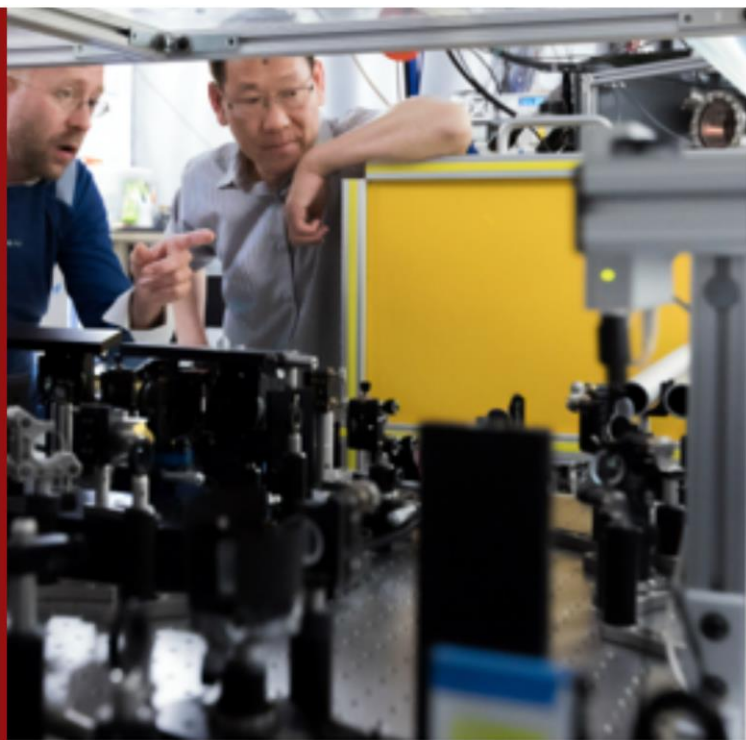




Roadmap for elektrificering i Danmark

Case stories



Februar 2020

Udarbejdet af:

Ea Energianalyse
Gammeltorv 8, 6 tv.
1457 København K
T: 88 70 70 83
E-mail: info@eaea.dk
Web: www.eaea.dk

Indhold

1. Indledning.....	4
2. Erfaringer med elektrificering	5
2.1 Udvalgte cases	5
2.2 Konklusioner og gode råd	5
3. Individuel opvarmning	7
3.1 Best Green.....	7
4. Fjernvarme	11
4.1 Sig Varmeværk	11
4.2 Broager Fjernvarme	15
4.3 Kalundborg Forsyning	19
5. Industri	23
5.1 Hybalance.....	23
6. Transport.....	27
6.1 Elfærger i Hordaland Fylkeskommune	27
6.2 Elbiler i Høje Taastrup	31
6.3 Elbusser i København	35

1. Indledning

Ea Energianalyse har i perioden december 2018 – februar 2020 for Energifonden gennemført en analyse med følgende formål:

At undersøge muligheder og udfordringer samt klimaeffekter af en markant øget elektrificering af det danske energiforbrug samt at konkretisere dette i en praktisk Elektrificeringsroadmap, der kan inspirere beslutningstagere og aktører til aktiv handling.

Projektet indeholder tre delopgaver:

- Litteraturstudie vedrørende muligheder for elektrificering
- Case-studier af konkrete projekter omkring elektrificering
- Modelanalyser af scenarier for elektrificering af det danske og europæiske energisystem

Analysens overordnede resultater og hovedkonklusioner er beskrevet i en særskilt hovedrapport med resumé af analyser samt udfordringer og virkemidler. Derudover er der udarbejdet en baggrundsrapport for hver af de tre delopgaver. I denne baggrundsrapport beskrives erfaringer med elektrificering for ni case stories.

2. Erfaringer med elektrificering

2.1 Udvalgte cases

Som en del af projektet er der udvalgt ni detaljerede danske og internationale elektrificeringscases. Kun otte af disse cases er vist i denne rapport, da en industricase ikke ønskede offentliggørelse på dette tidspunkt. Der er fokus på fire hovedområder: industri, transport, fjernvarme og individuel opvarmning, og hvert hovedområde er repræsenteret med en eller flere cases. De udvalgte cases tager udgangspunkt i konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes og beskriver drivkræfter, barrierer, risici, rollefordeling, teknologi, økonomi, herunder incitamenten som afgifter og tariffer. Udenlandske projekter relateres til en dansk kontekst, hvor der konkluderes på, hvad der kunne have lettet processen.

Case-studierne har til formål at oplyse og inspirere aktører inden for de fire hovedområder, så der kan drages nytte af erfaringer og råd fra tilsvarende projekter. Derfor er historierne valgt på baggrund af om disse har været en succes, har tilstrækkelige driftserfaringer til at kunne videregive råd, samt at de skal kunne ses i en dansk kontekst.

Nedenstående Tabel 1 giver et overblik over de behandlede case stories.

Case stories anvendt i projektet	
Individuel opvarmning	
Feriecenter Bønnerup Strand og Best Green	Erstattet gammelt oliefyr med en hybridvarmepumpeløsning fra Best Green, som nu opvarmer deres 154 ejerlejligheder, indendørspool, aktivitetsrum, m.m.
Fjernvarme	
Sig Varmeværk	Har udskiftet naturgasbaseret fjernvarmeproduktion med en luft-vand varmepumpe.
Broager Fjernvarme	Elektrificeret deres varmeproduktion ved idriftsættelse af en grundvandsvarmepumpe.
Kalundborg Fjernvarme	Har etableret spildevandsvarmepumpe til forsyning af Kalundborg med fjernvarme.
Industri	
HyBalance	Elektrolysens anvendelse til balancering af elnettet og lagring af vedvarende energi som brint, til brug som bæredygtigt brændstof i transport- og industrisektoren.
Transport	
Elfærger i Norge	Hordaland Fylkeskommune har erstattet 20 diesel-færger med elfærger.
Elbiler i Høje Taastrup Kommune	Høje Taastrup Kommune har udskiftet størstedelen af den kommunale bilflåde med elbiler.
Elbusser i København	Københavns Kommune har haft succesfuld forsøgsordning med elbusser og indførte i december 2019 fast drift med elbusser på to buslinjer.

Tabel 1: Overblik over case stories omkring elektrificering.

2.2 Konklusioner og gode råd

Motivation

Fra case-studierne kan der drages konklusioner om generelle motiverende faktorer på tværs af hovedområder, samt erfaringer og råd, der er specifikke inden for hver kategori. Dette giver dermed et indblik i, hvordan et realistisk roadmap for elektrificering af Danmark skal aktivere de væsentligste aktører, og et overblik over de tiltag, der er blevet gennemført med succes, og derfor med fordel kan replikeres.

Et minimumskrav for, at aktører vil elektrificere indenfor deres område, er gennemgående, at teknologien skal kunne præstere lige så godt eller med samme resultat som den eksisterende eller en tilsvarende, der ikke er elektrificeret. Nogle lempes på denne parameter og ændrer i stedet på deres anvendelse af teknologien, så den passer til dennes egenskaber og eget behov. Dette er tilfældet ved 'Elbiler i Høje Taastrup Kommune', hvor kørslen er tilpasset, at bilerne skal oplades til de længere ture.

Udsigt til en bedre eller ligestillet selskabsøkonomi er en gennemgående motiverende faktor, hvor specielt tiltag, der bidrager med økonomisk støtte, har hjulpet på denne parameter, samt udvikling i rentabiliteten af teknologien.

Yderligere gentages det dog, at interessen ikke nødvendigvis er nok. Der skal være en drivkraft i form af en handlekraftig ansat eller et projekt, der guider og presser på for at få gennemført tiltag. I de valgte Case stories ses der eksempler på, hvor denne drivkraft er stammet fra offentlige tiltag som Energistyrelsens støtte til store varmepumper, der både har givet information og økonomisk støtte, men også hvor det har været enkeltpersoner, der har skubbet på som ved elbilerne i Høje Taastrup.

Samtlige projekter har yderligere en grøn agenda, der har mere fokus på de samfundsøkonomiske fordele ved en omstilling til el. Mange nævner dette som en motiverende faktor, men projekterne afspejler ikke, at dette alene har forårsaget handling, uden at tidligere nævnte faktorer er opfyldt.

Finansiering og økonomi

Finansiering er enten egenbetaling eller støtte fra offentlige institutioner i de fleste projekter. For store varmepumper har majoriteten fået støtte af Energistyrelsens støtteordning for store varmepumper eller Energispareordningen. I industri og transport har fx HyBalance og Høje Taastrup Kommune fået tilskud fra EU-fonde, der har som agenda at fremme grønne initiativer. Der ses flere økonomiske fordele ved at omstille til el, det kræver ofte en større investering, men medfører ofte en billigere drift. Yderligere ses der en stor fremvisningsværdi og branding, samt en fremtidssikring ift. CO₂-omkostninger, som forventes at stige i fremtiden.

Som nævnt er en udvikling i rentabiliteten af teknologien yderligere relevant, hvor flere nævner, at der i de seneste år har været en udvikling, der har gjort, at det nu kan betale sig for dem selskabsøkonomisk. Dette ses for eksempel ved 'Elfærger i Norge' hvor en udbudsrunde førte til en komplet elektrificering af deres flåde, hjulpet på vej af en høj vægtning af reduktion i CO₂-emissioner i deres bedømmelse af tilbuddene.

Da teknologierne stadig er relativt nye og derfor forbundet med lidt større risiko ved omstilling, ses der få projekter, der er gennemført uden økonomisk støtte.

Rollefordeling og adgang til information

Gennemgående har projekterne haft en informationskilde, der ikke nødvendigvis er intern eller selvopsøgt. Dette er sket igennem informationskampagner fra det offentlige eller firmaer, der beskæftiger sig med rådgivning indenfor det specifikke emne. Flere har valgt at få udført projektet eksternt, fx gennem virksomheder som Best Green ved individuelle varmepumper, eller i fjernvarmen, der benytter sig af andres erfaringer. Generelt ses der værdi i forsøgsprojekter, hvor fx Københavns Kommune har haft gavn af at prøve elbusser af i et mindre omfang, før de bandt sig til en større udrulning. Derfor anbefales det at prøve af eller benytte sig af andres erfaringer, inden der iværksættes større omstillingstiltag.

Tilslutning til elnettet

Tilslutningen til elnettet kan udgøre en stor del af investeringen, og det anbefales at sørge for at dette er korrekt medtaget i investeringen, og at gå i gang med processen omkring eltilslutning i god tid. Specielt hvis det kræver en opgradering af elnettet vil dette koste både tid og penge. For eksempel var det ved elfærgerne i Norge nødvendigt at opgradere det lokale elnet til at håndtere de store mængder el, som elfærgerne behøver. En produktionsvirksomhed oplevede samme barriere. ROCKWOOL oplevede samme barriere. Dette skyldes, at udover selve tilslutningen kan ændringer i distributionsnettet være nødvendige pga. af det store elforbrug, som konverteringen til el-ovne medfører. Hvis ændringer i nettet er nødvendige, kan det tage lang tid at få dette gennemført, og det kan medføre store forsinkelser i projektet, hvis der ikke tages hensyn til det fra start. Det anbefales i høj grad at gå i dialog med det lokale elseskab om behovet, så der er enighed om, hvad der skal til.

For varmeværkerne er der gennemgående et godt samarbejde med elseskaberne, men for at opnå tidsbesparelse skal kommunikationen begyndes tidligt i forløbet. Det bør undersøges, hvilken form tilslutning til elnettet, som er mest rentabel, da det i visse tilfælde kan være billigere udføre en mere investeringstung nettilslutning, som resulterer i lavere tariffer. Som en ekstra kommentar kan det betale sig at indføre styring af elforbruget, så lave elpriser kan udnyttes og belastningen af elnettet kan begrænses, hvis muligt.

Det mest gennemgående råd er her at udnytte andres viden og samarbejde med ligesindede institutioner for at opnå den mest effektive proces.



Formålet med projektet 'Roadmap for Elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.

Nærværme på Feriecenter Bønnerup Strand

Feriecenter Bønnerup Strand har fået erstattet deres gamle oliefyr med en hybridløsning med varmepumpe og gasfyr fra Best Green, som nu opvarmer deres 154 ejerlejligheder, indendørspool, aktivitetsrum, m.m.

Om Best Green

Best Green er en virksomhed med 7 medarbejdere, som leverer nærværme til private, erhverv og kommuner i Danmark, især i områder uden for fjernvarmeområderne. Nærværme beskrives af kommunikations- og marketingchef Martin Bak fra Best Green som varme på abonnement, hvor Best Green står for installation og drift af varmeproduktionen, mens kunden blot betaler en fast varmepris for den varme, de forbruger og et årligt abonnement til service og vedligehold.

Best Greens vision er at fremme den grønne omstilling ved at levere grønne varmeløsninger, som kunderne er trygge ved. De er ejet af Insero Horsens, som skaber vækst og udvikling inden for energi og IT.

Best Green blev stiftet med missionen om at nedbringe olieforbruget til opvarmning. Deres primære kunder skifter derfor fra opvarmning baseret på olie, men de har også nogle kunder som skifter fra naturgas.

Denne case story fokuserer på nærværme til Feriecenter Bønnerup Strand.

Om Feriecenter Bønnerup Strand

Feriecenteret Bønnerup Strand, ligger i Norddjurs Kommune i Østjylland og er ejet af Danland.

Feriecenteret indeholder et stort, opvarmet indendørsareal med indendørspool, legerum, spa og 154 ejerlejligheder.

Knap halvdelen af varmeforsyningen benyttes til opvarmning af fællesarealer.

Indtil 2018 blev arealerne opvarmet vha. et gammelt oliefyr, men da dette var ved at være udtjent, var det nødvendigt at tage stilling til den fremtidige varmeforsyning. Feriecenteret tog kontakt til Best Green med ønsket om lavere varmepriser og en grøn varmeforsyning.

Best Green leverer nu nærværme til feriecenteret produceret vha. en hybridløsning bestående af en stor varmepumpe, suppleret af et gasfyr. De betaler kun for den varme, de forbruger.



Figur 1: Feriecenterets placering på Djursland



Teknologien

Som nævnt tidligere er nærvarme et koncept, hvor den installerede varmepumpe ejes, driftes og vedligeholdes af en ekstern aktør (Best Green), og kunden blot betaler et abonnement, en pris per kWh varme og et indskud ved installation.

Hvis der opstår problemer med varmeproduktionen, er udbedring heraf Best Green's ansvar. Med andre ord har feriecenteret ikke et økonomisk ansvar for varmepumpen.

