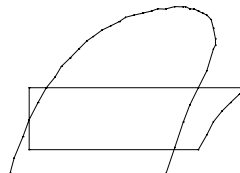


Kombineret solcelle- og varmepumpeanlæg

Beskrivelse af demonstration på miniskala anlæg

Claus S. Poulsen
Civilingeniør, Teknologisk Institut

Vagn Tanderup
Salling Vaske- og Køleservice



Prøvestationen for Varmepumpeanlæg

Teknologisk Institut
Køle- og Varmepumpeteknik
Juni 2001

Forord

Nærværende rapport beskriver det arbejde, der er gennemført i projektet ”Kombineret varmepumpe, solceller og vindmølle – Fase 2”. Projektet er udført med henblik på at eftervise at det er muligt at opbygge ”CO₂ - frie” varmeanlæg. Projektet er en direkte fortsættelse af de aktiviteter, der blev gennemført i projektet ”Individuelle Eldrevne Varmepumper” (kaldet fase 1), som afsluttedes i 1998.

Projektet er gennemført med økonomisk støtte fra Energistyrelsen.

Fra projektlederens side rettes en tak til Energistyrelsen, projektgruppen, samt til de fabrikanter og leverandører af komponenter, der har bidraget til projektets gennemførelse.

Ønskes der yderligere information om projektet og dets resultater, kan der rettes henvendelse til undertegnede.

Claus S. Poulsen
Projektleder

Prøvestationen for Varmepumpeanlæg, Teknologisk Institut
juni 2001

Indholdsfortegnelse

Forord	1
Indholdsfortegnelse	2
0. Konklusion og anbefalinger	3
1. Indledning	5
2. Formål, projektindhold og organisation	7
3. Opbygning af anlæg	8
3.1 Beskrivelse af varmepumpe	8
3.2 Beskrivelse af solcellesystem	9
3.3 Beskrivelse af styring	9
4. Gennemførelse af målinger	10
5. Måleresultater	12
6. Forslag til videreførelse af projektet	15
7. Henvisninger og litteraturliste	16
Bilag - indhold	17
Bilag 1: Billeder fra opstilling i Skive	18
Bilag 2: Anlægsopbygning og måleopstilling	21
Bilag 3: Måleresultater	23

0. Konklusion og anbefalinger

Nærværende rapport beskriver gennemførelsen af målinger på et ”miniskalaanlæg” bestående af en luft/vand varmepumpe samt 26 solcellepaneler (monokrystalinske) med en nominel kapacitet på ca. 1,3 kW.

Anlægget er dimensioneret ud fra de erfaringer, der er gjort i /1/ og anlægget har været i drift i perioden februar 2000 til april 2001.

I perioden har solcellerne leveret ca. 52 % af den totalt tilførte elenergi og i alt har bidraget fra vedvarende energi (solceller og solvarme lagret i udeluften) andraget ca. 79 % af den samlede leverede varmemængde.

Der er i hele perioden leveret 1.878 kWh varme fra varmepumpen, hvoraf 398 kWh var strøm fra nettet, 425 kWh var vedvarende energi fra solcellerne og 1.055 kWh var vedvarende energi fra udeluften.

Der er en række forhold, som der skal tages højde for ved anvendelse af solceller i kombination med varmepumper, bl.a.:

- ◆ Den tilførte solenergi er højest i periode med mindst behov. En stor energimængde i sommerperioden er i forsøgsopstillingen gået tabt. Som det ses, er der kun leveret ca. 425 kWh fra solcellerne, hvor der med den installerede effekt, kunne forventes en leverance på over 1.300 kWh. Dette skyldes primært, at systemet (varmepumpe og ellager) i denne periode ikke har kunnet aftage den store energimængde fra solcellerne, og denne energimængde er derfor gået tabt. Dette tab ville kunne undgås ved at nettilslutte anlægget, således at overproduktionen sælges til nettet i stedet for at gå tabt. Alternativet er en større lagerkapacitet, men denne har mange uheldige følger (se nedenstående)
- ◆ Batterilagring er ingen optimal løsning grundet prisniveau, den potentielle miljøbelastning fra batterierne og tab i batterier under drift. Tabet i batterierne, set over hele måleperioden, har været ca. 11%, mens tabet i inverter har været ca. 14%. Hermed andrager tabet i lager og omsætning fra 24 til 220V ca. 24%. Derfor vil det også her være oplagt, at den producerede elenergi leveres til nettet, og ”genkøbes”, når behovet er til stede. På denne måde vil tabet, som følge af ovennævnte, reduceres. Hovedparten af strømmen produceres omkring middagstid, hvor netbelastningen i forvejen er høj. Alternativt skal energien lagres på anden måde, eksempelvis i en buffertank (stor vandbeholder), men denne løsning medfører store omkostninger ved etablering, samt et varmetab fra lagret.
- ◆ Også el-lagringen er bekostelig, da batteriernes levetid er begrænset. Således har de batterier, der oprindeligt blev indkøbt til 1. forsøgsopstilling, allerede mistet en stor del af deres kapacitet efter ca. halvandet års drift.
- ◆ Anvendelse af en jævnstrømskompressor ville have medført, at der kunne ses bort fra tabet i inverteren. Dermed ville systemets samlede effektivitet være hævet betragteligt. Til gengæld er anvendelsen af jævnstrømsforsyninger forbundet med andre vanskeligheder. Eksempelvis er det

ikke umiddelbart muligt at tilslutte jævnstrømssystemer til nettet, da dette kræver en omsætning fra jævnstrøm til vekselstrøm. Der er dog en række solcellesystemer på markedet i dag, der leveres med dette udstyr.

- ◆ Udbuddet af vekselstrømskompressor er betydeligt større end udbuddet af jævnstrømskompressor, og derfor skønnes anlægsomkostninger lavere for varmepumpe med førstnævnte valg.

