

# Havvandsbaseret varmepumpe bliver hjertet i fremtidens fjernvarmeforsyning i Esbjerg

Den nye varmepumpe bliver omdrejningspunktet i et nyt grønt sammensat forsyningssetup på havnen i Esbjerg. Grundig sammentænkning af det samlede setup på et tidligt tidspunkt har været kernen i at opnå optimal synergi både i varmeforsyningen og i støtte til elnettet.

**HAVVANDSVARMEPUMPE** Som et led i den danske udfasning af kul gav Energistyrelsen i slutningen af 2019 Ørsted tilladelse til, at Esbjergværkets blok 3 lukker senest den 1. april 2023. Dermed modtog DIN Forsyning en stor udfordring for at finde erstatning til de ca. 50 procent af fjernvarmen, som Esbjergværket leverer til forbrugerne i de større byer i Esbjerg og Varde kommuner samt i Nordby på Fanø.

I en dybtgående teknisk/økonomisk analyse af løsningsmulighederne var flere muligheder i spil, bl.a. større anlægsløsninger i form af et nyt biomassefyret kraftvarmeværk hhv. et nyt affaldsfyret kraftvarmeværk. Løsningen blev en mere sammensat løsning baseret på en række mindre anlæg.

Analyserne blev påbegyndt allerede tilbage i 2017. På dette tidspunkt var der behov for at få afklaret mu-

lighederne hos myndighederne for at sikre, at planen kunne gennemføres. Herefter fulgte et arbejde med at få dispensation fra kraftvarmebindingen, hvilket blev forudsætningen for, at den valgte løsning kunne realiseres.

Den udviklede plan, det såkaldte roadmap, er delt op i flere faser. Første fase består af et helt nyt produktions- og forsyningssetup på havnen i Esbjerg med 50 MW havvandsbaseret varmepumpe og 60 MW flisfyret varmekedel som de primære produktionsenheder – se figur 1.

De senere faser blev planlagt til bl.a. at inkludere decentralt placerede luftbaserede varmepumper, vel vidende at der over tid vil dukke nye muligheder op, f.eks. industriel overskudsvarme og PtX. Det er netop et bærende element i analysearbejdet og roadmappet at kunne gribe sådanne muligheder.

De primære faktorer for, at valget faldt på dette roadmap, var:

- Ønsket om en bæredygtig forsyning
- Ingen stigning i varmeprisen
- Ønsket om høj robusthed i drift på kort og på lang sigt
- Ønsket om høj robusthed og fleksibilitet i fremtidige investeringsmuligheder.

Roadmappet er fuldt i tråd med DIN Forsynings overordnede strategi med de tre ambitioner: intet spild, fossilfri

## OM FORFATTERNE



**KENNETH JØRGENSEN**

DIN Forsyning, er projektleder for realisering af projekt Fremtidens Fjernvarme inklusive modnings-, udbuds-, bygge- og idriftsættelsesfase af det samlede fase 1-projekt på havnen, som bl.a. inkluderer varmepumpe, flis kedel, elkedel og fjernvarmeombygning.



**CLAUS A. NIELSEN**

DIN Forsyning, er projektleder for idé- og analysefasen i projekt Fremtidens Fjernvarme inklusive politiske, strategiske, forretningsmæssige, tekniske og organisatoriske overvejelser samt udvikling af næste fase i Fremtidens Fjernvarme.



**TOMMY MØLBAK**

Added Values, er ansvarlig for Added Values' indsats i Fremtidens Fjernvarme. Added Values har deltaget i projektet lige fra start i 2017 med fokus på optimering af det samlede koncept og roadmap samt optimering af varmepumpesystemet.



Figur 1. Første fase af fremtidens fjernvarme i Esbjerg.

## Fase 1 kort fortalt

**Organisation:** DIN Forsyning er bygherre og har både den overordnede projektledelse og projektledelsen for en række underprojekter suppleret med en række specialister fra forskellige rådgivere.

**Delprojekter på havnen:** Ud over selve varmepumpen kører en række underprojekter vedr. bygninger, havvandsystem, fishåndtering, fliskedel, elkedel, eltilslutning, SCADA-system og økonomisk kontrolrum samt ombygning af fjernvarmetransmissionen.

### Vigtige milepæle:

- Vinter 2020/21: Kontraktindgåelse med hhv. varmepumpe- og fliskedelleverandør
- Efterår 2022: Idriftsættelse af varmepumpe
- Vinter 2022/23: Overlevering af varmepumpe og fliskedel til bygherre.

### Udvalgte anlægsleverandører:

- Varmepumpe: MAN Energy Solutions AG, Schweiz
- Fliskedel: KPA Unicon Oy, Finland.

værdikæde og fleksibel forretning.

Status lige nu er, at de store produktionsanlæg er ordret, og byggeriet på havnen er i fuld gang. Det gælder også ombygning af fjernvarmetransmissionen ud af havneområdet ("Ny Krone"), som skal muliggøre en mere differentieret og optimeret temperaturprofil ud mod de enkelte forbrugsområder.

