gasfyret efter behov.

Denne styring må efter nogle fejl i begyndelsen anses for at have fungeret efter hensigten. Det er dog karakteristisk, at styringen har medført, at der er tilført varme til gulvvarmesy-stemet selv i de varmeste sommermåneder.

Ved drift af anlægget fremover bør der derfor lukkes manuelt for gulvvarmeanlægget om sommeren. Det skal også nævnes, at der ifølge klager har været problemer med at opnå de ønskede tempe-raturer i de forskellige lejligheder. Dette forhold har ikke relation til den anvendte styring til regulering af fremløbstemperaturen, men er et spørgsmål om indregulering af gulvvarmeanlægget, idet der ikke har været tilstrækkelige mulig-heder for dette.

5.5.5 Styling af varmetilførsel til varmtvandsbeholder

Styringen er beskrevet i afsnit 3.10.

Der har her vist sig et styringsmæssigt problem, som har været vanskeligt at løse. Hensigten med styringen var, at så snart der var behov for tilførsel af varme til beholderen, skulle dette først og fremmest ske ved hjælp af solvarme. Hvis dette ikke var nok, skulle varmepumpe 1 levere yderligere varme, og hvis dette heller ikke var nok, skulle gasfyret træde i funktion.

Forudsætningen for denne styringsstrategi er, at der kan opnås en præcis temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen, således at føleren for solvarmen kun registrerer temperaturen, der kan opnås ved solvarmen alene, samt at føleren for varmepumpe 1 kun registrerer temperaturer opnået ved hjælp af solvarme + varmepumpe. Føleren for gasfyret skal registrere temperaturer ved udløbet af beholderen (beholderens top).

Desværre har cirkulationsledningen for det varme brugsvand været placeret temmelig langt nede på siden af beholderen (lidt over midten af beholderen), således at den øverste del af beholderen har været fuldt opblandet. Denne opblandingszone har strakt sig ned over varmepumpens varmeveksler, således at det ikke har været muligt at finde en placering af varmepumpens føler, som var uafhængig af temperaturen i den øverste del af beholderen. (se fig. 23).

Herved har varmepumpens føler ofte været varmere end termostattens indstillingsværdi, således at varmepumpen ikke er trådt i funktion ofte nok.

Resultatet af dette er, at varme som skulle leveres af varmepumpen istedet er blevet leveret af gasfyrene.