Varmepumpeløsningen ved Feriecenteret Bønnerup Strand består af 5 modulære luft-vand varmepumper, som tilsammen har en effekt på 200 kW. En luft-vand varmepumpe optager varme fra udeluften gennem udedelen og temperaturen af den optagne varme hæves vha. kølekredsen. Varmen leveres som opvarmet vand til en akkumuleringskøle-tank, som er koblet til bygningens centralvarme- og brugsvandssystem.

Varmepumpen er leveret af DVI Energi og har indbygget akkumuleringskøle-tanke under sig. På billedet er akkumuleringskøle-tanken i den sorte kasse under selve varmepumperne. Det betyder, at det ikke er nødvendigt at have en indendørsdel, som ses i forbindelse med typiske varmepumpeinstallationer. Dette er en fordel for kunden, da ændringerne inde i bygningen er minimale. Der skal blot føres rør og kabler fra bygningen til varmepumpen.

Best Green overvåger varmepumpens drift og kan potentielt reagere på uhensigtsmæssig drift, før kunden oplever gener.



Figur 2: Varmepumpe af samme type som den installeret hos Bønnerup Strand Feriecenter

De fem varmepumper arbejder sammen om at levere varmen, men kunne i princippet også styres individuelt.

Best Green ønsker ikke at offentliggøre hvilken COP-værdi, som systemet opnår. Dog nævner Martin Bak, at COP'en ikke har direkte betydning for kunden, da de blot betaler en fast varmepris uafhængig af systemets skiftende effektivitet.

Anlægget leverer vand med en temperatur på ca. 60 °C. Feriecenteret har også fået installeret et nyt gasfyr med LPG som brændstof, som kan supplere varmepumpen, hvis dens varmekapacitet ikke er tilstrækkelig, fx ved lav udetemperatur. Best Green estimerer, at ca. 85% af det årlige varme-forbrug produceres af varmepumpen, mens de resterende 15% leveres af gasfyrret. Ved en hybrid-løsning som denne undgås, at varmepumpen skal dimensioneres efter feriecenterets højeste varmeeffekt.



Formålet med projektet 'Roadmap for Elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.



Økonomi

Ved at vælge nærvarme undgik feriecenteret en stor investering til en luft-vand varmepumpe. Feriecenteret betalte dog et tilslutningsbidrag på 200.000 kr. Derudover havde feriecenteret selv nogle udgifter til rør- og strømføring.

Prisen for nærvarme til erhverv er i 2019 minimum 50 øre/kWh varme. Dog er denne delvist bestemt af størrelse på tilslutningsbidraget, som kunden betaler. Hvis kunden lægger et større eller mindre beløb, vil deres varmepris være hhv. lavere eller højere. Størrelsen på udbetaling er derfor en parameter, som kan tilpasses den individuelle kunde.

Derudover betaler en erhvervskunde et abonnement fra 7.000 kr. årligt. Inkluderet i abonnementet er service, vedligehold og overvågning af

varmepumpen 24/7. Derved skal feriecenteret ikke bekymre sig om nedbrud eller uforudsete udgifter til vedligehold af varmepumpen.

Best Green estimerer, at feriecenteret vil spare ca. 40% på deres årlige varmeregning, dog med forbehold for at systemet ikke har kørt i et fuldt år endnu.

Best Green forventer, at feriecenteret vil spare ca. 200 ton CO₂ om året ved deres skift af varmekilde. Da en varmepumpe kører på strøm, er varmepumpen kun så grøn som den strøm, den bruger. Derfor har Best Green valgt at købe RECS (Renewable Energy Certificate System) certifikater fra SEAS-NVE svarende til den strøm alle deres varmepumper bruger. Gennem disse certifikater støttes udbygningen af mere vedvarende energi.



Figur 3: Installationen af varmepumpen hos Bønnerup Strand.



Erfaringer, ønsker og gode råd fra Best Green

Viden om varmepumper og nærvarme

Varmepumper er stadig en ny teknologi hos kunderne, og derfor har mange kunder en naturlig skepsis mht. varmepumpers evne til at levere varmt vand fra den kolde udendørsluft.

Best Green beskriver det som en vis ”teknologiforskrækkelse”, som løses gennem god dialog med kunder. Mange nye teknologier skal igennem sådan en periode. Elbiler har fx samme udfordring.

Dog nævner Best Green, at denne skepsis over for varmepumpeløsninger bliver mindre og mindre i forbindelse med at varmepumper udbredes og befolkningen får flere erfaringer med teknologien.

Derudover kender ikke alle kunder til nærvarmemodellen, da konceptet stadig er relativt nyt. Nærvarme er ikke nødvendigvis det rigtige valg for alle, men for nogen giver det rigtig god mening. Det gælder især forbrugere, som ikke ønsker en stor investering eller besværet ved selv at drifte/vedligeholde en varmepumpe, men samtidig ønsker en grøn, billig varmeløsning.

Både udfordringen med manglende viden om nærvarme og teknologiforskrækkelsen kan forbedres med en kombination af oplysning, god omtale og tid.

Martin Bak fra Best Green beskriver god omtale omkring varmepumper og nærvarme ”som ringe i vandet”.

Fysiske rammer

Et krav for at Best Green kan levere varme til en bygning er, at bygningen er egnet til en varmepumpe.

En varmepumpes effektivitet falder ved høje driftstemperaturer, og derfor kan det være nødvendigt at ændre i bygningens varmesystem eller efterisolere, så varmepumpens leverancetemperatur kan holdes på et relativt lavt niveau. Fx ville en bygning med traditionel elvarme først være nødsaget til at installere et vandbåret varmesystem, før en luft-vand varmepumpe kan installeres.

Derudover stiller en varmepumpe krav til bygningens elinstallation.

Installationen af nærvarme hos Bønnerup Strand Feriecenter krævede fx, at feriecenteret ændrede nogle rør- og elinstallationer.

Hvorvidt en bygning er egnet til en varmepumpe, eller hvilke ændringer der er nødvendige, skal vurderes ved hver installation.

Referencer

- Interview med Kommunikationschef Martin Bak, fra Best Green
- Best Greens hjemmeside
- <https://www.bestgreen.dk/nyheder/feriegaester-bader-sig-til-groen-samvittighed-efter-indvielse-af-varmepumpe>



Formålet med projektet 'Roadmap for Elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.

Varmepumpe med udeluften som varmekilde

Sig Varmeværk har elektrificeret en stor del af deres varmeproduktion ved at udskifte dele af den naturgasbaserede varmeproduktion med et varmepumpeanlæg med udeluften som varmekilde.

Om Sig Varmeværk

Sig Varmeværk a.m.b.a. blev etableret i 1965 og er et forbrugerejet fjernvarmewærk. Værket har i dag en årlig varmeproduktion på ca. 6.500 MWh og forsyner omkring 300 forbrugere med varme svarende til ca. 95 % af varmebehovet i Sig. Ved værkets opførelse blev der fyret med svær fuelolie, hvorefter man i 1986 overgik til naturgas på kedler, og siden 1995 har værket været et decentralt kraftvarmewærk drevet med en naturgasmotor. Sig Varmeværk har pga. høje omkostninger til naturgasvarmeproduktionen haft relativt høje varmepriser, hvorfor værket i 2013 investerede i 3500 m² solvarmeanlæg, og i oktober 2017 blev et varmepumpeanlæg på 840 kW_{varme} idriftsat. Solvarme- og varmepumpeanlægget har reduceret varmeprisen i Sig betydeligt, hvor varmepumpeanlægget i dag dækker 61 % af behovet, solvarmeanlægget dækker 22 %, og naturgas dækker de resterende 17 %.

Motivation for projektet

Sig Varmeværk formåede at sænke varmeprisen efter etableringen af solvarmeanlægget, men varmeprisen var stadig relativt høj, som resulterede i at værket i 2014 blev udpeget af Energistyrelsen som værende et nødlidende selskab sammen med 84 andre fjernvarmewærker. De i alt 85 fjernvarmewærker fik dispensation fra projektbekendtgørelsen, som gav dem muligheden for at investere i en biomassekedel op til 1 MW. Sig Varmeværk undersøgte i 2015 muligheden for at etablere en 2x1 MW biomassekedel ved solvarmeanlægget uden for byen i samarbejde med naboværket Skovlund Varmeværk, som ligeledes var blandt de 85

udpegede værker. Området ved solvarmeanlægget var dog udpeget som værdifuldt landskab, hvilket forhindrede opstillingen af en høj bygning med tilhørende skorsten, hvorfor en biomassekedel ikke var en mulighed. Sig Varmeværk indsendte derfor en interesselikendegivelse til Energistyrelsens demonstrationsprogram for store eldrevne varmepumper, som førte til et besøg af Energistyrelsens rejsehold i 2015. De vurderede, at en varmepumpe med udeluft som varmekilde var den bedste mulighed.



Figur 1: Sig Varmeværks varmepumpeanlæg ved indvielse den 27. oktober 2017 [<https://jv.dk/artikel/sig-er-helt-vilde-i-varmen-og-pumper-prisen-ned>]

Sig Varmeværk fik efterfølgende et investeringstilskud fra Energistyrelsen, som dog ikke var nok til at skabe en positiv selskabsøkonomi i projektet. Med udfasningen af PSO-afgiften blev selskabsøkonomien dog positiv, hvorfor Sig Varmeværk indgik aftale om opførelse af varmepumpeanlægget med Tjæreborg Industri. Tjæreborg Industri har designet og opført anlægget, som blev idriftsat i oktober 2017. Projektet er udført i samarbejde med DIN Forsyning, der varetager den daglige drift af anlægget.



Teknologien

Udeluft som varmekilde til varmepumper er en meget velkendt teknologi, som findes i mange private husstande. At anvende udeluft som varmekilde til produktion af fjernvarme er dog et relativt nyt koncept. Udeluft har fordelen ved altid at være tilgængeligt, hvorfor det ofte anvendes, når der ikke er andre mere koncentrerede varmekilder til rådighed. Temperaturen af luften afhænger af årstiden, hvor det en stor del af året kan være nødvendigt at køle luften til under frysepunktet, hvorved isdannelse kan forekomme på udeluftkølerne. Det er derfor nødvendigt at installere afrimningsmekanismer ved etablering af en varmepumpe med udeluft som varmekilde. Anlægget er et to-trins varmepumpeanlæg med ammoniak som kølemiddel, hvor to varmepumper er koblet i serie. Kølemidlet cirkulerer i en lukket kreds og veksles til en glykolholdig væske, som opvarmes og nedkøles i sin egen kreds mellem varmepumpen og udeluftskølerne. Varmepumpen er udstyret med stempel-kompressorer og opererer ved et tryk på 40 bar. Varmepumpen har en maksimal fremløbstemperatur på 65 °C. Tekniske detaljer for varmepumpen fremgår af Tabel 1.

Tabel 1 [Kilde: Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet]

Tekniske detaljer	
Leverandør	Johnson Controls (Tjæreborg Industri)
Type	HPC 106S (Sabroe)
Nominal varmeydelse	0,84 MW
Nominal COP	3,58
Fjernvarme opvarmes fra-til	34-64 °C (sommer) 32-55 °C (vinter)
Varmekilde afkøles fra-til	Udetemperatur til 3 °C under

Fordele ved valg af en luft-varmepumpe er som udgangspunkt en lavere investeringsomkostning, let tilgængelighed, samt en mere simpel

myndighedsbehandling end ved de fleste alternativer. Yderligere er formatet afprøvet i høj grad for mindre varmepumper. Den primære ulempe består i varmekildens lave temperatur i vintermånederne, der sænker COP værdien, samt at energitætheden her er lavere end ved alternativerne.



Figur 2: Installering af varmepumpen [<https://iv.dk/artikel/sig-varmeverk-f%C3%A6rk-f%C3%A5r-snart-kunderne-til-at-svede/>]

Varmepumpen er sammen med solvarmeanlægget forbundet via en transmissionsledning til Sig Varmeværks naturgasbaserede produktionsenheder. Om vinteren sænkes fremløbstemperaturen for varmepumpen for at opretholde en høj COP-værdi, hvor gaskedlerne hæver temperaturen til fjernvarmenettets fremløbstemperatur. Driften af varmepumpeanlægget er indrettet således, at den automatisk optimerer for højeste COP værdi. Driftsstrategien tilsiger, at solvarmeanlægget har 1. prioritet, gasmotoren har 2. prioritet ved høje elpriser, varmepumpen har 3. prioritet indtil COP-værdien når det økonomiske minimum, og gaskedlen har 4. prioritet. For at sikre optimalt samspil mellem det nye og eksisterende anlæg har værket yderligere opgraderet SRO-anlægget. Ved en udetemperatur under frysepunktet, hvor udeluftkølerne rimes til med is, vil disse automatisk afrime ved varme og/eller luft, for at undgå at dette sænker effektiviteten.



Formålet med projektet 'Roadmap for Elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.



Økonomi

Varmepumpeprojektet hos Sig Varmeværk er et af de varmepumpeprojekter, der har modtaget tilskud fra Energistyrelsens demonstrationsprogram for store varmepumper. Dette tilskud var på 1.233.600 kr., svarende til omkring 20 % af de samlede anlægsomkostninger. Økonomien er beskrevet med udgangspunkt *Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet* og dennes antagelser. De samlede investeringsomkostninger fremgår af Tabel 2.

Tabel 2 [Kilde: *Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet*]

Investering	
Ny bygning og anlægsarbejde	0,6 mio. kr.
Varmepumpe/udeluftkølere	3,2 mio. kr.
Rør- og smedearbejde	1,1 mio. kr.
Elinstallationer	0,7 mio. kr.
El tilslutning (netselskab)	0,4 mio. kr.
SRO mm.	0,2 mio. kr.
Total	6,2 mio. kr.

Anlægget er tilsluttet en nærliggende 10/0,4 kV transformer ved B-lav tarif. Det blev overvejet at tilslutte anlægget med afbrydelighed, men det blev ikke gennemført, da de faktiske omkostninger forbundet med afbrydeligheden var lig med prisen for tilslutning uden afbrydelighed.

Tabel 3 [Kilde: *Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet*]

Driftsøkonomi	
Vedligehold	15 kr./MWh _{varme}
El, spot	223 kr./MWh _{el}
El, transport overordnet	83 kr./MWh _{el}
El, transport lokal	92 kr./MWh _{el}
El, afgift	305 kr./MWh _{el}
Samlet elpris	703 kr./MWh
Samlet variabel varmepris	211 kr./MWh_{varme}

De samlede driftsomkostninger for anlægget fremgår af Tabel 3. Ved en COP-værdi på 3,58 er omkostninger til el omkring 196 kr./MWh_{varme}. Derudover er omkostningerne til almindelige vedligehold af anlægget 15 kr./MWh_{varme} hvorved de totale driftsomkostninger er 211 kr./MWh_{varme}. Økonomien blev opstillet inden idriftsættelsen af varmepumpen, og der blev her regnet med en

relativt lav elspotpris. Til gengæld er det ikke indregnet, at elvarmeafgiften nu er besluttet nedsat til 155 kr./MWh. Varmepumpen fortrænger hovedsageligt varme produceret på værkets naturgaskedel, hvor prisen er 405 kr./MWh. Driftsbesparselsen for varmepumpen ved fortrængning af naturgaskedlen er derfor 196 kr./MWh_{varme}.