Den i rapporten beskrevne løsning er klart mest interessant, hvis varmebehov og ”solleverance” er sammenfaldende. Dette er tilfældet, hvis der er tale om eksempelvis en brugsvandsvarmepumpe i et sommerhus, hvor varmebehovet (brugsvand) er klart størst i sommermånedene, hvor varmepumpens og solcellernes leverance ligeledes er størst. Det anbefales derfor at videreføre projektet i et demonstrationsprojekt, der direkte er rettet mod denne anlægstype. Ved anvendelse af et nettilsluttet solcellesystem forventes det, at produktionen af varmt brugsvand kan blive helt CO₂-emissionsfrit. Anvendes forudsætningerne fra det i nærværende rapport beskrevne projekt (1,3 kW installeret effekt) vil dette anlæg i praksis på årsbasis kunne levere ca. 1.300 kWh el hvilket er tilstrækkeligt til at drive brugsvandsvarmepumpen. Endvidere vil der i sommerperioden kunne leveres el til nettet fra solcellerne og netop i denne periode er den varmebundne elproduktion minimal.

Forslag til nævnte videreførelse af projektet er nærmere beskrevet i afsnit senere i nærværende rapport.

1. Indledning

Der er i alt i Danmark opstillet ca. 40.000 varmepumpeanlæg og på nær enkelte specielle anlæg, anvender de alle el som drivenergi. Varmepumperne udgør, på trods af det relativt beskedne antal, en ikke uvæsentligt del af den samlede producerede mængde af vedvarende energi. I 1999 bidrog varmepumperne med ca. 3.600 TJ (iflg. Energistyrelsens Energistatistik 1999).

Netop det, at de fleste varmepumper anvender el som drivenergi, har været et af de største problemer for varmepumpebranchen. Mange har fejlagtigt anset varmepumperne for en alternativ form for elvarme. Men med de seneste års udviklingsarbejde indenfor varmepumpeområdet findes der i dag på markedet varmepumper, der leverer op mod 3-4 gange mere varmeenergi, end der tilføres i form af el. Hermed er varmepumperne alle andre opvarmningssystemer overlegne med hensyn til energiforbrug og miljøbelastning.

Med afslutningen af projektet Individuelle Eldrevne Varmepumper i april 1998 /1/ stod det klart, at det anlæg, der i det pågældende projekt var opbygget, var så interessant, at måleperioden ønskedes forlænget. Derfor blev der taget initiativ til nærværende projekt. Ved gennemførelse af fase 1, Individuelle Eldrevne Varmepumper, blev der ved eksperimentelle undersøgelser på feltopstilling (miniskalaanlæg) vist en systemopbygning af varmepumpe i kombination med solceller og vindmølle.

Resultaterne fra målingerne i Individuelle Eldrevne Varmepumper viste, at med det anvendte dimensioneringsgrundlag kan der i perioder opnås et bidrag fra solceller og vindmølle, der svarer til de af fabrikanten opgivne nominelle effekter. Måleperioden strakte sig fra november 1996 til og med maj 1997. Målingernes omfang blev desværre begrænset af driftsstop (både vindmølle og elektronik). Derfor blev den reelle måleperiode kun på ca. 3 måneder, men i denne periode leverede vindmølle og solceller ca. 25% af den samlede tilførte el-energimængde til varmepumpen. At dækningsgraden ikke var højere skyldtes, at varmeleveringen fra varmepumpen var betydeligt større end oprindeligt antaget. Ses alene på varmepumpens køretid, nærmede denne sig 100% og dette medførte et betydeligt større energiforbrug, end anlægget var dimensioneret til at levere.

Det var anlægget fra førnævnte projekt, der blev anvendt i nærværende projekt. Anlægget blev dog ændret således, at vindmøllen blev erstattet af yderligere 20 solpaneler (solceller). Dette blev gjort, da det efter afslutningen af fase 1 stod klart, at den pågældende mølle ikke var pålidelig nok. I fase 1 var anlægget monteret i Nr. Vorupør, hvor belastningen fra vejr, vind og saltindholdet i luften havde bevirket, at vindmøllen brød sammen efter ca. 3 måneder.

Suppleres anlæg af den her beskrevne type med en vindmølle, vil dækningsgraden fra vedvarende energi øges væsentligt. Men vindmøller af den type, der anvendtes i Individuelle Eldrevne Varmepumper (fase 1) betragtes ikke som særligt velegnede til dette formål (grundet de førnævnte forhold). Til gengæld vil anvendelsen af el fra større vindmøller som drivenergi til varmepumper være interessant i fremtiden, da det dermed vil være muligt at reducere CO₂ udledningen betragteligt.

Ønsket om at fremstille og drive et 100 % CO₂-emissionsfrit kombineret solcelle-/varmepumpeanlæg, der kan dække hele varmebehovet i almindelige parcelhuse, anses ikke for

realistisk i Danmark. Dette skyldes bl.a. at leverancen fra solcellerne er størst i sommermånederne, og netop i denne periode er varmebehovet lavest. Desuden vil energibehovet fra solcellerne være af en sådan størrelse, at det anlægget ikke vil blive økonomisk attraktivt. Men mindre anlæg, der eksempel alene dækker behovet for energi til opvarmning af brugsvand skønnes interessante i nær fremtid, både rent økonomisk og miljømæssigt. Desuden vil denne type anlæg til både brugsvandsopvarmning og rumopvarmning med fordel kunne anvendes i lavenergibyggeri, hvor brugsvandsopvarmningen udgør en relativ stor del af det samlede varmebehov.

Diskussionen om, hvorvidt solceller generelt er økonomisk attraktive eller ej, er ikke behandlet i nærværende rapport. Det skønnes af rapportens forfattere, at prisniveauet på solceller for øjeblikket er for højt til at gøre anlæggene attraktive, men med den udvikling, der i øjeblikket foregår inden for denne teknologi, vurderes fremtiden endog meget positiv for solceller, specielt hvis de anvendes i kombination med varmepumper. Derfor er det primært anvendelsen af solcellerne fremfor økonomibetragtninger, der er fokuseret på i nærværende rapport.

