

## Final report

### 1.1 Project details

VERSION 1.1/skj 29-01-16

<b>Project title</b>	HeatUp - Low Cost Online Heat Pump
<b>Project identification</b>	64013-0547
<b>Name of the programme which has funded the project</b>	EUDP – Energieffektivitet – Udvikling Demonstration
<b>Project managing company</b>	Insero Energy A/S, Chr. M. Østergaards Vej 4a, 8700 Horsens
<b>Project partners</b>	VIA Horsens, LIAB ApS, Dansk Varmepumpe Industri, Ener-gianalyse ved Morten Blarke, KPJ Supply, Insero Energy A/S
<b>CVR</b>	34215456
<b>Date for submission</b>	2016-01-29

### 1.2 Formål og resultater

Formålet med dette projekt har været at udvikle og demonstrere en billig, effektiv og fleksibel varmepumpe som er tilpasset ældre huse, hvor der er en høj fremløbstemperatur. Varmepumpen skal være let at installere, modulær i sin opbygning og skal kunne kontrolleres online, hvilket gør, at varmepumpen er SmartGrid ready.

Resultatet af projektet er, at DVI har fået udviklet en ny type inverter-baseret (hastighedsreguleret) luft-vand varmepumpe uden akkumuleringstank, med et nyt design, der er støjsvag og kan retrofittes eksisterende varmeanlæg med en fremløbstemperatur på ca. 50 gr. C. DVI sælger allerede nu den nyudviklede varmepumpe kommercielt.



Varmepumpen kan styres og overvåges online via Internettet efter internationale Smart Grid kommunikationsstandarder og er dermed forberedt for Smart Grid og kan indgå i Insero Energy's pulje af leasede varmepumper hos private husejere. Dette er demonstreret på Green Tech Centeret ved Vejle.

Den udviklede soft- og hardware kan anvendes i andre energi- og varmepumpesystemer og sælges også særskilt af virksomhederne KPJ Supply, Liab ApS og Energianalyse ved Morten Blarke.

I gennem projektet har flere koncepter været analyseret, men både samfundsøkonomisk og privatøkonomisk er den inverter baserede luft-vand varmepumpe uden akkumuleringstank den mest rentable.

Alt i alt har projektet været en stor succes for de medvirkende virksomheder, der alle har fået udviklet kommercielle produkter og services, der nu markedsføres nationalt og internationalt og som er forberedt for det kommende Smart Energy system.

Resultaterne og analyserne i projektet har været refereret i flere artikler og er blevet fremlagt ved flere konferencer og seminarer i Danmark og bliver forsat demonstreret på Insero Energy's demonstrations site på Green Tech Centeret ved Vejle.

### *1.2.1 English Version:*

The purpose of this project is to develop and demonstrate an inexpensive, efficient and flexible heat pump adapted to older houses where there is a high flow temperature. The heat pump must be easy to install, modular in structure, and it must be ready for online controlling, which makes the heat pump ready for Smart Grid.

The result of the project is that DVI has developed a new type of inverter-based (speed regulated) air-water heat pump with no storage tank with a new design, which is quiet and can retrofit existing heating plants with a flow temperature of about 50 deg. C. DVI now sells the newly developed heat pump commercially.

The heat pump can be controlled and monitored online via the Internet following the international Smart Grid communication standards, and is thus prepared for the Smart Grid and can be included in Insero Energy's pool of leased heat pumps among house owners. This is demonstrated at Green Tech Center in Vejle.

The developed software and hardware can be used in other energy and heat pump systems and is sold separately by the companies, KPJ Supply, Liab ApS and Energy Analysis by Morten Blarke.

Through the project, several concepts have been analyzed, but both socioeconomic and in terms of personal finances the inverter-based air-water heat pump with no storage tank is the most profitable.

Overall, the project has been a great success for the participation companies all of which have developed commercial products and services that are now marketed nationally and internationally, and which are prepared for the upcoming Smart Energy system.

The results and analyses of the project have been reported in several articles and has been presented at several conferences and seminars in Denmark, and they are still demonstrated at Insero Energy's demonstration site at Green Tech Center in Vejle.

### **1.3 Resume**

Den elektriske varmepumpe er en effektiv teknologi til at udnytte el til opvarmning, da den har en høj effektivitet samt - når den kombineres med termisk lagring – giver muligheder for fleksibelt elforbrug og for understøttelse af udvikling og udrulning af Smart Grids. Teknologien er også velegnet til renovering af ældre huse i boligområder uden for den kollektive varmforsyning. Det nuværende salg af individuelle varmepumper i Danmark er dog lavere end ønsket. Der er flere grunde til dette, blandt andet høje investeringsomkostninger samt manglende kendskab til teknologien.

Dette projekt har bragt en række centrale aktører sammen om at udvikle en billig modulopbygget varmepumpe, som er forberedt til at blive kontrolleret online og tilpasset ældre huse. Når den er klar til at blive kontrolleret online, er den klar til at indgå i balanceansvarliges optimering, overvågning og kontrol. Varmepumpen er dermed klar til at blive en del af fremtidens Smart Grid. Installationen skal være konkurrencedygtig med de alternativer, som i øjeblikket er tilgængelige på markedet for forbrugeren. Varmepumpen skal være 'plug-and-play', således at den er velegnet til en forretning, hvor der er behov for dette. Projektpartnere vil udvikle en enkel, billig og fleksibel installation, der senere kan udvides i overensstemmelse med forbrugernes individuelle behov, samfundets behov, politikker og/eller andre markedsdeltagere og -aktører.

Projektet er lykkedes med udviklingen af en ny type luft-vand varmepumpe, der opfylder de målsætninger som blev formuleret ved projektets opstart:

1. Finalize a basic cost efficient heat pump incl. heat and electricity metering, so COP can be monitored and modelled in real time. Total price for the basic incl. installation is under DKK 80,000, - incl. VAT and heat absorption. Annual average SPF when tested in a living lab is min. 3.5
2. Online remote control of temperature set-points and monitoring of instantaneous temperatures and energy flows. It is demonstrated that it is possible to remotely control the heat pump.
3. Test facilities in GTC are established

Følgende er ikke opnået inden for projektets tidsramme, men vil blive gennemført uden for projektet I 2016:

4. The heat pump is demonstrated in the "Salg af varme" project, but will be during 2016

Følgende forhold fra projektformuleringen har været analyseret økonomisk og teknisk, hvor det har vist sig at disse elementer ikke bidrager til billiggørelse af løsningen, og på den baggrund er det valgt ikke at lade disse elementer indgå i det færdige koncept:

1. Recommendation on borehole heat exchanger configuration.
2. Prototype of the advanced thermal storage

## 1.4 Projektets mål

Udgangspunktet for projektet er udvikling af en effektiv, fleksibel, økonomisk og smart luft-til-vand varmepumpe, som er skræddersyet til eftermontering i den eksisterende bygningsmasse. Pumpen skal være let at installere, i stand til at tilpasse sig forskellige konfigurationer af et varmepumpeanlæg (opbevaring, varmekilder, etc.) samt online kontrollerbar, så den er klar til Smart Grid.

De seneste år har der været øget fokus på at demonstrere alternative varmeløsninger til huse, hvor fjernvarme ikke er tilgængelig. I den seneste energiaftale<sup>1</sup> (2012) er det ikke længere tilladt at installere opvarmning baseret på olie eller gas i nye huse fra 2013, og fra 2016 er det ikke tilladt at installere opvarmning baseret på olie i eksisterende bygninger. Det forventes, at den fremtidige udvikling vil øge fokus på at erstatte de eksisterende varmeløsninger (ofte oliebaseret) med løsninger, som er miljømæssigt bæredygtige, for eksempel varmepumper.

