

'Salg af varme' fra individuelle varmepumper

Analyse af varmepumpers faktiske driftsforhold og muligheder for forbedret effektivitet via koordineret udrulning og drift

Delrapport ifm. i demonstrationsprojekt for Energistyrelsen om udbredelse af varmepumper eller andre VE-baserede opvarmningsformer.

Indholdsfortegnelse

| | |
|---|----|
| Indholdsfortegnelse | 2 |
| 1. Resumé | 3 |
| 2. Baggrund | 5 |
| 3. Datagrundlag og analyser | 6 |
| Mærkning og faktisk effektivitet - to forskellige verdener..... | 6 |
| Demonstrationsprojekt Stenderup | 8 |
| Datagrundlag..... | 8 |
| Undersøgelsens fokus..... | 8 |
| 4. Analyser | 10 |
| Akkumuleret COP-værdi – og fordeling på de enkelte anlæg | 10 |
| Fremløbstemperaturens betydning for COP | 11 |
| Varmt brugsvand..... | 12 |
| Varmepumpernes driftstider..... | 13 |
| Elforbrugets døgnfordeling – skift til time spot-afregning? | 14 |
| COP-værdier i et energisystem perspektiv | 14 |
| Forslag til forudsætninger til de økonomiske beregninger | 15 |
| 5. Resultater | 16 |
| 6. Afrunding | 17 |

Bilag: Specifikation af data for de enkelte demonstrationsinstallationer 15.2.2015

1. Resumé

Individuelle varmepumper er udpeget som et af de vigtigste alternativer når oliefyr skal udfases i Danmark. I byområderne er langt de fleste oliefyr blevet erstattet af fjernvarme og naturgas, hvorfor de resterende oliefyr i dag er at finde i landsbyer og det åbne land.

Som beskrevet i dette projekts hovedrapport tøver forbrugerne med at udskifte oliefyr med individuelle varmepumper. En række analyser har søgt at udpege årsagerne til forbrugernes tilbageholdenhed, i lyset af at skift fra oliefyr til individuel varmepumpe på papiret indikerer en god privatøkonomi. Essensen synes være, at varmepumperne opleves som 'dyre', at forbrugerne er skeptiske til den oplyste høje energieffektivitet, samt at forbrugerne betragter varmepumper som teknisk kompliceret udstyr, der er svært at styre og servicere.

For at fremme afviklingen af fossile brændsler i områder *uden* kollektiv varmeforsyning lod Energistyrelsen i 2013 EXERGI Partners, Insero Energy og Brædstrup fjernvarme udvikle et forretningskoncept for udfasning af oliefyr i Område IV. Her lancerede konsortiet idéen med at fjernvarmeverkerne - der er den bærende kraft i afviklingen af oliefyr i byerne – også kunne være en central operatør, når oliefyr skulle udfases i områder hvor der *ikke* forventes traditionel kollektiv forsyning.

Ved at flytte ansvar og økonomisk risici fra kunde til udbyder, vil de ovenfor nævnte barrierer kunne reduceres eller helt fjernes. Projektets afsluttende rapport¹ konkluderer, at hvis en udbyder tilbyder salg af varme på fjernvarmelignende vilkår, kan dette blive økonomisk attraktivt for såvel kunde som udbyder, forudsat at det sker i større skala.

Samordnet indkøb af udstyr og installationsarbejder med væsentlige omkostningsreduktioner, er nøglen til en god bruger-, selskabs- og samfundsøkonomi. Høj energieffektivitet og Smart Grid ydelser foreslås sikret via online overvågning og styring af de enkelte varmepumper. Sidst men ikke mindst, skal kunderne opleve dette som et attraktivt tilbud, privatøkonomisk såvel som med hensyn til services.

En række undersøgelser, herunder Energinet.dk's store undersøgelse af 300 individuelle varmepumpers mulighed for at levere fleksibelt elforbrug², har dokumenteret at nye og effektive varmepumper i praksis har en *væsentlig lavere energieffektivitet*, end hvad der fremgår af varmepumpernes mærkning.

Forskellen kan delvist forklares med at mærkning af varmepumper sker under nogle lidt 'ideelle' forhold, hvor bl.a. varmekredsen både er hensigtsmæssigt udformet og fuldt ud kendt, samt at varmepumpe driften ikke forstyrres af at der skal produceres varmt brugsvand. Dette til trods, er forskellene så betydelige, at der i dette projekt er besluttet at undersøge de faktiske driftsforhold i de forskellige koncepter omkring '*salg af varme*'.

Det er i projektet aftalt, at alle aktører skal etablere timeregistrering af elforbrug, varmelevering samt fremløbs-, inde- og ude-temperatur for alle varmepumper i projektet. Formålet er, at dokumentere og undersøge varmepumpernes *faktiske* effektivitet, samt vurdere om de valgte former for afregning, overvågning og styring kan bidrage til at forbedre energieffektiviteten og reducere elforbruget.

Varmepumpers samfundsmæssige værdi i relation til fleksibelt elforbrug er belyst en række tidligere projekter, jfr. bl.a. ovennævnte referencer. I dette projekt er der undersøgt om skift fra skabelonafregning til spotpris i dag har en privat/selskabsøkonomisk værdi, selv om der ikke aktivt leveres fleksibelt elforbrug til el-systemet. Baggrunden er, at varmepumper har – eller kan få – forbrugsprofil der adskiller sig markant fra elforbrug i almindelige husstande.

I rapporten om nye forretningskoncepter for *'salg af varme'* fremhæves, at samordnet storindkøb og optimeret drift af varmepumper, *kan* give ganske betydelige samfundsøkonomiske og miljømæssige gevinster, og i øvrigt levere fleksibilitet til el-systemet. Tilsvarende gælder for Inseros tilsvarende koncept. Dette svarer ganske nøje til varmforsynings-lovens formålsparagraf, hvor der fokuseres på de *samfundsøkonomiske* og *miljømæssige* fordele ved en koordineret etablering og drift af varmforsyning.

Med ovenstående som afsæt foreslår rapporten *'fjernvarme uden rør'*, at samordnet installation og drift af varmepumper (inkl. Smart Grid-ydelser) lovmæssigt skal sidestilles med *'kollektiv'* varmforsyning, idet konceptet skaber ekstra gevinster ift. til individuel drift af varmepumper.

En sådan lovændring vil betyde at f.eks. fjernvarmeverker kan drive en pulje af varmepumper efter *'hvile i sig selv'*-principper, på linje med de almindelige fjernvarmekunder, og optage lån med kommunegaranti.