2. Formål, projektindhold og organisation

Formålet med projektet var at anvende og viderebearbejde de resultater, der var opnået i projektet ”Individuelle Eldrevne Varmepumper” (/1/).

Feltnmålingerne skulle dokumentere anvendelse af kombinerede anlæg bestående af varmepumpe, solceller og vindmølle. Formålet blev dog undervejs i projektet ændret således, at det udelukkende gjaldt kombinationen af varmepumpe og solceller.

Projektets hovedaktivitet var en kombination af eksperimentelle undersøgelser, feltnmåling på installeret anlæg samt videnformidling til relevante faggrupper.

Projektet gennemførtes i følgende delfaser:

fase 2.1: Opbygning af forsøgsanlæg.

fase 2.2: Udarbejdelse af måleprogram.

fase 2.3: Gennemførelse af feltnmålinger.

fase 2.4: Bearbejdning og analyse af resultater

fase 2.5: Oplæg til og beskrivelse af fuldskala anlæg

fase 2.6: Projektledelse, rapportering og videnformidling

Projektets organisation bestod af følgende:

Vagn Tanderup, Salling Vaske- og Køleservice

Niels H. Marqvorsen, Teknologisk Institut

H.C.Aagaard, Prøvestationen for Varmepumpeanlæg, Teknologisk Institut

Claus S. Poulsen, Prøvestationen for Varmepumpeanlæg, Teknologisk Institut (projektleder)

3. Opbygning af anlæg

Opbygning af demonstrationsanlægget tog udgangspunkt i de erfaringer og konklusioner, der blev draget i fase 1. Som nævnt blev der fra projektets start truffet beslutning om ikke at anvende vindmøllen, som var blevet anvendt i første fase. Til gengæld blev anlægget suppleret med yderligere 20 solcellepaneler til erstatning for vindmøllen. Dette medførte selvfølgelig en noget anderledes drift af systemet, da der nu kun kunne forventes bidrag fra de ”eksterne” forsyningskilder, når der var en tilstrækkeligt solintensitet. For at kompensere for dette blev anlægget forsynet med yderligere 4 batterier til oplagring af strømmen fra solcellerne.

Anlægget, der i første fase havde været monteret i Nr. Vorupør (ved Thisted), blev nedtaget og i stedet monteret på en ejendom i Skive. Her var det muligt dagligt at holde kontrol med anlægget. Afgiversystemet (radiatorsystem) blev arrangeret i selvstændig kreds, således at ydre påvirkninger fra andre varmekilder kunne undgås.

Hele varmepumpesystemet, samt alt måleudstyr og reguleringsudstyr blev monteret i et til lejligheden opbygget kontrolrum. Herfra var det muligt at overvåge hele systemet, samt foretage eventuelle ændringer i reguleringen.

I det følgende beskrives systemet mere detaljeret.

3.1 Beskrivelse af varmepumpe

Varmepumpen, der blev opbygget til forsøgsopstillingen var en såkaldt luft/vand varmepumpe. Dette betyder at varmepumpen anvendte udeluften som varmekilde og afgav varmen til et vandbaseret radiatorsystem.

Varmepumpen var opbygget med et ca. 4m² fordamperareal med ca. 2mm finneafstand. Der anvendtes en termostatisk ekspansionsventil, samt en pladevarmeveksler indstøbt i skumisolering. Oprindeligt var varmepumpen forsynet med en kompressor af mærket L'Unité Hermétique (AEZ 4425Y), som undervejs blev skiftet til en Danfoss TLV7F. Kompressorskiftet blev foretaget pga. forventninger om øget effektivitet, bl.a. som følge af reguleringsstrategien (AEO- Adaptiv Energi Optimering), der er en del af konceptet bag TLV-kompressorene fra Danfoss. Dette viste sig dog at medføre andre vanskeligheder, bl.a. ved hver omskift mellem net og batteri, hvor AEO-reguleringen startede forfra (ved højt omdrejningstal).

Varmepumpens afgiversystem blev opbygget med en radiatorer med manuel ventil, som blev forsøgt indstillet til konstant flow og fast dT (altså fast afgivet effekt svarende til nominal kapacitet). Dette svarer i princippet til driften med en brugsvandsvarmepumpe. Det er dog, som det fremgår af resultaterne kun tilnærmelsesvis lykkedes at holde konstant afgiven varmemængde.

Varmepumpen blev forsynet med et varmgas afrimningssystem, styret af en traditionel afrimningstermostat.

I bilag 1 ses billeder fra opstillingen.

3.2 Beskrivelse af solcellesystem

Solcellesystemet blev dimensioneret efter varmepumpens nominelle effektforbrug. Cellernes nominelle effekt var på ca. 50 W pr. stk (varierende fra celle til celle), hvilket svarer til en nominel effekt på ca. 1.3kW. Cellerne blev seriekoblet to og to (24-volt kobling), og parret således at de enkeltes nominelle effekt var tilnærmelsesvis identiske. Solcellerne var monokrystalinske og alle blev monteret på syd/øst vendt tagflade med 40mm afstand til underlag, således at der blev sikret luftbevægelse/afkøling bag cellerne.

Systemet blev forsynet med en inverter, som omdanner 24V DC til 220V AC, således at varmepumpen kunne forsynes med en traditionel kompressor (220V). Systemet blev desuden forsynet med et lager, bestående af batterier, der udjævner variationen i forbrug/solindfald. Lagret bestod af 8 stk. 110Ah 12V svarende til ca. 73 timers VP-drift uden solindfald.

Ønskes yderligere information om solceller kan dette findes på Solenergicentrets hjemmeside, se /2/.

3.3 Beskrivelse af styring

Anlægget blev forsynet med energi fortrinsvis fra solcellerne via batterier /inverter, når solen skinnede eller når batterikapacitet var tilstrækkelig. I øvrige tilfælde (altså når batterikapacitet ikke var tilstrækkelig) kobledes automatisk over til netdrift. Dette blev gjort for at sikre drift af varmepumpen i længerevarende perioder uden tilstrækkeligt solskin.

