

# Maskinmesteren

MANAGEMENT AND TECHNOLOGY



Særudgave med  
Energy Cluster Denmark











# Forord

I 2022 og 2023 har Maskinmesteren bragt en artikelserie, som fortæller om 17 forskellige udviklings- og innovationsprojekter under Energy Cluster Denmark. Det er projekter, som på den ene eller anden måde har den bæredygtige omstilling i Danmark i fokus, og som dermed har stor relevans for mange maskinmestres arbejdsområder både nu og fremover.

I dette særmagasin – udgivet af Maskinmestrenes Forening – har vi samlet alle Energy Cluster Denmark-artiklerne, så man nu kan genbesøge eller for første gang stifte bekendtskab med de mange cases og forhåbentlig blive inspireret, opdateret og opdage nyt.

Artiklerien er udarbejdet i tæt dialog mellem Maskinmestrenes Forening og Energy Cluster Denmark, som er den nationale klyngeorganisation for energisektoren i Danmark. Energy Cluster Denmark skal sikre samarbejde mellem danske virksomheder og vidensinstitutioner om innovation og nye teknologiske løsninger og services, som efterspørges af markedet inden for alle grene af den grønne omstilling. I alt er 500+ virksomheder, vidensinstitutioner og organisationer med i Energy Cluster Denmark. Den samlede porteføl-

je udgøres af 85 projekter med et samlet budget på cirka 3,4 milliarder kroner.

Artiklerien har blandt andet handlet om PtX, brintproduktion, Carbon Capture, AI, grønne brændstoffer, energilagring med smeltet salt, genanvendelse af møllevinger og mange andre aspekter af en bæredygtig fremtid. Artiklerien viser på den måde den enorme bredde i de indsatser, der er i gang over hele landet for at nå klimamålene i Danmark. Men perspektivet er større, fordi mange af de løsninger, som er under udvikling, har betydeligt eksportpotentiale.

På den måde bekræfter de mange forskellige innovationsprojekter, at den bæredygtige omstilling ikke kun handler om at gøre Danmark fossilfrit, men også om at holde fast i vores position som grønt foregangsland, der kan inspirere globalt. Artiklerne viser desuden, hvor mange forskellige teknologiske områder, som skal gøres bæredygtige, før alle hjørner af vores industri og energiproduktion kan opfylde klimamålene i først 2030 og siden 2045. Der er stadig meget arbejde forude – for både maskinmestre og Energy Cluster Denmark.

*God læselyst!*



**Glenda Napier**  
CEO, Energy  
Cluster Denmark

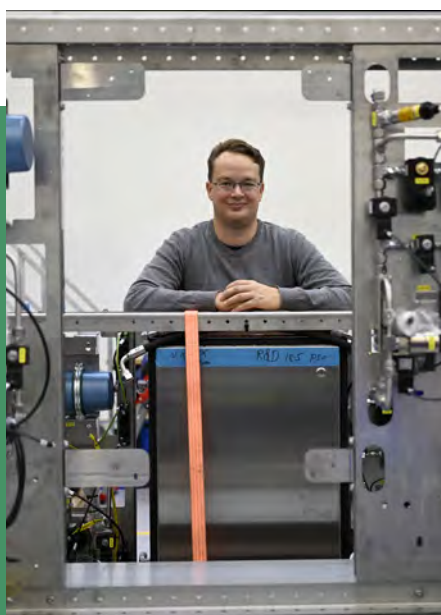


**Lars Have Hansen**  
Formand, Maskinmestrenes  
Forening



# Indhold

- 6 Find din næste grønne samarbejdspartner her
- 14 Grøn brintproduktion kræver sikre sensorer
- 24 CO<sub>2</sub> skal tilbage i undergrunden
- 32 Til Læsø på metanol
- 42 På jagt efter The Golden Batch
- 52 Fjernvarmeselskab tager temperaturen på din bolig
- 60 Smøreolie og andre fluider skal overvåges i realtid
- 70 CO<sub>2</sub>-lagring udfordres af korrosion
- 80 AI-droner skal foretage inspektion og opmåling
- 90 Optimeret offshore reduktion af svovlbrinte
- 100 Genanvendelse af møllevinger skal gøres bæredygtig
- 110 Grøn metanol leverer overskudsvarme til Aabenraa





- 120 Svejsning i støbejern til vindmøller**
- 130 Autonom ROV fjerner selv begroning på offshore installationer**
- 138 Modeller for en bæredygtig fremtid**
- 148 Flydende salt skal lagre grøn energi i industriel skala**
- 158 PtX skal skabe nye, industrielle værdistrømme**

Denne udgave er et særtryk af artikler, som tidligere er bragt i fagmagasinet Maskinmesteren, omhandlende projektsamarbejder i Energy Cluster Denmark i perioden juli 2022 til december 2023.

Grafisk produktion: JJ Kommunikation ApS





## Energy Cluster Denmark

Energy Cluster Denmark er den nationale klyngeorganisation for energisektoren i Danmark.



Klyngeorganisationen skal sikre samarbejde mellem danske virksomheder og vidensinstitutioner om innovation og nye teknologiske løsninger og services, som efterspørges af markedet inden for alle grene af den grønne omstilling.

### **Medlemmer:**

500+ virksomheder, vidensinstitutioner og organisationer.

### **Samlet projektportefølje:**

Cirka 85 projekter.

### **Samlede projektbudgetter:**

Cirka 3,4 milliarder kroner.

[Energycluster.dk](http://Energycluster.dk)



# Find din næste grønne samarbejds-partner her

Virksomheder og forskere med behov for videnstunge partnere finder sammen hos Energy Cluster Denmark, som er den nationale innovationsklynge for den samlede energisektor.





**»Vi arbejder kun med innovation og udvikling af løsninger, som der politisk og markedsæssigt er efterspørgsel på. Vi sidder ikke og opfinder "spændende" løsninger for deres egen skyld. Der skal være en problemejer, som ønsker et problem eller opgave løst.«**

Glenda Napier, CEO, Energy Cluster Denmark.





**D**en grønne omstilling i Danmark kræver samarbejde, hvis den skal nå i mål.

Både virksomheder og forskere har brug for hinanden til at udvikle de nye bæredygtige løsninger, som markedet efterspørger, og som er nødvendige for at opfylde klima- og energimålene i 2030 og 2050.

For at understøtte den nødvendige grønne innovation tilbyder Energy Cluster Denmark at varetage den nødvendige facilitering og procesledelse, herunder at samle alle de nødvendige kompetencer og holde innovationsprocesserne på sporet.

»Vi skal som national innovationsklynge hjælpe med at videreudvikle et energisystem, som allerede er i verdensklasse, men hvor der også er opstillet konkrete mål for den videre grønne omstilling. Vi faciliterer og fundraiser innovationsaktiviteter og innovationsprojekter, der involverer partnerskaber mellem små og mellemstore virksomheder foruden markedsledende virksomheder og førende forsknings- og vidensinstitutioner,« siger Glenda Napier, CEO for Energy Cluster Denmark.

Virksomheder kommer typisk til Energy Cluster Denmark, når de står med en ide eller et udviklingsprojekt, hvor de har brug for ekstern ekspertise og måske også funding.

»At samarbejde om grøn innovation kræver, at man skal finde de rigtige partnere, man skal skabe funding, og man skal have styr på juraen og de formelle aftaler om udnyttelsen af de nye løsninger. Typisk følger også krav om at kommunikere om projekterne. Kort sagt, der er mange ting, man skal have styr på for at sikre, at projekterne rent faktisk bliver til noget. Det er her, Energy Cluster Denmark kommer ind i billedet,« siger Glenda Napier.

### Professionel projektledelse

Hvis man som maskinmester deltager i en virksomheds udviklings- og innovationsarbejde inden for grøn teknologi og i den forbindelse har brug for nye samarbejdspartnere for eksempel andre virksomheder eller en forsker, ekspertise, projektledelse, funding, juridisk rådgivning eller anden hjælp, tilbyder Energy Cluster Denmark sin assistance.

»Vi arbejder kun med innovation og udvikling af løsninger, som der politisk og markeds-mæssigt er efterspørgsel på. Vi sidder ikke og opfinder "spændende" løsninger for deres egen skyld. Der skal være en problemejer, som ønsker et problem eller opgave løst. Sådan sikrer vi, at vi bidrager til relevant, efterspørgselsdrevet innovation. Alle vores projekter skal spille ind og bidrage til de overordnede politi-

ske målsætninger for grøn omstilling, altså 2030- og 2050-målene,« siger Glenda Napier.

Energy Cluster Denmark udspringer af tre tidligere innovationsklynger – Energy Innovation Cluster, House of Energy og Clean Energy – og blev etableret i 2020, da man politisk besluttede at samle kræfterne i færre, men stærkere nationale klyngeorganisationer. Energy Cluster Denmark er således udpeget og delvist finansieret af Uddannelses- og Forskningsministeriet og Erhvervsministeriet, men skal skaffe størstedelen af sin økonomi ved medlemskaber samt ved at hjælpe virksomheder og vidensinstitutioner med innovationsaktiviteter.

»Erfaringerne viser, at innovationssamarbejde ikke er så nemt endda, og det er vores eksistensberettigelse. Mange virksomheder og organisationer har simpelthen ikke ressourcer eller overblikket til at søge funding og sikre fremdriften i store innovationsprojekter med mange partnere. Det er her, vi kan tilbyde professionel projektledelse, administration, fundraising og kommunikation,« siger Glenda Napier.

### De rigtige partnere

Innovation på et vist niveau er så komplekst, at det kræver flere typer ekspertise at nå i mål, og i mange innovationsprojekter skal man arbejde sammen med partnere, man ikke kender.

»Vi kender energisektoren indgående; fra underskoven af små startups og innovative SMV'er over GTS'er og vidensinstitutioner til de største virksomheder, som ofte er globale aktører. Vi skal sikre et match af de rigtige partnere til projekter. Finde samarbejdspartnere, som supplerer hinanden og afdækker de kompetencer, som flytter innovationsprojekter fremad,« siger Glenda Napier.

En anden stor opgave er at skaffe funding til projekter.

»Fundraising er en selvstændig disciplin, som langt fra alle virksomheder eller organisationer selv har kompetencerne til at gennemføre på et professionelt niveau. Det kan være langvarige processer, hvor der er brug for erfaring og meget konkrete kompetencer for at nå i mål. I nogle projekter skal der søges funding i flere omgange for at nå i mål,« siger hun videre.

En tredje stor opgave er daglig projektledelse, administration og kommunikation, som er nødvendig både for at holde en proces i gang, men også for at kunne afrapportere et projekt, som typisk er et krav, der følger med funding og økonomiske bevillinger.

»Vi får mange medlemmer gennem projektdeltagelse – nogle gange henvender virksom-



**»PtX og CO<sub>2</sub>-lagring (CCS) udvikler sig med lynets hast lige nu og er oplagte områder for maskinmestre at arbejde med. Der skal sejles eller pumpes CO<sub>2</sub> ud til undersøiske lagre. Der skal produceres grønne brændstoffer i PtX-anlæg. Det bliver mere hybride og komplekse systemer, hvor der vil være mange spændende og udfordrende opgaver.«**

Glenda Napier, CEO, Energy Cluster Denmark.

heder sig til os for at få hjælp, andre gange henvender vi os til virksomheder, fordi de har de kompetencer, der er brug for i et projekt,« siger Glenda Napier.

#### **Juraen på plads**

Jura er en selvstændig problemstilling, som skal være med til at sikre, at retighederne til de løsninger, som udvikles, bliver aftalt på en måde, der tilgodeser de forskellige projektdeltagere.

»Hvis én projektdeltager insisterer på at eje en løsning helt alene, kan det godt blive svært. Som regel skal man være indstillet på at dele en løsning med andre projektdeltagere eller beta-





le sig til eneret for løsningen. Men der findes mange former for løsninger, hvad angår ejerskabet. Fidusen er at sikre, at det ikke kommer i vejen for det gode samarbejde,« siger Glenda Napier.

Fælles for alle projekter under Energy Cluster Denmark er, at de skal løse problemer og opgaver, som der ikke er løsninger til i dag. Derfor kan der være et ønske om fortrolighed i projekter, som kræver indgåelse af NDA – Non Disclosure Agreements.

»Vi er respekteret som en neutral platform for innovation. Det betyder, at konkurrenter hos os kan mødes om at udvikle nye fælles løsninger til gavn for

hele industrien. For eksempel er Vestas og Siemens Gamesa og en række underleverandører gået sammen om en ny standardiseret løsning til transport af vindmøllekomponenter, som kommer hele værdikæden til gode fremover i form af sparede udgifter og ressourcer,« siger Glenda Napier.

Et andet projekt handler om genbrug af vindmøllekomponenter, som også kan komme hele branchen til gode. Et tredje projekt skal udvikle løsninger til at gemme CO<sub>2</sub> i tidligere olie- og gasfelter i Nordsøen.

»At gemme CO<sub>2</sub> i undergrunden er et eksempel på niveauet af kompleksitet. De potentielle gevinster er meget

store, men det er kravene til løsninger også. Der er cirka 30 samarbejdspartnere i det projekt, hvilket siger noget om kompleksiteten og kravene til projektledelse,« siger Glenda Napier.

### Projekter for tre milliarder kroner

Aktuelt er Energy Cluster Denmark involveret i cirka 85 projekter med et samlet budget på 3,4 milliarder kroner. Projekterne under Energy Cluster Denmark retter sig mod stort set alle aspekter af den grønne omstilling: produktion, distribution, infrastruktur, lagring, forbrug og sektorkobling. Projekter under Energy Cluster Denmark har typisk en varighed på 3-5 år og foregår i faser, som ofte kræver separat funding for hver projektfase.

»Størstedelen af vores medarbejdere er projektledere, som hjælper vores medlemmer med at gennemføre projekterne og reducere administrative byrder for virksomhederne, så de kan koncentrere sig om projekternes faglige indhold,« siger Glenda Napier.

Selv om Energy Cluster Denmark er en national klyngeorganisation, er en del af målsætningen at blive mere international i sine aktiviteter. I dag er cirka 25 procent af aktiviteterne internationale, og det tal skal øges.

»Vi hjemtager allerede en stor del af vores funding fra EU i form af Horizon Europe- og Green Deal-programmerne. Flere af vores projekter er allerede internationale, og den udvikling vil fortsætte. Ambitionerne i Esbjerg-klæringen understreger, at der er mod på og behov for internationalt samarbejde,« siger Glenda Napier.

Hun ser en meget bred palette af opgaver for maskinmestrene fremadrettet i den grønne omstilling. Det handler ikke kun om at holde maskineri kørende, men om at få store energisystemer til at hænge sammen og etablere helt nye typer energianlæg og lagring.

»PtX og CO<sub>2</sub>-lagring (CCS) udvikler sig med lynets hast lige nu og er oplagte områder for maskinmestre at arbejde med. Der skal sejles eller pumpes CO<sub>2</sub> ud til undersøiske lagre. Der skal produceres grønne brændstoffer i PtX-anlæg. Det bliver mere hybride og komplekse systemer, hvor der vil være mange spændende og udfordrende



»Vi kender energisektoren indgående; fra underskoven af små startups og innovative SMV'er over GTS'er og vidensinstitutioner til de største virksomheder, som ofte er globale aktører. Vi skal sikre et match af de rigtige partnere til projekter. Finde samarbejdspartnere, som supplerer hinanden og afdækker de kompetencer, som flytter innovationsprojekter fremad,« siger Glenda Napier.





opgaver, som skal løses for at få disse nye systemer og processer integreret i det eksisterende energisystem, som samtidig er under omstilling til bæredygtige energikilder,« siger Glenda Napier.

### **Data og digitalisering**

Digitalisering, dataanalyse og monitoring er også en vigtig del af mange projekter under Energy Cluster Denmark og bliver ligeledes en del af fremtidens opgaver for maskinmestre.

»Drifts- og dataovervågning på distancen er allerede en realitet og vil blive endnu mere udbredt. Opsamling af data fra energisektoren skal kobles med en kortlægning af CO<sub>2</sub>-udledning i hele værdikæden, og hvilken type CO<sub>2</sub> der er tale om – biogen eller fossil CO<sub>2</sub>. Man skal kunne tracke oprindelsen og andelen af CO<sub>2</sub>, når vi skal lave grønne brændstoffer i fremtiden,« siger Glenda Napier.

I kraft af et samarbejde med Center Denmark har medlemmer af Energy

Cluster Denmark adgang til de data fra energisektoren, som Center Denmark er ved at gøre klar til brug.

Dataplatformen er beregnet til sektorkobling og skal skabe adgang til store mængder data fra fjernvarme, vand- og elforsyning – og fra produktion, distribution og forbrug. Alle datasæt opdateres fra timeintervaller til data, der opdateres hvert sekund.

Platformen bliver løbende udbygget med flere datakilder, som vil kunne korrelere med relevante kilder som BBR, markedsdata og vejrdato med videre, hvorefter datasættene stilles til rådighed i anonym form.

»Der er et stort potentiale i at digitalisere mere af energisektoren og skabe en ubegrænset adgang til de digitale energidata, som kan understøtte den grønne omstilling. Udviklingen af nye, datadrevne løsninger, er meget værdifuldt for vores medlemmer,« siger Glenda Napier. 🏠

## **ENERGY CLUSTER DENMARK – aktiviteter og ydelser til medlemmer**



### **Innovationsprojekter**

Få hjælp til fundraising, facilitering og administration af innovationsprojekter i tæt samarbejde med andre virksomheder og forskere.

### **Fundraising og partnerskaber**

Få adgang til nogle af landets bedste fundraisere, hjælp til ansøgninger og dannelse af nye partnerskaber.

### **Promovering og markedsføring**

Bliv synlig i klyngen og resten af verden. Bliv eksponeret i nyhedsmedier, nyhedsbreve, på sociale medier og på energycluster.dk

### **Internationalisering**

Deltag i internationale innovationsaktiviteter. Få hjælp med B2B-matchmaking, værdikædeopbygning og internationale innovationsprojekter.

### **Netværk og events**

Deltag i events og netværk med 500 medlemmer og resten af energisektoren.

### **Matchmaking**

Få adgang til virksomheder, vidensinstitutioner og aktører fra hele økosystemet, blandt andet ved årlige matchmaking-events. Deltag i innovationsnetværk, en investordag, Tech Talks og årsmøde.

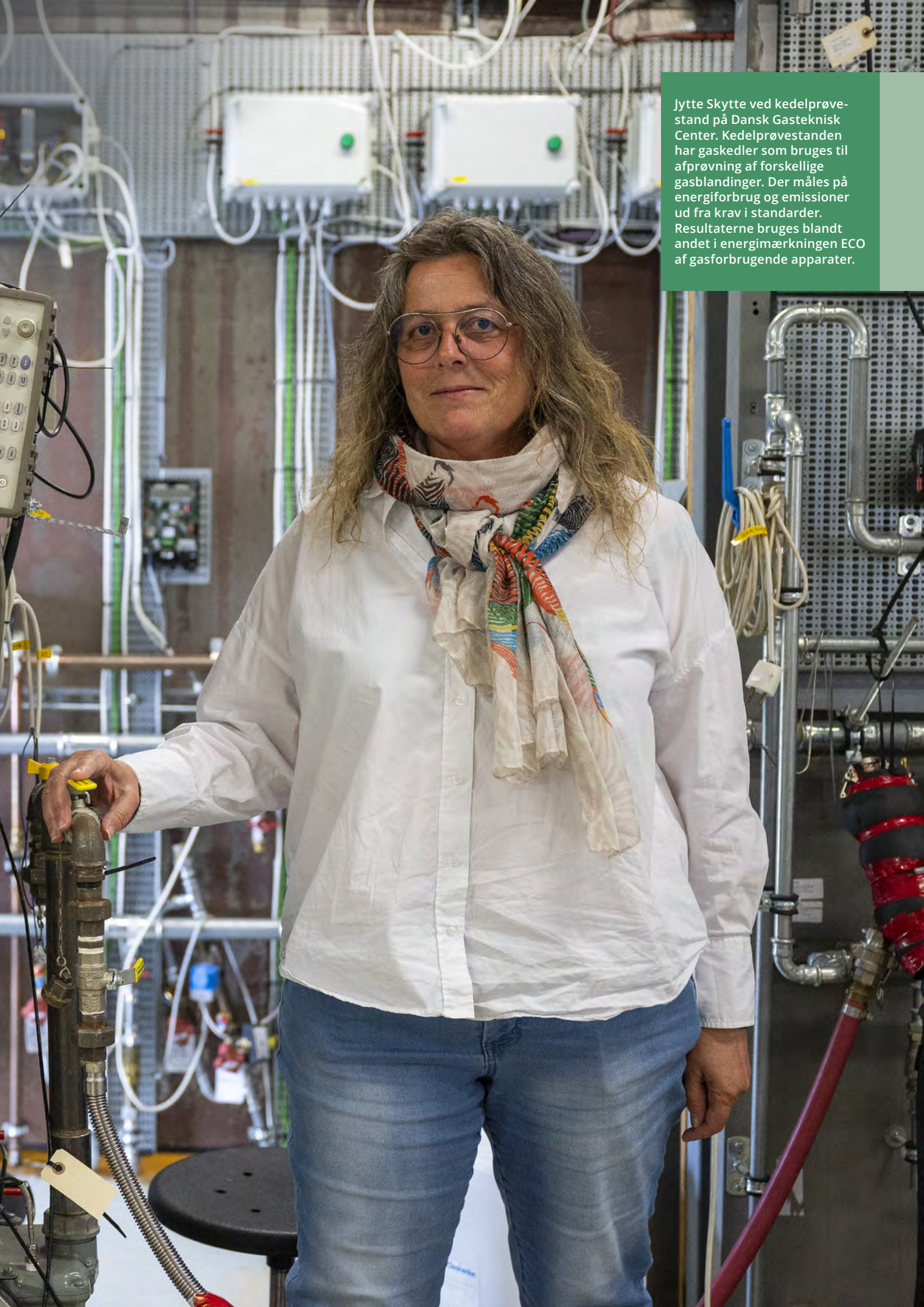


# Grøn brintproduktion kræver sikre sensorer

Energy Cluster Denmark leder et stort udviklingsprojekt af en brintsensor, som skal sikre effektiv drift af fremtidens PtX-anlæg.







Jytte Skytte ved kedelprøve-stand på Dansk Gasteknisk Center. Kedelprøvestanden har gaskedler som bruges til afprøvning af forskellige gasblandinger. Der måles på energiforbrug og emissioner ud fra krav i standarder. Resultaterne bruges blandt andet i energimærkningen ECO af gasforbrugende apparater.





**B**rint har potentiale til at blive en vigtig del af den grønne omstilling. Det skyldes, at brint både er et brændstof og en energibærer, som kan produceres med grøn el fra vind og sol. Men i modsætning til el, som kun i meget begrænset omfang kan lagres, kan

brint lagres som gas. Brint kan igen omdannes til el, når der er behov for el, eller i stedet omdannes til for eksempel metan (naturgas) eller til et flydende brændstof.

»I fremtiden skal vi kunne lagre store mængder grøn strøm, og det kan ske via elektrolyse, hvor el omdannes til



brint og ilt via spaltning af vand,« siger maskinmester Jytte Skytte, der er projektleder ved Dansk Gasteknisk Center.

Ligesom naturgas er brint en brandbar gasart, så man skal holde øje med brintkoncentrationen de steder i processen, hvor brand- og eksplosionsfarlige gasblandinger kan opstå.

### SafePtX-projektet

Målet i det EUDP-støttede projekt "SafePtX – Sensorer som sikkerhedskomponenter i PtX-industrien" er at udvikle en ny type sensor, som kan detektere brintforekomster i iltafgangen fra elektrolyseanlæg.

Elektrolyseanlægget er den centrale del af et PtX-anlæg, hvor X er brint, som efterfølgende kan omdannes til eksempelvis metan, metanol eller ammoniak.

En af deltagerne i SafePtX-projektet er Dansk Gasteknisk Center, hvor Jytte Skytte til daglig arbejder ►

## Jytte Skytte

- Uddannet maskinmester i 1992 fra Maskinmesterskolen i København.
- Ansat som projektleder hos Dansk Gasteknisk Center i 2010.
- Repræsentant for Maskinmesterforeningen i Rådet for El- og Gasteknisk Sikkerhed.
- Dansk repræsentant i EU's forum for 2016/426 Gasapparatforordning.
- Deltager hos Dansk Standard i S-245, S-531 og S-605.
- Underviser i gassikkerhed og sikkerhedsteknisk lovgivning på autorisationsgivende vvs-uddannelser.
- Kredsformand for København Kreds i Maskinmestrenes Forening.

Jytte Skytte i lydødt rum hos Dansk Gasteknisk Selskab. Det lydøde rum bruges til støjtest af blandt andet gaskedler, som har maksimalgrænse for lyd niveauer.

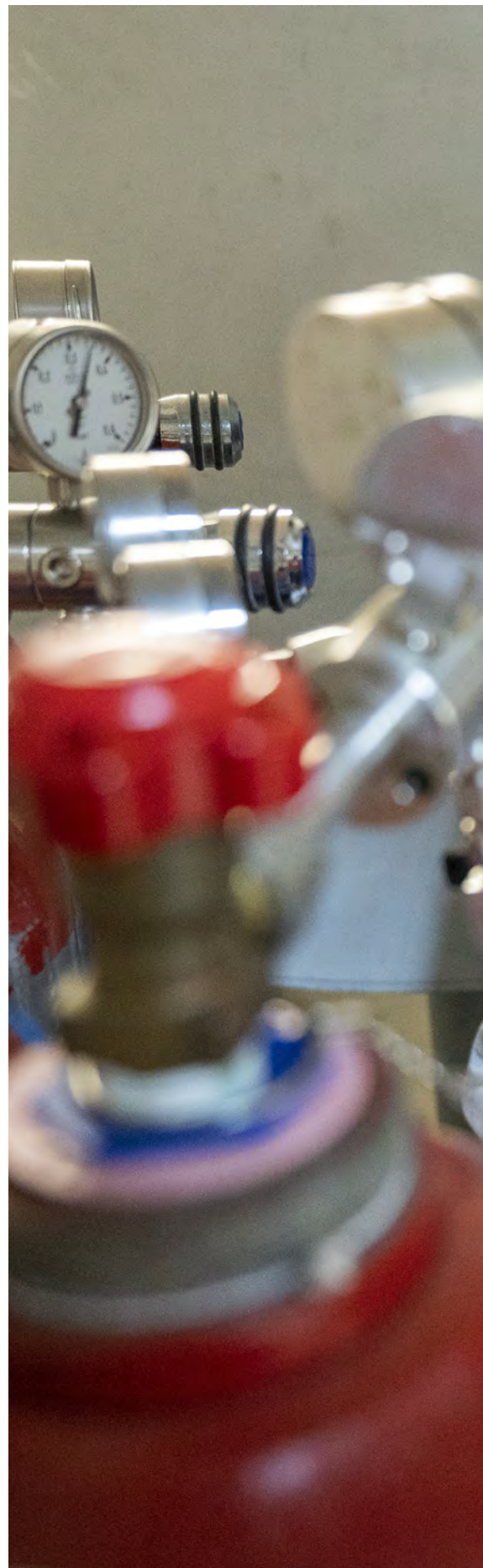
## SafePtX – Sensorer som sikkerhedskomponenter i PtX-industrien

I projektet udvikles og demonstreres en ny sensorløsning til procesovervågning af brint i applikationer som for eksempel elektrolyseanlæg.

### Projektbeskrivelse

- Brint spiller en nøglerolle i produktionen af grønne brændstoffer ved brug af PtX-løsninger.
- Sikkerhed ved håndtering af brint er vigtig, og når der produceres brint ved elektrolyse, kan der dannes blandinger af brint- og iltgasser, som udgør en sikkerhedstrussel for både medarbejdere og udstyr.
- Gaskoncentrationerne skal derfor overvåges kontinuert, så der hurtigt kan lukkes ned for produktionen, hvis grænseværdier overskrides.
- Fordelene ved den nye sensortype omfatter langtidsstabilitet og intern diagnostik baseret på signalredundans.
- Disse egenskaber vil kunne øge oppetiden og dermed produktiviteten betragteligt på brintproduktionssystemer.
- Desuden vil sensorernes evne til at måle direkte i procesgassen mindske kompleksiteten af nuværende gasmonitoreringssystemer, hvor forbehandling før brintmålingerne øger udgifterne betragteligt.
- Samlet set giver sensorerne således en signifikant reduktion i produktionsomkostningerne for brint.

<b>Projektperiode</b>	2022-2023.
<b>Egen finansiering</b>	4,34 millioner kroner.
<b>Støttebeløb</b>	5,24 millioner kroner fra EUDP.
<b>Projektbudget</b>	9,58 millioner kroner.
<b>Projektledelse</b>	Energy Cluster Denmark.
<b>Projektdeltagere</b>	SulfiLogger A/S, Green Hydrogen Systems A/S, Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut og Dansk Gasteknisk Center.

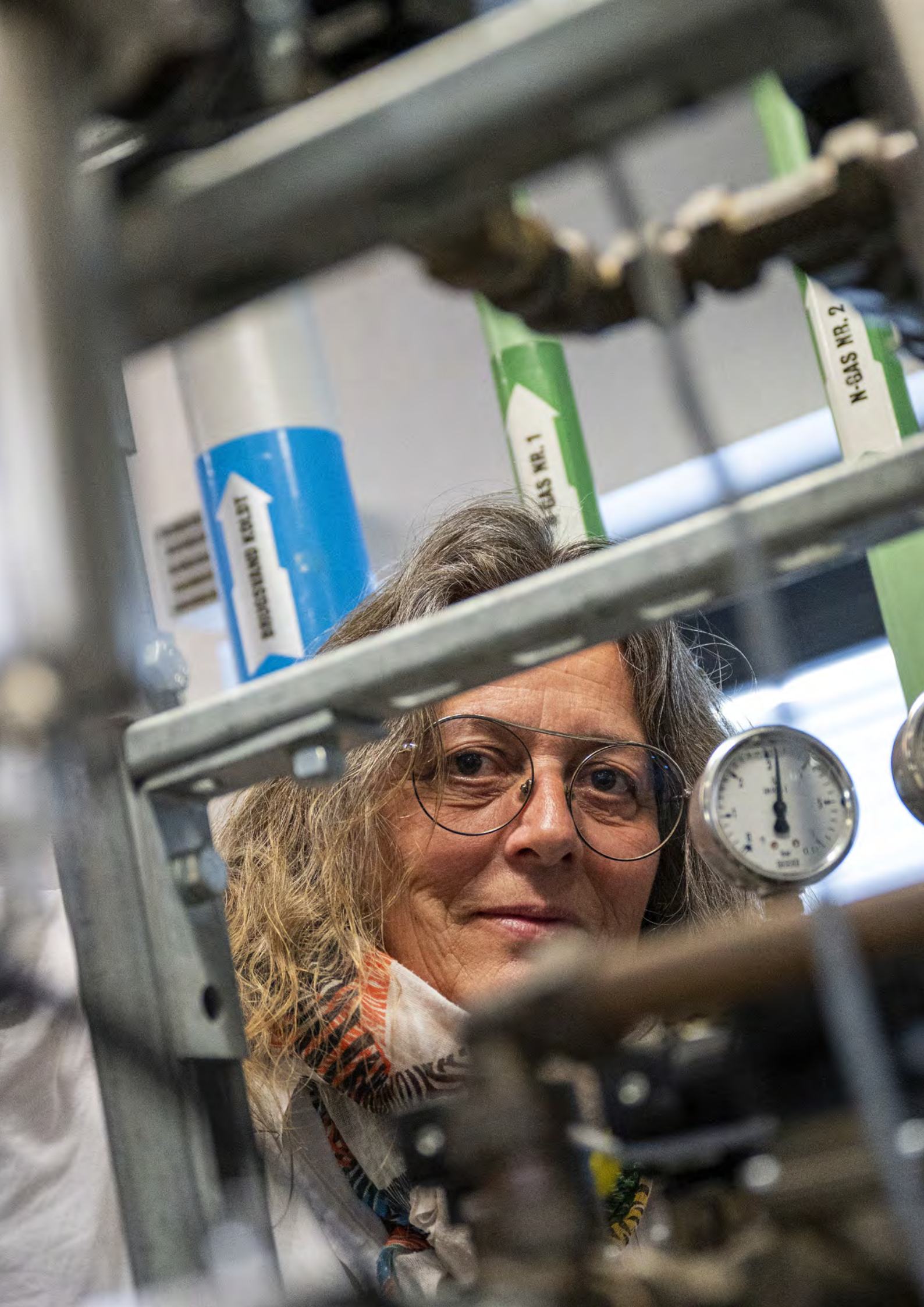






Maskinmester og projektleder Jytte Skytte ved kalibreringsgasser til gaskromatografer på Dansk Gasteknisk Center.









Gasblandestand på Dansk Gasteknisk Center. Gasblandestanden bruges til at blande gas i præcist ønskede forhold. Den blandede gas måles på gaskromatograf – for eksempel brint, metan, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> og tungere gasformige kulbrinter.

med sikkerhed i gasanlæg, herunder rådgivning af virksomheder med større gasinstallationer.

I SafePtX-projektet er Jytte Skyttes rolle at afklare de formelle sikkerhedskrav til den nye brintsensor.

»DGC's rolle i SafePtX-projektet går ud på at afklare, hvilke direktiver, forordninger og standarder, der skal tages hensyn til i forhold til anvendelsen af den nye sensor, som jo blot bliver én af sikkerhedskomponenterne i elektrolyseanlægget,« siger Jytte Skytte.

»Den teknologiske udvikling kræver nye løsninger for at opnå den nødvendige sik-

kerhed, og samtidig skal gældende regler på området overholdes. Men omvendt skal vi undgå, at de eksisterende formelle krav bliver en hindring for innovation, og det, ved vi af erfaring, kan lade sig gøre,« siger hun videre.

### Direkte brintmåling

Der findes allerede godkendte brintsensorer på markedet, men de måler på delstrømme, som er afledt fra selve iltafgangen. Den nye brintsensor skal måle direkte på iltafgangen fra elektrolyseprocessen.

»At måle på delstrømme er ikke optimalt, da man skal tage højde for en tidsforsinkelse af måleresultatet. I praksis sker det ved at sænke grænseværdien, således at der i tide kan reageres på en for høj brintkoncentration. Og en lav grænseværdi vil øge risikoen for at reagere i en situation, hvor det ikke er nødvendigt,« siger Jytte Skytte.

Med den direkte måling af brintniveauet i iltafgangen vil man opnå et hurtigere respons, ►

»Vores rolle i SafePtX-projektet går ud på at afklare, hvilke direktiver, forordninger og standarder der skal tages hensyn til i forhold til anvendelsen af den nye sensor, som jo blot bliver én af sikkerhedskomponenterne i elektrolyseanlægget,« siger Jytte Skytte, her ved en gasblandestand på Dansk Gasteknisk Center.





Jytte Skytte og Field Service Engineer Andreas Heidemann fra Agilent, som udfører service på gaskromatograf hos Dansk Gasteknisk Center.

og derfor kan man anvende en højere grænseværdi. I praksis ventes grænseværdien at kunne øges fra to procent brint ved delstrømsmålingen til fire procent med den nye brintsensor.

»En anden fordel ved den nye sensor er, at kompleksiteten af målingen mindskes sammenlignet med de nuværende gasmonitoreringssystemer, hvor en forbehandling af gassen før

brintmålingerne øger udgifterne,« siger Jytte Skytte.

Den nye type brintsensor udvikles af SulfiLogger og skal afprøves i et elektrolyseanlæg hos Green Hydrogen Systems.

#### **Functional Safety**

Den nye sensor skal godkendes under de såkaldte funktionsbaserede regler – Functional Safety. Målet er, at den nye sensor skal kunne leve op til SIL2-niveauet inden for Functional

Safety. SIL står for Safety Integrity Level og betegner en relativ reduktion af risici ved hjælp af en sikkerhedsfunktion eller en specifik reduktion af risikoniveauet. SIL skal sikre et niveau af driftssikkerhed, hvor kritiske og livsfarlige nedbrud ikke kan forekomme eller kan undgås via en kontrolleret nedlukning.

»Brintsensoren skal være en del af den sikkerhedskreds, som bringer systemet i en sikker tilstand, så der ikke er risici for personer eller materiel.





Konkret vil det med elektrolyse- og andre PtX-anlæg handle om at undgå gasblandinger i koncentrationer, der kan brænde eller eksplodere,« siger Jytte Skytte.

For at øge sikkerheden er der redundans i form af to PLC'er – en drifts-PLC og en sikkerheds-PLC. Sikkerhedskredsen styres af sikkerheds-PLC'en, som ved registrering af for høje brintværdier begynder en nedlukning af processerne i anlægget til sikker tilstand.

### Konkurrencedygtige sensorer

Sikkerhed ved elektrolyse omfatter både ATEX, EMC og Functional Safety – og SafePtX-projektet omfatter alle aspekter af driftssikkerhed og sikker nedlukning. Hertil bi-

drager både Dansk Gasteknisk Center og Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut.

»Vi skal have klarlagt, hvilke regler, der skal følges. Både af hensyn til den konkrete løsning i projektet, men også af hensyn til andre producenter, som ønsker at udvikle lignende sensorer. I projektet udarbejdes en generel vejledning om sikkerhedsforhold til fabrikanter, som ønsker at udvikle brintsensorer til elektrolyseanlæg,« siger Jytte Skytte.

Når SafePtX-projektet er afsluttet, er det op til SulfiLogger at bringe sensoren det sidste stykke vej til markedet.

»Vi skal ikke markedsmodne sensorløsningen i selve projektet. Her skal vi afklare det formelle tekniske grundlag, mens SulfiLogger selv skal stå for den afsluttende godkendelse af sensoren hos et anerkendt certificeringslaboratorium, som skal udføre de afsluttende test,« siger Jytte Skytte.

Der skal udføres en samlet risikoanalyse af elektrolyseanlægget, som ligger til grund for en SIL2-godkendelse, og som omfatter alle de komponenter, der indgår.

»Brintsensoren er jo kun én komponent, og SIL2 omfatter sikkerhedsniveauet i hele sikkerhedskredsen,« siger Jytte Skytte.

For producenterne handler det nu om at gøre sensorerne både driftssikre og konkurrencedygtige.

»Vi håber, at danske producenter får en del af det fremtidige sensor- og brintmarked. Det er jo et vigtigt perspektiv ved SafePtX-projektet,« siger Jytte Skytte.

### Grøn strøm skal lagres

SafePtX-projektet er fundraiset i samarbejde med Energy Cluster Denmark, som også faciliterer og administrerer projektet i samarbejde med partnerne.


»Brintbranchen bliver en afgørende brik i fremtidens energisystem. Derfor er det positivt at se, at hele værdikæden samarbejder om at udvikle og tilpasse nye løsninger som den aktuelle sensor, der skal bidrage til at gøre den danske brintindustri mere konkurrencedygtig,« siger Glenda Napier, CEO i Energy Cluster Denmark.

Ifølge Jytte Skytte vil maskinmestre fremover møde nye typer sensorer, efterhånden som nye energiteknologier – herunder PtX – bliver taget i anvendelse.