Figur 3: Solvarme- og varmepumpeanlægget i umiddelbar nærhed af hinanden [<https://skraafoto.kortforsyningen.dk/>]

Anlæggets samlede økonomi er påvirket af gaspriser, driftstimer, elpriser og COP-værdi. For at beregne en samlet økonomi for anlægget antages en produktionspris på gaskedler til 405 kr./MWh, en samlet elpris på 703 kr./MWh_{el}, pris for vedligehold på 15 kr./MWh_{varme} og 4.800 årlige driftstimer. Anlæggets samlede økonomi fremgår af Tabel 4.

Tabel 4 [Kilde: *Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet*]

Samlet økonomi	
Driftstimer	4.800 timer/år
Varmeproduktion	3.946 MWh/år
Driftsbesparselse	194 kr./MWh
Driftsbesparselse	765.524 kr./år
Tilskud fra Energistyrelsen	1,2 mio. kr.
Værdi af energibesparelse	1,0 mio. kr.
Investering efter tilskud og energibesparelse	4,0 mio. kr.
Simpel tilbagebetalingstid	5,2 år
Intern rente over 15 år	17,6 %

Ved de beskrevne antagelser forventes anlægget tilbagebetalt efter 5,2 år. Da anlægget forventes at have en levetid langt længere end tilbagebetalingstiden, vil anlægget resultere i betydelige besparelser.



Erfaringer, ønsker og gode råd

Samarbejde med forbrugerne

Varmepumpeanlægget blev opført på baggrund af to hovedmotivationsfaktorer, ønsket om lavere produktionsomkostninger og ønsket om en mere bæredygtig varmeforsyning. Da projektet blev præsenteret ved generalforsamlingen i 2016, oplevede Sig Varmeværk stor opbakning fra forbrugerne, som gav udtryk for at økonomi og bæredygtighed vejede lige tungt. Sig Varmeværk har løbende i projektet skriftligt underrettet forbrugerne. Værket vurderer, at den løbende kontakt med forbrugerne har været essentielt for den brede opbakning til projektet. Desuden har valget af udeluft som varmekilde bidraget til opbakningen, da mange forbrugere havde kendskab til teknologien fra mindre private varmepumper. Kombinationen af solvarme og varmepumpen gør, at varmeforsyningen i Sig nu er 70-75% grøn, som sammen med en lavere varmepris har formået at opfylde begge målsætninger.

Udfordringer og gode råd

Varmepumpen havde ved opstart en lavere COP-værdi end forventet, som skyldtes en fejl i veksleren, som siden er blevet skiftet, hvorved anlægget leverede den forventede COP. Derudover har anlægget, bortset fra en ventilsvigt, kørt jævnt og leveret som forventet. Varmepumpeanlægget er opført ved én enkel hovedentreprise, Tjæreborg Industri, hvilket Sig Varmeværk har været særdeles godt tilfreds med, da det har skabt overskuelighed og effektivitet. De anbefaler andre aktører som dem at udarbejde udbudsmaterialet således, at det lægger op til én enkelt hovedentreprise. Desuden anbefaler værket opsætning af klare kriterier til sammenligning af buddene. Udbudsrunderen resulterede i tre bud, hvoraf én byder trak sig, før beslutningen blev taget, derfor to reelle bud, og Sig Varmeværk oplevede valget mellem

de to bud som nemt grundet de klare kriterier til anlægget. Anlægget blev opført som en meget ny teknologi, og erfaring på området var begrænset, hvorfor anlægget har haft medfølgende børnesygdomme. Anlægget har haft problemer med afrimning, som startede for sent, hvorved der nåede at dannes store mængder is, som ved nedfald under afrimning skadede anlæggets spildbakker. Det problem er siden blev udbedret ved en opdatering af anlæggets kontrolenhed. Bygningen, hvori selve varmepumpen er placeret, er siden opførelsen vurderet for lille, da tilgang til varmepumpen påvirkes af de snævre omgivelser. Generelt er Sig Varmeværk meget tilfredse med aftalen med Tjæreborg Industri, som løbende forbedrer driften af anlægget i takt med voksende erfaring. Varmepumpeanlægget kunne på grund af dets kompakt-hed både have været opført ved naturgaskedlen eller solvarmeanlægget. En luft-varmepumpe har et mindre støjniveau grundet blæserne på udeluftskølerne. Støjgenerne er størst om vinteren, hvor behovet for luftgennemstrømning er højest på grund af de lavere temperaturer. Det er uvist, om etableringen af anlægget ved naturgaskedlen, som er beliggende i et villakvarter, ville have ført til støjgener for værkets naboer, men da meromkostningen for etablering ved solvarmeanlægget ved meget beskeden, valgte Sig Varmeværk at placere det der, og helt undgå en potentiel konflikt.

Referencer

- Jacob Andreasen, Bestyrelsesformand, Sig Varmeværk
- Energistyrelsen og Grøn Energi, 2017, "Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet"
- Tjæreborg Industri, 2017, "Sig Varmeværk med luft som varmekilde"



Formålet med projektet 'Roadmap for Elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.

Varmepumpe med grundvand som varmekilde

Broager Fjernvarme har elektrificeret størstedelen af deres fjernvarmeproduktion ved idriftsættelse af en varmepumpe på 4 MW_{varme}, som udnytter grundvand som varmekilde.

Om Broager Fjernvarme

Broager er beliggende i Sønderjylland og har omkring 3.000 indbyggere. Broager Fjernvarme er oprindeligt etableret som et naturgasfyret kraftvarmeværk med en naturgasmotor, tre naturgaskedler samt to akkumuleringsstanke. I 2010 installerede værket et ca. 10.000 m² stort solvarmeanlæg, og i 2016 indviede værket deres nye varmepumpe. Værket forsyner 1.120 forbrugere med fjernvarme svarende til en årlig varmeproduktion på 27.000 MWh. Varmepumpen dækker 78 % af varmebehovet, solvarmeanlægget dækker 18 %, og de resterende 4 % dækkes af naturgasfyret spidslastkapacitet.

Motivation for projektet

Broager Fjernvarme samarbejder med Broager Vandværk, som i 2002 opdagede en stor mængde grundvand. Grundvandet har et højt saltindhold og egner sig derfor ikke som drikkevand. I stedet opstod ideen om at anvende grundvandet som varmekilde til produktion af fjernvarme. Grundvandet har en konstant temperatur på omkring 11 °C, som sikrer en stabil og effektiv varmekilde året rundt. Undersøgelser viste, at det er muligt at installere varmepumper, som udnytter det lune grundvand som varmekilde, uden at hæve varmeprisen for forbrugerne og samtidig indfri ønsket om en mere grøn profil. Under projekteringen, blev det erfaret, at Undergrundsloven træder i kraft ved grundvandsboringer dybere end 250 meter, hvorfor boringer dybere end 250 meter skal godkendes af Energistyrelsen, mens boringer indtil 250 meters dybde blot skal godkendes af kommunen. En godkendelse af boringer dybere

end 250 meter skal foregå på samme vilkår som geotermiske boringer, som er en omkostnings-tung proces, hvilket ville have væltet projektets økonomi. Alle grundvandsboringer er derfor de facto begrænset til 250 meters dybde, som heldigvis har vist sig at være tilstrækkeligt. Der er boret i alt fire produktionsboringer og fem reinjektionsboringer.



Figur 1: To af i alt syv varmepumpeenheder som udnytter grundvand som varmekilde ved Broager Fjernvarme. [kilde: <http://planenergi.dk/arbejdsomraader/fjernvarme/varmepumper/broager/>]

Projektet er støttet med seks millioner kroner af Energistyrelsens støtteordning til at fremme af store, eldrevne varmepumper til fjernvarmeproduktion. Broager Fjernvarmeselskab har ageret anlægsvært i projektet i samarbejde med PlanEnergi (bygherrerådgiver og projektleder), ICS Industrial Cooling Systems A/S (leverandør af varmepumpe), A. Højfeldt A/S (leverandør af grundvandsboringer, råvandsstationer og transmissionsledning) samt Jan Teichert ApS (leverandør af bygning til varmepumpen).



Teknologien

Anvendelse af grundvand som varmekilde til produktion af fjernvarme ved brug af varmepumper, har fordelene af en meget stabil og relativt høj temperatur året rundt, som resulterer i en effektiv varmeproduktion. Ulemperne ved grundvand som varmekilde er hovedsageligt forbundet med det forberedende arbejde, som etableringen kræver. Forundersøgelserne i forbindelse med miljø-sikkerhed og de tekniske muligheder for at etablere en grundvandsvarmepumpe er forbundet med visse økonomiske risici. Indledende screeninger og prøveboringer er meget omkostnings-tunge, og et negativt resultat betyder, at der vil være en relativt stor udgift, som vil skulle afholdes, selvom det i dette tilfælde ikke vil være muligt at etablere denne varmepumpetype. Etablering af grundvandsvarmepumper kan også være mere tidskrævende grundet behov for en omfattende miljøgodkendelse.

Typen med reinjicering er dyrere end et nedsivningsanlæg, men er valgt på baggrund af positive udenlandske erfaringer samt en mindre miljøpå-virkning end ved nedsivning. Reinjiceringen sænker desuden nogle af de administrative omkostninger i forbindelse med dokumentation og videreundersøgelse ift. anlæg med nedsivning i de terrænnære jordlag. Grundvandskredsen består af fire 250 meter dybe indvindingsboringer med dykpumper samt fem reinjektionsboringer af samme dybde. Varmepumpeanlægget består af et lavtryks- og et højtryksanlæg, som er forbundet i serie. Varmepumpeanlægget gør brug af syv Grasso stempelkompressorer, som anvender ammoniak som kølemiddel og er dimensioneret med henblik på en så høj COP-værdi som muligt.

Højtryksvarmepumpen er et to-trinsanlæg, som i første trin er bestykket med to parallelle

kompressorer samt fire mindre højtrykskompressorer, som ligeledes er koblet parallelt. Lavtryksvarmepumpen øger trykket i ét trin ved én stor kompressor. Fjernvarmevandet opvarmes her til omkring 50 °C, hvorefter højtryksdelen eftervarmer vandet til 70-75 °C. Grundet den trinvis opbygning bliver varmepumpen mere effektiv med en COP-værdi på ca. 4,0.

*Tabel 1: LT = Lav temperatur, HT = Høj temperatur. *Ekskl. forbrug til grundvandspumper. [Kilde: Inspirationskatalog for store varmepumper i fjernvarmesystemet]*

Tekniske detaljer	
Leverandør	ICS Industrial Cooling Systems A/S, Vojens
Type	Pladsbygget ammoniakvarmepumpe med 7 GEA Grasso stempelkompressorer (3 stk. LT og 4 stk. HT)
Nominal varmeydelse	4,0 MW
Nominal COP	4,2*
Fjernvarme opvarmes fra-til	35 – 75 °C
Varmekilde afkøles fra-til	11 – 2 °C

På grundvandssiden gennemløber vandet først lavtryksdelen og afkøles til omkring 7 °C, og herefter højtryksdelen, hvor det afkøles yderligere til 2 °C. For at få den højeste virkningsgrad anvendes der i alt syv varmevekslere på fjernvarmesiden. Der anvendes IE3 motorer, som alle er med frekvensomformere for yderligere at kunne optimere de mange forskellige driftssituationer. På værket, der huser den nye varmepumpe, er der installeret en ny 2.000 kVA transformator, som bruges til forsyningen af varmepumpen og den eksisterende solvarmebygning. Transformatoren ejes af ikke af Broager Fjernvarmeselskab, men er direkte leveret af el-selskabet SE Syd Energi.



Formålet med projektet 'Roadmap for Elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.



Økonomi

Anlægsinvesteringen var budgetteret til 34 mio. kr., som dog sidenhen blev overskredet. Heraf blev der ydet et tilskud på 6 mio. kr. fra Energistyrelsens varmepumpepulje. Denne tilskudsordning blev i sin tid etableret for at fremme store el-drevne varmepumper i fjernvarmeproduktionen. Da varmepumpen er etableret før den gældende Energispareordning kunne energibesparelserne dog ikke indberettes, og der kunne derfor ikke opnås tilskud herfra. Det har ikke været nødvendigt for Broager Fjernvarme at hæve varmepriserne ved etablering af varmepumpen, og de har haft uændrede takster de sidste fire år.

Tabel 2: Oversigt over budgetteret anlægsinvestering. [Kilde: Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet]

Investering (budgetteret)	
Varmepumper	12,0 mio. kr.
Grundvandssystem, rør og el	16,0 mio. kr.
Eltilslutning og SRO	2,5 mio. kr.
Bygning	1,2 mio. kr.
Rådgivning og diverse	2,3 mio. kr.
Total	34,0 mio. kr.

Siden etablering af varmepumpen er det blevet besluttet at udfase PSO-tariffen og sænke elvarmeafgiften markant. Disse tiltag var ikke medregnet i den oprindelige business case, men har været en positiv overraskelse i projektets økonomi. Driftsøkonomien er afhængig af omkostninger til vedligehold og elindkøb og fremgår af Tabel 3. Værdierne er baseret på beregninger ved etableringen af anlægget og stemmer derfor ikke overens med nutidige værdier, dog er PSO-tariffen ikke medregnet.

Elektriciteten til grundvandspumperne er afgiftsfritaget, da det er karakteriseret som et industrielt elforbrug, hvorfor el hertil er billigere end til

selve varmepumpen. Elbehovet til grundvandspumperne svarer til ca. 6 % af varmepumpens forbrug. Det blev overvejet at tilkoble varmepumpen med afbrydelighed for at spare på tariffbetalingen, men det blev vurderet urentabelt, hvorfor varmepumpen i stedet er direkte tilsluttet SE Syd Energi ved normale tariffer.

