

Analyse af AMU-uddannelsesbehov i relation til teknologiudviklingen inden for det maritime område



Indholdsfortegnelse

| | |
|--|-----------|
| Indledning | 4 |
| Metodeovervejelser | 4 |
| Resumé | 6 |
| Del 1: Udviklingen inden for den professionelle skibsfart | 8 |
| 1 Skibsfart som bæredygtig transportform | 9 |
| 1.1 Skibsfartens emissioner | 10 |
| 1.1.1 Udledningen fra krydstogtskibe | 11 |
| 2 Virkemidler til reduktion af skibsfartens emissioner | 13 |
| 2.1 LNG (Liquified Natural Gas) | 15 |
| 2.2 Batteridrift og hybridløsninger | 16 |
| 2.2.1 Brændselsceller | 18 |
| 2.3 Øvrige udviklingstendenser | 20 |
| 2.4 Tidshorizont for ny maritim efteruddannelse | 22 |
| 3 Teknologier til elektrisk fremdrift af skibe | 23 |
| 3.1 Batteridrift | 23 |
| 3.1.1 Lithiumbatterier og batteripakker | 24 |
| 3.1.2 Elfærgen Ellen | 25 |
| 3.2 Hybriddrift | 28 |
| 3.2.1 Hybriddrift i undervisningen | 30 |
| 3.2.2 NMEA 2000-netværk | 34 |
| 3.3 Brændselsceller til fremdrift af skibe | 35 |
| Del 2: Fritidsbåde og mindre erhvervsfartøjer | 38 |
| 1 Emissioner fra fritidsbåde | 39 |
| 2 Udviklingen inden for mindre eldrevne fartøjer | 40 |
| 3 Teknologier til elektrisk fremdrift af mindre fartøjer | 41 |
| 3.1 Batterier, batteripakker og ladeanlæg | 41 |
| 3.1.1 Batteripakker fra bilbranchen | 41 |
| 3.1.2 Uddannelsesmæssige overvejelser | 42 |
| 3.2 El-motorinstallationer og hybridløsninger | 42 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 3.3 | NMEA 2000-netværk i fritidsbåde og mindre fartøjer | 44 |
| Del 3: Behovet for efteruddannelse | | 48 |
| 1 | Den maritime branche i tal | 49 |
| 1.1 | Estimat af målgruppens størrelse | 49 |
| 2 | Skibsmontøruddannelsens teknologiske efterslæb | 52 |
| 2.1 | Mekanikerprofilen som inspiration | 53 |
| 2.2 | Efteruddannelse rettet mod det teknologiske efterslæb | 55 |
| 2.2.1 | Udspil til efteruddannelseskurser | 55 |
| 2.3 | Efteruddannelse rettet mod eldrift og digitalisering..... | 57 |
| 2.3.1 | Udspil til efteruddannelseskurser | 58 |
| | Grundlæggende kursus i lithiumbatteripakker | 58 |
| | Afsluttende bemærkninger | 59 |

Indledning

Formålet med analysen er at undersøge, om der er nye udækkede efteruddannelsesbehov inden for det maritime område med henvisning til især en stigende anvendelse af el-tekniske løsninger til fremdrift af skibe inden for den professionelle skibsfart og fritidsfartøjer herunder batteridrift og hybridløsninger.

Analysearbejdet er gennemført af Svend Jensen, ERA – Erhvervspædagogisk Rådgivning i samarbejde med Industriens Uddannelser. Følgende virksomheder har deltaget i analysearbejdet:

| | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Hirtshals Yard | Søby Shipyard på Ærø |
| Orskov Yard i Frederikshavn | Vestergaard Marine i Frederikshavn |
| Hvide Sande Shipyard | Hans Jensen Lubricators i Hadsund |
| Karstensens Skibsværft i Skagen | Solbåden.dk i Aarhus |
| Jobi Værft i Strandby | Sondrup Marine i Gylling |
| Tuco Marine Group i Faaborg | Havneservice Marinecenter Horsens |
| Hanstholm Skibssmedie/værft | |

Der er desuden gennemført telefoninterviews med virksomhederne Lithium Pro vedrørende udviklingen inden for Lithium-batterier og Blue Bay Marine i Silkeborg samt Dansk Marine Center i Risskov om udviklingen inden for el-drift af fritidsfartøjer.

