

70 MW HAVVANDSBASERET VARMEPUMPE I ESBJERG:

Klar til at levere systemydelser og produktion af grøn og billig fjernvarme

Det store varmepumpeprojekt i Esbjerg har tiltrukket betydelig opmærksomhed, siden aftalerne blev indgået i 2021 – og med god grund. Som den første af sin slags markerer den 70 MW havvandsvarmepumpe et modigt skridt mod fossilfri fjernvarme. Her deler vi interessante erfaringer fra anlæggets første driftsperiode; som for eksempel forberedelse til systemydelsesmarkederne.

Projektets baggrund og ambitioner

Den havvandsbaserede varmepumpe er en del af den nye produktionskapacitet for fjernvarme i Esbjerg og erstatter delvist den fossile varmeproduktion fra et 440 MWth kulfyret kraftvarmeværk (370 MWe). Dette Ørsted-ejede anlæg blev taget ud af drift i august 2024. Indtil da havde det leveret 50 procent af fjernvarmen til forbrugerne i Esbjerg, Varde og Fanø med et samlet forbrug på ca. 1.200 GWh/år.

Planlægningen af det nye produktionssetup blev påbegyndt i 2017. Resultatet blev en langsigtet investeringsplan, hvor fase 1 omfattede en 70 MWth havvandsbaseret CO₂-varmepumpe, et 60 MWth flisfyret kedelanlæg og et 40 MWth elkedelanlæg. Denne kombination af teknologier giver nemlig en balanceret optimering af minimale investeringsomkostninger, minimale driftsomkostninger og robusthed over for varierende brændsels- og elmarkedsforhold.

Denne unikke sammensætning af anlæg og implementeringen heraf er en væsentlig årsag til, at Dansk Fjernvarme netop har tildelt Fjernvarmeprisen 2025 til DIN Forsyning.

Investeringsplanen (et såkaldt roadmap) blev udviklet i tæt sam-

arbejde mellem DIN Forsyning og Added Values. Planen var baseret på detaljerede teknisk-økonomiske modelanalyser, hvor forsynings-sikkerhed, termisk effektivitet og driftsfleksibilitet blev prioriteret. Den samme model dannede grundlag for udbudsmaterialet til varmepumpen, som blev offentliggjort i efteråret 2020.

På dette tidspunkt var det vigtigt at anskaffe en varmepumpe med følgende egenskaber:

- Høj effektivitet (COP), især i vinterperioden
- Høj lastkapacitet i vinterdrift
- Høj driftsrobusthed (tilgængelighed)
- Stor fleksibilitet i elbelastning til systemydelser

En afbalanceret evaluering af disse fire kriterier var afgørende for, at kontrakten blev tildelt Everllence (tidl. MAN Energy Solutions).

Systemdesign og integration

Varmepumperne kan enten producere lav fremløbstemperatur (> 55 °C) eller fuld fremløbstemperatur (90 °C). Når det gælder den lave fremløbstemperatur, kan yderligere temperaturboost leveres af andre enheder, eller kondensatorafgangen kan shuntes til højere temperatur ved transmissions-

udgangen. Denne driftstilstand muliggør drift med forbedret COP. Den høje afgangstemperatur giver mulighed for direkte produktion til transmissionsnettet eller lagring i tanken til senere brug.

Ud over disse termiske synergier inkluderer varmepumpeløsningen også høj elforbrugsfleksibilitet. De to kompressorer giver op til 16 MWe kontinuerlig belastningsfleksibilitet til aktivering af systemydelser afhængigt af aktuel last og driftsforhold.