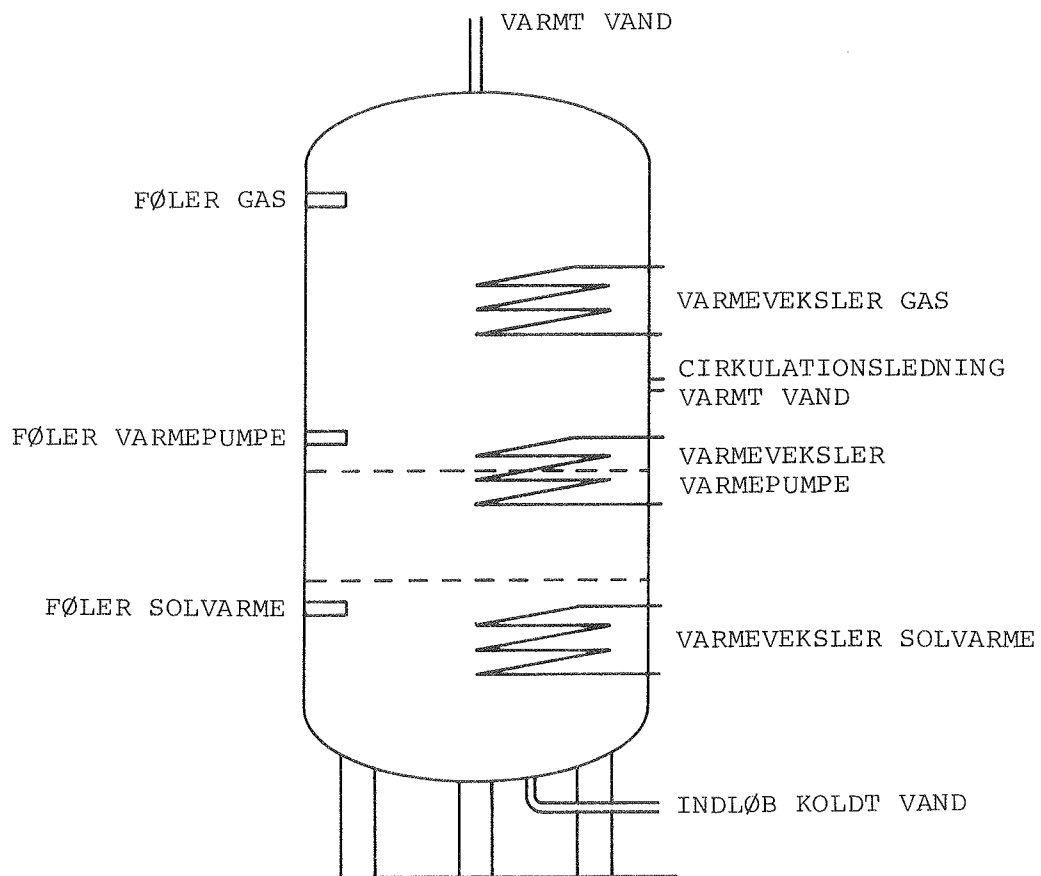


Fig. 23 Temperaturforhold i brugsvandstank.

5.6 Varmepumper

For de enkelte måneder er der målt følgende varmestømme i kW samt effektfaktorer:

[illegible]

Det giver samlet for de 14 måneder:

$$\frac{\text{varmeproduktion}}{\text{el til vp.alene}} = 3,0 \qquad \frac{\text{varmeproduktion}}{\text{el til vp.+cir.p}} = 2,5$$

For en 12 måneders periode, april 1980 til marts 1981, fås samme effektfaktorer. For perioden august 1980 til juli 1981 fås lidt lavere effektfaktorer, nemlig henholdsvis 2,9 og 2,4.

Varmepumpernes carnot-virkning kan bedst beregnes for de få situationer, hvor begge varmepumper mod gulv er i drift en fuld klokke-time. Det er sket:

Dato	kl	temp(varmeside)	temp(kuldeside)	$\eta \text{ (carnot)} = \frac{t_{\text{varme}} + 273}{t_{\text{varme}} - t_{\text{kulde}}}$
apr 25	7	37	-2	7,2
apr 25	19	42	-2	7,9
juni 2	8	41	3	8,3
sept 2	9	43	7	8,7
sep 30	16	42	11	10,2

Sammenlignet med andre varmepumper må det nok vurderes, at varmepumperne har haft en forholdsvis høj virkningsgrad. Samtidig har de dog også været hårdt belastede, hvilket har medført driftsstop og reparationer.

5.7 Jordslangerne

Jordslangerne har på et år leveret ca. 6000 kWh jordvarme pr. lejlighed til varmepumperne. Fra solfangeren har jordslangerne til gengæld modtaget ca. 1300 kWh solvarme pr. lejlighed. Tallene kan på årsbasis sammenlignes med beregningerne i ref. 1.

	målt	beregnet (ref 1)
fra jord - til V.P.	84 MWh/år	61,5 MWh/år
fra solf - til jord	18,2 MWh/år	14,3 MWh/år

At den leverede varme fra jordslangerne er større end beregningerne i ref.1, skyldes primært, at der på det målte anlæg har været et større forbrug.

Meningen med at lagre solvarmen i jorden var, at dette skulle kunne forhøje jordtemperaturen og derved forbedre varmepumpernes effektfaktor. Som vist i ref.1 skulle den forventede effekt af

dette være meget beskednen, idet der i ref.1 kun skulle være tale om at hæve effektfaktoren fra 3,31 til 3,32.

Det har været vanskeligt ud fra målingerne at vurdere, hvilken effekt den lagrede solvarme har haft på anlæggets ydelse. Der er dog intet, der tyder på at konklusionen i ref. 1 - at anlægget ville yde praktisk taget lige så meget, hvis solvarmeanlægget kun ydede til brugsvandsopvarmning - ikke holder stik.

De målte temperaturer i jorden svarer meget godt overens med de modelberegninger, der er udført i ref. 1, hvilket underbygger konklusionen i ref. 1. Temperaturerne er vist på fig. 24.

Til fig. 24 skal bemærkes, at lagringen af solvarme i sommeren 1980 ikke har fungeret efter hensigten på grund af styringssvigt ved pilotsolfangeren.