En anden udfordring er, at det nuværende salg af jordvarmepumper for varmeanlæg i boliger i Danmark ikke er højere end ca. 5.000 anlæg årligt<sup>2</sup>. Selvom luft-til-vand varmepumper vinder terræn i boligsektoren, er de ikke egnede til fleksibel kontrol, da de er karakteriseret ved en relativt lav årlig effektivitet og lav termisk kapacitet. Den anden store konkurrent til varmepumpeteknologi i landdistrikterne er træpillefyrr. Denne teknologi er i øjeblikket billig, men på lang sigt vil både skattemæssige<sup>3</sup> og ressourcemæssige krav til træpiller – i tråd med den generelt øgede anvendelse af biomasse – blive afspejlet i den samlede pris. Desuden er der et stigende antal argumenter for at forbeholde biomasse til specielle applikationer, hvor der ikke er noget alternativ<sup>4</sup>. Det betyder, at det med en årlig omsætning på ca.

<sup>1</sup> <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/politik/dansk-klimatekni-politik/politiske-aftaler-paa-energiomraadet/energiaftalen-22-marts-2012/Faktaark%201%20Energiaftalen%20kort%20fortalt.pdf>

<sup>2</sup> [http://www.ens.dk/da-DK/ForbrugOgBesporelser/IndsatsIBygninger/Varmepumper/Varmepumper\\_i\\_Danmark/Sider/Forside.aspx](http://www.ens.dk/da-DK/ForbrugOgBesporelser/IndsatsIBygninger/Varmepumper/Varmepumper_i_Danmark/Sider/Forside.aspx)

<sup>3</sup> <http://www.skat.dk/SKAT.aspx?old=2091005&vId=0>

<sup>4</sup> <http://www.ens.dk/DA-DK/UNDERGRUNDOGFORSYNING/VEDVARENDEENERGI/BIOENERGI/BIOMASSERESSOURCER/Sider/Forside.aspx>

5.000 varmepumper vil være vanskeligt at nå det ambitiøse mål om at erstatte mere end 200.000 oliekedler, 100.000 elektriske varmeanlæg og en andel af de mere 400.000 naturlige gaskedler inden 2035.

Flere analyser er foretaget om årsagen til denne langsomme udskiftning. Privatøkonomien er tilsyneladende rimelig –især med de seneste skatteændringer i Danmark på el til opvarmning, men indførelsen af varmepumper er stadig ikke skredet så hurtigt frem som eksempelvis solcellerne gjorde det. De væsentligste barrierer synes at være indledende investeringsomkostninger på ca. 120.000 kroner til jordvarmeanlæg (ca. 90.000 kroner til luft-til-vand), kombineret med manglende kendskab til teknologien i forlængelse af de faktiske driftsomkostninger som følge af usikkerhed om teknologiens effektivitet (SPF). Sidstnævnte kan skyldes det faktum, at varmepumpen er beregnet til, og er mest effektiv i, lav-temperatur systemer såsom gulvvarme i nyere lavenergihuse, mens varmeinstallationer i ældre, dårligt isolerede huse ofte er karakteriseret ved radiatorsystemer med fremløbstemperaturer større end 50° C. Dette vil reducere SPF betydeligt, bl.a. fordi driften bliver mere ujævn (hyppigere start/stop).

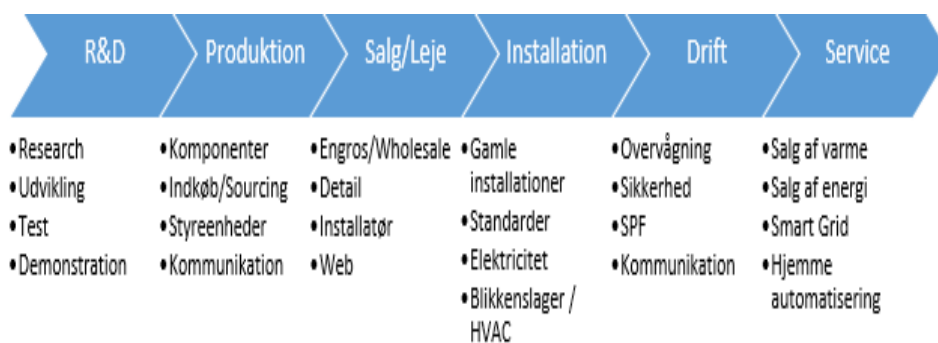
Pladsbehov spiller også en rolle i beslutningsprocessen vedrørende opvarmingskilde. Der kræves et relativt stort grundareal på 3-500 m<sup>2</sup> til nedgravning af jordvarmeslanger i forbindelse med en varmepumpe. Alternativt kan lodrette brønde eller skrå borerer være en mulighed, men det er stadig en dyr teknologi. Kombinationen med solvarme, varmelagring eller flere huse, der deler et fælles borehul, kan reducere disse omkostninger<sup>5</sup>. Tests er blevet udført for større anlæg, men ikke i forhold til private boliger.

En anden løsning til eksisterende bygninger er at installere et luft-til-vand system. Udfordringen for disse systemer er reduktion af støj og afrimningsalgoritmer<sup>6</sup>, og de er ikke så effektive som systemet med jordbaseret varmekilde.

Installationen af varmepumper har været af svingende kvalitet og nogle med høje omkostninger. En anden grund til højere omkostninger er, at installationen ikke er standardiseret, og derfor vil forskellige installatører installere den samme varmepumpe forskelligt. Derfor er flere standardiserede systemer, som kan fjernstyres, at foretrække.

Regulering af varmepumpen i forhold til det samlede behov udgør en udfordring. Denne situation kræver ny viden om, hvordan driftsparametre påvirker varmepumpen, og hvordan varmepumpen er bedst dimensioneret under nye driftsforhold - både teknisk og økonomisk. Med andre ord kræves nye dynamiske simuleringsværktøjer for mere præcist at kunne analysere samspillet mellem de enkelte komponenter og energisystemet på en sådan måde, at modellerne vil bidrage positivt til udviklingen af fremtidens intelligente varmepumper.

Værdikæden for varmepumpeteknologi er angivet herunder:



<sup>5</sup> <http://members.iea-shc.org/task44/events/meeting-06/>

<sup>6</sup> <http://vp-ordning.dk/index.php/faq/5-luft-vand-varmepumper>

For at fremme varmepumpeteknikken må hele værdikæden (som afbilledet herover) tages i betragtning. Derfor udvikler og demonstrerer det aktuelle projekt ikke blot en ny modulopbygget varmepumpe, men integrerer samtidig elementer af produktion, salg, installation, drift og service.

Som det fremgår, er udvikling og kommercialisering af varmepumper til renovering i ældre bygninger underlagt en række behov/forbedringer:

- Højere effektivitet ved højere temperaturer og mindre vand flow i cirkulationsanlæg.
- Lavere installations-, konstruktions- og vedligeholdelsesomkostninger ved standardisering og fjernbetjening.
- Omkostningsoptimering af boringsteknologi i kombination med solpaneler.
- Forberede varmepumpen til at levere fleksibelt på efterspørgselssiden.
- Smart online kontrol i overensstemmelse med energisystemet og de lokale distributionscentres behov.
- Optimering af varme teknologi i overensstemmelse med plads og støj overvejelser.
- Mulighed for at lagre varme.
- Integrering af værdikæden.

Det er netop disse ovenstående behov og deres indbyrdes sammenhæng, dette projekt har arbejdet på at løse. Kun ved at løse disse udfordringer kan udbredelsen af varmepumper forventes at stige i Danmark, mens vi samtidig sikrer, at varmepumperne er installeret effektivt og velforberedt til at indgå i Danmarks fremtidige Smart Grid.