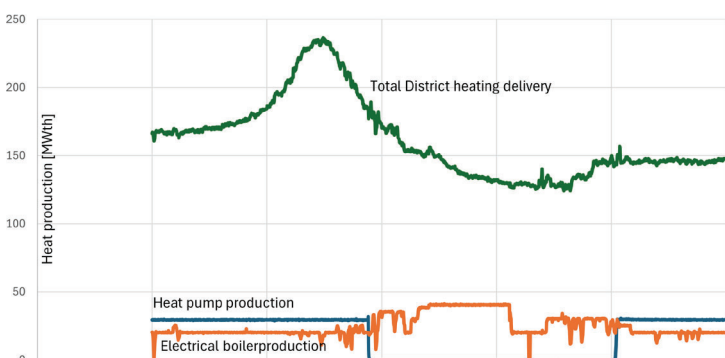
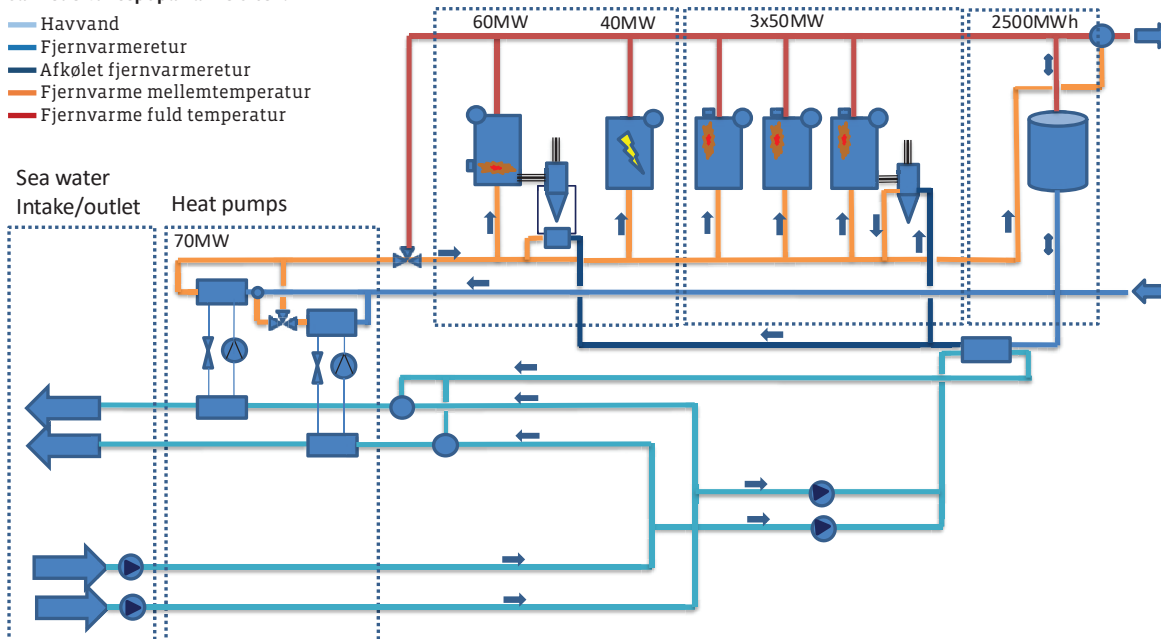
Figur 1 viser det overordnede samspil og synergier, som varmepumpen og de øvrige anlæg muliggør.

Havvandet, som bruges som varmekilde, ledes til de to fordampere fra de to havvandsindtag, og samtidig er det muligt at forvarme havvandet med fjernvarmereturvand. Sidstnævnte sikrer, at den fulde varmepumpekapacitet er tilgængelig selv ved meget lave havvandstemperaturer. Den nedkølede fjernvarmeretur giver samtidig mulighed for højere virkningsgrad på røggaskondensatoren på den flisfyrede kedel.

Lovende indledende drift af megavarmepumpen

Siden opstart og idriftsættelse har fokus hovedsageligt været på flad, stabil varmeproduktion pga. mangel

FIGUR 1: Illustration af det samlede koncept på havne-siten.



FIGUR 2: 24 timers driftseksempel på havnesiten.

på anden lavprisfjernvarmekapacitet. Derfor har driften hidtil primært været ved 90 °C ved kondensatorafgangen. Figur 2 viser et eksempel på et 24 timers driftsforløb.

I driftseksemplet producerer varmepumpe 1 ca. 30 MWth (10 MWe) hen over natten, mens den er stoppet i dagtimerne, samtidig med at elkedlen fortsat producerer i dagtimerne. Denne lastfordeling skyldes en kombination af lavt varmekonsum, meget lave elpriser og ønsket om at kunne levere systemydelse med elkedlen. Varmepumpe 2 (ikke vist) og affaldsforbrændingsanlægget (ikke

vist) var ligeledes i drift i det viste forløb, ligesom også afladning/opladning af akkumulatortanken har bidraget til den samlede viste varmeleverance ud af havnesiten.

