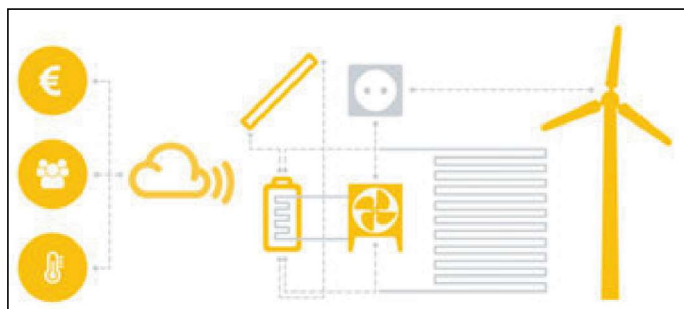


# El til varme hos husejerne på en ny måde

At konvertere el til varme er en simpel sag, men hvis det skal gøres effektivt, er der behov for betydeligt mere avancerede løsninger end en elradiator. En løsning med en luft til vand-varmepumpe tilsluttet et varmelager var grundtanken bag og startskuddet til EUDP-projektet Elec-To-Heat

Af Ivan Katic, Rasmus Borup og Claus Schön Poulsen, Teknologisk Institut, Køle- og varmepumpeteknik

Elec-To-Heat-projektet er et samarbejde mellem Suntherm, DTU og Teknologisk Institut. I 2016 fik Suntherm den idé, at man kan sælge konkurrencedygtig varme til husejere fra et system bestående af en luft til vand-varmepumpe tilsluttet et kompakt varmelager med avanceret styring. Varmelageret kan lades op med billig el om natten



Figur 1. Grafisk fremstilling af den overordnede idé med en IoT-styret flåde af varmepumper med energilager.

eller med egenproduceret solcellestøm om dagen. Dette vil være en attraktiv løsning i områder uden fjernvarme, eller hvor gas- eller oliefyr i øvrigt skal skrottes.

Fordelen for den enkelte husejer er, at forretningsmodellen fjerner eventuelle bekymringer for høje investeringsomkostninger og risiko for driftsstop, da der ud over et basisabonnement betales en forud aftalt pris per leveret varmenhed, og Suntherm

fjernovervåger og optimerer driften. For Suntherm vil kundeforholdet medføre en løbende indtægt, da de som fleksibel storkunde kan få leveret el til en

ning. Det skyldes, at det størknede PCM (phase change material) virker som en isolerende skal, som vanskeliggør aktiveringen af de indre dele af volu-

nem en saltopløsning og på den måde opnå en effektiv varmeveksling. Olien varmeveksler efterfølgende med centralvarmevandet.

| Materiale  | Navn                          | Smeltepunkt °C | Energitæthed MJ/m <sup>3</sup> |
|--|-------------------------------|----------------|--------------------------------|
| Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O | Natriumthiosulfat pentahydrat | 48             | 364 (Faseskift)                |
| NaCH <sub>3</sub> COO·3H <sub>2</sub> O                          | Natriumacetat trihydrat       | 58             | 384 (Faseskift)                |
| H <sub>2</sub> O   | Vand                          | 0              | 125 (Sensibel, ΔT=30°C)        |

Tabel 1. Anvendte PCM-materialer i forsøg, herunder blandinger.

gennemsnitligt lavere pris end en individuel forbruger kan. EUDP-projektets overordnede

menet. Traditionelt har man indkapslet PCM-materialet i plastkugler eller i anden indeslutning for at øge den varmevekslende overflade. Dette medfører dog en prisforøgelse i forhold til det rene PCM, som ofte er billige salte eller paraffiner. Suntherms oprindelige tanke var, at man kunne lade strømme af små dråber olie stige op gen-

Der blev konstrueret flere forskellige prototyper med dette princip, som også blev påvist at fungere. Men desværre medførte princippet en ret kompliceret og dermed dyr konstruktion. Da der også var problemer med, at salt over tid bevægede sig ud af lageret sammen med olien og størknede i pumperne (som havde et højt elforbrug),



Figur 2. Et kig ind i beholderen med PCM-kapsler.

formål var at forbedre Suntherms originale system, herunder varmepumpen og varmelageret, så der som resultat kunne komme et velfungerende produkt på markedet.