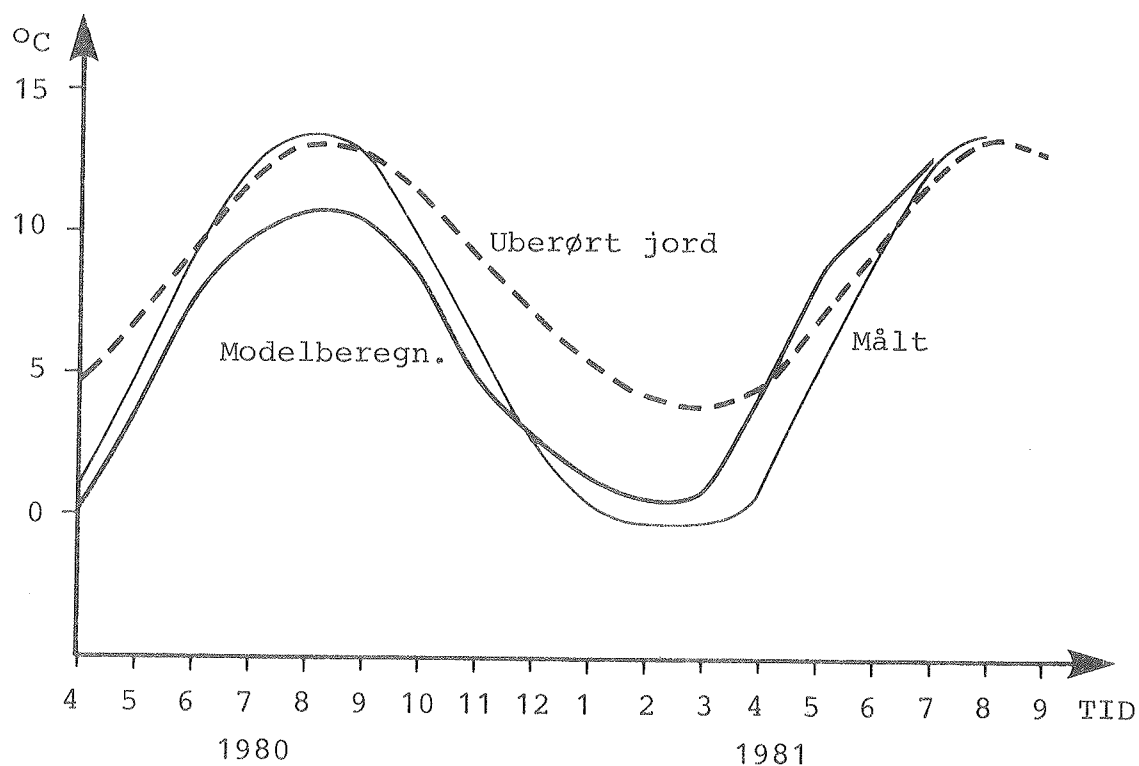


Fig. 24 Temperatur i jord

5.8 Solvarme til brugsvand

I ref.1 er det beregnet, at et system, hvor solfangeren udelukkende leverer varme til varmtvandsforbruget, vil have stort set samme ydelse som et system, hvor der også lagres varme i jorden. Beregningerne i ref.1 er udført uden forvarmebeholder d.v.s. solvarmen føres direkte til varmtvandsbeholderen. Det er således beregnet, at med et årligt varmtvandsforbrug på 44 MWh/år (2500 liter/dag) vil den nyttiggjorte solvarme fra et solvarmeanlæg på 90 m² være 26 MWh/år i begge tilfælde.

Dette er beregnet med en kompliceret EDB-model, men samme resultat kan opnås ved en F-chart beregning for brugsvandsanlæg.

I det følgende er F-chart beregningerne derfor benyttet til at vurdere solvarmeanlæggets funktion som brugsvandsanlæg.

1. Det aktuelle solfangerareal har ikke været 90 m², men 85 m², ligeledes har det aktuelle varmtvandforbrug ikke været 44 MWh/år, men kun 26 MWh/år.

En F-chart beregning med disse værdier giver:

Solfangerydelse (leveret til brugsvand) 18 MWh/år
dækningsgrad 69%.

Dette kan sammenlignes med de målte værdier angivet på fig. 19a.

Solvarme til forvarmetank 17,4 MWh/år

Solvarme til varmtvandsbeholder 9,9 MWh/år

Dækningsgrad 38%

Til denne sammenligning skal anføres, at F-chart beregningerne er gjort med referenceårets vejrdato. Det målte solindfald på de to hældninger har været 871 kWh/år/m² solfanger, medens referenceårets solindfald er 1090 kWh/år/m² solfanger. Det målte solindfald har således været 80% af referenceårets.

Det kan dog umiddelbart vurderes, at anlægget har givet en hel del mindre end forventet, hvilket må tilskrives de nævnte problemer med styring, varmetab, overførsel af varme mellem tankene

m. m.

I ref. 2 er beskrevet det såkaldte BV300 anlæg. Ved dette anlæg er ovennævnte problemer undgået, og anlægget har derfor ydet som forudberegnet. Ydermere er anlægget veldimensioneret og har en effektiv solfanger, således at anlægget har en høj ydelse.