Systemets ladekontrol blev foretaget via et spændingsfølsomt laderelæ med to potentialfrie relæudgange, som styrede henholdsvis laderelæ og inverterens start/stop relæ.

På figur i bilag 2 ses en mere detaljeret gennemgang af systemets opbygning.

4. Gennemførelse af målinger

Målingerne på anlægget havde flere formål. Det primære var selvfølgelig afdækning af VE-andelen, altså hvor stor en del af den samlede afgivne energimængde, der stammede fra vedvarende energi. Men herudover ønskedes opstilling af generelle dimensioneringsregler for denne anlægskombination.

Det blev derfor besluttet, at følgende skulle registreres gennem måleperioden:

- Tilført elenergi til varmepumpe
- Tilført elenergi fra solceller
- Tilført elenergi fra net
- Tab i lager- og invertersystem
- Afgiven varmeenergi fra varmepumpe
- Diverse varmepumpetekniske størrelser (temperaturer etc.)

Måleperioden strakte sig over ca. 14 måneder, hvor indsatsen de første måneder blev koncentreret om indkøring og optimering af systemet. Dermed foreligger der nu egentlige målinger for en periode på ca. et år.

Anlægget blev løbende kontrolleret gennem måleperioden og der blev hver 14. dag indsamlet og behandlet måledata fra systemet. Målingerne blev foretaget med følgende udstyr (hovedkomponenter i målesystem):

Tilført elenergi fra net:	Effekttransducer
Tilført elenergi fra solceller til batteri:	Spændingsmåling og måling af spændingsfald over måleshunt.
Tilført elenergi fra solceller til batteri:	Spændingsmåling og måling af spændingsfald over måleshunt.
Tilført elenergi fra batterier til inverter:	Spændingsmåling og måling af spændingsfald over måleshunt.
Tilført elenergi fra inverter til varmepumpe:	Effekttransducer
Afgiven varmeenergi fra varmepumpe:	Volumenstrømsmåler og termoelementer i frem- og returløb
Øvrige temperaturmålinger:	Termoelementer

Dataopsamlingen er foretaget i interval på 30 sekunder med automatisk lagring af middelværdien for hver 150 sekunder (altså middelværdien af 5 målinger).

5. Måleresultater

Følgende nøgletal blev registreret under målinger i Skive.

Kombinerede Varmepumpe- og solcelleanlæg i Skive		
Databehandling		
I hele måleperioden er følgende registreret:	afgivet energi varmepumpe	1878 kWh
	tilført energi fra net (220V)	398 kWh
	tilført elenergi fra solceller	425 kWh
	Andel solceller (% af tilført el til system)	52 %
	VE-andel totalt (% af afgivet energi)	79 %
	Nyttevirkning VP	2.3 (-)
	Tab i batterier	11.4 %
	Tab i inverter	14.3 %
	Totalt tab i batteri og inverter	24.1 %

Figur 5.1: Hovedresultater fra målinger i Skive.

I bilag 3 er vist en mere fyldestgørende oversigt over måleresultaterne, hvor det skal bemærkes at negative tab gengivet i oversigten forekommer, når batterierne ved en delperiodes begyndelse har været fuldt opladet.

Det ses af figur 5.1, at der i hele perioden blev afgivet 1.878 kWh varme, hvoraf 398 kWh blev trukket fra elnettet. Hermed blev ca. 79% af den afgivne energi hentet fra vedvarende energikilder (fra solceller og udeluft). Af de i alt 823 kWh el, der blev tilført varmepumpen var de 425 kWh hentet via solcellerne. Der blev i perioden tilført i alt 560 kWh fra solcellerne hvoraf de 425 kWh blev udnyttet i varmepumpen. De resterende kWh gik tabt i batterier og inverter (ca. 24%). Det skal desuden bemærkes at solcellerne langt fra har ydet det, der kunne forventes, hvilket skyldes at solcellerne ikke var nettilsluttet, og at der derfor gik en del tabt som følge af en egentlig overproduktion i specielt forårs- og sommermånederne.

Ses alene på driften i månederne fra og med april til og med september (år 2000) fås følgende:

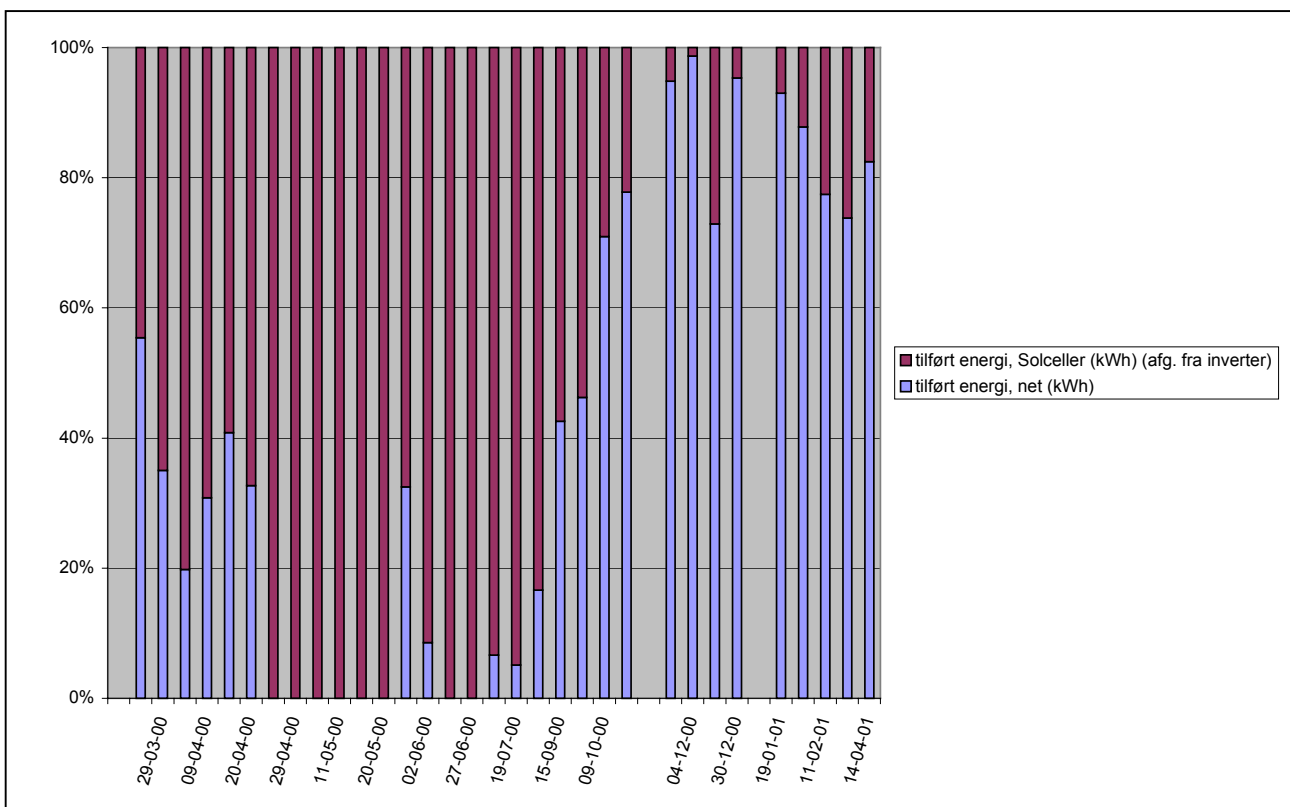
<u>april - september 2000</u>	
afgivet energi varmepumpe	880 kWh
tilført energi fra net (220V)	49 kWh
tilført elenergi fra solceller	324 kWh
Andel solceller (% af tilført el til system)	87 %
VE-andel totalt (% af afgivet energi)	94 %
Nyttevirkning VP	2.4 (-)
Tab i batterier	10.9 %
Tab i inverter	13.7 %
Totalt tab i batteri og inverter	23.1 %

Figur 5.2: Resultater fra perioden april til september 2000.

Af figur 5.2 ses det, at der i sommerperioderne kan forventes drift næsten alene via solcellerne og driften kan dermed betragtes som værende tilnærmelsesvis CO₂-emissionsfri (andel af vedvarende energi = 94%).

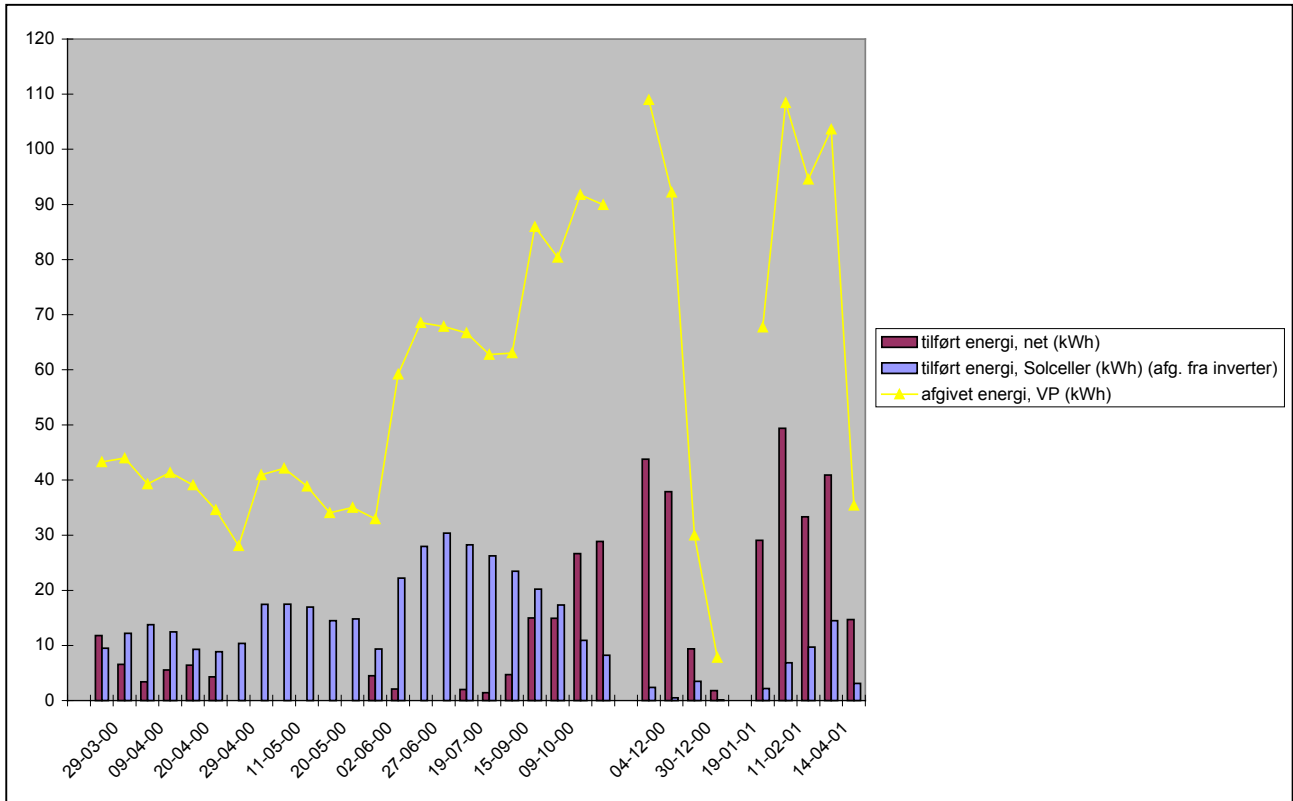
Det kan desuden af figur 5.2 ses at varmepumpens nyttevirkning (forholdet mellem afgiven varmeenergi og tilført elenergi fra solceller og elnettet) i viste periode har været 2,4. Dette er relativt lavt sammenlignet med andre varmepumpesystemer. Baggrunden for den lave effektivitet skal bl.a. findes i varmepumpens regulering. Netop i sommermånederne har varmepumpen haft en overkapacitet, der har medført meget korte køretider. Dette bevirker at systemets effektivitet bliver lavere, end hvad der ellers kan opnås med varmepumper. Det er muligt at reducere dette problem ved korrekt dimensionering af varmepumpe og afgiversystem, således at det sikres at varmepumpen også i sommermånederne kan få nogle driftsforhold, der er acceptable.