Som en del af analysearbejdet blev der afholdt en workshop på følgende skoler: EUC-Nord i Frederikshavn, Svendborg Erhvervsskole og Gymnasium, Rybners i Esbjerg samt U/Nord i Hillerød. Deltagerne var lærere, ledere, uddannelsesudvalgsmedlemmer og medarbejdere fra lokale virksomheder. Fra Industriens Uddannelser deltog Merete Hende i Hillerød og Johnny Kristensen i Frederikshavn. Fra MARCOD deltog ingeniør Erik Møller og maritim uddannelseskoordinator Anette H Sørensen – fra Fyns Maritime Klynge deltog chefkonsulent Steen Nielsen. De deltagende virksomheder var: MAN Energy Solutions, Vestergaard Marineservice, Ørskov Skibsværft, Petersen & Sørensen Motorværksted, Dragør Bådeværft, Hundested Bådeværft og Kystliv Holbæk.

Workshoppen, der havde en varighed på 2 timer, blev gennemført ud fra et udsendt program og startede med et oplæg af Svend Jensen, ERA. Efterfølgende blev oplæggets temaer drøftet systematisk sammen med indspil fra deltagerne.

Metodeovervejelser

Analysens fokus ligger på uddannelsesbehov i relation til el-drift af fartøjer, dog inddrages også andre væsentlige el-tekniske udviklingstræk inden for det maritime område, som har betydning for efteruddannelse af faglærte. Målgruppen er skibsmontører, skibsmekanikere, bådebyggere og bådmekanikere. Virksomhedspopulationen er sammensat på denne baggrund.

I analysearbejdets første fase er der gennemført en desk research, hvor tekniske rapporter, publikationer, hjemmesider, jobannoncer m.m. er gennemgået suppleret med et længere interview med ingeniør

Erik Møller hos MARCOD i Frederikshavn. Erik Møller er i besiddelse af en meget omfattende viden om el-drift af skibe og følger udviklingen tæt i hele Danmark og Skandinavien. I interviewet deltog desuden maritim uddannelseskoordinator Anette H Sørensen, der har et tæt uddannelsessamarbejde med de nordjyske maritime virksomheder.

Tilsvarende har ERA interviewet chefkonsulent Steen Nielsen fra Fyns Maritime Klynge. Steen Nielsen har en tæt kontakt til de maritime virksomheder på Fyn og Ærø og har mange års erfaring i arbejdet med maritime uddannelser og efteruddannelse. Formålet med disse to interviews var i det væsentlige at komme dybere i de relevante teknologier og trække på de nævnte personers særlige branchekendskab.

I forbindelse med de efterfølgende virksomhedsbesøg spiller værfterne den mest centrale rolle i forhold til el-drift af skibe og teknologiudviklingen generelt inden for den professionelle skibsfart. Det er hovedsageligt på værfterne at implementeringen af ny teknologi foregår, også i de tilfælde hvor underleverandører og udstyrsspecialister står for arbejdsopgaverne. Sagt på en anden måde så udgør værfterne et stærkt knudepunkt i et netværk af aktører, som reelt fremstiller eller reparerer/ombygger skibet. Værfterne uddanner og efteruddanner derfor den angivne målgruppe af faglærte bortset fra bådmekanikere. Derfor udgør værfterne en væsentlig del af virksomhedspopulationen i analysen.

El-drift af lystfartøjer og fritidsbåde begynder at blive et alternativ til de traditionelle forbrændingsmotorer. Derfor indgår der også nogle særligt udvalgte virksomheder, som har erfaringer med installationer og drift af batterier og elmotorer i fritidsbåde.

Virksomhedsinterviewene er gennemført som kvalitative interviews på baggrund af en spørgeramme og optaget på en digitalrecorder. Efter en indledende telefonsamtale og bekræftende mail er det virksomhederne, der selv udvælger de personer, der skal interviewes. Typisk er der interviewet en teknisk leder med indsigt i teknologiudviklingen i skibe eller fritidsbåde, og som også kender virksomhedens uddannelsesbehov i forhold til målgruppen. I nogle tilfælde har der været flere deltagere fx medarbejdere med den pågældende uddannelse og/eller en medarbejder, der varetager uddannelsesplanlægningen i virksomheden. Citater fra interviews og samtaler er anonymiseret i rapporten med henvisning til ønsker fra interviewpersonerne.