Tabel 3: Omkostninger til elkøb og drift og vedligehold. Forudsætninger på varmepumpens etableringstidspunkt [Kilde: Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet]

Driftsøkonomi	
Vedligehold	15 kr./MWh _{varme}
El til grundvandspumper	6 kr./MWh _{varme}
El, spot	215 kr./MWh _{el}
El, transport overordnet	83 kr./MWh _{el}
El, transport lokal	105 kr./MWh _{el}
El, afgift	305 kr./MWh _{el}

Ved de antagne værdier er varmeproduktionsprisen 189 kr./MWh_{varme} inklusive elforbrug til grundvandspumperne og serviceomkostninger. Ved antagelse af en naturgas pris inkl. transport på 1,95 kr./Nm³ beregnes besparelsen af varmepumpen ved fortrængning af værkets naturgaskedler til 216 kr./MWh, som resulterer i en årlig driftsbesparelse på omkring fire millioner kr. og en intern rente over 15 år på 11,7 %. Anlæggets samlede økonomi fremgår af Tabel 4.

Tabel 4. Økonomi for varmepumpen i den oprindelige business case. [Kilde: Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet]

Samlet økonomi	
Investering (efter tilskud)	28 mio. kr.
Driftstimer	4.687 timer/år
Varmeproduktion	18.750 MWh/år
Driftsbesparelse	216 kr./MWh
Driftsbesparelse	4,05 mio. kr./år
Simple tilbagebetalingstid	6,9 år
Intern rente over 15 år	11,7 %



Erfaringer, ønsker og gode råd

Tidslinje

Ideen til projektet opstod i 2012 motiveret af kendskabet til det saltholdige grundvand, som blevet opdaget i 2002. Projektet blev vedtaget i 2014, og i løbet af 2015 foretog man de nødvendige undersøgelser og udarbejdede projektmateriale. Etableringen blev iværksat i januar 2016, og anlægget stod færdigt i december samme år. Etableringen foregik relativt hurtigt, da det var et krav, at anlægget stod færdigt i 2016 for at kunne modtage støtte fra Energistyrelsen varmepumpepulje.

Udfordringer

Projektet var udfordret af tidspresset for at opnå den økonomiske støtte, og Broager Fjernvarme vurderer, at en længere etableringsfase havde været at foretrække. Et eksempel på en konsekvens af tidspresset var, at bygningsdesignet undervejs måtte ændres. Oprindeligt var bygningen tiltænkt opført i betonelementer, men da ventetiden på disse viste sig at være for lang, ændrede man designet. Det efterfølgende design viste sig ikke at være tilstrækkelig støjisolerende, hvorfor man så sig nødsaget til at etablere end støjmur. Derudover oplevede Broager Fjernvarme udfordringer med myndighedsgodkendelser fra Sønderborg Kommune, grundet miskommunikation om de nødvendige godkendelser. Blandt andet opstod der problemer med fredninger, da man var nødt til at grave transmissionsledningen igennem et fredet dige.

Projektet har oplevet udfordringer med budgetoverskridelser, primært i forbindelse med anlægsarbejdet vedrørende grundvandsboringer, transmissionsledninger, etablering af kørselsveje til boringer og reetablering af arealer.

Gode råd

Broager Fjernvarme råder som det første fremtidige aktører til at kontakte andre fjernvarmeselskaber med erfaring i etablering af varmepumper. Vidensdeling om hele processen inklusive forundersøgelser, myndighedsgodkendelse, etablering og efterfølgende drift fremhæves som særdeles vigtig. Derudover fremhæver Broager Fjernvarme vigtigheden af kompetente rådgivere, da mange faktorer spiller ind, når man skal vælge den rette varmepumpeløsning. Samarbejdet med myndigheder bør startes så tidligt som muligt i projektet, da disse kan være tidskrævende. Desuden er et godt forarbejde på godkendelsesprocessen ofte mere effektivt end efterfølgende udbedring af mangler. I forbindelse med elforsyningen stillede Broager Fjernvarme et rum til rådighed til installation af transformator, som de vurderer som en god og effektiv løsning. Transformatorer er ikke hyldevarer, og ved Broager Fjernvarme måtte man bestille en specialfremstillet transformator hjem fra Sverige. Dette understreger vigtigheden af at starte processen i god tid. Broager Fjernvarme agerede selv projektleder, men anbefaler fremtidige aktører til at vælge en ekstern samarbejdspartner som projektleder, da opgaven viste sig mere krævende, end hvad Broager Fjernvarme var rustet til. Derudover anbefaler de at udføre udbygninger igennem totalentreprise, da det fremmer enkelthed og effektivitet.

Referencer

- Povl Bonde Christiansen, Driftsleder, Broager Fjernvarme
- Energistyrelsen og Grøn Energi, 2017, "Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet"
- PlanEnergi, 2017, "Varmepumpen ved Broager Fjernvarmeselskab A.m.b.a."



Formålet med projektet 'Roadmap for Elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.

Varmepumpe med spildevand som varmekilde

H.M. Dronningen indviede den 14. juni 2017 Danmarks største varmepumpeanlæg på 10 MW_{varme} i Kalundborg. Kalundborg Forsyning står bag anlægget, som skal udnytte byens særligt varme spildevand som varmekilde til produktion af fjernvarme.

Om Kalundborg

Kalundborg er beliggende i Nordvestsjælland og har omkring 16.000 indbyggere. Kalundborg har Sjællands største koncentration af industri uden for hovedstadsområdet og har dermed også store mængder spildevand, som endda er særligt varmt. Kalundborg Forsyning leverer fjernvarme til omtrent 5.000 husstande og ti storforbrugere og har en årlig varmeproduktion på omkring 250.000 MWh, som primært leveres af Asnæsværket og selskabets nye varmepumpe, som udnytter varmen i spildevandet. Ørsted har siden 2017 været i gang med etablering af en ny biomassefyret kraftværksblok på Asnæsværket, der forventes helt færdig i 2020.

Motivation for projektet

Kalundborg Forsynings gamle spidslastkapacitet bestod af et antal udtjente oliekedler fra starten af 1970'erne, hvorfor der var behov for en udskiftning og opgradering. Etablering af den nye spidslastkapacitet foregik samtidig med udbygningen af Asnæsværket, hvor værket fortsat ville levere kulbaseret varme fra en ældre kraftværksblok. Det blev besluttet, at de gamle oliekedler skulle udskiftes med et varmepumpeanlæg, som skulle udnytte varmen i byens spildevand. Varmepumpen skulle agere grundlastenhed under udbygningen af Asnæsværket, hvorefter det vil levere den nødvendige spidslastkapacitet. Det var altså højt prioriteret, at anlægget stod klar inden ombygningen af Asnæsværket, så anlægget kunne nyde godt af de mange driftstimer, hvor anlægget vil fortrænge den kulbaserede varme fra Asnæsværket. Anlægget blev opført på blot seks måneder, som er meget hurtigt for anlæg af denne

type. Kalundborg lægger grund til mange store industrivirksomheder, hvorfor der er store mængder spildevand i området, som er varmere end sædvanligt. Den årlige spildevandsmængde er ca. 6 mio. m³, som har en gennemsnitlig temperatur på 25 °C, hvilket er omkring 10 °C højere end typisk spildevand. Dette er derfor særligt gunstige omgivelser for varmepumper, som kan drage nytte af disse højere temperaturer. Varmepumpen er dimensioneret til 10 MW_{varme}, svarende til sommerlasten, for at opnå et stort antal driftstimer. Varmepumpen har en gennemsnitlig COP-værdi på 4,0. Energien i spildevandet tillader installation af større varmekapacitet, men dette blev vurderet urentabelt.



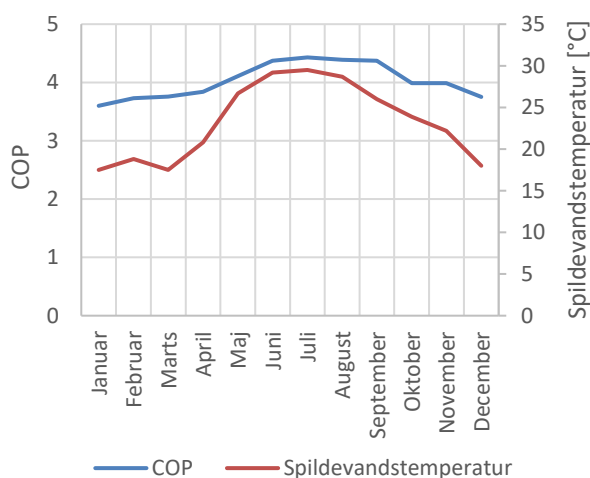
Figur 1: Varmepumpeanlægget i Kalundborg med spildevand som varmekilde. [<https://aea.dk/portfolio-items/varmepumpe-kalundborg-forsyning-2016/>]

Anlægget forventes at få 8.000 driftstimer under ombygning af Asnæsværket, hvorefter man forventer en reduktion til under 1.000 driftstimer. Det er Kalundborg Spildevandsanlæg, der har købt og installeret varmepumpen. Den daglige drift af anlægget står driftsafdelingen fra Kalundborg Forsyning for. Denne organisation indeholder både Kalundborg Spildevandsanlæg og Varmeforsyning.



Teknologien

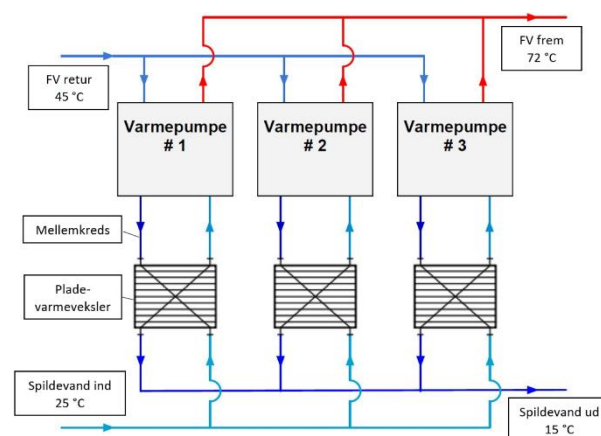
En varmepumpe anvender el til at levere fjernvarme ved brug af en varmekilde, der kan være fx luft, grundvand, havvand eller spildevand. Varmepumper forbinder el- og varmesektoren og kan agere fleksibelt forbrug, som kan justere produktionen i forhold til elpriserne. Effektiviteten af varmepumper måles ved COP-værdien (coefficient of performance), som angiver forholdet mellem strømforbrug og varmeproduktion. COP-værdien afhænger af temperaturløftet, som varmepumpen skal levere, hvor et lavere temperaturløft resulterer i en højere COP-værdi. Spildevandstemperaturen varierer henover året, hvorfor COP-værdien ligeledes varierer. COP-værdi og spildevandstemperatur for varmepumpeanlægget i Kalundborg for 2018 fremgår af Figur 2.



Figur 2: Målte COP-værdier og spildevandstemperaturer for varmepumpeanlægget i Kalundborg i 2018. [Kalundborg Forsyning]

Spildevandstemperaturen varierer mellem 17,5 °C og 29,5 °C med en middelværdi på 23,2 °C. COP-værdien varierer mellem 3,60 og 4,43 med en middelværdi på 4,03. Anlægget i Kalundborg består af tre parallelle varmepumper, som hver har en kapacitet på 3,33 MW_{varme}. Hver varmepumpe består af to serielle to-trinsanlæg med stempelkompressorer for at opnå en høj COP-værdi i et

bredt temperaturområde. Varmepumpen modtager vandet fra fjernvarmenettets returløb ved ca. 45 °C og opvarmer det til ca. 72 °C. Efter varmepumpen har opvarmet vandet til ca. 72 °C, opblandes det med fjernvarmen fra Asnæsværket for at opnå fjernvarmenettets fremløbstemperatur på omkring 80 °C. Spildevandstemperaturen sænkes med 10 °C uanset indgangstemperaturen. Varmepumpens fordampere kan ikke adskilles og rengøres, hvorfor det har været nødvendigt at installere pladevarmevekslere med tilhørende mellemkreds, for at sikre at beskidt spildevand ikke når varmepumpen. Opbygningen af varmepumpeanlægget i Kalundborg er illustreret i Figur 3.



Figur 3: Opbygning af varmepumpeanlægget i Kalundborg. [Energistyrelsen og Grøn Energi, 2017, "Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet"]

Varmepumperne er produceret af Johnson Controls og anvender ammoniak som kølemiddel. Anlægget har egen transformator, som er koblet på en nærliggende transformatorstation via et 10 kV kabel.



Formålet med projektet 'Roadmap for Elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.



Økonomien

Investering

I de første år af varmepumpens levetid vil der være betydelige besparelser, da alternativet ville være kulbaseret varme frem til færdiggørelsen af Asnæsværkets nye biomassebaserede blok 6. I denne periode forventes varmepumpen at dække 30% af Kalundborgs varmebehov. Som antallet af driftstimer falder ved idriftsættelsen af den nye blok på Asnæsværket falder besparelsen tilsvarende. Anlægget har tilvejebragt en Energibesparelse på omkring 30 mio. kr., jf. Energispareordningen, hvilket har sænket prisen på anlægsinvesteringen betragteligt. Aftalen om energibesparelse er indgået efter den gamle aftale, hvor man regner ud fra første års besparelser, hvor varmepumpen i Kalundborg opnåede de største besparelse, grundet den midlertidige rolle som grundlast. Den gamle aftale kræver desuden, at produktionsanlægget ikke ejes af fjernvarmeselskabet, hvorfor anlægget er opført på vegne af Kalundborg Spildevandsanlæg.

Tabel 1: Investering [Kilde: Inspirationskatalog for store varmepumpe-projekter i fjernvarmesystemet]

Investering	
Varmepumpeanlæg	26,6 mio. kr.
Elarbejde og SRO	5,0 mio. kr.
Transformatorstation og elkabler	5,0 mio. kr.
Bygning og ventilation	6,4 mio. kr.
Spildevand og anlægsarbejde	2,1 mio. kr.
Fjernvarmepumper og tilslutning	6,3 mio. kr.
Transmissionsledning	8,0 mio. kr.
Projektering	2,4 mio. kr.
Diverse	1,8 mio. kr.
Total	63,0 mio. kr.

Under planlægningsfasen stod det klart, at det var billigere at koble anlægget på en nærliggende 10 kV transformatorstation og dermed selv etablere transformator og 10 kV kabel. Investeringen i transformator og kabelføring var ikke højere end tilslutningsomkostningerne til SEAS-NVE, og har resulteret i besparelse på transporttariffen på omkring 10 øre/kWh. SEAS-NVE stod for etablering af transformator og kabelføring. Budgettet for investeringen fremgår Tabel 1. Den totale

anlægsinvestering bliver på omkring 33 mio. kr. som følge af Energibesparelsen.

Driftsøkonomi

Økonomien er beskrevet med udgangspunkt *Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet* og dennes antagelser. Omkostninger forbundet med almindelige drift af varmepumpen udgør vedligehold og indkøb af el. Driftsøkonomien fremgår af Tabel 2. Varmeproduktionsprisen er antaget til 156 kr./MWh_{varme}. Dette er en besparelse på omkring 220 kr./MWh_{varme} i forhold til Asnæsværket.