## Varmelager med PCM

Varmelagring med udnyttelse af smeltevarme er kendt teknologi, men er ikke for alvor slået igennem, fordi der typisk er praktiske vanskeligheder med at opnå en tilpas hurtig op- og aflad-



## Testo 400 til målinger på klima- og køleanlæg

Spar tid med det nye multiinstrument til lufthastigheds-, indeklima- og referencemålinger

- > Smart touch-display til intuitiv betjening
- > Håndtering af kunde- og måledata udføres i selve måleinstrumentet
- > Indbygget WLAN og Bluetooth® interfaces: Send målerapporter direkte on-site
- > Stort følerprogram
- > Produktnyhed: WBGT sæt til præcis evaluering af varmeledning på arbejdspladser

**BUHL BØNSØE**  
MÅLBAR VIDEN

HASELLUNDEN 11A • DK-2765 SMØRUM • TLF. 45 95 04 10 • WWW.BUHL-BONSOE.DK

## SKAB DET BEDSTE ARBEJDSMILJØ

På de fleste arbejdspladser er den indendørs luft fuld af bakterier, støv, vira og andre skadelige partikler og gasser. Vi kan ikke se dem, men de trænger ind både via ventilationen samt genereres indendørs, hvor de forårsager kløende øjne, hovedpine, træthed og sygdomme.

Camfils sortiment af patenterede luftrensere har de mest effektive HEPA-filtre på markedet. Luftrensere er designede til at fungere som et supplement til dit eksisterende ventilationssystem og giver dig en mere effektiv produktion og et sundere arbejdsmiljø med mindre støv og færre skadelige partikler.

**camfil**  
CLEAN AIR SOLUTIONS





**GASKEDLER:**

- Mynute Minikedel
- 16-35 RSI Solokedel
- 25 BSI med indbygget 60 I VVB
- Power Plus Kaskade
- Power Plus Box Kaskade
- Gasvandvarmer



- EOLO gaskalorifere
- EOLO gaskalorifere/kondenserende
- Strålevarme
- Gasradiator



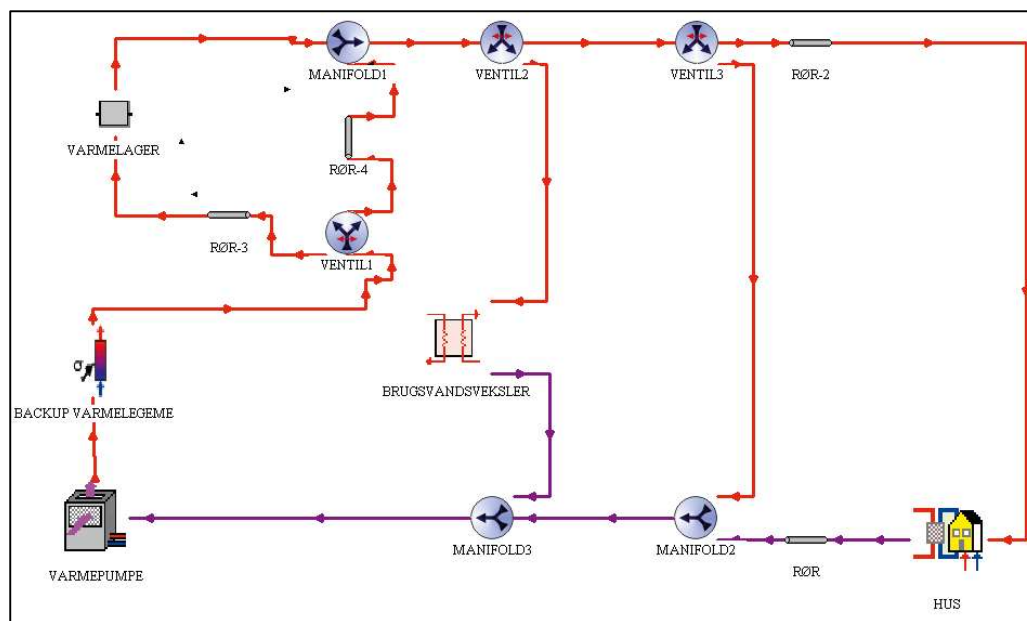
- Rustfri flexslanger



**Beretta v/F.O. Holding A/S**

Salbjergvej 36  
4622 Havdrup  
Telefon: 4618 5844  
E-mail: beretta@beretta.dk

**www.beretta.dk**



Figur 3. Skematisk opbygning af anlægget. Vandet cirkulerer altid gennem varmepumpen og kan herefter løbe gennem lageret eller direkte til huset. Ved slukket kompressor vil lageret levere al varme til huset.