Forudsætningen for at der kan ske en justering af varmforsyningslovens fortolkning af kollektiv varmforsyning, er dog

- **at** brugerne finder den nye form for *'salg af varme'* attraktivt, således at der kan forventes en betydelig efterspørgsel efter denne nye ydelse, samt
- **at** samordnet implementering og drift af varmepumper, *reelt* giver nogle samfundsøkonomiske og miljømæssige fordele sammenholdt med individuel varmepumpedrift.

Denne rapport analyserer, med afsæt i målinger af driftsdata, den faktiske energieffektivitet og søger at udpege de forhold der er afgørende for at mindre varmepumper kan agere som en koordineret portefølje med høj energieffektivitet og levere systemydelser.

Sidst i rapporten gives en opsummering på de gennemførte analyser med angivelse af de forudsætninger der skal indgå de økonomiske analyser som EA Energianalyse skal levere som led i det samlede projekt.

¹ http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/energistyrelsen/Nyheder/2014/forretningsmodel_for_udfastning_af_oliefy.pdf

² Potentiale og muligheder for fleksibelt elforbrug med særlig fokus på individuelle varmepumper, Energinet 27.2011

2. Baggrund

Skift fra oliefyr til varmepumpe er en miljømæssigt god løsning, der nedbringer forbruget af fossile brændsler og introducerer en energieffektiv teknologi. Men størrelsen af den miljømæssige gevinst afhænger - i lighed med den økonomiske - af, at varmepumpen rent faktisk kan levere varme med et lavt forbrug af elektricitet samt - især på sigt - 'fleksibelt elforbrug'.

Set fra såvel et energispare-perspektiv og et økonomisk perspektiv er det f.eks. afgørende at en varmepumpe leverer *tre* gange så meget varme som der bruges el, og ikke kun *to*. Tilsvarende vil det i fremtiden være situationer - f.eks. i udvalgte distributionsnet med lav kapacitet - hvor evnen til at udskyde eller fremskyde elforbrug bliver værdifuld.

Begreber såsom 'fleksibelt elforbrug' og Smart Grid-ydelser er allerede i dag en del af el-systemets hverdag. På kort sigt er det dog ikke énfamiliehuse med varmepumper der udvikler og dominerer dette marked. Fjernvarmeselskaberne har de nødvendige varmelagre til at fungere som elsektorens 'batteri', hvor indbyrdes konkurrence og rigelig kapacitet holder betalingen for systemydelser nede.

Set fra koncept '*salg af varme*' betyder ovenstående, at det i dag er en beskeden samfundsøkonomisk fortjeneste ved at et parcellhuse flytter varmepumpens elforbrug væk fra timer med stor belastning og høj elpris. I forskellige analyser er værdien opgjort til 500 - 1.000 kr. per år (jfr. førnævnte referencer). Men økonomien her kan selvsagt ændres, hvor især lokale kapacitetsbegrænsninger i distributionsnet kan udløse betalingsvillighed ift. kunder der kan flytte elforbrug i spidslastsituationer.

Nærværende analyse har til formål at undersøge varmepumpernes *reelle* energieffektivitet, og årsagerne til at denne ligger så langt under den energimærkning som ledsager en varmepumpe. Demonstrationsprojektet omhandler tre forskellige forretningskoncepter:

- '*Fjernvarme uden rør*'/EXERGI Partners - hvor kunden køber 'varme' fra et fjernvarmeværk, hvor værket implementerer en online overvågning og styring der sikrer en høj energieffektivitet med lange driftsperioder, samtidig med at driften styrer uden om timer med høje spotpriser (køb af spotpris-el)
- '*Nærvvarme*'/Insero - hvor kunderne ligeledes køber 'varme' og hvor et selskab overvåger driften mhp. på manuel indjustering af anlæg. Kunden afregnes for leveret varme efter certificeret energimåler på samme måde som ved fjernvarme. Der leveres ikke Smart Grid ydelser, men konceptet er forberedt for dette såvel som for timeafregning af elforbruget til varmepumpen.
- '*Leasing*' af varmepumpe/OK, hvor kunden betaler de faktiske udgifter for elektricitet, og dermed selv bærer det økonomiske ansvar for at varmepumpen. Selskabet leverer årligt statistik for varmepumpens driftsforhold, herunder den faktiske effektivitet.

Formålet var at undersøge den faktiske effektivitet som forskelle sfa. af overvågning, opfølgning og styring. Som det fremgår af efterfølgende afsnit har det *ikke* været mulighed at gennemføre analyser for '*Fjernvarme uden rør*'/EXERGI Partners da der ikke er gennemført installationer på grund af juridiske problemer for de kommunalt ejede fjernvarmeselskaber. Det har ej heller været mulighed for at analysere OK's projekt med '*Leasing*', da OK ikke har afleveret data ved fristens udløb ultimo september.

Bilag: Specifikation af data der skal leveres fra de enkelte demonstrations installationer 15.2.2015

3. Datagrundlag og analyser

Mærkning og faktisk effektivitet - to forskellige verdener

Det er i Danmark og senere EU etableret en mærkningsordning for varmepumper hvor energi-effektiviteten (COP) måles ud fra nogle præcise driftsvilkår. I lighed med biltester, er det yderst sjældent man finder en bruger der i praksis har opnået en lige så høj effektivitet.

Da varmepumperne og bilerne testes under éns forhold, er det den generelle opfattelse at selv om den faktiske brug adskiller sig fra testen, vil den indbyrdes rangordning fra test-analyserne være relevant. Dette forekommer at være en god hypotese, så længe varmepumperne har lignende udformning og styring, og f.eks. håndterer varmt brugsvand, spidslast og aktivering af el-patron nogenlunde ens.

Når en kunde eller en udbyder køber og installerer en varmepumpe er det afgørende imidlertid ikke om varmepumpen isoleret er bedst i test, men om den fungerer hensigtsmæssigt i det pågældende hus og med de tekniske installationer der fører varmen og det varme vand rundt i bygningen.

Her har varmepumperne nogle særlige udfordringer.

I varmepumpetesten indgår *ikke* produktion af varmt brugsvand, hvilket – alt andet lige – giver bedre resultater i test end i virkelighedens verden. Typisk bruger en husstand 30 – 40% af varmen til netop varmt brugsvand, og med forbedrede klimaskærme er denne andel for opadgående.