Der vil være brug for robuste sensorer, som kan tåle høje tryk, høje temperaturer og høj fugtighed, og som kan måle så tæt og direkte på kilden som muligt, så man undgår unødvendige driftstekniske nedlukninger.

»En af de store, uløste udfordringer i den grønne omstilling er, at vi ikke kan lagre strøm i stor skala. Så foreløbig skal strømmen konverteres til andre energiformer, for eksempel ved hjælp af elektrolyse. Vores nuværende naturgaslagre vil måske kunne bruges til at lagre brint i stor skala, og her skal også bruges sensorer af hensyn til sikkerheden,« siger Jytte Skytte.

Hun ser SafePtX-projektet som ét af mange nødvendige bidrag til den grønne omstilling.

»Det er fagligt sjovt at være med til den slags projekter, for der er mulighed for at få indsigt i teknologier, man ellers ikke kender så meget til, og det giver indblik i, hvad vi kan forvente af fremtiden,« siger Jytte Skytte. 





INEOS

SEA LIFE

INEOS  
Name: Bob Lingo



# CO<sub>2</sub> skal tilbage i undergrunden

Ved CO<sub>2</sub>-lagring sendes CO<sub>2</sub>'en tilbage til undergrunden, hvor den kom fra. I Greensand-projektet pumper man for første gang indsamlet CO<sub>2</sub> ned i danske del af Nordsøen igen.

Rene Bak Lange på kajen i  
Esbjerg Havn med Esvagt  
Innovator i baggrunden.



Efter i årtier at have leveret fossil energi skal olie- og gasfelterne i Nordsøen i fremtiden fungere som lagerplads for CO<sub>2</sub>, så den ikke slipper ud i atmosfæren og bidrager til den globale opvarmning.

»Vi bliver nødt til at anvende en bred vifte af løsninger for at nå klimamålenes store CO<sub>2</sub>-reduktioner, og her er det oplagt at injicere CO<sub>2</sub> ned i tidligere olie- og gasfelter i Nordsøen. Disse felter udgør en infrastruktur, som kan holde mange år endnu – også efter at olie- og gasindvindingen er stoppet. På den måde kan vi pumpe CO<sub>2</sub>'en tilbage, hvor den kom fra, og udnytte de tomme olie- og gasfelter, som en del af løsningen, når vi skal reducere CO<sub>2</sub>-udledningen,« siger Søren Reinhold Poulsen, udviklingsdirektør hos Ineos, der er med i Greensand-projektet, som i første kvartal af

2023 forventer at afprøve CO<sub>2</sub>-lagring i Nordsøen.

Her skal pumpes op til 12.000 tons CO<sub>2</sub> ned i Nini West-feltet, hvor olie- og gasproduktionen nu er afsluttet. Det bliver første gang, at CCS-teknologi afprøves i den danske del af Nordsøen. Hvis alt går som håbet og planlagt, vil der om tre-fire år blive udbudt CO<sub>2</sub>-lagring

Målet er, at der kan lagres op til 1,5 millioner tons CO<sub>2</sub> om året i slut 2025, og at kapaciteten i 2030 er steget til 8 millioner tons CO<sub>2</sub> om året – givet det kan afsættes. Det svarer til udledningen fra ca. 725.000 danskere om året – eller mere end 13 procent af Danmarks årlige CO<sub>2</sub>-udledning.

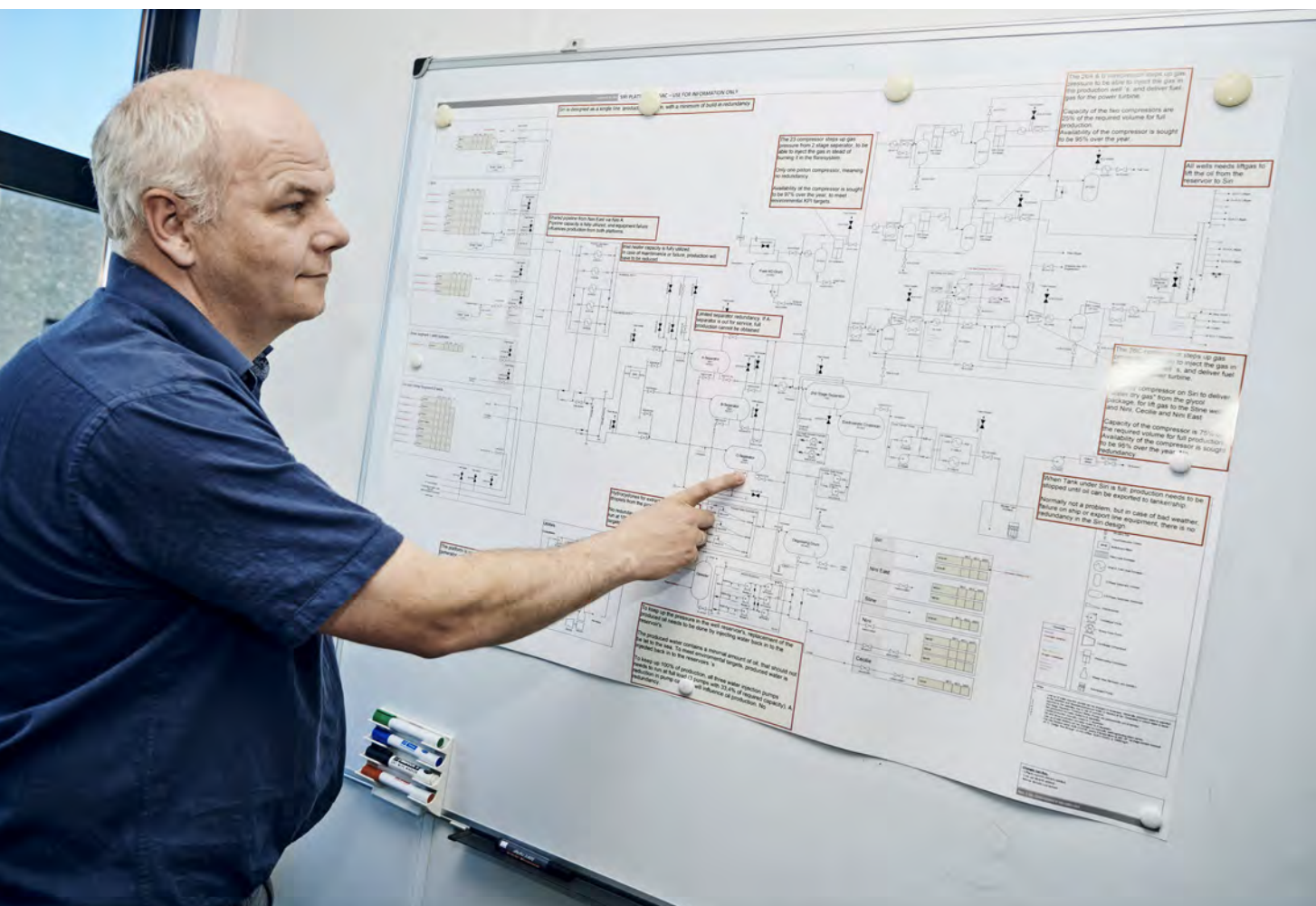
### Geologisk CO<sub>2</sub>-lagring

Ved CO<sub>2</sub>-lagring vender man så at sige processen fra olie- og gasindvinding om. CO<sub>2</sub> sendes tilbage til de reservoir-

er af sandsten, hvorfra man tidligere har hentet olie og gas.

»Alle geologiske undersøgelser peger på, at de tidligere olie- og gasreservoirer i Nordsøen er velegnet til at lagre CO<sub>2</sub>, og hvis Greensand-projektet lykkes med at udvikle de nødvendige lagrings- og transportteknologier, kan flere olie-gas-felter i Nordsøen potentielt blive hjemsteder for CO<sub>2</sub>-lagring, efterhånden som olie-gas-indvindingen i disse ophører,« siger Søren Reinhold Poulsen om perspektiverne ved Greensand-projektet.

Geologisk lagring af CO<sub>2</sub> er en kendt teknologi, ikke mindst ved Enhanced Oil Recovery, hvor CO<sub>2</sub> anvendes til at optimere olie- og gasindvinding ved nedpumpning af CO<sub>2</sub> i olie- og gasreservoirer. Men i takt med stigende målsætninger for reduktion af CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren går udviklingen nu i retningen af at lagre CO<sub>2</sub> i under-



Maskinmester og operationschef René Bak Lange ved procesflowdiagram hos Ineos i Esbjerg. Herfra styres de daglige operationer ved olie- og gasindvinding og på sigt CO<sub>2</sub>-lagring.





Som led i Project Greensand pumpes CO<sub>2</sub> for første gang ned i Nordsøens undergrund med henblik på permanent lagring – det sker fra Siri-plattformen.



## GREENSAND

- Greensand-projektet har deltagelse af 23 virksomheder og organisationer, der samarbejder om for første gang at demonstrere lagring af CO<sub>2</sub> under havbunden i den danske del af Nordsøen.
- EUDP har bevilget 197 mio. kr. til Project Greensand, og i pilotprojektet, der udgør fase 2 i projektet, skal selve lagringsprocessen først demonstreres, og derefter skal CO<sub>2</sub>-reservoiret monitoreres.
- Selve injektionen af CO<sub>2</sub> i undergrunden forventes at ske i 1. kvartal 2023. Der er givet tilladelse til at injicere i alt 100.000 kubikmeter CO<sub>2</sub> i Nini West-feltet.
- Nini West er et tidligere oliefelt, der ligger 1.800 meter under havbundens overflade. Her skal CO<sub>2</sub>'en lagres i et reservoir af sandsten, der har overliggende lag af ugennemtrængelige bjergarter.

[projectgreensand.com](http://projectgreensand.com)

grunden med det ene formål at reducere den danske og globale CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren.

»Den grundlæggende teknologi bag CO<sub>2</sub>-lagring er ikke ny. Dog skal dele af løsningerne sammensættes på en måde, som endnu ikke er afprøvet i Danmark, og vi skal derfor demonstrere i praksis, at vi kan injicere CO<sub>2</sub> på en sikker måde, og at reservoirerne kan holde på CO<sub>2</sub>'en i undergrunden over tid. Derfor indeholder Greensand-projektet også modning af monitoreringsteknologier til at detektere hvis der, selvom det er vurderet usandsynligt, skulle ske lækager af CO<sub>2</sub> til atmosfæren. Desuden skal projektet udføre målinger af, hvordan CO<sub>2</sub>'en fordeler og bevæger sig i sandstenen,« siger Søren Reinhold Poulsen.

### Skibe eller rørledninger

CO<sub>2</sub>'en skal komme fra både små og store udledere som industri, energiproduktion og forbrændingsanlæg, hvor CO<sub>2</sub>'en skilles fra røggassen og gøres flydende i fordråbningsanlæg. Herefter er der to muligheder: Som i Greensand-projektet at sejle CO<sub>2</sub> til havs og via en platform pumpe den ned i undergrunden, eller som det sker i det norske CCS-projekt Northern Light at pumpe CO<sub>2</sub>'en tilbage i undergrunden via en rørledning fra land.

I Greensands pilotprojekt sejles CO<sub>2</sub>'en i tankcontainere fra Belgien – mens det bliver på specialbyggede skibe, når Project Greensand er fuldt modnet, og der skal transporteres store flydende CO<sub>2</sub>-volumener. Fra skibene pumpes CO<sub>2</sub>'en ned i de eksisterende olie- og gasbrønde efter disse er modificeret til CO<sub>2</sub>-injektion og videre ud i sandstenslagene i reservoiret.

»CO<sub>2</sub>'en pumpes ned i flydende form med cirka 250 bar og ved syv grader celsius. Herved vil CO<sub>2</sub>'en nå en superkritisk tilstand, så den har en vægtfylde tæt på vands, der kan trykkes meget sammen og flyde som var det en gasart, hvilket er vigtigt, når den skal injiceres og fordeles fordelagtigt i sandsten-reservoirene,« forklarer Søren Reinhold Poulsen.

### Incitamenter til CO<sub>2</sub>-lagring

Der er estimeret et årligt behov for at lagre 300 millioner ton CO<sub>2</sub> fra 2050 i



Rene Bak Lange ved "juletræer" til brønde, som skal anvendes på Hejre-feltet – "juletræer" forbinder brønden med toppen og sikkerhedsventilerne og er dér, hvor brøndstyringen sidder.

Europa, hvis de aktuelle klimamål skal nås.

»Forudsætningen for CCS i stor skala er, at der opbygges infrastruktur og værdikæder i Europa, hvilket igen kræver, at CO<sub>2</sub>-udlederne tilskyndes politisk og økonomisk til at investere i de nødvendige faciliteter til at opfange, behandle og lagre deres CO<sub>2</sub>, så den kan transporteres til enten permanent lagring eller anvendes i for eksempel PtX-anlæg, hvor CO<sub>2</sub>'en kan indgå i produktion af grønne brændstoffer,« siger Søren Reinhold Poulsen.

Der er ikke modnet business cases for investeringer i CO<sub>2</sub>-lagring fuldt





## Greensand

**Støttebeløb:** 197 millioner kroner fra EUDP.

**Egenfinansiering:** 241,7 millioner kroner.

**Projektbudget:** 438,7 millioner kroner.

endnu, da modning af hele værdikæden fra fangst til lagring stadig pågår. Rammevilkårene er heller ikke kendt, herunder kommende CO<sub>2</sub>-afgifter.

»Vi skal selvfølgelig genbruge eksisterende infrastruktur alle de steder, hvor det giver mening. Vi kommer dog ikke uden om, at vi også er nødt til at etablere nye faciliteter og udvikle standarder, hvor det giver mening, hvis der skal skabes et europæisk system til CO<sub>2</sub>-transport og -lagring, der kan fungere optimalt i forhold til klimamålene, økonomi og fleksibilitet,« siger han videre.

Søren Reinhold Poulsen forudser, at CO<sub>2</sub>-lagring må subsidieres i hvert fald

frem til 2030, før løsningerne er kommercielt og teknisk bæredygtige i stor skala.

»Man kan skabe incitament på flere måder, men beskatning af CO<sub>2</sub>-udledning ser ud til at blive en vigtig faktor. Det skal være dyrere at udlede CO<sub>2</sub> end at lagre den. Set ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv er der samtidig arbejdspladser på spil. Vi forventer, at mange tidligere olie- og gasarbejdspladser kan konverteres til jobs inden for CO<sub>2</sub>-lagring. Der bliver brug for mange faggrupper, heriblandt maskinmestre. Jeg vil ikke blive overrasket, hvis CO<sub>2</sub>-lagring går hen og bliver en større branche globalt end olie og

gasindvinding,« siger Søren Reinhold Poulsen.

### Korrosivt CO<sub>2</sub>

Maskinmester René Bak Lange er operationschef for Ineos i Danmark, der har base i Esbjerg for sin olie- og gasindvinding i Nordsøen.

Han bliver også daglig ansvarlig for den praktiske drift af CO<sub>2</sub>-lagring, når kommerciel CO<sub>2</sub>-lagring starter på Ni-ni-feltet. Forberedelserne til pilotprojektet er i gang, så injektionen af CO<sub>2</sub> kan begynde i sent 2022 – tidlig 2023, over en tre måneders periode.

En teknisk og materialemæssig udfordring er, at CO<sub>2</sub> er korrosivt, og det ►





kræver at CO<sub>2</sub>-injektionsbrønde idriftsættes med de rigtige metallegeringer. Der vil i pilotprojektet blive brugt coil tubing, som er indvendige rør, der kan føres ned i en eksisterende olieproduktionsbrønd, så CO<sub>2</sub> ikke kommer i direkte kontakt med det udstyr, der blev brugt til olie- og gasindvinding.

»Vi opererer ved tryk på 250 bar, når vi skal tømme skibene for CO<sub>2</sub>, og vi skal høste erfaringer med, hvordan CO<sub>2</sub> opfører sig ved selve injektionen, og når den kommer ned i sandstenslagene,« siger René Bak Lange.

Som led i Greensand skal der afprøves nye monitoreringsløsninger, blandt andet mikrofoner på havbunden til at registrere og observere hvor-

dan den flydende CO<sub>2</sub> opfører sig under injektionsprocessen og i selve lagringsreservoiret.

På sigt kommer opgaver, som ligner opgaver fra olie-gas-industrien med teknisk drift, vedligehold og sikkerhed, som mange maskinmestre varetager allerede, og som der også bliver brug for i CCS-industrien.

»Vi er godt uddannede som maskinmestre og er skarpe på nye teknologier i Danmark. Det, mener vi, er et solidt udgangspunkt for at arbejde med CCS. Hele værdikæden fra CO<sub>2</sub>-fangsten, bearbejdning og transporten til lagring er fuld af opgaver, hvor der naturligt medvirker maskinmestre, inklusiv skibstransport. Hvis vi kan tage an-

svar for at udvinde olie og gas, kan vi selvfølgelig også være med, når der skal pumpes CO<sub>2</sub> ned i undergrunden,« siger René Bak Lange.

Han må konstatere, at olie- og gasbranchen ikke tiltrækker arbejdskraft på samme måde som tidligere.

»Men vi ser CO<sub>2</sub>-lagring som en oplagt mulighed for, at tidligere eller nuværende offshore medarbejdere, heriblandt maskinmestre, kan bruge deres kompetencer i den grønne sags tjeneste,« siger René Bak Lange.

### **Mange nye arbejdspladser**

Hvis alt går som håbet i Greensand, og licenserne kommer i hus, er forventningen, at Ineos kan tilbyde CCS i





Rene Bak Lange ved SUBSEA ROV ventilstation, som anvendes til operation af subsea-ventiler på subsea-brønde.



Rene Bak Lange ved en køler som anvendes til gasbehandling.

Nordsøen på kommerciel basis fra slutningen af 2025.

»Jeg forventer en spændende fremtid for maskinmestre og andre faggrupper, når CO<sub>2</sub> lagring er udviklet til fuldt kommercielt niveau. Olie- og gasindvinding har i høj grad bidraget til samfundsøkonomien, og forhåbentlig kan lagringen af CO<sub>2</sub> gøre det samme, hvis vi kan få den op i stor skala på kommerciel basis,« siger René Bak Lange.


Endnu foreligger der ikke myndighedstilladelser til at lagre CO<sub>2</sub> i undergrunden. Der er givet en begrænset og midlertidig tilladelse i forbindelse med

Greensand-projektet. Men en kommerciel CCS-forretning er afhængig af en flerårig licens til CO<sub>2</sub>-lagring i Nordsøens undergrund – inden Ineos og andre kommercielle aktører foretager de nødvendige investeringer.

En analyse fra Dansk Metal estimerer, at CCS har potentiale til at fastholde ca. 3.300 arbejdspladser, som ellers ville forsvinde i takt med nedlukningen af olie- og gasindvindingen i den danske del af Nordsøen.

Mange af opgaverne ved CO<sub>2</sub>-lagring er sammenlignelige med olie- og gasindvinding, og der er generelt brug for de kompetencer, som offshore medarbejderne kommer med. Samtidig kan man genbruge de offshore platforme,

der allerede står i Nordsøen, og hvor offshore medarbejderne kender de tekniske anlæg godt.

»Hvis du havde spurgt mig for fem år siden, om vi skulle pumpe CO<sub>2</sub> i undergrunden, er jeg ikke sikker på, at jeg havde syntes, at det var oplagt. Men om fem år er vi måske i gang med netop den opgave i industriel skala. Måske kan Danmark endda blive et foregangsland, når det kommer til CO<sub>2</sub>-lagring, ligesom som vi har set det med vindenergi. Her har maskinmestre også spillet en afgørende rolle gennem hele værdikæden,« siger René Bak Lange. 



Læsøfærgen Margrete Læsø er udgangspunktet for et Proof of Concept-projekt, som skal vurdere og analysere mulighederne for at konvertere færgen til metanoldrift, hvilket blandt andet vil kræve nye hovedmotorer og tankanlæg foruden nye bunkringsanlæg i land.





# Til Læsø på metanol





**M/F Margrete Læsø bliver måske den første danske indenrigsfærge, der kommer til at sejle på metanol. En retrofit-løsning med nye motorer kan blive resultatet af et igangværende innovationsprojekt.**

**A**t hævde at der er fuld skrue på den grønne omstilling af danske indenrigsfærger vil være en overdrivelse. Snarere tøffer den afsted i adstadigt tempo.

»Vi kan stadig tælle de grønne færger i Danmark på én hånd,« siger Ulrik Tander, skibssingeniør, OSK ShipTech.

Han opremser el-færgerne: Ærøfærgerne Ellen, Fanøfærgerne Grotte, Helsingør-Helsingborg-færgerne Tycho Brahe og Aurora. Hertil kommer de halvgrønne færger: En Samsø-færge på LNG, foruden Scandlines' hybridfærger og hybridfærgerne mellem Thyborøn og Agger.

»Der er ingen brintfærger eller metanolfærger i drift i



Driftschef og maskinmester Allan Hjortnæs Pedersen (t.v.) og skibssingeniør Ulrik Tander ved hjælpemotorerne i maskinrummet på Margrethe Læsø, som er én af op mod 60 indenrigsfærger, der endnu ikke er konverteret til grøn drift.



Danmark, og det kommer der heller ikke de første par år med det nuværende tempo. Kig på Norge. Der har man med hjælp af NOx-fonden igangsat en meget ambitiøs omstilling til grøn færgefart. De sejler med el-færger og er på vej med brintfærger og styrer mod en emissionsfri færgefart inden for få år,« siger han videre.

Men nu skal et dansk innovationsprojekt udvikle "*Proof of Concept*" for en konvertering af M/F Margrete Læsø til metanol. Den 26 år gamle færge sejler dagligt mellem Frederikshavn og Vesterø Havn på Læsø.

Foreløbig skal projektet kortlægge økonomi og mulige tekniske løsninger, og herefter skal Rederiet Læsøfærgeren ►



## Retrofit af Læsøfærge til metanol

- **Støttebeløb:**  
1,3 millioner kroner fra EU's Regionalfond "Innovations-samarbejder i offshoreklyngen".
- **Egenfinansiering:**  
0,8 millioner kroner.
- **Projektbudget:**  
2,1 millioner kroner.
- Projektet undersøger mulighederne for at konvertere M/F Margrete Læsø fra diesel til metanol.
- Udover at levere et "proof of concept" for løsningen skal der i projektet udarbejdes installationskrav for den ny metanolteknologi inklusiv blandt andet bunkring og sikkerhed på passagerfærger.
- Det er hensigten, at retrofit-løsningen skal kunne implementeres inden for to-fire år.
- Projektet er støttet af EU Regionalfonden 'Innovationssamarbejder i Offshoreklyngen'.
- **Partnere:** Rederiet Læsøfærgeren, OSK-ShipTech, Em-energi, Advent Technologies, Nordhavn Power Solutions, Hydrogen Valley, DBI, AAU Energy.
- **Projektledelse:**  
Energy Cluster Denmark.



tage stilling til, om det vil gå videre med en egentlig retrofit-løsning, hvor de nuværende dieselmotorer skiftes ud med metanolfremdrivning.

Men perspektiverne for Læsø-retrofitprojektet er større end Margrete Læsø.

»Omstillingen af færgefarten til grøn sejlads er ramt af hønen-og-ægget-problemet: Ingen bygger grønne færger, hvis ikke der er sikkerhed for grønne brændstoffer, og ingen tilbyder grønne brændstoffer, hvis der ikke er grønne færges. Men nogen bliver nødt til at tage de første skridt, og nu prøver vi at få igangsat det første metanolfærgeprojekt i Danmark. Så må vi se, om det bliver Margrete Læsø eller en

anden færge, der bliver den første metanolfærge. Men teknologien bør afprøves, jo før, desto bedre,« siger Ulrik Tander.

### Måske to grønne Læsø-færges på vej

Læsøoverfarten foregår i dag med to ældre dieselfærges. Der er fire til otte daglige ture mellem Frederikshavn og Læsø, og det kræver i runde tal 1.600 kubikmeter dieselolie årligt, hvilket udleder cirka 4.500 tons CO<sub>2</sub>.

»Vores færges er cirka 25 år gamle og har formodentlig 15-20 års sejltd tilbage, så det giver stadig god mening at retrofitte Margrete Læsø til grøn sejlads, hvis det sker inden

# 66

## indenrigsfærges i Danmark

- Der er i alt 66 færges i almindelig indenrigsdrift i Danmark, der betjenes 50 forskellige ruter. Færgesne udleder i dag tilsammen ca. 220.000 ton CO<sub>2</sub> fordelt på 80.000 ton for de mindre færges og 140.000 ton for kattegat-færgesne.
- Ved omstilling til el-drift vil et potentiale på op til 30.000 ton kunne realiseres, mens der er behov for andre alternative drivmidler for at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen yderligere.
- Ud over CO<sub>2</sub>-reduktioner er der væsentlige gevinster for luftforureningen forbundet med omstilling af færgeflåden.

Kilde: Grøn omstilling af danske indenrigsfærges, COWI, 2021.





Manøvrehandtag for fremdrivningsanlægget i maskinkontrolrummet. Et tilsvarende sæt findes på broen, så man kan regulere/styre hovedmotorer og indkobling/udkobling/propelstigning fra begge steder.



for de nærmeste år,« siger maskinmester Allan Hjortnæs Pedersen, driftschef, Læsøfærgen.

Sideløbende med den mulige retrofit-løsning på Margrete Læsø arbejder Læsøfærgen med et nybygningsprojekt, der skal indsætte endnu en grøn færge på ruten mellem Læsø og Frederikshavn. I så fald vil der inden for tre til fire år kunne sejle to grønne færger på ruten.

»Prognoserne viser behov for øget færgkapacitet til Læsø, så vi vil gerne have to grønne færger, der også dækker behovet i højsæsonen. Færgerne er vores eneste vej til omverdenen, når det gælder både person- og varetransport. På den måde er vi helt afhængige af færgedriften og vil gerne have redundans med to færger. Vi skal kunne sejle uanset hvad,« siger Allan Hjortnæs Pedersen.

Men at ombygge færgen til metanol er én ting – der skal også ►

Ulrik Tander (t.v.) og Allan Hjortnæs Pedersen på broen af Margrete Læsø. Sideløbende med den mulige metanolretrofit-løsning på Margrete Læsø arbejder Læsøfærgen med et nybygningsprojekt, der skal indsætte endnu en grøn færge på ruten mellem Læsø og Frederikshavn.



være tilstrækkelig forsyning af grøn metanol.

»Det kræver etablering af en infrastruktur i havnene, som ikke eksisterer i dag, og hvor vi er afhængige af, at andre aktører vil forsyne os med metanol, og at der etableres de fornødne tank- og bunkringsanlæg i land,« siger Allan Hjortnæs Pedersen.

Inspirationen til konverteringen af Læsøfærgen til metanol kommer blandt andet fra et besøg hos det svenske sjøfartsverk. Her er forskellige skibstyper ombygget til metanol som led i Fastwater-projektet og vel at mærke med gængse komponenter.

»Vi så et 20 år gammelt lods fartøj med en helt ny metanolmotor, der var bygget af komponenter fra SCANIA. Det var en øjenåbner, at man med umiddelbart tilgængelige komponenter kunne retrofite et fartøj til metanolfremdrivning tilsyneladende uden større komplikationer. Vi sejlede en tur med det konverterede fartøj, og det opførte sig fuldstændig som et skib med dieselmotor. Konklusionen er, at det er muligt at omstille mindre fartøjer til metanol i morgen, hvis man vil,« siger Ulrik Tander.

Et dansk eksempel er ESVAGT, som har bestilt et meta-noldrevet Service Operation Vessel, der angiveligt bliver verdens første grønne servicefartøj til offshore vind-installationer. Fartøjet bygges med motorer fra Nordhavn Power Solutions og ABC.

### Overkapacitet af motorkraft

Det er den svenske virksomhed ScandiNAOS, som har specialiseret sig i at levere metanolmotorer med udgangspunkt i SCANIA-komponenter.

»Vi afventer de store motorudviklere og forventer, at de snart kommer med metanol-retrofitpakker til mindre ski- ▶

Ulrik Tander (stående) og Allan Hjortnæs Pedersen i maskinkontrolrum på Margrete Læsø. Den 26 år gamle færge sejler dagligt mellem Frederikshavn og Vesterø Havn på Læsø.









Allan Hjortnæs Petersen (t.v.) og Ulrik Tander ved den ene af hovedmotorerne på Margrete Læsø. Hvis færgen skal retrofittes til metanol – muligvis med dual-fuel – skal de nuværende hovedmotorer udskiftes.

be, men allerede nu er andre motorleverandører klar til at levere metanolmotorer til mindre færges og andre fartøjer. Teknologien og løsningerne er afprøvet og klar, hvis Læsøfærgen beslutter sig for at gå videre med en konvertering til metanolfremdrivning,« siger Ulrik Tander.

Som led i projektet er der foretaget en analyse af drift og brændstofforbrug på Margrete Læsø. Tallene viser, at der for nuværende er en overkapacitet af maskinkraft.

»Ifølge vores analyse er der lav last meget af tiden – faktisk for lav last i for lang tid. Det peger på, at man kan klare sig med mindre motorer end de nuværende MAN B&W dieselmotorer på 2.940 kW. Vi skal prøve at præcisere et mere reelt effektbehov med nye metanolmotorer, så man får en mere effektiv drift og fremdrivning,« siger Ulrik Tander.

I dag er effektiv og optimeret drift af langt større betydning, end da Læ-

sø-færgerne blev bygget i 1990'erne.

»Dengang kostede en liter diesel 80 øre, og der var ingen klimadagsorden. I dag er udgangspunktet et helt andet. Vi skal både over på grønne brændstoffer og sejle så effektivt og energioptimalt som muligt,« siger han videre.

En overvejelse er, om man skal bruge dual-fuel eller en ren metanolmotor til sine skibe.

»Man kan vælge at bygge ekstra sikkerhed ind ved at anvende dual-fuel-løsningen i sine hovedmotorer med mulighed for ren metanol på hjælpe-motorer,« siger Ulrik Tander.

### CO<sub>2</sub>-afgift skal medregnes

Men uden tilstrækkeligt med grønt brændstof sejler færgen ikke langt på den bæredygtige måde. Derfor skal Læsø-projektet også komme med bud på mulige forsyningskæder af grøn metanol.

»Helt konkret skal vi finde ud af, hvor vi får e-metanol fra. Det skal jo



være grøn metanol, der ikke er fremstillet på naturgas. Vi skal være opmærksomme på hele værdikædens CO<sub>2</sub>-aftryk, hvis det skal give mening klimamæssigt. Metanol har lavere brændværdi end Marine Diesel Olie.

## OSK ShipTech

- Gennem de seneste 25 år har OSK ShipTech været rådgiver på mere end 20 danske færge-nybygningsprojekter, senest den eldrevne Fanøfærge 'GROTTE'.
- Dertil kommer en række ombygninger til batteridrift og senest omlægning til sejlads med et landstrømskabel.
- Mange af disse færges opfylder stadig rederiets behov til kapacitet og kan derfor med fordel ombygges til drift på grøn metanol, frem for en nybygning med drift på batteri.
- På den måde spares en meget stor mængde CO<sub>2</sub>, der ville gå til selve nybygningen. Det er netop den strategi, som Rederiet Læsøfærgen bruger.
- OSK tilbyder at lave disse livscyklusanalyser, som kan danne grundlag for hvilken strategi, der er den rigtige for rederiet.
- Foruden projektet med Margrete Læsø arbejder OSK på to nybygningsprojekter med metanol.





Der skal bruges 2,2-2,3 gange mere metanol for at lave den samme effekt, og det vil kræve mere tankkapacitet om bord. Men forudsætningen for overhovedet at sejle grønt er en stabil og sikker brændstofforsyning. Måske bliver vi nødt til at overveje en dual-fuel løsning, så vi stadig kan sejle, hvis metanolforsyningen svigter,« siger Allan Hjortnæs Pedersen.

Der er ikke sat præcis økonomi på retrofitprojektet på Margrete Læsø – hverken de nødvendige løsninger om bord eller de krævede bunkringsanlæg i land. Men finansieringen kommer formodentlig til at kræve både direkte støtte og låntagning.

»Rederiet er ejet af Læsø Kommune, som er Danmarks mindste kommune. Vi har ikke råd til på egen hånd at bygge nye grønne færger eller retrofitte vores eksisterende færger til grøn sejlads. Vi er afhængige af de rigtige rammevilkår og direkte støtte eller lempelige lånevilkår,« siger Allan Hjortnæs Pedersen.

Med en CO<sub>2</sub>-afgift på 750 kr. per ton vil den årlige besparelse ved at Margrete Læsø sejler på grøn metanol frem for diesel blive på cirka 2 mio. kroner beregnet ud fra 3.000 ton sparet CO<sub>2</sub>-udledning fra færgen.

»CO<sub>2</sub>-afgiften bliver et fælles vilkår for hele færgefarten. Vi bliver straffet økonomisk, hvis vi ikke konverterer til grønne brændstoffer. Det skal vi have med i business casen for en metanolkonvertering,« siger Allan Hjortnæs Pedersen.

### 53 indenrigsfærgeruter

For at sætte skruen i højere omdrejninger, når det gælder færgefartens grønne omstilling, kan det blive nødvendigt


at acceptere løsninger, som ikke er helt grønne fra starten.

»Vi kan blive nødt til at begynde med løsninger, som kun er 80 procent grønne. Måske skal vi hente grønt brændstof fra udlandet i tankvogne for at komme i gang. Det bliver så en trinvis omstilling, men er det ikke bedre end ingenting? Vi er allerede bagud i forhold til andre lande,« siger Ulrik Tander.

Der er 53 danske indenrigsfærgeruter, som alle før eller siden må forventes at skulle stille om til grøn sejlads. Men lokale forhold og sejlrutens beskaffenhed vil bestemme, hvilken grøn løsning, der er den bedste.

»Staten bliver nødt til at skabe de rigtige rammer og vilkår, hvis man vil have færgefarten til at bidrage til den grønne omstilling. Mange indenrigsrederier har ikke ressourcerne til på egen hånd at bygge nye grønne færger – eller retrofitte deres nuværende færger i det tempo, som man ønsker for omstillingen. Man burde overveje at gøre nogle færger til pilotprojekter, som kan vise vejen for de andre færger, så hvert rederi ikke skal opfinde deres egen løsning men kan trække på nogle afprøvede koncepter,« siger Ulrik Tander.

Perspektiverne for anvendelse af metanol i færgefarten er store – ikke kun i Danmark.

»Der er stor opmærksomhed på at omstille den tunge trafik som et afgørende element i den grønne omstilling. Kan vi vise, at færgefart ikke behøver udlede CO<sub>2</sub>, så vil det interessere vidt og bredt, både i Danmark og i udlandet. Der er 1.000 færgeruter med kort færgerejse alene i Europa,« siger projektleder Hans Jørgen Brodersen, Energy Cluster Denmark. 



# På jagt efter The Golden Batch







Fra smelteovnene transporterer smelten til store varmerholdeovne, hvori smelten energieffektivt opbevares indtil støbning.



**Under optimale omstændigheder kan smelteprocesserne hos Vald. Birn ske med næsten 20 procent mindre energiforbrug. Nu skal nye digitale dataløsninger hjælpe til med, at det sker hver gang. Jernstøberiet Vald. Birn er på jagt efter The Golden Batch.**

**D**ette gyldne mål er det optimale energiforbrug per smeltet ton stål hos støberiet i Holstebro.

»Vi ved fra forsøg, at vi under særlige omstændigheder kan smelte et ton jern ved et energiforbrug på 563 kW strøm, hvilket er 80 kW lavere end vores gennemsnit på 650 kW. Det sker blandt andet ved, at ovnen fodres på den helt rigtige måde over et helt døgn, og ved at smelterne – vores medarbejdere der betjener ovnene – kun skal køre med én ovn ad gangen. Derfor er vi overbeviste om, at der er et stort potentiale for energibesparelser, når vi får identificeret de vigtigste parametre for optimering af smelteprocessen,« siger ingeniør Lars Jørgensen, CTO, Vald. Birn.

Disse parametre skal identificeres på baggrund af data fra processerne hos Vald. Birn, og værktøjerne til at hente de afgørende data ud af produktionen skal udvikles i projektet 'Datadrevet energiovervågning og optimering af industrielle processer'.

Vald. Birn er Nordeuropas største støberikoncern med serieproduktion af støbejernsprodukter – herunder op-hæng og bremsekalibre til blandt andet lastbilsproducenter og pumpehuse til pumpeproducenter.

Støberiet i Holstebro har fem store produktionslinjer, der årligt producerer 50.000 ton støbegods. Smelteovnene er el-drevne induktionsovne, og ▶

Den færdiglegerede smelte transporteres til DISA-støbelinjerne, hvor den doseres ned i støbeformene.

## Datadrevet energioptimering

**Støttebeløb:** 2,2 millioner kroner fra EU's Regionalfond "Innovationssamarbejder i offshoreklyngen".

**Egenfinansiering:** 2,1 millioner kroner.

**Projektbudget:** 4,3 millioner kroner.









støberiet har et samlet el-forbrug på 100 GWh per år, hvilket udgør cirka 80 procent af virksomhedens samlede energiforbrug. Ud over el benytter virksomheden sig af naturgas til processer og opvarmning.

»Vores smelteprocesser kører ved 1.500 grader, og halvdelen af vores energiforbrug sker i de seks smelteovne. Der bruges også meget energi til at flytte sand og støbejern

rundt – og til at bearbejde og overfladebehandle emner. Vi har mange tunge og energiforbrugende processer,« siger David Stampe Grønborg, IT Group Manager, Vald. Birn.

#### **Nye og bedre værktøjer**

Virksomheden er certificeret efter energiledelses-standarden ISO 50001, og der arbejdes løbende på energimæssige





En smelter i støberiet 'skummer' slagget ud af en varmeløseovn. Slagger er affaldsstoffer i jernet, som lægger sig på toppen af smelten.

nemmere de seneste år, fordi værktøjerne er blevet bedre. Der er sket en stor teknologisk udvikling med hensyn til opsamling, analyse og anvendelse af produktionsdata, og de fremskridt skal vi til at udnytte nu,« siger David Stampe Grønborg.

Omkostningerne ved nye cloud-løsninger er desuden bragt betydeligt ned, og der tilbydes flere kommercielle platforme, så det er relativt tilgængeligt at gå i gang med datadrevet energi-optimering, lyder hans vurdering videre.

Hos Vald. Birn skal den bedre udnyttelse af data i første omgang bruges til at hjælpe medarbejderne ved ovnene til en mere hensigtsmæssig adfærd.

»Der skal tages flere hensyn – blandt andet sikkerhed, arbejdsmiljø, kvalitet, energi og produktionsmål. Processen bestemmes meget af, hvordan ovnene bliver pakket med metalskrot og legeringsmateriale. Denne pakning bestemmer såvel kvaliteten af støbejernet som energiforbruget,« siger Lars Jørgensen.

I dag er opsamling af energidata en reaktiv proces, hvor der trækkes rapporter om sidste måneds energiforbrug, men ønsket er *real-time-data*.