Tabel 2: Driftsøkonomi [Kilde: Inspirationskatalog for store varmepumpe-projekter i fjernvarmesystemet]

Driftsøkonomi	
Vedligehold	10 kr./MWh _{varme}
El, spot	228 kr./MWh _{el}
El, transport overordnet	83 kr./MWh _{el}
El, transport lokal	39 kr./MWh _{el}
El, afgift	305 kr./MWh _{el}

Samlet økonomi

Grundet variation som følge af produktionsmarginal og antallet af driftstimer er anlæggets samlede økonomi beregnet ud fra en forudsætning om varmepris fra Asnæsværket på 376 kr./MWh_{varme}, en samlet elpris på 655 kr./MWh_{el}, vedligeholdspris på 10 kr./MWh_{varme} og 8.000 årlige driftstimer. Anlæggets samlede økonomi fremgår af Tabel 3. Det ses, at varmepumpen udviste meget god økonomi for Kalundborg Forsyning, hvilket har været vigtigt for beslutningen om etablering af varmepumpen.

Tabel 3: Samlet økonomi [Kilde: Inspirationskatalog for store varmepumpe-projekter i fjernvarmesystemet]

Samlet økonomi	
Investering (før tilskud)	63,0 mio. kr.
Driftstimer	8.000 timer/år
Varmeproduktion	80.000 MWh/år
Driftsbesparelse	220 kr./MWh
Samlet energibesparelse	30,0 mio. kr.
Driftsbesparelse	17,6 mio. kr./år
Simple tilbagebetalingstid	1,9 år
Intern rente over 15 år	53,2%



Erfaringer, ønsker og gode råd

Tidslinje

Projektet startede i foråret 2016 ved præsentation af projektforslag og udbudsmateriale. Det blev efterfulgt af et EU-udbud i sommeren 2016, indgåelse af totalentreprisekontrakt i november 2016 og første spadestik den 6. december 2016. Derefter fulgte etableringen af anlægget, som blev indviet den 14. juni 2017. I efteråret 2017 fulgte en ombygning af mellemkøler, dokumentation af energibesparelse og endelige aflevering af anlægget den 13. november 2017.

Samarbejdspartnere

Udbud- og planlægningsfasen blev udført i samarbejde med Niras, mens etableringsfasen blev udført i samarbejde med Ingeniørhuse. Totalentreprisen blev gennemført af Aktiv Energi Anlæg (AEA) og varmepumperne er leveret af Johnson Controls.

Udfordringer

Anlægget har haft en del børnesygdomme, som vurderes at skyldes varmepumpeteknologien, som stadig er forholdsvis ny, og der eksisterer kun begrænsede erfaringer på området. Især anlæggets olieforsyning har vist sig særlig problematisk, hvorfor man har været nødsaget til at udskifte oliefiltere oftere end planlagt. Kalundborg Forsyning indgik ved anlæggets indvielse en toårig serviceaftale med AEA, hvor omfanget og beskrivelsen af serviceaftalen er indgået med Johnson Controls. Serviceaftalen fremhæves som særdeles velfungerende. Fremover vil serviceaftaler indgå direkte med Johnson Controls. Man har været nødt til at udskifte varmeveksleren til en af bedre stål kvalitet, da der opstod problemer med tæring ved kontakt med det rensede spildevand. Det rensede spildevand har et relativt højt klorindhold, som kan have været en medvirkende årsag. Under prækvalifikationen til udbudsrunderen, skulle bydere udfylde ESPD-dokumenter korrekt, ellers ville deres bud ikke blive accepteret. Der var dog kun én aktør, som lykkedes med at udfylde ESPD-dokumentet korrekt, hvorfor man måtte annullere prækvalifikationen. Under udarbejdelse af projektforslaget betød de lave CO₂-kvotepriser, at naturgas blev billigere end varmepumper

samfundsøkonomisk. For at sikre en bæredygtig og fremtidsorienteret løsning forpligtede man sig til kvotepriser uden for kvotesektoren, hvorfor samfundsøkonomien igen var favoriserede for varmepumpeløsningen. Desuden vurderede Kalundborg Forsyning under planlægningsfasen, at dispensation af kraftvarmekravet ville være for tidskrævende, hvorfor anlægget er opført som spidslastkapacitet, som ikke er omfattet af kraftvarmekravet.

Kalundborg Forsyning oplyser at man siden idriftsættelse af anlægget har erfaret at vedligeholdelsesprisen er ca. 30 kr./MWh_{varme} for hele anlægget, altså betydeligt højere end de 10 kr./MWh_{varme}, som antaget i de oprindelige økonomiske beregninger som fremgår *Inspirationskatalog for store varmepumpe-projekter i fjernvarmesystemet*.

Gode råd

Generelt vurderes varmepumpeanlæg med spildevand som varmekilde, som at være et godt koncept på grund af den stabile leverance af varme ved relativt høje temperaturer. Konceptet kan både skabe en økonomisk og miljømæssig gevinst. Etablering af varmepumpeanlæg kan være en tidskrævende proces, og Kalundborg Forsyning råder andre aktører til at starte processen så tidligt som muligt. Etableringen af anlægget i Kalundborg var under stort tidspres, grundet ombygningen af Asnæsværket. Havde det ikke været for dette tidspres, ville en længere udbudsrunde været at foretrække. Den korte udbudsrunde resulterede i, at blot to entreprenører bød på projektet, hvor der var lille variation mellem de to bud, som blandt andet havde samme varmepumpeleverandør. AEA endte med at vinde projektet på grund af faktorer som bedre kvalitet af bygningen og flere kvadratmeter.

Referencer

- Finn Bertelsen, Projektleder, Kalundborg Forsyning
- Energistyrelsen og Grøn Energi, 2017, "Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet"



Formålet med projektet 'Roadmap for elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.

HyBalance

Formålet med HyBalance er at demonstrere, hvordan elektrolyse kan anvendes til at balancere elnettet og lagre vedvarende energi i form af brint, som kan anvendes som et bæredygtigt brændstof i transport- og industrisektoren.

Om HyBalance

Udbygningen af fluktuerende vedvarende energiproduktion skaber stadig flere timer, hvor vores elproduktion overstiger vores forbrug, og vi derfor må eksportere til nabolande, ofte i perioder med lave elpriser. HyBalance er et af Europas mest avancerede brintanlæg og demonstrerer, hvordan elproduktionen kan anvendes til at producere brint. Brint er et værdifuldt produkt, som i dag anvendes i industrielle processer og på sigt kan erstatte fossile brændsler i transportsektoren. Partnerne bag projektet er Air Liquide, Copenhagen Hydrogen Network (CHN), Hydrogenics, Centrica, Hydrogen Valley og Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST), og projektets associerede partnere er Energinet, Akzo Nobel og Sintex. HyBalance er støttet af EU's Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU) og Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP).

Motivation for projektet

Elsystemet er karakteriseret ved, at der altid skal være balance imellem produktion og forbrug. Denne balance bliver stadigt mere udfordret af udbygningen af vind og sol, som producerer som vinden blæser og solen skinner og ikke kan reguleres efter forbruget. Der bliver derfor i stigende grad brug for løsninger, som omkostningseffektivt kan opbevare store mængder el. HyBalance er et eksempel på et fleksibelt forbrug, som kan forbruge, når elprisen er lav, altså typisk når elproduktionen er høj. Brint kan komme til at spille en afgørende rolle i fremtidens fossilfrie energisystem, på grund af dets mange gode egenskaber som energibærer. Brint har en nedre brændværdi

på 120,1 MJ/kg, hvilket er næsten tre gange så højt sammenlignet med brændværdien for henholdsvis benzin og diesel på 43,8 MJ/kg og 42,7 MJ/kg. Brint fremstår på gasform under standardtemperatur og -tryk og kan modsat el, lagres i store mængder ved relativt lave omkostninger. Brint kan ligesom andre gasser afbrændes, hvorved energi frigøres, eller det kan konverteres direkte til el via en brændselscelle. Kombinationen af brint og brændselsceller er særlig interessant for transportindustrien, hvor brinten kan være et alternativt til tunge batterier. Brint kan yderligere bruges som byggesten i andre værdifulde produkter, såsom metan, metanol eller ammoniak.



Figur 1: HyBalance-anlægget i Hobro [<http://hybalance.eu/latest-news-2/photos/>]

Elektrolyse er en måde at konvertere el til mere håndterbare energibærere, som kan substituere fossile brændsler. Brugen af brint kan derfor stadig ses som elektrificering, da brint blot kan betragtes som en bro imellem produktion og forbrug. HyBalance er beliggende i Hobro og illustreret i Figur 1.



Teknologien

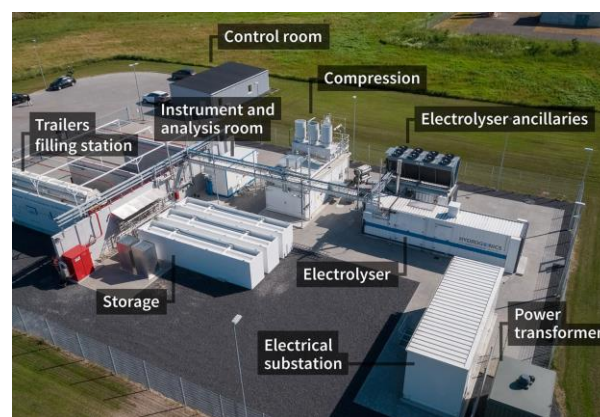
Elektrolyse

Elektrolyse kan foregå ved brug af flere forskellige teknologier, de tre mest typiske teknologier er alkalisk, proton exchange membrane (PEM) og solid oxide electrolysis cell (SOEC) elektrolyse. HyBalance anvender et 1,25 MW PEM elektrolyseanlæg leveret af den canadisk/belgiske virksomhed Hydrogenics. PEM-teknologien har været kommerciel tilgængelig siden starten af det 21. århundrede og er en relativt ny teknologi sammenlignet med alkalisk elektrolyse, som har været anvendt industrielt i årtier. PEM-teknologien er kendetegnet ved høj effektivitet, kompakt design og mulighed for meget fleksibel drift. PEM-elektrolyse kan opnå en elektrisk effektivitet på op i mod 80%. Disse egenskaber gør, at PEM-teknologien er særdeles velegnet til at balancere produktionen af bæredygtig energi. PEM-teknologien forventes at opleve forsat udvikling i kommende år, som både vil forbedre ydeevne og reducere omkostninger. Elektrolyse kræver jævnstrøm, hvorved installation af en ensretter er nødvendigt for at anvende vekselstrømmen fra elnettet. HyBalance er i stand til at producere 230 Nm³ brint i timen svarende til omkring 500 kg om dagen ved en renhed på 99,9998%, nok til at forsyne en flåde på mere end 1.000 brintbiler.

Lagring af brint

Brinten fra elektrolyseanlægget tryksættes på en 75 kW kompressor, hvorefter det lagres ved enten medium eller højt tryk. De to lagre har en kapacitet på hhv. 780 kg og 70 kg og er tryksat til henholdsvis 410 og 900 bar. Fra lagrene kan brint enten føres videre til lastbiler for videre distribution eller via en rørledning til en nærliggende virksomhed, Sintex, som bruger brint i deres metalproduktion. Sintex aftager langt størstedelen af den producerede brint, men på sigt forventer man at kunne afsætte en større mængde til

transportsektoren. På sigt kan brinten også lagres i meget store mængder i nærliggende saltkaverner, som i øjeblikket bliver anvendt til lagring af naturgas. Disse kaverner er udskyllet i en salthorst og ligger i ca. 1.000 – 1.700 meters dybde, er 200 – 300 m høje og 40-60 m i diameter. Brint er et ekstremt brandbart og flygtigt materiale, som stiller store krav til sikkerheden og materiel. Særligt de meget høje tryk, hvorved brint opbevares stiller strenge krav til materiel. Figur 2 viser HyBalance anlægget med forklaring på de enkelte komponenter.



Figur 2: HyBalance-anlægget med forklaring på komponenter
[\[https://errin.eu/system/files/hydrogen%20valley.pdf\]](https://errin.eu/system/files/hydrogen%20valley.pdf)

Brændselscelle

Den producerede brint kan konverteres til el via en brændselscelle. En brændselscelle producerer strøm ved en elektrokemisk reaktion, hvor brint reagerer med ilt fra luften, hvorved der skabes el, varme og vand. Til sammenligning med forbrændingsmotorer til transport, har brændselsceller en højere effektivitet, typisk på 40-60%, uden skadelige forbrændingsprodukter. Brændselsceller anvendes blandt andet i mikrokraftvarmeværker, nødstrømsanlæg og transportsektoren. Især transportsektoren har stort fokus på udviklingen af brændselsceller til transport, da de har potentialitet til at løse elbilens udfordringer med rækkevidde og ladetid.



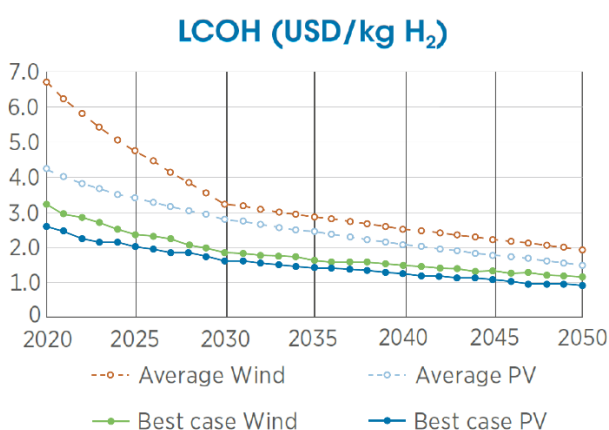
Formålet med projektet 'Roadmap for elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.



Økonomien

Budget

HyBalance projektet har et totalt budget på 15 mio. euro, og har modtaget 8 mio. euro i støtte fra EU's Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking og 2,6 mio. euro fra det danske EUDP-program. De resterende 4,4 mio. euro er investeret af Air Liquide, som er hovedinvestor og projektlejder. Anlægget har en forventet levetid på 15 år. Økonomien i HyBalance har været afhængig af støtte, da elektrolyse stadig ikke kan producere brint så billigt som produktion fra fossile energikilder. Forskellige kilder, fx IRENA, forventer, elektrolyse falder i pris i takt med, at teknologien modnes og kommercialiseres. Fremtidige produktionsomkostninger for brint er illustreret i Figur 3.



