

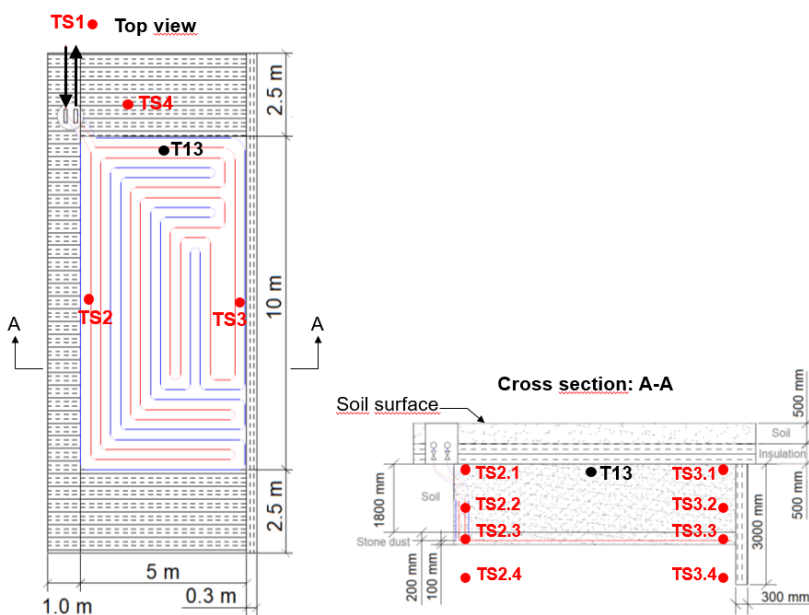
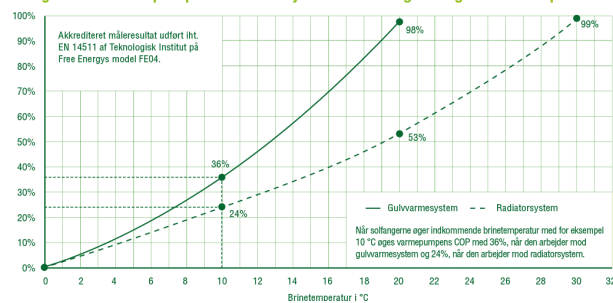
DECEMBER 2019
ELFORSK PROJEKT 349-055
Gilbert Jensen, Free Energy
Elsabet Nomonde Noma Nielsen og Simon Furbo, DTU Byg
Thule Brahed, Norconsult

HYBRID-ANLÆG MED JORDVARMELAGER AF STENMEL TIL SKOLER OG INSTITUTIONER

SLUTRAPPORT

Solvarmen effektiviserer varmepumpen

Førgelse af varmepumpens COP udtrykt i % som følge af øget brinetemperatur



Indhold

1. Sammen drag.....	3
2. Short summary in English	3
3. Projektbeskrivelse	4
4. Project description in English.....	5
5. Teknologien og projektets idé.....	6
6. Projektets formål og arbejds pakker.....	9
6.1. Formål.....	9
6.2. Baggrund før opstart	9
6.3. Overblik over undersøgelser	9
6.4. Arbejds pakkerne	10
7. Projektresultater	12
8. Diskussion.....	27
Bilag 1: Optimering af varmeoverføringen i jordvarmelager af stenmel	28
Bilag 2: Experimental and theoretical investigations of a hybrid solar heating system with ground storage.....	28
Bilag 3: Præsentation 14.12.2017 på DTU – Free Energy and energy storage	28
Bilag 4: ELFORSK møde 14.11.2018	28
Litteratur.....	28

1. Sammendrag

Danmark har fokus på at integrere mere vedvarende energi i energisystemet. Høje målsætninger om 100 % vedvarende energi i el og varme i 2035 og oliefyr udfaset senest i 2030, betyder, at varmepumper vil blive den primære opvarmingskilde uden for fjernvarmens forsyningsområder, og afløseren for de 100.000 nuværende oliefyrede anlæg. Det vurderes fra Dansk Energi, at der kan etableres 630.000 varmepumper i danske eneboliger med akkumuleringsmuligheder i bygningsmassen og lagertanke. I dette ELFORSK projekt har vi undersøgt såvel teoretisk som i praksis, hvordan et markedsført hybridanlæg HYSS - som kombinerer jordvarmeanlæg med solvarme og jordvarmelager – kan optimeres yderligere ved lagring af overskydende solvarme i jordvarme-lager og hvordan sådanne lagre kan udformes.

Målet med projektet var at eftervise, hvordan anvendelse af stenmelsbaserede jordvarmelagre kan resultere i SCOP for produktion af både varmt vand og rumvarme på over 6 - det vil sige en fordobling af SCOP i forhold til traditionelle væske/vand varmepumper og dermed en reduktion på 50% af elforbruget. Projektet har i lille skala opnået SCOP på 4,3 svarende til 32% reduktion af elforbruget sammenlignet med traditionelle væske/vand varmepumper. Projektet viste også, at en fordobling af det anvendte solfangerareal, samt en forbedret drift af produktions-cirkulationspumpen, kan øge SCOP for varmt vand og rumvarme til over 6. Dermed er mulighederne for 50% reduktion af elforbrug i forhold til traditionelle væske/vand varmepumper fuldt ud mulige.

Projektet har eftervist, at varmepumper yderligere kan optimeres ved anvendelse af solvarme og jordvarmelagre. Det anvendte stenmelslager kan opvarmes, når der er overskudsproduktion af solvarme og stenmelslageret vil herefter forbedre driftsforholdene for varmepumpen og elnettet betydeligt, og dermed kunne bidrage til et mindre samlet elforbrug fra mange varmepumper i danske hjem, skoler, institutioner og andre større bygninger. Vi har ikke undersøgt rentabiliteten for jordvarmelagre, men da de er forholdsvis dyre at anlægge, er det sikkert mest relevant i storskala, det vil sige for større projekter som skoler, institutioner og større bygninger. Ved at anvende hybridanlæg med energilagring på den varme side i bygningsmassen og i lagertanke, sammenholdt med jordvarmelager på den kolde side, er det muligt at reducere elforbruget mest muligt, så den overordnede belastning af elnettet fra varmepumper kan reduceres med mindst 25%. Driftsresultater fra dette projekt og andre projekter i Free Energy påviser besparelser af elforbruget i dette niveau i forhold til traditionelle varmepumper, og det vil naturligvis også have en stor positiv effekt på driftsomkostninger for de ca. 4000 skoler og institutioner i Danmark, som vi vurderer, er relevante for den undersøgte teknologi.

Der er hermed oplagt at følge op på resultaterne af dette ELFORSK projekt med et nyt projekt, der specifikt fokuserer på en løsning til en større skole eller institution.

2. Short summary in English

Denmark focuses on integrating more renewable energy into the energy system. High targets for 100% renewable energy in electricity and heating by 2035 and oil-burners phased out by 2030 means that heat pumps will be the primary source of heat outside the district heating supply areas and the replacement for the 100,000 current homes with oil-burners. It is estimated from Dansk Energi that 630,000 heat pumps can be established in Danish single-family houses with accumulation possibilities in the building stock and storage tanks. In this ELFORSK project, we have studied, theoretically as well as in practice, how a marketed hybrid solar/heat pump system, HYSS can be further optimized by storing excess solar heat in a soil based heat storage and how such storage can be designed.

The aim of the project was to demonstrate how the use of stone flour-based soil heat storage can result in SCOP for both hot water and space heat production in excess of 6 - that is, a doubling of SCOP compared to traditional brine/water heat pumps and thus a 50% reduction of electricity consumption. The project has achieved a SCOP of 4.3 on a small scale, corresponding to a 32% reduction in electricity consumption compared to traditional brine/water

heat pumps. The project also showed that doubling the solar collector area used, as well as an improved operation of the production circulation pump, can increase SCOP for hot water and space heating to over 6. Thus, the possibilities for 50% reduction of electricity consumption compared to traditional brine/water heat pumps is very possible.

The project has shown that heat pumps can be further optimized by using solar heating and ground source heat storage. A stone flour-based storage can be heated when there is excess production of solar heat and the stone flour-based storage will significantly improve the operating conditions for the heat pump and the electricity grid, thus contributing to less overall electricity consumption from many heat pumps in Danish homes, schools, institutions and other large buildings. We have not examined the profitability of ground source heat storage, but since they are relatively expensive to build, it is probably most relevant on a large scale, that is to say for larger projects such as schools, institutions and larger buildings. By using hybrid systems with energy storage in the buildings body and storage tanks, compared with the ground source heat storage on the cold side, it is possible to reduce the electricity consumption to the least possible, so that the overall load of the electricity grid from heat pumps can be reduced by at least 25%. Operating results from this project and other projects in Free Energy show savings in electricity consumption at this level compared to traditional brine/water heat pumps, and this will of course also have a large positive effect on operating costs for the approx. 4000 schools and institutions in Denmark that we estimate are relevant to the technology being investigated.

It is obvious to follow up on the results of this ELFORSK project with a new project that specifically focuses on a solution for a larger school or institution.

3. Projektbeskrivelse

I Danmark er omstillingen til vedvarende energi i høj grad baseret på elektricitet fra vind og sol. Indpasning af vedvarende energi i elnettet vanskeliggøres af de vedvarende energikilders fluktuerende natur. For fortsat at kunne forøge andelen af vedvarende energi i elnettet er der derfor et stærkt behov for energilagring samt energieffektive varmesystemer baseret på elektricitet der kan aftage elektricitet når det passer energisystemet bedst.

I dette projekt undersøges det, hvorledes et elbaseret energieffektivt varmesystem med jordvarmelager af stenmel udbredt til skoler og institutioner kan reducere varmeregningen for brugerne samt forbedre driftsforholdene for elnettet. Projektet tager udgangspunktet i to eksisterende markedsførte teknologier: Hybridanlæg til enfamiliehuse baseret på varmepumpe, lagertank og solvarme, samt et jordvarmelager af stenmel.

Projektets formål er at kombinere og opskalere anlægskonceptet til skoler og institutioner, der har langt større energiforbrug end enfamiliehuse.

Projektet har følgende overordnede aktiviteter:

- Undersøgelse af hvorledes varmeoverføringen i stenmelageret kan optimeres således at varmelageret gøres mere effektivt
- Design og installation af jordvarmelager og testanlæg
- Analyse af måledata
- Validering af matematisk model af anlægget samt undersøgelser af hvorledes design- og driftsændringer påvirker anlæggets effektivitet
- Fordelen for energisystemet vurderes
- Udbredelse af resultatet

4. Project description in English

In Denmark, transition towards renewable energy is highly based on electricity from wind and solar. The continued expansion of renewable energy in the grid is hampered by the fluctuating nature sources. This calls for energy storage and electricity based efficient heating systems which can use the electricity when it fits the grid best.