Det *varme* brugsvand er varmepumpernes særlige udfordring fordi,

- Det er svært at forudsige varmtvandsforbrugets størrelse, til forskel fra klimaskærmens varmetab
- Brugerens manglende tålmodighed mht. forsinket leverance af varmt brugsvand, samt
- Det varme brugsvands høje temperaturkrav udfordrer varmepumpens effektivitet

Ovenstående betyder at brugsvandsforbruget tit er afgørende for den samlede effektivitet. Hvis varmepumpernes måde at levere det varme brugsvand er forskellige eller forbruget fejlvurderet, kan driftsresultaterne falde meget forskelligt ud. Ovenstående forhold gør det svært for en installatør at komme med præcise estimater over energieffektivitet og elforbrug i det enkelte anlæg.

Varmepumpernes styrke er at de kan levere lav-temperaturer med høj energieffekt, hvor effekten falder med stigende temperaturkrav. Selve energimærkningen baseres på nogle givne krav til fremløb og afkøling. Udfordringen ligger i at centralvarmens og brugsvandets krav til fremløbstemperatur ikke nødvendigvis er kendt på forhånd. Nyere teknologi til brugsvandsproduktion kan reducere de ekstra energiforbrug ved høj temperatur, men ikke fjerne det.

Når man producerer en ny bil vælger man en motor der er egnet til det pågældende køretøj. Når vi taler om udskiftningsmarkedet for varmeanlæg er situation en anden. Den VVS- eller køleekspert der skal vælge en varmepumpe har typisk begrænset viden om den bygning og det centralvarme- og brugsvands-system som varmepumpen skal forsyne.

Én ting er at centralvarme- og gulvvarme kan have mere eller mindre hensigtsmæssig udformning, hvor krav til fremløbstemperatur og afkøling er i fokus. Den anden forhold er, at en installatør langt fra altid har fuld kendskab til varme- og brugsvandsfordelingens 'svage' punkter der reelt stiller krav til fremløbstemperatur og krav om cirkuleret vandmængde.

Essensen af ovenstående er, at en varmepumpe med gode testresultater i et laboratorium, formentlig er bedre end en med klart ringere resultat, men at energimærkningen langt fra er et sikkert fundament til at beregne den fremtidige el-udgift til opvarmning.

I Energinet.dk's store undersøgelse af varmepumpers driftsforhold, blev det konstateret at en stor andel af varmepumperne havde et forbavsende stort antal start og stop. For termisk udstyr er det generelt uheldigt med mange start og stop, da den bedste effektivitet opnås når udstyret er i 'termisk ligevægt'. De mange start og stop var ikke kun provokeret af forbrug af varmt brugsvand, hvilket pegede på en mindre hensigtsmæssig indbygget styring.

I f.eks. 'Fjernvarme uden rør' forsøger man at hæve varmepumpernes effektivitet ved en informationsudveksling imellem de enkelte varmepumper og en Cloud-tjeneste, samt en 'overstyring' med lange kørselsperioder og stop. Grundlaget er prognoser for bygningens varmeforbrug, baseret på vejrprognoser for de kommende døgn, samt beregnede nøgletal for de pågældende bygningers energiforhold og dynamiske egenskaber.

Ovenstående er et eksempel på hvordan der kan tilføres viden og nye styreinstrukser, som en isoleret styring i varmepumpen ikke selv har adgang til. For tætte og tunge bygninger med lange tidskonstanter er der f.eks. vigtigere at kende vejret i morgen end den aktuelle udetemperatur, hvor sidstnævnte er den eneste information som varmepumpens egen styring typisk råder over.

En installatør har sjældent megen tid til at dimensionere og indregulere en varmepumpe-løsning. Erfaringer fra de tidligere undersøgelser indikerer samtidigt, at de årlige eftersyn ikke nødvendigvis fanger en fejlagtig dimensionering eller en uhensigtsmæssig indregulering.

Ud fra analogien med at installere en motor i en brugt bil med meget få specifikationer, er det selvsagt en halsløs gerning at garantere at den vil køre et bestemt antal kilometer per liter. For en installatør er det i realiteten ligeså risikabelt at give en ydelsesgaranti i forhold til den enkelte varmepumpe-installation.

Omvendt er dette et centralt argument for konceptet 'salg af varme', fordi det økonomiske ansvar for valg af varmepumper, installation og drift, kan placeres hos en udbyder der er økonomisk ansvarlig for den samlede effektivitet i en 'pulje' af varmepumper.

Konceptet med 'puljer' er på ingen måde unikt eller ukendt, da det f.eks. er udgangspunktet for forsikringsselskabernes virke og pensionskassernes investeringspuljer. Det er svært at undgå enkelte svipser med nogle varmepumper, men de opvejes forhåbentlig af andre anlæg der kører bedre end forventet, hvorfor porteføljens samlede effektivitet er i orden, forudsat at der sker en aktiv udvælgelse/fravælgelse af huse.

Fra et brugerperspektiv er 'salg af varme' en 'forsikrings'-ordning, hvor kunderne sikres varme til en fast og kendt pris. Ved at bruge systematisk opfølgning, og en - mere eller mindre - aktiv styring, kan udbyderen samtidig optimere driften og over tid hæve puljens samlede effektivitet, med dertil hørende økonomisk gevinst.

I et samfundsøkonomisk og miljømæssigt perspektiv er det netop en ekstra gevinst, at udbyderen får en økonomisk motivation til at sikre en høj faktisk energieffektivitet ved såvel etablering som den efterfølgende drift. Udbydere såsom fjernvarmeverker og energiselskaber råder over både viden og økonomiske ressourcer til at høste de gevinster der ligger i at sikre en optimal drift.

Demonstrationsprojekt 'Nærværme'/Insero Energy

I projektet er der aftalt et specifikt format for dokumentation af den enkelte varmepumpe. Datagrundlaget består af et sæt stamdata om de enkelte varmepumper, samt timedata for varmeproduktion, tilhørende elforbrug samt fremløbstemperatur og temperatur inde- og ude.

./ **Bilag** De beskriver dokumentationskrav til de enkelte varmepumper i projektet, 15.2.2015.

Projekt *'Fjernvarme uden rør'*/EXERGI Partners, hvor Forsyning Helsingør mfl. har udarbejdet koncepter og pristilbud blev desværre blevet forhindret i at gå i gang, som følge af den eksisterende lovgivning for kommunale forsyningsvirksomheder. Det drejer sig om hvad de kommunalt ejede selskaber må jfr. 'kommunalfuldmagten'. Denne forhindring blev først fjernet medio 2015 ifm. ændringsforslag til Lov om varmeforsyning (uddybet i rapporten vedrørende *'Fjernvarme uden rør'*). Det har derfor ikke været at muligt at gennemføre projektet inden for den aftalte tidsramme (afslutning i 2015).