»Vi skal væk fra kun at kunne reagere på bagkant – men i stedet reagere med det samme. Men vi kan ikke kun styre efter energiforbruget. Der skal løbende tages prøver af jernet under smelteprocessen for at sikre kvaliteten. Vi styrer efter mange forskellige legeringskvaliteter, og en medarbejder er typisk ansvarlig for flere ovne samtidig. Så der er en hel del forhold at tage højde for, når vi skal udvikle værktøjer til datadrevet energioptimering,« siger Lars Jørgensen.

### Hjælp til optimering

Data skal nå helt ud til de medarbejdere, som kører rundt i trucks, og der ►

forbedringer som for eksempel varmegenvinding fra procesudsug.

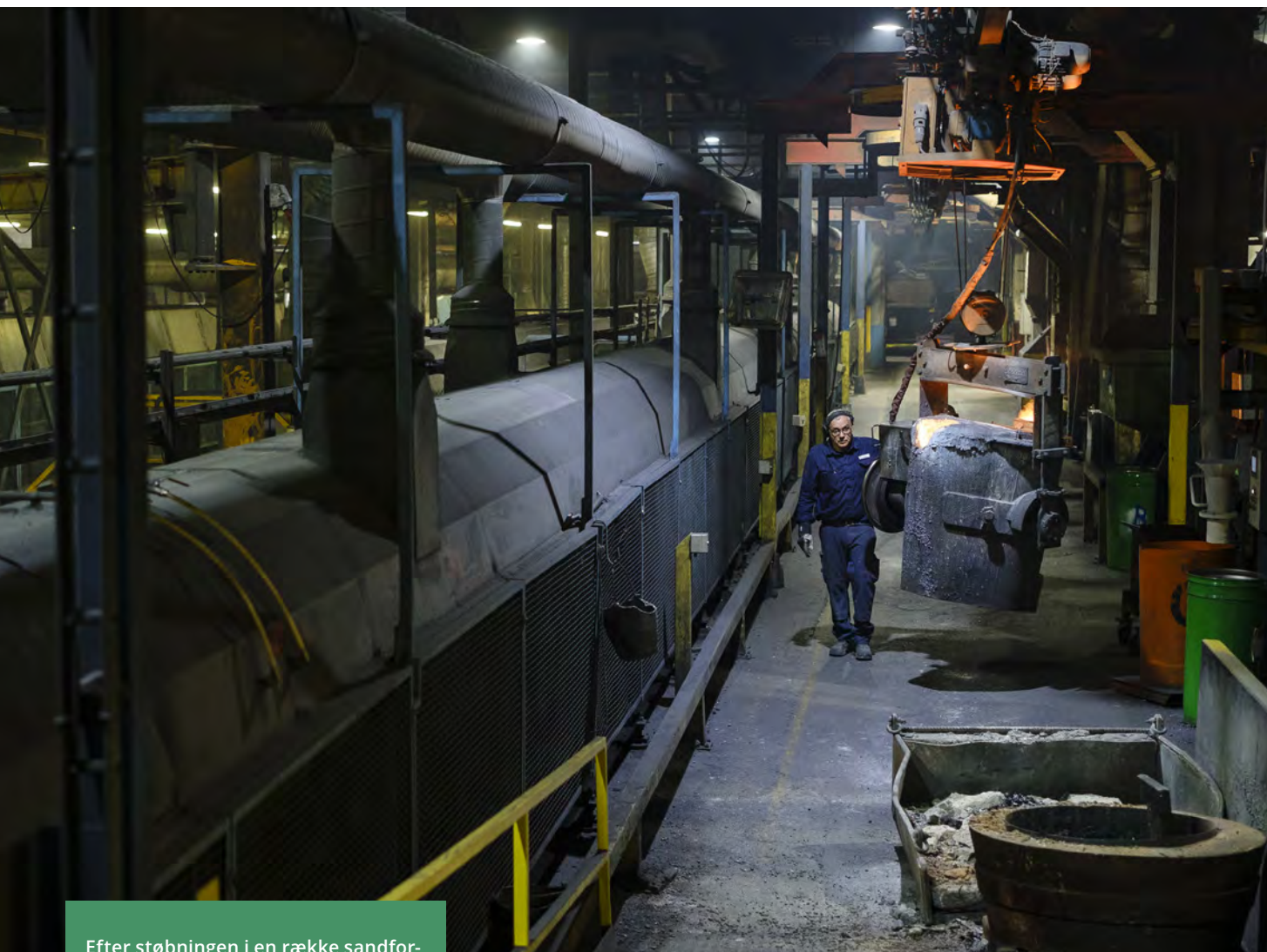
»Indtil nu har vi været gode til at samle data ind men ikke til at få gjort data levende og taget i brug. Vi har data i forskellige systemer, og nu skal de indsamles og visualiseres, så de

kan hjælpe medarbejderne i den daglige produktion,« siger David Stampe Grønborg.

Opgaven er at udpege de relevante data og få nøgletallene valideret.

»Data skal give en indsigt, som man kan handle på, og det er blevet meget





Efter støbningen i en række sandforme køles emnerne ned med luft gennem lange kølekanaler.

skal udfærdiges applikationer og interfaces, som er nemme at bruge i netop det arbejdsmiljø, hvor man har ansvar for flere ovnlinjer samtidig.

Opgaven er derfor at identificere alle de vigtigste parametre i en optimal produktion, som kan omsættes til en vejledning eller arbejdsinstruks, for derved opnå en optimal proces. Medarbejderen skal have løbende feedback og vejledning fra systemet.

»Man kan godt lave en rød og grøn lampe, som indikerer, om opgaven udføres rigtigt eller forkert, men medarbejderen skal også vide, hvad der skal ændres i processen for at gå fra rød til grøn,« siger Lars Jørgensen.

Blandt udfordringerne er, at Vald. Birn benytter sig af forskellige genera-

tioner af produktionsudstyr, og at der fremstilles 2.000 forskellige emner i forskellige legeringer.

»Vi kan ikke bare fuldautomatisere alle vores processer med de anlæg, vi har i dag. I første omgang skal vi hjælpe vores smeltemedarbejdere med at pakke ovnene og køre smelteprocesserne mere energioptimalt. Vi ved, at det kan lade sig gøre, men målet er, at det sker hver gang,« siger David Grønborg Stampe.

### Energidata i realtime

En anden projektdeltager er Fellowmind, et it-konsulenthus specialiseret i Microsoft-løsninger.

»Projektet skal udvikle en specifik løsning til Vald. Birn, men vi arbejder samtidig hen mod at uddrage nogle mere generiske konklusioner, som kan komme andre virksomheder til gode,

hvis de har et ønske om at arbejde med data-drevet energioptimering,« siger Jan Hoffritz Christiansen, Sales Executive, Fellowmind.

Til daglig hjælper han virksomheder med at skabe værdi af deres produktions- og driftsdata og arbejde sig hen mod mere bæredygtige løsninger.

»Med al respekt for tilbageskuende ledelsesrapportering så er det ikke den slags services, som flytter meget i hverdagen. Hvis man skal gøre en forskel og skabe energibesparelser, bør man have data i spil, undervejs mens produktionen kører. Vi leverer værktøjer, som giver medarbejderne i produktionen mulighed for at påvirke virksomhedens klimaftryk. Operatørerne skal have værktøjer i hånden, så de har energidata i *real-time* og dermed helt aktuel viden om, hvorvidt processen kører, som den skal, eller der skal





Fra venstre: Christian Kjeldsmark Lind, Birn, David Stampe Grønberg, Birn, Bo Nørregaard Jørgensen, SDU, Peter Laursen, Fellowmind, Jan Hoffritz Christiansen, Fellowmind, Henrik Dam, Inuatek, Jakob Kornum, Fellowmind, Daniel Anthony Howard, SDU, Thomas Herskind-Hansen, Fellowmind.

justeres med henblik på optimering af energiforbruget her og nu,« siger Jan Hoffritz Christiansen.

#### Værktøjer findes allerede

For Vald. Birn er energiforbrug per smeltet ton jern et vigtigt mål at styre efter, men forbruget bestemmes af en

række forskellige parametre. De vigtigste data herfra skal identificeres og præsenteres for medarbejderne, så de kan gribe ind med det samme, hvis tallene går den forkerte vej.

»Man skal identificere alle faktorer, som påvirker *best practice* eller *desired state* – og så hjælpe medarbejderne ►

## Datadrevet energiovervågning og optimering af industrielle processer

- Projektet har til formål at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen fra elektrificeringen af fremstillings- og procesindustrien. Dette kan ske gennem digitalisering af alle led i en virksomheds værdikæder, hvilket giver det nødvendige datagrundlag,
- når der skal træffes evidensbaserede beslutninger i produktionsplanlægningen.
- Projektdeltagere: Vald. Birn, Kongskilde Industries, Fellowmind, SDU, Inuatek A/S.
- Projektledelse: Energy Cluster Denmark.



### Transport af færdige støbeemner hos Vald. Birn.

til at styre ovnene og de øvrige processer så tæt på det optimale som muligt,« siger Jan Hoffritz Christiansen.

Der ligger allerede en række it-værktøjer på hylden, som kan give virksomhederne de ønskede løsninger, vurderer han.

»Den energiansvarlige medarbejder eller leder, for eksempel en maskinmester, skal altså ikke i gang med et stort it-udviklingsarbejde. Vi kan tilbyde løsningerne i dag,« siger Jan Hoffritz Christiansen.

I Microsoft-universet, som anvendes i det aktuelle projekt, drejer det sig om cloudløsningen Azure, foruden Power BI, SharePoint og Power Apps.

»De anvendte løsninger vil også kunne tilbyde relevante brugergrænseflader og funktioner til medarbejderne i produktionen, og man kan nemt få skubbet de relevante data og informationer ud til dem som en integreret del af deres arbejde. Det er ikke *rocket science* at benytte og få udbytte af løsningerne, hvilket gør det nemmere for virksomheder at komme i gang med at bruge sådanne services,« siger han videre.

### Pneumatiske processer

Med i projektet er også Kongskilde Industries, der udvikler og leverer pneumatiske transport- og rensesystemer til industri og landbrug.

»Vi er på vej ind i Industri 4.0, hvor data fra produktion og processer er afgørende, og derfor skal vi i fremtiden kunne tilbyde vores kunder datadrevne og intelligente løsninger til optimering af deres produktion og processer, herunder deres energiforbrug,« siger Steen Hansen, leder, R&D, Kongs-kilde Industries.

I løbet af efteråret 2022 forventer Kongskilde at lancere sin første cloudløsning til dataopsamling og analyse. Løsningen muliggør, at både kunden og Kongskilde løbende kan følge produktionen ved hjælp af data, som opsamles med sensorer fra produktionsprocesserne.

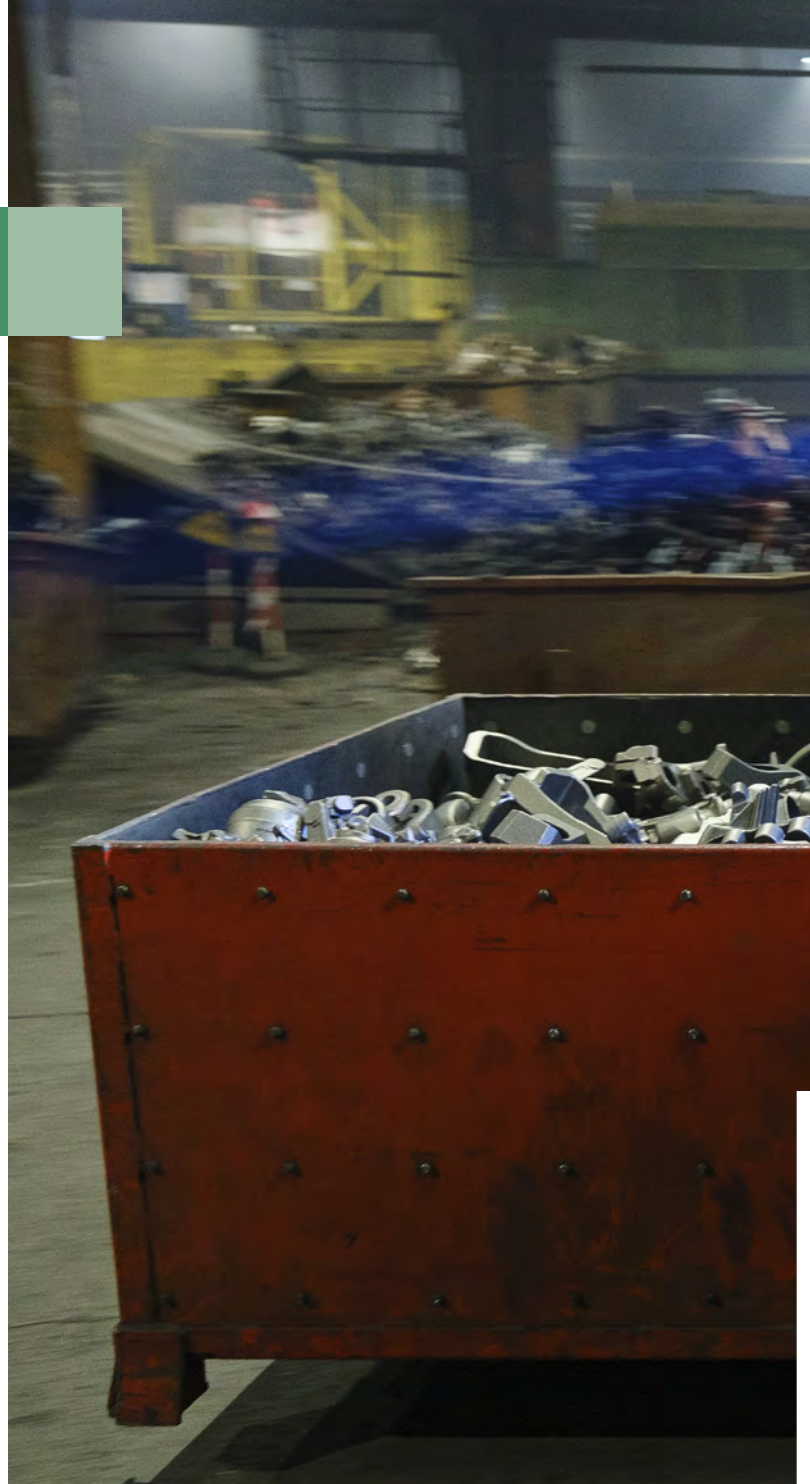
»For vores kunder handler det om energiforbrug, men også om driftssikkerhed og planlægning af service og vedligehold. Det kræver nye typer monitoreringssystemer, og dem er vi ved at udvikle,« siger han videre.

Kongskilde leverer typisk systemer, der ved hjælp af pneumatik understøtter produktion, hvor for eksempel spild eller støv suges eller blæses væk.

»Vores systemer udgør normalt en lille del af det samlede forbrug, men det er vigtigt, at systemerne kører stabilt og optimalt af hensyn til både driftssikkerhed, vedligehold og energiforbrug,« siger Steen Hansen.


Forretningsmodellen vil blive en tilkøbsløsning til Kongskildes eksisterende systemer.

»Det er op til kunderne, hvilke komponenter eller processer, de ønsker overvåget. Det kunne være motorer, blæsere eller filtre. Når for eksempel filtre tilstoppes, påvirkes både

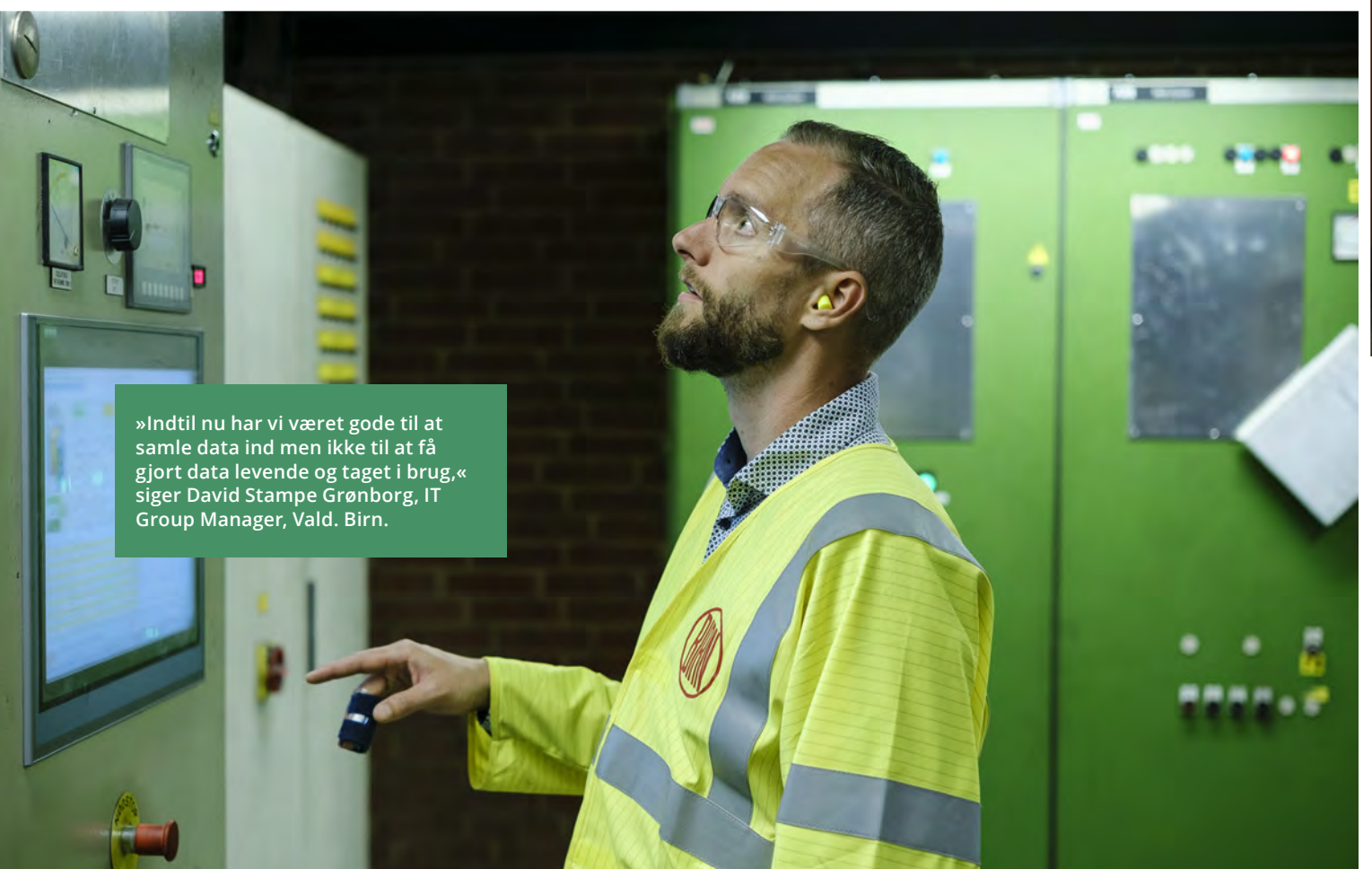


energiforbrug, driftssikkerhed og levetid,« siger Steen Hansen.

Kombinationen af *real-time data* og frekvens-omformere vil også kunne optimere energiforbruget, så kun den nødvendige indblæsning kører. Herved undgås faste indstillinger, der i perioder vil resultere i unødvendigt energiforbrug.

»Med *real-time data* vil man kunne sænke blæsernes hastighed uden nedgang i produktionen. Målet er en dynamisk tilpasset indblæsning. Optimalt kører processerne fuldautomatisk, så man undgår risikoen for menneskelige fejl, der kan påvirke processen på en uheldig måde. Fuldautomatiske løsninger kræver dog, at forudsætningerne er sat helt rigtigt op. Alle vigtige og nødvendige produktions- og energiparametre skal være integreret i løsningen. Det er dét projektet vil hjælpe os med at få mere viden om,« siger Steen Hansen. 





»Indtil nu har vi været gode til at samle data ind men ikke til at få gjort data levende og taget i brug.« siger David Stampe Grønberg, IT Group Manager, Vald. Birn.



# Fjernvarmeselskab tager temperaturen på din bolig





**42 bornholmske husstande har på forsøgsbasis overladt kontrollen med boligopvarmningen til det lokale fjernvarmeselskab for at optimere varmeforsyningen og spare på energien.**



I Listed på Bornholm har 2/3 af varmekunderne deltaget i projektet Flexibility Heat Grid Bornholm, som skal afprøve teknologier, der muliggør, at forsyningselskabet overtager kontrollen med boligernes opvarmning - for at høste gevinster ved både varmeproduktion, distribution og forbrug.



**O**ptimal varmeproduktion, distribution og varmeforbrug kræver, at slutbrugerne overlader kontrollen med varmen i deres boliger til fjernvarmeleverandøren.

Det er tankegangen bag projektet Flexibility Heat Grid Bornholm, hvor 42 fjernvarmekunder i Listed har overladt kontrollen med deres varmeforbrug til Bornholms Energi & Forsyning.

»Set fra fjernvarmesystemets side giver en central styring af varmeforbruget mulighed for store gevinster i flere led – både i produktion, distribution og forbrug. Det er jo en sammenhængende proces, hvor kundernes forbrug påvirker både selve varmeproduktionen og tryk, flow og temperaturer i distributionsnettet,« siger Julius Kofoed, projektudvikler, Bornholms Energi & Forsyning.

I projektet styrer BEOF fremløbstemperaturen ud til den enkelte kunde, så den optimeres i forhold til en brugerbestemt rumtemperatur. Varmekunden kan med en app definere sin komfortprofil i boligen. Dermed kan man 'gå baglæns' og tilpasse sin varmeproduktion og distribution, herunder både den producerede mængde varme, men også temperaturer frem til og retur fra kunderne.


»Hvis vi generelt kan sænke fremløbs- og returtemperaturer i ledningsnettet – uden at kunderne oplever et komforttab – vil vi reducere ledningstab. Derudover kan vi – med lavere temperaturer i nettet – optimere selve varmeproduktionen,« siger Julius Kofoed videre.

Sammenkoblet med vejrprognoser vil central styring kunne danne grundlag for endnu bedre forudsigelser af varmeforbruget, bedre planlægning af varmeproduktionen og mulighed for at reducere spidsbelastninger i varmesystemet.

### Komfort skal bevares

Listed-projektet har opsat tre konkrete parametre, som man vil måle på: Øget energieffektivitet i husstande, reduceret varmetab i ledningsnet og øget effektivitet af varmeproduktion.

Hvis resultaterne bekræfter, at de anvendte teknologier og værktøjer op- ▶



Jacob Kruse, driftsassistent hos Bornholms Energi og Forsyning, på besøg hos Karen Nørregaard, der deltager i Listed-projektet, hvor 42 varmekunder har overladt kontrollen med deres boligopvarmning til forsyningselskabet.







fylder disse mål, er perspektivet, at andre fjernvarmeselskaber med samme eller tilsvarende teknologier også vil kunne styre og optimere hele kæden fra produktion via distribution til forbrug.

»Med tiden kan det blive en standardiseret løsning, man anvender både ved nye fjernvarmekunder og som en opdatering af installationen hos eksisterende kunder,« siger Julius Kofoed.

Bornholms Energi & Forsyning planlægger allerede at afprøve sam-

me type løsning hos endnu flere varmekunder i løbet af 2023.

Neogrid Technologies har leveret de tekniske løsninger, som er installeret ude hos de enkelte fjernvarmekunder i Listed.

Den tekniske løsning består af en enhed, der kan samle data op fra blandt andet hovedmåleren. Boksen kommunikerer også med en Danfoss ECL-regulator, der sikrer styring af eksempelvis brugsvand og varme. Desuden kommer der data fra inde-

klima- og temperaturmålere – inde og ude.

Rumtemperaturen er brugerbestemt og kan indstilles individuelt. Via en brugergrænseflade kan varmekunderne følge med i varmekonsumet, ude-temperaturer og frem- og tilbageløbstemperaturer samt indstille rumtemperaturen.

»Kunderne vil forhåbentlig opleve, at de – uden at gå på kompromis med komforten – kommer til at bruge mindre varme og dermed sparer udgifter



Nederst ses en Danfoss ECL 210. Øverst til højre er en Kamstrup Multical 602 energimåler til fjernvarme. Dette er en del af BEOF's standard fjernvarmeinstallation.

Øverst til venstre er Neogrids Gateway. Dette er den eneste del af installationen, der er omfattet af projektet. Denne er tilsluttet ECL via USB, og resten af målingerne samles trådløst op via wireless M-Bus. Gatewayen kommunikerer med Neogrids servere via 4G-netværket men kan også kobles på kundens netværk med Wifi eller LAN-kabel.



## Flexibility Heat Grid Bornholm aka Listedprojektet

Projektet omfatter etablering af et fuldt fleksibelt fjernvarmenet med intelligent styring af fjernvarmeunits i 42 husstande i Listed på Bornholms østkyst.

Der udvikles og afprøves videre på et data-drevet overvågnings- og planlægningsystem baseret på nye data fra husstande og GIS-data fra fjernvarmenet til optimeret styring og investeringsplanlægning.

Alle husstande har deres egen 110 liter varmtvandsbeholder, og der etableres styring af disse for at etablere fleksibilitet og decentral lagring. Dette styrker på sigt muligheden for sektorkobling og udnyttelse af overskudsvarme fra blandt andet P2X og datacentre.

Projektet bliver afsluttet og afrapporteret ved udgangen af 2022.

til opvarmning af deres bolig,« siger Anders Larsen, Research & Development Scientist hos Neogrid Technologies.

### 110 liters varmtvandstanke

Alle husstande i Listed-projektet har en 110 liter varmtvandstank, som gør det muligt at bruge hver bolig som en varmebuffer – med mulighed for at hele varmenettet kan nyde godt af den lagerkapacitet, så man kan lægge denne buffermulighed ind i sin planlægning, fordi man samtidig kender forbruget i den enkelte bolig og har vejrprognoser til rådighed.

»Med vejrdato kan man lave forudsigelser af forventet varmeforbrug, som med central styring af rum- og fremløbstemperaturer vil kunne bidrage til en mere optimal varmeproduktion og -distribution, hvilket varmtvandsbeholderne bidrager yderligere til,« siger Anders Larsen.

Neogrids teknologi bliver allerede anvendt i større boligblokke, hvor man installerer en måler for at sænke fremløbstemperaturen, og det har givet besparelser på 10-15 procent årligt.

»Hvis projekter som Listed viser gode resultater, ser vi frem mod et kommercielt marked for boligkunder eller fjernvarmeselskaber, som ønsker at høste gevinsterne ved bedre styring af varmeforbruget hos slutkunden. Vi håber, at Listed-projektet demonstrerer potentialet i teknologien,« siger Anders Larsen.

### Grøn omstilling kræver fleksibilitet

Fleksibilitet på forbrugssiden bliver afgørende nødvendig i den videre grønne omstilling med mange fluktuerende energikilder. På Bornholm har man tidligere i EcoGrid-projektet prøvet at gøre elkunderne mere fleksible – med gode erfaringer.

I EcoGrid lykkedes det på denne måde at flytte elforbruget ved at fjernstyre 1.000 varmepumper og elradiatorer rundt om på øen og dermed demonstrere øget fleksibilitet i

praksis. Nu skal Listed-projektet prøve at gøre det samme i fjernvarmen.

»Min vurdering er, at en vellykket grøn omstilling kommer til at kræve en høj grad af fleksibilitet på forbrugssiden. Det gælder både forbrug af strøm og varme,« siger Emil Mahler, CTO, UTILIGIZE, og han fortsætter:

»Et af perspektiverne ved Listed-projektet er, at fjernvarmeselskaber generelt kan få mere kapacitet i deres eksisterende fjernvarmenet – uden at skulle udbygge dem. Hvis man med central og intelligent styring af et samlet net fra produktion over distribution til forbrugere kan nedbringe forbruget, vil det alt andet lige betyde, at man kan få flere ►

## Besparelser- og optimeringspotentiale

Overordnet målsætning: Reduceret energiforbrug, -produktion, varmetab og derved CO<sub>2</sub>-udledning:

Mål 1: Øget energieffektivitet i husstande (10%)

Mål 2: Reduceret varmetab i ledningsnet (20%)

Mål 3: Øget effektivitet af varmeproduktion (6%)





## Fjernvarme Bornholm

**Støttebeløb:** 1,0 millioner kroner fra EU's Regionalfond "Innovationssamarbejder i offshoreklyngen".

**Egenfinansiering:** 0,6 millioner kroner.

**Projektbudget:** 1,6 millioner kroner.



Her ses Metro Therm 110L varmtvandsbeholder, som igen er en del af den normale fjernvarmeinstallation. Alle rør, cirkulationspumpe, motorventil og varmeveksler eller blandesløjfe er gemt væk i den hvide kasse under varmtvandsbeholderen. Dette er en del af den normale installation.

forbrugere på samme net. Det vil være interessant for mange fjernvarmeselskaber i de kommende år, hvor der er et stærkt politisk ønske om at konvertere gaskunder til fjernvarme«.

Andre afledte effekter kan være mindre belastning af rør og varmeinstallationer, hvis man sænker temperaturer – og dermed måske opnår lavere vedligeholdelsesudgifter.

Systemerne fra Utiligize viser temperaturer og tryk i distributi-

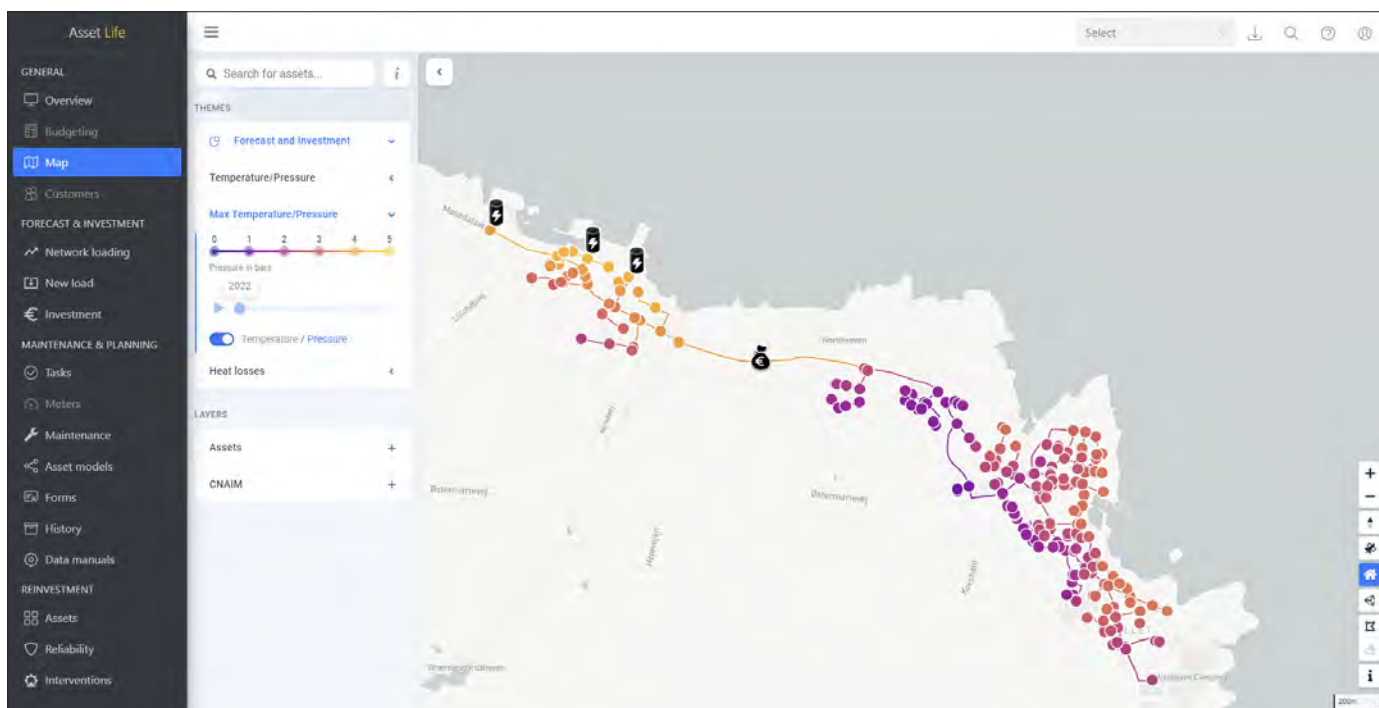
## Nationalt potentiale

Ved fuld udrulning og effekt i Danmark er potentialet estimeret til en reduktion på cirka 4.300 GWh svarende til cirka 0,66 mio. ton CO<sub>2</sub> i et ligeligt miks af kul, naturgas, træflis, halm og varmepumper. Disse grove estimater forsøger projektet at kvalificere.

### Projektdeltagere:

Bornholms Energi & Forsyning, Utiligize, Neogrid Technologies, DTU CEE og Energy Cluster Denmark.





Fjernvarmekapacitet i Listed med nødvendige investeringer (Euro-ikon) og aktiveringer af fleksibilitet (batteri-ikon).

onsnet, og knudepunkter som for eksempel pumpestationer i lokale fjernvarmenet.

»Vi hjælper forsyningsselskaberne med systemer, som de kan bruge til deres daglige drift men også investeringsbeslutninger om drift, vedligehold og levetidsforlængelser af eksisterende installationer – altså både CAPEX- og OPEX-udgifter,« siger Emil Mahler

Utiligize vurderer, at fjernvarmeselskaber med nye intelligente løsninger, som dem blandt andet Bornholms Energi & Forsyning anvender, vil kunne reducere CAPEX-udgifter med 35 procent og OPEX-udgifter med 25 procent.

### Reduceret ledningstab

Varmetab i nettet er også et problem, som de nye teknologier har potentiale til at reducere. I dag er der et varmetab hos BEOF på op mod 25 procent, men jo lavere temperaturen er på fjernvarmevandet i ledningsnettet, desto mindre bliver varmetabet.


En tommelfingerregel siger, at for hver to grader, man kan reducere returtemperaturen, kan man spare én procent brændsel, da man i højere grad kan udnytte varmen fra røggassen (via kondensvandet fra røggaskondenseringen).

»Vi vurderer, at der et stort potentiale for temperatur-sænkning i vores net, måske helt op til 10 grader. Det svarer til måske fire til fem procent besparelse på brændsel,« siger Julius Kofoed.

Alt efter brændselstyper kan det også give en større eller mindre CO<sub>2</sub>-reduktion.

Der er dog også udfordringer, som skal løses, hvis de nye løsninger fra det bornholmske projekt skal ruller ud i større skala:

»Kunderne overlader kontrollen med deres boligvarme til fjernvarmeselskabet, og deres forbrug bliver overvåget

meget nøje, så der er både et kontroltab og en overvågningsdimension, man må adressere, hvis man vil udrulle denne type løsninger nationalt. Men som det ser ud lige nu med meget høje energipriser, er der en stor motivation hos kunderne til at gøre noget, som kan nedbringe deres forbrug og udgifter« siger Julius Kofoed. 

## Bornholms Energi & Forsyning

Bornholms Energi & Forsyning leverer varme til 6.400 varmekunder på Bornholm – fordelt på fire selvstændige varmenet. Varmen produceres primært på flis og halm.

Foruden Listed-projektet driver Bornholms Energi & Forsynings afdeling for strategi- og forretningsudvikling en række andre forsknings- og demonstrationsprojekter, som forsøger at finde løsninger til fremtidens forsyning.

Læs mere her: [www.beof.dk/test-island](http://www.beof.dk/test-island)



# Smøreolie og andre fluider skal overvåges i realtid

Den digitale overvågning af smøringmiddel (olie) – herunder egenskabsændringerne, degraderingen og kontamineringen – ses på computerskærmen i forbindelse med den digitale overvågning af maskinkomponenternes tilstand og drift. De eksperimentelle data bliver brugt af Kairos' overvågnings-system ved fejldetektering af maskinkomponenter. På bordet ses tre prøveudtagninger af olien taget efter forskellige tests. Fra venstre: Michael Gani, Kairos Technology, og professor Ilmar Santos, DTU Construct.









Tre prøveudtagninger af smøringsmiddel (olie) taget efter forskellige rækker af tests – til venstre ses glasset til den fjerde prøveudtagning, som blev taget inden projektslut ved udgangen af 2022.

**Realtids-overvågning af olie og væsker i væskeførende systemer til smøring og køling er en vigtig del af fremtidens Asset Management. Dette kan forlænge levetiden på væsker og mekanisk udstyr – og forebygge nedbrud og produktionsstop.**

**3** 65 dage i blinde. Det er konsekvensen, hvis man kun tager én årlig prøve af smøreløser eller andre fluider på for eksempel en havmølle.

Fluid Management – håndtering af arbejdsvæsker – er således årsag til

mange fejl i vindmøller og elforsyningen i øvrigt. Indsatsen er desuden forbundet med omkostninger ved prøveudtagning og lange svartider på laboratorieanalyser af fluiderne.

Resultatet er, at man som driftsansvarlig for eksempelvis en havmølle-

park ikke har daglig føling med tilstanden af arbejdsvæskerne, såsom olie til smøring og køling, og derfor kan have svært ved at foretage præcise fejlanalyser.

Digital Fluid Condition Monitoring er et projekt under Energy Cluster Denmark, som arbejder på at udvikle nye løsninger til realtids-overvågning af olie og andre kritiske arbejdsvæsker for at opnå en højere kontrol med kvaliteten af disse væsker. På denne måde forebygges afledte problemer. Forringet væske kvalitet eller tab af væske kan nemlig betyde mekanisk havari og tabt produktion – og i værste fald en sikkerhedsrisiko for personer og materiel.

»I dag er viden om sammenhængen mellem driftsforhold og nedbrydning



## Digital Fluid Condition Monitoring

'Digital Fluid Condition Monitoring'-projektet skal udvikle og demonstrere et 'Digital Fluid Management'-system, der kontinuerligt overvåger arbejdsvæskers tilstand og funktionalitet. Den såkaldte DFCM-teknologi kan nedsætte forbruget af smøre- og kølevæsker i elforsyningen, reducere uforudsete nedbrud og omkostninger til service og vedligehold relateret til arbejdsvæsker.

gen af arbejdsvæsker sparsom, og det gør det svært at forlænge arbejdsvæskernes levetid ved drift- og designtiltag,« siger Anders Sloth, Area Manager hos IKM Ocean Team, der er en af partnerne i projektet.

### Perspektivet er 'Fill-for-Life'

Projektet skal demonstrere et 'Digital Fluid Management'-system, der kontinuerligt overvåger arbejdsvæskers tilstand og funktionalitet. Den såkaldte DFCM-teknologi kan potentielt nedsætte forbruget af smøre- og kølevæsker i elforsyningen, reducere uforudsete nedbrud og



Som led i 'Digital Fluid Condition Monitoring'-projektet er der etableret en testopstilling på DTU, hvor degraderingen og kontamineringen af smøringmiddel (olie) overvåges og undersøges i forbindelse med overvågning af maskinkomponenternes tilstand og drift. Desuden ses tre prøveudtagninger af olie efter forskellige tests. Fra venstre: Michael Gani, Kairos Technology, og professor Ilmar Santos (med en olieprøve i hånden), DTU Construct.