This project investigates how hybrid system with ground source storage of stone flavor widespread to schools and institutions can reduce the consumer costs and improve the operation conditions for the grid.

The project is based on two marketed technologies: 1) Hybrid system for single family houses with heat pump, tank and solar collectors and 2) ground source storage of stone flavor. The aim is to combine and upscale the concept to schools and institutions which have much higher energy consumption than single family houses

The activities are:

- Investigations on increase of heat transfer in the stone flavor and thereby on improvement of storage efficiency
- Design and system installation in DTU Civil Engineering's test facilities
- Analysis of measurements
- Validation of simulation model of the system and investigations of design and operation conditions
- Evaluation of advantage for the grid and the user
- Dissemination of results

5. Teknologien og projektets idé

Effektiv el til varme

Produktionen af elektricitet fra vind og sol er ofte ikke sammenfaldende med perioder med varmebehov. I perioder med overskud af elproduktion kan varmepumpen levere varme til en lagertank og et jordvarmelager. Jordvarmelageret kan opvarmes til 20-25 °C. Varmen fra lagertanken vil øge effektiviteten af varmepumpen og dermed reducere varmepumpens elforbrug således at anlægget kan omdanne elektricitet til brugsvands- og rumopvarmning med en meget høj effektivitet.

Stenmels-jordvarmelager

Stenmelslager i systemkombination med solfangere og varmepumpe benævnes ASES, Active Solar Energy Storage. Stenmel består af sten knust til kornstørrelser på 0-4 mm med et højt siltindhold med kornstørrelse på 2-6,3 µm. Stenmelslageret anbringes under eller ved siden af bygningen. Den eksisterende jord fjernes til en dybde på 1,5 – 2,5 m og erstattes af stenmel. Hvis lageret ligger under bygningen anvendes ingen isolering på toppen af lageret, idet bygningen ovenover fungerer som isolering. Hvis lageret placeres ved siden af bygningen, lægges isolering i dybden 0,5 m under jordoverfladen. Lagerdelen med særlig høj temperatur isoleres yderligere. Den fine kornstørrelse sikrer at materialet kan leje sig tæt omkring jordslangerne samt at lageret bliver homogent uden luftlommer. Det sikrer en god varmeoverføring.

Lageret opvarmes til 20-25 °C om sommeren og forsøges dimensioneret til minimum 10 °C om vinteren.

ASES-varmelageret er patentansøgt af AB Svenskt Klimatneutralt Boende og Norconsult AB har købt rettighederne til teknologien.

HYSS

Free Energys hybrid solar system, benævnt HYSS systemløsning, er det mest økonomiske og miljøbesparende opvarmningssystem, som kombinerer solvarme og varmepumpe. HYSS kan opnå en årsvarmefaktor, seasonal coefficient of performance, SCOP, på mere end 5 uden brug af et egentligt jordvarmelager. Forventningen er derfor at opnå en SCOP på mere end 6 med et jordvarmelager. Sammenlignet med undersøgelser i markedet på 300 anlæg hos danske kunder, hvor SCOP er 2,9, forventes således en fordobling i SCOP og dermed reduktion i elforbruget på 50%, med kombinationen af solvarme, jordvarme og energilager.

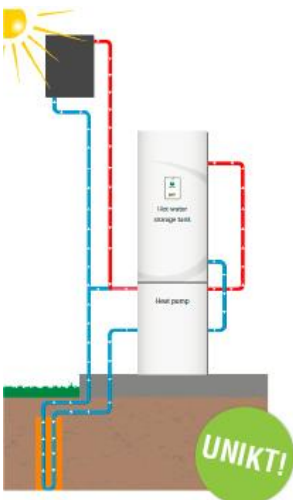
SCOP er et udtryk for effektiviteten af den givne varmepumpe beregnet ud fra et fiktivt årligt driftsmønster. SCOP beregnes på baggrund af flere testpunkter med varierende delast og fremløbstemperaturer, der afspejler en årsprofil for udetemperaturer. Her indgår en tilhørende varmebehovskurve og et resulterende elforbrug under drift. I beregningen medtages også elforbrug til hjælpeenergi som f.eks. el til cirkulationspumper. SCOP bruges til at definere europæiske minimumskrav i forbindelse med implementering af ecodesign direktivet.

Intelligent styring af prioriteringer for brug og lagring af lav, middel og høje temperaturer fra solvarmen, resulterer i en højere årsvarmefaktor SCOP for varmepumper, der kan udnytte solvarmen på både kold og varm side, ligesom HYSS.



Til varme og varmt brugsvand, 7-8 måneder

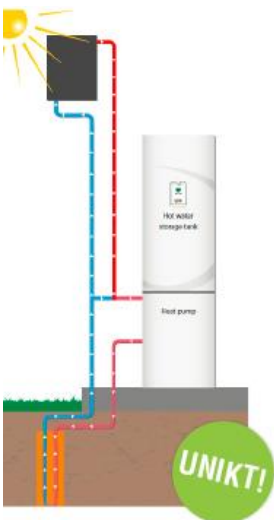
Høje temperaturer fra solfangerne lagres direkte i tanken. I 7-8 måneder om året klarer solvarmen at opvarme lagringstanken til over 60°C, uden tilskud fra varmepumpen. På denne måde giver solvarmen næsten gratis varmt brugsvand i store dele af året, noget som forbedrer årsvarmefaktoren (SCOP) for HYSS-systemet. Solvarmens bidrag i sommerhalvåret mindsker samtidig driftstimerne for varmepumpens kompressor så levetiden forlænges.



Varmepumpeeffektivisering, hele året

Når varmepumpen er i drift, anvendes solvarmen til at forvarme brinevæsken for at øge varmepumpens effektivitet. Ved hjælp af en specialudviklet inverterstyret kompressor kan der anvendes en betydelig højere temperatur til varmepumpens kompressor, helt op til 43°C.

Dette bidrager til en kraftig øgning i varmefaktor (COP) for varmepumpen, som sammen med alt gratis varmt brugsvand fordobler årsvarmefaktoren (SCOP) for HYSS-systemet, og dermed opnås en væsentlig bedre økonomi sammenlignet med andre jordvarmeanlæg.



Lagring/genopladning, hele året

Når solfangerne har lav arbejdstemperatur, eller når lagringstanken er fuldt opvarmet, anvendes solvarmen til at genoplade jorden omkring jordslangerne. På denne måde genoprettes temperaturen i energilageret hurtigere og medfører en øget effektivitet af varmepumpen. Samtidig undgås kogning i solfangerne og for høje temperaturer i lagertanken, fordi overskudsvarmen fra solfangerne kan dumpes i energilageret i jorden på en enkel og sikker måde.

Denne måde at lagre overskydende solvarme på er et supplement til traditionel energilagring, idet lagring nu sker på både kold side og på varm side, hvor den mest almindelige lagringsmetode er at lagre udelukkende på varm side, dvs. i bygningsmassen eller i lagertanke. Når systemet på den måde kan lagre på både kold og varm side, forbedres energieffektiviteten i systemløsningen mere end hvis solvarmen kun lagres på den varme side. Simpelt forklaret betyder det at vi kan udnytte solfangerens energi i hele temperaturspektret – så længe temperaturen i solfangerne er højere end jordlagerets temperatur - og dermed få betydelige mere energi i kWh fra solfangerne i løbet af et år.

Anvendelse af et jordvarmelager med et relativt højt temperaturniveau vil forbedre effektiviteten af varmepumpen og dermed nedbringe elforbruget. Det er kendt at varme fra solfangerne relativt simpelt kan overføres til et varmelager og der vil i praksis aldrig ske mætning af jordens lagerkapacitet. Det har yderligere den fordel, at solfangerne aldrig koger. Hvis en solfanger tilsluttes HYSS varmepumpen, vil der i solrige perioder produceres og lagres varme i jordlageret med COP på over 200, da der kun skal bruges drivenergi til at drive 1-2 pumper og lidt elektronik.

6. Projektets formål og arbejdsplaner

6.1. Formål

Free Energy markedsfører et hybridanlæg til enfamiliehuse som kaldes HYSS. Norconsult markedsfører et patentansøgt jordvarmelager af stenmel. Stenmelslageret går under navnet Active Solar Energy Storage, ASES.

Hovedformålet med projektet er at kombinere hybridanlægget med stenmelsvarmelageret og undersøge mulighederne for at opskalere anlægskombinationen til skoler og institutioner med større energiforbrug end energiforbruget i enfamiliehuse.

6.2. Baggrund før opstart

Free Energy har udviklet hybridanlægget HYSS, der er baseret på en varmepumpe, solfangere og en lagertank. Hybridanlægget er udviklet til enfamiliehuse. Økonomien i enfamiliehuse for denne type avancerede anlæg er ikke altid god, fordi forbruget i enfamiliehuse ikke er så stort og dermed bliver anlægs- og installationsomkostningerne for store i forhold til energibesparelsen. Opskalering af anlægstypen til at dække større forbrug, f.eks. forbruget i børneinstitutioner, skoler, flerfamiliehuse, eller lejlighedskomplekser vil forbedre økonomien betragteligt.

Norconsult har købt rettighederne til den patentansøgte løsning med jordvarmelager af stenmel som er testet siden 2009. Projekter i kombinationen af HYSS og ASES sættes løbende i drift, [1,2].

DTU-BYG har tidligere medvirket til mange undersøgelser med jordvarmelagre som sæsonvarmelager, primært i form af sandlagre under bygninger. De tidligere undersøgelser viste at det ikke var muligt at gemme varmen ved et passende højt temperaturniveau i længere perioder i sandlagre og på den måde opnå et sæsonvarmelager. Varmen kunne kun gemmes i kort tid og ved lave temperaturer. Dermed blev økonomien i teknologien alt for dårlig og anvendelsen af den type lagre blev frafaldet af samme grund. Siden da er varmepumpeteknologien udviklet og brugen af varmepumper er i dag meget udbredt. En varmepumpe kan med stor fordel anvende varmen fra et jordvarmelager ved jordvarmetemperaturer op til 20-25 °C. Og da der her er tale om en daglig dynamisk vekselvirkning mellem opladning og afladning af et jordvarmelager kombineret med en varmepumpe ser billedet igen positivt ud. Endvidere har DTU-BYG igennem en længere årrække forsket i sæsonvarmelagring med faseændringslagre med særlig fokus på forbedring af varmeoverføringen i lageret ved tilsætning af grafit [3].

6.3. Overblik over undersøgelser

En prototype af hybridanlægget er blevet installeret på DTU's forsøgsareal. Med anlægget følger der en interaktiv brugerflade som vil lære brugeren om anlægget og gøre det muligt at følge med i anlæggets drift.