### **1.5 Projektets resultater og formidling heraf**

Arbejdet i projektet var oprindeligt opdelt i følgende arbejdsopgaver:

WP1	Development of a frequency controlled basic heat pump with high efficiency and high temperature. Cost is minimized by using an air-to-water approach capable of an easy expansion to ground-to-water where applicable. The heat pump is prepared for easy installation of add on units.
WP2	Development of advanced thermal storage prototype. This concept includes tank systems that can be installed easily with the heat pump. The development includes expanding the possibilities of remote control of storage system which is very limited today.
WP3	Heat absorbers in the soil in combination with solar systems. Analysis of bore hole technology heat absorbers in the soil in combination with solar systems and comparing of these with the low-cost traditional air-to-water and horizontal ground-to-water solution.
WP4	Development of online monitoring, control unit and control strategies. In this package we will explore how to control a heat pump system remotely so that it will be easier to change control strategy as these are developed in the future.
WP5	Setup of a testing facility in a living laboratory. The heat pump will be tested in the Green Tech center, where also the add on units will be tested. The online remote control will be demonstrated. The test center is already financed by In-zer Energy
WP6	Reporting, dissemination and project website.
WP7	Project Management.

Som det første i projektet, blev der lavet en række analyser af privat- og samfundsøkonomien ved forskellige anlægs konfigurationer.

På baggrund af analyserne blev følgende VP-systemer udvalgt som de to mest relevante ift. projektet:

- Frekvensreguleret L/V varmepumpe uden buffertank
- Frekvensreguleret varmepumpe med mulighed for både L/V og jordvarme som kilde (Dual Source)

Som yderligere sammenligningsgrundlag blev følgende VP-systemer ligeledes udvalgt:

- Start/stop L/V varmepumpe med buffertank
- Frekvensreguleret L/V varmepumpe med buffertank

Af Tabel 1 fremgår estimerede varmepumpepriser, installationspriser og samlede priser (inkl. moms) for de 4 VP-systemer.

	Frekvensreguleret L/V VP [DKK]	Frekvensreguleret DUAL-SOURCE VP [DKK]	Start/stop L/V VP + BT [DKK]	Frekvensreguleret L/V VP +BT [DKK]
Listepris ekskl. moms	51.299,0	72.445,0	64.323,0	69.323,0
Installationspris ekskl. moms	15.065,0	28.565,0	15.065,0	15.065,0
Samlet pris ekskl. moms	66.364,0	101.010,0	79.388,0	84.388,0

Tabel 1 Prisoverslag for 4 forskellige VP-systemer udarbejdet af DVI

Som det fremgår af Tabel 1 er installationsprisen den samme for alle VP-systemer, mens listeprisen varierer markant. Med en samlet pris (ekskl. moms) på 66.364 kr. er VP-systemet med start/stop reguleret L/V VP det billigste, mens VP-systemet med frekvensreguleret DUAL-SOURCE VP med en samlet pris (ekskl. moms) på 101.010 kr. er det dyreste.

### 1.5.1 Privatøkonomiske og samfundsøkonomiske vurderinger samt energisystemanalyse

Der er udviklet en dynamisk og fleksibel energisystem-model til analyse af de valgte VP-systemer baseret på energimodellen COMPOSE<sup>7</sup>. Ved brug af denne model er der blevet lavet samfunds- og privatøkonomisk vurderinger af de forskellige VP-systemer. Metode og modelbeskrivelse, samt forudsætninger og resultater er nærmere beskrevet i et separat notat 'Teknisk-økonomisk optimering og feasibility studie af udvalgte varmepumpekonfigurationer med henblik på etablering af forretningsmodel'.

Ud over den økonomiske sammenligning af de forskellige varmepumpesystemer danner den udviklede model grundlag for afprøvning af hypoteser om hvilket system, der er mest omkostningseffektivt, i historiske og simulerede elmarkeder.

Følgende VP systemer indgår i analysen:

- A: Start/stop L/V VP + 300 Combi VVB/BT
- B: Frekvensreguleret L/V VP + 160 L VVB
- C: Frekvensreguleret L/V VP + 300 Combi VVB/BT
- D: Frekvensreguleret DUAL-SOURCE VP + 160 L VVB
- E\*: Frekvensreguleret L/V VP + 160 L VVB + 500 L BT

\*Som det kan ses, er der også blevet regnet på en variation af VP-systemet B, hvor der tilføjes en 500l buffertank til det formål at øge muligheden for fleksibelt elforbrug i varmepumpen.

<sup>7</sup> <http://www.energyplan.eu/othertools/local/compose/>

De udførte beregninger sammenligner rentabilitet af de forskellige varmepumpesystemvariationer mellem hinanden og også fælles reference – oliefyr.

Privatøkonomisk set, og målt på den balancerede varmepris, viser beregningsresultaterne at B er 6% billigere og E er ligeværdig med fortsat oliefyring, ved en opnået diskonteringsrente på 15%. (Afkast til aggregator)

Dette er et væsentligt resultat, fordi det viser vejen til en forretningsmodel, hvor investor opnår at få sin finansiering af varmepumpen forrentet med 15%, og drifts/service organisation kan opnå et mindre overhead på driften. Dual-source varmepumpe D er 23% dyrere end fortsat oliefyring, selv uden evt. udgifter til etablering af varmeoptag.

Samfundsøkonomisk set er varmepumperne alle markant billigere; op til 40% for så vidt angår konfiguration B. Den samfundsøkonomiske diskonteringsrente er på 3%.

Den foreløbige konklusion herpå er at varmepumpe B er et fornuftigt udviklingsspor at forfølge. Samtidig kan der i visse fremtidige markeder være fornuft ved at kunne inkludere en buffertank. Dual-source princippet med varmepumpe D har vist sig at give de laveste driftsomkostninger, 5% lavere end B, men fører med den højeste investeringsomkostning til en balanceret varmepris, der er 30% højere end B's.

### 1.5.2 Omprioriteringer i projektet

På baggrund af den valgte anlægskonfiguration blev der omfordelt timer i projektet, således at arbejdet i WP2 og WP3 omkring jordvarme og lagring, samt udvikling af en buffertank, blev nedtonet, til fordel for flere ressourcer i de øvrige arbejdsplaner.

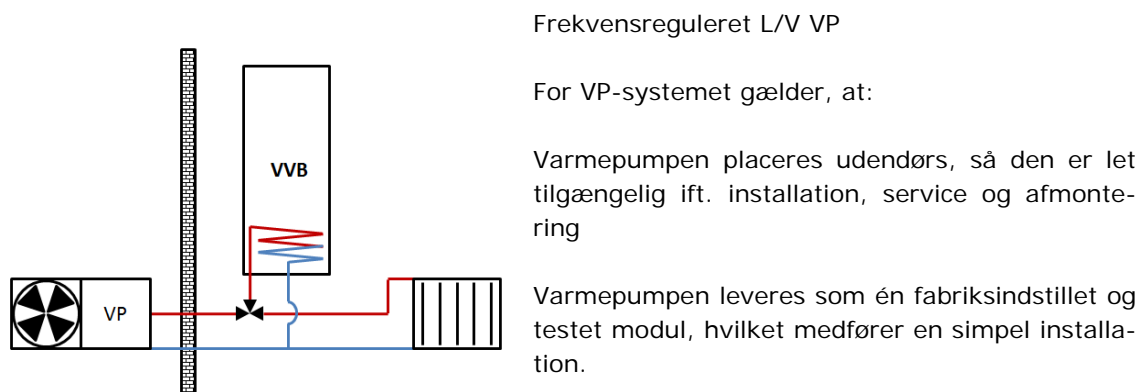
Arbejdsplan WP3 omkring udvikling af en buffertank har været fremlagt ved ORC2015 konferencen, hvor en dynamisk model af en varmtvands beholder er beskrevet og sammenlignet med eksperimentelle resultater.

Arbejdsplan WP2 omkring jordvarme og jordvarmelagring afrapporteres særskilt medio 2016, når dataanalyserne fra de etablerede jordboringer på Green Tech Centeret er færdige.