Det stiles dog imod at lave demonstrationsinstallationer i 2016 med koncept *'Fjernvarme uden rør'*, hvor de tre parter er enige om at videreføre de målings- og dataopsamlingsaktiviteter fra de tre projekter.

OK har i projektet etableret en række målinger ifm. 40 varmepumpeinstallationer. Ved deadline for analyser ultimo september, forelå det kun data for enkelte døgn, hvorfor denne rapport alene omhandler data fra projekt Inseros installationer. I lighed med Insero er OK og EXERGI Partners dog enige om at lave en dataopsamling og analyse i 2016, hvor et forbedret og udvidet datagrundlag forhåbentlig foreligger.

Datagrundlag

Demonstrationsprojekt *'Nærværme'/Insero Energy* Stenderup omfatter i alt 32 énfamiliehuse på i gennemsnit 164 m². Det oplyste varmeforbrug før konvertering, svarer til et nettovarmebehov på ca. 18 MWh/år og dermed tæt på landsgennemsnittet. Læs mere om projektet i Inseros rapporter herom. Installationerne er gennemført i et naturgas-område og i det åbne land, hvor varmeforsyningen *før* projektet fordelte sig på:

- 19 huse havde naturgasfyr,
- 11 oliefyr,
- én varmepumpe, samt
- ét pille fyr

25 huse har i projektet fået installeret Vølund's F2040 på 12 kW. Denne varmepumpe har ifølge Energistryelsens varmepumpeliste en SCOP på 4,05.

7 af bygningerne har fastholdt naturgasforsyning og suppleret med en Bosch CompressHybrid 5000 på 6kW, med en SCOP på 4.72. Her er der afprøvet en hybridløsning, hvor varmepumpen dækker bygningens varmeforbrug, mens naturgasfyret leverer varmt brugsvand samt spidst last.

Hovedparten af varmepumperne er installeret i Q4-2014 (det sidste dog 15.1.2015).

For 26 af disse varmepumper foreligger det komplette og fejlfrie målinger af såvel elforbrug og varmeleverance i perioden 16.1.2015 – 27.6.2015. Dette udgør datagrundlaget for nærværende rapport. 4 af disse anlæg kører i kombination med naturgasfyr. Perioden dækker ca. ½ fyringssæson

Undersøgelsens fokus

I Energinet.dk's analyse af varmepumper blev den gennemsnitlige faktiske COP opgjort til ca. 2,3, dvs. markant mindre end energimærkningen (jfr. i øvrigt ovenstående betragtninger herom).

Til forskel fra Energinet.dk's undersøgelse er varmepumperne i Insero demonstrationsprojekter genstand for en fortløbende overvågning og opfølgning på driften, baseret på online-registrering af varmeproduktion, elforbrug, temperatur inde og ude. Af samme grund må der forventes en bedre samlet effektivitet for Inseros portefølje af varmepumper. Selskabet har – som allerede nævnt - et naturligt incitament til at sikre en høj effektivitet, idet de sælger varmen og refunderer kundernes faktiske el-udgifter.

Til forskel fra konceptet '*Fjernvarme uden rør*' har Insero Energy dog ikke etableret en 'fjernstyring' af varmepumperne eller monitorering af varmepumpernes *interne* driftsdata. Timeafregning og mulighederne for spotprisafregning og styring er fravalgt i projektet idet net selskabets aktuelle tariffer for etablering af ekstra målere er højere end den mulige gevinst heraf. Konceptet er dog forberedt for dette.

4. Analyser

I det følgende beskrives og kommenteres de enkelte analyser. Hvert punkt indledes med et spørgsmål, eller en præcisering af formålet med den pågældende opgørelse. Resultaterne baseres på de enkelte varmepumpe-installationer, dog således at identiteten af de enkelte huse ikke røbes.

Akkumuleret COP-værdi – og fordeling på de enkelte anlæg

Hvor effektiv er varmepumpernes samlede varmeproduktion?

For de 22 varmepumper i Inseros demonstrationsprojekter, hvor varmen udelukkende produceres på varmepumpen, er den samlede COP for 'porteføljen' **2,56** ($= \frac{\sum \text{samlet varmelevering}}{\sum \text{elforbrug}}$ for det 22 anlæg under ét), opgjort for hele perioden, dvs. 16.1.2015 – 27.6.2015.

Dette nøgletal - for hele populationen - dækker dog over betydelige forskelle de enkelte anlæg imellem. I **Tabel 1** vises COP-værdien for de 22 varmepumper, som her er sorteret efter faldende COP.

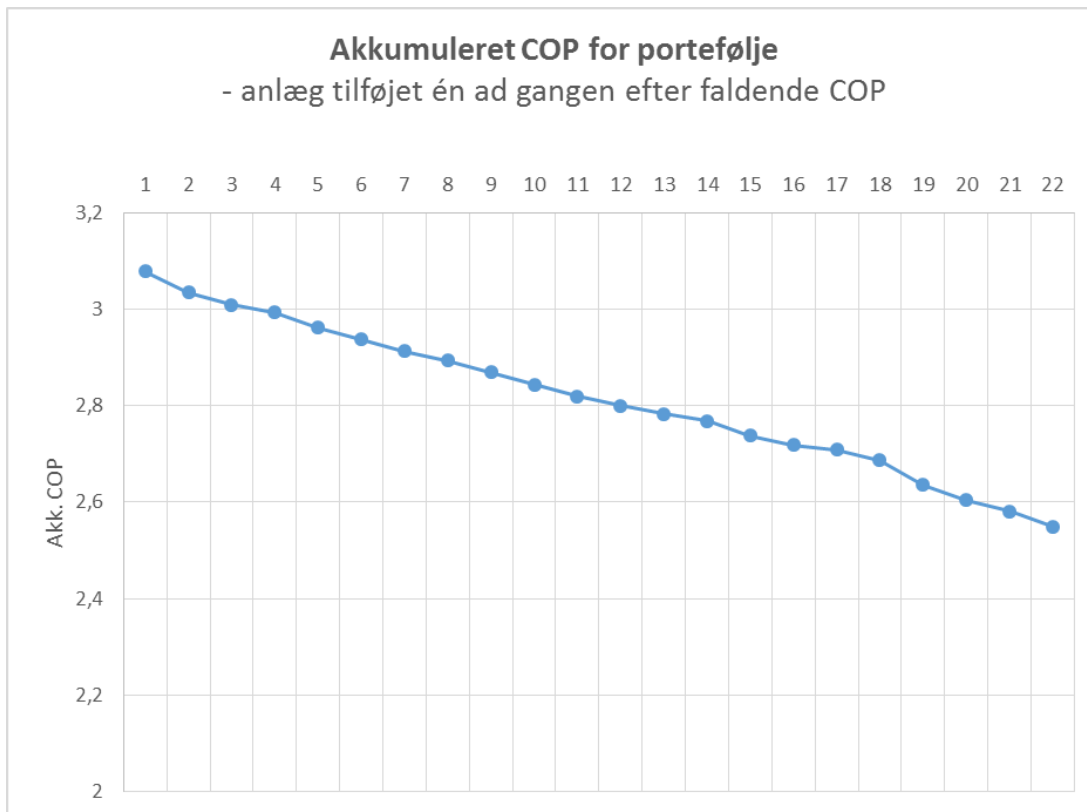
| VP-nr. | COP |
|--------|------|
| 1 | 3,08 |
| 2 | 3,01 |
| 3 | 2,98 |
| 4 | 2,96 |
| 5 | 2,82 |
| 6 | 2,81 |
| 7 | 2,78 |
| 8 | 2,75 |
| 9 | 2,69 |
| 10 | 2,67 |
| 11 | 2,64 |
| 12 | 2,55 |
| 13 | 2,52 |
| 14 | 2,52 |
| 15 | 2,46 |
| 16 | 2,43 |
| 17 | 2,41 |
| 18 | 2,35 |
| 19 | 2,23 |
| 20 | 2,06 |
| 21 | 2,04 |
| 22 | 2,00 |