Forud for design og installation af anlægget blev der gennemført en række undersøgelser:

- Forskellige tilsætningsmaterialer til forbedring af varmeoverføringen i stenmel blev identificeret og der blev udført eksperimentelle undersøgelser af varmeoverføringen i stenmel med og uden tilsætningsmaterialer
- På baggrund af resultaterne blev et optimeret stenmelslager designet og installeret
- Et HYSS hybrid testanlæg blev installeret på DTU's forsøgsareal
- Et måleprogram til detaljeret måling af anlæggets drift blev fastlagt og der blev gennemført analyser af målinger fra testanlægget med stenmelslageret
- En detaljeret matematisk simuleringsmodel af enheden blev opbygget og valideret. Simuleringsmodellen blev anvendt til at undersøge hvorledes ændringer af anlægsdesign og driftsstrategi påvirker ydelsen af anlægget
- Fordelen for energinettet ved udbredelse af anlægstypen blev også klarlagt

6.4. Arbejdspakkerne

Arbejdspakkerne i projektet omhandler:

AP 1. Optimering af varmeoverføring i jordvarmelager af stenmel

Varmeoverføringen i stenmelageret varierer med vandmætningsgraden. I et lager placeret over grundvandsniveau vil der være luftporer i materialet som forringer varmeoverføringen. Ved at have et højt siltindhold i stenmelet reduceres luftporerne så der kan ske en bedre varmeoverførsel mellem jordslanger og det omgivende stenmel. Yderligere forbedring af lagerets termiske egenskaber vil gøre lageret mere effektivt. Det forsøges undersøgt, hvorledes stillestående grundvand eller en faskine aktivt kan tilføre vand/fugt til stenmelageret, og hvordan det påvirker varmeoverføringen.

AP2. Design og installation af jordvarmelager af stenmel på DTU

Norconsult har erfaring med driften af ASES og har desuden tilgang til målinger udført i tidligere projekt af temperaturvariationerne i lageret gennem året. Lageret dimensioneres ud fra lagerets termiske egenskaber.

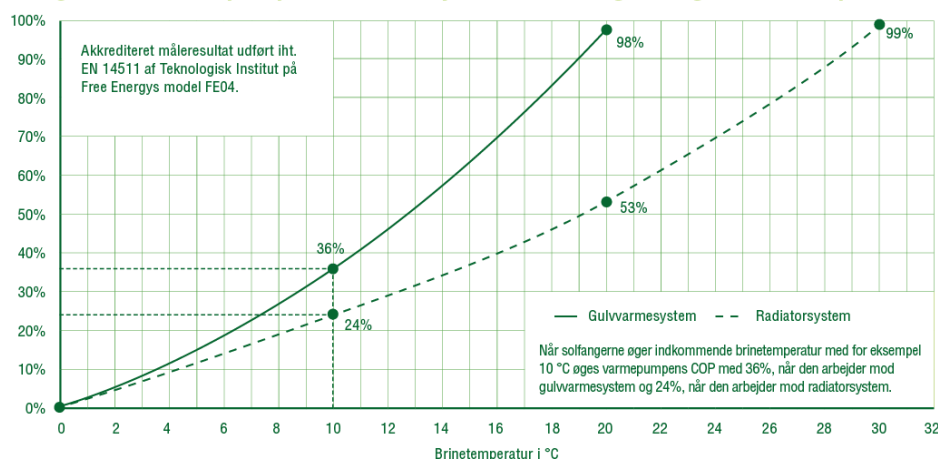
AP3. Installation af testanlæg på DTU

Free Energy's eksisterende markedsførte hybridanlæg til enfamiliehuse består af nominelt 1-9 kW, 5-12 kW og 5-22 kW væske/væske varmepumpe, typisk 4-12 solfangere, 200 l indbygget lagertank og med alle nødvendige ventiler og pumper ligeledes indbygget. Dermed er det enkelt blot at tilslutte jordvarmeslanger og slanger til solfangere. Der medfølger en Internetbaseret brugerflade inklusive software til styring og dataopsamling. Forsøgsanlægget er baseret på den mindste varmepumpe og 3 solfangere, for at holde omkostningerne nede. Et stort hybridanlæg, der skal dække energiforbrug i skoler og institutioner skal anvende varmepumper med over 100 kW effekt. I løbet af dette projekts løbetid, har Free Energy færdigudviklet varmepumper op til 100 kW, som kan kobles sammen til 600 kW og dermed dække behovet for alle størrelser skoler og større bygninger i Danmark.

Free Energy har erfaring fra udvikling af HYSS til enfamiliehuse og større bygninger, hvor den øgede brinetemperatur har givet dokumenterede SCOP-værdier på over 5. Free Energy har verificeret, hvor stor forbedring forvarmning af brinevæsken udgør. Test ved Teknologisk Institut i Danmark viser, at når brinetemperaturen øges med 10 K ved gulvvarmesystemer, øges varmefaktoren (COP) med 36%. Hvis brinetemperaturen øges med 20 K, øges varmefaktoren med hele 98%.

Solvarmen effektiviserer varmepumpen

Forøgelse af varmepumpens COP udtrykt i % som følge af øget brinetemperatur



AP4. Analyse af måledata

Målinger fra langtidstest analyseres. Free Energy har mange års erfaring med at analysere måledata. DTU har mange års erfaring med analyse af måledata.

AP5. Matematisk modellering og parametervariationer

I projektet opbygges en matematisk simuleringssmodel af hybridanlæg og jordvarmelager, der valideres med målinger fra langtidstest med henblik på optimering af anlægsdesign og driftsparametre. DTU har mange års erfaring med opbygning af simuleringssmodeller og validering af simuleringssmodeller.

AP6. Fordelen for energisystemet

Det undersøges og beskrives hvordan projektet kan have fordele for energisystemet.

AP7. Projektledelse og formidling

Styring af projektet. Free Energy har mange års erfaring som projektleder. Udover traditionel projektstyring indeholder denne arbejdsplanke også formidling.

7. Projektresultater

Arbejdsopgave 1: Optimering af varmeoverføring i jordvarmelager af stenmel

ASES sæsonvarmelager lagrer lavtempereret energi fra sommer til vinter. Varmen hentes ved hjælp af varmepumpen hvis jordslange/kollektorslange er placeret i bunden af varmelageret. Oven over varmelageret placeres isolering. Det er derefter muligt at placere en bygning/parkeringsplads/mark oven på varmelageret.



Figur 1 Snittegning af et ASES varmelager

Et ASES varmelager består af 3 forskellige zoner som vist på figur 1.

- Zone 1 er kernen i sæsonvarmelageringen. Denne zone skal kunne lagre varmen fra sommer til vinter og behøver derfor have en høj varmekapacitet
- Zone 2 er placering af jordvarme/kollektorslangen. Det er vigtigt at slangen er beskyttet og ikke kan beskadiges af spidse materialer. I dette område er det vigtigt at varmeledningsevnen er høj for at kollektorslangen hurtigt skal kunne afgive varme
- Zone 3 er omgivende jord og materialet i denne zone kan variere fra projekt til projekt

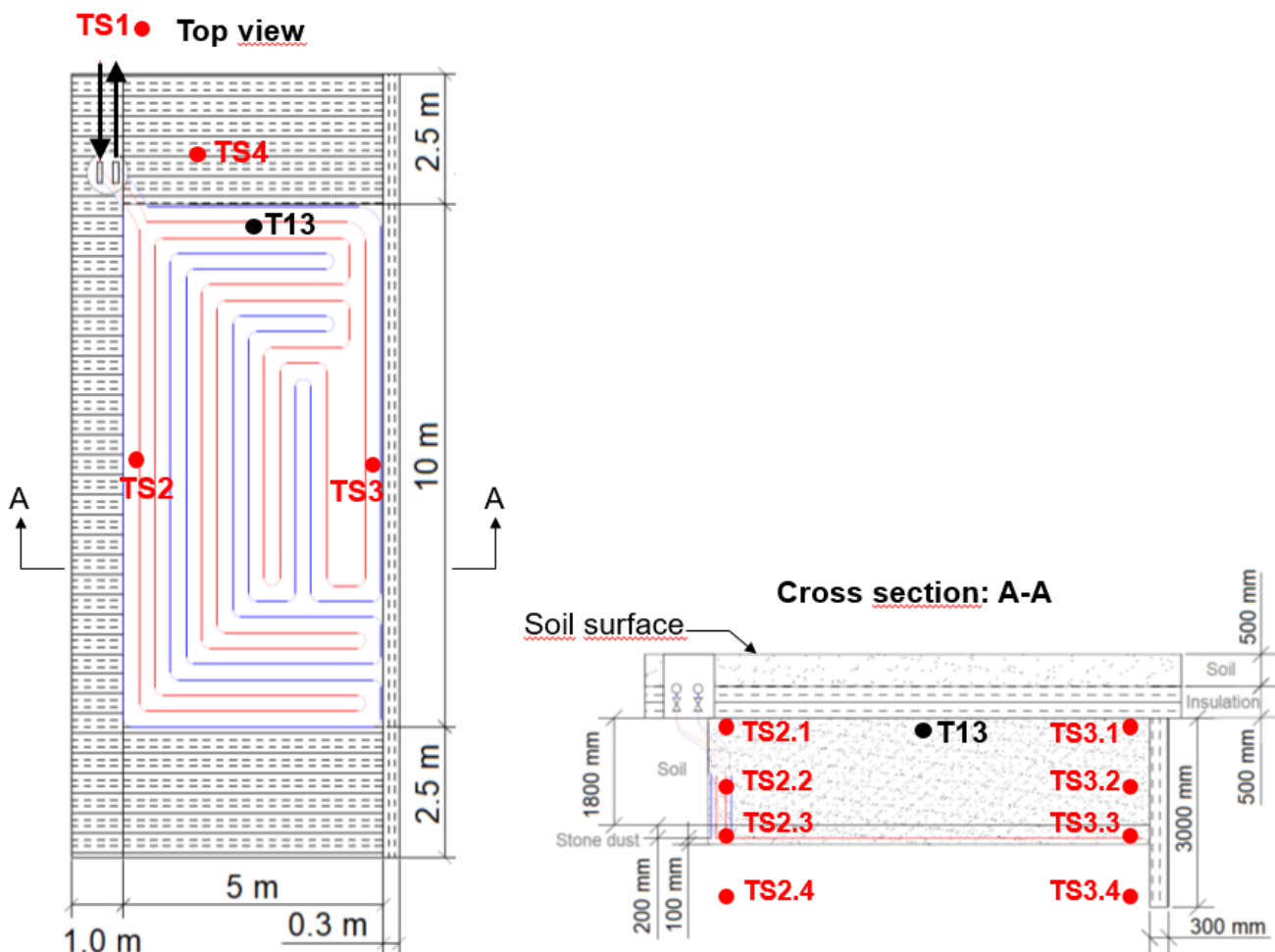
Zone 3 påvirker lagringskapaciteten meget da varmen spredes til denne zone og den bliver en del af varmelageret. Det er derfor vigtigt at tage hensyn til at jordforholdene på pladsen er gunstige og at jorden har gode termiske egenskaber. Ved at have kendskab til at de termiske egenskaber er gode, øges chancen for at materialet på pladsen kan genanvendes til at fylde zone 1 og dermed holde omkostningerne nede.