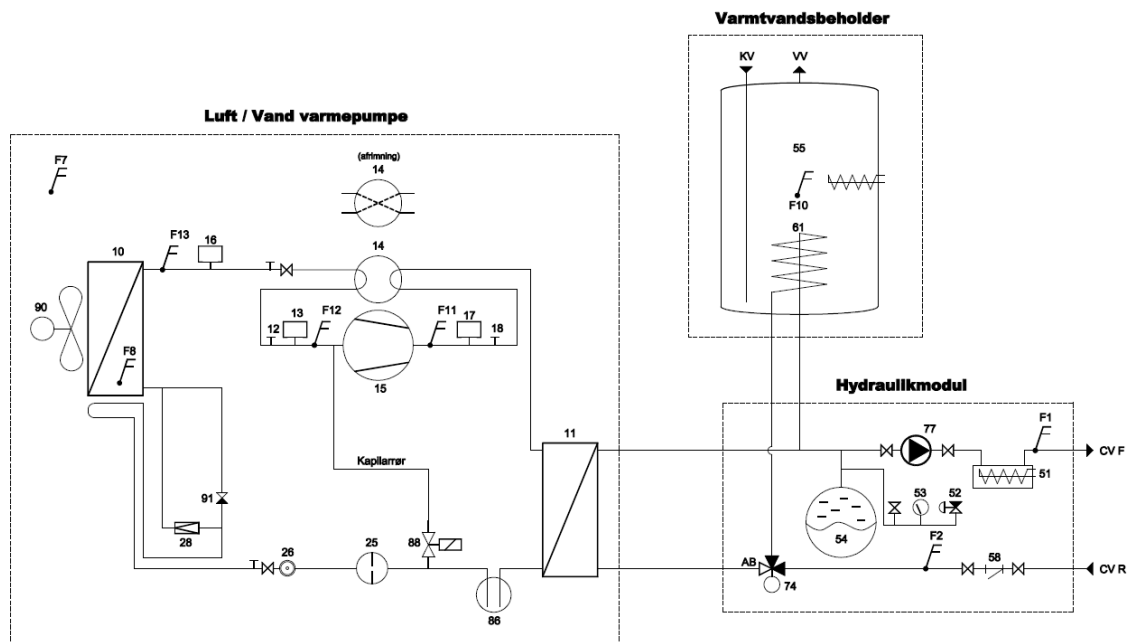
I det følgende gennemgås resultaterne i arbejdsplanerne WP1, WP4 og WP5.

### 1.5.3 WP1 Udvikling af frekvensstyret luft/vand varmepumpe med høj effektivitet og til høj fremløbstemperatur

På baggrund af prisoverslagene samt de privatøkonomiske og samfundsøkonomiske vurderinger er følgende anlægskonfiguration blevet udvalgt til prototypeopbygning:



Systemet indeholder et hydraulikmodul så at en eksisterende varmtvandsbeholder kan tilsluttes. Varmepumpeanlægget indeholder ikke en buffertank.



Ovenstående PI-diagram illustrerer det udviklede VP-system, som overordnet set består af en L/V varmepumpe, en varmtvandsbeholder og et hydraulikmodul.

Det er i projektet anvendt mange ressourcer på at finde en ny løsning, hvor lydniveauet er blevet optimeret i forhold til varmepumpens effektivitet. Det har resulteret i et helt nyt design af varmepumpen, som vist på følgende figur:



Varmepumpen adskiller sig fra traditionelle luft/vand-varmepumper ved, at anlæggets kompressor er placeret i en 5-trins støjdæmpet cylinderformet kabinet. Ventilatoren benytter en ny teknologi for støjsvagt design samtidig med at den meget begrænsede ventilatorstøj sendes mod himlen. Varmepumpen er således næsten lydløs og kan placeres i tæt bebyggelse. Støjmålinger indikerer et niveau på 32/34 dB(A) ved 5 meter ved henholdsvis lav og høj hastighed.





Teknologisk Institut har testet varmepumpen (Se vedlagt testrapport) og heraf fremgår at den udviklede varmepumpe ligger helt i top effektivitetsmæssigt med en SCOP på 3,64 ved tilkobling til radiatorsystemer.

Dansk Varmepumpeindustri har ved projektafslutningen allerede solgt knap 150 luftvand varmepumper i det nye design i løbet af 2015 og regner med at øge salget til ca. 250 i 2016 og ca. 350 i 2017.

#### *1.5.4 WP4 Udvikling af online styring og overvågnings IT*

I projektet opbygges IT arkitekturen oven på SDVP2 IT-plattformen som administreres af andelsselskabet "Intelligent Energistyring AmbA".

Energinet.dk har sammen med en række forskEL projekter udviklet SDVP IT-plattformen, der er åben og tilgængelig for alle. Andelsselskabet "Intelligent Energistyring" har overtaget dette Setup, og udvikler og driver non-profit fra 2013 denne nationale og åbne Smart Grid IT-plattform. Plattformen kan opsamle data, og kan være grundlaget for at opbygge kommercielle applikationer, der kan overvåge og styre private såvel som erhvervsmæssige energiforbrugende og -producerende anlæg, som f.eks. varmepumper og solceller.

IT-plattformen giver af den vej en etableret og standardiseret adgang til et kommende Smart Grid marked i Danmark, samtidig med, at de opsamlede data anonymt og aggregeret stilles offentligt til rådighed for forskning, udvikling, analyser og produktudvikling.

Der er (primo 2016) over 300 varmepumpeanlæg koblet op på IT-plattformen.

IT-plattformen er udelukkende en IT infrastruktur og kommunikationsplatform, hvor der kan bygges forretningsmodeller og applikationer ovenpå, og det er derfor naturligt for HeatUp at bygge kommercielle applikationer oven på denne platform.

IT-plattformens vigtigste funktionalitet er en central server, der forestår kommunikationen fra og til tilkoblede anlæg efter et åbent API, således at 3.-parter (netselskaber, energiselskaber og agregatorer) kan tilgå tilkøbet udstyr på en ensartet og transparent måde.

I sit nuværende setup er der, ud over den centrale server-løsning, også udviklet en decentralt placeret datalogger og styringsenhed (klient). Denne styringsenhed opsamler data fra tilkoblede målesensorer og kan sende styre-signaler til det tilkoblede anlæg via TCP/IP, ModBus eller simple relæfunktioner.

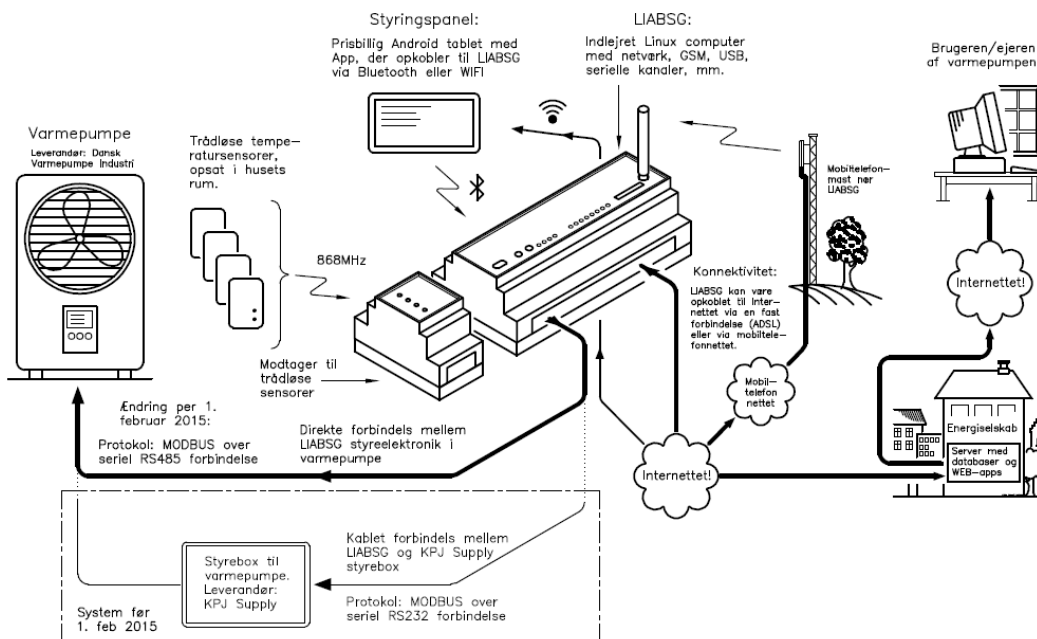
Kommunikationen mellem central F&U server og decentral styre enhed (klient) er åben og dokumenteret via en beskrivelse af det anvendte API. Den decentrale styreenhed er udviklet efter Open Source princippet og er dokumenteret og frit tilgængelig via GitHub. Se evt. [www.styrdinvarmepumpe.dk](http://www.styrdinvarmepumpe.dk).