### Varmepumpeudbud rettet mod driftssynergier og støtte til elnettet

I modningsfasen for fase 1-anlæggene ønsker DIN Forsyning at kunne høste maksimal synergi på tværs af produktionsanlæg og at kunne levere effektiv støtte til elnettet. Kravene indbygges direkte i udbudsmaterialerne.

Derfor har det haft høj prioritet at kunne forudsige og analysere den fremtidige drift meget detaljeret. Et eksempel for en årsberegning med optimering af driften på timebasis er vist i figur 2, hvor man bl.a. kan vurdere anlæggenes indbyrdes konkurrence og synergi samt vurdere mulighederne for at agere på systemydelsesmarkederne.

Med fokus på varmepumpen er der gjort flere forskellige konceptmæssige tiltag for at optimere driften.

Det inkluderer bl.a. driftsøkonomisk optimering af varmepumpens COP ved at variere afgangstemperatur, og dermed behov for variabel temperaturboosting, typisk fra fliskedlen, op til fuld akkumulatortanktemperatur. COP optimeres yderligere ved at udnytte det flerstrengede retursystem på transmissionssiden, så det koldeste returvand ledes til kondensatordelen af varmepumpen.

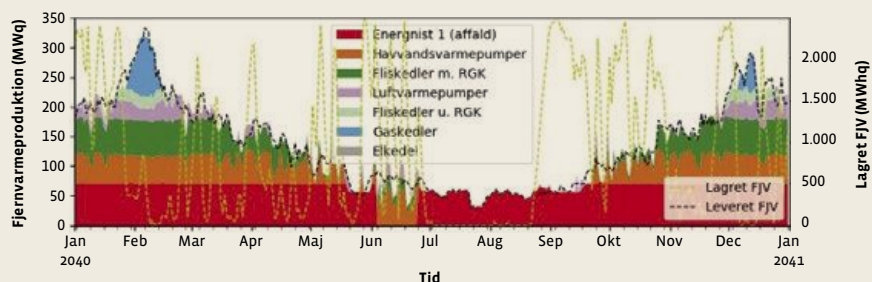
Et sidste eksempel er frostsikring af varmepumpens fordamperside ved kombineret udnyttelse af fjernvarmeretur og røggaskøling på fliskedlen. Denne kobling vil samtidig øge den tilgængelige varmepumpekapacitet i de helt kolde perioder. Samlet opereres altså med flere forskellige fjernvarmetemperaturniveauer internt på havneområdet.

Et anlægskoncept på havnen med varmepumpen i centrum, som kan tilbyde balanceydelse til elmarkedet, har haft høj prioritet fra starten. Dels for at understøtte de politiske ambitioner mht. sektorkobling, dels for at opnå et betydeligt bidrag til driftsøkonomien ad denne vej.

Desuden er der i dialogfasen foretaget tekniske/økonomiske analyser af forskellige muligheder, der er diskuteret med potentielle varmepumpeleverandører. Driftsegenskaber, der understøtter systemydelse, er indbygget som en del af den økonomiske evaluering i udbudsmaterialet, og det har været vigtigt at se varmepumpen i et samspil med andre anlæg, bl.a. f.eks. elkedlen.

For det første indeholder nogle af markedspladserne (FCR og aFRR) for nuværende symmetrikrav, dvs. at aktivering af ydelsen skal kunne foregå i begge retninger. Kombinationen af en varmepumpe kørende typisk i høj last og en elkedel typisk kørende i 0-last vil netop give denne symmetriske markedsmulighed.

For det andet kan der opnås en



Figur 2. Eksempel på fremtidig produktionsprofil hen over et år.

driftsdynamisk synergi mellem varmepumpe og elkedel. En varmepumpe har typisk en asymmetrisk dynamisk respons, hvor den er i stand til at lastreducere hurtigere, end den kan lastøge, og elkedlen kan anvendes til at give en aggregeret hurtigere respons.

Disse kombinerede driftsmuligheder har derfor resulteret i konkrete økonomiske og tekniske evalueringskriterier for varmepumpetilbuddene, f.eks. mht. meget hurtige lastændringer (FCR-markedet), hurtige lastændringer (aFRR-markedet) og minimumslast.