Laboratorium ved DTU Construct hvor testopstillingen bruges til den digitale overvågning af degraderingen og kontamineringen af smøringmiddel (olie) i forbindelse med den digitale overvågning af maskinkomponenternes tilstand og drift. Fra venstre: Michael Gani, Kairos Technology, og professor Ilmar Santos, DTU Construct.





## Digital Fluids

**Støttebeløb:** 1,25 millioner kroner fra EU's Regionalfond "Innovationssamarbejder i offshoreklyngen".

**Egenfinansiering:** 0,75 millioner kroner.

**Projektbudget:** 2,0 millioner kroner.



## Effekt af overvågning

Projektet vil bidrage til omkostningsreduktion relateret til arbejdsvæsker på 50-65 procent for vindturbiner og elforsyningen i øvrigt.

**Problemejer i projektet**  
Ørsted.

**Problemløsere**  
IKM Ocean Team, Kairos Technology og DTU Construct.

**Projektledelse**  
Energy Cluster Denmark.

nedbringe omkostninger til service og vedligehold relateret til arbejdsvæsker.

Ved hjælp af sensorer og software – herunder AI, der kan integreres med overordnede kontrolsystemer – skal der skabes en ny platform, som sikrer en løbende realtidsovervågning af arbejdsvæsker. Projektet er estimeret til at kunne reducere omkostninger relateret til arbejdsvæsker på 50-65 procent for vindturbiner og elforsyning.

»Fremdsperspektivet i 'Fill-for-Life' er at kunne nøjes med kun én påfyldning af olie i hele møllens levetid på 25-30 år. For at realisere denne vision, kræves det, at man har løbende tilstandsovervågning af olie og andre arbejdsvæsker,« siger Anders Sloth videre.

Overvågning af havmøller foregår ofte ved parametre som tryk, flow og temperatur, men man har ikke mulighed for at overvåge selve væske- eller olie kvaliteten, med mindre man tager ud til møllerne og udtager en prøve, som derefter sendes til analyse. Det kan være en kostbar og langvarig proces.

»De nye løsninger skal med det samme kunne sende besked direkte ind i ►



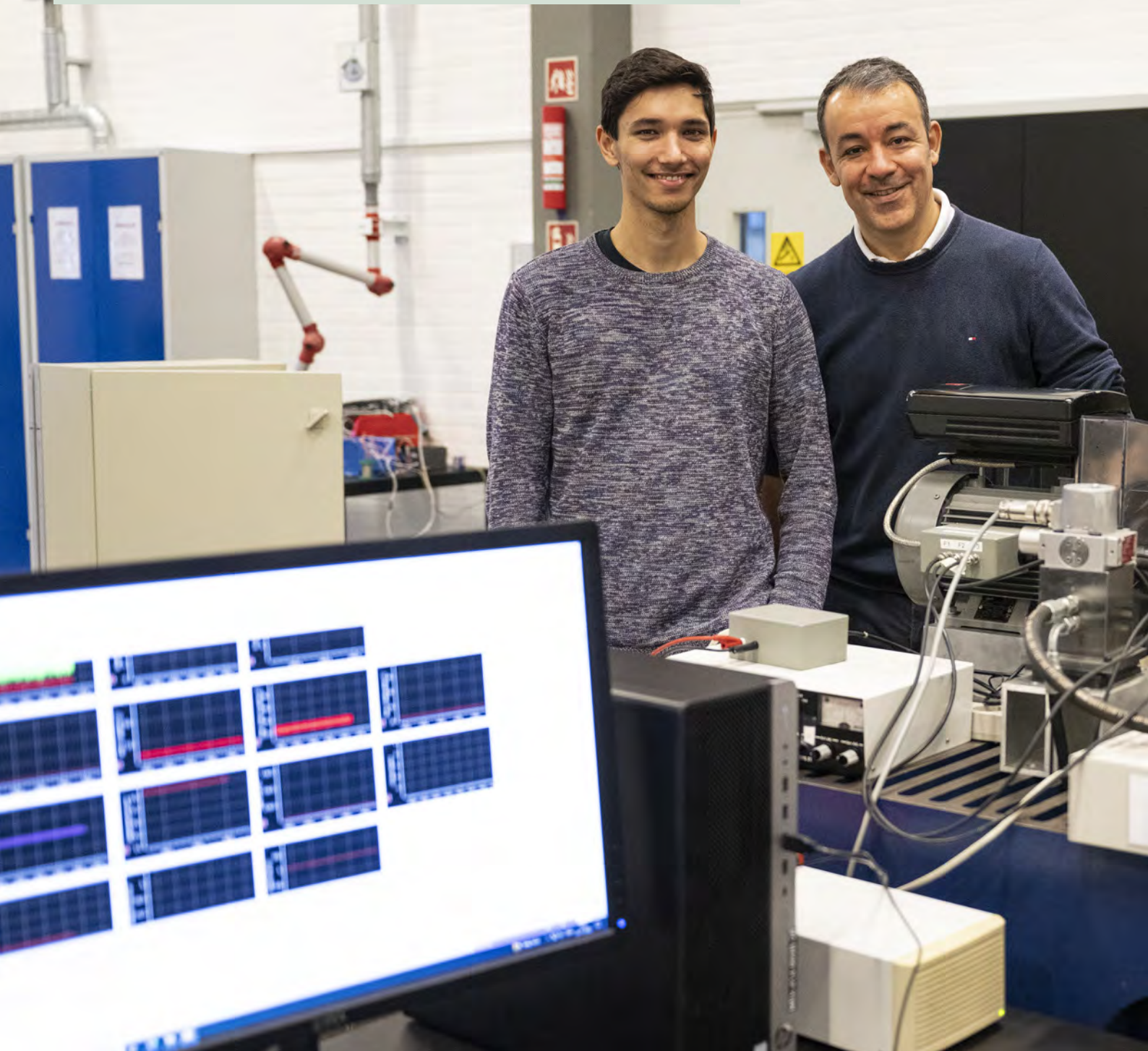
Til højre: Den fuldinstrumenterede testopstilling ved DTU Construct med adskillige sensortyper for en samtidig overvågning af elektriske, mekaniske og fluidske subsystemer.

Til venstre: Den digitale overvågning af fluidens (smøringens) tilstand og karakteristik samtidig med overvågning af maskinkomponenternes tilstand og drift – og søgning af korrelationer mellem smøringens tilstand og maskinkomponenternes fejl.

Nederst til højre: Olieprøveudtagninger som skal sendes til laboratorieanalyse, hvor analysen og resultaterne kan tage måneder, og det kan være for sent til diagnosen/prognosen af maskinkomponenternes fejl.

Fra venstre: Michael Gani, Kairos Technology, og Ilmar Santos, DTU Construct.

kontrolrumssystemerne, hvis der sker ændringer i selve olie kvaliteten, så operatørerne kan reagere hurtigt hvis nødvendigt, og samtidig får de bedre mulighed for at identificere årsagen til problemerne, fordi data om olien kan kombi-

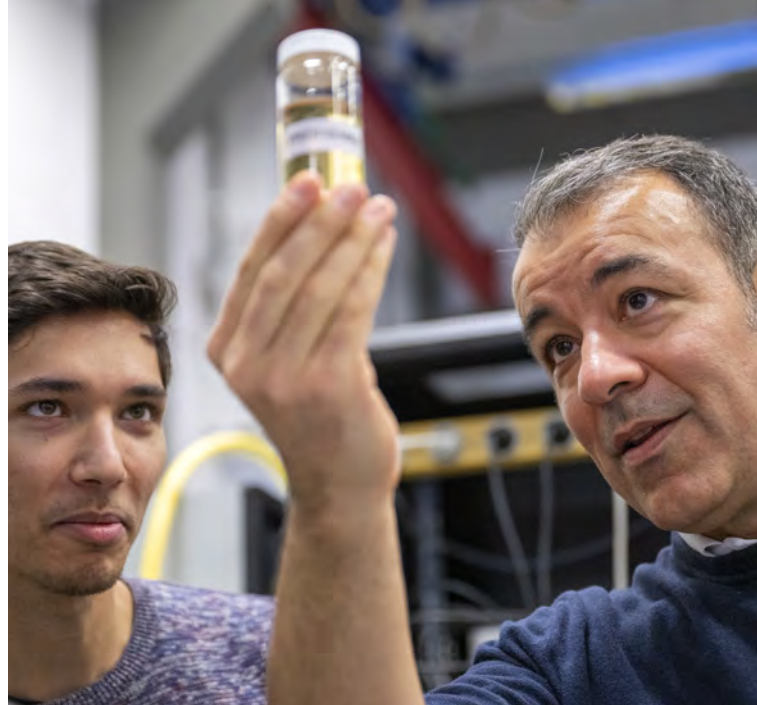
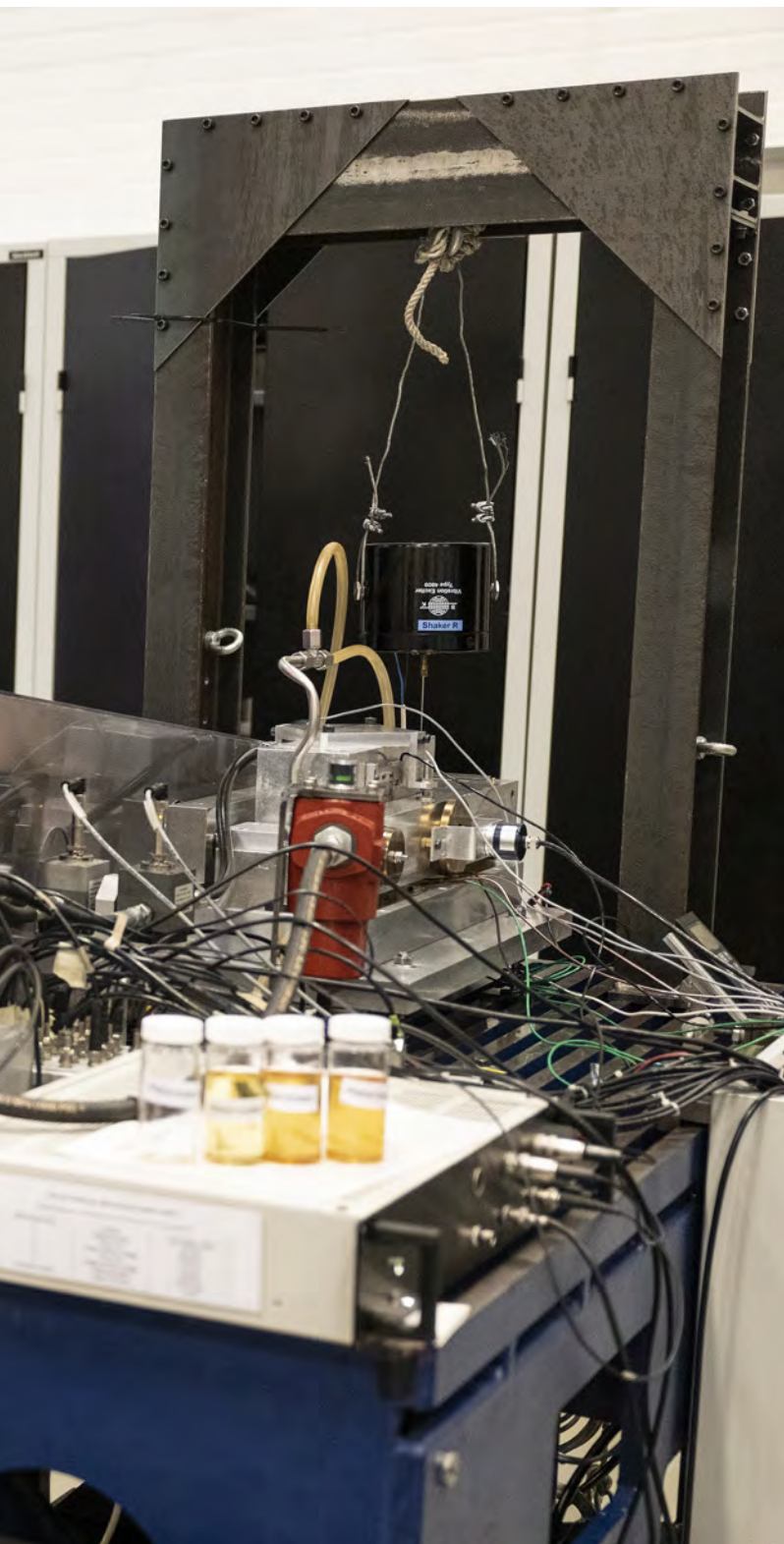




neres med data fra de mekaniske komponenter,« siger Anders Sloth.

Det handler nemlig ikke kun om oliens og væskens levetid og kvalitet – men også om det roterende udstyrs levetid.

»Man skal huske, at driftssikker produktion i nogle tilfælde afhænger af den tynde væske, som ligger mellem to roterende tandhjul og sørger for smøring og køling – og der-



Prøveudtagning af smøringmiddel (olie) taget efter forskellige rækker af tests – en af prøveudtagningerne undersøges visuelt af (t.v.) Michael Gani, Kairos Technology, og professor Ilmar Santos, DTU Construct. Olien undersøges for temperatur, densitet, viskositet og elektrisk ledningsevne.

med forebygger et sammenbrud. Hvis ikke vibrationsmålinger fanger problemerne tidligt nok, så kan olieanalyser måske,« siger Anders Sloth.

### Testopstilling på DTU

Som led i Digital Fluid Condition Monitoring-projektet er der etableret en testopstilling på DTU, hvor degraderingen og kontamineringen af smøringmiddel (olie) overvåges og undersøges i forbindelse med overvågning af maskinkomponenternes tilstand og drift.

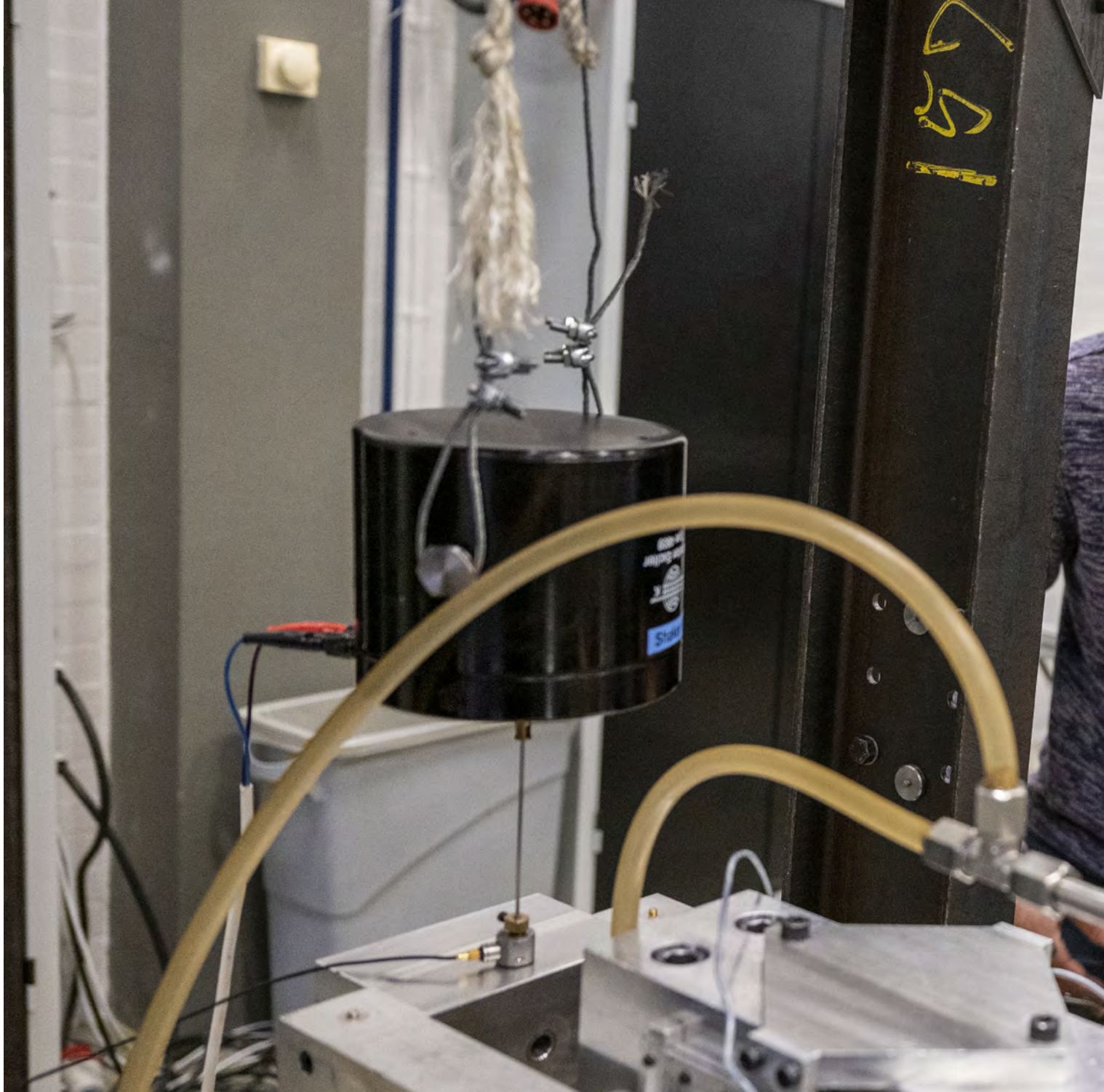
Opstillingen på DTU svarer ret præcist til det set-up, man vil finde i nacellen på en vindmølle. Olien undersøges for temperatur, densitet, viskositet og elektrisk ledningsevne. Samtidig måles på blandt andet strømforbrug og temperatur på lejer, så man får et billede af samspillet og interaktionen mellem væsker og mekaniske komponenter.

»Vi måler samtidigt på olie og de mekaniske komponenter – herunder strøm i motorer, temperatur og vibrationer i andre komponenter. Ved at sammenholde olieprøver og data fra maskinerne kan vi forhåbentlig få et dækkende billede af konsekvenserne, når olien degraderer. Olien påvirker komponenterne og omvendt, det ved vi, men nu vil vi gerne vide mere om den sammenhæng. Hvilke risici følger med degraderingen af olien – og hvordan påvirker de mekaniske komponenters tryk, hastighed og temperatur mere præcist olien og væskerne,« siger professor Ilmar Santos, DTU Construct, som ligeledes er partner i projektet.

Ideelt skal fremtidens 'Fluid Monitoring'-systemer kunne analysere både olie, kølevand og andre vigtige arbejds væsker.

»Vi ser nogle gange, at man har meget fokus på olien, men problemer kan også skyldes kølevand, der for eksempel ikke køler olien hurtigt nok. Et fremtidigt online-system skal kun- ►





Testopstillingen ved DTU hvor degraderingen og kontamineringen af smøringmiddel (olie) overvåges og undersøges i forbindelse med overvågning af maskinkomponenternes tilstand og drift. På billedet ses fra venstre: Michael Gani, Kairos Technology, og professor Ilmar Santos, DTU Construct.

ne håndtere alle relevante væsker i et givent system,« siger Anders Sloth.

### Test i virkeligheden

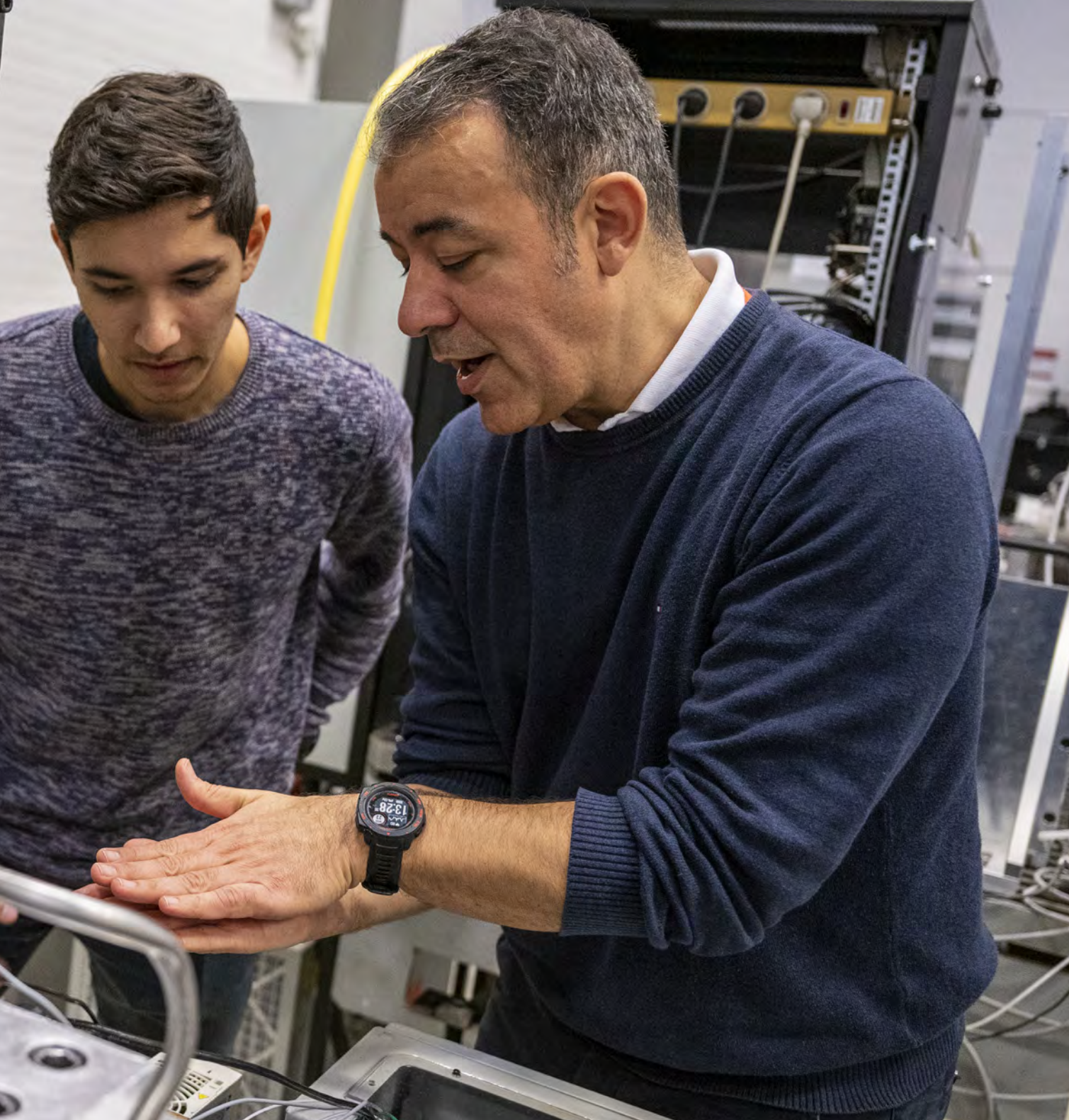
Hos projektpartneren Kairos Technology, der udvikler software til beslutningsstøtte, ser man nye typer online-måling af olie kvalitet som et vigtigt næste skridt i en endnu bedre

daglig overvågning – men også i 'Asset Management'-planlægning. Baseret på funktionelle, digitale tvillinger og realtids-overvågning af olie og andre kritiske arbejdsvæsker kan Kairos Technology detektere årsager til fejl samt forudsige konsekvenser.

»Det afgørende i et nyt system er, at man kan følge olien over tid og dermed

udpege de parametre, som spiller ind på, om olien degraderer. Er der kommet vand i olien? Er der kulde eller varme, som påvirker olien? Vi ved, at olie degraderer af sig selv over tid, men der er mange andre forhold og påvirkninger, som kan forkorte levetiden eller kvaliteten. Hvis man skal vente uger eller måneder på prøvesvar, kan det være svært – måske umuligt – at identificere årsagen til ændringer i olie kvaliteten. Løbende online-målinger giver nogle helt andre muligheder for at





identificere sammenhængen mellem olie kvalitet og for eksempel mekaniske problemer,« siger Claus Myllerup, CTO, Kairos Technology.

Om projektet munder ud i en kommerciel løsning er ikke afklaret. Næste skridt er at rykke ud af laboratoriet og foretage test af de nye løsninger i praksis – ideelt ude på et antal havmøller og en offshore transformestation.

»Vi skal lave tests på installationer ude i virkeligheden, og den proces

kommer til at tage to til tre år, hvis vi skal have data fra måske fem til ti offshore møller og en transformestation,« siger Claus Myllerup.

Han peger på projektet som et godt eksempel på værdien af Energy Cluster Denmark.

»De skabte forbindelse mellem Kairos Technology og IKM Ocean Team og fik desuden inddraget DTU. Virksomheder har ofte brug for akademiske miljøer til det nødvendige udviklingsarbejde. Vi kan ikke forvente, at

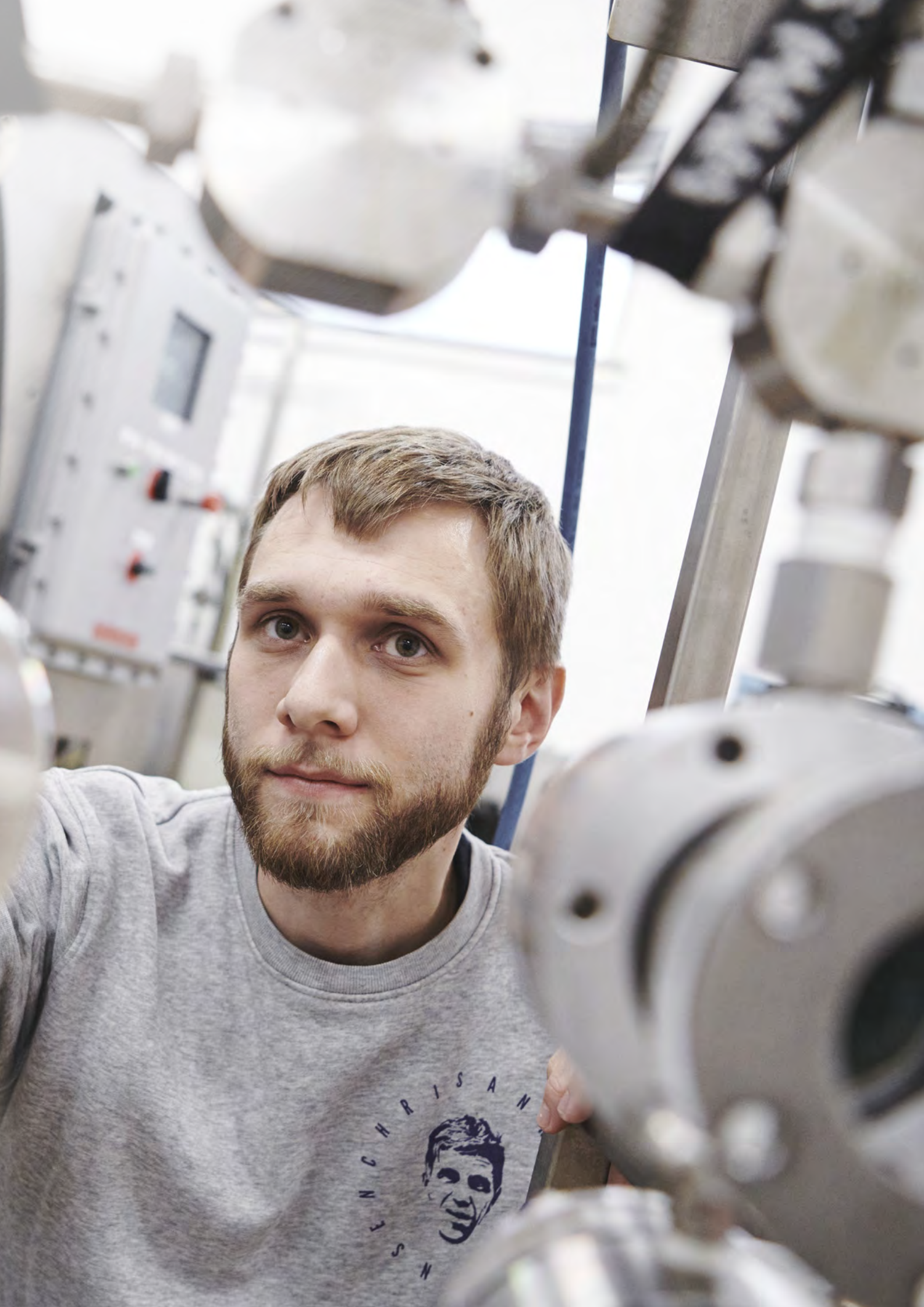
industrien selv udvikler alle nye løsninger. Vi har brug for aktører som Energy Cluster Denmark, EUDP og andre, som vil finansiere og facilitere det nødvendige udviklingsarbejde. Nu skal vi have skaleret 'Digital Fluid Monitoring' op, så teknologien forhåbentlig viser sit fulde potentiale, og kommercielle aktører får mod på at udbyde de nye online-løsninger til industrien, så de kan komme til at gøre en forskel i fremtidens drift og Asset Management,« siger Claus Myllerup. 



# CO<sub>2</sub>-lagring udfordres af korrosion

Maskinmester Andreas Christensen, projektleder for Work Package 3 i COLLATE-projektet, er daglig ansvarlig for materialetest hos IKM Ocean Team i Esbjerg og ansvarlig for ny flow loop, som muliggør mere raffinerede materialetests til CCUS-applikationer.







## Korrosion forårsaget af CO<sub>2</sub> er én af de store udfordringer ved CO<sub>2</sub>-lagring. COLLATE-projektet skal udvikle og optimere metoder, kompetencer og udstyr til 'Carbon Capture Utilisation and Storage'.

**C**O<sub>2</sub>-lagring kan måske være med til at levere en markant reduktion af drivhusgasser til atmosfæren. Visionen er, at store mængder CO<sub>2</sub> opfanges, transporteres og pumpes ned i undergrunden enten offshore eller onshore. Hermed kan CO<sub>2</sub>-udledningerne til atmosfæren reduceres på global skala – forudsat de praktiske løsninger kan udvikles og stå deres prøve i dette format og over lang tid.

De første forsøg med CO<sub>2</sub>-lagring i den danske undergrund vil ske i løbet af 2023, og sideløbende foregår et forsknings- og udviklingsarbejde, som skal finde frem til tekniske løsninger, så CO-lagringen kan foregå sikkert, og lagringen bliver effektiv i årtier, måske århundreder frem.

Et af disse projekter er COLLATE – en forkortelse for 'CO<sub>2</sub> Liquid Laboratory Testing' – som er støttet af EUDP og dermed skal komme hele industrien til gode på lang sigt.

»'Carbon Capture' eller CO<sub>2</sub>-fangst er udset til at få en vigtig rolle i dét at reducere udledning af drivhusgasser. Men på det praktiske niveau – når man går ned i de tekniske detaljer – er der stadig områder, hvor der er brug for at få viden om, hvordan både transport og lagring skal foregå sikkert og forsvarligt. Det er jo forudsætningen for, at man kan lave nogle gode business cases. Hvis CO<sub>2</sub>-lagring skal hjælpe os med at opnå 2050-målene, som nu

måske bliver 2045-mål, skal vi i gang med at lagre CO<sub>2</sub> i stor skala inden for det næste årti,« siger maskinmester Benjamin Lorenzen, Chief Innovation Officer og deltager i COLLATE-projektet, IKM Ocean Team i Esbjerg.

### Samarbejde i konsortium

Samspillet mellem CO<sub>2</sub> og de materialer, som CO<sub>2</sub> kommer i kontakt med



Maskinmester Benjamin Lorenzen, projektleder for COLLATE, forklarer teknisk setup af testfaciliteter til metalprøver for Dr. Jie Yu, Dr. Kapil Gupta, Dr. Sajjad Bahrebar og professor Rajan Ambat, DTU.



undervejs i processerne med transport og lagring, er afgørende for holdbarhed og sikkerhed.

»Det er mange år frem, at man skal kunne håndtere kæmpe mængder CO<sub>2</sub>. Dette gælder hele vejen fra den forbrændingskilde, hvor CO<sub>2</sub> bliver opfanget fra en røggas – og gennem hele transportkæden frem til de underjordiske lagre offshore eller onshore, hvor CO<sub>2</sub> skal gemmes i mange år frem,« siger Benjamin Lorenzen.

IKM Ocean Team har erfaring med håndtering af CO<sub>2</sub> i forskellige serviceydelser inden for olie- og gasindustrien

og ønsker nu at blive en del af den industri, som i fremtiden skal stå for eller bidrage til CCUS – 'Carbon Capture Utilisation and Storage'.

»For at få den ønskede rolle i fremtidens CCUS er det afgørende for os med et samarbejde i et konsortium, hvor vi kan kombinere vores praktiske erfaring med viden fra eksperter og specialister inden for materialeforskning hos DTU og GEUS. Som led i COLLATE-projektet ser vi nu frem til at få etableret testfaciliteter her i Esbjerg, så vi kan generere ny viden ved test af materialer, der ud- ▶





sættes for CO<sub>2</sub>,« siger Benjamin Lorenzen.

### Gamle brønde

CO<sub>2</sub>-injektionen i Nordsøen skal foregå i tidligere olie- og gasreservoarer. Det giver både fordele og ulemper ifølge geolog Knud Dideriksen fra GEUS, der også deltager i COLLATE.

»Efter 40 års olie- og gasproduktion i Nordsøen har vi et godt kendskab til

undergrunden, men samtidig er der mange huller ned til olie- og gasreservoarerne. Man har injiceret vand ned for at få olie og gas op, og der er boret mange brønde – både udforsknings-, injektions- og produktionsbrønde – med deraf følgende lækagemuligheder for CO<sub>2</sub>. Når man begynder at pumpe CO<sub>2</sub> ned i undergrunden, er der en risiko for, at den vil kunne sive op gennem disse brønde og på den måde slippe

uden om den naturlige forsejling, der hyppigst udgøres af lersten,« siger Knud Dideriksen.

For at forsejle olie- og gasreservoarer har man anvendt cement for at lukke brøndene til.

»Den lagrede CO<sub>2</sub> skal potentielt blive i undergrunden i tusindvis af år, så der skal etableres en meget effektiv og langtidsholdbar forsejling, blandt andet ved hjælp af cement og





metal. Derfor skal vi i projektet undersøge, hvordan CO<sub>2</sub> påvirker disse materialer over tid. En af udfordringerne er, at vi skal prøve at fremskrive effekten over måske 1.000 år eller længere på baggrund af et-års-tests. Det er ikke sikkert, vi når helt i mål med meget præcise prædiktive mo-

deller, men vi skal gøre forsøget,« siger Knud Dideriksen.

Eksisterende olie- og gasbrønde er ikke tiltænkt eller designet som CO<sub>2</sub>-lagre, og derfor skal de måske yderligere forsegles med mere cement og andre materialer. Men hvilke materialer egner sig bedst til denne opgave?

»Vi starter ikke helt på bar bund, når det gælder forholdet mellem cement og CO<sub>2</sub>. Der er lavet en række studier.

IKM Ocean Team har stor erfaring med flushing af lange og snævre rørsystemer med CO<sub>2</sub>. Noget af deres eksisterende udstyr er blevet ombygget for at kunne bruges i prototypesystemet i COLLATE-projektet.



Men det er alligevel kompliceret. Der findes mange slags cement, som opfører sig på forskellige måder, og det skal vores modeller prøve at tage højde for,« siger Knud Dideriksen.

CO<sub>2</sub> er mere aggressivt korroderende end olie, gas og vand, og CO<sub>2</sub> danner desuden kalk, når den reagerer med for eksempel Portland-cement. Det medvirker til, at man ikke præcist ved, hvordan CO<sub>2</sub> vil påvirke de materialer, som man skal bruge til at forsegle drivhusgassen i undergrunden.

»Man kan godt leve med, at CO<sub>2</sub>'en stiger opad til en vis grad, bare den ikke gennembryder forseglingen og stiger op gennem vandet til atmosfæren. Vi har også en formodning om, at cementen til en vis grad kan opsuge CO<sub>2</sub>,« siger Knud Dideriksen.

Et andet spørgsmål, der skal undersøges, er, hvor meget CO<sub>2</sub> man kan injicere, hvilket tryk det vil skabe – og hvordan det igen påvirker materialerne?

### Forskellig CO<sub>2</sub>-kvalitet

Ud over cement vil forskellige typer metaller blive anvendt flere steder undervejs i transport og lagring af CO<sub>2</sub>.

»Vores bidrag til COLLATE-projektet er at undersøge, hvordan metalliske materialer korroderer og nedbrydes, når de udsættes for kontamineret CO<sub>2</sub>. Dernæst skal der udvikles forebyggende tiltag, så man undgår, at metallerne nedbrydes i utide. Det kan ske ved at identificere de bedst egnede typer metalliske materialer, som kan tåle den korrosive effekt fra CO<sub>2</sub>, eller det kan ske ved, at man måske foretager en behandling af CO<sub>2</sub>, så man fjerner de urenheder, som er skyld i en accelereret korrosion,« siger professor Rajan Ambat, Institut for Byggeri og Mekanisk Teknologi, Sektion for Materiale- og Overfladeteknologi, DTU CONSTRUCT.

Anvendelsen af forskellige metalliske materialer er vigtigt i opbygningen af den nødvendige infrastruktur til test af CCUS.

»CO<sub>2</sub> indeholder forskellige niveauer af urenheder, som er korrosive. Vi skal se på degraderingen af metal i forhold til forskellige CO<sub>2</sub>-kvaliteter. Vi forventer, at testfaciliteterne hos IKM Ocean Team vil give os nogenlunde ▶





## COLLATE 'CO<sub>2</sub> Liquid Laboratory Testing'

COLLATE-projektet skal udvikle og optimere metoder, kompetencer og udstyr til analyse og simulering relateret til CCUS 'Carbon Capture Utilisation and Storage'.

Det overordnede formål er at støtte den voksende CCUS-industri ved at sikre, at et danskbaseret laboratorium med industrielle og kommercielt levedygtige værktøjer stilles til rådighed for den voksende industri.

COLLATE har fokus på videnskabelig forskning i forskellige materialer og samtidig udvikling af laboratorieudstyr. Et andet spor vil fokusere på at udvikle og bygge et større laboratoriesystem, som vil blive benchmarket mod mindre laboratorieskalaforsøg og igangværende forskningsresultater.

Projektet kører til og med 2023.

**Støttebeløb:** 17,8 millioner kroner fra EUDP.

**Egenfinansiering:** 8,3 millioner kroner.

**Projektbudget:** 26,1 millioner kroner.

### Projektdeltagere

- IKM Ocean Team
- DTU
- GEUS
- Esbjerg Maritime Service ApS
- Wintershall Dea
- INEOS E&P A/S
- Energy Cluster Denmark.