Som det fremgår af tabellen til venstre har knap 1/3 af varmepumperne en effektivitet på under 2,5. Dette ligger markant under de pågældende varmepumpers mærkning. For projekt 'salg af varme' hvor en udbyder sælger varmen til en fast pris og selv bærer det økonomiske tab, er den lave energiudnyttelse for dele af 'porteføljen' en udfordring.

Ovenstående tabel illustrerer, vigtigheden af, at overvåge de enkelte anlæg samt undlade at installere varmepumper i bygninger, hvor varmepumpernes muligheder for energieffektiv varmeforsyning kun i begrænset omfang kan udnyttes.

Tabel 1: COP for de enkelte anlæg

I **Figur 1** på næste side er den akkumulerede COP beregnet ved at 'porteføljen' først består af det mest effektive anlæg, hvorefter der tilføjes ét anlæg ad gangen. Grafen illustrerer dermed betydningen af at undgå mindre egnede bygninger, hvis der skal opereres med en samlet høj effektivitet for hele puljen.



Figur 1: Akkumuleret COP for portefølje, hvor anlæg tilføjes efter faldende COP

Hvis projektet kun omhandlede den bedste halvdel, vil den samlede energieffektivitet (COP) stige fra 2,56 til 2,8,

Fremløbstemperatures betydning for COP

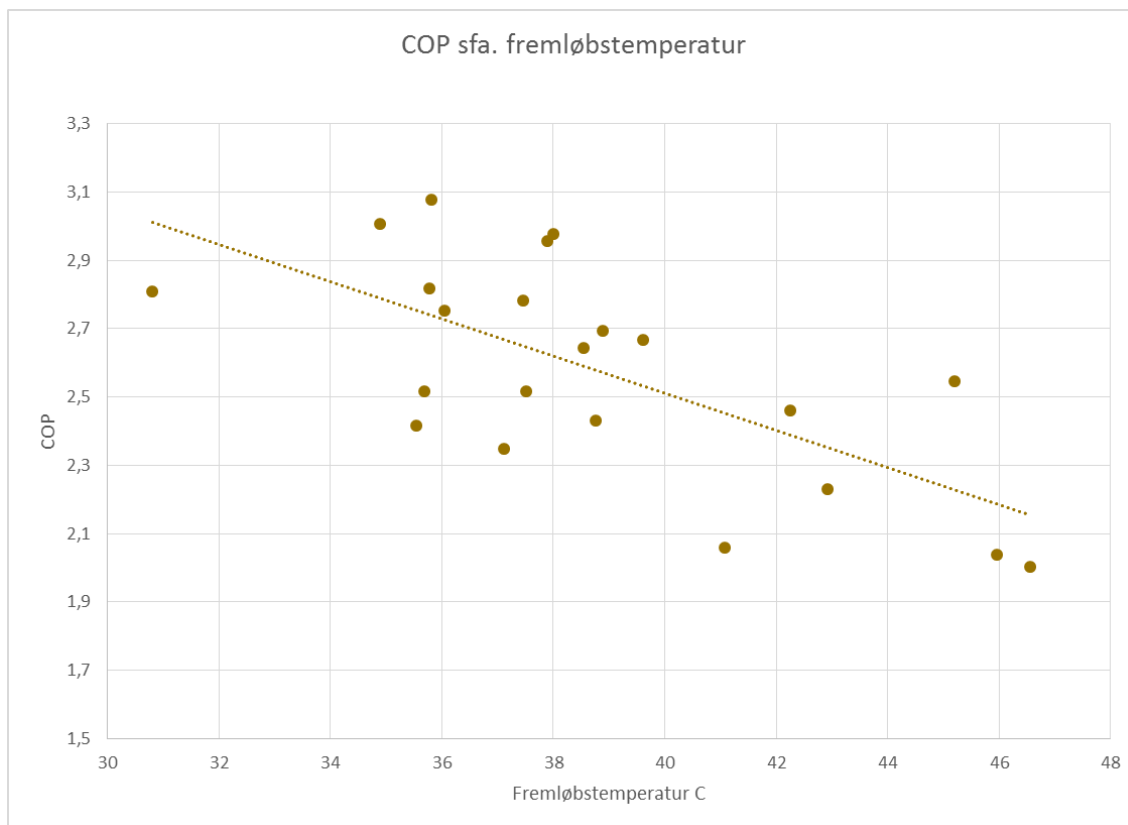
Er centralvarmens krav til fremløbstemperatur afgørende for varmepumpenes effektivitet?

Den generelle 'lære' er, at varmepumpenes effektivitet falder ved stigende krav til fremløbstemperatur. I dette perspektiv er huse med gulvvarme ideelle kunder for projekter såsom 'salg af varme'. Omvendt er bygninger med underdimensionerede centralvarmesystemer og bygninger med et højt varmtvandsforbrug noget der kan udfordre den samlede effektivitet og økonomi.