På følgende figur ses en samlet oversigt i diagramform, der viser hvorledes den procentuelle fordeling af de enkelte bidrag har været set over de enkelte delperioder:



Figur 5.3: Fordeling af tilført elenergi fra net og solceller.

På figur 5.3 kan det ses, at der skete en væsentlig ændring i fordelingen mellem sol- og netenergi ved sammenligning af april 2001 med april 2000. Denne ændring skyldes, at varmeleverancen fra varmepumpen blev øget væsentligt og at det derfor ikke har været muligt at dække energitilførelsen alene fra solcellerne. På figur 5.4 ses en oversigt over fordelingen af tilført energi (solceller og net) og afgiven energimængde over hele måleperioden.



Figur 5.4: Fordeling af tilført og afgiven energi

6. Forslag til videreførelse af projektet

Det foreslås at videreføre projektet i form af demonstration på et fuldskalaanlæg. Dette anlæg bør være et kombineret solcelle-varmepumpesystem til opvarmning af brugsvand, der er placeret i eksempelvis et fritidshus, der hovedsageligt anvendes i forårs-, sommer- og efterårsperiode, hvor solbidraget er størst. Løsningen er desuden anvendelig i lavenergibebyggelse, hvor brugsvandet udgør en relativ stor del af det samlede varmebehov og det ville være oplagt også at foretage en analyse af denne ejendomstype i forbindelse med gennemførelsen af et efterfølgende projekt.

Projektgruppen vil snarest ansøge om projekt, der omhandler demonstration af ovennævnte. Det forsøges p.t. at supplere projektgruppen fra nærværende projekt med egnet fabrikant af brugsvandsvarmepumper, samt med et firma indenfor sommerhusbranchen eller alternativt et firma der opfører lavenergi byggeri.

Anlægget, der bør demonstreres, skal kunne levere hele varmebehovet til brugsvandssystemet (op mod 3.500 kWh, afhængig af husvalg). Der bør herudover sigtes efter følgende:

- Nettilslutning af solcellesystem, således at overproduktion (sommer) kan leveres til elnettet, og el kan genkøbes, når produktion fra cellerne er minimal (vinter).
- Tilstrækkeligt stort vandlager (varmtvandsbeholder), der sikrer stabil drift i kritiske perioder og ligeledes sikrer, at der i eksempelvis overgangsperioderne (forår og efterår) kan opretholdes et passende temperaturniveau på brugsvandet i nattetimerne uden brug af el fra nettet.
- Tilpasning af solcellekapacitet til aktuel varmepumpe.
- Såfremt det ikke er muligt at nettilslutte anlægget, bør der i stedet satses på en DC kompressor, således at invertertab kan undgås. Det vil stadig være nødvendigt i dette tilfælde at forsyne anlægget med en akkumulator, der sikrer nødvendig effekt under kompressoropstart.

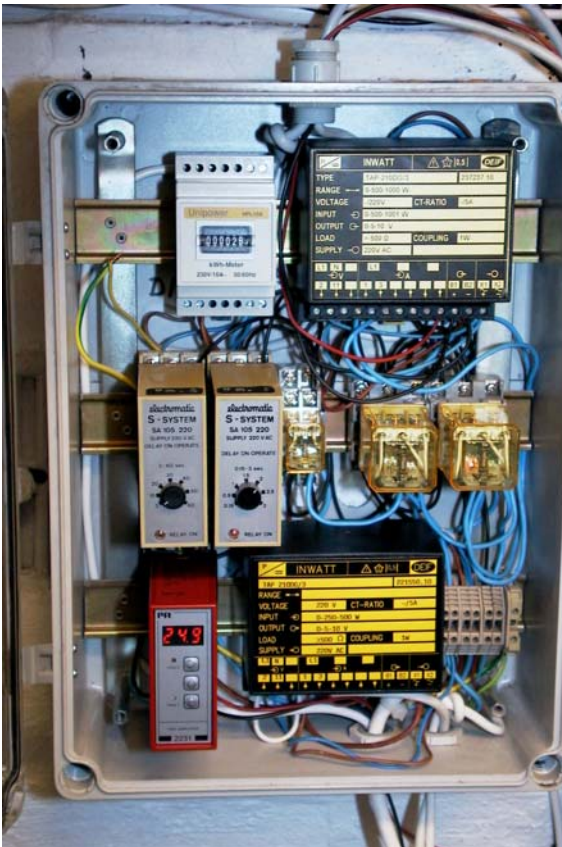
Ved anvendelse af et nettilsluttet solcellesystem forventes det, at produktionen af varmt brugsvand kan blive helt CO₂-emissionsfrit. Anvendes forudsætningerne fra det i nærværende rapport beskrevne projekt (1,3 kW installeret effekt), vil dette anlæg i praksis på årsbasis kunne levere ca. 1.300 kWh el, hvilket er tilstrækkeligt til at drive brugsvandsvarmepumpen. For yderligere information om solceller og energi- og økonomiberegninger på disse henvises til /2/.