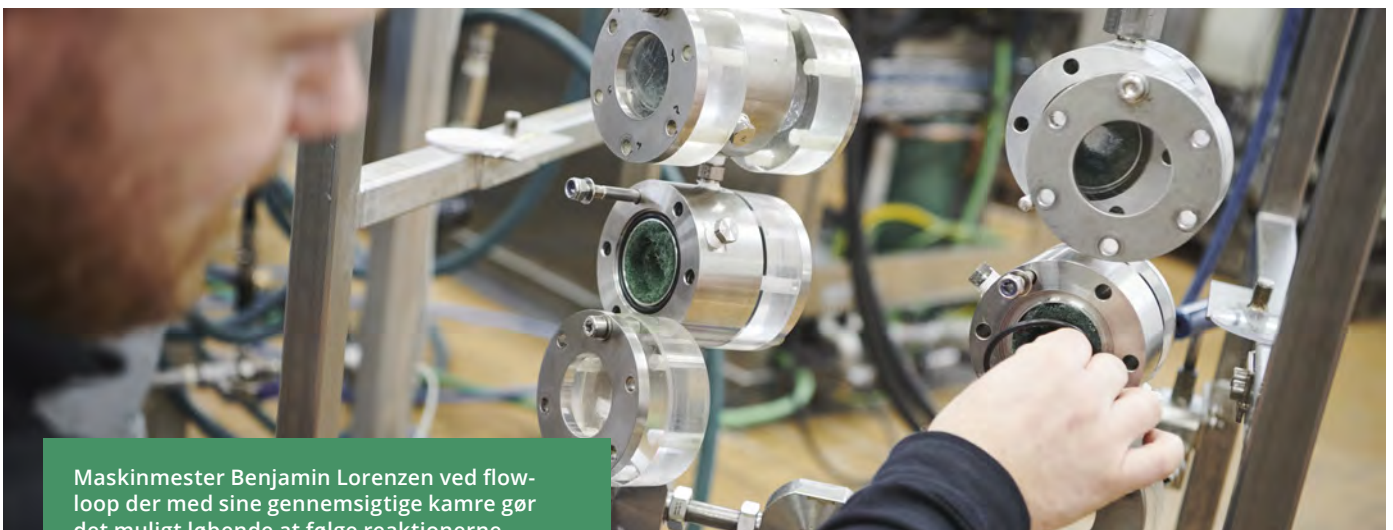




Fleksibiliteten i flow-loopet gør det muligt for IKM Ocean Team at teste mange forskellige materialer og prøver som led i COLLATE-projektet.



Close-up af testkammer i flow-loop-anlæg, der anvendes til materialeprøvning som led i COLLATE-projektet, hvor IKM Ocean Team lægger tekniske faciliteter til.



Maskinmester Benjamin Lorenzen ved flow-loop der med sine gennemsigtige kamre gør det muligt løbende at følge reaktionerne undervejs i testforløb.





Systemet til test af materialer hos IKM Ocean Team er fuldautomatisk, og temperaturer og tryk kan justeres for at imødekomme forskellige testscenarier.

realistiske forhold at teste under. Resultatet skulle gerne blive en model baseret på korrosionsmålinger, så vi kan lave en prædiktiv model, der kan forudsige korrosion for forskellige typer metalliske materialer og forskellige CO<sub>2</sub>-kvaliteter. På den måde kan man måske også afgøre, om der er særlige CO<sub>2</sub>-kvaliteter, man skal undgå at injicere, fordi de er for korrosive,« siger Rajan Ambat.

Indholdet af korrosive urenheder i CO<sub>2</sub> afhænger af, hvilke materialer der er grundlaget for forbrændingen og dermed røggassen, hvorfra CO<sub>2</sub>-indholdet opfanges. Det kan være indhold af svovlgasser, fugt eller klorider, som kan afgøre den korrosive effekt.

»Forbrændingskilden er meget afgørende for CO<sub>2</sub>-kvaliteten – om det er en industriel proces eller energiproduktion på et kraftværk,« siger Rajan Ambat.

Indtil videre er der ikke så meget viden om forholdet mellem metalliske materialer og korrosion forårsaget af urenheder i CO<sub>2</sub> – og slet ikke når det handler om CO<sub>2</sub>-kvaliteter fra mange forskellige kilder. Økonomisk vil der være et ønske om at genbruge så meget af den eksisterende offshore infrastruktur som muligt, men hvor godt tåler disse materialer langvarig nærkontakt med CO<sub>2</sub>?

»En løsning kan blive, at man prøver at rense eller kvalitetssikre den CO<sub>2</sub>,

der skal lagres, men det er en svær proces, som vil fordyre CO<sub>2</sub>-lagringen. Vi ved heller ikke, om de eksisterende olie- og gasbrønde kan holde på CO<sub>2</sub> i så lang tid, som det vil kræve. Måske bliver man nødt til at isolere brønde med nye materialer for at holde på CO<sub>2</sub>, men vi kender endnu ikke de bedst egnede materialer eller legeringer. Vi håber, at COLLATE kan være med til at afklare nogle af de vigtigste spørgsmål, så der kan udarbejdes nogle prædiktive modeller,« siger Rajan Ambat.

### Testfaciliteter i Esbjerg

Meget af projektet kommer til at handle om at generere data, som kan fodres ind i 'machine learning'-modeller, der igen kan omsættes til prædiktive modeller.

»Data fra tests skal give os bedre viden om materialernes opførsel gennem hele værdikæden, hvor CO<sub>2</sub> opfanges, transporteres og lagres, uanset om det sker gennem pipelines, på tankbiler eller skibe. Der er mange forhold, som kan have indvirkning på spillet mellem materialerne og CO<sub>2</sub> – herunder tryk og temperaturer undervejs,« siger Knud Dideriksen.

Hos IKM Ocean Team skal der bygges testfaciliteter til forskellige typer materialer, der udsættes for CO<sub>2</sub> i forskellige scenarier såsom forskellige flows, temperatur og tryk. Testan-

lægget udstyres blandt andet med meget avanceret udstyr til måling af gaskvalitet.

»Vi skal kunne transportere og lagre CO<sub>2</sub> i meget stor skala og over lang tid. Det er en helt ny opgave, som ingen har løst før. Vi har ingen standarder eller 'best practice' – endnu. Vi skal høste så meget empiri, vi kan, i løbet af COLLATE-projektet, og så må vi se, hvor langt vi kan nå på den tid. Det er både en teknisk og kommerciel udfordring at skabe et marked for CO<sub>2</sub>-lagring. Der udestår flere vigtige spørgsmål – blandt andet om det er muligt teknisk og kommercielt at lave en kvalitetssikring af CO<sub>2</sub>, så man forebygger noget af den korrosive effekt. Måske kan man kun sikre sig mod korrosion ved at bruge så dyre materialer eller legeringer, at det bliver svært at få til at hænge sammen økonomisk. Der er mange udestående spørgsmål, og jeg har indtrykket af, at der ikke er hænder og hoveder nok i gang med at kigge på løsningerne. Men vi bliver nødt til at arbejde sammen i branchen og blive klogere i fællesskab, hvis vi skal nå i mål med løsningerne inden for en overskuelig årrække. Det er COLLATE-projektet et eksempel på,« siger Benjamin Lorenzen. 



# AI-droner skal foretage inspektion og opmåling







Jesper Smit og Pjort Kat med DJI Matrice 300-drone med et Zenmuse H20T-kamera under – og ovenpå er der et Zenmuse P1-kamera. Computeren på bordet styrer dronen og den planlagte mission.



## Droner kombineret med kunstig intelligens skal i fremtiden varetage kvalitetskontrol og opmålinger af store industrielle konstruktioner – herunder komponenter til vindmøller.

Inspektion, opmåling og kvalitetskontrol af store mekaniske konstruktioner – såsom komponenter til vindmøller – er både en tids- og sikkerhedskrævende opgave.

Den involverer typisk mange sikkerhedsforanstaltninger for de involverede medarbejdere, der ofte skal arbejde i højden. Hertil kommer, at inspektioner typisk skal gentages et antal gange for at sikre, at man får identificeret alle fejl og mangler, hvilket er formålet med inspektionen.

Det EUDP-støttede Quali Drone-projekt har nu udviklet en løsning, hvor droner med hjælp af AI og 3D-scanningsværktøjer kan udføre inspektionsarbejdet af såkaldte 'Transition Pieces' hos Bladt Industries.

»I dag foregår inspektioner ved, at medarbejdere sendes op i en lift og derefter foretager en visuel inspektion, som de dokumenterer med et kamera. Herefter udarbejdes en rapport, som danner grundlag for udbedring af de fejl og mangler, som er registreret. Når disse er udbedret, foretages en ny inspektion på samme måde. Denne proces gentages et antal gange – typisk op til tre – før komponenten er klar til at blive afleveret til kunden,« fortæller Jesper Smit, direktør, Quali Drone.

Han har en baggrund som Quality Manager hos Bladt Industries og driver i dag Quali Drone, som tilbyder inspektioner med droner, der udnytter AI og 3D-scanningsteknologier til udarbejdelse af automatiserede, intelligente inspektionsløsninger.

»Kombinationen af droner, AI og 3D-scanning muliggør en ny type løsning, der ikke er på markedet i dag, og som vil kunne øge kvaliteten af inspektionerne, skære tid af opgaverne – og minimere risici for medarbejdere,« siger Jesper Smit.

### AI og 3D-scanning

Quali Drone-projektet tager udgangspunkt i Transition Pieces – TP'er – som forbinder monopæle, der bankes ned i undergrunden, med selve vindmølletårnet. Det er konstruktioner på op til 30 meters højde og 5-6 meters diameter med varierende indmad. Materialet er hovedsagelig stål.

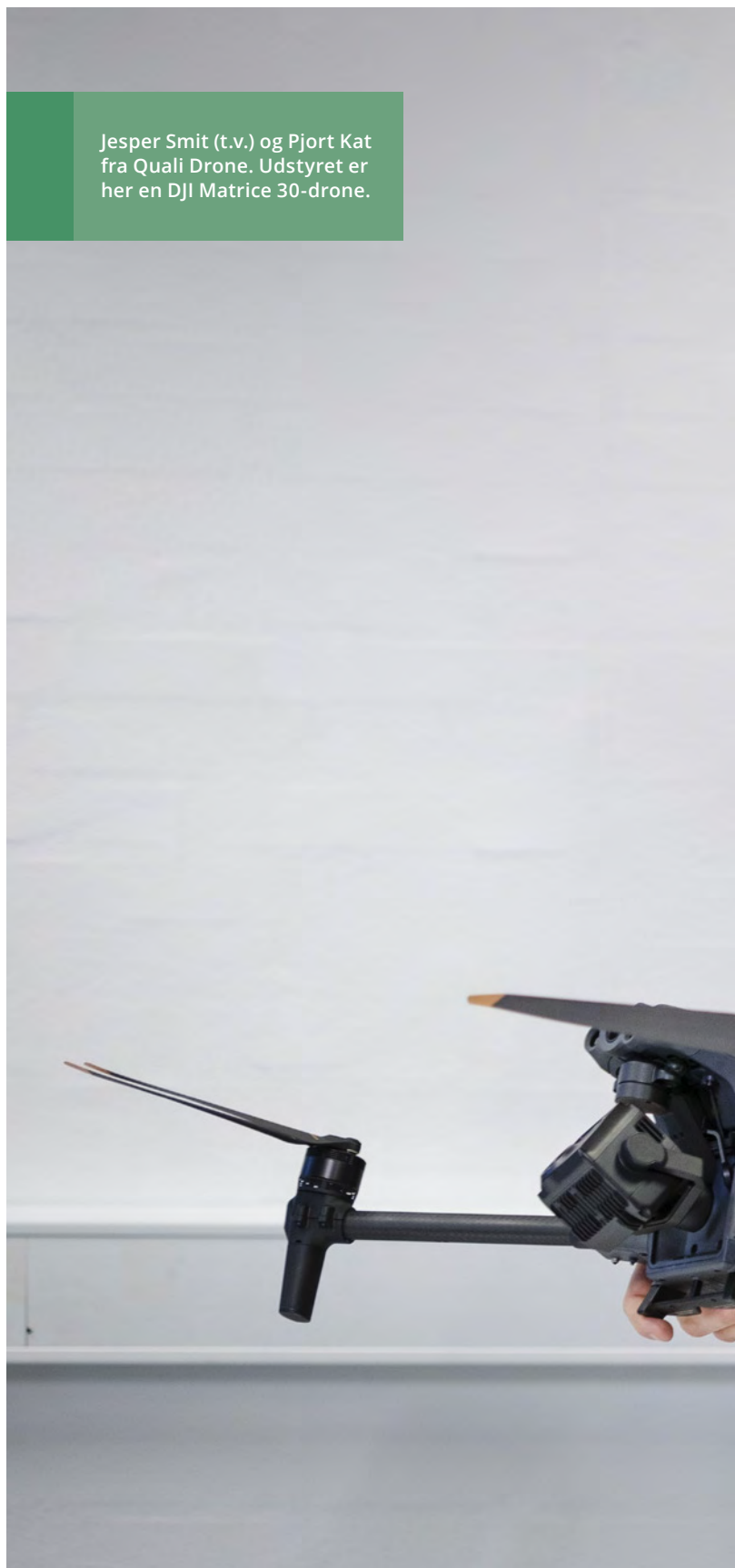
Det er vigtigt, at TP'erne fejlfrit opfylder specificerede krav fra vindmølleproducenter og -operatører. Under produktionen og frem til afskibning, hvor ansvaret for TP'erne over-

går til kunden, inspicerer producenten, at TP'erne opfylder den specificerede kvalitet.

Inspektionen er både tidskrævende og risikofyldt for de involverede medarbejdere, der blandt andet skal arbejde i højden – ved at kravle på konstruktionerne eller løftes op i en lift for at foretage inspektionen.

»Visionen er, at vi kan anvende droner kombineret med AI- og 3D-teknologi til at afløse den menneskelige inspekti-

Jesper Smit (t.v.) og Pjort Kat fra Quali Drone. Udstyret er her en DJI Matrice 30-drone.





on. Det handler om at identificere fejl, skader, mangler og forkert monterede komponenter på en automatiseret måde af høj kvalitet, der på sigt kan blive en ny industristandard,« siger Jesper Smit.

### 3D CAD-model som reference

Som led i Quali Drone-projektet er der udviklet en løsning, så man kan programmere en automatiseret flyverute for

dronen rundt om den struktur, der skal inspiceres eller opmåles.

»I princippet trykker man på Play, og så flyver dronen en prædefineret rute rundt om den pågældende Transition Piece, der skal undersøges. Billederne fra inspektionen bliver sendt online til vores AI-løsning, der analyserer og sammenligner dem med 3D-reference universet – altså den digitale tvilling – så man på den måde kan identificere fejl og ▶







## Qualidrone

**Støttebeløb:** 6,2 millioner kroner fra EU's  
Regionalfond og EUDP.

**Egenfinansiering:** 4,8 millioner kroner.

**Projektbudget:** 11,0 millioner kroner.





Pjort Kat, softwareingeniør, Quali Drone, med 3D-gengivelse af Transition Piece på skærmen.

mangler og andre afvigelse fra en fejlfri konstruktion,« siger Jesper Smit.

Selve AI-løsningen til inspektionsdronerne er udviklet af Desupervised, som har mange års erfaring med anvendelse af kunstig intelligens til forskellige kommercielle formål.

»Vi tilbyder løsninger baseret på 'machine learning' til beslutnings-støttesystemer såsom billedanalyse eller forskellige former for forecasts. I dette projekt har vi lavet en løsning, der kan identificere fejl i form af ridser og buler på TP'erne ved hjælp af billedanalyse,« siger Jens Skoustrup-Jacobsen, medejer af Desupervised.

Med teknologien kan man også følge udviklingen af fejl over tid, for eksempel en revne, for at se om fejlen udvikler sig. Dermed bidrager droneinspektionerne til en beslutning om, hvornår man skal gribe ind med reparation.

Som reference har AI-løsningen en 3D CAD-model af TP'erne. Udviklingen af 3D-scanningsværktøjet er sket hos Zebicon, en tredje partner i projektet, der har tyve års erfaring med industriel måleteknik, 3D-scanning og -opmåling.

»Der bliver lavet en 3D CAD-model af hver 'transition piece', som danner udgangspunkt for både den automatiske flyverute, som dronen foretager, og for den AI-analyse af de billeder, som dronen tager. Ved at sammenligne 3D-modellen og dronebillederne af den nyproducerede TP kan man registrere eventuelle afvigelser i form af skader, fejl og mangler. Det er tre teknologier – droner, AI og 3D-scanning – som skal spille sammen, og det er vel projektets vigtigste resultat, at vi nu har vist, at det kan lade sig gøre at lave gode, sikre, automatiserede AI-baserede droneinspektioner« siger Jeppe Hebsgaard Laursen, direktør, Zebicon.

### Proof of Product

Projektdelegerne vurderer, at der ved projektets afslutning ved udgan- ►







Jesper Smit med en DJI Matrice 300-drone med et Zenmuse H20T kamera (hybridkamera med termisk kamera, 'almindeligt' RGB-kamera, samt laserafstandsmåler) under – og ovenpå er der et Zenmuse P1 kamera.

gen af 2022 er leveret 'Proof of Product': Droner har været i luften og fundet fejl på TP'ere ved hjælp af AI og 3D-scanningsværktøjer.

Ved at anvende droner til inspektion og kvalitetskontrol vil der kunne spares tid på opgaverne. Der vil være færre risici forbundet med opgaverne for de berørte medarbejdere. Derudover vil man opnå en større sikkerhed i sine inspektioner og opmålinger med bedre og flere data – og dermed dokumentation af højere kvalitet.

»På nuværende tidspunkt kan vi ikke dokumentere, at der er store økonomiske gevinster at hente ved at anvende droner til inspektioner. På sigt bliver det måske billigere, når teknologierne er blevet endnu mere modne, men her og nu er det nogle

andre gevinster, man kan opnå. Først og fremmest opnås bedre, mere sikker fejlfinding, højere kvalitet af data og dermed dokumentation i sine inspektioner – foruden mindre tidsforbrug og færre risici for medarbejdere. Disse fordele er forhåbentlig nok til, at industrien vil begynde at bruge droner til sine inspektioner,« siger Jesper Smit.

Men der er en gevinst alene ved, at man ikke skal have folk til at arbejde så meget i højden under inspektioner.

»Hvis man oveni den øgede sikkerhed ser på mængden af information, man får for samme pris, og på kvaliteten af denne information, så vil det allerede nu kunne betale sig at anvende droner sammenlignet med udgiften til en manuel inspektion,« siger Jeppe Hebsgaard Laursen.

### Uventede udfordringer

Projektet har også budt på uventede udfordringer.

»Den største overraskelse har for mig været, at vi ikke uden videre har kunnet anvende de kommercielle droneløsninger, der er på markedet i dag – men har måttet tilpasse og modificere de tekniske løsninger, herunder kamera og linser, så vi kunne få tilstrækkelig høj kvalitet i blandt andet vores billedokumentation. Det har krævet mere arbejde og innovation, end vi forventede. Omvendt er det en fordel i forhold til eventuelle konkurrenter, når man har løst problemerne, fordi vi nu ved, at det ikke bliver så let for dem at lave løsninger, der er lige så gode,« siger Jens Skoustrup-Jacobsen.

Der har også været krav om at kunne håndtere høj kompleksitet i projektet.

»At få de forskellige teknologier til at spille sammen og opnå et homogent output i en rapport, som kunden kan forstå og bruge, det har været en større opgave end forventet,« siger Jesper Smit.

Nu skal 'Proof of Product'-løsningen fra Quali Drone-projektet ud og stå sin prøve i virkeligheden.

»En ting er, at vi nu har skabt et operationelt flow, der hænger sammen. Noget andet er den kultur, man skal implementere de nye løsninger i. De nye løsninger skal vise, hvad de er

## Deltagere i Quali Drone-projektet

### Problemejer

- Bladt Industries A/S

### Problemløsere

- Quali Drone ApS
- Zebicon A/S
- Desupervised ApS
- DTU Vind Energi

### Projektledelse

- Energy Cluster Denmark



værd over tid. Virksomhederne skal have lov at gøre deres egne erfaringer. Det kan godt være, at vi kommer og siger, at den nye digitale droneløsning giver højere træfsikkerhed end manuelle observationer, bedre homogenitet i fejlbeskrivelser og reduktion i forstyr-

Teddy Jensen, projektdeltager, Zebicon, betjener en ATOS Q 3D-scanner, som er et af de værktøjer, der har indgået i Quali Drone-projektet.

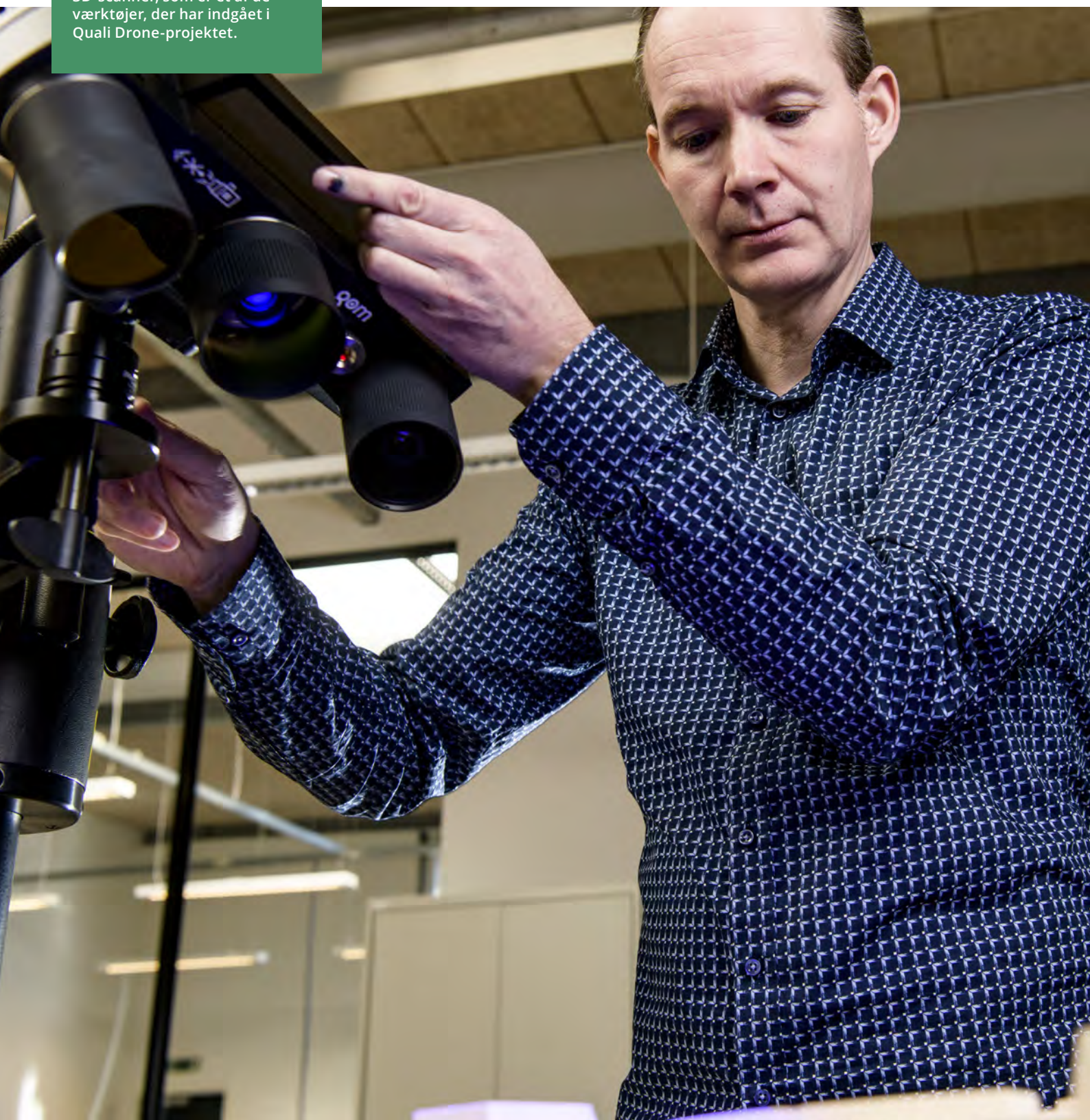
rende elementer såsom vejr og lysforhold, når man bruger vores løsning. Men det skal virksomhederne jo opleve selv, før de for alvor tager den nye teknologi til sig og overvejer, om den skal afløse den menneskelige inspektion,« siger Jeppe Hebsgaard Laursen.

#### Endnu større strukturer

På sigt forventer Zebicon også, at droner kan blive lige så gode som menne-

sker til at foretage meget præcis opmåling og dimensionskontrol.


»I dag foretages opmålinger ned til 5/100 af en millimeters præcision – i daglig tale 0,05 mm – når det er mennesker, der måler, men vi flytter stille og roligt kommaet med droner. I dag måler dronerne med millimeters præcision, og næste skridt er tiendedele millimeter. Når det bliver godt nok til kommercielle kundekrav, kan vi også





automatisere opmåling og dimensionskontrol med droner inden for de nærmeste år,« siger Jeppe Hebsgaard Laursen.

I vindmøllebranchen vil fremtiden byde på endnu større møller end i dag.

»Dimensionerne vokser bare, når vi kigger på udviklingen af vindmøller. Vi ser frem mod dimensioner, som man aldrig har bygget møller i før. Hvad sker der med så store komponenter, når man skal flytte rundt på dem? Det ved ingen i dag. Her ser vi et oplagt marked for automatiserede droneinspektioner, der udnytter intelligente, digitale værktøjer med alle de fordele, det indebærer,« siger Jesper Smit. 



## Quali Drone

Projektet udvikler en dronebaseret inspektionsløsning med digital dokumentation, der kan genkende og kategorisere skader på store mekaniske og industrielle strukturer og komponenter.

- Som led i projektet udvikles software til autonom droneflyvning på industrielle strukturer og AI-software til at detektere og kategorisere overfladeskader og foretage opmåling af industrielle strukturer.
- Med digital tvilling-teknologi muliggøres digitalisering af inspektions-processerne og dokumentation, som hidtil er udført manuelt.
- Inspektion af offshore vindmølle fundamenter med fokus på overfladen og flanger på 'transition pieces' (TP'er) er casen i projektet.
- Bladt Industries står – som første kommercielle bruger – klar til at bruge systemet efter projektets udløb.
- Målet er at forbedre produktionstiden på TP'erne, sikkerheden for medarbejderne og at nedbringe omkostningerne til inspektion som et væsentlig bidrag til at drive omkostningerne ned på offshore vindenergi.
- Markedet for inspektion af TP'er vil stige med mere end 25 procent i offshore vindindustrien.
- Droneinspektion kan også udbredes til inspektion af f.eks. solcelleparker, byggepladser, bygninger og infrastruktur, broer, veje og togskiner.
- Projektet er støttet af EUDP og blev afsluttet ved udgangen af 2022.





PM2100 Trykluftrenser  
21m³/min  
98% Reduktion af salt & vand  
Dugpunkt -40°C

PM51108

TAG LINE  
ONLY

www.pm.dk

HDBE-A-1305

PMO

LUKKES UNDER DRIFT

En af projektdeltagerne i SCAVOP var Mouritsen A/S, der er specialister i løsninger til offshore og energi, overfladebehandling og væskehåndtering.



01405

McW



**Optimeret  
offshore reduktion  
af svovlbrinte**



**Med olie og gas fra undergrunden følger svovlbrente - H<sub>2</sub>S - som er antændelig, giftig og korrosiv og derfor renses ud inden eksport til land. SCAVOP-projektet har undersøgt mulighederne for optimeret H<sub>2</sub>S-reduktion.**

**N**år olie og gas pumpes op fra undergrunden, følger svovlbrente naturligt med. Men svovlbrenten er ætsende, korroderende, antændelig og giftig og skal derfor fjernes fra gassen.

Indholdet af svovlbrente skal ned på 3-5 ppm, før gassen kan eksporteres fra produktionsplatformen. Derfor til-



MPRESSOR

52 c

en.



### Scavop

**Støttebeløb:** 6,1 millioner kroner fra EUDP

**Egenfinansiering:** 1,0 millioner kroner

**Projektbudget:** 7,1 millioner kroner

ZONE 2



sættes gassen såkaldte H<sub>2</sub>S-scavengers – ofte i form af basisk MEA Triazin – når den er pumpet op fra undergrunden, men inden den sendes videre i land.

For at sikre sig, at man kan holde de nødvendige grænseværdier for svovlbrinte, tilsættes betydeligt mere MEA Triazin, end det rent kemisk er nød-

vendigt. Dette medfører unødvendige udgifter og øget miljøpåvirkning, hvis det dannede spildevand, kaldet spent scavenger, med det overskydende MEA Triazin og reaktionsprodukter ikke kan ledes tilbage til undergrunden

men må udledes til havet efter rensprocessen.

»En produktionsplatform er som udgangspunkt ikke primært designet til at bekæmpe svovlbrinte – men til olie- og gasproduktion i stor skala, hvor gassen strømmer af sted med typisk 10 m/s. Bekæmpelse af svovlbrinteindholdet i olie, gas og vand må derfor i ▶

Maskinmester Martin Bæk ved de kompressorer, der blev anvendt i pilotanlægget til SCAVOP-projektet.







Injektion af NaOH – Natrium Hydroxid  
- i gennemsigtigt akrylrør i pilotanlæg  
hos Mouritsen som led i SCAVOP-projektet.





høj grad tilpasse sig de øvrige produktionsforhold. Men samtidig bruger man store ressourcer på H<sub>2</sub>S-scavengers, hvor MEA Triazin er det mest anvendte, og der kan være både økonomiske og miljømæssige gevinster ved at optimere processen for H<sub>2</sub>S-rensningen. De muligheder har vi undersøgt i SCAVOP-projektet,« siger Marco Maschietti, Ph.d. og lektor, Institut for

Kemi og Biovidenskab ved Aalborg Universitet.

### Svovlbrinte skal reduceres

Første led af oppumpningen fra undergrunden sker i en såkaldt multifasestrøm bestående af olie, gas og vand, og efter en separation løber gas og olie i hver sin strøm, mens vandet pumpes tilbage til havet efter en rens-

ning for olie på dråbeform. Svovlbrinten er til stede i både multifase- og gasstrømmen.

»Man fjerner svovlbrinte allerede i multistrømsfasen, men efter separationen af olie, gas og vand kan svovlbrinteniveauet stadig være for højt, og så tilsætter man yderligere MEA Triazin til gassen,« forklarer Marco Maschietti.

En vandig opløsning af MEA-triazin injiceres i gasstrømmen, hvor det reagerer med H<sub>2</sub>S, der absorberes i væskedråberne og bindes med rensmiddel i væskeform. Processen er dog ikke uproblematisk, idet forbruget af MEA Triazin ligger et godt stykke over det såkaldt støkiometriske krav, der er forholdet mellem reaktanterne i den kemiske reaktion. Rensningseffektiviteten varierer desuden meget i forskellige offshore installationer.

Årsagerne til disse forskelle er endnu ikke fuldt klarlagt. Hovedmålet med SCAVOP-projektet 'Scavenger Optimization' har været at udvikle en simuleringsmodel, der kan beskrive absorptions-reaktionsprocessen i gasfaseopfangning og forudsige procesresultatet. Dette afhænger af tryk, temperatur, størrelse på væskedråber og kontakttid mellem gas og dråber i røret.

### Overforbrug af scavenger-kemikalier

Scavenger-processen foregår i to trin: Den fysiske absorption af gassen i den vandige blanding med MEA Triazin, og den kemiske reaktion hvor svovlbrinten bliver til bundet til reaktionsprodukterne i vandfasen.

Hvis man kan øge kontaktfladen mellem gas og H<sub>2</sub>S-scavengeren, kan man øge hastigheden af absorptionen og dermed hele processen. For at øge kontaktfladen afprøvede man under projektet forskellige injektionsværktøjer såsom quills – åbne skråråbne injektionsrør – og forstøvere i en pilotopstilling.

Den udviklede SCAVOP-model indikerer, at et skift fra quills til forstøvere på offshore olie- og gasinstallationer potentielt kan reducere forbruget af MEA Triazin med op til 50 procent. Det er ikke unormalt, at der anvendes doser fra 12-80 kilo MEA Triazin for at

SCAVOP-pilotanlæg hos Mouritsen, fra venstre: Beholder for NaOH, unit til regulering af lufttryk, injektionspunkt, lufttank og fugtseparation, luftkompressor og 40 meter 4" rør. Højtrykkspumper er gemt bag lufttank.





»I vores flåde af udstyr har vi blandt andet kompressorer, luftbehandlingsanlæg, flowmålere, filtre, høj- og lavtrykspumper og beholdere, der bruges til pilotanlægget,« siger maskinmester Martin Bæk.

fjerne 1 kilo svovlbrinte, hvilket ligger væsentligt over det støkiometriske krav på 7 kilo MEA Triazin til fjernelse af 1 kilo svovlbrinte.

Dette meget varierende overforbrug viser, at procesdesignet ikke er optimalt, og det giver unødvendigt store udgifter til scavenger-kemikalier – og øger desuden miljøpåvirkningen, når vandet med kemikalierne lukkes ud i havet.

»Så der er både økonomiske og miljømæssige grunde til at reducere mængden af anvendt scavenger,« siger Marco Maschietti.

Et andet projektergebnit peger på, at forbruget af H<sub>2</sub>S-scavenger kan reduceres, hvis man øger såvel tryk som temperatur i processen. En forøgelse af procestemperaturen er fordelagtig med største gevinster på op til 140°C.

»Men andre hensyn i gasproduktionen kan betyde, at man ikke bare kan øge tryk og temperatur, fordi det er godt for scavenger-processen. Det er en sammenhængende proceskæde, og det overordnede systemdesign tager ikke primært hensyn til opgaven med at fjerne svovlbrinte,« siger Marco Maschietti.

### Pilotanlæg i Vejle

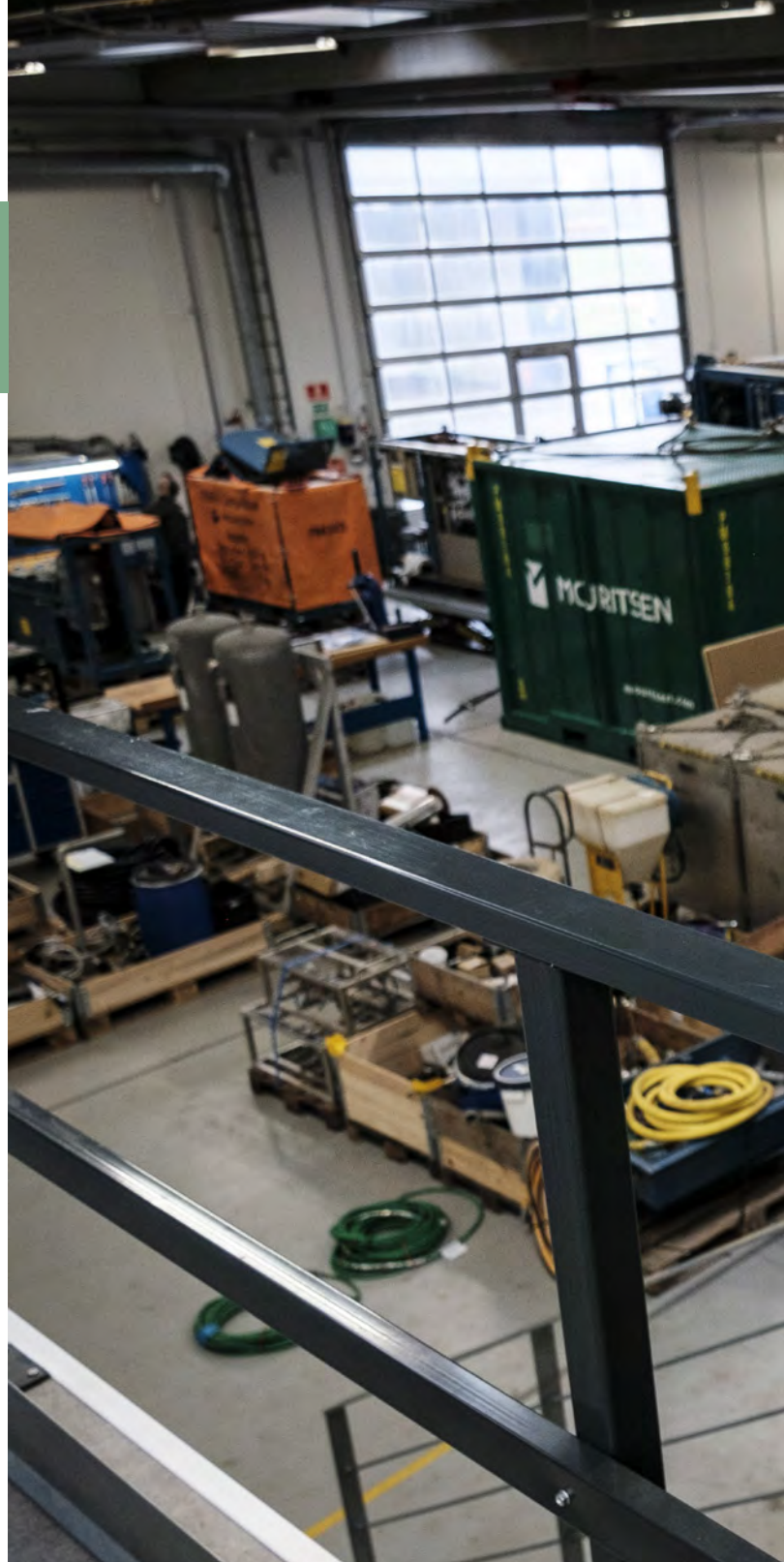
En af projektdeltagerne i SCAVOP har været Mouritsen A/S, der er specialister i løsninger til offshore og energi, overfladebehandling og væskehåndtering. Mouritsen tilbyder både rådgivning og udlejning af udstyr. Hos Mouritsen i Vejle etablerede man til SCAVOP-projektet et næsten 40 meter langt pilotanlæg til at teste forskellige injiceringsmetoder.

Af budgetmæssige årsager var det ikke muligt at etablere et anlæg med gas, H<sub>2</sub>S og MEA Triazin. I stedet har man anvendt CO<sub>2</sub> og natrium hydroxid – kaustisk soda – som kemiske reaktanter. I anlægget blev natriumhydroxid injiceret ind i en luftstrøm med tre forskellige injektorer – én type quill og to forskellige forstøvere. Herefter målte man på luftens CO<sub>2</sub>-indhold.

»Det har ikke været muligt at etablere et pilotanlæg, der kemisk var helt identisk med virkeligheden på en produktionsplatform, så opgaven har været at etablere et anlæg, hvor man med CO<sub>2</sub> og kaustisk soda kunne lave nogle sammenlignelige processer, som forskerne fra Aalborg Universitet har kunnet bruge til deres beregninger og modeller,« siger maskinmester Martin Bæk, Lead Engineer Offshore, Mouritsen.

Resultaterne fra SCAVOP peger på, at man med optimerede processer og injektionsmetoder kan halvere mængden af anvendt MEA Triazin i H<sub>2</sub>S-scavengerprocessen.

»Generelt overdoseres med MEA Triazin for at sikre, at man når ned på 3-5 ppm svovlbrinte i den eksporterede gas. Men stor overdosering er naturligvis udtryk for en proces, som man ikke styrer særligt præcist. Scavengerproces-



sen må underordne sig de øvrige produktionsbetingelser, og det giver et stort potentiale for optimering af processerne,« siger Martin Bæk.