Den åbne struktur betyder, at det er muligt at anvende eget udviklet udstyr, hvis det blot overholder det fastlagte kommunikations-API mellem server og klient. Det er også muligt at tilkoble anlæg, der har egen serverløsning eksempelvis en varmepumpefabrikants egen online overvågningsløsning og så foretage kommunikationen mellem 3.-part og det enkelte anlæg i "Skyen" i mellem de to serverløsninger. Dette forudsætter at den enkelte varmepumpefabrikant ønsker at stille dele af sit API til rådighed for andelselskabets ejere.

Infrastrukturen bygger på standarderne IEC61850 og XMPP. XMPP protokollen er en Open-Standard kommunikations- og applikationsprotokol til etablering af nær-realtids tovejs beskeder over internettet. Protokollen udvikles og udvides løbende i forskellige fora, og anvendes bl.a. indenfor social networking (Face-book), Internet of Things samt indenfor Smart Grid løsninger. Denne løsning er implementeret i forhold til HeatUp løsningen.

I forbindelse med den europæiske standardisering indenfor elnettet, er der i standardiseringsgruppen IEC TC57 WG21 (Fleksibilitet og snitfladen til private hjem) konsensus omkring valget af XMPP.

Igennem udviklingsarbejdet i HeatUp projektet har vi til stadighed forsøgt at billiggøre det fjernstyringssystem, der er opkoblet til varmepumpen. Igennem arbejdet i efteråret 2014 blev det tydeligt at vores system indeholdt et urimeligt stort antal microcomputere, endda med flere brugergrænseflader.



Styreelektronikken i varmepumpen var oprindeligt opkoblet til en ekstern styrebox som blev leveret af KPJ Supply ApS. Den indeholder en computer, der konstant holder øje med temperaturer, tryk og flow. På basis af disse målinger stoppes og startes varmepumpen således at de ønskede temperaturer for fremløbet i rumvarmekredsen og den ønskede varmtvandstemperatur opnås. Igennem udviklingsarbejdet blev det dog klart, at den mindre computer på printkortet med styreelektronik sagtens kunne varetage den styring, der lå den eksterne

styrebox. Ved således at flytte reguleringen ind i varmepumpen bliver den eksterne styrebox overflødig.



Computeren til online overvågning er baseret på den klient der er udviklet ifm. SDVP2 forskEL projektet og er benævnt LIABSG. Denne computer sammenkobler styreelektronikken i varmepumpen med Internettet. Da den eksterne styrebox fra KPJ Supply er fjernet, kommunikerer LIABSG computeren direkte med styreelektronikken i varmepumpen. Man betjener sig her af den såkaldte MODBUS protokol, idet man benytter RS485 som elektrisk kommunikationsmedie. LIABSG computeren leveres af firmaet LIAB ApS og en nærmere gennemgang af denne kan findes i milepæl 2 af rapporteringen fra juli 2014.

Opkoblingen sker via Internettet, enten trådet eller via mobiltelefon nettet (GSM/GPRS). I sidstnævnte tilfælde fordres dog et SIM-kort, som skal indsættes i LIABSG computerens SIM-kort holder.

Servere hos energiselskabet/aggregatoren indeholder en database, som opsamler alle måleværdier som måtte være målt via LIABSG computeren, dvs. måledata vedrørende varmepumpen opsamlet fra styreelektronikken, men også indendørs- og udendørs temperaturer målt med trådløse sensorer. Omverden kan få tilgang til måleresultater og styringssystem via såkaldte web-services baseret på SOAP og XMPP.



Ved at surfe ind på hovedsiden for systemet:

[www.styrdinvarmepumpe.dk](http://www.styrdinvarmepumpe.dk), kan man se kurver og tabeller for måleværdier. En trediepart kan nu sammenholde målinger med f.eks. spotpriser på energi og vælge en ny profil for kørsel af den givne varmepumpe. Denne profil kan nu kommunikeres tilbage til serveren, hvorefter den sørger for at uploade profilen til LIABSG computeren. Det er da

LIABSG computerens opgave at sætte setpunkter for varmepumpen ved at sende kommandoer over RS485 til styreelektronikken i varmepumpen.

Det opdaterede system er brugt i opbygningen af en konkret, fysisk prototype til HeatUp projektet, der er afprøvet på DVI og på demo-installationen på Green Tech Centeret ved Vejle.

Nedenstående liste angiver de registre, der kan læses og skrives via MODBUS fra LIABSG computeren til styreboxen.

Målinger			
F1	CV fremløb	°C	
F2	CV returløb	°C	
F3	Varmt vand	°C	
F4	Rum	°C	

F7	Ude	°C	
F8	Fordamper	°C	
F10	Akkumuleringstank	°C	
F11	Trykrør	°C	
F12	Sugerør	°C	
<b>Styringer</b>			Værdi
Register 1	Opvarmning	Frakoblet/ Tilsluttet/ Eksternt styret	0,1,2
Register 2	Setpunkt for varmekurve (udtryk for sammenhæng mellem udetemperatur og fremløbstemperatur eller isoleringsstandard)	+/-	Min. 0 Max 20
Register 10	Varmt vand	On/Off	0,1
Register 15	El-patron	Frakoblet/ Automatisk/ Reservedrift	0,1,2

### SG-ready Standarden

LIAB SG computeren opererer ud fra en enkelt styrevariabel, SG ready, der kan antage følgende værdier:

- 0: Normal drift
- 1: Stoppet
- 2: Forceret 1
- 3: Forceret 2

Disse værdier er baseret på den tyske rekommandation<sup>8</sup> og er det grundlag som Teknologisk Institut i deres SG Open projekt anvender for test af om en varmepumpe er SG Ready.

Normal drift betyder at vi ikke styrer på varmepumpen

Stoppet betyder at vi ikke laver varme eller varmt vand.

Ved forceret 1 fortæller vi varmepumpen, at den skal arbejde efter en lidt højere rumtemperatur, og ved forceret 2 skruer vi helt op for varmepumpen, og aktiverer elpatronen, for at bruge så meget energi som muligt.

Ved normal drift og stoppet styrer vi på register 1 (varme) og register 10 (varmt vand) og sætter dem til hhv. 1 for normal og 0 for stoppet.

Ved forceret 1 gemmer vi værdien af register 2, der er en varmekurve variabel som brugere af varmepumpen kommer til at kunne styre, for senere at kunne stille den tilbage. Vi sætter derefter kurven 5 højere, eller maksimalt til 20. Register 1 og register 20 står som ved normal drift.

Forceret 2 tager udgangspunkt i forceret 1, men sætter kurven til 20 uanset førværdi, og gemmer register 15 (tvangsstyring) for senere at kunne sætte den tilbage, register 15 sættes til 2, for at starte elpatronen.

<sup>8</sup> <http://www.waermepumpe.de/sg-ready/>

Skiftes der tilbage fra forceret 2 stilles register 15 tilbage til førværdien, og skiftes der fra forceret 1 eller 2, så stilles register 2 enten tilbage til førværdien, eller den nye forcerede værdi.