I **Figur 2** på næste side er COP for de enkelte anlæg sammenholdt med de pågældende anlægs gennemsnitlige fremløbstemperatur i perioden 15.1 – 27.6.

Figuren illustrerer ganske klart at stigende fremløbstemperatur får effektiviteten til at falde. Dette understreger nødvendigheden af, at en udbyder – i lighed med almindelig fjernvarme – opererer med nogle klare tekniske leveringsbestemmelser.

Omvendt kan der overvejes særligt favorable afregningsvilkår for huse der kan nøjes med lave fremløbstemperaturer - f.eks. med gulvvarme.



Figur 2: COP som funktion af anlæggets gennemsnitlige fremløbstemperatur

Varmt brugsvand

Vil adskilt produktion af varme og varmt brugsvand kunne forbedre energieffektiviteten?

I det indledende afsnit 2 *Baggrund* er varmepumpernes særlige udfordringer ved produktion af varmt brugsvand beskrevet. Fremløbstemperaturen er typisk højere for det varme brugsvand, hvortil kommer at det kan være vanskeligt at optimere varmeproduktionen, når varmepumperne - med meget kort varsel - skal levere det varme vand.

I Stenderup har 7 huse fastholdt deres naturgasfyr og suppleret med en mindre varmepumpe (6 KW). Idéen er at teste om de to varmekilders forskellige 'styrker' kan give nogle fordele. Varmepumpen kan levere effektiv rumvarme og alene indrette sin styring herpå, mens naturgasfyret enkelt og hurtigt kan levere varmt brugsvand.

For de 4 kombinerede anlæg, hvor der foreligger komplette og ikke fejlbehæftede data, er den samlede energieffektivitet for varmepumpe og gasfyr opgjort til 2,13. Dette kan umiddelbart forekomme lavt, sammenholdt med de øvrige varmepumpeløsninger. Bemærk dog at dette nøgletal inddrager fyrets naturgasforbrug. Gasfyr har en typisk virkningsgrad på ca. 100% (kondenserende kedler).

Hvis man trækker naturgassen og dets varmelevering fra, har de fire varmepumper under ét en samlet COP hele **3,6**. Dette indikerer, at varmepumper kan levere højere effektivitet når de alene skal producere varme, og ikke 'forstyrres' af en efterspørgsel efter varmt brugsvand. For god ordens skyld skal det dog bemærkes at det her er en anden varmepumpe end i de 'rene' varmepumpe-løsninger.

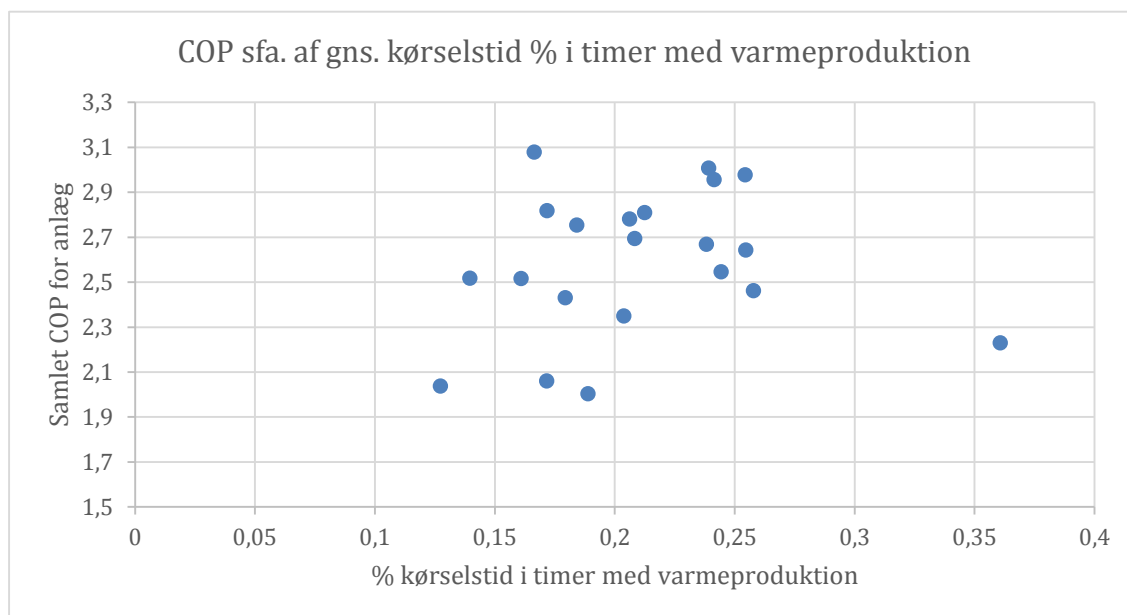
Varmepumpernes driftstider

Har varmepumper med få start og stop en højere effektivitet end dem med hyppige start og stop?

De optimale driftsforhold opnås i teorien, hvis varmepumpen har få men lange produktionsperioder, således at der kan etableres stabile driftsvilkår, og effekten 'koldstart' minimeres. Energinet.dk's analyse af varmepumper påviste at varmepumperne havde mange stop og start, og dette blev udpeget som en af årsagerne til den lave samlede effektivitet.

For de 22 'rene' varmepumper er ovenstående undersøgt, ved at analyse de timer hvor de enkelte varmepumper har leveret varme. Den gennemsnitlige driftstid for disse 'aktive' timer er beregnet og sat over for de pågældende varmepumpers COP.

I **Figur 3** er 5 kørsel i timer med varmeproduktion vurderet ift. anlæggenes samlede COP.



Figur 3: COP som funktion af anlæggets relative driftstid % i timer med varmeproduktion

Grafen indikerer – med en enkelt markant undtagelse - at varmepumper med længere produktionsperioder, opnår en højere COP. Bemærk at figuren viser den akkumulerede COP for de pågældende anlæg i hele analyseperioden, dvs. fra den 16.1.2015 - 27.6.2015.

Varmepumpernes styring har svært ved at selv planlægge lange produktions- og hvileperioder, da den indbyggede styring ikke råder over vejrprognoser, nøgle- og erfaringstal fra lignende driftssituationer. Hertil kommer at styringen er underlagt kravet om at hurtig kunne levere varmt brugsvand. Disse forhold går ud over den samlede effektivitet.