7. Henvisninger og litteraturliste

- /1/: Individuelle Eldrevne Varmepumper, Delrapport aktivitet B1.1.2, Kombineret Varmepumpe- Solcelle- Vindmølle, Vagn Tanderup og Claus S. Poulsen, april 1998
- /2/: <http://www.solenergi.dk> (Solenergicentrets hjemmeside)
- /3/: Indsats- og handlingsplan for varmpumper, Prøvestationen for Varmepumpeanlæg, maj 1999.
- /4/: Individuelle Eldrevne Varmepumper, Hovedrapport, H.C.Aagaard, april 1998
- /5/: <http://www.teknologisk.dk/19> (Hjemmeside for Teknologisk Institut, Energi, Køle- og Varmepumpe teknik)
- /6/: <http://www.teknologisk.dk/644> (Prøvestationen for Varmepumpeanlægs hjemmeside)
- /7/: <http://www.teknologisk.dk/644.5> (Oversigt over igangværende varmpumpeprojekter)
- /8/: <http://www.teknologisk.dk/644.2> (Generel beskrivelse af teknologien bag varmpumper)
- /9/: <http://www.varmpumpenyt.dk> (Generelt nyt om varmpumper)
- /10/: <http://www.ens.dk> (Energistyrelsens hjemmeside)

Bilag - indhold

- Bilag 1: Billeder fra opstilling i Skive
- Bilag 2: Anlægsopbygning og måleopstilling
- Bilag 3: Måleresultater

Bilag 1: Billeder fra opstilling i Skive

Figur B1.1 Styring, elmåleudstyr og batteribank



Figur B1.2: Varmepumpe (åben)