Den effektive solfanger i BV300 anlægget kan indføres i F-chart beregningerne, hvorved det beregnede F-chart anlæg kommer til at ligne BV300 anlægget. Solfangeren forudsættes med en ens hældning på 50° . Der kan da beregnes en ydelse på:

Solfangerydelse (leveret til brugsvand) 21 MWh/år,
dækningsgrad 80%

For at levere den ydelse, som er blevet målt i Næstved, ville et BV300 anlæg på 20 m^2 med referenceårets vejrdato være tilstrækkeligt. En rimelig dækningsgrad for brugsvandet ville kunne opnås med et anlæg på 45 m^2 , som ville give en dækningsgrad på 63%, hvilket svarer til en ydelse på $370 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$.

5.9 Samlet vurdering af anlægget

Anlægget hører til de såkaldte 1. generationsanlæg, d.v.s. anlæg der er udtænkt og opført før der var de reelle erfaringer at bygge på. Generelt må anlægget siges at være kompliceret i sin opbygning, og netop graden af komplicerethed har ofte vist sig at være afgørende for solvarmeanlægs funktion. I dag arbejder man således under Energiministeriets Solvarmeprogram meget på at forenkle anlæggene, idet dette har vist sig som en effektiv måde at forøge anlæggenes ydelse på. Der vil således i dag kunne anvises solvarmeløsninger for anlægget i Næstved, som vil have langt større ydelser og vil være væsentligt billigere.

Følgende kan konkluderes:

1. Solfangerens effektivitet har været rimelig god. Moderne solfangere har dog en del højere effektivitet.

2. De to hældninger har ikke afstedkommet alvorlige problemer, men sammen med de øvrige forhold omkring anlæggets styring har de medvirket til, at anlægget ikke har kunnet styres optimalt. Generelt må det frarådes at udføre solfangeren med to hældninger.
3. Pilotsolfangerstyringen har virket efter hensigten i en del af perioden, men sammenkædet med pkt. 2 har der været mange forhold, som tilsammen har gjort, at anlægget ikke har kunnet styres optimalt. Solfangerens driftstid har således været lavere end forudsat ved beregningerne i ref. 1.
4. Overførslen af varme fra solfangeren til varmtvandsbeholderen har været for ringe. Dels har der været for store tab undervejs, dels burde forvarmebeholderen helt være undgået. Af 17 MWh leveret fra solfangeren har således kun 5 MWh kunnet nyttiggøres som varmt brugsvand.
5. Solfangerne har lagret varme i jorden som forventet. Målingerne underbygger konklusionen i ref.1 om, at den lagrede solvarme kun har ringe effekt for varmepumpernes ydelse. Lagringsmuligheden af solvarme i jorden har således kun kompliceret og fordyret anlægget unødigt.
6. Gasfyrene, der oprindeligt var tænkt som nødforsyningsanlæg, har i alt for høj grad været i funktion. Dette skyldes følgende årsager:
 - a. For lidt solvarme har kunnet nyttiggøres i brugsvandsbeholderen jvf. pkt. 4.
 - b. Brugsvandsbeholderen og styringen af varmepumpen har været uheldigt udformet, således at varmepumpen ikke er blevet slået ofte nok ind.
 - c. Varmepumpen har ikke kunnet levere varme ved 50°, som har været den temperatur brugerne har ønsket. Det har således været nødvendigt med en eftervarmning ved hjælp af gas.

7. Varmepumperne har haft en forholdsvis høj virkningsgrad. men har samtidig også været hårdt belastede, hvilket har medført driftsstop og reparationer.

6. REFERENCER

- (1) Leif Sønderskov Jørgensen: Kombineret solvarme-varmepumpe-anlæg. Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse. Handelsministeriets solvarmeprogram. Rapport nr. 1 1979, Laboratoriet for Varmeisolering.
- (2) Klaus Ellehauge: Solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En udredning baseret på et års målinger på to anlæg. Energiministeriets solvarmeprogram. Rapport nr. 16 1981, Laboratoriet for Varmeisolering.

Summary

This report describes measurements of the thermal performance of a combined solar heating/heat pump system for two buildings with 14 apartments. The measurements were carried out in the period from February 1980 to July 1981.

A gas-fired furnace supplies the buildings with heat in periods with insufficient heat production from the combined solar heating/heat pump system.