► El til varme hos...

*Fortsat*

blev den originale idé opgivet til fordel for en vandtank fyldt med en nyudviklet type PCM-kapsler. I tabel 1, side 38, ses, at PCM-lageret har en betydelig højere kapacitet end et tilsvarende vandlager, som for eksempel kan lagre 125 MJ/m<sup>3</sup> vand ved 30 graders opvarmning/afkøling. I praksis kan PCM-materialet dog ikke udfylde hele lageret, da der skal være plads til et varmevekslingsmedie, i dette tilfælde vand.

**Systemopbygning**

For at få varme og varmt brugsvand leveret til huset, skal der monteres en fjernvarmenit med pumpe og brugsvandsvarmeveksler i huset - ligesom ved traditionel fjernvarme. To rør føres fra den udvendige varmepumpe til husinstallationen, og den leverede varme måles ved tilslutningspunktet. El til systemdrift bliver leveret fra husets tavle via egen gruppe med bimåler, da Suntherm betaler varmesystemets del af elforbruget. Virkemåden er kort beskrevet sådan, at den producerede varme fra varmepumpen enten kø-

rer gennem lageret (ved opladning) og derfra videre til husets varmesystem, eller det kører udenom beholderen, hvis det er billigst at levere varmen direkte med den aktuelle strømpris. Ved afladning cirkulerer vandet gennem varmepumpen, uden at kompressoren kører. Når der er behov for varmt brugsvand (stor effekt), cirkuleres vandet via beholderen med højt flow gennem en brugsvandsvarmeveksler og flowet til varmesystemet lukkes af. Hvis der ikke er noget varmebehov i huset, kan beholderen alligevel lades op via en indbygget bypass ledning, se figur 3. Et backup-varmelegeme fungerer som ekstra sikkerhed i tilfælde af overbelastet varmepumpe.



Figur 4. En Alpha-Innotec luft til vand monoblock-varmepumpe blev valgt som den teknisk bedste løsning. Kølemidlet er R290 (propan), som er tilgængeligt de fleste steder, og er mere miljøvenligt end HFC-kølemidler. Da installationen er udendørs, udgør kølemidlet ikke en brandfare for bygningen.

**Pilotanlæg og fieldtest**

Efter forsøg hos Suntherm blev der installeret tre pilotanlæg på Lolland med intensiv overvågning - alle med et varmelager bestående af vand samt PCM-kapsler med smeltepunkt 50°C. Husene var typiske enfamiliehuse med varierende forbrug og varmeafgivere med gulvvarme og/eller radiatorer. Efter nogle indkøringsproblemer kom systemerne til at fungere optimalt, så der nu kunne indsamles driftsdata via Neogrids fjernovervågning. Det kritiske punkt



Figur 5. Installation med varmevekslermodul i den grå kasse øverst og varmelageret nederst.

i det nuværende design er, at den effekt, der kan overføres fra varmelageret til det varme brugsvand, er begrænset af varmevekslingen med PCM-materialet samt varmeveksleren i unit'en i huset. For at sikre en tilstrækkelig brugsvandskomfort, er det nødvendigt at holde tanktemperaturen relativt høj samt at have et vandlager med et vist volumen til at klare spidsbelastninger, hvor veksling med PCM-delen ville være for langsommelig. I projektet blev to smeltepunkter (48 og 58°C) begge testet for at se, hvor meget eftervarme elpatronen skulle levere i de to tilfælde.

### Fordele og ulemper

I forhold til en "almindelig" installation med luft til vand-varmepumpe, er der et større varmetab til omgivelserne, men samtidig er den oplagrede energi væsentligt større end i en traditionel varmtvandsbeholder. Til gengæld betyder PCM-lageret, at varmepumpen kun behøver at køre, når der er lave elpriser og transportafgifter. Varmepumpens årseffektivitet vil være lidt ringere end ved drift uden lager, eftersom opladning til høj temperatur nødvendigvis forringer varmepumpens effektivitet, men samtidig giver lageret mulighed for at udnytte udsving i elpriser, så man samlet set får en lavere varmeudgift. Det er dog en stor fordel, at anlægget bliver overvåget centralt, da

driften løbende kan optimeres mod aktuelle forhold og behov, og eventuelle fejl kan korrigeres i tide. Det er ikke altid tilfældet i en selvejende varmepumpe, og der findes en del eksempler på fejlagtig installation eller indstilling, som leder til en ringere årsvirkningsgrad end nødvendigt. I forhold til en traditionel installation med brugsvandsbeholder er risikoen for udvikling af Legionella-bakterier minimal, da brugsvandsindholdet er ganske lavt i rør og varmeveksler.