Figur 3: Fremtidige produktionsomkostninger for brint med el fra sol og vind [IRENA, 2019, "Hydrogen: A renewable energy perspective"]

Interessenter

Produktion af brint ved brug af elektrolyse er generelt dyre end traditionel produktion fra fossile energikilder. Opførelsen af et anlæg som HyBalance skal altså have andre værdier end blot salg af brint for at være rentabel. Air Liquide nyder godt af HyBalance, idet anlægget bidrager til deres målsætning om, at 50% af deres brintproduktion skal være CO₂-fri i 2020. Derudover kan de levere brint til en industriel kunde som Sintex,

samtidigt med at de sparer omkostninger på tryksætning og lastbiltransport, idet brinten ledes direkte igennem en underjordisk rørledning. Det danske EUDP-program har til formål at støtte ny teknologi, som kan bidrage til at indfri Danmarks målsætninger inden for energi og klima. Et projekt som HyBalance kan bidrage positivt til realiseringen af disse nationale målsætninger, hvis teknologien udvikles og billiggøres. Projektet tilbyder et produkt, som direkte kan substituere fossile brændstoffer, samtidigt med at det tilbyder udnyttelse af billig energi fra fluktuerende vedvarende energikilder, som samtidig bidrager til balancering af el fra de stigende mængder elproduktion fra sol og vind. EU's Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking har til formål at accelerere implementeringen brintteknologier og har dermed også en klar interesse i etableringen af HyBalance.

Tilslutning til elnettet

HyBalance er tilsluttet en nærliggende 10 kV transformatorstation og betaler dermed fuld tarif for elforbruget inklusiv PSO-tarif. Der er indgået en politisk aftale om gradvist at flytte PSO-tariffen til finansloven fra 2017-2022. PSO-tariffen har stor betydning for et anlæg som HyBalance, og det forbedrer derfor økonomien, at PSO-tariffen gradvist nedsættes over de kommende år. HyBalance vurderer, at en fritagelse fra PSO-tariffen havde således været økonomisk favorable for HyBalance frem for støtten fra EUDP-programmet.



Erfaringer, ønsker og gode råd

Tidslinje

Første spadestik til HyBalance blev taget mandag den 4. april 2016 af daværende energi-, forsynings- og klimaminister Lars Chr. Lilleholt. Spadestikket markerede starten på anlægsfasen og afslutningen på en omfattende planlægning- og projekteringsfase, som startede i 2012 da Hydrogen Valley tog initiativ til projektet. Hydrogen Valley tilbød Akzo Nobel at lave en forundersøgelse på brintlagring i deres udtjente saltkaverner og i den forbindelse kontaktede de Air Liquide, som mulig brintproducent. Air Liquide har høje målsætninger omkring produktion af CO₂-fri brint og fandt projektet spændende. Derudover kontaktede de Sintex, som aftager af brinten og Energinet, som kunne bruge teknologien til balancering af elnettet. Der var skabt kontakt imellem adskillige interessenter, som alle ville nyde godt af etableringen af et elektrolyseanlæg i Hobro og dermed var fundamentet for HyBalance lagt.

Tekniske udfordringer

Ved opstart af anlægget opdagede man, at vandindholdet i materialerne, såsom tanke og rør, nødvendiggjorde en grundig tørring inden en tilstrækkelig renhed af den producerede brint kunne opnås. Under driften af anlægget har man erfaret, at det under lækagesøgning kan være problematisk at lokalisere kilden, da der kan opstå meget små lækager ved samlingerne i anlægget, som opererer under højt tryk på omkring 900 bar. Desuden kræver anlægget et stort antal sikkerhedskomponenter, som er omkostningstunge både i indkøb og vedligehold. Ved generelt vedligehold af anlægget, påkræves grunding skylning med nitrogen før vedligeholdsarbejdet kan påbegyndes. Anlægget kræver yderligere skylning med nitrogen før opstart og trykprøvning kan udføres. HyBalance anvender en meget ny teknologi, som

resulterer i at anlægget kræver meget dyre komponenter med lang leveringstid.

Gode råd

Generelt er der stor tilfredsstillelse med måden som HyBalance blev til og den efterfølgende drift. Hydrogen Valley vil dog råde fremtidige aktører til at starte processen med myndighedsgodkendelse i god tid, da denne viste sig at være ressourcetung og tidskrævende.

Næste skridt

I HyBalance-projektet lagres elproduktion som brint ved anvendelse af elektrolyse. HyBalance vurderer, at det næste skridt kan være at anvende brint til produktionen af mere håndterbare brændstoffer. Brint kan kombineres med enten CO₂ eller nitrogen og danne gasformigt eller flydende brændsel, som metan, metanol eller ammoniak. Ved Kåstrup er man i færd med at etablere en ny erhvervspark kaldet GreenLab Skive, hvor omdrejningspunktet bliver etableringen af et Power2Gas anlæg, som omdanner elektricitet til metan, der herefter lagres på gasnettet. I anlægget vil brint fra et stort elektrolyseanlæg blive sat sammen med CO₂ fra opgradering af biogas i en katalytisk proces.

Referencer

- Lars Udby, Chief Project Officer, Hydrogen Valley
- Rasmus Vejle, Driftsleder, HyBalance
- <http://hybalance.eu/>



Formålet med projektet 'Roadmap for elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.

Elfærger i Hordaland Fylkeskommune

Hordaland Fylkeskommune har besluttet sig for at elektrificere færgefarten i hele kommunen ved at erstatte tyve gamle diesel-færger med nye el-færger. Alle færgerne forventes at være i drift i 2020.

Om Hordaland Fylkeskommune

Hordaland er beliggende i det sydvestlige Norge, illustreret i Figur 1, og er på grund af de mange fjorde og øer i området dybt afhængig af færger. Hordalands gamle færgeflåde består af tyve diesel-færger med en gennemsnitlig alder på 28 år. De gældende færgekontrakter udløber mellem 2018 og 2020 og Hordaland har underskrevet kontrakter på tyve nye el-færger.



Figur 1: Hordaland Fylkeskommunes beliggenhed.
[\[https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/Dawn-of-a-new-era.html\]](https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/Dawn-of-a-new-era.html)

Motivation for projektet

Hordaland Fylkeskommune ønsker at reducere deres forbrug af fossile brændstoffer, herunder brugen af diesel til Hordalands mange færger. I en ny udbudsmodel for færger var faktorer som CO₂-emissioner og energiforbrug af stor betydning, og resultatet blev en fuld elektrificering af Hordalands færgefart. Forud for de nye kontrakter foregik en udbudsrunde igennem en udbudsmodel, hvor miljøfaktorer var vurderet til 30% af den samlede kontraktværdi, og pris tegnede sig for de resterende 70%. Den høje værdi af miljøfaktorer gjorde, at færgeleverandørerne var nødsagede til

at tænke innovativt for at deltage i udbudsrunderen, som i princippet var teknologineutral. Kriterierne er baseret på funktionalitet fremfor teknologi, med hensigt på at industrien selv finder den mest velegnede teknologi. Dog var der et politisk ønske om el-færger, som blev imødekommet ved at der forud for udbudsrunderen blev lavet nye sejlplaner, som tillod nogle få ekstra minutter til opladning. Resultatet af udbudsrunderen var overraskende for Hordaland, som havde forventet en vis grad af elektrificering, men ikke en fuldstændig elektrificering af alle deres færger. Hordaland er overbevist om at vægtningen af CO₂-emissioner og energiforbrug på 30% bidrog til udfaldet. Tabel 1 viser en oversigt over investeringerne i de alt tyve nye el-færger.

Tabel 1: Oversigt over de underskrevne kontrakter, som resultat af udbudsrunderen. CEU = bilækvivalent enhed.
[\[https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/Dawn-of-a-new-era.html\]](https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/Dawn-of-a-new-era.html)

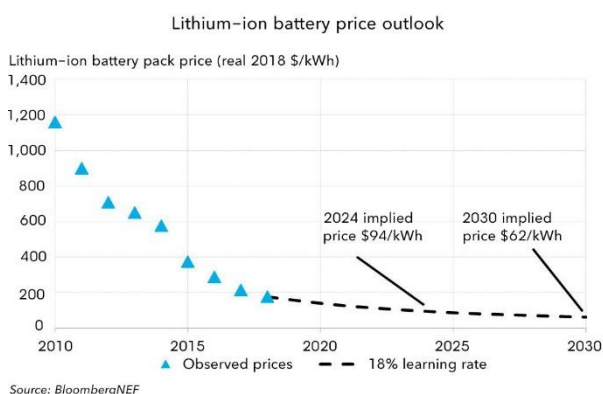
Kontrakt	Antal ruter	Antal færger	Færge størrelser	Ny operatør
Rutepakke 1	7	8	3x40 CEU 5x120 CEU	Fjord1
Rutepakke 2	4	6	2x60 CEU 3x90 CEU 1x130 CEU	Fjord1
Rutepakke 3	2	2	1x12 CEU 1x25 CEU	Norled
Rutepakke 4	1	1	1x20 CEU	Wergeland
Rutepakke 5	3	3	1x12 CEU 1x40 CEU 1x50 CEU	Boreal
Total	17	20		



Om teknologien

El-færger er en teknologi som oplever stor opmærksomhed og massive investering i øjeblikket. Kombinationen af et batteri og en elektrisk motor er ikke nogen ny opfindelse, men skalaen for implementeringen af denne løsning er banebrydende, og teknologien har stort potentiale i nedbringelse af udledningen af drivhusgasser.

Batterierne er typisk af typen lithium-ion, en batteritype, som i en årrække har oplevet stor udvikling i energidensiteten samtidigt med et fald pris. Denne udvikling i batteriteknologi er en stor drivkraft bag udviklingen af el-færger. Figur 2 viser, hvordan prisen for lithium-ion batterier er faldet siden 2010, og hvordan den af Bloomberg forventes forsat at falde frem mod 2030.



Figur 2: Faktiske og forventede priser for lithium-ion batterier. [<https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>]

Færger er et ideelt sted at starte elektrificeringen af skibstransporten, da de ofte sejler relativt korte distancer mellem to havne, hvor el-færgens batterier kan oplades, hvilket reducere behovet for batterikapacitet. El-færgeren vil således lægge til kaj, hvor en stor hydraulisk arm vil opkoble det til elnettet, hvorfra det kan oplades. Med moderne el-systemer kan el-færgeren oplades meget hurtigt og vil som oftest kun behøve at ligge til kaj i 10-20 minutter, som det alligevel ville have gjort grundet af- og pålæsning. Ofte vil det dog være

nødvendigt at opgradere det lokale elnet til at håndtere de store mængder strøm, som el-færgeren behøver. El-færgeren kan designes med nødgeneratorer ombord, som kan forsyne fremdriftssystemet med strøm i tilfælde af fejl i strømforsyningen fra batterierne.

Elektriske motorer i sammenspil med batterier har udover reduktionen i udledningen drivhusgasser fordele i form af høj effektivitet, lavt støjniiveau og færre bevægelige dele, som resulterer i mindre vedligeholdelse.

En af Hordalands nye el-færger er M/F Møkstrafjord, som har sejlet mellem Krokeide og Hufthamar siden 2018. M/F Møkstrafjord er bygget på Tersanværftet i Tyrkiet og ejes af Fjord1 ASA. Skibet har plads til 130 passagerbiler og 399 passagerer, har en længde på 122 meter og vejer 3.853 tons. El-færgens fremdrift klares ved brug af to 1.200 kW thrustermotorer og strømmen lagres i et 1.200 kWh time batteri, som kan oplades, når skibet ligger til kaj eller ved brug af skibets fire biobrændstof-nødgeneratorer. Overfarten mellem Krokeide og Hufthamar tager 35 minutter, og skibet har en ladetid på omkring ni minutter, som sker ved hvert anløb. M/F Møkstrafjord er vist i Figur 3.



Figur 3: M/F Møkstrafjord [<https://www.fjord1.no/Om-Fjord1/Vaare-fartoev/>]



Formålet med projektet 'Roadmap for elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.



Økonomi

De totale omkostninger forbundet med etableringen af de tyve nye el-færger løber op i omkring 900 millioner euro, inklusive 140 millioner euro til nul-emissionsteknologier. El-færger er generelt en dyrere investering end en tilsvarende diesel-færge, men er derimod billigere i drift grundet lavere brændstofomkostninger og mindre vedligeholdelse. Et mere generelt studie af el-færger udført af Siemens fastslår, at meromkostninger for investeringen i el-færger allerede er tjent tilbage efter lidt over fem år i form af lavere driftsomkostninger. Set i lyset af at de fleste færger har en levetid på over fyrrer år, må dette betragtes som særdeles økonomisk attraktivt. Studiet fastslår yderligere, at syv ud af ti danske færger vil være mere profitable som el-færger. Meromkostningerne og den årlige besparelse for el-færger er illustreret i Figur 4.

Annual savings in operational costs



Total extra investment

Figur 4: Meromkostninger og årlige besparelser for investering i el-færge. [Siemens A/S, 2016, "Electrification of Denmark's ferry fleet"]

Udbudsrunderen

I forbindelse med udbudsrunderen udarbejdede Hordaland en række kriterier for de potentielle tilbud. De nye færger skulle som minimum reducere CO₂-emissioner med 55% og være 25% mere brændstoføkonomiske. Derudover blev tilbudene bedømt i forhold til et pointsystem, hvor pris vægtede 70%, og hvor CO₂-emissioner og brændstoffektivitet hver vægtede 15%. Endelig var det et krav, at færgerne skulle forsynes med biobrændstof-nødgeneratorer.

Deltagerne i udbudsrunderen var ansvarlige for indkøb af færge, udbygning af nødvendig opladningsinfrastruktur inklusive finansiering, og drift og vedligeholdelse af færgen i ti år. I forbindelse med indkøb af færgen kan tilbudsgiveren ansøge om tilskud fra NOx-fonden. Her kan tilbudsgiveren modtage en engangsudbetaling ved idriftsættelse af færgen. Dette tilskud kan agere som økonomisk sikkerhed, da udbetalingen sker ved projektets start og dermed ikke er påvirket af potentielle fremtidige forandringer. Omkostninger for udbygningen af opladningsinfrastrukturen er defineret i udbudsrunderen, og Hordaland vil overtage driften af opladningsinfrastrukturen, så snart den er funktionsdygtig og tilbagebetale udgifterne til tilbudsgiveren. Dette bidrager ligeledes til økonomisk sikkerhed for tilbudsgiveren.

Alle traditionelle færgeelskaber gav tilbud i udbudsrunderen, og alle kontrakter blevet givet til traditionelle færgeelskaber. Hordaland vurderer, at der har været en god konkurrence i udbudsrunderen.