Det er vigtigt at understrege, at det viste driftsforløb er foreløbigt og inden garantitesten af anlægget.

Godkendt af Energinet til systemydelse i DK1

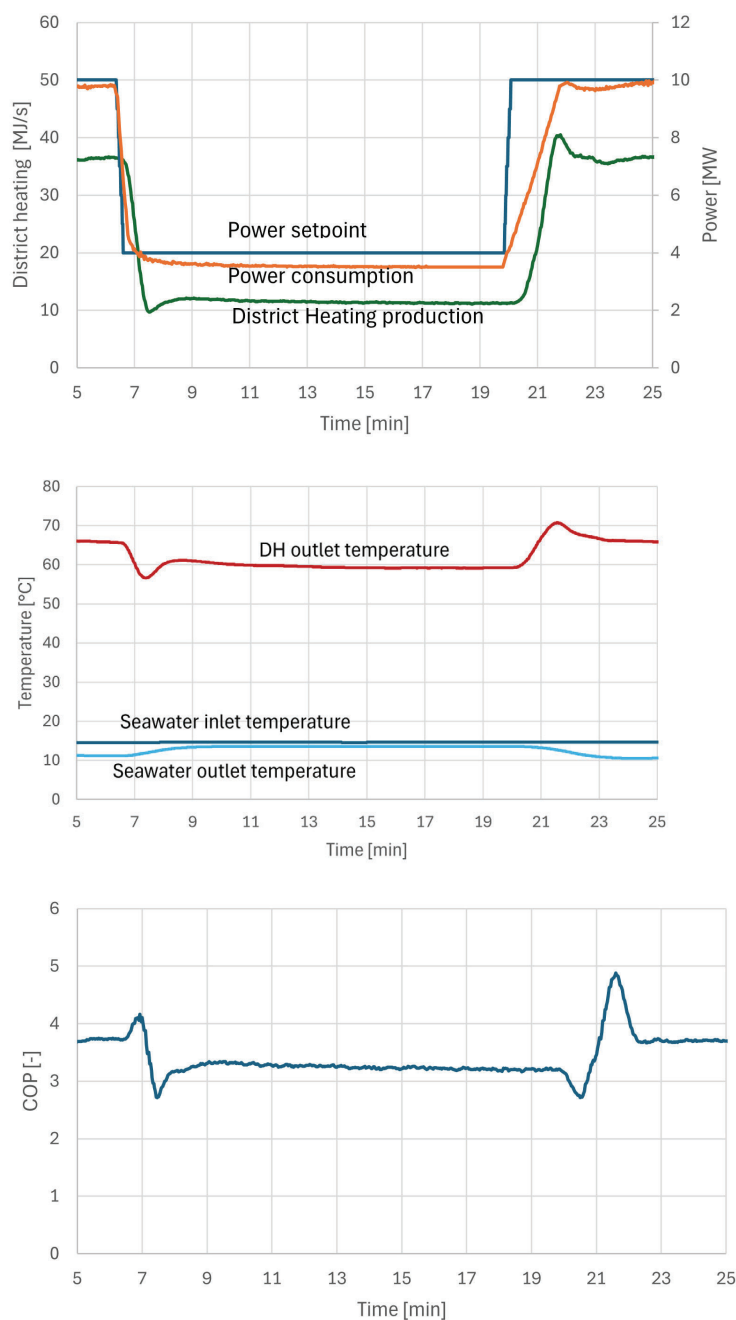
I udbudsfasen i 2020 havde det høj prioritet at anskaffe en varmepumpe med høj driftsfleksibilitet. Selvom fremtidig prissætning af systemydelse var ret usikker på udbuds-

tidspunktet, blev det prioriteret højt at evaluere de indkomne tilbud på evnen til at kunne levere systemydelse til at stabilisere elnettet.