Det viste sig i løbet af virksomhedsbesøgene, at en forholdsvis stor del af interviewpersonerne var temmelig usikre på, hvordan og hvor hurtigt el-drift og især batteridrift vil slå igennem i den maritime branche. På tværs af virksomhederne var der ganske forskellige vurderinger af udviklingen i relation til el-drift i de kommende år, og flere gav udtryk for, at de mangler viden på området. Samtidig var der også forskellige vurderinger af, hvor langt målgruppen for analysen skal gå ind på det el-tekniske område. Som et led i en afklaring af disse spørgsmål er der gennemført egentlige teknologianalyser i tilknytning til skrivning af rapporten. I nogle af rapportens kapitler behandles de relevante teknologier derfor ganske indgående med henblik på at bidrage til en afklaring og samtidig skabe et velunderbygget indspil til indhold og struktur i de efteruddannelseskurser, der er behov for at udvikle. I de anbefalinger, der leveres i denne forbindelse, er der taget højde for tilsvarende kurser under andre fælles kompetencebeskrivelser.

Resumé

Parisaftalen og en række internationale undersøgelser og analyser omkring skibsfartens markante udledninger har i løbet af meget kort tid skabt et stort politisk pres på skibsfarten med henblik på en kraftig reduktion af udledningerne. Samtidig er der også ved at opstå betydelige krav fra kunderne, fx de store internationale logistikfirmaer, om CO2-neutral transport. Især de større rederier er allerede i gang med at udvikle løsninger, der indskrives dem i en bæredygtig udvikling. A.P. Møller Mærsk har udmeldt, at rederiet vil være CO2-neutralt i 2050, hvilket betyder, at det CO2-neutrale skib skal være klar til kommerciel bæredygtig drift senest i 2030. Det CO2-neutrale skib er dermed ikke en fjern fremtidsvision, og det har sat hele branchen under yderligere pres for at tage initiativer rettet mod at reducere udledningerne.

Ifølge organisationen Danske Rederier vil batteridrift og hybridløsninger sammen med andre virkemidler være afgørende for den professionelle skibsfarts bestræbelser på at reducere udledningerne både i forhold til 2030 og 2050 målene. Udviklingen er imidlertid allerede i fuld gang. Helt eller delvist batteridrevne færger vokser ganske hurtigt i udbredelse over hele Europa, og andre fartøjstyper er også ved at komme med. Fx afprøver A.P. Møller Mærsk en hybridløsning med batterier på et containerskib. De toneangivende motorfabrikanter MAN Ernergy Solutions, Wärtilä og Rolls Royce satser alle på hybridløsninger, der i et større eller mindre omfang involverer el-drift med batteripakker. Udviklingen understøttes desuden af et betydeligt fald i prisen på batterier.

Brændselsceller kan blive en "game changer" i forhold til el-drift af køretøjer og skibe inden for en kort årrække. Danmark er førende i verden på dette område både i forhold til forskning og produktionserfaring. Inden for de sidste par år er der taget nogle afgørende initiativer, som kan booste el-drift i skibsfarten under anvendelse af brændselsceller og bæredygtige brændsler som fx metanol. I Hobro bygger Ballard Power Systems en brændselscellefabrik rettet mod den maritime branche herunder brændselsceller til fremdrift af større skibe. I Aalborg bygger Blue World Technologies verdens største brændselscellefabrik, der skal producere 50.000 brændselsceller om året. Begge virksomheder har allerede ordrer på trecifrede millionbeløb.

På baggrund af dette analysearbejde er det ERAs vurdering, at udviklingen inden for el-drift, herunder hybriddrift af skibe, vil komme til at gå væsentligt hurtigere, end mange i dag forestiller sig. Tiden er derfor ikke til at afvente flere signaler om, hvor udviklingen går hen. I stedet skal der hurtigst muligt tages konkrete initiativer til at udvikle et maritimt efteruddannelsesudbud, der både kan rette op på det kompetencemæssige efterslæb, som findes i virksomhederne inden for bl.a. maritim automatik og samtidig sikre skibsmontører og skibsmekanikere efteruddannelse inden for de nye teknologier, der er på vej.