Varmeledningsevnen i zone 2 bør være så høj som mulig. Jorden bør derfor indeholde en høj andel af finmalet siltholdigt materiale, men også sand i en god blanding for at have en høj tæthed og minimal andel luftlommer i porerne. Blanding af forskellige materialer viste sig have en mindre påvirkning på materialets varmeledningsevne. Et område som kan undersøges nærmere er termiske egenskaber hos jernsand, derimod er udbuddet begrænset og det kan blive kostbart med fragt fra industriområderne. At vælge at fastgøre kollektorslangerne i et armeringsnet er en god måde at øge andel stål i zone 2. Stålet ligger direkte i forbindelse med kollektorslangerne og øger varmeledningsevnen i zonen.

Zone 1 viser sig frem for alt at påvirkes af jordens fugtighed. Ved at sikre høj fugtighed i jorden, øges lagringskapaciteten væsentligt.

Arbejdspakke 2: Design og installation af jordvarmelager af stenmel på DTU

Området som var tilgængeligt på DTU's forsøgsareal for installation af varmelageret var 20x9,5 meter. Derfor blev det besluttet at ASES varmelageret skulle være 10x5 meter med isolering på toppen ud over selve varmelagerets areal. Et sæsonvarmelager blev designet til at være varmest i midten og koldere langs siderne. Med tanke på installationsområdets geometri, og fordi der lå et traditionelt jordvarmelager opad ASES lageret, blev der anbragt vertikal isolering langs varmelagerets ene langside og at varme denne side mest. På denne måde simuleredes varmelageret at være på 10x10 meter. Kollektorslangerne i varmelageret er et 1-strengs system med en fordeler fra HYSS varmepumpen og en fordeler til HYSS varmepumpen. Kollektorslangen er fastgjort til et armeringsnet og beskyttes af fint stenmel såvel over som under selve slangen. Af økonomiske grunde er varmelagerets opfyldningsmateriale det samme som blev gravet ud på pladsen. Jorden blev befugtet ekstra under opfyldningen for at forbedre varmekapaciteten og mindske porøsiteten. Herunder ses den aktuelle udformning af lageret, som det blev bygget:

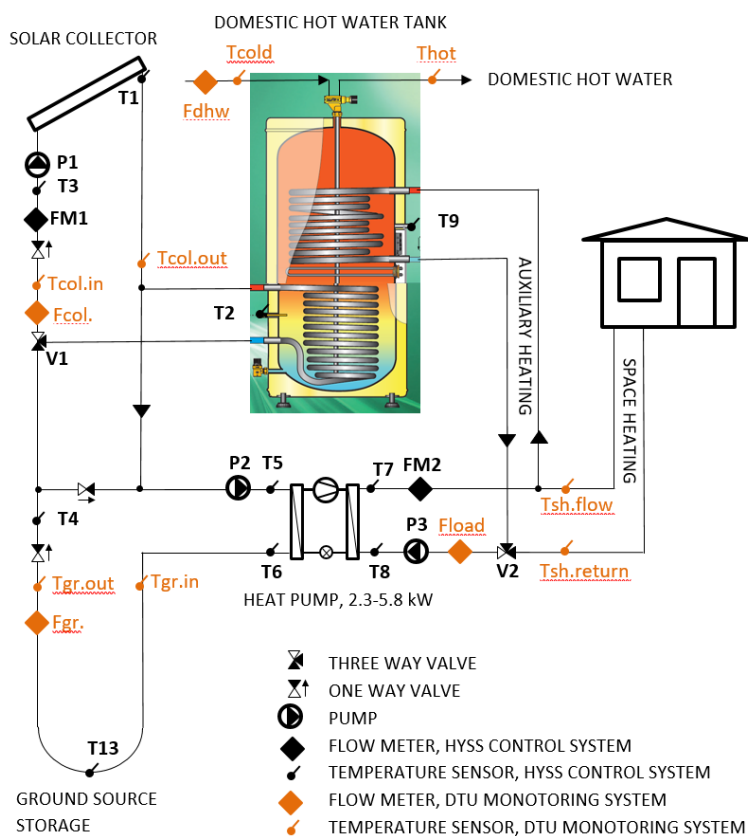


Designet jordvarmelager af stenmel

Flere detaljer om design og dimensionering af lageret kan ses i bilag 1.

Arbejdspakke 3: Installation af testanlæg på DTU

Figuren nedenfor viser systemdiagram over det færdige testanlæg bestående af varmtvandstank, varmepumpe, solfangere og jordvarmelager. Figuren viser også målepunkterne til at kontrollere systemet (sorte sensorer) og evaluere energistrømme samt ydelsen af systemet (orange sensorer).



Systemdiagram med målesensorer

Nedenfor vises den installerede HYSS varmepumpe samt billede af varmepumpens indre.

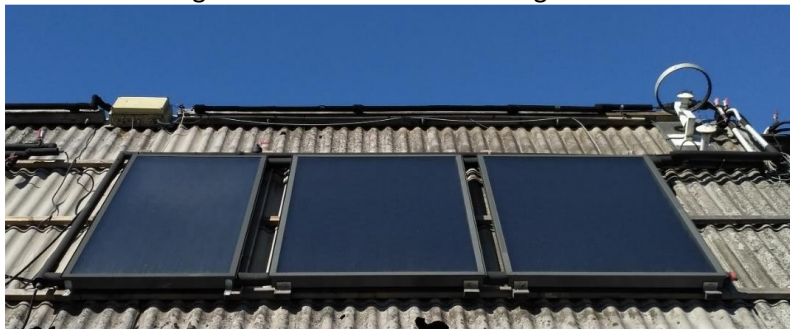


HYSS med plads til iPad i fronten



Kig til varmepumpens indre

Til projektet blev der installeret 3 solfangere med i alt 6.55 m² solfangerareal:

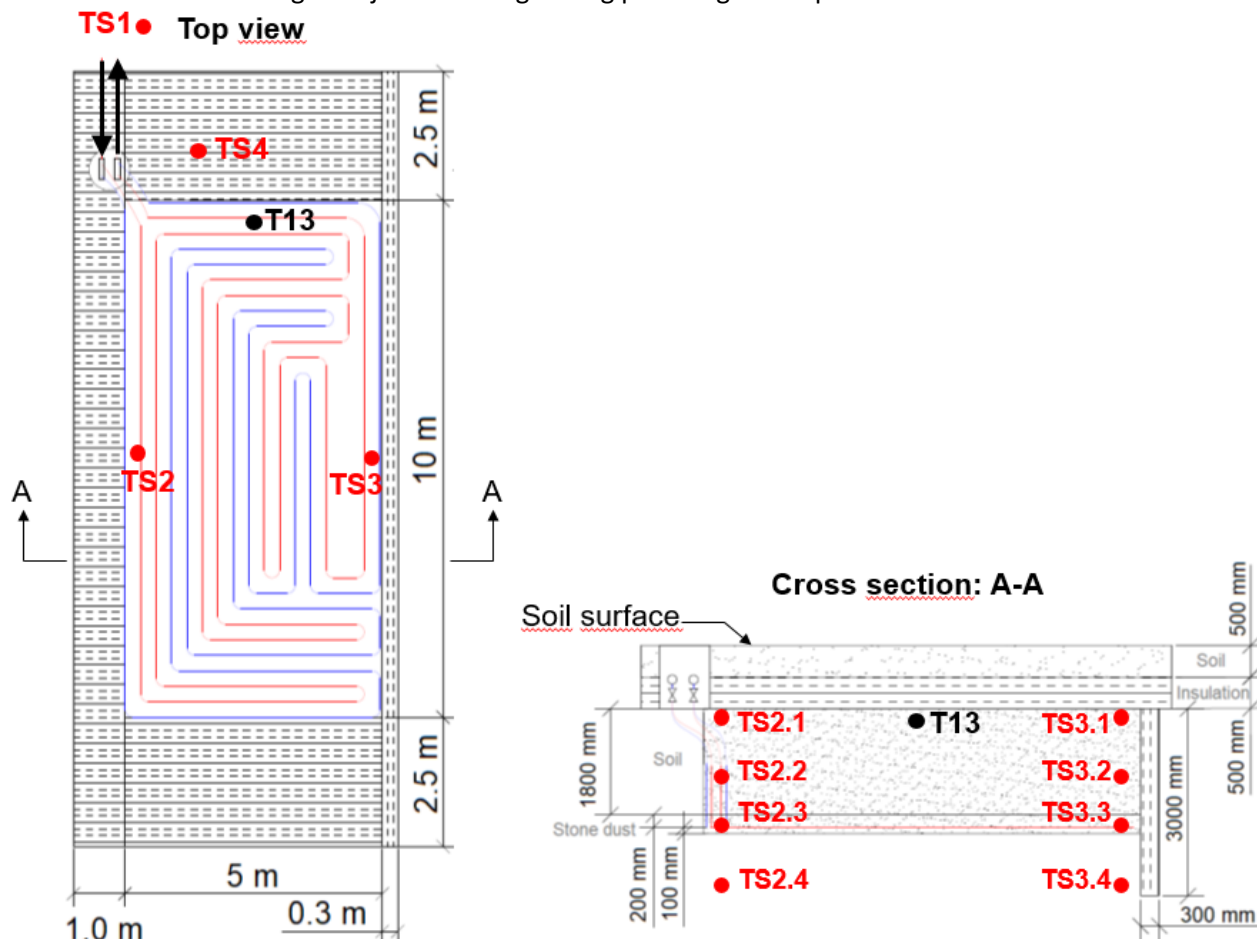


Nedenfor vises data om det færdige anlæg:

Solar collector area	6.55 m ²
Peak collector efficiency, η_0	0.871
Heat loss coefficient, a_1 / a_2	3.25 W/m ² /K / 0.0172 W/m ² /K ²
Efficiency for all incidence angles, η	$\eta_0 * k_{\Phi} - a_1 * (T_m - T_a) / G - a_2 * (T_m - T_a)^2 / G$
Incidence angle modifier for beam radiation, k_{Φ}	$1 - 0.1 * S - 0.008 * S^2$ $S = 1 / \cos(\Phi) - 1$
Collector tilt / Orientation	45° / South
Fluid in solar collector loop and ground loop	35% (weight) propylene glycol/water mixture
Volume flow rate in solar collector loop	1 – 6 l/min/m ²
Domestic hot water tank volume / auxiliary volume	200 l / 100 l
Inner height / inner diameter of domestic hot water tank	1041 / 492 mm
Surface area of coil heat exchangers in solar collector loop (lower coil) and auxiliary heating loop (upper coil)	0.8 m ²
Heat transfer coefficient of: coil in solar collector loop / coil in auxiliary heating loop	250 W/K / 350 W/K
Relative height of coil in solar collector loop: inlet / outlet	0.42 / 0.09
Relative height of coil in auxiliary heating loop: inlet / outlet	0.77 / 0.5
Relative height of temperature sensor to control solar collector loop	0.3
Relative height of temperature sensor to control auxiliary heating loop	0.64
Insulation material of domestic hot water tank / thermal conductivity	ECO foam / 0.025 W/m/K
Insulation thickness for domestic hot water tank: top / side / bottom	50 / 40 / 50 mm
Heat loss coefficient of domestic hot water tank: theoretical / measured	1.22 W/K / 5.62 W/K
Heat pump capacity / type	4 kW heat pump, single stage brine/water
Heat pump capacity with frequency inverter, 30 – 70 Hz	2.3 – 5.8 kW
Maximum inlet temperature on source side	43 °C
Refrigerant	R410a
Power consumption of pump in solar collector loop	21.5 W
Power consumption of pump in ground loop	83 W
Power consumption of pump in heat distribution loops	45.5 W

Jordvarmelageret

Nedenfor ses udformningen af jordvarmelageret og placering af temperatursensorer:



Jordvarmelageret udformning set ovenfra og i tværsnit

Temperatursensorerne måler følgende

- TS1 måler temperaturen ved siden af lageret og tjener som reference for temperaturen i uforstyrret jord
- TS4 måler jordtemperaturen under isolering ved siden af lageret
- TS2 og TS3 måler temperaturer i jordlageret. TSX.1, TSX.2, TSX.3 og TSX.4 refererer til dybden af TS2 og TS3 sensorerne i hhv. dybde på 1.1, 2, 2.9 og 4 meter under lageret overflade
- T13 bruges af HYSS varmepumpen til at styre driftstilstanden solenergi til jord

Jordvarmelagerets varmeudveksler har 2 parallelle forløb ud fra fordeler på både fremløb og retur, vist med blå og rødt på tegningen. Strømningsretningen er den samme uanset om der lagres overskydende solvarme, eller om varmepumpen trækker energi ud af lageret. De to forløb er identiske og volumenstrømmen antages således at være ligeligt fordelt. Jordslangerne ligger 3 meter under overfladen i et lag af komprimeret stenmel. Ovenpå stenmelet ligger et komprimeret lag af moræneler. Herover er der 2 lag krydsforbandt polystyren isolering på 500 mm og til sidst jord med græs. Topisoleringen dækker et større areal end selve jordvarmelageret for at reducere varmetabet fra lageret.

Der er også et vertikalt lag isolering for at isolere fra et tilstødende jordvarmelager, der har jordslanger i 1 m dybde. Denne side-isolering strækker sig fra toppen ASES lageret til 1 m under lageret. Fra de to manifolder ved lageret går der to hovedrør fra lageret ind til HYSS-systemet placeret indendørs. Hovedrørene er isoleret og placeret i 1 m dybde. Yderligere informationer om måleudstyr, jordmaterialer m.m. kan ses i bilag 2.



Billeder fra installationen af jordvarmelageret

Arbejdspakke 4: Analyse af måledata

Målingerne er foretaget i en testperiode på 1 år fra november 2018 til oktober 2019. Lige store mængder af varmt vand er aftappet 3 gange om dagen: Om morgenen, til middag og om aftenen. I alt er der tappet energi på 4,5 kWh hver dag.

Det årlige varmtvandsforbrug er 1.640 kWh, der svarer til et dagligt forbrug på 100 liter opvarmet fra 10 til 50 °C. Rumvarmeforbruget har udgjort 2.200 kWh svarende til et en-families hus på 140 m² med et varmebehov på 16 kWh/m²/år. Kontrolstrategien for anlægget er, at produktions-cirkulationspumpen P3 kører hele tiden når anlægget er i rumvarme-modus og udetemperaturen er mindre end stop-temperaturen $T_{\text{heatingstop}}$. Kompressoren starter når forskellen mellem setpunktet $T7_{\text{set}}$ og aktuel $T7$ er mere end 3 K.

Når temperaturen $T9$ i varmtvandstanken falder 5 K under setpunktet $T9_{\text{set}}$, prioriteres varmtvandsproduktionen, så ventilen V2 skifter fra rumvarmeposition til varmtvandsposition, og anlægget opvarmer tankens varme vand indtil setpunktet $T9_{\text{set}}$ er opnået.

Den gennemsnitlige daglige solindstråling på solfangerne, den daglige gennemsnitlige udetemperatur og månedlige energiforbrug til varmt vand og rumvarme ses af nedenstående figur. På grund af en forkert fungerende ventil, er rumvarmen ikke tilsluttet i oktober efter hensigten.

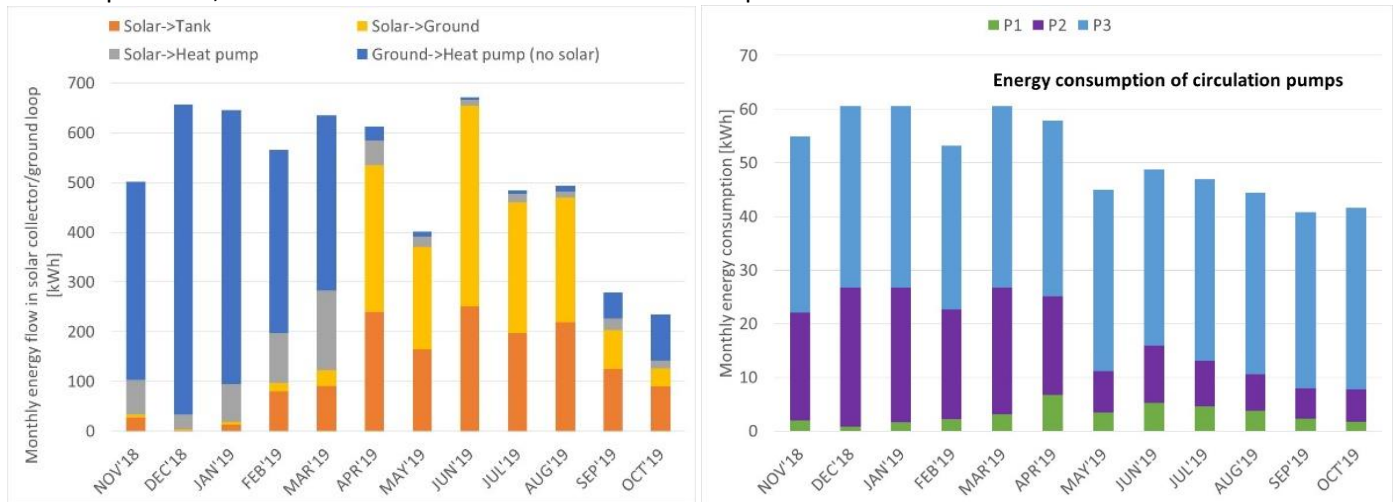


Målte vejr data og energy forbrugt fra HYSS i testperioden

Venstre: Solindstråling på solfanger og gennemsnitlig udetemperatur

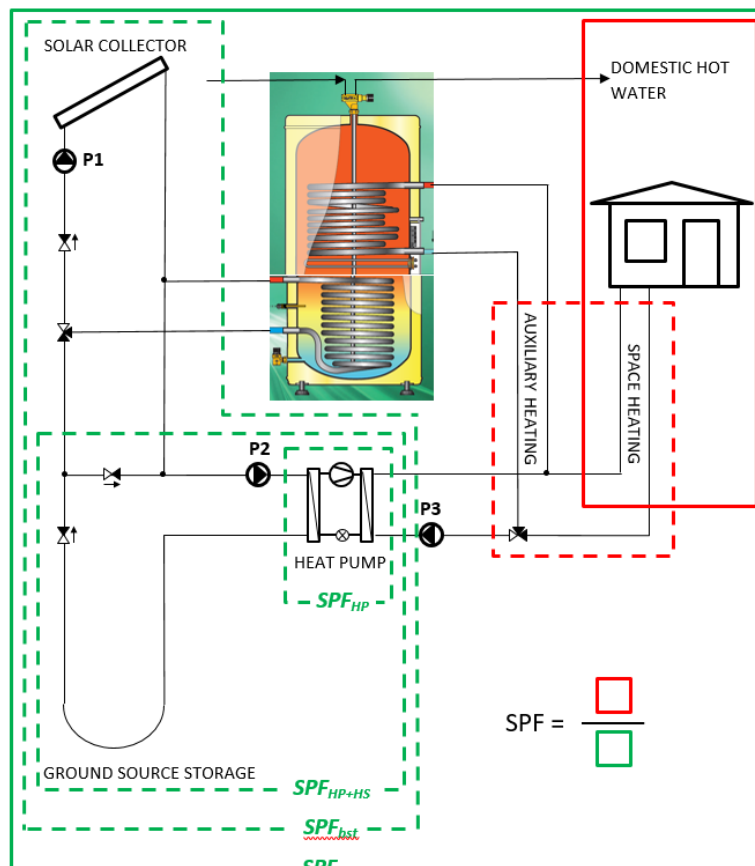
Højre: Rumvarme og varmtvandsforbrug

Figuren nedenfor viser månedlig energi flow og energiforbrug af cirkulationspumper I testperioden. Energiforbruget for produktions-cirkulationspumpen P3 er relativt højt og en fejl i styringen har gjort at den har kørt hele året, også I sommerperioden, hvor den kun skulle køre under varmtvandsproduktionen.



Målt daglig energiflow og energiforbrug fra cirkulationspumper i HYSS

Næste figur viser et hydraulisk skema af HYSS og en grafisk definition af "seasonal performance factor" SPF. Den analytiske definition findes i ligningerne (1) – (4).