Ud over at lægge faciliteter til pilotanlægget har Mouritsen A/S været med til at drive forsøgene sammen med Aalborg Universitet.

»I vores flåde af udstyr har vi blandt andet kompressorer, luftbehandlingsanlæg, flowmålere, filtre, høj- og lavtrykspumper og beholdere, der skulle bruges til pilotanlægget,« siger Martin Bæk og fortsætter:

»Som leverandører til offshore branchen er vi naturligvis altid interesseret i nye metoder og værktøjer, som kan hjæl- ▶





»Generelt overdoseres med MEA Triazin for at sikre, at man når ned på 3-5 ppm svovlbrinte i den eksporterede gas. Men stor overdosering er naturligvis udtryk for en proces, som man ikke styrer særlig præcist. Scavengerprocessen må underordne sig de øvrige produktionsbetingelser, og det giver et stort potentiale for optimering af processerne.«

Martin Bæk, Lead Engineer Offshore, Mouritsen.



pe industrien til at få en bedre forretning og gøre deres aktiviteter mere bæredygtige. Derfor er det oplagt, at vi deltager i et projekt som SCAVOP, der måske kan bidrage til at optimere vigtige processer hos vores kunder,« siger Martin Bæk.

### Hvem tager første skridt?

Nu er spørgsmålet så, om industrien ønsker at tage den nye viden fra SCAVOP til sig og anvende den i praksis for at optimere H<sub>2</sub>S-scavengerprocessen – og nedbringe forbruget af MEA Triazin.

»Forhåbentlig vil industrien afprøve nogle af vores anbefalinger i praksis, men det kræver, at man er villig til at tage visse risici, og det er normalt ikke noget, man bryder sig om i olie- og gasproduktion. Men konkret kunne man prøve at

anvende forstøvere – spray atomizers – i stedet for de quills, man aktuelt bruger til at injicere scavenger-kemikalierne ind i gasstrømmen. Vores resultater peger på, at der er et optimeringspotentiale på 20-50 procent øget effekt med forstøvere,« siger Marco Maschietti.

Hvis ikke industrien ønsker at afprøve disse værktøjer under selve gasproduktionen, kunne man i stedet forsøge at underbygge og præcisere optimeringspotentialet ved at etablere et pilotanlæg, som er mere 1:1 med virkelighedens anlæg og processer.

»I SCAVOP har vi været begrænset budgetmæssigt og kunne derfor ikke anvende naturgas med svovlbrinte og MEA Triazin. Men hvis man kunne tilvejebringe de nødvendige ressourcer, kunne man etablere et anlæg med samme






temperaturer, tryk og kemikalier, der anvendes i virkeligheden. Dette vil kræve store sikkerhedsforanstaltninger og mulighed for at komme af med det forurenede vand på en sikker måde. Men i så fald ville vi kunne komme endnu nærmere en optimeret proces for at rense svovlbrinten ud af gassen – og på den måde gøre industrien mere tryk ved selv at ændre deres processer,« siger Marco Maschiatti.

I andre projekter forskes der i øvrigt sideløbende i yderligere metoder til at gøre scavenger-processen mere grøn og bæredygtig.

»Med støtte fra Danish Offshore Technology Center prøver vi sammen med kollegaer fra Institut for Kemi på Københavns Universitet at finde grønne alternativer til MEA Triazin, som udgør en stor udgift og belaster miljøet. Vi kigger også

på, hvordan man kan behandle spildevandet fra processen, så man minimerer miljøbelastningen. Det er dyrt og vanskeligt at implementere procesændringer offshore, og der skal foreligge et stort dokumentationsgrundlag, før nye processer overvejes. Olie-gassektoren kigger dog hele tiden aktivt på muligheder for at reducere produktionsomkostninger og miljøpåvirkninger, og vi har som forskere brug for deres engagement, hvis de nye metoder og processer skal videre fra laboratorierne til virkelig brug. SCAVOP peger på, at der potentielt er store gevinster at hente ved relativt små ændringer i scavengerprocesserne,« siger Marco Maschiatti. 

## SCAVOP-optimeret reduktion af svovlbrinte

Projektet SCAVenger OPTimization (SCAVOP) havde til formål at finde nye anbefalinger for anvendelsen af H<sub>2</sub>S-scavenger, som reducerer indholdet af svovlbrinte, der forekommer naturligt i gas og olie fra undergrunden.

Ved at reducere forbruget af scavengerkemikalier kan både omkostninger og miljøpåvirkninger reduceres i olie- og gasindustrien.

SCAVOP udviklede en simulationsmodel for, hvordan operatører i olie- og gasindustrien kan optimere tilsætningen af H<sub>2</sub>S-scavenger.

Modellen giver et præcist billede af, hvordan H<sub>2</sub>S-scavenger bliver optaget i gas fra undergrunden, når den pumpes op.

### Problemejere

- Crossbridge Energy A/S
- TotalEnergies Danmark A/S

### Problemløsere

- Aalborg Universitet
- Rambøll Danmark A/S
- Mouritsen A/S

Projektledelse: Energy Cluster Denmark



Maskinmester Martin Bæk er Lead Engineer Offshore Energy hos Mouritsen A/S i Vejle, der har været partner i SCAVOP-projektet, som har prøvet at optimere scavengerprocesserne, der skal rense svovlbrinte ud af naturgassen, inden den pumpes i land.





I fremtiden forventes stigende mængder af udtjente vindmøllevinger at skulle genanvendes, og det skal ske bæredygtigt.



# Genanvendelse af møllevinger skal gøres bæredygtig

Det har hidtil ikke været muligt at etablere en bæredygtig forretningsmodel for genanvendelse af møllevingernes kompositmateriale. Den udfordring skal DecomBlades-projektet nu forsøge at løse.





Rengjorte fibre som resultat af pyrolyseprocessen hos Makeen Energy.





**V**indenergi er en bærende kraft i omstillingen til en bæredygtig fremtid. Men når vindmøller tages ud af drift, skal de ideelt set fortsætte i et bæredygtigt kredsløb, hvor de udtjente komponenter indgår som råmateriale eller ressource i nye produkter og processer.

I dag genudnyttes 85-90 procent af pensionerede vindmøller – ikke mindst i kraft af de metaller, der indgår i mølletårne og naceller.

Hidtil har det ikke været muligt at etablere bæredygtige forretningsmodeller for møllevingerne, der består af kompositmaterialer – heriblandt glasfiber. Disse sidste 10-15 procent af møllevingerne skal også udnyttes på en bæredygtig måde, for at de anvendte materialer kan indgå i en naturlig livscyklus, og man kan undgå, at vindmøllevinger ender som deponi.

DecomBlades-projektet – et Grand Solution forskningsprojekt støttet af Innovationsfonden – er i gang med at undersøge, hvordan der kan etableres bæredygtige værdikæder og forretningsmodeller for udtjente vindmøllevinger. Det sker med deltagelse af både mølleproducenter, mølleejere, teknologiudviklere og universiteter.

»Baggrunden for DecomBlades er industriens ønske om at skabe en bæredygtig dekommissionering af møllevingerne. Størstedelen af møllevingerne består af stål, aluminium og kobber, og der er veletablerede værdikæder for disse metaller i forhold til genanvendelse. Men møllevinger er lavet af kompositmaterialer – glasfiber, kulfiber, resin, lim, maling foruden forskellige metaller, skum og træ – som er støbt sammen og derfor svære at skille ad. Hidtil har man enten sendt dem til forbrænding eller deponi, men vi arbejder på, at vingerne kommer ind i en bæredygtig værdikæde,«

Råmateriale fra neddelte møllevinger, der anvendes i pyrolyseproces hos Makeen Energy som led i DecomBlades-projektet.

siger Erik Skov Madsen, lektor, ph.d., Institut for Teknologi og Innovation, SDU, men oprindelig uddannet maskinmester.

SDU skal – som led i DecomBlades – udfærdige miljømæssige og økonomiske vurderinger af de forskellige forsyningskæder. Derudover skal der anvendes en vurderingsramme baseret på værdikædeanalyse, livscyklusanalyse, materialestrømningsanalyse og multikriterie beslutningsupport.

### Stigende mængder af brugte møllevinger

På verdensplan er anslået 2,5 millioner tons kompositmaterialer aktuelt i brug i vindmøller, og forventningen er, at man i de kommende år vil se stigende mængder dekommissionerede møllevinger. Der er estimeret en øget mængde udtjente møllevinger, som ifølge et grundigt studie udgør 225.000 tons per år i verden i 2034 – og 100.000 tons per år i Europa.

»Opgaven er at få skabt nogle forretningsmodeller, som både klimamæssigt, miljømæssigt og kommercielt er bæredygtige. Samtidig skal der ske en opskalering, så man kan håndtere de stigende mængder kompositmaterialer, der vil skulle bearbejdes,« siger Irene Bach Velling Villadsen, projektleder, MAKEEN Energy's EnviroTech-division.

Pyrolyse er én af de tre teknologier, som der arbejdes med i DecomBlades. De to andre er mekanisk neddeling og cement co-processing. MAKEEN EnviroTech har til projektet designet og bygget et pilotpyrolyseanlæg til processering af vingematerialer.

»De tre metoder er udvalgt som de mest modne og derfor de metoder, hvor der er størst chance for succes,« siger Irene Bach Velling Villadsen.

Den mekaniske neddeling består af flere processer: 1. Opskæring af vingen på site til stykker, der kan transporteres væk i en container. 2. Eventuel opskæring i mindre stykker, der kan gå i shredder. 3. Shredding af materialet til videre anvendelse i enten cement co-processing eller pyrolyse.

I cement co-processing granuleres kompositmaterialet og indføres som et brændsel, hvor resin-delen brændes væk. Glasfibre vil derefter indgå i



klinker-reaktionerne i dannelsen af ny cement.

Pyrolysen – som er en opvarmningsproces uden tilstedeværelse af ilt – skal afprøves som en metode til at adskille kompositmaterialer under høje temperaturer, og resultatet bliver forskellige produkter: Glasfiber, gas og en væske bestående af byggesten til kemiske komponenter.

»En udfordring er, at det kompositmateriale, vi kommer ind i pyrolyseprocessen, varierer meget i sammensætning og kvalitet. Men målet er, at vi med pyrolyse bliver i stand til at omdanne kompositmaterialerne til forskellige produkter, som kan bruges til at lave nye møllevinger – eller anvendes i den petrokemiske industri eller andre nye produkter eller processer. Altså at skabe en ægte bæredygtig livscyklus,« siger Irene Bach Velling Villadsen.

### Pyrolyse til forædling af vinger

Hos MAKEEN Energy har man allerede gode proceserfaringer med at udvinde olie fra plastaffald, og nu ser man et nyt marked for at forædle kompositmaterialerne fra møllevinger. Hvis det lykkes, vil det være første gang, for der eksisterer ikke i dag kommercielle værdikæder, hvor møllevinger genanvendes bæredygtigt.

»Ved tidligere projekter har man undersøgt mulighederne for at skabe en bæredygtig dekommissionering af møllevinger, men ingen er kommet helt i mål endnu med løsninger til at genanvende alle vindmøllevingens materialer. Det håber vi nu at gøre i DecomBlades. Når man ser på hvilke partnere, der er med i projektet, er det oplagt, at mølleproducenterne, deres kunder og branchens øvrige leverandører ønsker at finde løsninger. Det er jo konkurrenter, som er gået sammen i projektet, og det viser, at branchen er klar over, at det bliver nødvendigt at etablere bæredygtige processer for de udtjente vindmøller,« siger Irene Bach Velling Villadsen.

Når MAKEEN Energy lykkes med at få pyrolyseprocessen til at fungere efter hensigten – og skabe nye produkter af tilstrækkelig værdi – kan det blive starten på et nyt forretningsområde.

»Foreløbig har vi bygget et testanlæg, men processerne skal kunne skaleres op for at blive en levedygtig forretning. Vi ser et marked for pyrolyseanlæg ikke bare i Danmark men også i andre europæiske lande – ja, endda hele verden, efterhån-

Skueglas viser væske fra pyrolyseproces.

## Decom Blades

**Støttebeløb:** 22,8 millioner kroner fra Innovationsfonden.

**Egenfinansiering:** 17,5 millioner kroner.

**Projektbudget:** 40,3 millioner kroner.







## DecomBlades

Projektet har til formål at skabe funktionelle og bæredygtige værdikæder til håndtering af udtjente vindmøllevinger nationalt og internationalt.

Tilsammen repræsenterer projektpartnerne hele den værdikæde, der kræves for at etablere en genanvendelsesindustri for kompositmaterialer – hele vejen fra levering til forarbejdning og til implementering.

Projektet er støttet af Innovationsfonden under Grand Solutions-programmet.

**Projektdeltagere:** Vestas, Siemens Gamesa, LM Wind Power, HJHansen Recycling Group, MAKEEN Energy, FLSchmidt, SDU, DTU, Energy Cluster Denmark.

**Projektledelse:** Ørsted

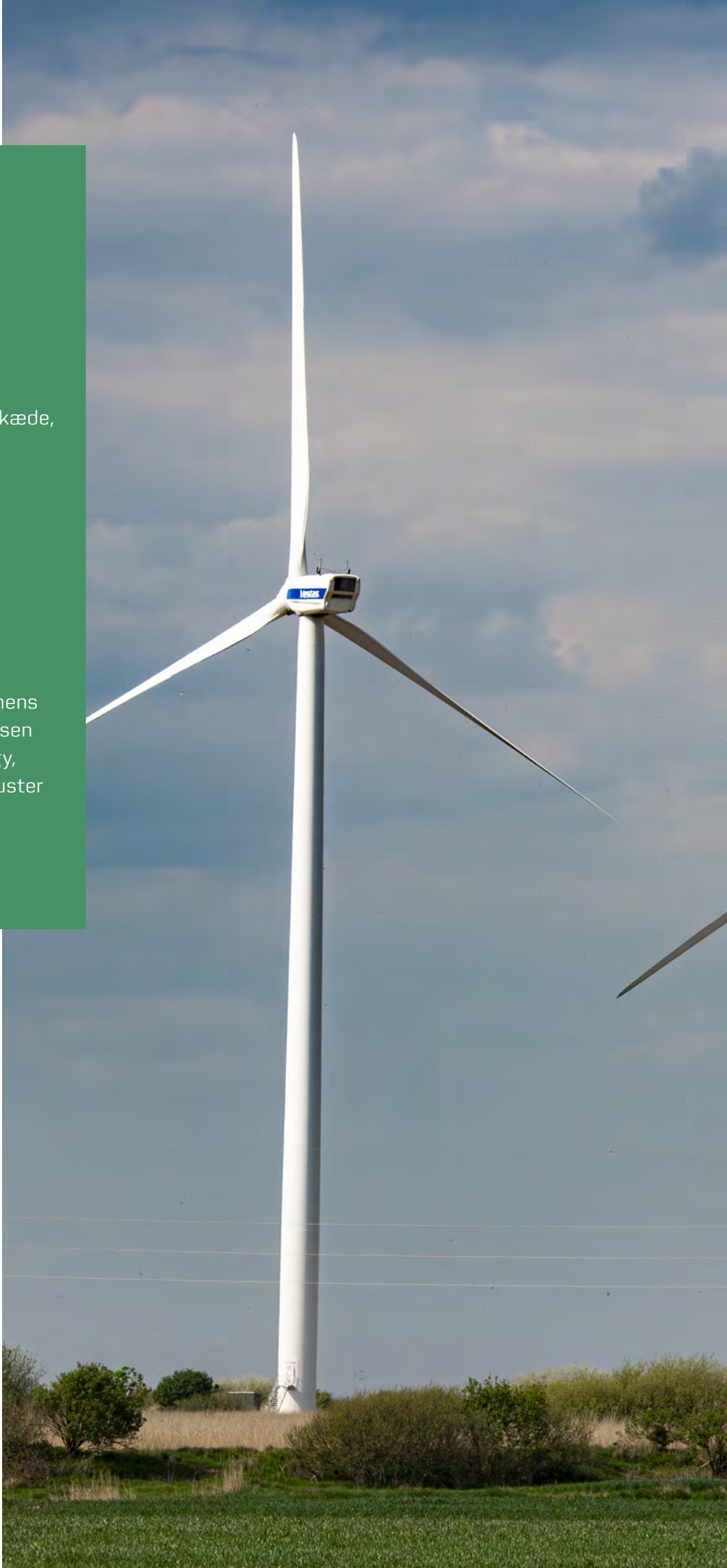
**Projektperiode:** 2021-2023

den som vindmøllerne når End of Life,« siger Irene Bach Velling Villadsen.

### Forskellige vingeopskrifter

Til DecomBlades-projektet er udarbejdet et såkaldt Blade Material Passport, som er en beskrivelse af hvilke materialer, der indgår i forskellige typer møllevinger.

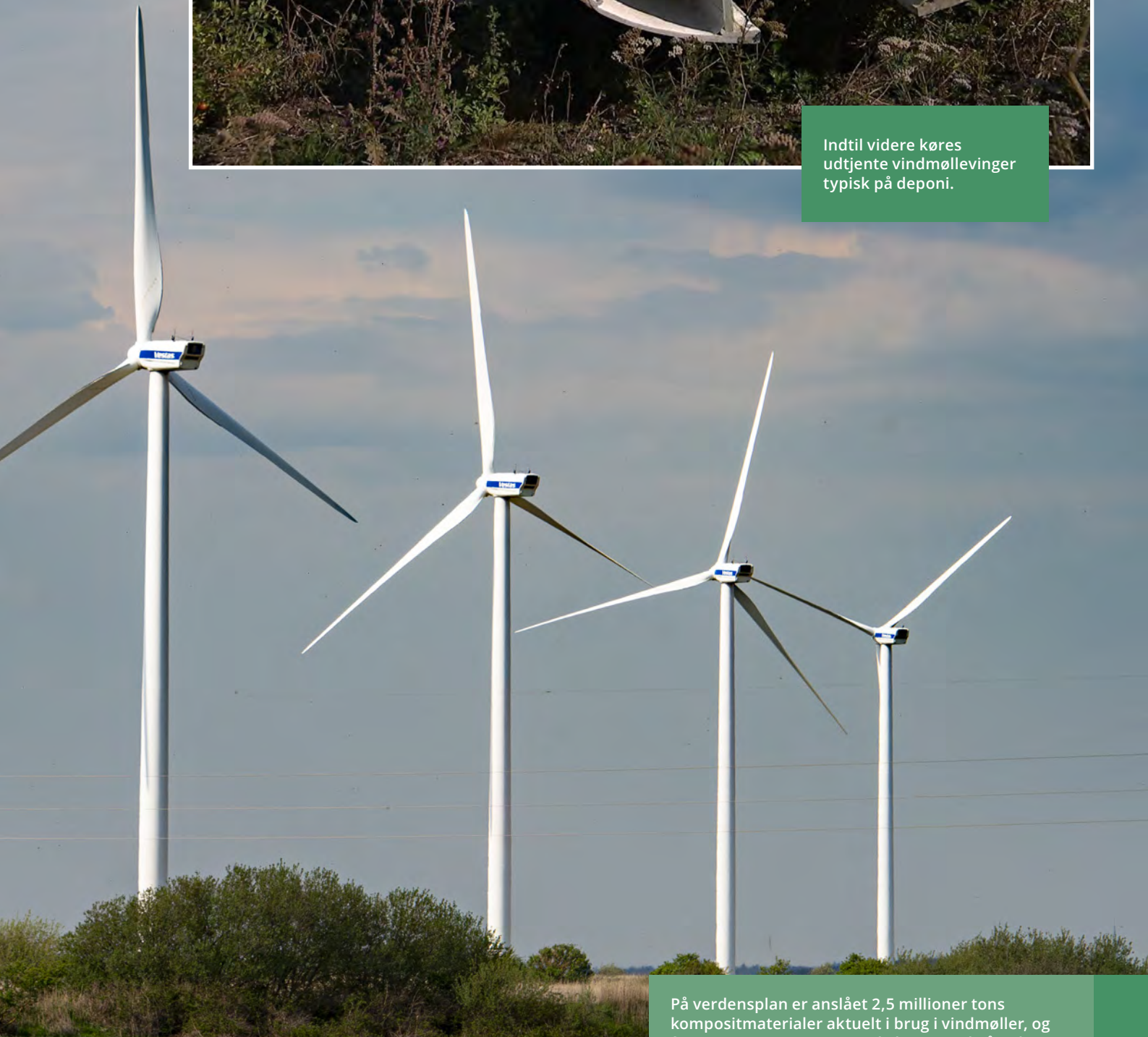
»Mølleproducenterne har hver deres opskrift på møllevinger. Opskrifterne hos producenterne har desuden ændret sig over tid. Så vi står i dag med mange forskellige sammensætninger af materialer i møllevinger, og det skal man kunne håndtere, hvis man skal skabe en kommerciel forretning. Men endnu ved vi ikke, hvor meget af udviklingen, der vil blive drevet af markedet selv, og i hvilket omfang der kan kom- ►







Indtil videre køres udtjente vindmøllevinger typisk på deponi.



På verdensplan er anslået 2,5 millioner tons kompositmaterialer aktuelt i brug i vindmøller, og forventningen er, at man i de kommende år vil se stigende mængder dekommissionerede møllevinger.



**»Opgaven er at få skabt nogle forretningsmodeller, som både klimamæssigt, miljømæssigt og kommercielt er bæredygtige. Samtidig skal der ske en opskalering, så man kan håndtere de stigende mængder kompositmaterialer, der vil skulle bearbejdes.«**

Irene Bach Velling Villadsen, projektleder,  
MAKEEN Energy's EnviroTech-division.

me politiske krav. Tidligere forsøg på at bruge pyrolyse til at genanvende møllevinger strandede på, at bæredygtighed ikke havde et særligt stort fokus, og finansiering til udvikling derfor var svær at skaffe. Dette kombineret med, at nye glasfibre er billige i indkøb,« siger Irene Bach Velling Villadsen.


Så omkostningen ved at dekommissionere vindmøllerne skal måske være en del af møllernes anskaffelsespris?

»Når man kigger på sin vandregning, kan man se, at bortskaffelse og





rensning af vand er langt dyrere end leveringen. Måske er det også perspektivet, når det gælder den fremtidige dekommissionering af vindmøller. Man bliver nok nødt til at gøre dekommissionering af møllerne til en økonomisk bæredygtig forretning, hvis man vil skabe et marked for at aftage og forædle møllevingerne til ny anvendelse. Alternativet er, at man fortsætter som nu med deponi og forbrænding. Men vil man blive ved med at acceptere dette politisk? Vi ser i øjeblikket, at der – blandt andet i Tyskland – stilles krav om at indsætte et depositum eller pant i form

af en procentdel af anlægsudgifterne til den endelige dekommissionering og bortskaffelse. Målet er, at mølleproducenterne begynder at tænke dekommissionering af alle møllekomponenter ind helt fra design af møllerne og valg af materialer – og dermed tænke videre til de værdikæder, som skal gøre det attraktivt for samarbejdspartnere at aftage møllekomponenterne og sende dem videre i et bæredygtigt kredsløb. Samtidig kan kunderne, som køber møllerne, jo også begynde at stille krav til producenterne. Branchen arbejder selv på at finde nogle løsninger, inden der kommer politiske krav. Det er nok i høj grad på den baggrund, man skal se DecomBlades-projektet,« siger Erik Skov Madsen. 

Teknikere overvåger pyrolyseproces i kontrolrummet hos Makeen Energy.








**Grøn metanol leverer  
overskudsvarme til  
Aabenraa**





Byggeplads for det kommende PtX-anlæg ved Kassø i forgrunden - i baggrunden den 300 MW store solcellepark, der skal levere grøn strøm til PtX-processerne.

**Den kommende produktion af grøn metanol i Kassø bliver det første kommercielle samarbejde i stor skala, hvor overskudsvarme fra PtX udnyttes i fjernvarmen – og demonstrerer sektorkobling i praksis.**



**S**nart skal de store visioner om PtX stå deres prøve i virkeligheden – nemlig når European Energy i 2024 påbegynder sin produktion af grøn metanol i Kassø.

Det sker på et nyetableret anlæg, som på flere måder kan sætte milepæle i produktionen af grønne brændstoffer på basis af grøn strøm. Men det kommende PtX-anlæg i Kassø bliver ikke alene det første af sin slags i Danmark – og indtil videre det største i verden – men også det første eksempel på, at overskudsvarme fra PtX-processer udnyttes i stor skala i fjernvarme.

»Vi er first movers, når det gælder nye grønne energiløsninger og står af samme grund for hele værdikæden. Der eksisterer ikke løsninger, vi kan gå ud og købe. Vi, i European Energy, må i høj grad udvikle dem fra bunden, som vi også har gjort med PtX-projektet i Kassø, hvor vi eksempelvis selv har udviklet metanol-synteseprocessen,« siger Lars Dyrholm, Senior Manager, European Energy, med ansvar for drift og vedligehold af PtX-anlæg.

Han har en baggrund som dual-skibsofficer – uddannet fra SIMAC – og har tidligere sejlet for Maersk som henholdsvis maskinmester og navigatør. Siden har han arbejdet for Maersk Drilling og Seaborg Technologies, inden han kom til European Energy i 2022.

»Hidtil er metanol primært fremstillet på basis af naturgas, men i fremtiden er visionen, at produktionen udelukkende kommer til at bestå af bæredygtige energikilder: Grøn strøm fra vedvarende energikilder, der muliggør produktion af grøn brint ved elektrolyse samt anvendelse af biogen CO<sub>2</sub> fra biogasproduktion, som det bliver tilfældet på anlægget i Kassø,« fortæller Lars Dyrholm.

### Største af sin slags

PtX-anlægget i Kassø bliver indtil videre det største af sin slags i verden til ▶

Sune Mortensen og Lars Dyrholm på Kassø PtX site. I baggrunden ses Main Switchgear og byggestrøms-el-tavle.



## Grøn Metanol Kassø

**Støttebeløb:** 18,8 millioner kroner fra EU's Regionalfond og Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse gennem Erhvervsfyrntårn Syd.

**Egenfinansiering:** 25,5 millioner kroner.

**Projektbudget:** 44,3 millioner kroner.







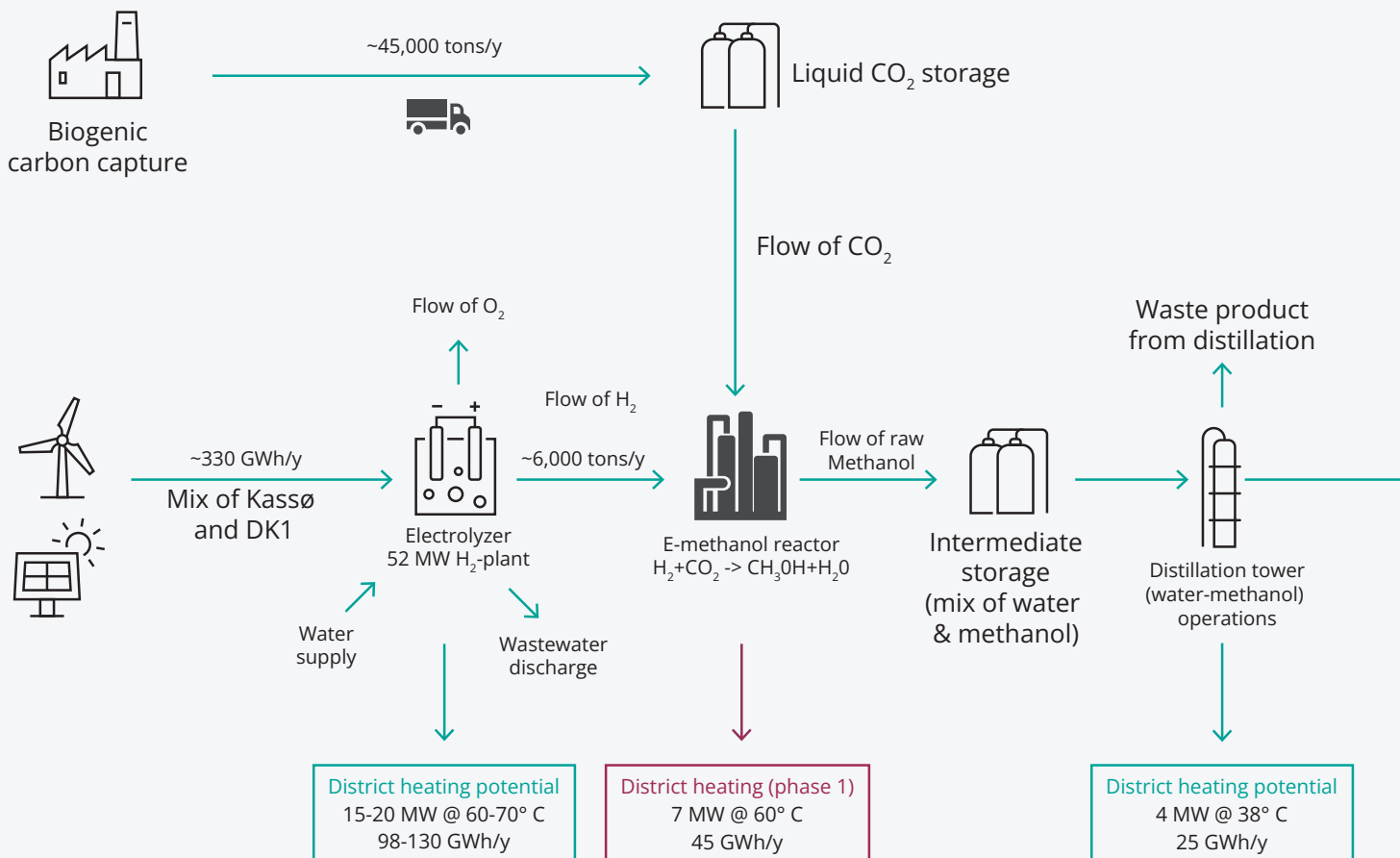
## European Energy

- Udvikling, etablering og drift af anlæg til produktion af grøn energi – herunder vind, sol og PtX,
- Projekter i Europa, USA, Sydamerika og Australien.
- Nye projekter med en samlet effekt på 60 GW (2023)
- 650 medarbejdere (2023).
- 438 mio. euro i omsætning (2022).

produktion af grøn metanol: Strømmen kommer fra solceller, og CO<sub>2</sub> kommer fra produktionen hos Tønder Biogas.

»Der er etableret 300 MW solcellekapacitet, hvilket dækker det årlige strømforbrug på anlægget til produktionen af grøn metanol. Den anvendte CO<sub>2</sub> er biogen, da den er et restprodukt fra biogasproduktion. Derved er

## Kassø PtX Process Overview





betingelserne for grøn metanol er opfyldt, og med leverancen af overskudsvarme til fjernvarmenettet forventer vi at få en samlet negativ CO<sub>2</sub>-udledning, da overskudsvarmen fra anlægget erstatter CO<sub>2</sub> i fjernvarmen,« siger Lars Dyrholm.

Nogle af Danmarks største virksomheder viser allerede stor interesse for den grønne metanol, der har en ren-

hed på over 99,85 procent. A.P. Møller Maersk skal bruge grøn metanol som brændstof til deres nye containerskibe, og LEGO-koncernen og Novo Nordisk ønsker at bruge grøn metanol i deres plastic.

»Metanol ser ud til at blive et af de første grønne brændstoffer, som bliver klar i stor skala, og nu skal der etableres en infrastruktur til transport

og bunkring til for eksempel Maersks nye metanol-drevne skibe. Vi forventer, at leverancen begynder i første kvartal 2024,« siger Lars Dyrholm.

### Fyrtårnsprojekt

For at kunne levere overskudsvarme til det lokale fjernvarmenet er der etableret varmepumper med en samlet kapacitet på 8,2 MW. Desuden er der etableret en tre km lang transmissionsledning til nabolandsbyen Hjordkær, hvorfra varmen kan distribueres videre til det lokale fjernvarmenet. Overskudsvarmen fra metanolproduktion i Kassø svarer til 3.300 husstandes varmekonsum.

Koblingen af metanolproduktion og fjernvarme er blevet muligt i kraft af Fyrtårnsprojektet 'Udnyttelse af overskudsvarme på PtX-anlæg ved Kassø' – med deltagelse af European Energy, Aabenraa Fjernvarme, Aalborg Universitet og Syddansk Universitet – og et budget på 43 mio. kroner, som blandt andet har hjulpet til at finansiere varmepumper, transmissionsledning og pumpestationer.

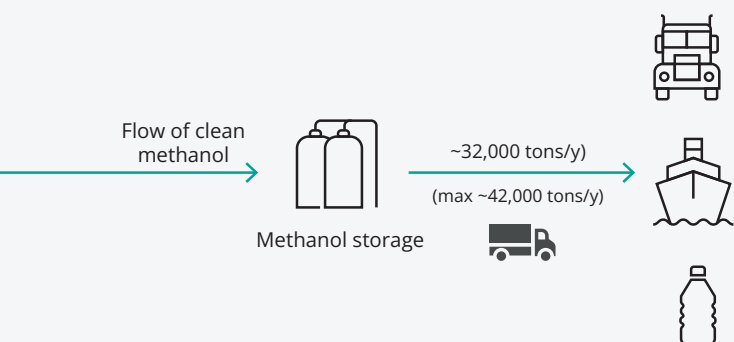
»Ud over vores overskudsvarme fra metanolproduktionen er ledningen dimensioneret, så den kan transportere mere overskudsvarme, hvis der for eksempel placeres datacentre i området, som også kan levere overskudsvarme,« siger Lars Dyrholm.

Forventningen er, at metanolproduktionen vil køre 75 procent af tiden på årsbasis, så der vil være perioder, hvor der ikke produceres overskudsvarme fra anlægget.

»Vi planlægger med en fleksibel drift og produktion i forhold til elprisen. I perioder med høje elpriser kan produktionen blive indstillet eller nedskaleret, og i de tilfælde skal fjernvarmen så komme fra andre kilder,« siger Lars Dyrholm.

På sigt kan der måske hentes endnu mere overskudsvarme fra metanolproduktionen. Foreløbig kommer den primære overskudsvarme fra selve metanolreaktoren, men elektrolyse- og destillationsprocessen rummer måske mulighed for at hente endnu mere varme ud af processerne.

»Der er tre kilder til overskudsvarme – elektrolysen, metanolsyntesen og destillation – men med varierende





## Udnyttelse af overskudsvarme

- Ved produktion af grøn metanol opnås i flere processer – elektrolyse, metanolsyntese og destillation – overskudsvarme fra cirka 38 °C til cirka 65 °C, som med varmepumper boostes til 75-80 °C og herefter kan udnyttes i det lokale fjernvarmenet.
- Etablering af 8,2 MW varmepumpekapacitet til at udnytte overskudsvarme med en COP på 3-4.
- Etablering af tre kilometer lang transmissionsledning til nærliggende Hjordkær.
- Overskudsvarmen svarer til ca. 3.300 husstandes forbrug.

## Udnyttelse af overskudsvarme på PtX-anlæg ved Kassø

Projektet skal demonstrere og teste, hvordan overskudsvarmen fra et storskala PtX-anlæg kan levere CO<sub>2</sub>-fri og konkurrencedygtig varme til lokale fjernvarmenet. Varmeudnyttelsen muliggøres ved at øge temperaturen på overskudsvarmen med varmepumper.

### Budget

43 millioner kroner.

### Projektdeltager

European Energy, Aabenraa Fjernvarme, Aalborg Universitet, Syddansk Universitet.

### Projektledelse

Energy Cluster Denmark.







temperaturer i overskudsvarmen fra cirka 38 °C op til cirka 65 °C. Returtemperaturen på kølevandet er 25 °C og opnås ved at køle med det afkølede fjernvarmevand. Herefter hæves temperaturen på fjernvarmevandet til 75-80 °C i varmepumperne,« siger Lars Dyrholm.

Varmepumperne er propandrevne, da det giver størst energieffektivitet.

### Sektorkobling i praksis

At udnytte overskudsvarme fra PtX-processer er et eksempel på den sektorkobling, som skal udgøre en af hjørnestenene i den grønne omstilling. Som det første af sin slags har projektet i Kassø også været afhængig af akademisk ekspertbistand.

Aalborg Universitet og Syddansk Universitet har således bidraget med blandt andet beregninger og modelleringer. Der har også været et tæt samarbejde med Energinet, da metanolanlægget bliver en meget stor strømforbruger. Det årlige forbrug anslås til 330 GWh. Anlægget er koblet til solparken i Kassø via en direkte 30kV kabelforbindelse, hvilket bidrager med fleksibilitet både på produktions- og forbrugssiden i forhold til elnettet.

»Vi har tre parallelle elektrolyse-linjer baseret på PEM-teknologien – foruden fem store stempelkompressorer, som trykker brinten op fra atmosfærisk tryk til 38 bar. CO<sub>2</sub> konverteres fra væske til gas i processen, inden den sendes ind og blandes med brint i metanolreaktoren, hvor syntesen foregår. Efterfølgende foregår en destillation til det rene metanolprodukt. Alt i alt er det meget energikrævende processer,« siger Lars Dyrholm.

På Aalborg Universitet har forudgående været etableret et pilotanlæg, hvor der er udviklet og demonstreret Proof of Concept, inden man er gået i gang med fuldskala-byggeriet i Kassø.

»Der er ikke lignende anlæg, vi bare kan kopiere. PtX og grøn metanolproduktion er ikke hyldevare ... endnu. Hidtil er metanol lavet på naturgas med CO – carbon monoxid – og brint i en anden type proces. Vi bliver de første med et anlæg af denne type og i industriel skala,« siger Lars Dyrholm.

### Tre grønne energistrømme i Esbjerg

European Energy arbejder i øvrigt på et andet grønt overskudsvarme-til-fjernvarme-projekt i Esbjerg. ▶

»Grøn metanol produceres udelukkende på bæredygtige energikilder: Grøn strøm fra vedvarende energikilder, der muliggør produktion af grøn brint ved elektrolyse, og anvendelse af biogen CO<sub>2</sub> fra biogasproduktion, som det bliver tilfældet på anlægget ved Kassø,« siger Lars Dyrholm, der er uddannet dual skibsofficer fra SIMAC.










Ensted Havn hvorfra det planlægges at oplagre og udske grøn metanol fra PtX-anlægget til Maersk, Lego og Novo Nordisk. Metanolen køres i tankvogne til havnen fra anlægget ved Kassø.

Her skal etableres grøn landstrøm til skibe, der anløber på Esbjerg Havn.

Strømmen til skibene er produceret på brændselsceller, der drives af brint. Strømmen til elektrolysen kommer fra vindmøller syd for havnen. Overskudsvarmen fra denne proces skal leveres til Din Forsynings fjernvarmenet.

»Der er stor interesse for at kunne få leveret grøn landstrøm, så skibene ikke skal køre med dieseldrevne hjælpe-motorer, når de ligger i havn. Nu kan vi så både tilbyde grøn strøm, grøn brint og grøn overskudsvarme – det er tre grønne energistrømme fra samme proces,« fortæller Lars Dyrholm.