Den høje minimumstemperatur i beholderen er naturligvis en ulempe for varmepumpens effektivitet, men til gengæld behøver den kun at køre, når strømmen ikke er for dyr. Fra 2020 kan el være timeafregnet, og da nettariiffen også er variabel i mange selskaber, kan der - alt efter tidspunkt - være over 1 kr./kWh i forskel på forbrugerprisen. Ved at "ride" på de billigste bølgedale kan lageret på den måde oplades omkostnings-effektivt. Styringen kan også bruge vejrudsigten til at forudse det forventede rumvarme-forbrug og dermed finde de bedste køretidspunkter, uden at det går ud over komforten. Selve varmepumpen er on/off styret, da lageret optager differensen mellem produktion og forbrug.

### Simulering af ydelse

I forbindelse med projektet blev der udviklet en avanceret simuleringssmodel i open source-programmet TRNSYS til beregning af temperaturer og energistrømme over et helt år. Modellen består blandt andet af en nyudviklet varmelagermodel udført af

#### Fakta om varmelagere i fieldtest

Tankvolumen: 400 liter  
Ca. 30% af volumen er aktivt PCM-materiale  
Kapsler med smeltepunkt 50°C  
Varmetabet for varmelagrene er imellem 1,8-2,0 W/K.  
Lagringskapacitet 7-8 kWh i temperaturområdet 45-55°C

# Maksimal sikkerhed og effektivitet

**COOL-FIT 4.0: præisoleret rørsystem – et teknologispring for køling af mad og drikkevarer**

- + 100 % korrosions- og vedligeholdelsesfrit system
- + 50 % hurtigere installation end ikke præisoleret systemer\*
- + 30 % højere energi-effektivitet
- + 100 % baseret på ELGEF Plus elektrosvejseteknologien



[www.coolfit-4.gfps.com/da/](http://www.coolfit-4.gfps.com/da/)

\*Alle sammenligninger med rørsystemer i metal, som derefter blev isoleret med et gummibaseret skum.

## ► El til varme hos...

Fortsat

DTU samt af en generel husmodel med tilhørende varmepumpeanlæg udført af Teknologisk Institut.

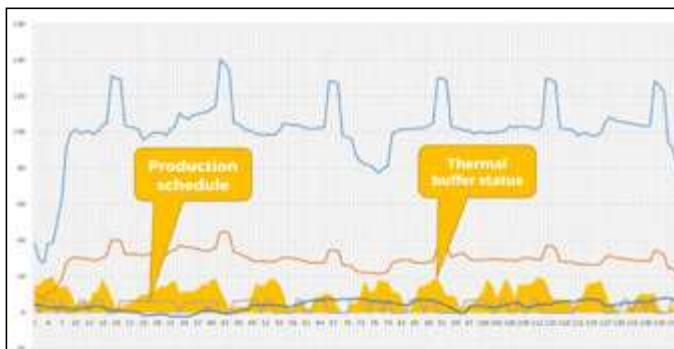
Varmepumpens COP er simuleret efter ”performance map-metoden”, hvor varmepumpens målte COP og afgivet varme under testbetingelser er interpoleret til de tilstande, der er beregnet time for time gennem et referenceår. Med dette værktøj er det muligt at simulere forskellige driftsstrategier og størrelsen på de enkelte komponenter for at finde den optimale sammensætning og styring. Der blev også udført en beregning for forskellige typer af varmepumper i forbindelse med det endelige produktvalg, som endte med en Alpha-Innotec med 9 kW varmeydelse. Til slut blev programmet leveret til Suntherm i en forenklet version til brug for dimensionering i praksis. Netop den korrekte dimensionering i forhold til en bygnings behovsprofil og varmeanlæggets type er en af de helt store udfordringer for at opnå energieffektiv drift af en varmepumpe.