Grafisk definition af "seasonal performance factors" SPF

$$SPF_{HP} = \frac{\sum Q_{HP}}{\sum (E_{HP} + E_{ctr})} \quad (1)$$

$$SPF_{HP+HS} = \frac{\sum Q_{HP}}{\sum (E_{HP} + E_{ctr} + E_{CPHS})} \quad (2)$$

$$SPF_{bst} = \frac{\sum (Q_{HP} + Q_{solar})}{\sum (E_{HP} + E_{ctr} + E_{CPHS} + E_{CPSolar})} \quad (3)$$

$$SPF_{SHP} = \frac{\sum (Q_{DHW} + Q_{SH})}{\sum (E_{HP} + E_{ctr} + E_{CPHS} + E_{CPDist} + E_{CPSolar})} \quad (4)$$

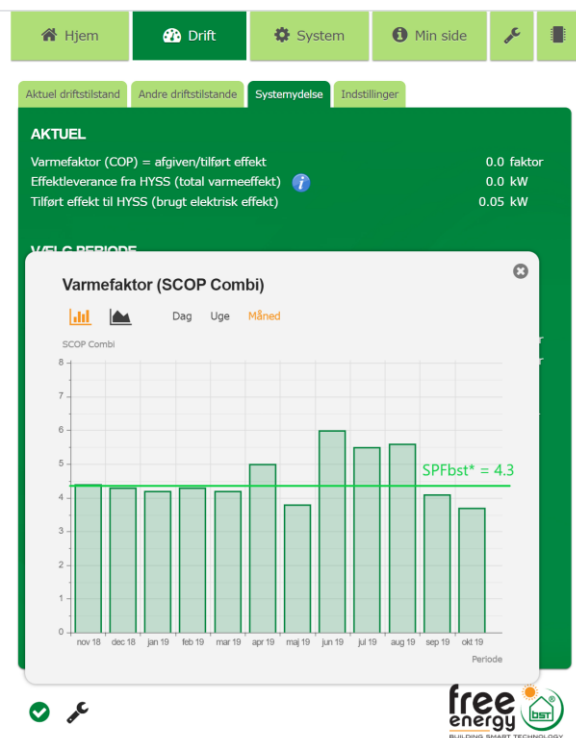
HYSS har indbygget energimåling der måler en variant af ligning (3):

$$SPF_{bst*} = \frac{\sum (Q_{HP} + Q_{solar-to-tank})}{\sum (E_{HP} + E_{ctr} + E_{CPHS} + E_{CPSolar})} \quad (3^*)$$

SPF_{HP} tager hensyn til alle anlæggets tab, mens SPF_{bst} ikke tager højde for varmetabene.

I (3) måles også solenergien, der lægges ned i lageret, mens der i (3*) udelukkende måles den direkte nyttige solenergi, nemlig den som lægges ind i tanken.

For måleperioden november 2018 – oktober 2019 ses resultatet SPF_{bst*}=4,3:



Månedlig og årlig SCOP for kombineret VV og rumvarme

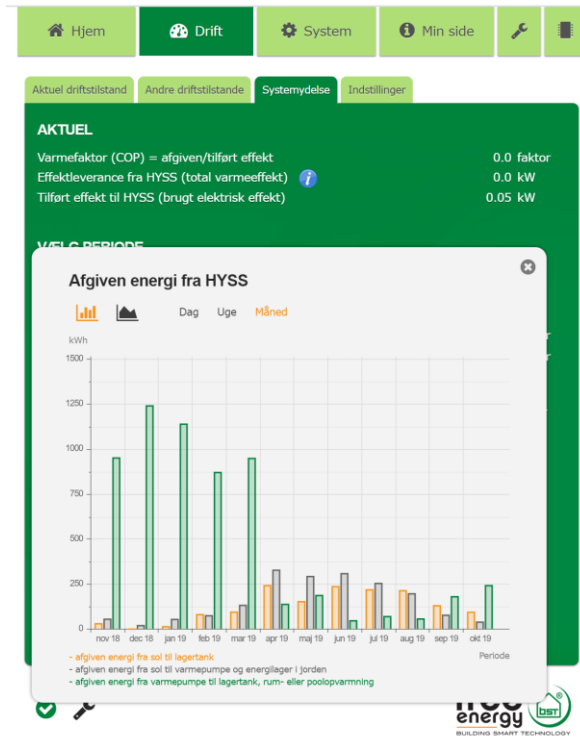
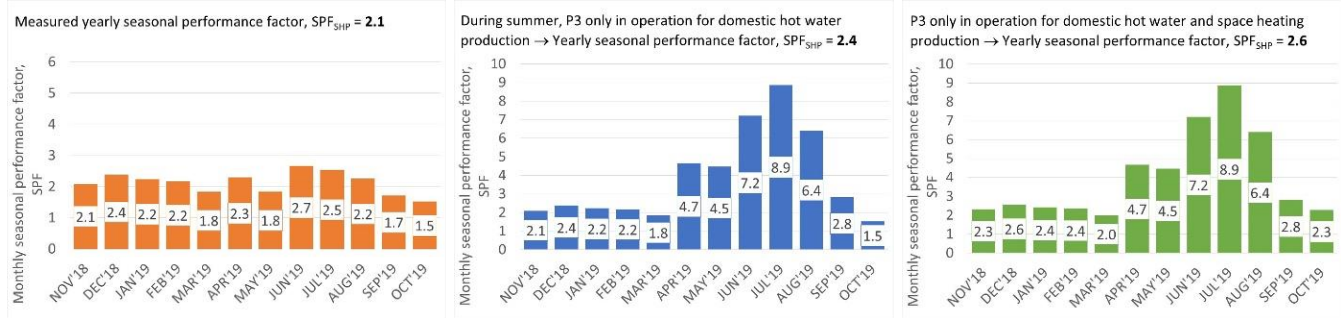


Illustration af månedlig afgiven energi

I testperioden er der samtidig målt SPF efter alle tab, SPF_{SHP} , ligning (4):



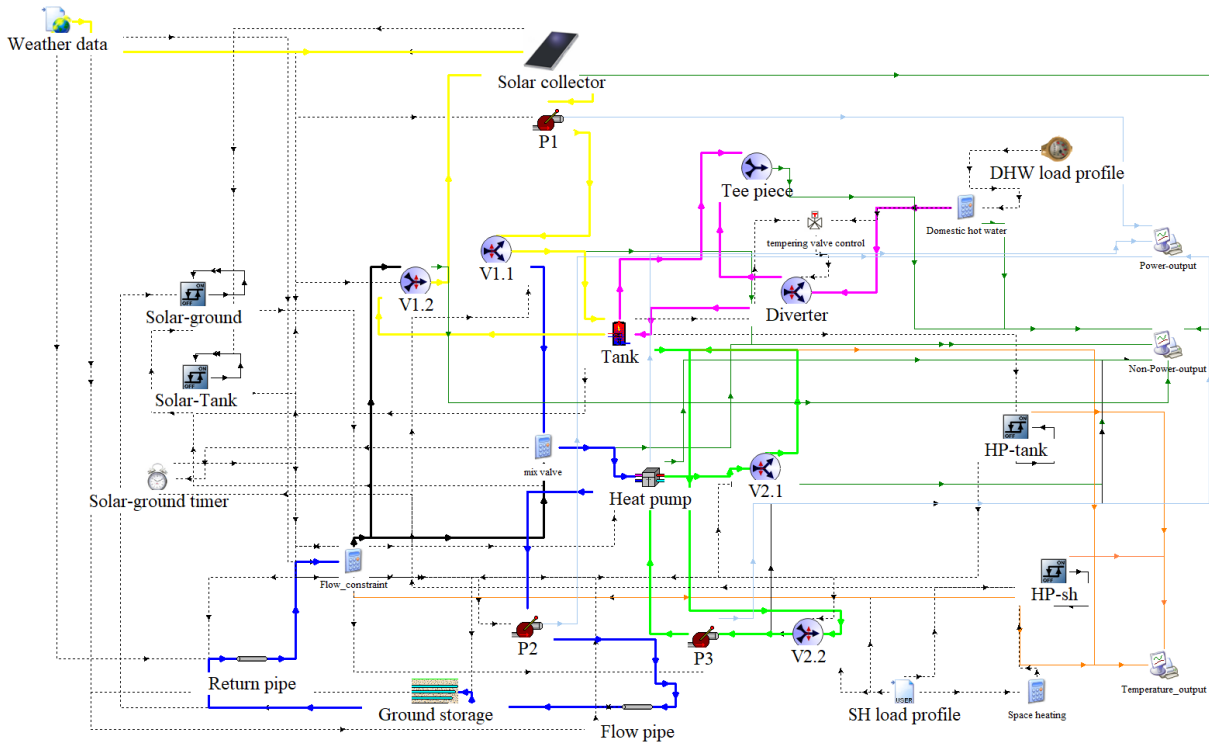
Målte månedlige og årlige SPF for HYSS

Det ses tydeligt, hvor stor effekt varmetab fra tanken har. Desuden var testanlægget ramt af en ventil, hvor der lækker energi fra tanken, når anlæggets produktions-cirkulationspumpe P3 kører vandet rundt i rumvarmekredsen, og ligeledes når HYSS går rumvarme. Disse 3 faktorer sænker tilsammen SPF_{SHP} ned til 2,1.

Målingerne viser også at temperaturerne i jordvarmelageret er 1 K højere omkring jordslangerne end året før, men den lave øgning viser at solfangerarealet er for lille i forhold til forbruget af varmt vand og rumvarme, og der må overvejes at bruge det dobbelte antal solfangere, nemlig 13.1 m² i stedet for de valgte 6,55 m².

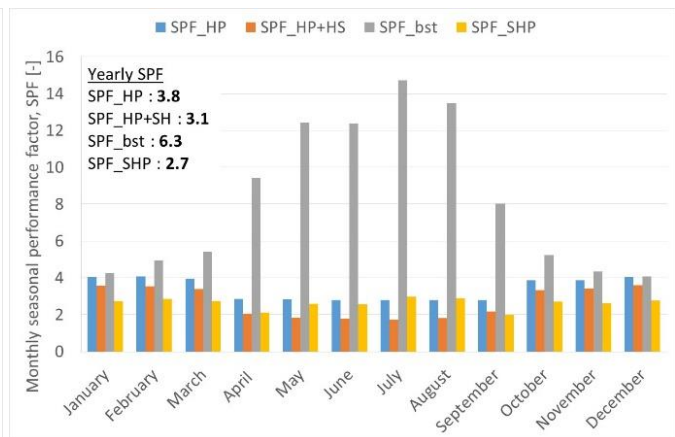
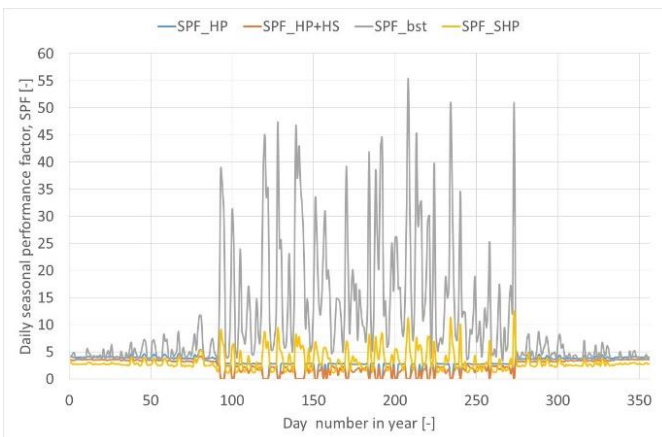
Arbejdspakke 5: Matematisk modellering og parametervariationer

Der er blevet lavet en matematisk model af HYSS med jordvarmelager i TRNSYS. Denne figur viser modellen:



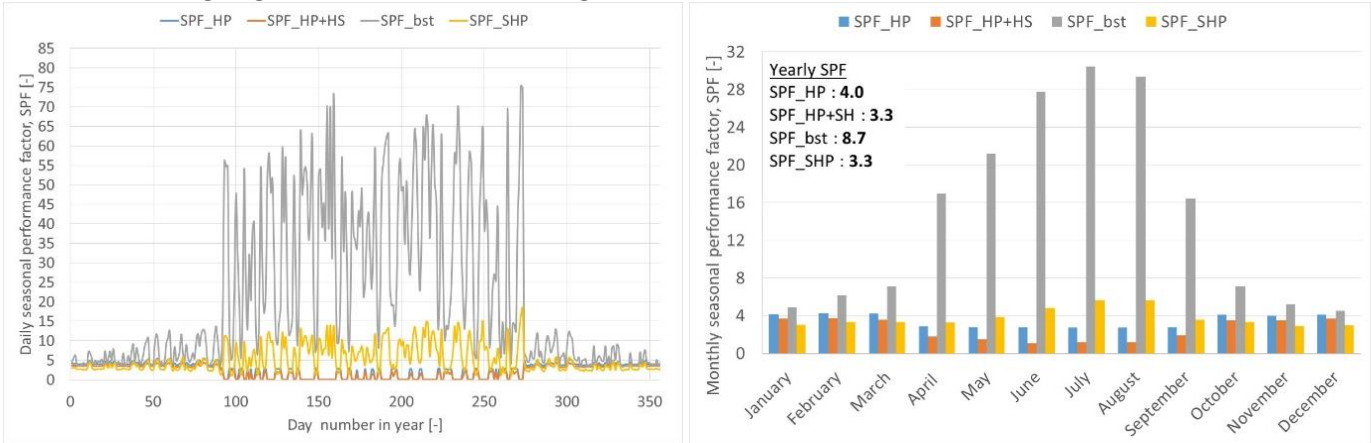
Detaljer for modellen ses i bilag 2. Modellen er sammenholdt med aktuelle målinger fra det fysiske anlæg og der ses en meget god overensstemmelse.

Som det blev konkluderet i AP4, er solfangerarealet på 6,55 m² for lidt til at forhøje temperaturen i jordvarmelageret væsentligt. Derfor er der lavet beregninger af årlig SPF med hhv. 6,55 m² (3 solfangere) og med 13,1 m² (6 solfangere).



Beregnet SPF for HYSS med solfangerareal på 6.55 m²

Tilsvarende beregninger er her vist med 6 solfangere, 13,1 m²:

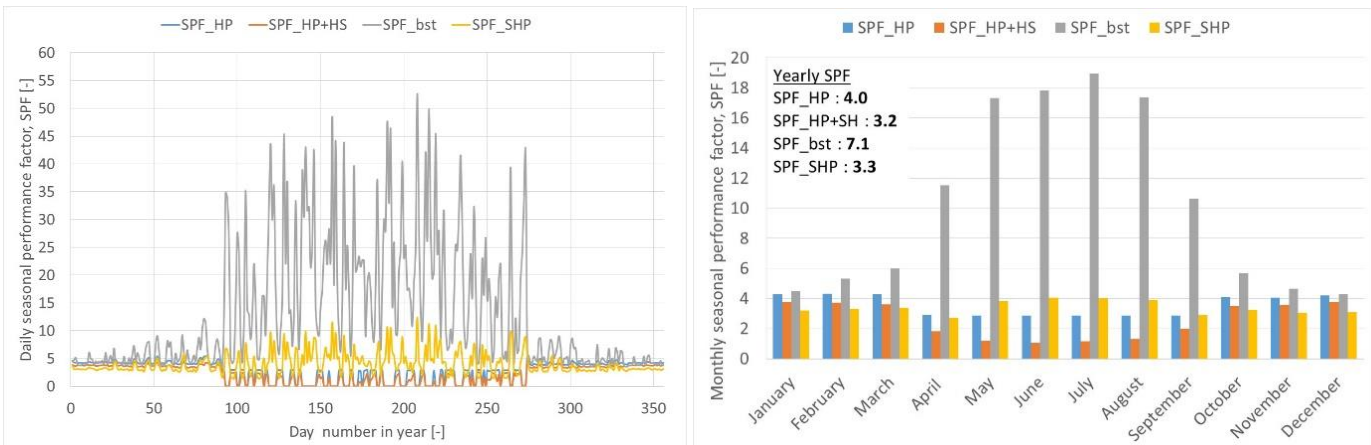


Beregnet SPF for HYSS med solfangereareal på 13,1 m²

Det ses tydeligt, hvordan SPF øges:

- SPF_{HP}: 3,8 (3 solfangere) øges til 4,0 (6 solfangere)
- SPF_{HP+SH}: 3,1 (3 solfangere) øges til 3,3 (6 solfangere)
- SPF_{bst}: 6,3 (3 solfangere) øges til 8,7 (6 solfangere)
- SPF_{SHP}: 2,7 (3 solfangere) øges til 3,3 (6 solfangere)

I stedet for at øge antal solfangere, kan vi i stedet minimere tabet fra tank (fra 5,62 W/K til 1,22 W/K), og sørge for at produktions-cirkulationspumpe P3 kun kører, når det er nødvendigt.



Beregnet SPF for HYSS med solfangereareal på 6,55 m² og varmetab i tank på 1.22 W/K

Konklusionerne er, at den beregnede SPF_{SHP} (inklusive alle tab) kan øges fra 2,1 til 3,9 ved:

1. HYSS produktions-cirkulationspumpe P3 kun kører, når det er nødvendigt. Dette er gennemført i nye HYSS-anlæg
2. Reducere varmetab i tank fra 5,62 W/K til 1,22 W/K. I de nyeste HYSS anlæg er varmetabet under 2 W/K
3. Øge antallet af solfangere fra 6,55 m² til 13,1 m². Dette kan nemt opnås på projektbasis

Den målte SPF_{SHP} på 2,1 kan som beregningerne viser, øges til 3.9 der svarer til en øgning på 85%. SPF_{SHP} er inklusive

$$\text{alle tab og HYSS måler varianten } SPF_{bst*} = \frac{\sum(Q_{HP} + Q_{Solar-to-tank})}{\sum(E_{HP} + E_{ctr} + E_{CPS} + E_{CPSolar})}$$

Denne SPF_{bst}^* måler energien fra kompressor og solen, der lagres i tanken, og måler det totale elforbrug til anlægget. Med ovenstående beregnede forbedringer, kan det godtgøres at den målte SPF_{bst}^* kan øges fra de målte 4,3 til over 6.

Arbejdspakke 6: Fordelen for energisystemet

Danmark har fokus på at integrere mere vedvarende energi i energisystemet. Høje målsætninger om 100 % vedvarende energi i el og varme i 2035 og oliefyr udfaset i 2030 gør, at der kræves løsninger som kan træde i stedet for eksisterende systemer baseret på fossil energi. Vind- og solenergi som er de mest udbredte vedvarende teknologier i Danmark er karakteriseret ved en særdeles svingende produktion. Varmebehov til rumopvarmning og brugsvand er derimod forudsigelige. Projektet har fokus på et hybridanlæg som effektivt kan omdanne el produceret i perioder med en høj andel vedvarende energi i el-nettet til varme og lagre det ved høj temperatur i vand, samt ved både høj og lav temperatur i jordvarmelager til at dække varmebehov i perioder med begrænset produktion af vedvarende energi.

Opvarmningssystemer i dag

Elektrificeringen af varmesektoren er en vigtig del af den grønne omstilling, men der er behov for at fokusere på installation af varmepumper i private hjem. Antallet af varmepumper, der installeres i Danmark, øges år for år, mens antallet af oliefyr falder støt og som oftest til fordel for varmepumper. Dette er til fordel for omstillingen til et grønt energisystem, og for målet om i 2050 at være uafhængig af fossile brændsler. I dag er mere end 70% af Danmarks elforbrug dækket af grøn energi, og andelen forventes at vokse til 100% frem mod 2030. Varmepumper er derfor interessante i Danmark, da de kan anvende el-produktionen fra vindmøller og anden vedvarende energi på tidspunkter, hvor produktionen herfra er høj. Det kræver blot, at varmepumper kan lagre deres producerede energi i bygningsmassen og/eller en akkumuleringstank, hvorfra energien så kan hentes, når behovet er der.

Først de senere år er varmepumpen for alvor ved at vinde terræn i private hjem. Det seneste energiforlig med lavere elvarmeafgifter og elafgifter skal være med til at give varmepumperne et ekstra skub og medvirke til at forbruget af varme kommer fra stadig mere grønne energikilder.

Eksisterende viden

Varmepumper i dag en velkendt teknologi som dog stadig er under udvikling til fordel for forbrugerne. De seneste udviklinger fokuserer på mere effektive luft/vand varmepumper, der er i stand til at levere den nødvendige effekt og energi ned til -20°C . Et andet stort fokus er udskiftning af skadelige kølemidler med naturlige kølemidler som propan og CO_2 .

En varmepumpes effektivitet er afhængig af temperaturforskellen mellem den kolde og den varme side og i undersøgelse fra projektet Styr Din Varmepumpe (energinet.dk) fremvises årsvarmefaktor SCOP på 2,9 for væske/vand varmepumper (jordvarmeanlæg). I dette projekt har vi opnået SCOP i måleperioden på 4,3 for produktion af varmt vand og rumvarme.

Muligheder

Det vurderes fra Dansk Energi, at der kan etableres 630.000 varmepumper i danske eneboliger med akkumuleringsmuligheder på den varme side, dvs. i bygningsmassen og/eller lagertanke¹. Heraf er der i bygningsmassen potentiale for oplagring af 15,2 GWh/år ved at lagre 2 K, og i 200 liter lagertanke i alt 2,2 GWh/år. Samlet er akkumuleringspotentialet 17,4 GWh/år.

Hvis man inkluderer de skønsmæssigt 4000 skoler og institutioner, som er beliggende i områder udenfor den kollektive fjernvarmeforsyning og som er fokus for dette projekt, og desuden tilføjer større bygninger f.eks. etagebyggerier, vil vi vurdere et akkumuleringspotentiale i samme størrelsesorden som for eneboliger, hvorved det samlede potentiale

¹ Den lille blå om varmepumper 2019

bliver ca. 35 GWh/år. Med en elproduktion i 2018 på 35 TWh svarer det til ca. 1 promille. Det lyder ikke af så meget, men det vigtige her er at store mængder solvarmeanlæg vil betyde kraftig reduktion i det samlede elbehov til varmepumperne om sommeren, at hybridanlæg samlet set kan reducere det samlede årlige elbehov til varmepumperne, samt at det store akkumuleringspotentiale kan være afgørende for at elforsyningen kan minimere brugen af CO₂-belastende reservekraft i spidslastsituationer.