For at kunne aflæse værdier og styre SG-ready variablen er der lavet interfaces til SOAP og XMPP. SOAP benyttes i styrdinvarmepumpe projektet til kommunikation mellem server og LIAB SG computerne, og det er også via SOAP at alle målepunkter sendes ind med faste intervaller til den centrale server.

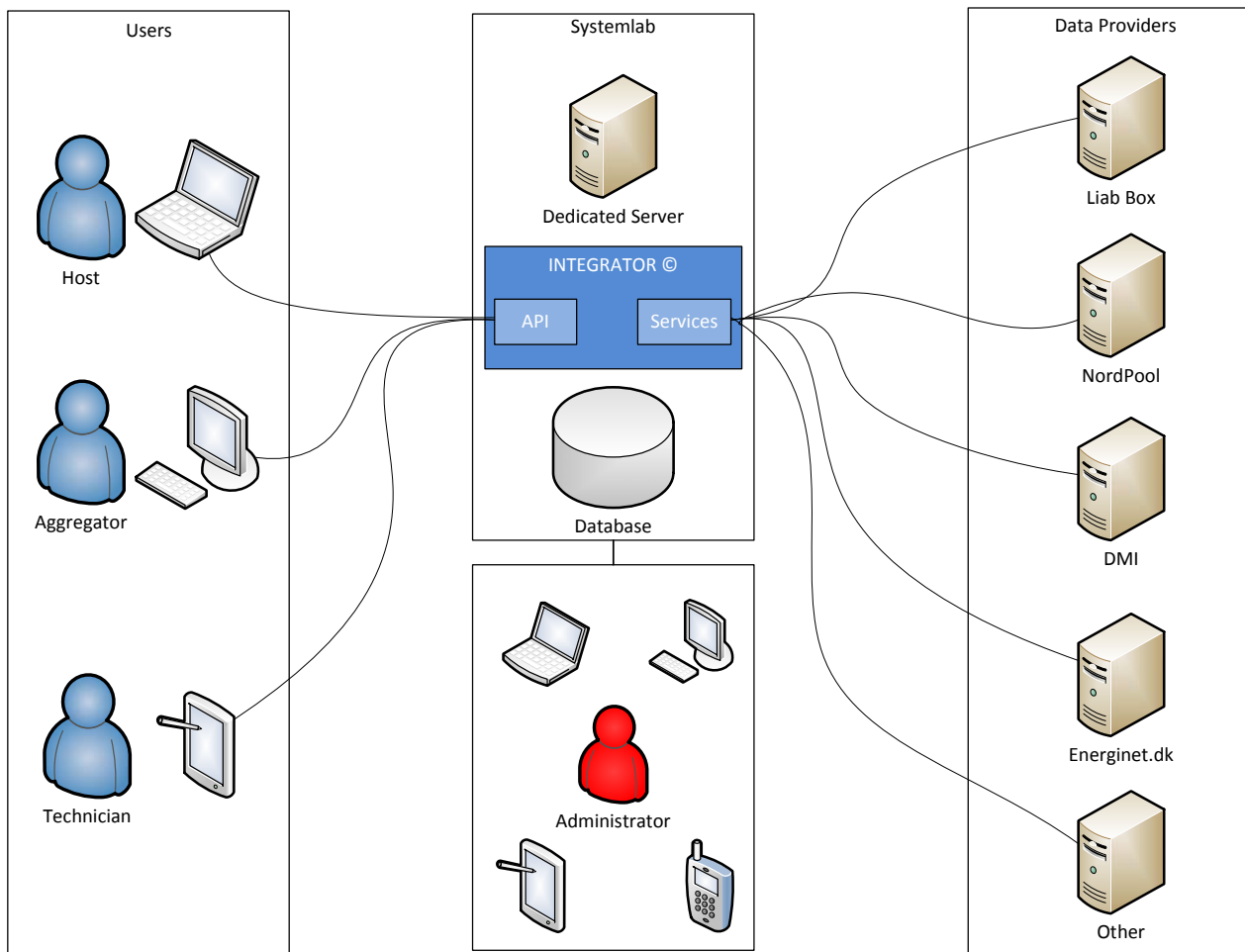
Der er også lavet en mapping af de samme variabler til XMPP, så det er muligt at aflæse og styre variabler i nær realtid. Eneste styrevariabel er i dette tilfælde SG-ready variablen, der kan antage værdierne 0-3. Dette udnyttes i den udviklede aggregator software, der beskrives i næste afsnit.

### **Aggregator software**

Der er udviklet en softwaretjeneste, der henter og analyserer driftsdata fra individuelle installationer, samt systemdata, baseret på webservice kald til SDVP serveren beskrevet i forrige afsnit.

På kort sigt vil softwaren give mulighed for at monitorere og styre apparater på individuelle installationer. På længere sigt vil softwaren give mulighed for aggregeret styring af en sværm af individuelle installationer.

**Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** giver et overblik over datastrømme samt de centrale softwareteknologier, der indgår i løsningen. Figuren illustrerer at løsningen indhenter behovs- og produktionsdata fra installationspunkter (individuelle varmepumper) samt markeds- og systemdata fra relevante dataleverandører. På basis af data analyseres tekniske, økonomiske, driftsmæssige og energisystemmæssige konsekvenser, hvorefter optimale driftsstrategier og driftsanalyser genereres for aktive installationspunkter. Systemet tilbyder forskellige interfaces for slutbrugere, aggregatorer, og serviceteknikere, der hver især rummer relevante indstillinger, analyser og driftskontrol.



Udviklingsfokus har været på etablering af en stabil og fleksibel modelplatform.

Platformen er et udgangspunkt for at udvikle og afprøve forskellige services over to udvalgte brugergrupper:

1. Brugere uden automatiske styringsmuligheder
2. Brugere med automatiske styringsmuligheder

Det er ikke nødvendigt at have en liab boks og monitorering af et enkelt "apparat" for at få glæde af softwarens services.

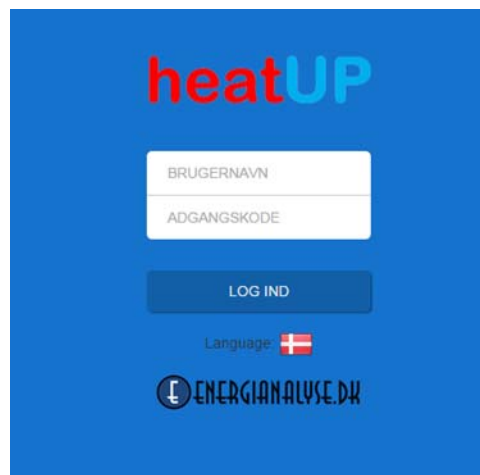
Frontend er en enkelt-side web applikation programmeret med Google's AngularJS (HTML 5, CSS 3 og Javascript). Der anvendes client side model-view-controller (MVC) arkitektur. Der anvendes Google charts og frontend kan let integreres med andre Google applikationer. API er programmeret i ASP.NET og anvender JSON. Data services er programmeret i Delphi.

Frontend kan afvikles på alle platforme; Windows, Linux, iOS, Android.