Simuleringsmodellen blev valideret i forhold til en række ”markforsøg”, dvs. simuleringsmodellens resultater blev sammenlignet med målinger fra Suntherms varmeinstallationer med samme varmepumpe og varmelager. Et udsnit fra valideringsprocessen kan ses i tabel 2. Her er vist en måling og et simuleret resultat både for en vinter og en forår/efterårs-situation.

Det ses, at for vintersituationen (udetemperatur omkring frysepunktet) er den afgivne varme fra varmepumpen i samme størrelsesorden for simuleringen henholdsvis markforsøget. El-

| Fordele  | Ulemper   |
|--|---|
| Prognose- og tidsstyring af forbrug sikrer mod kørsel, når der er dyr el                   | Lavere COP i gennemsnit                               |
| Ingen vedligeholdelse for husejer  | Evt. større varmetab, hvis lager er placeret udendørs |
| Avanceret overvågning sikrer stabil drift og mulighed for energifleksibilitet (flådedrift) | Højere pris end standardinstallation                  |
| Lav risiko for Legionella, da der ikke lagres brugsvand i en tank                          | Risiko for frostskaede ved lange driftsstop           |

Skema 1. Skematisk opstilling af fordele og ulemper i forhold til en gængs varmepumpeinstallation.



Figur 6. En illustration af den økonomiske fordel ved fleksibelt elforbrug.

forbruget er lidt højere i simuleringen, hvilket også kan ses i effektiviteten. Dette hænger sammen med to forhold. Det ene forhold er, at udløbstemperaturen fra varmepumpen i simuleringen er lidt højere end i markforsøget. Dette giver anledning til højere elforbrug relateret til varmepumpen. Det andet forhold er, at den simulerede ydelse

for varmepumpen indeholder elforbrug til afrimning, og derfor skal ydelsen ligge lidt lavere end for markforsøget, da der her vises et øjebliksbillede af varmesystemets drift. De samme tendenser ses i sammenligningen for en forår/efterårssituation, hvor omgivelsestemperaturerne vil være omkring 5°C. Overordnet er der god overens-

stemmelse mellem simuleringsresultaterne og målingerne fra markforsøgene.

## Perspektiver

Fleksibelt energiforbrug bliver en nødvendighed i fremtidens energisystem baseret på fluktuerende VE-kilder, og varmepumpeanlæg som udviklet i projektet vil uden tvivl komme til at spille en stor rolle. Dels er de fleste bygninger termisk tunge, så en kortere afbrydelse ikke betyder noget for komforten, og dels kan det nye system tilføje bufferkapacitet gennem det avancerede varmelager. Den tid, der kan udkobles eller køres med forceret drift, bliver derfor længere, og det bliver endda muligt at bruge afbrydelig varme i lette bygninger.

Energi som en service er kommet for at blive, og der er på markedet flere udbydere af løsninger, hvor slutkunden betaler for leverancen og ikke andet. Rentabiliteten afhænger dog helt af fremtidens rammebetingelser - ikke mindst af de tidsdifferentierede tariffer og elafgiftens størrelse.

| Vinter                       |                   |                |
|------------------------------|-------------------|----------------|
| Parameter                    | TRNSYS simulering | Markforsøg     |
| Tidspunkt                    | 18-02-xx 02:29:10 | 14-03-20 07:45 |
| Afgivet varme [kW]           | 8,12              | 8,15           |
| Elforbrug [kW]               | 3,59              | 2,70           |
| Effektivitet, COP [-]        | 2,26              | 3,01           |
| Temperatur i omgivelser [°C] | -0,3              | 0,7            |
| Udløbstemperatur, vand [°C]  | 58,1              | 54,6           |
| Indløbstemperatur, vand [°C] | 50,1              | 48,6           |

| Forår/Efterår                |                   |                |
|------------------------------|-------------------|----------------|
| Parameter                    | TRNSYS simulering | Markforsøg     |
| Tidspunkt                    | 23-04-xx 09:59:53 | 01-04-20 02:15 |
| Afgivet varme [kW]           | 9,22              | 8,90           |
| Elforbrug [kW]               | 3,62              | 2,82           |
| Effektivitet, COP [-]        | 2,55              | 3,16           |
| Temperatur i omgivelser [°C] | 4,8               | 4,7            |
| Udløbstemperatur, vand [°C]  | 58,1              | 55,6           |
| Indløbstemperatur, vand [°C] | 50,1              | 49,1           |

Tabel 2. Resultater fra valideringsforsøg.