Anlægget i Esbjerg forventes idriftsat i fjerde kvartal 2023. 

## Produktion af grøn metanol

- PtX-anlægget i Kassø skal producere grøn metanol på basis af brint og biogen CO<sub>2</sub>.
- Årligt produceres 6.000 ton brint på tre elektrolyselinjer – med i alt 50 MW kapacitet.
- Biogen CO<sub>2</sub> kommer fra Tønder Biogas – i alt 45.000 ton per år.
- Selve metanolreaktoren, hvor syntese af brint og CO<sub>2</sub> foregår, er udviklet af European Energy.
- Den årlige tekniske kapacitet er på 42.000 ton metanol, og den forventede produktion er på 32.000 ton.
- Strømmen til metanolproduktionen kommer fra et solcelleanlæg på 300 MW, der ligger på nabogrunden.
- Grøn metanol skal anvendes af Maersk – brændstof til nye containerskibe – og Lego og Novo Nordisk – plast.
- Det årlige strømforbrug er på 330 GWh.





Lysbue overværes  
under svejsning for  
eventuel finjustering.







# Svejsning i støbejern til vindmøller







Svejsespecialist Kaare Jensen i gang med fastgørelse af termofølere for temperatur-logning på test-emne hos FORCE Technology.

**WeldCast-projektet udvikler automatiseret svejsning af støbejernskomponenter egnet til vindmøllekomponenter. Det kan bidrage til at nedbringe omkostninger og CO<sub>2</sub>-aftryk fra produktionen af vindmøller.**

**M**oderne vindmøller kan ikke bygges uden betydelige mængder støbejern, der særligt anvendes i komponenter i nacellen.

Men i processen frem mod den færdige mølle er der identificeret store energimæssige og økonomiske besparelspotentialer, hvis man kan implementere svejseprocesser i produktionen af støbejernsemner til vindmøllerne. En solid metode til lysbuesvejning og reparation af støbejernsemner er derfor en del af målet for WeldCast-projektet.

Analysen viser, at hele projektet har potentiale til besparelser på ½-1 procent af de samlede omkostninger til en vindmølle, hvilket i dag er cirka tre millioner euro per mølle. Alene omkostningerne til nacellen vil blive reduceret med cirka 10-15 procent, lyder estimatet.

I WeldCast-projektet er vindmølle-producenterne og konkurrenterne, Siemens Gamesa Renewable Energy og Vestas, gået sammen med FORCE Technology, DTU Vind og Energisystemer og Baettr om at udvikle en ny metode til at svejse støbejernskomponenterne til vindmøller.

»Branchen har set, at det er en fordel, at man går sammen om at udvikle standardiserede processer og teknologier for at bringe prisen på el fra vindmøller længere ned. Derfor er konkurrenter gået sammen i WeldCast om at udvikle nye svejseprocesser, som branchen kan bruge til at gøre vindkraft mere konkurrencedygtig,« siger Kaare ▶

UDSTYR  
KØRER  
IKKE SLU

[kkj@forcetechnology](mailto:kkj@forcetechnology)  
42627351





Kaare Jensen under finindstilling af svejserammens placering før svejsning.

Jensen, svejsspecialist med 35 år erfaring hos FORCE Technology.

### Ønsket omsmelting af støbejernsemner

Perspektiverne – hvis man lykkes med WeldCast – er store: Det vil give mulighed for sammenføjning af store støbejernskomponenter til modulopbygning og reparation af fejl i komponenter,

der ellers ville blive omsmeltet. At implementere muligheden for monterings svejsning vil hjælpe mindre støberier ind i forsyningskæden – især når møller og komponenter bliver stadig større.

Der vil også på længere sigt være mulighed for besparelser i vedligehold ved brug af reparations svejsning i opsatte vindmøller og dermed at undgå

fuld udskiftning af nacellen og rotoren – samt en reduktion i omkostninger og kompleksitet ved transport.

»En stor del af gevinsten ved at kunne udføre svejsning af fejlbehæftede støbejernskomponenter er, at man sparer den meget energikrævende proces med at omsmelte store, fejlbe-





## WeldCast

- **Støttebeløb:**  
18,9 millioner kroner fra Innovationsfonden.
- **Egenfinansiering:**  
10,6 millioner kroner.
- **Projektbudget:**  
29,5 millioner kroner.
- WeldCast-projektet skal udvikle både nye svejsemetoder, metoder til at udføre inspektion af disse og skabe industristandarder for støbejern i vindmølleindustrien.
- Konkret udvikles en ny metode til at svejse støbejernskomponenter til vindmøller – herunder nye processer, som vil gøre det muligt at svejse i store elementer i støbejern.
- Analyser viser, at WeldCast har potentiale til at skabe en besparelse på ½-1 pct. af de samlede omkostninger til en vindmølle, som i dag er cirka 3 mio. euro. Omkostningerne alene til nacellen vil blive reduceret med 10-15 pct.
- **Projektperiode:** 2021-2024.
- **Projektdeltagere:** Energy Cluster Denmark, Siemens Gamesa Renewable Energy, Vestas Wind Systems A/S, Baettr Sales & Services A/S, FORCE Technology, DTU Vind og Energisystemer.

hæftede støbejernsemner. Det er måske den største enkeltbesparelse og dermed gevinst i projektet,« siger Kaare Jensen videre.

At der er store perspektiver ses også af, at WeldCast-projektet er støttet af Innovationsfonden med 19 millioner kroner – ud af et samlet budget på 30 millioner.

I projektet bidrager blandt andet DTU med specialiseret røntgen-tomografiudstyr, som kan finde porøsiteter i svejsninger, der er langt mindre end de, der kan detekteres med normale ikke-destruktive testmetoder. Den præcise karakterisering vil – sammen med avanceret modellering – gøre det muligt at forudsige restlevetiden af svejste støbejernskomponenter.

terisering vil – sammen med avanceret modellering – gøre det muligt at forudsige restlevetiden af svejste støbejernskomponenter.

### Mekanisk nedslidning i møller

FORCE Technology står for opgaven med at udvikle en ny svejseteknologi, der vil muliggøre montagesvejsning og reparations svejsning af store støbejernskomponenter.

Udvikling af industrialiserede svejsemetoder til store støbejernskomponenter vil blive understøttet af state-of-the-  
►



Kaare Jensen ved PLC-styret langsøms-automat og svejseudstyr FRONIUS TransPuls Synergic 4000 med RCU 5000i fjernbetjening.

art karakterisering og modellering med henblik på udvikling af nye svejssespecifikationer og kvalitetskontrol, som kan komme til at udgøre en industristandard.

»En vindmølle forventes at være i drift i mindst 20 år, og det stiller store krav til kvaliteten af blandt andet nacellen, hvor en del af de bærende emner er lavet i støbejern. Der er jo næsten konstante vibrationer i en vindmølle, som over tid udsætter komponenterne for nedslidende mekaniske påvirkninger. Eventuelle revner i støbejernet kan udvikle sig så alvorligt, at man må reparere eller udskifte dem. Derfor er kvalitetskravene til støbejern i vindmøller meget høje, og det kan være nødvendigt, at fejlbehæftede emner bliver støbt om. Det er kostbart og energikrævende, og målet er, at færre emner skal støbes om. I stedet skal man kunne reparere emnerne med svejsning, så man kan holde produktionslinjen kørende uden store afbrydelser og forsinkelser,« fortæller Kaare Jensen.

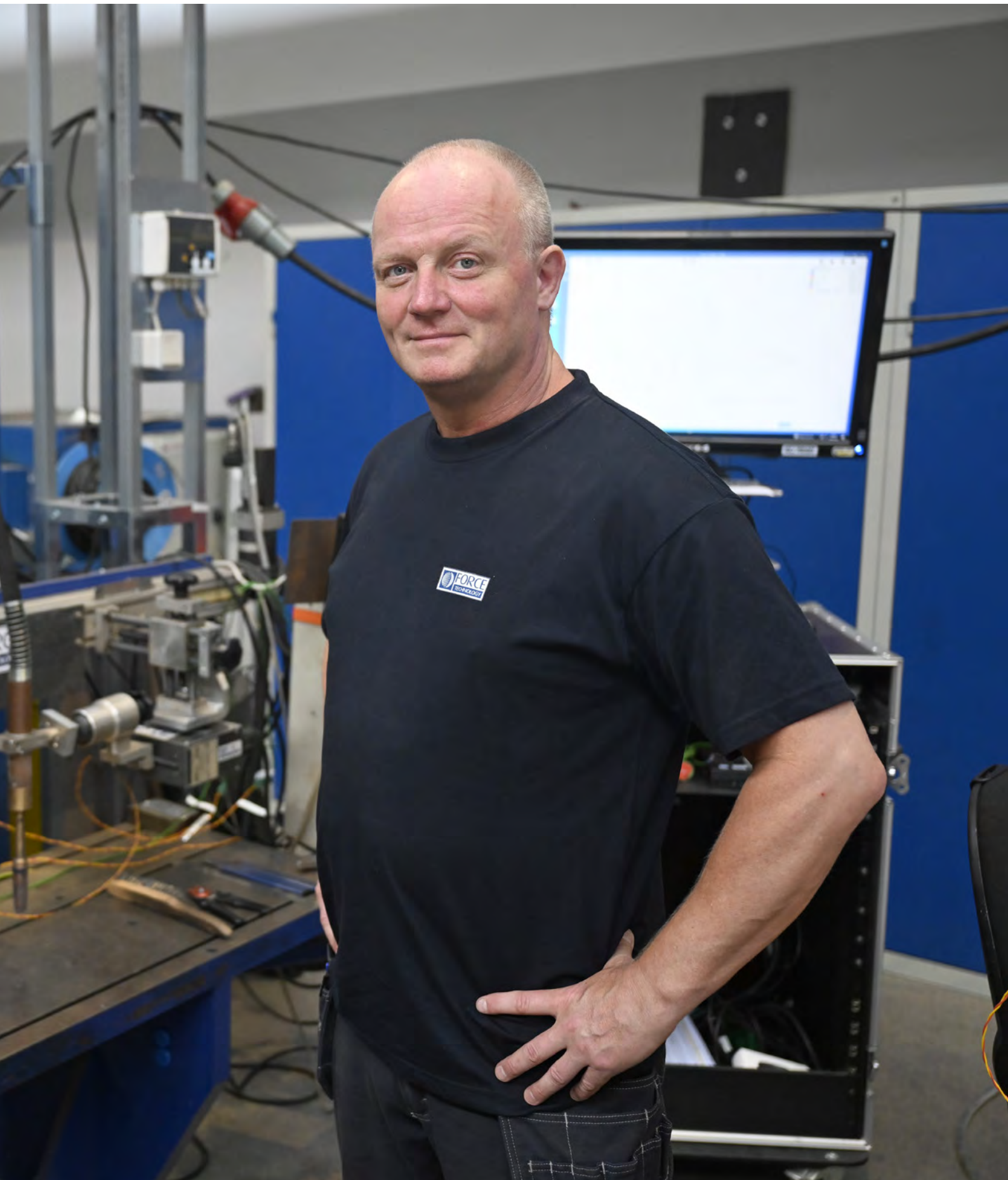
Visionen er, at fejlbehæftede støbejernsemner hurtigt og sikkert kan repareres med automatiseret svejsning – i første omgang på støberiets produktionslinje, men måske også i felten efter installation i en vindmølle. Derfor skal der anvendes små, mobile svejserobotter og flytbare automatiseringsløsninger, som kan arbejde på præcist definerede områder af emnet ud fra bestemte koordinater.

I projektet har man valgt lysbuesvejsning som den metode, man vil udvikle og automatisere brugen af.

»Vi skal prøve at gøre de nye svejsemetoder så bredt tilgængelige for industrien som muligt. Lasersvejsning er en stor investering ►









Kaare Jensen under indstilling af stick out før svejsning – stick out er afstand fra emne til kontaktdyse.

og skal foregå med meget mere sikkerhed end lysbuesvejsning, som er en betydeligt mindre investering – og i det hele taget en metode, som bedre opfylder ønskerne om en fleksibel og flytbar løsning,« siger Kaare Jensen.

Endnu er man dog ikke klar til at løfte sløret for, hvordan det mere præcist skal foregå. Det vil først ske ved projektets afslutning i foråret 2024

### Identiske svejsefuger – hver gang

Men det er estimeret, at der globalt kan reduceres udledning af mindst 15.000 ton CO<sub>2</sub> årligt ved færre omstøbninger af emner til vindmøller, hvis man lykkes med at reparere fejl på støbejernskomponenter med svejsning.

»Vi skal udvikle en 'opskrift' på automatiseret svejsning, som indeholder de vigtigste fysiske og tekniske parametre, der påvirker en svejseproces. Der kan ske menneskelige fejl. Der kan opstå tekniske fejl. I en automatiseret proces skal man prøve at tage højde for alle de udfordringer, som findes i en svejseproces og så at sige eliminere dem, så man kan skabe en standardiseret, programmerbar proces, der virker hver gang uanset de ydre omstændigheder,« siger Kaare Jensen.

Udgangspunktet er også, at man skal anvende eksisterende materialer og teknologier.

»Vi skal ikke opfinde noget nyt – men udnytte løsninger, der allerede er på markedet. Opgaven er at udvikle en opskrift, som kan danne grundlag for en automatiseret lysbuesvejsning af store støbejernskomponenter på flere ton. Man skal kunne lave identiske svejsefuger gang efter gang – og i øvrigt kontrollere de andre elementer i processen, så man ikke går på kompromis men kan leve op til alle nødvendige sikkerheds- og kvalitetskrav, samtidig med at man opnår målsætningen om at bringe de samlede om-



kostninger ned og reducere CO<sub>2</sub>-aftrykket,« siger Kaare Jensen.


Med 35 års svejseerfaring har Kaare Jensen været rundt i mange hjørner og kroge af svejsningens verden. Men WeldCast har alligevel været den hidtil største udfordring – og måske dén

med de største perspektiver, vurderer han.

»Generelt er udfordringen ved at svejse i støbejern, at kvaliteten varierer meget – og nogle gange finder man først ud af det, når man går i gang med at svejse. Det kan hurtigt gå den





gale vej. Men i projektet har vi fået adgang til nogle meget avancerede NDT-løsninger med røntgen og ultralyd, som giver mulighed for at kigge ind i og gennem støbejernsementerne, så vi kan vurdere, om de automatiserede svejsninger har udbedret støbefejlene på forsvarlig vis. Sådan arbejder vi os gradvist frem – og i fodboldsprog er vi kommet over banens midte på vej til målet,« siger Kaare Jensen. 

Sømpbygning på testemne.







# Autonom ROV fjerner selv begroning på offshore installationer

ACOMAR-projektet er ved at udvikle en autonom, fuldautomatisk ROV-løsning til effektiv fjernelse af marin begroning på offshore installationer som olie/gas-platforme og havmøller.

ACOMAR i vandoverfladen. Her befinder den sig ikke tit, men til ære for fotografen er den fløjet op. GPS-pinden på toppen bruges kun i forbindelse med test.



Lige som robotplæneklipperen, der autonomt styrer rundt og trimmer græsplænen, vil man i fremtiden kunne sende undervandsrobotter ned, der selv identificerer uønsket begroning på offshore installationer – og herefter fjerner den uden menneskelig vurdering.

Det er perspektivet i ACOMAR – et projekt som har til formål at udvikle en ny type autonom, undervands ROV – Remotely Operated Vehicle – der udfører sine opgaver uafhængigt af operatører, som det ellers typisk foregår i dag.

»Visionen er en fuldautomatisk proces, hvor ACOMAR-robotten inspicerer begroningen. Derefter tager den stilling til, om det er nødvendigt at fjerne begroningen – baseret på en analyse af de data fra sensorer, som robotten er udstyret med. Hvis visse definerede betingelser er opfyldt, går

den i gang med at fjerne begroningen ved hjælp af højtryks-spuling,« fortæller Jesper Liniger, lektor, Aalborg Universitets Institut for Energiteknik i Esbjerg.

AAU er en af partnerne i ACOMAR-projektet sammen med flere kommercielle aktører fra offshore branchen. Begroning på undervands installationer er kendt for at udfordre sikkerheden ved offshore strukturer. Årsagen til dette er, at vægten øges, og påvirkningen af strukturen fra bølger og strøm bliver større i kontakten med den voksende, undervandsiske flora og fauna.

Det kan for eksempel være søanemoner, søgræs og muslinger, der vokser på borerigge, platforme og de monopæle, som havmøller står på.

»Der er både blød og hård begroning, og ved hjælp af algoritmer træner vi ACOMAR-robotten til at skelne mel-





lem de forskellige typer og ikke mindst tykkelsen, som er vigtige parametre for beslutningen, om begroningen skal fjernes,« siger Jesper Liniger videre.

### Autonom inspektion og fjernelse

Når marin begroning skal fjernes fra offshore strukturer som olie-gas-platforme og havmøller, sker det typisk ad to omgange. Først sendes en ROV ned for at inspicere de begroede strukturer. De høstede data – typisk i form af videooptagelser – bliver derefter analyseret af eksperter for at beslutte,

Tuning af ACOMAR fra SubC's flydebro. Fra venstre Rasmus Olsen SubC, Sigurd Klemmensen SubC.

## ACOMAR

- **Støttebeløb:** 15,4 millioner kroner fra EUDP.
- **Egenfinansiering:** 10,7 millioner kroner.
- **Projektbudget:** 26,1 millioner kroner.
- ACOMAR står for Auto COM-pact MARine growth Remover.
- Projektet skal udvikle en autonom ROV – Remotely operated vehicle – til identifikation og fjernelse af marin begroning på offshore strukturer som olie-gas-platforme og havmøller.
- Med hjælp af nyudviklede algoritmer til databehandling skal ROV selv kunne træffe beslutning om fjernelse af undersøisk begroning – og derefter iværksætte fjernelsen med højtryksspuling ved 350 bar.
- **Projektperiode:** 2021-23.
- **Projektdeltagere:** Aalborg Universitet (AAU), SubC Partners A/S, Mati2ilt, Sihm, TotalEnergies EP Denmark A/S, Siemens Gamesa Renewable Energy og EIVA A/S.
- **Projektleddelse:** Energy Cluster Denmark

om det er nødvendigt at fjerne begroningen.

Herefter sendes en retrofitted ROV med højtryksdyse i vandet, der er i stand til at fjerne begroningen. Denne metode er både dyr og tidskrævende.

»De skibe, som sendes ud med ROV'er om bord for at foretage inspektioner, koster mange penge per dag, og ofte skal skibene ud to gange – først på inspektion og derefter for at fjerne begroningen. Den proces rummer et stort optimeringspotentiale, som er udgangspunktet for ACOMAR-projektet, fortæller Sigurd S. Klemmensen, Mechatronic Engineer, SubC Partner, der er en ACOMAR-partner.

Visionen for ACOMAR er at udvikle både ny teknologi og ny proces, hvor sidstnævnte er muliggjort af teknologien. Målet er, at robotten klarer inspektion og fjernelse af begroninger på samme tur, så man forkorter processen betydeligt.

»Vi skal udvikle en teknologi, så inspektions- og renseprocessen bliver fri

af den menneskelige operatør og dyre specialskibe. Det handler både om udgifter, tid og sikkerhed, hvis man kan udvikle en autonom ROV-løsning. Vi ved, at offshore industrien selv har udtrykt ønske om at kunne optimere disse processer, og de er også repræsenteret i projektet. Så behovet for bedre løsninger er der,« siger Flemming Hjorth, CEO, EIVA, der er en anden ACOMAR-partner, og som udvikler teknologi til undersøgelser under vand.

ACOMAR-løsningen er ikke afhængig af et skib til at blive sat i vandet. Den kan hejSES ned fra en platform, rig eller havmølle i et kabel.

Selve robotten får sin forsyning af strøm og vand fra top side. Den hejSES ned i vandet i et bur, som den først bliver lukket ud af, når den er under de største bølger.

»Som udgangspunkt bliver buret med robotten sænket 15 meter ned, før den bliver lukket ud af buret og går i gang med arbejdet. Så den er ude af de store bølgepåvirkninger, før den





## ROV-dimensioner

- **Vægt:** 135 kg
- **Diameter:** 145 cm
- **Højde:** 45 cm





Dele af teamet bag ACOMAR. Fra venstre Sigurd Klemmensen SubC, Malte von Benzon AAU Esbjerg, Eva Thrane SubC, Fredrik Sørensen AAU Esbjerg, Rasmus Olsen SubC.





## ACOMAR – Remotely Operated Vehicle

I projektet er udviklet, designet og bygget en ROV – Remotely Operated Vehicle – med følgende udstyr

- Sensorer til manøvrering og identifikation af marin begroning samt højtryks-spuler til fjernelse af begroning.
- **Udstyr:** Kamera, sonar – højpræcision-sonar der kigger fremad – fiber-optisk gyroskop, DVL – Doppler Velocity Log – til navigation og manøvrering, turbodyser/højtryksspuler der leverer vand med tryk på 350 bar.
- **Fremdrivning:** Otte elektriske propeller – fire frem og fire op/ned, der trykker med 16 kg hver.
- Maksimal effekt 6 kW ved fuld kraft.
- Forsynes fra top side med el og vand.

Her ses kontrolcontaineren til ACOMAR. Fredrik Sørensen, AAU Esbjerg, sidder og styrer robotten igennem en række test.

skal operere selv,« siger Sigurd S. Klemmensen.

### Trænet i virtuelt miljø

At ACOMAR-robotten bliver autonom og selv kan træffe beslutninger skyldes dels udviklingen af nye algoritmer og dels anvendelsen af 'sensor fusion', hvor flere typer sensorer indsamler data samtidigt, som algoritmerne kan bearbejde.

»Robotten sammenligner sine input-data med et sæt regler for, hvornår begroningen skal fjernes eller ikke fjernes. Det er grundlæggende mønstergenkendelse baseret på både visuelle input og data fra sonarløsninger – altså lydølger der blandt andet identificerer tykkelsen på begroningerne,« siger Jesper Liniger.

En udfordring har været at lære robotten at kende mange forskellige slags undersøisk begroning. For at speede denne proces op har man brugt virtuelle miljøer af begroning.

»Det vil tage for lang tid at lære robotten de mange slags begroning at kende, hvis vi skulle gøre det i et rigtigt offshore miljø. Derfor har vi trænet ACOMAR i et virtuelt miljø, hvilket har accelereret læringsprocessen,« siger Jesper Liniger.

Den metode har også haft den fordel, at man har kunnet simulere forskellige niveauer af sigtbarhed i vandet og har kunnet se, hvordan modellen har reageret i et mere eller mindre uklart vandmiljø.

»Der er mange forhold under vand, man ikke kan styre, så udfordringen

har været at gøre algoritmen – og dermed analysen af begroningen – tilstrækkelig robust. Det skal vi nu have testet offshore i praksis,« siger Flemming Hjorth.

EIVA har i projektet blandt andet bidraget med udvikling af det software interface, hvor data fra robotens sensorer vises på skærme.

»I dag er det primært videooptagelser, som ligger til grund for beslutningen om at fjerne begroninger. Med ACOMAR sigter vi mod et bedre kvalitativt grundlag for vurderingen af begroningen i kraft af datainput fra både video og sonarteologier,« siger Flemming Hjorth.

### Højtryksspuling

Designet af selve ROV'en er sket ud fra ønsket om, at robotten skal kunne stå stille i vandet uden unødigt påvirkning fra bølger og strøm. Man er endt med et 'donut'-formet design, så ROV'en bliver påvirket af vandets bevægelser på samme måde fra alle retninger. SubC Partner har stået for meget af ROV'ens mekaniske og elektriske design.

»Det har været centralt i designet, at robotten er god til at stå stille i vandet, når den skal udføre selve rensningen. Derfor er vi endt med et cirkulært design med minimal påvirkning fra omgivelserne, så ROV'en kan holde den ønskede afstand på 10-20 cm fra den struktur, der skal renses,« siger Sigurd S. Klemmensen.

I processen med valget af renseteknologi har man kigget på blandt andet børster og en flexi clean-løsning med en gummibørste med fire fingre. Men disse løsninger har haft en tendens til at hænge fast i begroningen.

Herefter er valget faldet på en højtryksdysse – en såkaldt turbodysse – som også anvendes til fliserens. Den kører med 5.000 omdrejninger i minuttet og kan rense i en vinkel på 20 grader til hver side. I en afstand af 10-



20 centimeter fjerner den et bælte af begroning på 15 centimeter. Der trykkes 30 liter vand gennem i minuttet ved et tryk på 350 bar. Vandet bliver leveret fra top-side gennem en ledning.

»En standard ROV, som man benytter i dag, kan rense tre meter rør i timen. Vi forventer, at ACOMAR-løsningen bliver væsentligt hurtigere, og det skal vi helst vise, inden projektet slutter,« siger Sigurd S. Klemmensen.

### Test i offshore miljø

I projektet er det estimeret, at offshore-industrien bruger et trecifret millionbeløb på at fjerne marin begroning, og det er en omkostning, som ACOMAR potentielt kan være med til at reducere betragteligt.

Men der er nogle forudsætninger, som skal falde på plads først.

»I løbet af sommeren skal vi have robotten til havs og testet igen. Når projektet slutter ved udgangen af 2023,

skal vi have vist, at robotten kan udføre de ønskede opgaver i et rigtigt offshore miljø,« siger Sigurd S. Klemmensen.

Han vurderer, at der kan gå et til to år endnu, inden der er en kommerciel løsning på markedet.

»Vi skal som minimum have en ROV, der kan løse opgaverne autonomt i et ægte offshore miljø på en sikker og forudsigelig måde hver gang. Den videre udvikling bliver også bestemt af, at vi kun kan teste offshore om sommeren, og det kan forlænge kommercialiseringen,« siger han.

Set fra Aalborg Universitet behøver succeskriteriet ikke være, om der kommer en kommerciel, fuldautomatisk ACOMAR-løsning.

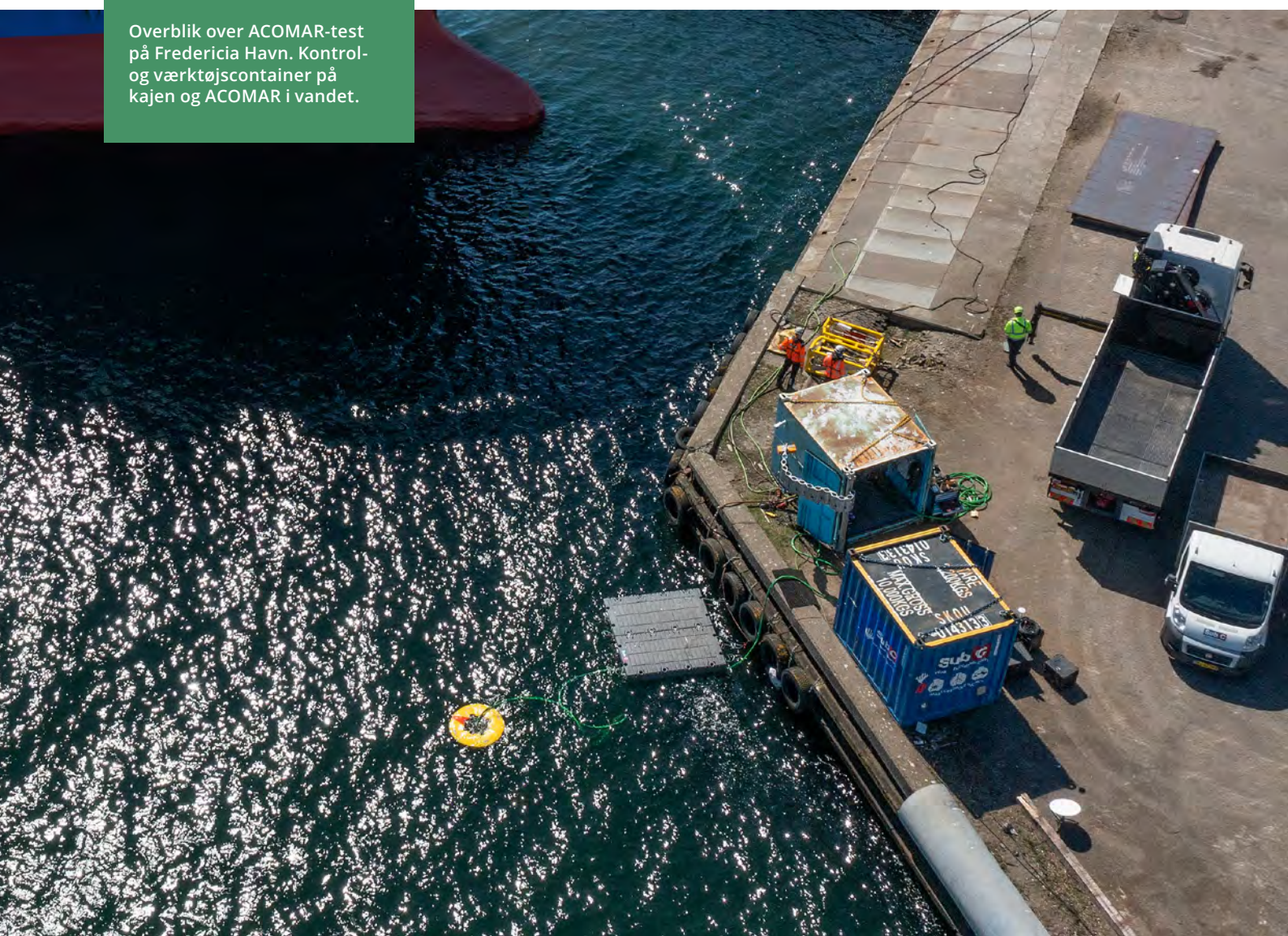
»For mig at se er det ikke enten go eller no-go. Man kan have succes på flere niveauer. Måske bliver ACOMAR ikke sin egen løsning men kan bidrage til at forbedre nuværende løsninger. At lave en fuldautomatisk, autonom løsning er på mange måder det optimale – men også det mest risikofyldte, fordi

det stiller de største krav til teknologierne,« siger Jesper Liniger.

For EIVA er samarbejdet mellem industri og universiteter i ACOMAR-projektet afgørende for, at man har kunnet skabe en ny type autonom ROV.

»Men vi skal også være realistiske. Offshore branchen ændrer sig ikke lige fra dag til dag. Man holder meget fast i kendte løsninger, fordi der er så meget på spil både sikkerhedsmæssigt og økonomisk. Vi skal komme med en overbevisende løsning, før industrien overvejer at skifte til ACOMAR. Som udgangspunkt skal man overvinde en skepsis, når man kommer med noget helt nyt og lover store gevinster. Men selvfølgelig skal vi gøre forsøget og prøve at gøre ACOMAR til den nye standard i industrien. Med de udgifter, man har i dag til at fjerne marin begroning, kan en reduktion på selv 5-10 procent af udgifterne formodentlig være attraktiv, og besparelsen kan sagtens blive endnu større,« siger Flemming Hjorth. 🏠

Overblik over ACOMAR-test på Fredericia Havn. Kontrol- og værktøjscontainer på kajen og ACOMAR i vandet.





# Modeller for en bæredygtig fremtid

Et af de første store, danske, hybride energianlæg bliver PtX-Kassø, hvor solceller leverer strøm til produktion af grøn metanol baseret på biogen CO<sub>2</sub> og brint.



AI - og andre nye it-værktøjer - skal hjælpe investorer og energiselskaber med at planlægge fremtidens grønne energisystemer og hybridenergianlæg.





**D**en hidtidigt etablerede grønne energi er i småtingsafdelingen sammenlignet med den planlagte kapacitet og effekt. I fremtiden skal de grønne energiløsninger mangedobles for at nå de danske og europæiske klimamålsætninger.

Disse ambitiøse mål kræver en øget kompleksitet, når de såkaldte hybrid-anlæg begynder at blive mere udbredte. I hybridanlæg kobles flere produktions- og lagringsløsninger sammen. Elektricitet fra sol og vind skal kunne lagres på store batterier og/eller indgå i elektrolyse- og PtX-processer.

Dén øgede kompleksitet udfordrer energiselskaber og investorer, som skal tage langsigtede beslutninger i milliardklassen. Nye digitalt understøttede modelleringsværktøjer skal hjælpe dem, og de værktøjer udvikles blandt andet i Realise-projektet.

»Med Realise-projektet forsøger vi at adressere de mange ubekendte variabler, som investorer i den fremtidige grønne omstilling står overfor, når de skal træffe investeringsbeslutninger. Vores mål er at udvikle værktøjer, der hurtigt kan beregne forskellige scenarier og forretningsmodeller. Ved at gøre disse komplekse beregninger mere tilgængelige og overskuelige ønsker vi at bidrage til at accelerere overgangen til en mere bæredygtig og grøn fremtid,« siger Morten Jensen, Head of Software Solutions, Aegir Insights, som leverer strategiske data- og analyseværktøjer til investorer i vindenergi.

Blandt Aegir Insights' kunder er Ørsted, Shell og Vestas, som alle er store, grønne aktører. Alene i Nordeuropa forventes den grønne fremtid at omfatte en kæmpe udbygning af havmøller, nye energi-øer i Nordsøen, brintproduktion, PtX og anden industriel udnyttelse af grøn energi.

Men mange af de nødvendige teknologier og anlæg findes ikke endnu – og slet ikke i fuld industriel skala. Hvilket for eksempel gælder for store batterier, brintproduktion og PtX.

### Fremtidige hybridanlæg

Overordnet set skal Realise-projektet udvikle softwareværktøjer til design og økonomisk evaluering af grønne ►





Store batterier til at opsamle overskydende grøn strøm forventes at blive en del af fremtidens hybride energianlæg, der både producerer og lagrer grøn energi.





hybridenergiparker – de såkaldte Renewable Energy Parks.

Projektet skal modellere og optimere komplette hybridenergiparker med flere typer elproduktion og lagring, konvertering af el til varme og brint med mere. Løsningerne skal desuden samtænkes med energiintensive industrier såsom stålindustrien.

Værdien af løsningerne, der udvikles i Realise, skal demonstreres og valideres med udgangspunkt i specifikke udviklingsprojekter hos Vattenfall inden for land- og havvind. Resultatet af Realise har ifølge deltagerne selv potentiale til at blive det førende værktøj inden for udvikling og investering i hybridanlæg.

»I projektet arbejder vi med det, der kaldes 'surrogate models', eller bedre

kendt som machine learning-modeller. Disse modeller har til formål at skabe en realistisk repræsentation af de komplekse hybridenergiparker, vi arbejder med. Ved at benytte disse modeller kan vi spare både tid og ressourcer sammenlignet med konventionelle simuleringmetoder,« siger Morten Jensen.

Det kan være projekter, hvor grøn strøm fra offshore eller onshore vindmøller kan udnyttes i forskellige processer: Umiddelbar anvendelse i elnettet, i elektrolyse og brintproduktion, ved PtX og grønne brændstoffer – eller lagring i batterier.

»For at udnytte det fulde potentiale af fremtidens hybridanlæg, der kombinerer forskellige energi- og lagringsløsninger som sol, vind og brint, er det

nødvendigt, at modellerne kan repræsentere og udpege det design, der er optimalt i de enkelte projekter,« siger Morten Jensen.

De værktøjer, som Realise udvikler, skal anvendes i de indledende planlægnings- og designfaser af store, nye grønne projekter, hvor der typisk skal investeres mange milliarder kroner.

»Udviklerne søger værktøjer, der fleksibelt kan integrere ny data og straks beregne forskellige scenarier. Med Realise-projektet er målet at gøre

## Balmorel-model

I Realise anvendes den såkaldte Balmorel-model, som anvendes til analyser af store energisystemer. Modellen kan identificere den optimale drift for et givent produktionsanlæg – for eksempel en vindmøllepark – ud fra kapacitet, effektivitet, driftsomkostninger og start/stop-omkostninger.

Herefter finder modellen den optimale drift ved at inddrage tilgængelig transmissionskapacitet mellem forskellige områder. Den optimale drift svarer til de laveste samlede omkostninger for hele det modellerede område.

Balmorelmodellen kan også udpege fremtidige optimale investeringer, idet den vælger teknologi, kapacitet og placeringer. Desuden kan modellen tage hensyn til ressourcebegrænsninger og særlige geografiske forhold. Modellen inddrager også krav til CO<sub>2</sub>-footprint, vedvarende energi, forsyningsikkerhed og særlige politikker eller målsætninger.

Modellen er designet til at kunne arbejde med flere scenarier med varierende grader af vedvarende energi eller variationer med hensyn til parametre som efterspørgsel, energipriser, afgifter med mere.





netop dette ved drastisk at reducere modellernes beregningstid fra en uge til kun få sekunder, samtidig med at de mange ubekendte variabler omdannes til håndgribelige parametre,« fortæller Morten Jensen.

### Fossilfri industri

En af de store aktører i den europæiske energibranche er Vattenfall, som deltager i Realise-projektet sammen med DTU Wind and Energy Systems og Aegir Insights. Vattenfall er i gang med etablering af både hybride energianlæg og udvikling af løsninger til at gøre den tunge industri fossilfri. I Holland er der for eksempel idriftsat et hybridanlæg bestående af vindmøller, solceller og batterier. Og i Sverige er

man i gang med at udvikle løsninger, som kan gøre den tunge, energikrævende stålproduktion fossilfri – ved hjælp af grøn strøm og brint – i det såkaldte HYBRIT-projekt.

»Vi står over for en øget kompleksitet både kommercielt og teknologisk. Med hybride energianlæg vil der være mulighed for at producere og sælge flere værdistrømme – for eksempel strøm og brint – og man vil enten kunne sælge strømmen, når den produceres eller lagre den til senere brug, og når prisen måske er mere fordelagtig,« siger José Pedro Blasques, Head of LCoE Performance, Vattenfall.

Når elprisen er høj, skal man kunne levere mest mulig strøm. Når elprisen er lav, kan man lagre strømmen i batte- ▶

Hybride energianlæg skal blandt andet levere grøn strøm og brint til industrien. I Sverige er HYBRIT-projektet ved at udvikle løsninger til at gøre tung, energikrævende stålproduktion fossilfri – i kraft af grøn strøm og brint.





Pen y Cymoedd er en onshore vindmøllepark i det sydlige Wales. Dens 76 vindmøller kan producere strøm nok til at dække elforbruget i 15 procent af waliske hjem årligt. Ud over produktion af fossilfri elektricitet er etableret et 22MW batteri ved vindmølleparken.











rier eller bruge den i for eksempel elektrolyse til brintproduktion.

»Der vil komme mange flere forskellige scenarier for køb og salg, lagring og anvendelse af energistrømmene i fremtiden. Brintmarkedet er endnu meget nyt, og ingen ved præcis, hvordan det vil udvikle sig, og hvor mange kunder, der vil efterspørge brint. Der mangler også infrastruktur, så vi står over for store men også usikre investeringer. Med projekter, som måske er 5-10 år undervejs fra den tidlige planlægning til idriftsættelse og produktion, kan der også ske mange ting teknologisk undervejs. Uanset hvor gode simu-

leringer og modeller vi kan lave, så kan forudsætningerne ændre sig undervejs. Derfor har vi brug for værktøjer, der hurtigt kan lave nye beregninger og modeller, så vi på den måde kan tilpasse os en ny virkelighed og måske nå at ændre vigtige beslutninger i tide, hvis nødvendigt,« siger José Pedro Blasques.