Efter idriftsættelsen i efteråret 2024 og stabil drift gennem fyringssæsonen 2024/2025 blev varmepumperne testet til systemydelse på aFRR- og mFRR-markederne. Resultatet var godkendelse af 2 x 6,3 MWe for begge markeder. Testene viste, at varmepumperne kunne regulere mere end 6 MWe på under 1 minut i opregulering (lastreduktion) og under 2 minutter i nedregulering (lastøgning). Resultatet var en godkendelse på 2 x 6,3 MWe for både aFRR og mFRR. Et eksempel på test af lastdynamikken er vist i Figur 3.

Som det ses i den øverste del af Figur 3, var effektændringsresponsen meget hurtig. En særligt hurtig respons blev opnået i lastreducerende retning (opregulering på systemydelsesmarkederne), hvor ændring af ellasten var mere end 6 MWe på under ét minut. I lastforøgende retning (nedregulering på systemydelsesmarkederne) var reaktionen knap så hurtig – men stadig hurtig – og her kunne ellasten øges med mere end 6 MWe på under to minutter. Fjernvarmeproduktionen vil naturligvis være en tidsforsinket version af kompressor-





FIGUR 3: Test af hurtige lastændringer til systemydelser

» lasten som vist i den øverste del af figuren. Samlet set er disse reaktionstider mere end tilstrækkelige til kvalifikation på aFRR- og mFRR-markederne.

En vigtig observation under denne testsekvens er, at den generelle driftsstabilitet for varmepumpen og havvandssystemet ikke blev kompromitteret. Med andre ord blev der observeret en meget god dynamisk

stabilitet – som det eksempelvis kan ses på kondensatorens fjernvarme-fremløbstemperatur samt fordamperens havvandsindløbs- og -udløbstemperaturer vist i den midterste del af Figur 3.

Endelig blev COP-variationerne under sekvensen beregnet – se den nederste del af Figur 3. Den gennemsnitlige COP var 3,4 under sekvensen med visse dynamiske variationer

Måling	Varme-pumpe 1 + 2
Havvand indgangstemperatur	3,3 °C
Havvand afgangstemperatur	1,2 °C
Fjernvarme returtemperatur	33,1 °C
Fjernvarme fremløbstemperatur	90,0 °C
Fjernvarmeydelse	55,2 MWth
Elforbrug	19,9 MWe
COP	2,8

FIGUR 4: Performancemålinger over 2 timers drift (eksempel).

under lastændringer og et mindre steady-state fald ved overgang fra høj last til lav last.

Hvor stort er det økonomiske potentiale for systemydelser med varmepumpen?

Et simpelt økonomisk eksempel: Ved en kapacitetsbetaling på 300 DKK/MW/h og 2.000 driftstimer pr. år giver dette over 7 millioner kroner/år i kapacitetsbetaling alene. Aktiveringsbetaling for aFRR kommer yderligere oven i dette beløb.

I fremtiden vil yderligere optimering blive gennemført, så potentialet på systemydelsesmarkederne kan udnyttes endnu mere, herunder også FCR-markedet.

Fuld garantitest udestår

I henhold til kontrakten skal der gennemføres en gennemgribende garantitest, og denne udestår stadig. Kun dele af garantipunkterne er blevet testet indtil videre, herunder produktionskapaciteten ved maksimal fremløbstemperatur. De foreløbige erfaringer er dog lovende, for eksempel som vist under normal drift (konstant last) i Figur 4.

Som angivet i Figur 4 er den målte COP lavere end garantiværdien, som er op til 3,6 afhængig af det valgte lastpunkt. Her er det igen vigtigt at understrege, at måleværdierne er foreløbige eksempler.

Sikker drift af havvandssystemet

Havvandssystemet er en bygherreleverance og er designet af DIN Forsyning og Added Values. Der er lagt særlig vægt på tiltag mod fouling og frost. Vigtige elementer er et grisebaseret rensesystem til rør og auto-

matisk aflåsninger for at undgå frost i varmevekslerne. Disse systemer har fungeret som planlagt i de første seks måneder af driften – inklusive rensesgrisene vist i Figur 5.