EUC-Nord og Svendborg Erhvervsskole og gymnasium er godt i gang med nye udviklingsinitiativer ved hjælp af fondsmidler og et styrket samarbejde med de lokale maritime virksomheder. Den indkøbte hybridløsning i Svendborg er en god begyndelse, og "skibet" i Frederikshavn viser et flot samarbejde mellem skolen og den Nordjyske maritime branche. Der er rigtig gode muligheder for at udvikle videre på

dette initiativ ikke mindst i forhold til efteruddannelse. Det kan ses som starten på at udvikle et maritimt kompetencecenter svarende til dem, man finder inden for mekanikerområdet.

Udvikling af maritime læringsmiljøer, undervisningsmidler og efteruddannelse af lærerne er meget afgørende for at kunne sikre de maritime virksomheder en relevant efteruddannelse med høj kvalitet. Med henblik på at understøtte det videre udviklingsarbejde, herunder udvikling af AMU-mål og evt. udvikling af en ny fælles kompetencebeskrivelse for det maritime jobområde, er der i rapporten teknologikapitler, som beskriver de nye teknologier mere indgående, men dog på en overskuelig måde.

Udviklingen inden for fritidsfartøjer og mindre erhvervsfartøjer svarer i store træk til den, man ser inden for den professionelle skibsfart. En undersøgelse fra Norge har vist, at emissionerne fra fritidsbåde her er væsentligt større end fra den samlede fiskeriflåde. I Sverige får man skrotningspræmier for at sætte forbrændingsmotorerne på pension og installere batteridrift. Bådebyggere og bådmekanikere er dermed omfattet af den samme udvikling og de samme teknologiske løsninger som skibsmontører og skibsmekanikere. Dette kan lede frem til fælles efteruddannelse på nogle områder i de kommende år.

Alle besøgte virksomheder giver udtryk for, at de har behov for efteruddannelse til skibsmontørerne og lignende medarbejdere, der arbejder som skibsmontører. Der er en generel utilfredshed med, at der ikke findes et egentligt maritimt efteruddannelsesudbud. Der er også behov for efteruddannelse til bådebyggere og bådmekanikere i forhold til el- og hybriddrift.

Samlet set vurderes målgruppen af faglærte smede, skibsmontører, skibsmekanikere og bådebyggere inden for kategorierne "skibsbygning" og "udstyr" at udgøre i alt ca. 3000 personer. I relation til denne målgruppe er det samtidig muligt at definere et jobområde med skibsbygning/bådebygning, reparationer og ombygning af fartøjer samt montage af udstyr som omdrejningspunkt.

Der er generel enighed om, at den nye revision af skibsmontøruddannelsen retter op på det teknologiske efterslæb, som uddannelsen har haft i en del år. Samtidig skaber revisionen også et nyt behov for at efteruddanne de erfarne skibsmontører, sådan at de kommer på højde med de nyuddannede. Dette gælder især inden for maritim automatik og motorstyring med CAN-bus mv.

Der er behov for at sætte udviklingsarbejder i gang, som gør det muligt for skolerne at udbyde efteruddannelseskurser inden for el- og hybriddrift samt digitale netværk i skibene i takt med at uddannelsesbehovene opstår i de maritime virksomheder. En prioriteret rækkefølge kan se således ud:

- Efteruddannelseskursus i Lithium batterier/batteripakker.
- Efteruddannelsespakke (en række kurser) inden for el-drift og hybriddrift.
- Efteruddannelseskursus i NMEA 2000 (maritimt netværk) og CAN-bus.
- Efteruddannelseskursus/kurser i maritime brændselscelleløsninger

Måske skal skolerne satse på at opbygge anlæg med en fleksibel hybridløsning, der både kan vise 100% eldrift med batterier og forskellige hybridløsninger inkl. brændselsceller. Der vil næppe være nogen

grund til at bygge store anlæg. Man kan få det samme læringsudbytte ud af at arbejde på mindre anlæg. Batterikurset og kurset i NMEA 2000 og CAN-bus samt brændselscellekurset/kurser kan også henvende sig til bådebyggere og bådmekanikere. Derudover bliver det også nødvendigt at udvikle en ny fælles kompetencebeskrivelse (FKB) for det maritime område.