Infrastruktur og finansiering

Hordaland er ansvarlige for udbygning og finansiering af nødvendig el-infrastruktur. De estimerede omkostninger for de nødvendige installationer og udvidelser, inklusive opladning til batterier og transmission- og distributionslinjer var omkring 600 millioner NOK. Hordaland ansøgte om økonomisk tilskud ved Enova, en national regeringsvirksomhed, som er ansvarlig for at fremme miljøvenlig produktion og energiforbrug. Hordaland fik tilskud på 40% af omkostninger svarende til 240 millioner NOK. Tilskuddet fra Enova anses som vitalt for projekts tilblivelse.



Erfaringer, ønsker og gode råd fra Hordaland Fylkeskommune

Tidslinje

Tidslinjen for projektet strækker sig over fem år. Projektet startede med halvanden års forberedelser, heriblandt megen dialog med Enova. Derefter varede udbudsrunden i ét år, som endte op i underskrivning af kontrakterne. Fra kontrakterne var underskrevet, til at el-færgerne forventes i drift, forventes der at gå yderligere tre år. De fleste el-færger forventes at være i drift i 1. januar 2020.

Udfordringer

En af de største udfordringer i forbindelse med projektet er, at teknologien er meget ny. Dette har især været en udfordring for distributions- og forsyningsselskaber i elsektoren. Selskaberne havde fra projektets begyndelse ikke fuldt forstået omfanget af projektet, hvilket resulterede i, at de ikke medregnede alle associerede omkostninger. Omkostninger blev derfor højere end forventet, og kommunen har været nødsaget til at dispensere disse meromkostninger.

Gode råd

Projektet i Hordaland er på mange områder banebrydende og kan fungere som eksempel for andre, som ligeledes ønsker at elektrificere deres færgefart. Hordaland anbefaler, at man starter processen tidligt. Man bør starte i god tid med at tale med de virksomheder, som er involverede i udbudsrunden, allerede inden udbudsrunden starter. Tal både med de virksomheder, som kan bygge færgen, og de virksomheder som efterfølgende kan køre færgedriften.

Projektets tilblivelse har været afhængig af kompetent assistance. DNV GL, et internationalt akkrediteret registrator- og klassificeringsselskab med hovedkontor i Høvik, har assisteret med både miljø- og maritime aspekter. DNV GL har

desuden udarbejdet mange af dokumenterne til brug i udbudsrunden.

Man kan simpelthen ikke tale for meget med el-selskaberne, fastslår Hordaland. El-selskabernes forståelse af, hvad som er nødvendigt, og retvisende økonomiske beregninger er vitalt for realiseringen af projektet. Det er nødvendigt, at el-selskaberne er dybt involveret i processen for at kunne estimere omkostninger forbundet med opgraderingen af elnettet.

Hordaland anbefaler, at man afsætter meget tid til forhandlinger under udbudsrunden, hvor man taler med potentielle tilbudsgivere. Samtaler med potentielle tilbudsgivere undervejs i udbudsrunden kan være et essentielt værktøj i at sikre og udbygge vidensdeling omkring teknologien.

Endelig råder Hordaland andre lignende projekter til at tilegne sig en form for finansiering af de indledende omkostninger, evt. fra fonde.

Reaktioner

Det er endnu for tidligt at opnå reaktioner på driften, men det vigtigste aspekt for forbrugeren er pålidelighed, og da alle tyve el-færger er udstyret med en biobrændstof-nødgeneratorer, forventes dette ikke at være et problem.

Referencer

- Karl Inge Nygård, Leder juridisk afdeling, Skyss
- DNV GL, 2018, "Dawn of a new era"
- Siemens A/S, 2016, "Electrification of Denmark's ferry fleet"



Formålet med projektet 'Roadmap for elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter der er gennemført med succes.

Elbiler i Høje-Taastrup Kommune

Som en del af Høje-Taastrup Kommunes Energi- og Klimaplan mod 2020 har et initiativ været at elektrificere den kommunale bilflåde. Høje-Taastrup Kommune var én af de første kommuner til at inkorporere elbiler i deres bilflåde, og på nuværende tidspunkt udgør disse omkring 50 pct.

Om Høje-Taastrup Kommune

Høje-Taastrup Kommune er en af hovedstadsområdet største kommuner, hvor der bor ca. 50.000 borgere. Som i andre kommuner står transport for en stor del af CO₂-udledningen, og derfor er det et led i kommunens klimastrategi at skifte til elbiler eller andre miljøvenlige transportformer. Kommunen har derfor indkøbt elbiler til at dække en del af kommunens eget transportbehov.

Høje-Taastrup Kommune havde nogle krav til anvendelsen af elbiler. De skulle både opfylde brugernes behov og ikke være en økonomisk byrde. Brugernes krav til elbilerne var inden for komfort, ind- og udstigning, sikkerhed og nemhed i betjening af bilen. Grundet flere forskellige brugere af bilen har der været stort fokus på at finde en type bil, der nemt kan tilgås uanset højde og drøjde. En typisk rute for hjemmeplejen er i gennemsnit 45-55 km, hvilket bilerne skal kunne klare, uden at der er brug for meget opladning i løbet af dagen. Denne rute planlægges dog på forhånd, hvorfor der ikke er mange uforudsete, kørte kilometer og dermed behov for uforudset opladning.

Motivation for projektet

Motivationen bag det tidlige engagement i elektrificeringen kom fra EU-projektet E-Mobility, der løb fra 2011-2014. Dette projekt havde til formål at udbrede viden om muligheder for e-mobilitet, både lokalt og regionalt for virksomheder og privatpersoner. Projektet E-Mobility foregik på tværs af flere lande, hvor man opdaterede og lavede

informationskampagner, så folk kunne prøve elbiler og få information omkring dem. Høje-Taastrup stod for at styrke informationsindsatsen over for potentielle brugere af elbiler, og være en frontløber i indsatsen for at få elbilerne ud på vejene.

Projektets formål var at fremme e-mobilitet i byområder, hvor der var flere samarbejdspartnere som fx Universitæt Hamburg, Hamburg, Gdańsk i Polen, Åbo Universitet, Riga i Letland, ZERO m.fl. Det var Hamborg Universitet, der ledte projektet og involverede partnere omkring Østersøen. Høje-Taastrup Kommune blev valgt grundet et forudgående arbejde med Hamborg gennem tidligere EU-projekter.

Et yderligere incitament til køb af elbiler stammede fra Region Hovedstaden, der har oprettet institutionen Copenhagen Electric, der har til formål at fremme omstillingen af grøn transport ved at viderefremme viden og erfaringer mv. Et af deres projekter indebar at udsende et rejsehold, som skulle hjælpe med omstillingen. Høje-Taastrup var med fra projektets start i 2015.

Udfald af projektet

Høje-Taastrup Kommune har på nuværende tidspunkt 24 personbiler på ren el ud af 46, 1 varevogn, og derudover 6 personbiler, der er hybridbiler. Vej og Park har én enkelt elbil, men de resterende findes hos hjemmeplejen og såkaldte 'Puljebiler', der står til rådighed ved rådhuset til ærinde.



Om teknologien

Høje-Taastrup Kommune har leaset elbilen Renault Zoe. Valget er truffet ud fra test af sværhedsgraden for ind- og udstigning, brugervenlighed, komfort og størrelse af bilen. Bilerne benyttes af ansatte i kommunens sundheds- og omsorgscenter, samt som puljebil til de administrative ansatte på rådhuset. Bilen er valgt som femdørs model, da kommunens brugere jævnligt kører ud flere ad gangen. Yderligere har kommunen seks hybridbiler og en Renault Kangoo, der anvendes af kommunens IT-afdeling til transport af materiel rundt i kommunen. Den tidligere bilpark bestod primært af diesel-drevne Suzuki Splash og Suzuki SX4 biler.

Kommunen modtog de første elbiler af Renault Zoe-modellen i 2015, og de fortæller i display (ved 100% opladning), at rækkevidden er ca. 110 km. Flådekoordinatoren for Høje-Taastrup Kommune, Ulrich Elmvang, vurderer dog, at den reelle kørsel er ca. 85-90 km på en opladning. De nyere modeller af Renault Zoe (fra 2018) siger i display 300 km på en fuld opladning. 2018-modellerne har kommunen endnu ikke kørt helt ned til 0%, idet de bliver sat til opladning hver aften, hvorfor de endnu ikke er blevet testet fuldt ud. Dette betyder dermed også, at opladningen ikke har været et problem med den nyere model. I Zoe er batteriet på 40 kWh i 2018 modellen, hvilket er medvirkende årsag til den lange rækkevidde. Men det betyder også, at det tager længere tid at lade batteriet op. På en optimal 11 kW lade stander tager det 4,5 timer fra 0-100 pct.

2015-modellerne af Renault Zoe har ikke levet op til brugernes forventninger. De hedder i modelbetegnelsen 240 km, hvorfor der var forventet en rækkevidde på 240 km, hvilket ikke har vist sig at være muligt. Derfor skiftede de til 2018 modellen.

Der er blevet opsat lade standere ved kommunens bygninger, hvilket indtil videre har været tilstrækkeligt, da bilerne typisk kører rundt og ender tilbage ved kommunen. Fra start har disse lade standere været fra Clever. Ved udskiftningen til nye elbiler i 2015, fik de dobbelt lade standere fra E.ON. På nuværende tidspunkter ser fordelingen af lade standere ud som i Tabel 1.

Antal og type	Producent
10 dobbelt ladestandere	E.ON
10 enkelt ladestandere	RWE Cleancharge
1 dobbelt ladestander	GodEnergi EVBOX

Tabel 1: Type og producent for ladestandere i Høje-Taastrup Kommune

De kommunalt ansatte er dog interesserede i, at der kommer lade standere andre steder end rådhuset, så der er mere fleksibilitet.

Nøgletal for Renault Zoe	
Køreklar vægt u. ekstraudstyr	1.480 kg
Batterivægt	305 kg
Batterikapacitet	41 kWh
Maks lastevne	486 kg
Maks hastighed	135 km/t
Beregnet økonomi	3,35 kr./km

Tabel 2: Nøgletal for Renault Zoe
Kilde: Renault.dk

Elbilerne adskiller sig fra biler med forbrændingsmotorer på flere punkter, heriblandt højere effektivitet, færre bevægelige dele, mindre luftforurening, lavere støjniveau og ingen lokale udledninger. Yderligere har det for Høje-Taastrup betydet, at forbrugerne har skullet gå fra manuelt til automatgear. Der er ikke anhængertræk på Renault Zoe, men bagagerummet har en kapacitet på 338 liter.



Formålet med projektet 'Roadmap for elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter der er gennemført med succes.



Økonomien

I 2014 blev der lagt en strategi om at samle administrationen af alle biler i kommunen (undtaget køretøjer til Vej & Park) et sted. Dernæst besluttede kommunen sig for at lease på operationel basis i stedet for at købe. Første udbud, omhandlende elbiler, havde format af mini-udbud, hvilket kommunen vurderede som den bedste metode. Som udgangspunkt er elbilerne leaset på en 4-årig aftale, hvor der findes en fast leasingydelse hver måned i denne periode.



Figur 1: Fremvisning af elbil i Høje-Taastrup Kommune
Kilde: htk.dk

Leasing er valgt på baggrund af, at leasingprocessen er nemmere end køb og salg i forbindelse med udskiftning af bilerne. Operationel leasing, som kommunen benytter på en del af bilparken, giver den fordel, at der hele tiden er en plan for udskiftning. Især den del af bilerne, der benyttes af Sundhed & Omsorg, bliver ifølge Ulrich Elmvang slidt rigtig meget.

Ulrich Elmvang argumenterer yderligere, at det økonomisk er nemmere at betale en mindre leasingydelse pr. måned pr. bil, frem for at skulle betale et meget større engangsbeløb fra start. Der er ingen indkøbspris ved leasing, og Høje-Taastrup har ingen udlæg til opstartspris. Dermed startes der alene med en almindelig leasingydelse

fra første måned. Dette er en stor fordel, da kommunen ikke skal finde et større beløb frem ved opstart af en ny leasingperiode. Yderligere skal der ikke bruges ressourcer på at skulle handle om prisen med en tilfældig opkøber. Ved leasing findes en præcis slutdato, og der er en kendt periode, hvor der skal forberedes at lease nye. En ulempe ved dette kan være, at kommunen skal igennem en udbudsrunde hver gang nye biler skal ind.

Ét af ønskerne ved udskiftningen var at spare omkostninger på drift. Selve driften (omkostninger) er som forventet. Der laves opgørelse over driften hvert halve år, hvor tallene foreløbig viser, at den almindelige drift, dermed brændstof/el, er omtrent halvdelen på elbiler i forhold til brændstofbiler. Reparationer har der heller ikke været noget nævneværdigt af. Projektet, der startede i 2015 med Copenhagen Electric og Region Hovedstaden, har sørget for den administrative del af projektet, samt sørget for et tilskud pr. bil, der yderligere har bidraget til rentabiliteten af bilerne.



Erfaringer, ønsker og gode råd fra Høje-Taastrup Kommune

Erfaringer

Der har kun været gode tilbagemeldinger fra brugerne af elbilerne. Enkelte skulle vænne sig til at køre med automatgear, men derudover var udskiftningen en succes i brugernes øjne. Der har endnu ikke været problemer med rækkevidden for elbilerne, og det forudses heller ikke at skulle blive et problem for kommunen. Økonomisk er der gode erfaringer med mini-udbud for leasing af elbilerne. Yderligere har skiftet givet besparelser på driftsomkostninger og øget køreglæden, der dog delvist stammer fra overgangen til automatgear.

Tilslutningen til elnettet har med den nuværende bilflåde ikke været et problem.

Både samarbejdet med Copenhagen Electric og muligheden for at få mængderabat ved at købe i fællesskab på tværs af kommuner gav et skub i den rigtige retning, og vurderes af Marie-Louise Lemgart, projektleder i Teknik- og Miljøcenteret i Høje-Taastrup Kommune, at være en essentiel del af beslutningsprocessen.

Ved årsskiftet 2019/2020 får Høje-Taastrup Kommune en mulighed for at udskifte bilflåden igen. Om dette bliver el til el, hvor de eksisterende elbiler skiftes ud, eller om flere biler på fossile brændstoffer bliver udskiftet med elbiler, er endnu ikke besluttet.

Gode råd fra Høje-Taastrup Kommune

Marie-Louise Lemgart mener, at der er flere betingelserne for, at man kan få succes med elbiler i en kommune. Det er et spørgsmål om økonomien, kørselsbehovet, og det er en proces, der kræver en positiv holdning fra brugerne. Sidstnævnte har Høje-Taastrup opnået ved indførelsen af Renault Zoe fra 2018, da disse opfyldte brugernes behov. Da kommunen anvendte Zoe-modellen fra 2015 var det ikke tilfældet.