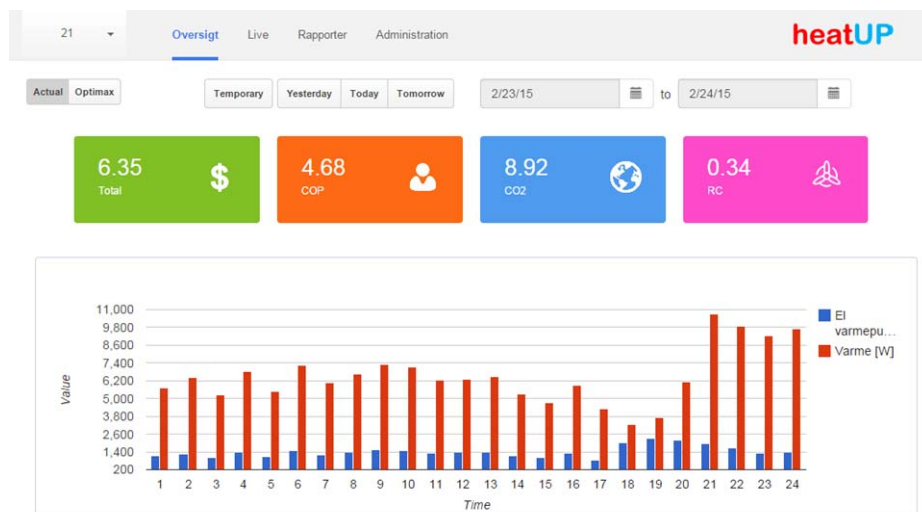
Frontend består aktuelt af følgende interaktive skærmmoduler:

1. Login
2. Dashboard
3. Live
4. Reports
5. Administration

I det følgende præsenteres kort brugerfladen i første offentlige BETA-version af frontend



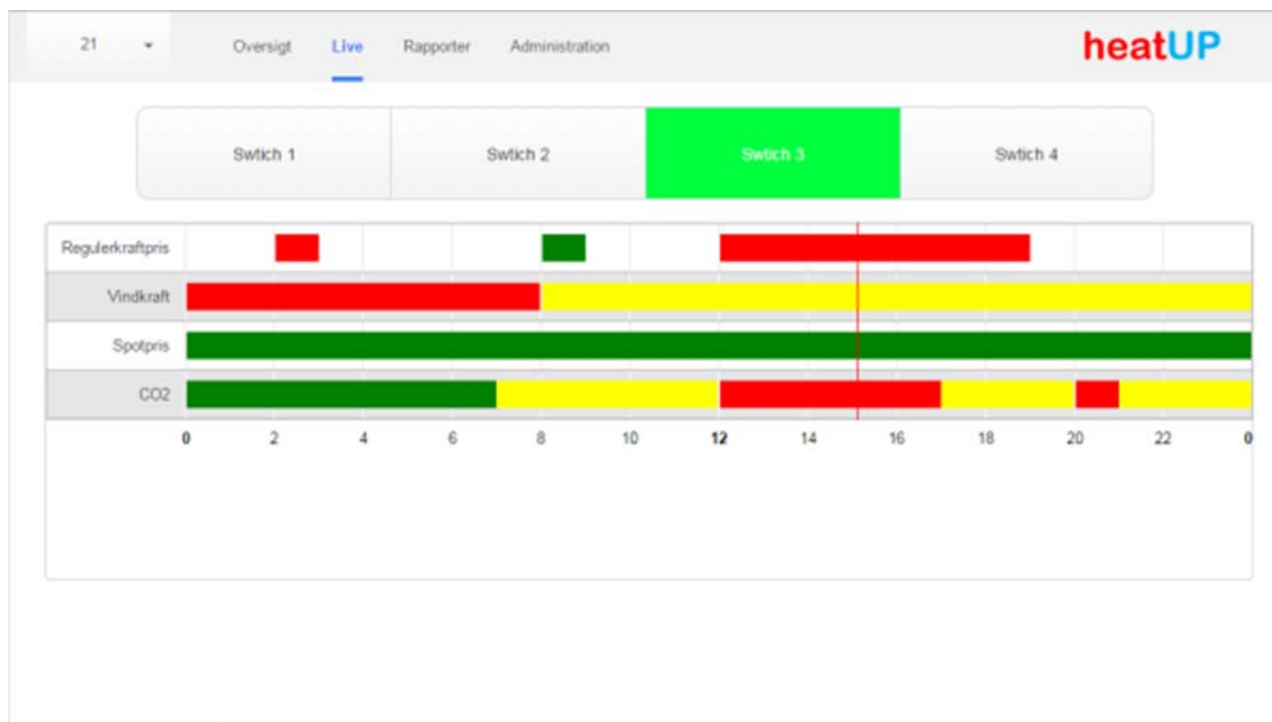
Brugeren præsenteres for "apparatets" timebaserede elforbrug og varmeproduktion, samt for 4 performance nøgletal for perioden (økonomi, COP, CO2 og vindvenlighed).



Der skelnes aktuelt mellem 2 driftsstrategier: Aktuel og OPTIMAX. OPTIMAX er en tilbudt optimereret driftsstrategi, som der vil kunne styres efter, hvis brugerens teknologi giver mulighed for styring. Dashboard viser gårsdagens, dagens, og morgendagens driftsstrategier.

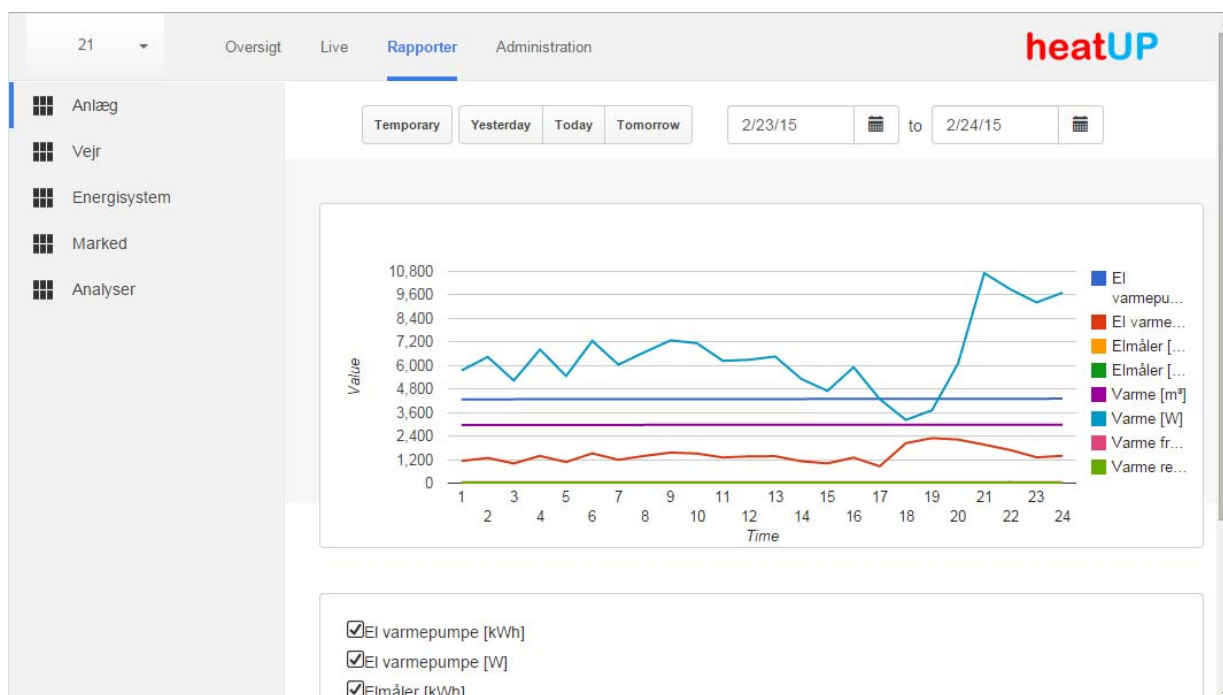
Her kan brugeren følge aktuell driftsprioritering på bases af applikationens driftskriterier, samt vælge en indstilling.

Denne idé er grundlaget for separate elementer/tjenester.



Her kan brugeren studere periodiske timeværdier for:

1. Anlæg
2. Vejr
3. Energisystemet
4. Markeder
5. Analyser





### 1.5.5 WP5 Demonstration af konceptet på Green Tech Centeret ved Vejle

### 1.5.6 Formidling af projektets resultater

Overordnet kan arbejdet med formidlingen af projektets resultater deles i følgende 4 hovedaktiviteter/tiltag:

1. Projektets hjemmeside ([www.heatup.dk](http://www.heatup.dk))
2. Videnskabelige artikler, og
3. Indlæg på konferencer, seminarer og workshops.
4. Demonstration/showcase på GreenTech Center i Vejle.