Konceptet 'Fjernvarme uden rør' har taget konsekvensen af ovenstående, og arbejder med fortløbende informationsudveksling imellem varmepumpe og en Cloud-baseret analyse- og styrefunktion. Dette koncept inkluderer det kommende døgn's priser på el og el-transport, hvilket bruges til at undgå de timer hvor el-leverancer er dyrest, under gyldig hensyn til at brugerne får den aftalte varmekomfort.

Elforbrugets døgnfordeling – skift til time spot-afregning?

Er det økonomi i at skifte til spotprisafregning?

Almindelige forbrugere afregnes efter en skabelon, der afspejler de varierende timepriser og en forudsat elforbrugsprofil. Over for dette står, at varmepumper generelt har en større andel af sit forbrug på tidspunkter der ligger uden for de typiske spidslastperioder.

En række projekter har undersøgt økonomien ved at varmepumper leverer fleksibelt elforbrug, hvor varmeproduktionen søges placeret uden for de dyreste el-spot timer. Den samfundsmæssige værdi heraf er ikke særlig stor i dag, og i forskellige sammenhænge beregnet til ca. 500 – 1.000 kr. per år.

Men selv om varmepumpen *ikke* styres med henblik på at flytte elforbruget over tid, kan det muligvis være en gevinst ved at rent privat/selskabs-økonomisk skifte afregningsform fra skabelon til spotpris. Energinet.dk (Kim Behnke) oplyste på nogle år siden, at værdien for en varmepumpe-ejere der overgik til spotafregning kunne imødesee en besparelse på selve elregningen på ca. 1.000 kr.

For at anslå den aktuelle værdi, er døgnfordelingen for Inseros varmepumper samkørt med spotpriser for døgnet 24 timer, for første halvår i 2015. Den relative fordeling af varmepumpernes elforbrug på døgnet timer, er sammenholdt den samlede el-leverance (DK-Vest) og spot-timeværdier.

Resultatet at ovenstående regneeksempel er, at skift fra spotpris ud fra el-systemets *samlede* forbrugsfordeling (ikke husholdningernes) til varmepumpernes *egen* døgnfordeling vil reducere spotprisbetalingen med ca. 4% (data og priser for forår 2015).

For god ordens skyld skal det bemærkes, at regneeksemplet er forenklet, hvor husstandens forbrugsfordeling ikke er identisk med den samlede forbrugsfordeling.

Hertil skal bemærkes, at varmepumper der styres mhp. på færre - men længere - produktionsperioder vil forbedre økonomien. Aktiv styring udenom timer med høje spot-timepriser vil selvsagt kunne nedbringe den samlede el-betaling, som beskrevet i Energinet.dk's projekt.

COP-værdier i et energisystem perspektiv

Er det vigtigt at varmepumpen er effektiv når al strøm på sigt er grøn?

De ovenfor beskrevne beregninger peger i retning af, at hensigtsmæssig dimensionering, overvågning og aktiv styring (samspil imellem varmepumpe og Cloud-løsning med yderligere informationer) vil kunne hæve varmepumpernes effektivitet. Dette forudsætter, samtidig at der vil være huse der afviser indtil de har sikret at bygningernes installationer reelt er egnede for denne forsyningsform.

Hvis der omvendt *ikke* kommer fokus og systematisk opfølgning, er der en betydelig risiko for at effektive varmepumper ikke udnytter den indbyggede energieffektivitet fuldt ud, fordi det ikke er en aktør der sikrer at husejerne får det bedste ud af de teknologiske muligheder.

Set i relation til en forestående stor udbredelse af varmepumper har dette nogle klare implikationer for el-systemet og i relation til Danmarks og energisektorens energi-sparemål.

Regneeksempel.

Lad os antage at Danmark laver et samlet fremstød og får etableret 100.000 varmepumper med et gennemsnitligt årligt nettovarmebehov på 15.000 kWh per bygning.

Scenarie A svarer til koncept 'salg af varme', hvor der via overvågning sikres en gennemsnitlig COP på 3. Selve udrulningen vil introducere et nyt elforbrug med en elkapacitet på ca. 1.000 MW. Elforbruget vil være udgøre ca. 600 GWh per år og påføre forbrugerne en årlig elregning på ca. 1 mia. kr.

En regulerbar forbrugsportefølje på 600 MWh årligt vil på sigt kunne få en stor værdi i el-systemet, og medvirke til at løse flaskehalseproblemer i såvel el-systemets produktions- som distributionsled.

Scenarie B svarer til de nuværende markedstilstand, hvor den enkelte bruger køber varmepumper og betaler for det faktiske forbrug, uden de store muligheder for at overvåge og optimere driften. Hvis der her antages den samme energieffektivitet som i Energinet.dk's analyser, nemlig en COP på 2,3, betyder dette at energisektoren går glip af en el-besparelse på 180 GWh, og at varmemeforbrugerne påføres en ekstra årlig elregning på knap 300 mio. kr. årligt.

Svaret på ovenstående spørgsmål er således, at grøn strøm er et dyrt produkt som skal bruges uden spild, og et effektivt og fleksibelt forbrug af denne knappe ressource baner vej for mere grøn strøm, og sparer forbrugere og samfund for en stor og unødvendig udgift.

Forslag til forudsætninger til de økonomiske beregninger

I konsortiet er det aftalt at EXERGI Partners skal opstille COP-forudsætninger til brug af de økonomiske analyser som EA Energianalyse skal gennemføre.

Med udgangspunkt i de ovenfor gennemførte analyser baseret på Inseros data, foreslås at der laves følsomhedsanalyser med hhv. en høj og en lav COP.:

| Koncept | COP - Lav | | COP - Høj |
|--|------------------|---|------------------|
| 'Fjernvarme uden rør' /Energy services | 2,8 | - | 3,0 |
| 'Nærvarme' /Stenderup | 2,6 | - | 2,8 |
| Leasing/OK | 2,4 | - | 2,6 |

Forskelle i COP skyldes de tre koncepters forskellige ambitionsniveauer mht. at måle, overvåge og styre varmepumperne. Intervallerne knytter sig til forventet storskalaeffekt, og ligger derved lidt over de værdier der kendes fra det aktuelle måleprogram og den tidligere analyse under Energinet.dk.

5. Resultater

Analyserne i det foregående afsnit giver nogle klare indikationer til hvordan varmepumpernes indbyggede muligheder for effektiv energiproduktion kan udnyttes bedre end i dag.