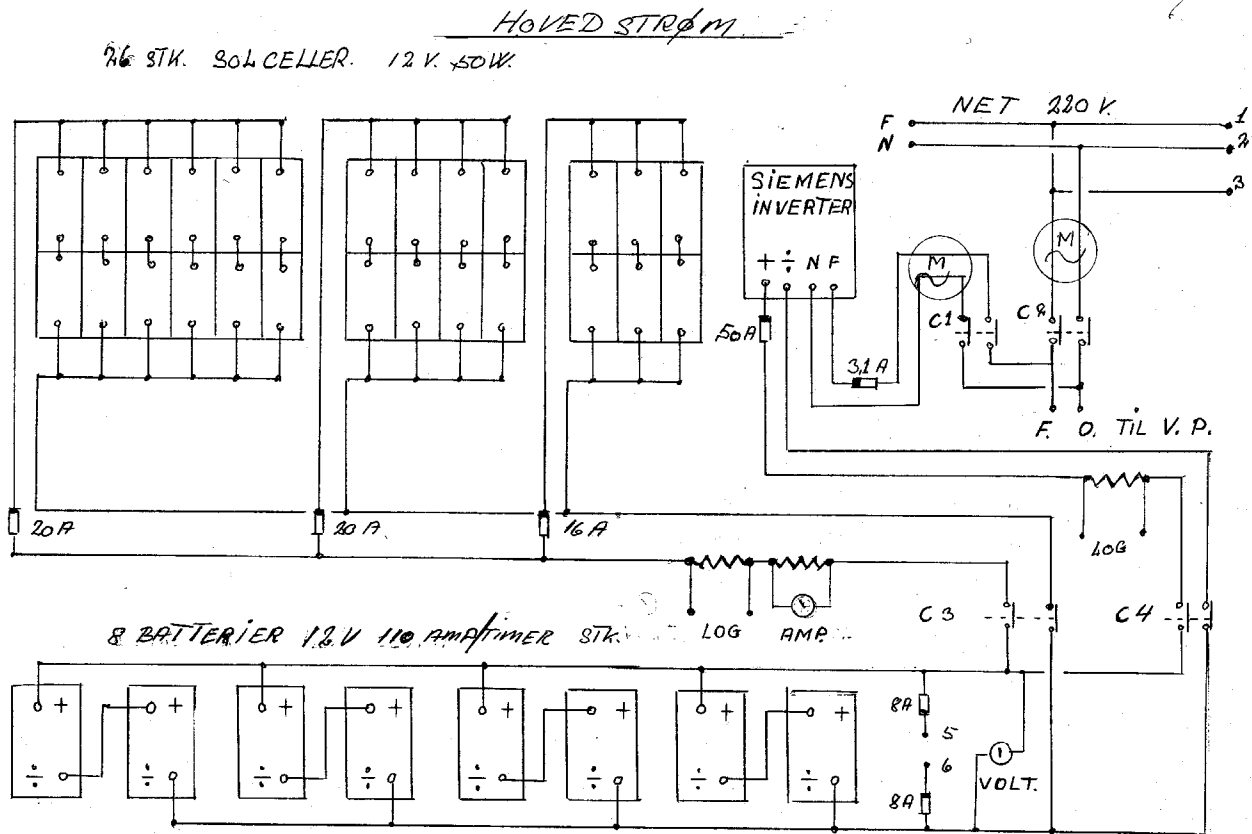


Figur B1.3: Montering af solceller på ejendom

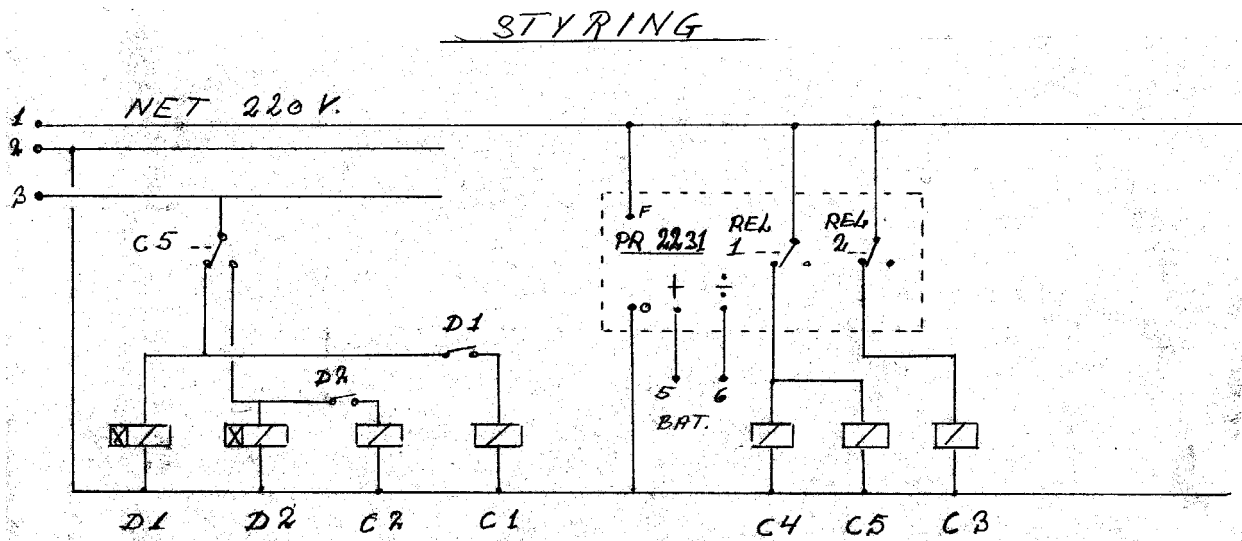


Figur B1.4: Teknikrum, set udefra

Bilag 2: Anlægsopbygning og måleopstilling



Figur B2.1: Skitse af opbygning af solcelleanlæg



Figur B2.2: Skitse af opbygning af styring

Bilag 3: Måleresultater

I det følgende er der gengivet en mere udførligt oversigt over de målte størrelser:

Kombinerede Varmepumpe- og solcelleanlæg i Skive										
Databehandling										
I hele måleperioden er følgende registreret:										
		afgivet energi varmepumpe				1878 kWh				
		tilført energi fra net (220V)				398 kWh				
		tilført elenergi fra solceller				425 kWh				
		Andel solceller (% af tilført el til system)				52 %				
		VE-andel totalt (% af afgivet energi)				79 %				
		Nyttevirkning VP				2.3 (-)				
		Tab i batterier				11.4 %				
		Tab i inverterer				14.3 %				
		Totalt tab i batteri og inverterer				24.1 %				
Periode, start	Periode, slut	afgivet energi, VP (kWh)	tilført energi, net (kWh)	Afgivet fra solceller, tilført til batt.	Afgivet fra batt., tilført til inverterer	tilført energi, Solceller (kWh) (afg. fra inverterer)	VE-andel solceller (% af tilført el)	VE-andel totalt (% af afgivet energi)	Tab i batterier (%)	Tab i inverterer (%)
24-03-00	29-03-00	43.26	11.79	6.51	10.69	9.49	45	73	-64.2	11.2
29-03-00	04-04-00	43.97	6.56	13.75	13.85	12.17	65	85	-0.7	12.2
04-04-00	09-04-00	39.28	3.40	19.54	15.56	13.75	80	91	20.4	11.6
09-04-00	14-04-00	41.35	5.55	13.60	13.91	12.45	69	87	-2.3	10.6
14-04-00	20-04-00	39.11	6.41	10.96	10.40	9.29	59	84	5.1	10.7
20-04-00	25-04-00	34.58	4.30	8.47	9.96	8.86	67	88	-17.6	11.1
25-04-00	29-04-00	28.06	0.00	18.32	11.75	10.38	100	100	35.9	11.6
29-04-00	05-05-00	40.94	0.00	19.88	19.75	17.44	100	100	0.6	11.7
05-05-00	10-05-00	42.14	0.00	27.21	19.77	17.49	100	100	27.3	11.5
11-05-00	15-05-00	38.87	0.00	23.24	19.21	16.94	100	100	17.3	11.8
15-05-00	20-05-00	34.05	0.00	15.78	16.43	14.50	100	100	-4.1	11.8
20-05-00	26-05-00	35.02	0.00	15.42	16.84	14.79	100	100	-9.2	12.2
28-05-00	02-06-00	32.96	4.49	10.98	10.53	9.33	68	86	4.2	11.4
02-06-00	13-06-00	59.21	2.08	35.47	25.10	22.23	91	96	29.2	11.4
13-06-00	24-06-00	68.55	0.00	36.77	31.67	27.94	100	100	13.9	11.8
27-06-00	08-07-00	67.84	0.00	36.17	36.03	30.38	100	100	0.4	15.7
08-07-00	19-07-00	66.67	2.01	35.08	34.03	28.26	93	97	3.0	16.9
19-07-00	30-07-00	62.76	1.42	35.00	31.79	26.24	95	98	9.2	17.5
30-07-00	10-08-00	63.02	4.68	33.58	28.58	23.43	83	93	14.9	18.0
15-09-00	26-09-00	85.94	15.00	25.88	24.01	20.21	57	83	7.2	15.8
28-09-00	09-10-00	80.37	14.93	23.43	21.11	17.35	54	81	9.9	17.8
09-10-00	20-10-00	91.75	26.65	14.22	13.12	10.91	29	71	7.8	16.8
22-10-00	02-11-00	89.94	28.86	10.67	9.91	8.23	22	68	7.1	16.9
20-11-00	01-12-00	108.98	43.76	4.19	2.84	2.37	5	60	32.3	16.5
04-12-00	15-12-00	92.22	37.89	1.55	0.62	0.50	1	59	60.2	18.4
18-12-00	29-12-00	30.00	9.37	8.58	4.48	3.48	27	69	47.8	22.3
30-12-00	10-01-01	7.80	1.81	3.50	0.11	0.09	5	77	97.0	17.0
19-01-01	30-01-01	67.71	29.06	3.94	2.88	2.19	7	57	31.9	18.5
31-01-01	11-02-01	108.44	49.38	9.65	8.22	6.85	12	54	14.9	16.6
11-02-01	22-02-01	94.55	33.33	14.45	11.65	9.69	23	65	19.4	16.8
25-02-01	08-03-01	103.64	40.88	19.26	17.34	14.50	26	61	10.0	16.4
14-04-01	18-04-01	35.39	14.67	4.61	3.98	3.11	18	59	13.8	21.7