Det er vigtigt at opretholde en sikker og effektiv drift af fordamperne, herunder at sikre en frostsikkerhedsmargin i shell-and-tube varmevekslerne. Til dette formål er der implementeret en lastreducerende automatik i kontrolanlægget, som aktiveres, hvis der opstår kritiske forhold for havvandstemperaturen.

Et eksempel på opstart af en af varmepumperne er vist i Figur 6. Under opstarten øges kompressorens elforbrug fra 0 MWe til ca. 5,5 MWe. Sætpunktet for fordamperudløbet beregnes som en funktion af hav-

vandets saltindhold med en sikkerhedsmargin på 2 °C fra den estimerede frysetemperatur.

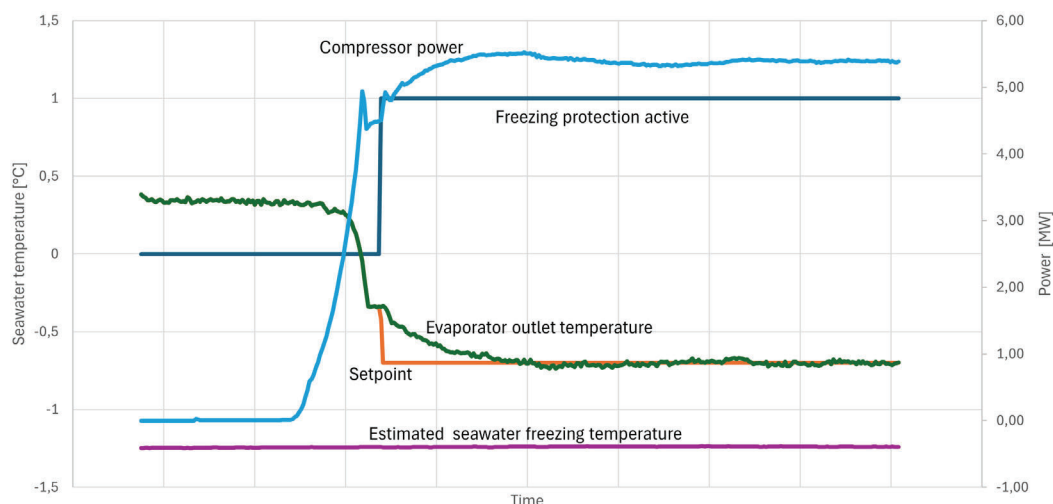
Flere fordele lige om hjørnet

I nær fremtid forventes den nye biomassefyrede fluidbed-kedel at være i fuld permanent drift. Det øger mulighederne for boostningssynergi og udnyttelse af varmepumperne på systemydelsesmarkederne i DK1.

De involverede parter i Esbjerg-projektet har en klar interesse i at dele erfaringer for at gavne fremtidige projekter. Denne artikel er derfor skrevet tidligt i anlæggets levetid, og yderligere rapporter vil blive offentliggjort, når de endelige garantitest er gennemført. ■



FIGUR 5: Modtagestation for rensesgrise



FIGUR 6: Driftseksempel til illustration af opstart af havvandssystem (1 times drift)

Fakta

Systemydelses-

marked	FCR	aFRR	mFRR
Også kendt som	Primær reserve	Sekundær reserve	Tertiær reserve
Aktivering	Automatisk	Automatisk	Manuelt
Responstid	30 sekunder	5 min	12½ min
Varighed	Kort tid (op til 15 min)	Middel	Lang
Formål	Hurtig frekvensstabilisering	Genetablere frekvensen	Genetablere reserver eller håndtere ubalancer

I tabellen ovenfor er de enkelte systemydelser for at opretholde 50 Hz i elnettet i DK1 kort forklaret. De enkelte systemydelsesmarkedspladser består både af et kapacitetsmarked (effekt) og et aktiveringsmarked (energi).

Yderligere information

- Heat pump details, compressor technology and plant erection:

Everllence, Raymond Decorvet
Raymond.decorvet@everllence.com
+41 79431 8559

- Plant design, power integration and district heating integration:

Added Values, Tommy Mølbak
tmo@addedvalues.eu
+45 2447 9544