The total heat demand per year for the buildings was 131 MWh. The heat production per year from the solar collectors was 35 MWh, corresponding to 411 kWh/year per m² collector area. Of this production only 14% is directly utilized for domestic hot water supply, while 52% is conducted to the soil heat exchanger for the heat pump and 34% is lost in the heating central. This fact is caused both by technical and operational problems, mainly due to the too complex heating system.

ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM

Bilag I

Styregruppe:

V. Korsgaard, professor, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH,
(formand)
P. Ahrenst, kontorchef, Boligselskabernes Landsforening
P. Alling, direktør, Dansk Solvarme K/S
E. Christoffersen, afdelingsleder, Statens
Byggeforskningsinstitut
P. Dirks, afdelingsingeniør, Dansk Kedelforening
P. Dorph-Petersen, Energiministeriet
K. Hallgren, ingeniør, Danfoss A/S
E. Jerking, Byggestyrelsen, Energikontoret
Hans Larsen, civilingeniør, Risø
N.I. Meyer, professor, Fys. Lab. III, DTH
J.S.R. Nielsen, civilingeniør, Birch og Krogboe
E. Petersen, lektor, Kem. Lab. I, H.C. Ørstedts Instituttet
P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut
P.J. Snare, civilingeniør, Energistyrelsen

Projektmedarbejdere:

Laboratoriet for Varmeisolering:

N.B. Andersen, civilingeniør
O. Balslev-Olesen, civilingeniør
O. Dyrnum, civilingeniør
K. Ellehauge, civilingeniør
S. Furbo, civilingeniør
K. Kielsgaard Hansen, akademiingeniør, lic.techn.
S. Østergård Jensen, civilingeniør
S. Melson, civilingeniør
S.E. Mikkelsen, civilingeniør
L. Olsen, civilingeniør, stud.lic.techn.
P. Vejsig Pedersen, civilingeniør
V. Ussing, civilingeniør

Teknologisk Institut:

B. Bøhm, civilingeniør, lic.techn., HD
P. Engkjær, ingeniør
M. Grimming, arkitekt, m.a.a.
L. Hallgreen, ingeniør, lic.techn.
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 arkitekt og rådgivende ingeniør.

Adresser

Laboratoriet for Varmeisolering, Bygning 118, Danmarks tekniske Højskole, 2800 Lyngby - telf. 02-883511.

Teknologisk Institut, Varmeteknik, Gregersensvej, 2630 Tåstrup - telf. 02-996611.

OVERSIGT OVER UDSENDTE RAPPORTER

Bilag II

1. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg.
Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse
2. Solvarme-fjernvarmeanlæg.
Beregning af et centralt anlæg med og uden varmelager.
3. Solvarmeanlæg i Gentofte.
Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand.
Årsrapport.
4. Beregningsprogram til solvarmeanlæg.
For TI59 programmerbar lommeregnermaskine.
5. Solvarmeanlæg i Herfølge.
Brugsvand, 1/2 års målinger.
6. Solvarmeanlæg i Greve.
Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand.
Årsrapport.
7. Solfangerens langtidsholdbarhed.
Erfaringer med solfangere udsat for det naturlige vejrlig
under kontrollerede, realistiske, ens driftsforhold i 3 år
på prøvestand.
8. Solvarmesystemprøvestand.
Resultater fra det første projekt på prøvestanden.
9. Solvarmeanlæg på Juelsminde campingplads.
Brugsvand, 3 års målinger.
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.
13. To solvarmeanlæg til varmt brugsvand.
En beskrivelse og vurdering efter 4 måneders drift af
anlæggene.
14. Solvarmeanlæg i Blovstrød.
2 1/2 års målinger på 10 m² brugsvandsanlæg.
15. Solvarmeanlæg til rumopvarmning.
En udredning baseret på 2 års målinger på anlæg
i Greve og Gentofte.
16. Solvarmeanlæg baseret på 1 års målinger på 2 anlæg.

17. Solvarmeanlæg i Herfølge.
Varmtvandsanlæg i tæt-lavt byggeri.
18. Korrosion i solfangerabsorbere.
En undersøgelse af korrosionsforholdene i solfangeres
væskekanaler.
19. Fokuserende solfanger med klimaskærm.
Forundersøgelse.
20. Solfangeres driftssikkerhed og holdbarhed.
21. Solvarme - fjernvarmeanlæg.
Teknisk - økonomisk analyse af systemkombinationer.
22. Solfangerabsorberes overfladebestandighed.
23. Solvarmeanlæg i Rødovre.
24. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand i Gl. Holte.
25. idé-katalog - Sol i boligen.
26. Solvarmeanlæg med stort udbytte - systemanalyse.
27. Kombineret solvarme - varmepumpeanlæg i Næstved.