Del 1: Udviklingen inden for den professionelle skibsfart

Under besøgene på værfterne og de maritime underleverandører var der meget forskellige vurderinger af, hvor hurtigt el-drift af skibe slår igennem inden for den professionelle skibsfart. Det samme var tilfældet under de afholdte workshops på skolerne. Nogle mente, at der vil gå 5-10 år inden skibsmontører, skibsmekanikere og andre lignende faglærte i et væsentligt omfang vil blive konfronteret med tekniske løsninger til fremdrift af skibe. Andre var af den opfattelse, at efteruddannelse af skibsmontører, skibsmekanikere inden for el-drift af skibe skal iværksættes hurtigst muligt. Enkelte virksomheder har selv taget initiativer i mangel på efteruddannelseskurser inden for styring og regulering mv. i skibe og gennemført kurser på egen hånd i virksomheden.

Citat: "Vi mangler virkelig noget efteruddannelse inden for el-styring til vores skibsmontører. Vi har selv kørt et kursus i virksomheden, fordi vi ikke kunne finde noget maritimt kursus, vi kunne bruge. Det er ikke bare noget generelt om el, vi har brug for. Vi har kørt to kurser, der handlede om elektrisk fejlfinding, og det fik vi maskinmesteren på Læsøfærgen til at køre for os."

Der er også forskellige opfattelser af, hvor dybt man skal gå i de forskellige teknologier. De fleste interviewpersoner ser store kompetencemæssige udfordringer i forhold til den stærkt øgede kompleksitet, som dataopsamling, styring og regulering via CAN-bus samt el-motorer med frekvensomformere m.m. giver anledning til. Et gennemgående træk er, at virksomhederne ønsker, at deres uddannede skibsmontører og skibsmekanikere via efteruddannelse kan opnå det kompetenceniveau, den nyligt reviderede skibsmontøruddannelse etablerer. Samtidig understreger alle, at skibsmontørens styrke netop er den store kompetencemæssige spændvidde, der strækker sig fra smedearbejde over mekanik og motorer til el. Flere interviewpersoner nævner, at udviklingen peger på, at skibsmontørerne skal have en profil inden for skibsfart, der korresponderer med lastvognsmekanikere, som man i øvrigt gerne ansætter, hvis ikke det er muligt at rekruttere en skibsmontør.

Virksomhedsbesøgene/interviewene og de afholdte workshops rejser dermed to vigtige spørgsmål, som fordrer en afklaring, inden det er relevant at behandle de specifikke kompetencebehov nærmere:

- Hvor hurtigt vil udviklingen gå i retning mod en bæredygtig skibsfart og fritidssejlad, hvor el-drift spiller en afgørende rolle. Skal man uddannelsesmæssigt vente og se, hvad der sker i praksis?
- Hvilke teknologier og teknologikonstellationer vil være de mest fremtrædende i de kommende år inden for el-drift af skibe og fritidsfartøjer? Dette spørgsmål handler med andre ord om efteruddannelsens nye genstandsområder.

De to spørgsmål vil blive behandlet i særskilte kapitler på basis af en større desk research med studier af en mængde danske og internationale rapporter og artikler kombineret med de input, der er fremkommet under virksomhedsbesøgene og de afholdte workshops på skolerne. Fritidsfartøjer behandles i et særskilt kapitel.

Et vigtigt bidrag til denne del af analysearbejdet stammer fra ERAs besøg hos MARCOD i Frederikshavn og Fyns Maritime Klynge. Hos MARCOD har ingeniør Erik Møller bidraget med indsigt i både regler og teknologi inden for el-drift af skibe, og uddannelseskonsulent Anette Sørensen har fortalt om en række uddannelsesmæssige problemstillinger i den maritime branche i Nordjylland. Hos Fyns Maritime Klynge har chefkonsulent Steen Nielsen tilsvarende givet et stort input i forhold til kompetencebehov og udviklingen i de maritime virksomheder på Fyn, herunder i forhold til el-færgen "Ellen".

Som overskriften på dette hovedkapitel indikerer, så er det nødvendigt til en begyndelse at afklare, hvad man forstår ved den professionelle skibsfart.