Infrastruktur kan ifølge Marie-Louise Lemgart udgøre en stor barriere for forbrugere af elbiler. Specielt i hovedstadsområdet, der er meget præget af pendling, er der behov for en infrastruktur der kan holde til en større mængde elbiler. el-biler. Det handler for eksempel om parkeringspladser og lade standere, der er lette at tilgå. Yderligere kan udbud i format af et mini-udbud anbefales, hvor der lægges vægt på, at leasing er vejen frem i kommunerne. Dette er en mere overkommelig måde at træde ind på el-bilsmarkedet på for kommunerne.

Referencer

Marie-Louise Lemgart, projektleder i Teknik- og Miljøcenteret i Høje-Taastrup Kommune.

Ulrich Elmvang, flådekoordinator i Høje-Taastrup Kommune.



Formålet med projektet 'Roadmap for elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.

Elbusser i København

Københavns Kommune har i samarbejde med Movia og E.ON igennem to år testet brugen af elbusser på linje 3A. Erfaringerne fra testen af elbusser er blevet brugt af Movia og Københavns Kommune i forbindelse med at Movia indsætter byens første permanente elbusser på linje 2A og 18 i december 2019. Planen er, at alle Københavns busser skal køre på el inden 2025.

Om København

København har længe været frontløber på klimafronten og har en ambitiøs målsætning om at være verdens første CO₂-neutrale hovedstad allerede i 2025. Målet skal nås ved at kombinere vækst, udvikling og øget livskvalitet med CO₂-reduktioner. København vedtog i 2012 den overordnede klimaplan, KBH2025, som består af indsatser i fire spor: energiforbrug, energiproduktion, mobilitet og Københavns Kommune som virksomhed. For alle spor er der opstillet specifikke mål, som er nødvendige for indfri målsætningen om CO₂-neutralitet. De specifikke mål for mobiliteten i 2025 er:

- 75% af alle ture foregår i gang, på cykel eller i kollektiv trafik
- 50% af ture til arbejde eller uddannelse foregår på cykel
- 20% flere passagerer bruger den kollektive trafik i forhold til 2009
- Den kollektive transport er CO₂-neutral
- 20-30% af alle lette køretøjer bruger nye drivmidler
- 30-40% af alle tunge køretøjer bruger nye drivmidler

Målene er set i forhold til 2010 og kræver både markante og innovative investeringer for at blive realiseret.

Motivation for projektet

Københavns Kommune udførte deres første forsøg med elbusser i perioden 2009-2014, i form af 11 ombyggede, små dieselbusser. Andet forsøg

foregik i 2014-2015 og var med kommercielle elbusser leveret af BYD, som blev opladt i løbet af natten. I 2016 blev to elbusser indsat på linje 3A i København, som har kørt som forsøg frem til januar 2019. Ruten var omkring ni kilometer lang og gik fra Valbyparken til Nordhavn Station. Busserne var udstyret med en pantograf, som tillod hurtigopladning ved endestationerne. Testresultaterne fra forsøget på linje 3A viste, at 92% af passagererne var enten tilfredse eller meget tilfredse, og at 82% af chaufførerne mente, at udskiftningen af dieselbusser til elbusser var en god ide. Passagerne fremhæver især det lave støjniveau i elbusserne som positivt.



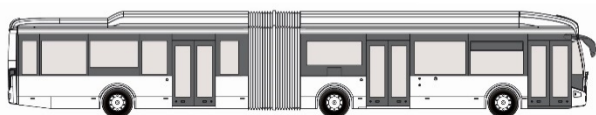
Figur 1: Forsøgselbussen på linje 3A under hurtigopladning med pantograf. [<https://www.kk.dk/nyheder/fremtidens-el-busser-koerer-nu-i-koebenhavn>]

På baggrund af bl.a. erfaringerne fra forsøget har Københavns Kommune besluttet at allerede fra 8. december 2019 skal 15% af busflåden elektrificeres, svarende til 41 elbusser fordelt på linje 2A og 18. Den yderlige forventning omkring implementeringen af nulemissionsbusser i Københavns Kommune er 25% i 2021, 60% i 2023 og 100% i 2025.



Teknologien

Busser drevet af elektricitet har været i brug i årtier, dog hovedsageligt hvor elektricitet tilføres kontinuerligt via køreledninger. De første moderne elbusser med batteri som energikilde blev introduceret i starten af 2010'erne. Teknologien har siden oplevet stor opmærksomhed, som har ledt til udvikling og større implementering. I slutningen af 2018 var den globale flåde af elbusser på 460.000 køretøjer, næsten 100.000 mere end i 2017. Langt størstedelen af verdens elbusser opererer i Kina, men udrulningen er småt ved at få momentum i resten af verdenen, inklusive Danmark.



Figur 2: VDL Citea SLFA-180 Electric [<https://www.vdl-buscoach.com/nl/producten/citea-electric/citea-slf-slf-electric>]

Interessen i elbusser skyldes flere klare fordele over traditionelle dieselbusser, heriblandt et markant lavere støjniveau, ingen lokale emissioner og muligheden for fossilfri transport, hvis oprindelsen på elektriciteten kan dokumenteres som værende bæredygtig. Derudover har elbusser en markant højere effektivitet og dermed lavere energiforbrug end dieselbusser. Hvor en dieselmotor typisk har en effektivitet omkring 20-30%, har elmotorer en effektivitet på op til 95%. Den høje effektivitet skyldes, at elmotorer producerer langt mindre varme end forbrændingsmotorer, hvorved en større del af energien kan blive omsat til fremdrift. Elbusser har færre bevægelige dele end dieselbusser, som resulterer i mindre vedligeholdelse. Den reducerede vedligeholdelse i samspil med den højere effektivitet gør elbusser markant billigere i drift end dieselbusser. Elbusser er dog stadig dyrere i anskaffelsespris end dieselbusser, hvorfor det er vigtigt at regne på

omkostningerne over hele bussens levetid. Derudover kan elbusser stadig ikke matche dieselbussers lange rækkevidde og er derfor i øjeblikket bedst egnet til korte distancer med mulighed for opladning tæt på ruten, hvorved urban rutefart er ideelt.

I København har man besluttet at indsætte 20 elbusser på linje 18 og 21 på linje 2A fra 8. december 2019. De to linjer vil anvende forskellige teknikker til opladning. Elbusserne på både linje 18 og 2A skal oplades i et garageanlæg om natten, men elbusserne på linje 2A vil derudover også oplade ved endestationerne ved brug af en pantograf. Elbusserne på linje 18 leveres af den kinesiske producent BYD og vil være af typen K9. På linje 2A leveres elbusserne af den hollandske producent, VDL Bus & Coach, og vil være af typen Citea SLFA-180 Electric, illustreret i Figur 2. Citea SLFA-180 Electric er udstyret med en varmepumpe, som sikrer et fuldt elektrisk klimaanlæg. K9 har ligeledes elektrisk klimaanlæg, men når udetemperaturen kommer under fem grader, anvender bussen syntetisk biodiesel (HVO) til opvarmning. Udvalgte tekniske specifikationer for de nye elbusser fremgår af Tabel 1.

Tabel 1: Tekniske specifikationer for de nye elbusser.

	VDL Citea SLFA-180	BYD K9
Længde	18,0 m	12,2 m
Egenvægt	19,0 tons	14,4 tons
Tilladt totalvægt	29,0 tons	19,7 tons
Maks. motoreffekt	210 kW	300 kW
Maks. drejningsmoment	2.000 Nm	1.100 Nm
Batterikapacitet	288 kWh	348 kWh
Ladeeffekt	450 kW	80 kW



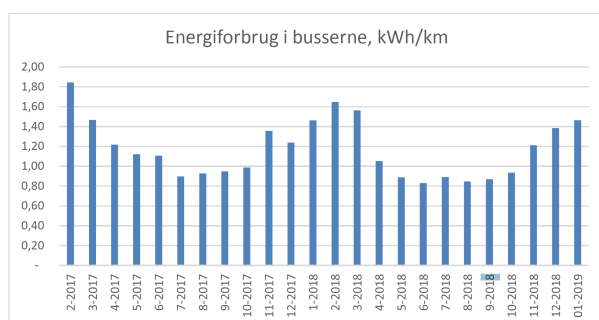
Formålet med projektet 'Roadmap for elektrificering i Danmark' er at inspirere beslutningstagere og aktører til beslutninger, der bidrager til den grønne omstilling gennem elektrificering. Projektet støttes af Energifonden. Som en væsentlig del af projektet udarbejdes en række case stories, der beskriver konkrete elektrificeringsprojekter, der er gennemført med succes.



Økonomien

Udbudsrunderen

Den nye busdrift på linje 2A og 18 har været igennem en udbudsrunde på vegne af Movia. Movia har således specificeret deres krav til de nye buslinjer, hvorefter private aktører frit kunne byde ind. Tildelingskriteriet er det økonomisk mest fordelagtige tilbud, identificeret som bedste forhold mellem pris og kvalitet. Forholdet mellem pris og kvalitet er baseret på en procentvis vægtning mellem fire underkategorier, som fremgår pris - 40%, kvalitet af drift - 40%, miljø - 5% og kvalitet af materiel - 15%. Derudover var det et krav, at de nye busser skulle være nulemissionskøretøjer i forhold til fremdriftsmiddel. Driften på de to linjer blev tildelt to forskellige operatører, linje 18 til Anchersen A/S og linje 2A til Arriva Danmark A/S. Udbudsrunderen har vist, at de totale omkostninger for elbusser er 3-11% højere end tilsvarende dieselbusser. Denne meromkostning forventes at falde i takt med at teknologien udvikles og mognes, og at operatørerne får mere erfaring med teknologien, hvorved deres risikofortolkning ændres.



Figur 3: Energiforbruget for forsøgsbusserne på linje 3A. [Københavns Kommune, 2019, "Evaluering af forsøg med elbusser, der hurtigoplades ved endestationerne"]

Afgiftsfritagelse

En forudsætning for sammenhæng i økonomien for elbusser er en elafgiftsfritagelse på lige fod med S-tog og metro. Uden fritagelsen er afgiftsniveauet 88,4 øre/kWh, og med fritagelsen er afgiften blot 0,4 øre/kWh. Den nuværende fritagelse

gælder frem til 2024, hvor man skal beslutte om fritagelsen skal forlænges, gøres permanent eller afskaffes.



Figur 4: BYD K9 [<https://ida.dk/arrangement/el-busserne-kommer-mod-byd-og-anchersen-335104>]

Driftsomkostninger

Forsøget på linje 3A viste, at elbusserne har et gennemsnitligt energiforbrug på 0,85 kWh/km om sommeren og 1,55 kWh/km om vinteren, som det fremgår af Figur 3. Den store forskel på sommer og vinter skyldes, at elbusserne bruger el til opvarmning. I gennemsnit bruger elbusserne 1,20 kWh/km, og til sammenligning kører en dieselbus omkring 3 km/l. Ved antagelse af en el- og dieselpris ekskl. moms på henholdsvis 0,7 kr./kWh og 8,8 kr./l, kan brændstoføkonomien beregnes til 0,84 kr./km for elbusser og 2,93 kr./km for dieselbusser. Uden afgiftsfritagelsen er prisen for elbusser 1,90 kr./km. Elforbruget til elbusserne i forsøget er altså 71% billigere end tilsvarende brændstofforbrug for dieselbusser.



Figur 5: VDL Citea SLFA-180 Electric [<https://politiken.dk/klima/art7546668/Fra-i-dag-k%C3%B8rer-48-nye-el-busser-i-hovedstaden>]



Erfaringer, ønsker og gode råd

Resultatet af udbudsrunden var en fuld elektrificering af de to linjer, hvilket skyldes kravet om nulemissionsteknologi. Dette var en politisk beslutning, som gjorde at meromkostninger i forhold til dieselbusser blev integreret i budgettet. At løsningen blev elbusser og ikke andre nulemissionsteknologier, fx brintbusser, må antages at skyldes, at elbusser var den mest økonomiske løsning.

Ladeinfrastruktur

Forud for udbudsrunden var Movia blevet bekendt med, at operatørerne var usikre i forhold til opsætning af ladeinfrastruktur, særlig omkring omkostninger og indhentning af nødvendige tilladelser. Det blev derfor besluttet, at Movia skulle være ansvarlig for opsætning af den nødvendige ladeinfrastruktur, drift og kontrakter, men at ladeinfrastrukturen stadig skulle finansieres af operatøren. Movia udarbejdede rammeudbud af ladeinfrastruktur til endestationsopladning, og i tilfælde af at operatøren ønskede at anvende hurtigopladning ved endestationer, ville dette i samarbejde med Københavns Kommune blive inkluderet i udbudsmaterialet. På den måde blev risikoen for operatøren markant reduceret. Movia har indgået aftale med Siemens om opsætningen af ladestandere til elbusser for hele Sjælland.

Forsøget

Omkostningerne for forsøgsbusserne var generelt højere end de forventede omkostninger for de permanente elbusser, som både skyldes kvaliteten af busserne og det lave antal. Det vurderes, at forsøgsbusserne generelt har været af lav kvalitet, hvorved behovet for reparationer har været stort. Det skal dog bemærkes, at problemerne hovedsageligt har været i forbindelse med almindelige komponenter, og ikke med de elektriske

komponenter som elmotorerne og batteriet. De mange problemer har derfor heller ikke skræmt Movia og Københavns Kommune væk fra elbus-teknologien.

De nye elbusser leveres af langt mere erfarne producenter end dem, som leverede elbusserne til forsøget. BYD har produceret mere end 50.000 elbusser og er en af de førende producenter i Kina. VDL Bus & Coach er en af de førende europæiske producenter og har netop lanceret opførelsen af en ny fabrik dedikeret til produktionen af elbusser. Fabrikken skal ligge i Roeselare i Belgien og forventes i drift i år 2021. Da man iværksatte forsøget på linje 3A vurderede man, at den afsatte pause for chaufføren ved endestationerne på omkring 4-5 minutter var nok til, at der samtidig kunne lades. I praktisk blev de 4-5 minutter dog nogle gange anvendt til at indhente forsinkelser. Det er derfor et krav til de nye linjer, at der skal afsættes tid til både forsinkelser og opladning.

Generelt

Generelt vurderes forsøget på linje 3A som værende vitalt for den yderligere udrulning af elbusser i København. Forsøget har skabt nødvendig viden og har hjulpet til at holde priserne nede. Desuden vurderer Københavns Kommune, at et godt samarbejde på tværs af de involverede kommuner ligeledes har været nødvendigt for projektets succes.

Referencer

- Mikkel Krogsgaard Niss, Projektleder, Københavns Kommune
- Ingeniøren, 2018, "Elbusser overtager to ruter i København"
- TV2 Lorry, 2019, "Efter succesfuld test: Bybusserne i København skal køre på el inden 2025"