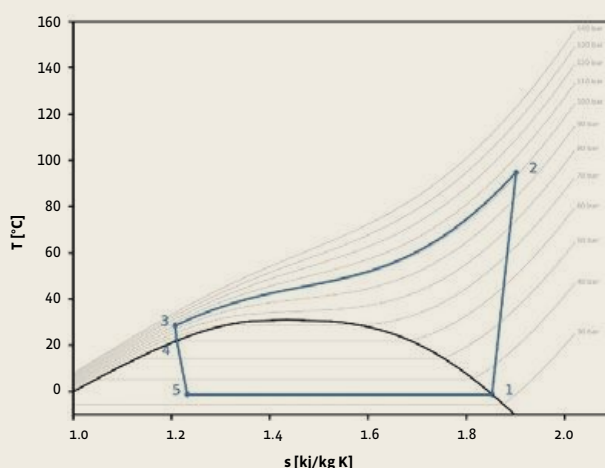
### Helt ny type CO<sub>2</sub>-baseret varmepumpe bygges

I januar i år indgik DIN Forsyning kontrakt med MAN Energy Solutions vedrørende levering af varmepumpen, og en af de nytænkende egenskaber for denne varmepumpe er, at kølemidlet er CO<sub>2</sub>. Med behov for afgangstemperaturer på fjernvarmesiden over 65 °C resulterer dette i en varmepumpe, der kommer til at køre i det overkritiske område som vist i T-s- og p-h-diagrammerne i figur 3.

Som illustreret i figur 3 kommer varmepumpen til at køre med et forholdsvist lavt kompressionsforhold sammenlignet med andre kølemidler, f.eks. R1234 og NH<sub>3</sub>. Det medvirker til, at hver af de to varmepumpelinjer kun indeholder ét kompressortrin.

Kompressorerne er frekvensstyrede turbokompressorer med magnetiske lejer, og således undgås udfordringer med lejekøling og smøroleolie i kølemidlet. Samlet resulterende i høj styrbarhed og lastfleksibilitet:

Anlægget kan levere høje afgangstemperaturer (fuldt fremløb), uden at det går voldsomt ud over COP, og dermed vil der være en høj grad af fleksibilitet i forhold til øvrige produktionsanlæg. Det vil f.eks. give



Figur 3. Eksempel på kredsproces for CO<sub>2</sub>-baseret varmepumpe. Sort kurve: CO<sub>2</sub>-mætningskurve, blå kurve: varmepumpekredsproces. Venstre: Temperatur-entropi-diagram, højre: tryk-entalpi-diagram

mulighed for mindre anvendelse af biomasse.

Anlægget kan præstere store og hurtige lastændringer, så der kan bydes ind på både FCR- og aFRR-markederne – specielt når driften samstyres med elkedlens muligheder for hurtige lastøgninger.

En yderligere fordel er, at CO<sub>2</sub> som kølemiddel giver færre udfordringer i forbindelse med lækager, både mht. afbødning af lækager og mht. driftsmæssig overvågning og indgreb. Det giver både driftsstabilitet og en miljømæssig gevinst. Havvandssystemet leveres som en række separate delentrepriser, hvor der delvist gøres brug af Esbjergværkets nuværende kølevandssystem.

### Grundighed i analyse- og modningsfasen

Projektet er det første af sin art, hvor forsyningen konverteres fra centraliseret produktion til en diversificeret sammensat anlægsportefølje. Dette resulterer i særdeles høj kompleksitet, og derfor har DIN Forsyning også valgt en fremgangsmåde, der baserer sig på "rettidig omhu"-princippet.

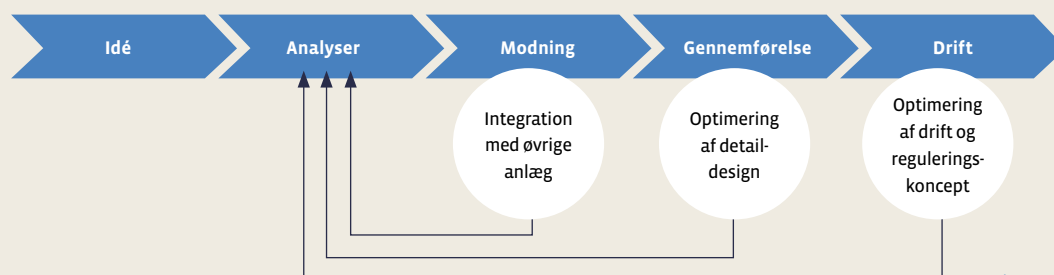
Ambitionen er at kunne sikre sta-

bil og effektiv drift, fordi konceptet allerede i analyse- og modningsfasen er optimeret i mange detaljer – som illustreret i figur 4.

Det betyder bl.a., at detaljer vedrørende integration med øvrige anlæg, detaildesign af kritiske/risikofyldte elementer og optimering af anlægs- og porteføljadrift i passende detaljeret grad allerede er taget i ed i analysefasen. Til at understøtte dette er anvendt avancerede modeller, herunder f.eks.:

- Tekniske/økonomiske systemmodeller til at optimere koncept, anlægsstørrelser og forretningsmæssige gevinster
- Dynamiske modeller til at verificere den forventede drift, undersøge kritiske driftssituationer samt optimere automatisering af både enkeltanlæg og den samlede portefølje.

Modellerne har ligeledes bidraget til at optimere de tekniske krav i udbudsmaterialet og til at kvantificere værdien af driftsegenskaber for de forskellige anlægsleverancer, og de anvendes fortsat til løbende at optimere og udvikle koncepter yderligere. ■



Figur 4. Det anvendte "rettidig omhu"-princip.