Ad 1. På projektets hjemmeside har det primære fokus været at kommunikere formålet med og indholdet i HeatUp-projektet med henblik på at skabe bred synlighed om projektet og partnerkredsen.

Ad. 2. Jf. afsnit 1.5.2 har resultaterne af arbejdet med udvikling af en buffertank (WP3) været fremlagt ved ORC2015 konferencen i Bruxelles, Belgien d. 12.-14. oktober 2015 (<http://www.asme-orc2015.be/>). Formidlingen af præsentationen på konferencen fokuserede på en dynamisk model af en varmtvandsbeholder, der blev beskrevet og sammenlignet med eksperimentelle resultater.

Ad.3. Projektets resultater er løbende formidlet gennem oplæg og deltagelse ved følgende relevante konferencer, seminarer og workshops:

- Workshopen "Heat Pumps, SmartGrid and Green Thinking, arrangeret sammen med GreenTech Center i Vejle og afholdt i GreenTech Centers Smart grid Living Lab d. 23. januar 2014. På workshopen deltog ca. 25 lokale virksomheder, herunder bl.a. installatører, elektrikere, vvs'er mv.
- Workshop om Fleksibelt forbrug, Markedsmodel 2.0, hos Energinet.dk d.28. august 2014. Her fremlagde vi projektets resultater og erfaringer omkring nye muligheder ved brug af fleksible varmepumper. Præsentationen var teknisk orienteret og fokuserede på den tekniske styring af varmepumperne. Ved denne workshop deltog ca. 50 personer, der tilsammen bredt repræsenterede energibranchen, herunder bl.a. repræsentanter fra el-selskaber (net- og handelselskaber), samt balanceansvarlige (aggregatorer), der ser potentiale i intelligente varmepumpestyringer.
- Dansk Gas Forenings konference, Gastekniske dage i Billund d. 14. maj 2014. Her var fokus på formidling af erfaringer med forskellige varmepumpe-løsninger, hvor Heatup blev fremlagt som case.
- IBC Euroforum of Intelligent Energis konference Det Intelligente Energisystem, afholdt på Best Western TorVEhallerne i Vejle d. 25.-26. marts 2015. På konferencen deltog +100 repræsentanter fra hele energisektoren. Fokus i præsentationen ved konferencen var på integrationen af varmepumper i det danske energisystem, herunder muligheder for data-anvendelse og potentialet i at tænke i nye forretningsmodeller i forbindelse med udbredelsen af varmepumper.

Ad. 4. Formidlingsmæssigt har projektet udnyttet det faktum, at demonstration og tests er foretaget på GreenTech Center i Vejle, som er et af Danmarks førende test-sites for grøn dansk teknologi. Projektet har udnyttet Green Tech Centers store nationale og internationale netværk (herunder de mange besøg fra relevante nationale og internationale aktører fra greentech-industrien) til at få formidlet projektets resultater og erfaringer gennem "live-demonstrationer" i forbindelse med månedlige rundvisninger/besøg fra nationale og internationale interessenter.

## 1.6 Udnyttelse af resultaterne fra projektet

Projektets resultater har bidraget til at fremme samtlige projektpartneres viden og allerede haft indflydelse på de deltagendes virksomheders dispositioner.

Overordnet kan udnyttelsen af resultaterne fra projektet opdeles i to dele. 1) Kommerciel udnyttelse og 2) videnskæssig udnyttelse.

For så vidt angår den kommercielle del, er det primært DVI, LIAB og Insero som fremover vil udnytte projektets resultater. I nedenstående gøres nærmere rede for, hvordan disse partnere vil udnytte projektets resultater kommercielt:

DVI sælger allerede den nye varmepumpe som er kommet ud af projektet. Varmepumpen indgår i DVIs totale sortiment og salget udgjorde i 2015 ca. 150 stk., hvilket vurderes at være særdeles tilfredsstillende. Der er budgetteret med et stigende salg i 2016-17 til 250 henholdsvis 350 stk. DVI udnytter desuden den viden der er opnået i projektet på IT udviklingen. Denne viden udnyttestil at udvikle et helt ny online styringskoncept til alle deres varmepumper.

LIAB udnytter den opnåede viden i forbindelse med videreudvikling og billigørelse af deres styringscomputer. LIAB har således på foranledning af projektet og Insero påbegyndt udvikling at en dedikeret online varmepumpestyring. Virksomheden har ikke på nuværende tidspunkt konkrete estimater/forecasts for, hvilken kommerciel effekt projektet vil få, men har store forventninger til det fremtidige marked for denne online styring.

Insero: Har fået udviklet en ny type varmepumpe, der kan anvendes i deres nye forretningsmodel omkring salg af varme fra varmepumper opstillet i private hjem (på leasingliggende vilkår), der både er konkurrencedygtig og egnet til retrofitting i eksisterende ældre bebyggelse. Konkret har den nye forretningsmodel betydet, at Insero har stiftet det nye selskab Best Green, som fremover skal stå for kommerciel udrulning og skalering af løsningen baseret på den udviklede varmepumpe.

Den mere videnskæssige /faglige udnyttelse af projektets resultater kobler sig til projektet øvrige partnere og forventes udnyttet på følgende måde:

Energi analyse: Har opnået værdifuld viden, som virksomheden kan tage med i deres fortsatte udvikling af energiapplikationer.

VIA University: Har opnået værdifuld viden om jordens termiske egenskaber i forhold til udvinding og lagring af varme i lodrette jordboringer. Resultatet af dette afventer at arbejds-pakke 3 bliver færdiggjort i løbet at sommeren 2016.

KPJ Supply: Deres elektronik blev ikke en del af det endelige produkt, men den viden som virksomheden har udviklet i projektet er blevet anvendt i andre udviklingssammenhænge og sammen med nye kunder.

Sammenlagt vurderes såvel den kommercielle som den faglige/videnskæssige udnyttelse af projektet resultater at være stor. Projektet har været givtigt og udviklende for alledeltagende virksomheder og organisationer og alle forventer at kunne bruge projektets viden, erfaringer og resultater i den videre udvikling de kommende år.

## 1.7 Konklusion

Resultatet af projektet er, at DVI har fået udviklet en ny type inverter-baseret (hastighedsreguleret) luft-vand varmepumpe uden akkumuleringstank, med et nyt design, der er støj-

svag og kan retrofittes eksisterende varmeanlæg med en fremløbstemperatur på ca. 50 gr. C. DVI sælger allerede nu den nyudviklede varmepumpe kommercielt.

Dette har ikke været muligt uden støtte fra EUDP.

Varmepumpen kan styres og overvåges online via Internettet efter internationale Smart Grid kommunikationsstandarder og er dermed forberedt for Smart Grid og kan indgå i Inero Energy's pulje af leasede varmepumper hos private husejere.

I gennem projektet har flere koncepter været analyseret, men både samfundsøkonomisk og privatøkonomisk er den inverter baserede luft-vand varmepumpe uden akkumuleringstank den mest rentable.

Alt i alt har projektet været en stor succes for de medvirkende virksomheder, der alle har fået udviklet kommercielle produkter og services, der nu markedsføres nationalt og internationalt og som er forberedt for det kommende Smart Energy system.

## **Annex**

<http://systemlab.dk/app> (BETA version af Aggregator Software – gæstelogin fås ved henvendelse til Energianalyse (blarke(AT)energianalyse.dk)).

[www.heatup.dk](http://www.heatup.dk)

[www.jordvarme.dk](http://www.jordvarme.dk)

[www.energiforskning.dk](http://www.energiforskning.dk)