Målet med projektet var at opnå SCOP på mere end 6, og mere end en fordobling af SCOP i forhold til traditionelle jordvarmeanlæg – det vil sige en reduktion på 50% af elforbruget. De 4,3 i SCOP svarer i stedet til 32% reduktion af elforbruget sammenlignet med traditionelle væske/vand varmepumper. Med øgning af solfangerne fra 6.55 m² til 13.1 m² samt forbedret drift af produktions-cirkulationspumpen P3, kan SCOP øges til mere end 50% i henhold til de teoretiske beregninger, hvorved målet om SCOP for varmt vand og rumvarme kan komme på over 6. Dermed er mulighederne for 50% reduktion af elforbrug i forhold til traditionelle varmepumper fuldt ud mulige.

Stenmelslageret kan opvarmes, når der er overskudsproduktion af solvarme og stenmelslageret vil herefter forbedre driftsforholdene for varmepumpen og elnettet betydeligt, og dermed kunne bidrage til et mindre samlet elforbrug fra mange varmepumper i danske hjem og bygninger. Når der er overskud af elproduktion – og elværkerne er i stand til at signalere dette – kan anlægget lagre overskudsvarme i bygningsmassen eller den indbyggede lagertank.

Varmepumper kan yderligere optimeres ved anvendelse af solvarme og varmelagre på kold side som f.eks. et jordvarmlager. Ved at anvende hybridanlæg med energilagring på den varme side i bygningsmassen og i lagertanke, sammenholdt med jordvarmelager på den kolde side, er det muligt at reducere elforbruget mest muligt, så den overordnede belastning af elnettet fra varmepumper kan reduceres med mindst 25%, idet driftsresultater fra dette projekt og andre projekter i Free Energy påviser besparelser af elforbruget i dette niveau i forhold til traditionelle varmepumper. Det er en utrolig spændende mulighed, specielt fordi det forventes at der skal bruges meget af elproduktionen til opladning af elbiler. Således forventes at elnettet i 2050 skal kunne servicere opladning af 3,2 millioner personbiler, der alle kører på el. I perioder med varmebehov vil intelligente varmepumper med akkumuleringsmuligheder kunne tidsforskyde elforbruget væk fra perioder med lav tilgængelighed og høj pris.

Det vil desuden være muligt helt at forhindre varmepumpeanlæg i at bruge el i spidsbelastningsperioder, idet vand- og jordvarmelager opvarmet til høj temperatur kan dække energibehovet i disse perioder. Det vil give forbrugerne et økonomisk incitament, når udrulning af flexafregning med timeafmålte målere er indført over hele Danmark i 2020

Løsningen

Hybridanlæg med jordvarmelager vil resultere i en fleksibel varmelagringskapacitet i elnettet, der kan anvendes til at reducere elforbruget løbende over året, samt flytte elforbruget væk fra spidsbelastningsperioder og lette indpasningen af mere vind- og solenergi i elnettet. Vedvarende energi kan således udnyttes når den er til stede. Samtidig er det en sikring mod fremtidig overproduktion af el fra vindmøller som ikke kan afsættes i Danmark, fordi anlæggene kan aftage el og omdanne til lagret energi i bygningsmassen og lagertanke. Anlægskonceptet passer dermed rigtig godt ind i det danske energisystem.

Begrænsninger i den valgte løsning

Med den valgte konstruktion med isolering langs den ene langsides reduceres mængden af gennemstrømmende grundvand, men ellers kan strømmende grundvand gøre det vanskeligt at lagre varmen eftersom det strømmende vand fører varmen fra lageret med sig.

En anden begrænsende faktor i praksis kan være begrænsede pladsforhold til jordvarmelager. Det har dog vist sig at det i praksis er muligt at opføre nybyggeri med bedste energiklasse og et tilhørende ASES lager inden under husets sokkel, hvorved der ikke kræves yderligere plads på grunden og samtidig er lageret godt beskyttet.

I den valgte løsning er strømningsretningen altid den samme (1-flow system), så der føres varme ned i lageret i samme retning som det hentes op. Det kan overvejes at kunne vende retningen på strømmingen i jordvarmelageret (2-flow system), så anlægget kører solvarme ned i én retning, mens det hentes op i en anden retning. På den måde kan lageret udvides til at have en varmere kerne med deraf følgende højere indkommende brine og dermed endnu bedre varmepumpeeffektivitet.

Formidlingsaktiviteter:

- Præsentation 14.12.2017 på DTU – Free Energy and energy storage
- Præsentation ELFORSK-møde 14.11.2018
- Bilag 2 "Experimental and theoretical investigations of a hybrid solar heating system with ground storage" bringes som artikel i Solar Energy (det officielle tidsskrift for ises.org) i starten af 2020
- Yderligere formidling sker i løbet af marts 2020, hvor HVAC Magasinet dels bringer en artikel i deres udgave 10. marts, og Free Energy stiller op som udstiller på Building Green i Århus den 25.-26. marts

3	March 10	February 13	<p>Heating and cooling District heating, installations with a focus on heating, oil, gas and renewable energy Cooling and refrigerants</p> <p>Trade show: Danvak Dagen, Copenhagen, April 1 Trade show: Building Green, Aarhus, March 25-26 (DK) Trade show: Light+Building, Frankfurt, March 8-13 (D) Trade show: Mostra Convegno Expocomfort, Milano, March 17-20 (I)</p>
---	----------	-------------	--

8. Diskussion

Ifølge Dansk Energi er der i dag mere end 100.000 boliger, der fortsat opvarmes ved oliefyr. Disse står bag cirka 1/3 af den samlede CO₂-udledning fra individuel opvarmning.² For hurtigt at fremme skiftet væk fra olie, bør man øge Energifortalens pulje til installation af individuelle varmepumper, og inkludere tilskud til solvarme i forbindelse med skrotning af oliefyr. I Norge har man afsat tilskud i niveauet 30-60.000 NOK ved skrotning af oliefyr og tilskynder ligeledes hvis man samtidig tilføjer solvarme til sin nye grønne opvarmingsløsning.

Der er drøftelser i gang om at sænke forbrugsgrænsen på 4.000 kWh om året for elvarmeafgiften til f.eks. det halve, altså 2.000 kWh for alle boliger. Dermed får husstande med et normalt elforbrug samt enlige, pensionister, sommerhusejere og andre familier med et lille elforbrug også fuldt udbytte af en lavere forbrugsgrænse på elvarmeafgiften.

Der har været en meget klar tendens til at glemme solvarme for al snak har været omkring solceller. Det er ikke et spørgsmål om solvarme ELLER solceller, men derimod et spørgsmål om solvarme OG solceller. For solvarme er med til at reducere elforbruget for varmepumper i niveauet 25% til 50%. Dermed bliver behovet - og prisen – for et solcelleanlæg tilsvarende mindre. De nyeste produkter indenfor solenergi er hybridpaneler, hvor der både er solvarme og solceller indbygget i samme panel – det giver enklere og billigere installation og et flottere æstetisk udtryk på tag eller facade.

Dette ELFORSK projekt har eftervist, at varmepumper kan yderligere optimeres ved anvendelse af solvarme og jordvarmelagre. Det anvendte stenmelager kan opvarmes, når der er overskudsproduktion af solvarme og stenmelageret vil herefter forbedre driftsforholdene for varmepumpen og elnettet betydeligt, og dermed kunne bidrage til et mindre samlet elforbrug fra mange varmepumper i danske hjem, skoler, institutioner og andre større bygninger. Vi har ikke undersøgt rentabiliteten for jordvarmelagre, men da de er forholdsvis dyre at anlægge, er det sikkert mest relevant i storskala, det vil sige for større projekter som skoler, institutioner og større bygninger. Ved at anvende hybrid anlæg med energilagring på den varme side i bygningsmassen og i lagertanke, sammenholdt med jordvarmelager på den kolde side, er det muligt at reducere elforbruget til mindst mulig, så den overordnede belastning af elnettet fra varmepumper kan reduceres med mindst 25% og formentlig op imod 50%. Driftsresultater fra dette projekt og andre projekter i Free Energy påviser besparelser af elforbruget i dette niveau i forhold til traditionelle varmepumper, og det vil naturligvis også have en stor positiv effekt på driftsomkostninger for de ca. 4000 skoler og institutioner i Danmark, som vi vurderer, er relevante for den undersøgte teknologi.

Der er hermed oplagt at følge op på resultaterne af dette ELFORSK projekt med et nyt projekt, der specifikt fokuserer på en løsning med hybrid solvarme/jordvarmepumpe og energilagring til en større skole eller institution.

² Dansk Energi

Bilag 1: Optimering af varmeoverføringen i jordvarmelager af stenmel

Bilag 2: Experimental and theoretical investigations of a hybrid solar heating system with ground storage

Bilag 3: Præsentation 14.12.2017 på DTU – Free Energy and energy storage

Bilag 4: ELFORSK møde 14.11.2018

Litteratur

[1] M. Miara, D. Günther, R. Langner, S. Helmling, 'Efficiency of Heat Pumps in Real Operation Conditions – Results of three Monitoring Campaigns in Germany', ResearchGate, 2014.

[2] J. C. Hadorn, 'Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings', Print ISBN: 978-3-433-03040-0, 2015.

[3] Kusuda, T. and P.R. Achenbach. 1965. 'Earth Temperatures and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States.' *ASHRAE Transactions*. 71(1): 61-74.

[4] AB Svenskt Klimatneutralt Boende (2019), EP2619509
<https://register.epo.org/application?number=EP11827049>

[5]: Sundberg, J. (1991). Termiska egenskaper i jord och Berg. Linköping: Statens geotekniska institut.
<https://www.swedgeo.se/globalassets/publikationer/info/pdf/sgi-i12.pdf>

Boliden. (den 16 12 2019). Hämtat från Fakta om järnsand: <http://jarnsand.boliden.com/fakta-om-jarnsand/>

Castel, A. R., Motas, M. M., & Rosario, S. B. (2017). Study of the thermal properties of different materials for ground storage. VIA University College.

DMI. (den 17 04 2017). Hämtat från Climate changes over time: Denmark: <https://www.dmi.dk/en/klima/climate-changes-over-time/denmark/>

Erlström, M., Mellqvist, C., & Schwarz, G. (2016:16). Geologisk information för geoplanläggningar - en översikt. SGU.

Högberg, C.-J., & J, E. (2017). Stenmjöls korrosivitet 2017-431. Energiforsk.

Larsson, R. (2008). Jords egenskaper. Linköping: Statens geotekniska institut.

Sundberg, J. (1991). Termiska egenskaper i jord och Berg. Linköping: Statens geotekniska institut.

Svenskt Geoenergicentrum. (den 16 12 2019). Geoenergicentrum. Hämtat från Så funkar geoenergi: <http://geoenergicentrum.se/geoenergi-2/sa-funkar-geoenergi/>

Den lille blå om varmepumper 2019 – Dansk Energi