### **Mange slags data**

Der er efterhånden god viden og erfaring fra driften af vindmølleparker, men i fremtiden vil disse blive koblet med batterier og elektrolyseanlæg. Her mangler man i dag erfa-



## Realise – datadrevne løsninger for design og investeringsstrategi af vedvarende energiparker

- **Støttebeløb:** 6,3 millioner kroner fra EUDP.
- **Egenfinansiering:** 5,1 millioner kroner.
- **Projektbudget:** 11,4 millioner kroner.
- Realise-projektet skal udvikle og levere en innovativ løsning inden for modellering af hybridenergianlæg. Projektet indebærer optimering af design og drift samt avancerede økonomiske analyser af vedvarende energiparker, som er afgørende for at opnå finansiering og fuldt potentiale.
- **Projektperiode:** 2022-2024.
- **Projektledere:** Vattenfall Vindkraft, DTU Wind and Energy Systems, Aegir Insights og Energy Cluster Denmark.

I Haringvliet i Holland opererer Vattenfall et hybridenergianlæg bestående af seks vindmøller med 22 MW effekt, 38 MW solpaneler og 12 MW batterikapacitet – svarende til 39.000 husstandes behov.

ringer, og modellerne fra Realise-projektet skal med sin kobling af mange typer data hjælpe til bedre design- og investeringsbeslutninger (se faktaboks om Balmorel-modellen, red.).


»Man kan godt sætte en masse kloge mennesker sammen og prøve at udtænke nogle scenarier for fremti-

dens hybride energiproduktion, men modeller baseret på avancerede it-værktøjer kan håndtere mange typer data, der kan bruges til at lave realistiske business cases,« siger han videre.

Modellerne bygger på en blanding af historiske data, aktuelle forhold og antagelser. Man må nødvendigvis læg-

ge visse forudsætninger ind – for eksempel fremtidige energipriser – som måske viser sig ikke at holde.

»Vi kan godt drømme om at kunne trykke på en rød knap, og så kommer opskriften på et hybridanlæg ud, men så langt når vi ikke i Realise. Projektet vil forhåbentlig bringe os videre i retning af endnu bedre modelleringsværktøjer, så vi kan tage både design- og investeringsbeslutninger på et mere sikkert grundlag, når det gælder nye typer hybridanlæg,« siger José Pedro Blasques og fortsætter:

»Hvis vi var på et marked med konstant høje og stigende priser, var der mere plads til at tage risici. Men vi er på et meget konkurrenceudsat marked, hvor omkostningerne skal ned, og hvor prisen på grøn energi skal blive endnu mere konkurrencedygtig i forhold til de fossile brændsler, hvis vi skal udbrede de grønne løsninger uden for Skandinavien og Nordeuropa,« slutter han. 



# Flydende salt skal lagre grøn energi i industriel skala



Vitor Eboli Paiva, Thermal Hydraulics Engineer  
- Pascal Coremans, Mechanical Engineering  
Team Lead - Ask Emil Løvschall-Jensen, CEO  
- i Hyme prototyping faciliteter på Amager  
hvor energilagringens materialets egenskaber  
(NaOH) og materialer bliver testet.







**Som led i MOSS-projektet etableres Danmarks første store anlæg til lagring af grøn strøm i smeltet hydroxidsalt. Perspektiverne er store i forhold til balancering af nettet og grøn energi til industri, kraftværker og fjernvarme.**

**S** smeltet salt skal i fremtiden lagre energi i form af varme op til 700 °C.

Denne varmeenergi kan herefter bruges direkte i form af damp eller til at drive en turbine, der kan lave grøn strøm. Ud over at balancere elnettet, når der er overskud af grøn





strøm, kan termiske batterier med smeltet salt levere procesdamp til industrien og erstatte kedler på kraftværker. Herudover vil større fjernvarmenet også kunne udnytte varmen.

Men før disse visioner kan blive realiteter, skal den nye saltbaserede lagringsteknologi afprøves i praksis

og stor skala. Det skal nu ske på et anlæg i Esbjerg som led i MOSS-projektet – Molten Salt Energy Storage. Det bliver det første danske anlæg til lagring af grøn strøm i hydroxidsalt. Anlægget vil blive i stand til at optage

1.6 MWh strøm og aflevere 1,2 MWh damp.

Anlægget er designet af Hyme, der som den eneste udvikler af saltbaserede termiske batterier anvender hydroxidsalt – også kendt som natriumhydroxid, kaustisk soda og afløbsrens.

Trods udfordringerne med korrosion rummer hydroxidsalt en række fordele.

»Grundlæggende tilbyder denne type anlæg med hydroxidsalt meget høje temperaturer med høj effektivitet, hvilket man typisk bruger kedler til. Hydroxidsalt har gode termofysiske egenskaber, da saltet kan lagre meget varme per liter. Saltet er godt til at optage og afgive varme. Saltet findes i store mængder, da det udvindes fra saltvand og derfor er relativt billigt. På grund af de gode termofysiske egenskaber kan man designe meget kompakte anlæg,« fortæller Ask Emil Løvschall-Jensen, CEO, Hyme.

#### Korrosivt hydroxidsalt

At lagre varme i smeltet salt er ikke nyt – det anvendes blandt andet i solvarmeanlæg. Men det er først nu, at man er ved at løse ikke mindst korrosionsudfordringerne, når man

CEO Ask Emil Løvschall-Jensen foran Hyme prototype faciliteter på Amager.



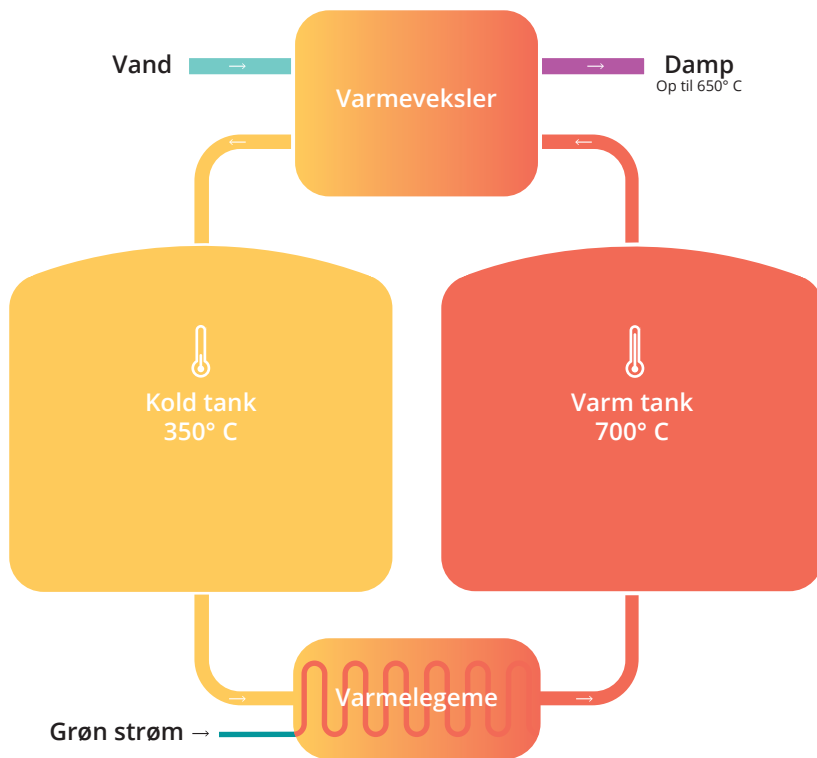
## Hyme

Hyme er ved at udvikle løsninger til lagring af grøn strøm i industriel skala. Lagringen sker i hydroxidsalt (natriumhydroxid), som er velegnet til både at optage og afgive varme.

Løsningen fra Hyme er baseret på erfaringer med hydroxidsalt hos Seaborg, der anvender samme type salt i deres kommende Compact Molten Salt-reaktor.



## Sådan virker HYTE-lagring med salt



### 🔌 Opladning

Elektricitet fra vedvarende energi omdannes til varme gennem et varmelegeme. Salt fra den kolde tank cirkuleres gennem varmelegeme og varmes op fra 350° C til 700° C og opbevares derefter i den varme beholder i op til flere dage.

### 🔌 Afladning

Den energi, der er lagret i den varme tank, frigives efter behov ved at cirkulere det varme salt til en varmeveksler, hvor varmen veksles med vand og omdannes til højtemperatur-damp. Dampen kan bruges direkte i en industriel proces eller bruges til at drive en turbine og levere elektricitet og varme. Det afkølede salt pumpes tilbage i den kolde tank indtil næste opladningscyklus.





3D-model af et Hyme-energilagringsanlæg i energisystemet. Et Hyme-anlæg kan lagre elektricitet fra vedvarende kilder i form af højtemperatur varme og levere høj temperaturdamp til industriprocesser eller til kombineret el- og varmeproduktion.

anvender hydroxidsalt, fortæller Ask Emil Løvschall-Jensen.

»Hyme arbejder videre med de erfaringer, som Seaborg har gjort sig med netop hydroxidsalte i deres Molten Salt-reaktor. Udfordringen er saltets meget korrosive natur – ikke mindst når vi skal op i skala. Det har vi ikke prøvet før, og derfor skal vores løsning nu til at stå sin prøve med alle de kompleksiteter, der kan opstå. En pumpe kan være fremstillet af syv forskellige materialer med forskellige korrosive egenskaber. I laboratoriet har vi reduceret korrosionen med en faktor 10, men nu skal det stå sin prøve i MW-skala. Vi arbejder også ved temperaturer på flere hundrede grader, så det er en dobbelt udfordring for materialerne. Det kan vise sig, at vi ikke har så mange materialer til rådighed, når vi skal op i industriel skala. På sigt skal vi måske anvende keramiske materialer, som er mere korrosionsresistente,« siger Ask Emil Løvschall-Jensen.

Anlægget i Esbjerg bliver større end oprindeligt planlagt – ikke så langt fra industriel skala. Det kan have den fordel, at resultaterne bliver så valide, at man nemmere kan opskalere yderligere.

»Af hensyn til omkostningerne vil vi gerne anvende så mange standard-

komponenter som muligt, og vi vil gerne have industripartnere med, så vi ikke skal til at specialdesigne alt for mange komponenter – men kan tage dem, der allerede er på hylden. Derfor har vi været nødt til at dimensionere anlægget efter eksisterende komponenter. Men det vil forhåbentlig give et bedre billede af både de tekniske og økonomiske perspektiver,« siger Claus A. Nielsen, forretningsudviklingschef, DIN Forsyning, som er en af partnerne i MOSS-projektet.

### Temperaturer over 180 °C

Når Hymes termiske lagre med smeltet salt er i drift, vil de kunne modtage strøm og afgive varme uafhængigt af hinanden. Et anlæg skal kunne nå sin maksimale kapacitet på seks timers opladning, som vil være nok til 24 timers leverance af varme.

»Perspektivet er, at man ikke behøver konstant opladning – men kan af-tage grøn strøm, når den er billigst hen over et døgn. Driftssikkerhed er naturligvis meget vigtigt, når kunderne bliver industri og kraftværker, som er afhængig af stabil varme- og dampforsyning,« siger Ask Emil Løvschall-Jensen.

Hymes løsning skal konkurrere med fossile anlæg til varme- og dampproduktion. Dette gælder ikke mindst na- ▶

## MOSS – Molten Salt Energy Storage

MOSS-projektet skal teste energilagring i smeltet salt i industriel skala. Som led i projektet etableres det første danske MW-skala-anlæg til lagring af grøn strøm i smeltet hydroxidsalt.

Molten Salt Storage (MOSS) er støttet af Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP) med 13,2 mio. kr. Det samlede budget er på 24,7 mio. kr.

Projektpartnerne: DIN Forsyning, Alfa Laval Aalborg, KIRT x THOMSEN, SAN Electro Heat A/S, SULZER, Seaborg, Aalborg Universitet, Hyme og Energy Cluster Denmark. Projektet afsluttes i 2024.







Vitor Eboli Paiva, Thermal Hydraulics Engineer, og Ask Emil Løvschall-Jensen, CEO, i Hymes prototype-faciliteter på Amager – foran 'furnace', der bliver brugt til at teste forskellige materialer i kontakt med lagringsmaterialet (NAOH) ved høj temperatur.

turgaskedler, når der er brug for temperaturer over 180 °C.

»En stor del af industrien har brug for temperaturer over 200 °C, hvor varmepumper ikke kan følge med, hvis det skal være rentabelt. Vi skal være et alternativ til de fossile drevne kedler, som laver højtemperatur varme i dag, og hvor der snart kommer en CO<sub>2</sub>-afgift, som vil hjælpe med at gøre vores løsning konkurrencedygtig,« siger Ask Emil Løvschall-Jensen.

Kunderne kan blive fødevarerindustrien, papir- og papindustrien og kemivirksomheder, som har brug for temperaturer på flere hundrede grader i deres processer.

»Det første store kommercielle salt-anlæg kan komme til at stå i Danmark. Vi er i dialog med mulige kunder, og rammebetingelserne er gode for denne type anlæg. Der er blandt andet en tilskudsordning til industrien, når de udfører fossile anlæg. Men vi kigger også ud i Europa. Alle steder, hvor der er meget vind- og solenergi, kan man få brug for lagring af grøn strøm for at balancere den fluktuerende produktion,« siger Ask Emil Løvschall-Jensen.

### Interessante dimensioner

Pilotanlægget forventes idriftsat i begyndelsen af 2024 og bliver placeret hos Semco Maritime i Esbjerg. Her er maskinmester Per Lovin Senior Project Manager og fungerer som projektleder for EPC-delen af anlægget.

»Set fra et maskinmestersperspektiv er termisk lagring af grøn strøm med smeltet salt en meget interessant, ny mulighed for at balancere nettet, når der er overskud af grøn strøm – og samtidig kunne udnytte varmen i energiproduktion. Hvis det lykkes at få teknologi- ▶





## Moss – flydende salt

**Støttebeløb:** 13,2 millioner kroner fra EUDP.

**Egenfinansiering:** 13,9 millioner kroner.

**Projektbudget:** 27,1 millioner kroner.



en op i kommerciel skala, er jeg ikke i tvivl om, at maskinmestre kommer til at arbejde med disse anlæg,« siger Per Lovin.

Pilotanlægget i Esbjerg får dimensionerne 10x10x5 meter.

»Dimensionerne er også interessante, da teknologien potentielt er meget

mindre pladskrævende end elektriske batterier og andre typer varmelagre med samme effekt,« siger Per Lovin.

MOSS-anlægget får cirka 20 ton salt hældt på, og målet er at få mindst 3.000 driftstimer. Den tilførte spænding er 10 kV, og temperaturerne vil være på henholdsvis cirka 400 °C og

600 °C i den kolde og varme tank, som saltet cirkulerer imellem, når den opvarmes. Selve materialet til tanke og rør er Inconel, der er en særlig resistent legering.

I driftsperioden skal pilotanlæggets effektivitet og driftssikkerhed testes: Er virkningsgraderne som forventet?





Illustration af det kommende MOSS-anlæg som skal demonstrere energilagring op til 650 °C med flydende hydroxid-salt. Anlægget er etableret hos Semco Maritime i Esbjerg.

Illustration: KIRT x THOMSEN

ne teknologier skal levere energi til Bornholms Energi & Forsynings kraftvarmeværk i Rønne.


»Projektet på Bornholm får 20 gange mere kapacitet end anlægget i Esbjerg – og skal forhåbentlig blive en blivende del af energiproduktionen på Bornholm,« siger Ask Emil Løvschall-Jensen.

2LiPP står for 'Second Life for Power Plants', og på anlægget i Rønne skal det termiske saltlager erstatte en oliekedel, levere damp til interne processer og drive en turbine og generator på kraftvarmeværket. Det termiske saltlager suppleres af henholdsvis et svinghjulsbatteri og et stort litiumbatteri. Tilsammen skal de tre anlæg lagre og udnytte strøm fra sol- og vindenergi.

Hvis erfaringerne med de nye energiløsninger på Bornholm falder fordelagtigt ud, kan kraftvarmeværker blive blandt kunderne til termiske lagre baseret på flydende salt.

»I MOSS-projektet ser vi på forskellige applikationsmuligheder for termiske lagre med smeltet salt. Perspektiverne er store for både industri, kraftværker og varmeforsyningen – særligt de store fjernvarmenet herunder deres behov for spidslast,« siger Claus A. Nielsen.

Han ser de flydende saltteknologier som en potentielt vigtig del af sektorkoblingen, balancering af elnettet og en mulighed for synergi med kommende store PtX-anlæg.

»Selv om størstedelen af den grønne energi skal komme som el fra sol- og vindenergi, vil der stadig være brug for termiske værker, og her kan store højtemperatursaltlagre erstatte kedler og levere damp til turbiner, så der kan laves grøn strøm uden sol og vind og leveres varme ved mange forskellige temperaturer – herunder til industri og fjernvarme,« siger Claus A. Nielsen. 

Fungerer styring og regulering efter hensigten?

»Når testen af anlægget er afsluttet, og alle relevante driftsdata er høstet, bliver det skilt ad, så man kan analysere den fysiske påvirkning af materialer og komponenter. Resultaterne vil dermed kunne danne grundlag for

kommende, større anlæg,« siger Per Lovin.

### Saltlagre på termiske værker

Testanlægget i Esbjerg bliver en forløber for et endnu større termisk saltlager, som Hyme etablerer som led i det såkaldte 2LiPP-projekt, hvor tre grøn-





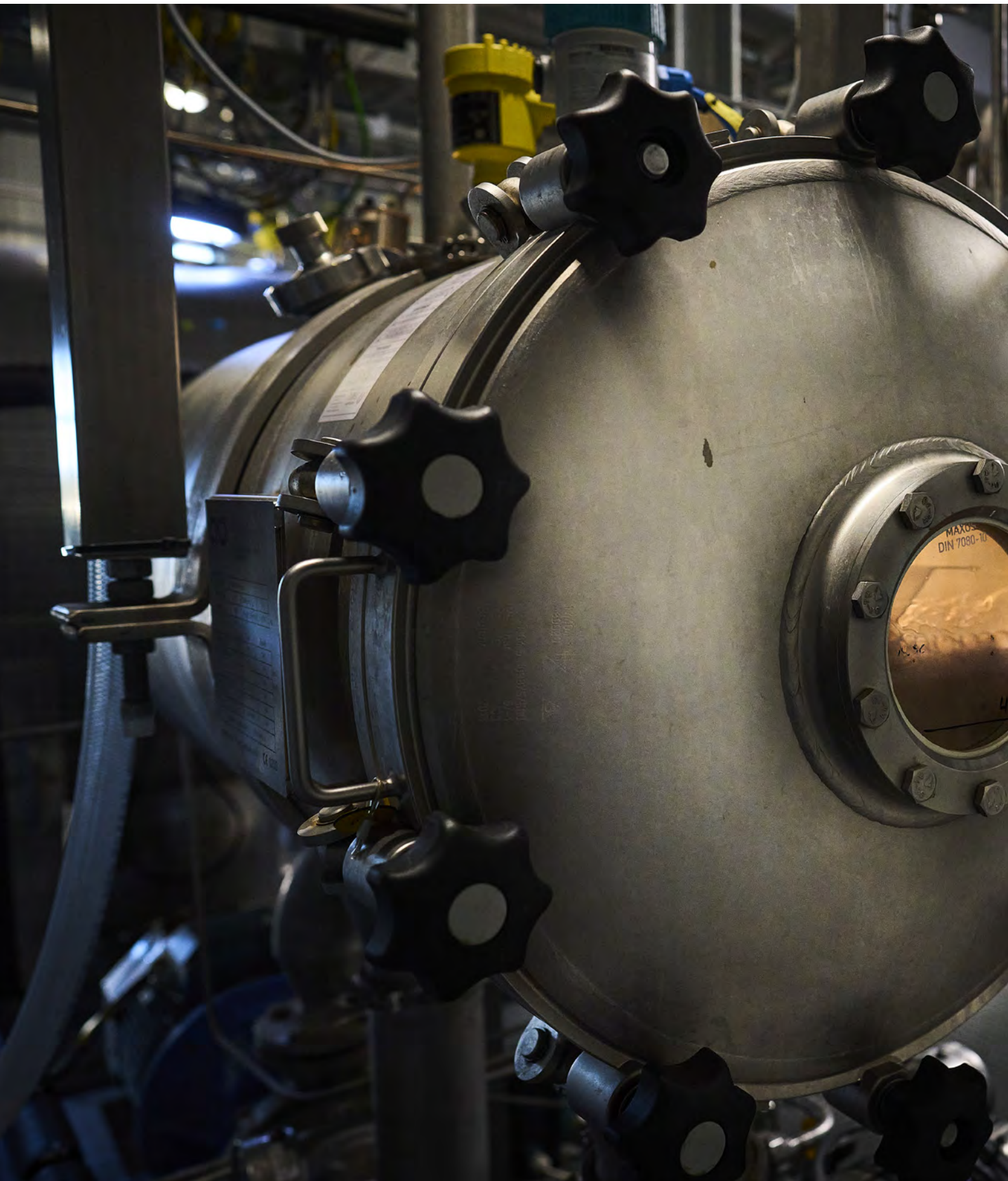





jobio

**PtX skal skabe  
nye, industrielle  
værdistrømme**









**PtX Cluster Zealand skal afdække mulighederne for at skabe maksimal synergi mellem kommende PtX-processer og virksomheder på Sjælland. Pilen peger på Kalundborg som potentiel PtX-hub.**

**P**tX og Kalundborg rimer ikke. Men måske skal den vestsjællandske fjordby alligevel forberede sig på at blive en fremtidig PtX-hub i Østdanmark.

Mange forudsætninger er i hvert fald til stede i Kalundborg: Havnefaciliteter, højspændingsforbindelser, et stort kraftvarmeværk, landets største raffinaderi, store pharma- og industrivirksomheder og en underskov af innovationsdrevne SMV'er i den grønne sektor.

Mange af aktiviteterne i PtX Cluster Zealand-projektet tager netop udgangspunkt i Kalundborg, og flere af de deltagende virksomheder har faciliteter og anlæg her. Projektet skal afdække mulighederne for at skabe at skabe maksimal synergi mellem kommende PtX-anlæg og virksomheder på Sjælland. Mere konkret: Hvordan kan PtX-strømme henholdsvis leveres til og modtages fra lokale virksomheder?

En af virksomhederne er Unibio A/S, som har udviklet en patenteret teknologi til fremstilling af protein, ►

Unibios patenterede fermentortechnologi til produktion af proteinprodukt. På billedet ses fermenteringsvæsken, der indeholder det flydende protein på et tidligt stadie i produktionsprocessen.



der anvendes i dyrefoder. Unibio har et demonstrationsanlæg med adresse i Kalundborg.

»Vores proces er afhængig af store mængder metan og ilt, som er vores dyreste råvare. Så prisen på de to energi-strømme er meget afgørende for, hvor man etablerer et Unibio-anlæg. Foreløbig er vores marked i lande med lave priser på metan og ilt, men hvis vi kan få adgang til biometan og billig ilt i Danmark fra PtX-processer, vil det øge muligheden for en dansk Unibio-produktion,« siger Michael Elleskov, Technology Specialist, Unibio.

Iltten skulle i så tilfælde komme fra et elektrolyseanlæg, hvor brint og ilt er de to værdistrømme fra spaltningen af vand.

»Hvis der kommer PtX-anlæg i industriel skala, vil der sandsynligvis også komme et marked for både brint og ilt, som måske vil gøre Unibio-produktion rentabel i Danmark,« siger Michael Elleskov.

### Ilt fra elektrolyse

Som led i PtX Cluster Zealand-projektet har Unibio regnet på mulighederne for at indgå i et PtX-grid på Vestsjælland.

»Ud over muligheden for at modtage ilt fra elektrolyse i en PtX-proces har vi også i projektet set på muligheden for at aflevere CO<sub>2</sub> fra vores proces tilbage til et PtX-grid. Vi har i projektet – med hjælp fra DTU – fået lavet beregninger, som viser, at det teknisk vil kunne lade sig gøre at modtage ilt og aflevere CO<sub>2</sub> fra vores udlednings-

røggas tilbage til lagring eller PtX-produktion. Vi vil ikke selv etablere et elektrolyseanlæg for at få ilt, men vi vil gerne aftage ilt fra et kommercielt brintanlæg, hvor ilten er et biprodukt fra elektrolysen. På den måde vil vores anlæg kunne tænkes ind i en PtX-værdikæde, hvor virksomheder indgår i en slags symbiose med hinanden,« siger Michael Elleskov.

PtX-processer vil kunne omfatte værdistrømme som blandt andet brint, CO<sub>2</sub>, ilt, overskudsvarme og køling – og de grønne brændstoffer vil kunne være metanol (brint og biogen CO<sub>2</sub>) og ammoniak (kvælstof og brint).

»Hvis man antager, at et PtX-anlæg skal producere e-metanol, vil der være brug for biogen CO<sub>2</sub> og brint. CO<sub>2</sub> fra vores udledningsrøggas vil på den måde kunne bidrage til metanolproduktion og udgøre et ekstra forretningsben for vores anlæg,« siger Michael Elleskov.

### Brug for CO<sub>2</sub>-infrastruktur

CO<sub>2</sub> bliver en vigtig ingrediens i PtX-processerne – for eksempel biogen CO<sub>2</sub>, der kan komme fra blandt andet biogasopgradering eller CO<sub>2</sub>-fangst fra afbrænding af biomasse og fra affaldsforbrænding. For Ørsted, som også har deltaget i PtX Cluster Zealand, udgør CO<sub>2</sub> en ny, potentielt stor værdistrøm.

Biogen CO<sub>2</sub> kan som udgangspunkt blive lagret i undergrunden enten onshore eller offshore. Det sker allerede i Nordsøen, og de første danske onshore CO<sub>2</sub>-lagre kan snart komme på tegnebrættet. Der er mulige lokati-

oner på Sjælland ved blandt andet Stenlille og Havnsø.

»På sigt vil vi gerne benytte infrastruktur til at transportere CO<sub>2</sub>, som jo ikke eksisterer i dag. Hvis man vil have anvendelse til for eksempel PtX og lagring af CO<sub>2</sub> op i skala – og måske skal transportere store mængder CO<sub>2</sub> for eksempel på tværs af Sjælland, ser vi sandsynligvis ind i at skulle etableret et ledningsnet, lige som man taler om at etablere infrastruktur til transport af brint. CO<sub>2</sub>-delen er blevet er belyst i dette projekt,« siger Niels Peter K. Nielsen, Senior Concept Manager hos Ørsted.

Sideløbende med undersøgelserne der er knyttet til PtX-projektet, er Ørsted i gang med at etablere en CCS-løsning, som skal opfange CO<sub>2</sub> fra både Avedøreværkets halmkedel og Asnæsværkets fliskedel – og transportere denne CO<sub>2</sub> til havnen i Kalundborg, hvorfra den bliver udskibet og lagret off-shore omtrent to kilometer under havbunden ud for Bergen.

Det sker som følge af, at Ørsted har vundet et statsligt CCS-udbud, der medfører, at der gives tilskud til CCS-processen de næste tyve år.

»Men potentialet er langt større end de 430.000 ton CO<sub>2</sub>, som vi kommer til at lagre årligt fra Avedøreværket og Asnæsværket. Hvis vi kigger mod København, udledes årligt flere millioner ton CO<sub>2</sub> fra kraftvarmeverker og affaldsforbrændingsanlæg, som enten kan lagres eller anvendes i PtX-processer. Men spørgsmålet er, om det er mest hensigtsmæssigt at udskibe eller etablere PtX-anlæg i København, eller

**»Hvis der kommer PtX-anlæg i industriel skala, vil der sandsynligvis også komme et marked for både brint og ilt, som måske vil gøre Unibioproduktion rentabel i Danmark.«**

Michael Elleskov, Technology Specialist, Unibio.





Et eksempel på Unibios færdige proteinprodukt i pulver/pille-form.

man vil lave en CO<sub>2</sub>/PtX-hub omkring Kalundborg, hvor meget af den nødvendige infrastruktur findes i forvejen. Det afhænger blandt andet af den fremtidige CO<sub>2</sub>-infrastruktur,« siger Niels Peter K. Nielsen.

### Elektrolyse i Kalundborg

En tredje partner i PtX Cluster Zealand-projektet har været Algiecel, som producerer proteinrige alger, der kan anvendes i blandt andet kosttilskud til dyr og mennesker. Algiecel har udviklet en såkaldt foto-bioreaktor, der kan transformere CO<sub>2</sub>-udledning fra industrien til værdifulde sidestrømme.

I processen med at gro de encellede mikroalger omsættes CO<sub>2</sub> til ilt. Dermed fjernes CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Dette

sker, når alger – gennem fotosyntese – bruger sollys til at omdanne CO<sub>2</sub> og vand til ilt og glukose.

Algerne gror i plastrør, som udsættes for LED-lys. Sådan kopieres processen i havene, hvor CO<sub>2</sub> optages i vandet og koncentreret til biomasse, som indgår i den marine fødekæde. Det er en naturlig proces, der som minimum er CO<sub>2</sub>-neutral – og i bedste fald er CO<sub>2</sub>-negativ.

En fjerde virksomhed i projektet er Dynelectro, som udvikler løsninger til selve elektrolysen, der spalter vand til ilt og brint, og som dermed er forudsætningen for de øvrige PtX-processer.

Dynelectro bygger sine løsninger på at bruge fastoxid til højtemperaturolektrolyse, som forventes at mindske spild- ▶







Unibios proces er afhængig af store mængder metan og ilt, som er den dyreste råvare. Så prisen på de to energistrømme er meget afgørende for, hvor man etablerer et Unibio-anlæg. Her ses Michael Elleskov, Technology Specialist, ved Unibios anlæg i Kalundborg.





varmen og forhøje virkningsgraden. Hos Dynelectro er etableret en elektrolyseenhed på 30 kW, der skal bringe teknologien et vigtigt skridt videre på vejen mod kommercialisering.

I alt deltager fem SMV'er i PtX Cluster Zealand-projektet. Sammen med flere aktører fra energi- og forsyningsbranchen – foruden DTU – arbejder de hen imod at identificere mulige og rentable hoved- og sidestrømme i PtX-processer.

### CO<sub>2</sub>-lagring muliggør fleksibelt forbrug

Som led i Ørstedes CCS-projekt skal CO<sub>2</sub> transporteres med lastbil til havnen i Kalundborg. Men på sigt kan der måske etableres rørforbindelse til transport af CO<sub>2</sub> på tværs af Sjælland, hvor aftagere eller emittere af CO<sub>2</sub> kan koble sig på.

Der tales også om etablering af et onshore CO<sub>2</sub>-lager ved Stenlille, hvor der allerede er et stort naturgaslager. Desuden er undergrunden ved Havnsø – nordøst for Kalundborg og ud til Sejerøbugten – sandsynligvis også velegnet til CO<sub>2</sub>-lagring. Hvem der i så fald skal stå for rørforbindelser og onshore lagre er endnu uafklaret. Men det vil kræve investeringer i milliardklassen, uanset om det bliver statslige eller private aktører, som får opgaven.

»Der er nye statslige udbud på vej, som vil kunne tilvejebringe endnu mere CO<sub>2</sub>-fangst. Så er spørgsmålet, hvad vi skal gøre med al den CO<sub>2</sub>. Vi kan lagre den offshore eller onshore. Det sidste kan være det billigste og vil være oplagt, hvis man skal til at anvende CO<sub>2</sub> i PtX-processer på Sjælland, idet det kræver etablering af landbaseret infrastruktur,« siger Niels Peter K. Nielsen.

Muligheden for lagring vil på sigt muligvis kunne understøtte en fleksibel brug af CO<sub>2</sub>, så man også tager højde for sæsonvariationer i behovet.

»Det er nødvendigt med en buffer, hvis behovet ikke er konstant eller en-til-en men varierer over tid. CO<sub>2</sub>-lagrenes bufferkapacitet er endnu usikker, men i givet fald vil det være en yderligere gevinst, hvis det lykkes at få en tilstrækkelig infrastruktur til PtX op at stå. Både brint og andre af værdistrømmene kan lagres i stor skala,« siger Niels Peter K. Nielsen.


### Symbioser i Kalundborg

I partnerskabet Kalundborg Symbiose er der mere end 50 års erfaring i udnyttelse af sidestrømme – med det formål at gavne virksomhedernes økonomi, lokalsamfundet og miljøet.

»Når restprodukter fra industrien udnyttes lokalt på tværs af sektorer, skaber samarbejdet værdi og gør ting mulige, som ellers ikke var det. Symbiosesamarbejdet bygger på det overskud, der skabes, når vi tør dele viden om de potentialer, der ligger i industriklyngens fællesmængde. Og det har skabt en helt enestående vækst i Kalundborg. Vi har på et tidligt tidspunkt engageret os i fremtidsplanerne for PtX, fordi vi tror på, at netop udnyttelse af sidestrømmen ind og ud af PtX-produktionen vil skabe værdi for både nye og eksisterende lokale virksomheder,« siger Lisbeth Randers, sekretariatschef, Kalundborg Symbiose.

Som en del af projektet er udarbejdet rapporten 'Biosolutions and Power-to-X: Sector Coupling in a World Leading Industrial Symbiosis', der blandt andet beskriver potentialer

i kobling af de to teknologier rapporten samt 'Scenarios for PtX Symbiosis in Kalundborg', hvor der er regnet på tre forskellige PtX business cases.

»Til sammen giver de et godt overblik over muligheder og udfordringer – og danner et godt grundlag for beslutningen om et eventuelt PtX-anlæg i Kalundborg,« siger Sif Kjølby, projektleder, Knowledge Hub Zealand. 



## PtX Cluster Zealand

Projektet er et innovativt samarbejde mellem fem højteknologiske SMV'er, der hver for sig og sammen har et stort potentiale i at løse udfordringen med at gøre PtX mere bæredygtig – både økonomisk og klimamæssigt.

Kernen i PtX Cluster Zealand er således omstillingen fra bæredygtig elproduktion til PtX og mulighederne for at udnytte restprodukter til fødevarerproduktion. Derudover afdækkes den potentielle værdi af projektets vare- og energistrømme i projektet og behovet for ny infrastruktur (gasledninger) regionalt og interregionalt.

PtX Cluster Zealand har – på baggrund af Danmarks Erhvervsfremmebestyrelses indstilling – fået bevilliget 24,5 mio. kr. i tilskud fra Den Europæiske Regionalfond. Det samlede budget er på 33,1 mio. kr. Projektet afsluttes i 2023.

### Projektdeltagere

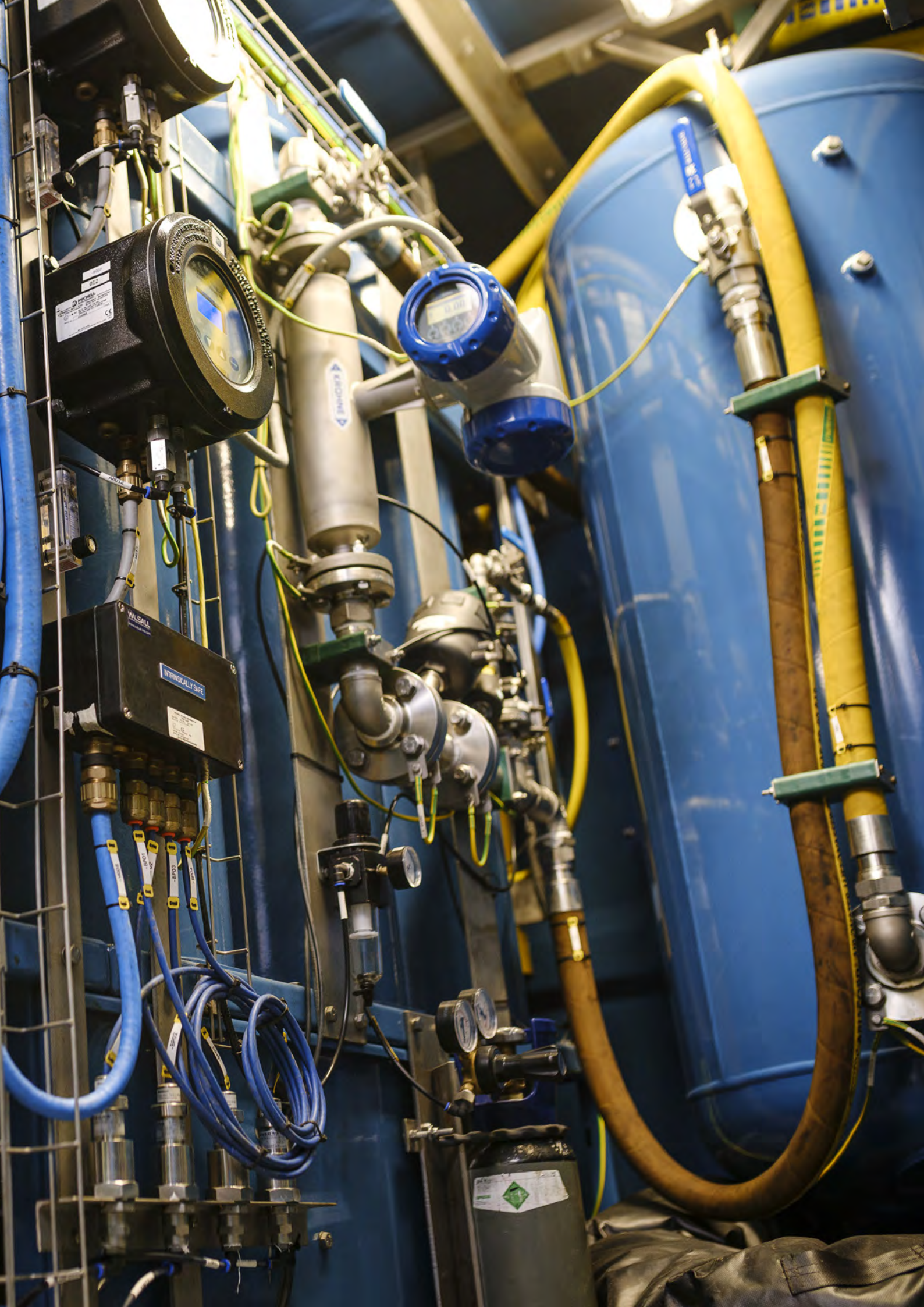
Erhvervshus Sjælland, Knowledge Hub Zealand, Energy Cluster Denmark, DTU KemiTeknik, Kalundborg Symbiose, Ørsted Bioenergy & Thermal Power A/S, Dynelectro ApS, Nordphos ApS, Algiecel ApS, Unibio A/S, G2B Biosolution ApS. Med opbakning fra Kalundborg Forsyning, Kalundborg Refinery, Evida og Gas Storage Denmark.

**Støttebeløb:** 24,5 millioner kroner fra EU's Regionalfond.

**Egenfinansiering:** 8,6 millioner kroner.

**Projektbudget:** 33,1 millioner kroner.









 **energy** CLUSTER  
DENMARK

Tlf. 3697 3670  
info@energycluster.dk  
www.energycluster.dk