Den *første* erkendelse er, at mærkning af varmepumper og varmepumper i drift hos virkelige kunder er to forskellige verdener. Det er ikke nødvendigvis noget galt med test og varmepumper, men forbrugerne ville være langt bedre klædt på, hvis test og garantier knyttede sig til faktiske driftsforhold.

Den *anden* konklusion er, at varmepumper ikke er et godt tilbud til alle huse. Bygningens tekniske installationer skal have en hensigtsmæssig udformning og være kendt/dokumenteret over for den udbyder og installatør der tilbyder en varmepumpe-løsning, således at varmepumpen indstilles korrekt ift. anlæg og bygning.

Hvis *mindre egnede og klart uegnede* huse indgår i en samlet pulje, vil denne uvægerligt få en samlet lavere effektivitet, hvilket analysen af Inseros varmepumper illustrerer.

Det *tredje* resultat er ikke nyt, men en vigtig reminder. Varmepumper er gode til at levere varme ved lavere temperaturer, og skal holde sig på denne boldbane. Når varmepumper 'presses' til at levere højere temperaturer, pgra. u hensigtsmæssige installationer m.v., udfordres varmepumpens indbyggede muligheder for at levere varme med et lavt elforbrug.

For det *fjerde* er varmepumpernes 'bundne' opgave med at både levere *varme og varmt brugsvand* en mindre heldig cocktail, der forringer muligheden for lav fremløbstemperatur og smart styring. I denne rapport illustreret ved at hybrid-løsning, hvor gasfyr stod for levering af det varme brugsvand gav varmepumperne er forbedret COP.

Det *femte* kendsgerning er, at forbedret styring baseret på flere informationer synes være det nødvendige 'kit' der skal sikre at varmepumpernes muligheder for høj effektivitet udnyttes i praksis. Her er det oplagt at inddrage viden og 'læring' om bygningens dynamiske energiegenskaber, brugsmønstre såvel som vejr- og elpriser-prognoser.

For det *sjette* kan der atter konstateres, at varmepumper vil blive en vigtig del i det fremtidige el-system, med fleksibelt elforbrug og Smart Grid-ydelser men også, at den økonomisk gulerod aktuelt er lille.

For det *syvende* og sidste, er spørgsmålet om varmepumpers faktiske effektivitet ikke 'kun' kritisk når forbrugerne skal overbevises om at vælge varmepumper. En manglende teknologisk løft, hvad angår varmepumpers *faktiske* effektivitet, vil medføre et betydeligt strømspild der skal kompenseres med en forstærket energispare-indsats, og udstille paradokset med at ikke alle energibesparelser følges til dørs.

Hertil kommer selvsagt, at dårligt fungerende og integrerede varmepumper spilder såvel forbrugernes som samfundets midler.

6. Afrunding

Demonstrationsprojektet blev sat i værk for at teste om *'salg af varme'* ville virke i praksis, appellere til forbrugerne, samt levere et koncept der for alvor kunne få gang i udfasningen af oliefyr i områder uden mulighed for kollektiv forsyning. Fra myndigheds side havde konceptet den fordel, at det var markedsbaseret og uafhængigt af fremtidige tilskudsordninger.

En vigtig konklusion fra analyserne er, at der *ikke* kan gives en garanti for en varmepumpes faktiske effektivitet hos en kunde. Det er så mange mulige årsager til at resultatet kan blive ringere end forventet, når man installerer en effektiv 'motor' i en bil, hvor kun få specifikationer er kendte.

Omvendt er dette et rigtig godt argument for at energiselskaber, installatører og varmepumpeproducenter bliver services-udbydere og tilbyder netop *'salg af varme'*. Hvad der ikke kan garanteres på husstands-niveau kan netop garanteres for en 'pulje' af varmepumper, hvor vi er over i velkendte koncepter for risikohåndtering, læs forsikrings-koncepter og grundlaget for investerings porteføljer.

Nogle af demonstrationsprojektets parter har tidligere udarbejdet en rapport for Energistyrelsen om et forretningskoncept for salg af varme. Her var fokus på fjernvarmeselskaberne som de oplagte aktører til at sælge varme fra individuelt placerede varmepumper som netop *'fjernvarme'*, men det kan i princippet være en vilkårlig operatør der nyder kundernes tillid. . Essensen er, at storindkøb og samordnet drift vil kunne sikre væsentligt lavere omkostninger, højere effektivitet og Smart Grid-ydelser.

Det blev i denne oprindelige rapport argumenteret for, at disse stordriftsfordele og miljøgevinster kunne begrunde en ændring af lov om varmeforsyning, således at fjernvarmeselskaber fik mulighed for at tilbyde *'salg af varme'* fra varmepumper som en del i den almindelige fjernvarmedrift.

Resultaterne fra dette projekt viser gode resultater, med bl.a. en forbedring i energieffektiviteten på ca. 10 pct. (2,56 vs. 2,3) ift. til 'ukoordineret' drift i et af projekterne. Omvendt må det konkluderes, at projektet endnu ikke har leveret de 'tunge skyts' til lovgivere om at der nu findes færdige forretningskoncepter der kan sikre en væsentligt bedre energiøkonomi sammenholdt med markedets øvrige tilbud. Det skal således mere konceptudvikling til, før der kan hævdes, at der er tilbud der markant forbedrer rammerne for den videre varmepumpedrift, og som baner vej for en nyfortolkning af kollektiv varmeforsyning, hvor koordineret *'salg af varme'* er markant bedre end individuel drift.

I lyset af udfordringens omfang – udfasning af oliefyr – er det dog al grund til at offentlige og private aktører arbejde videre med at udvikle koncepter der giver forbrugere og samfund den fulde værdi af en energi-effektiv varmepumpe-teknologi som rummer store potentialer, men endnu ikke har slået helt an.

Forbehold for efterfølgende analyser udført af Insero Energy

Efter sidste deadline har OK fremsendt data for 15 af de 40 varmepumper som Energistyrelsen har givet tilskud til. I kraft af den sene fremsendelse samt mangelfulde data og dokumentation (jfr. Bilag Dataspecifikation) indgår disse data *ikke* i nærværende rapport.

Insero Energy har valgt at beregne COP for OK's 15 anlæg *uden* at korrigere får årstid eller dokumentere udvælgelsesmetode (15 af 40 installationer). Insero har samtidig valgt at genberegne COP for egne anlæg og nået til det samme resultat som i denne analyse, nemlig en COP på 2,6.

EXERGI Partners tager forbehold for Insero Energys analyser, og fastholder at EA Energianalyses økonomiske vurderinger, som oprindeligt aftalt, skal baseres på denne delrapports analyser.