Med den professionelle skibsfart menes en erhvervmæssig anvendelse af skibe i set i modsætning til privates anvendelse af sejlbåde, motorbåde og joller til fritidsformål. Inden for den professionelle skibsfart anvendes mange forskellige skibstyper og størrelser. De største kategorier er fragtskibe, passagerskibe og færger samt fiskerskibe. Derudover findes en større mængde specialskibe fx isbrydere, forsyningskibe til off-shore anlæg, slæbebåde, redningsskibe, krigsskibe m.fl.

Et fællestræk ved den professionelle skibsfart er anvendelsen af store forbrændingsmotorer til fremdrift, i det væsentlige dieselmotorer, der for de store motorers vedkommende typisk anvender svovlholdig bunkerolie. En række nyere analyser af skibsfartens udledninger har skabt en betydelig politisk opmærksomhed omkring skibsfartens udledninger, og bl.a. Frankrig stiller nu krav om afgift på fossilt brændstof til skibe. Shell anser også afgifter som en vej til at skabe mere innovation til fordel for en mere bæredygtig skibsfart baseret på fossilfrie løsninger.

1 Skibsfart som bæredygtig transportform

Under virksomhedsbesøgene var der en generel opfattelse af, at skibsfarten i de kommende år vil stå overfor et stærkt stigende politisk og markeds-mæssigt pres for at reducere udledningerne markant. Med A.P. Møller Mærskes udmelding om, at rederiet vil være CO2 neutralt i 2050, er der igangsat initiativer i branchen, som inden for de nærmeste år vil sætte nye teknologiske dagsordner for, hvordan man bygger nye skibe og gennemfører renovering af de eksisterende (retrofit). Det er vigtigt at anskue el-drift i dette større perspektiv, hvor fokus ligger på bæredygtig skibsfart mere generelt. Betydningen af el-drift vil naturligvis være påvirket af andre alternativer, der eventuelt er til rådighed.

ERA har med dette afsæt gennemgået en større mængde danske og internationale rapporter, analyser og artikler med henblik på at vurdere el-driftens rolle i skibsfarten i de kommende år sammenholdt med andre tiltag. Denne bestræbelse skal sigte imod at nuancere og underbygge de kvalitative interviews i virksomhederne og på denne baggrund levere nogle velfunderede uddannelsesmæssige vurderinger senere i rapporten.

1.1 Skibsfartens emissioner

I dagspressen udgives jævnligt artikler om skibsfartens udledninger af svovl, sodpartikler og CO₂. Talene optræder i mange forskellige sammenhænge og kan være svære at sammenligne.

På den ene side fremhæves skibsfarten som den mest bæredygtige transportform målt i forhold til transporteret godsmængde og på den anden side er skibsfartens samlede udledning af CO₂, svovl og sodpartikler meget stor. Begge dele er rigtige, men det er vigtigt at få hold på sammenhængen og proportionerne, da dette er centralt for at forstå teknologiudviklingen frem mod en bæredygtig skibsfart.

Et skib er meget bæredygtigt set i forhold til CO₂-udledningen fra andre transportformer. Gods fragtet med tog udleder 2-7 gange mere CO₂ pr. ton transporteret gods, mens godstransport fragtet med lastbil udleder 5-15 gange mere CO₂ end gods fragtet med skib. I forhold til global opvarmning er skibsfart altså en favorabel transportform. Men da skibsfart samtidig udleder flere hundrede gange mere SO₂ og over 50 gange flere partikler end moderne lastbiler pr. ton transporteret gods, så er skibsfart samtidig et alvorligt miljøproblem¹.

Som tabellen herunder viser, så er skibsfartens forurening meget stor sammenlignet med landbaserede kilder. NO_x, som man har gjort store indsatser for at reducere i transportsektoren, i industrien og i kraftværker på land, er et betydeligt forureningsproblem i skibsfarten ligesom svovl og partikler.

De større skibe har i mange år hovedsageligt anvendt tung fuel olie som brændstof. Dette brændstof indeholder omkring 3,5 % svovl, der ved forbrænding frigives som svovldioxid. Denne svovldioxid er giftig for mennesker, og forårsager hvert år et højt antal tidlige dødsfald i Europas befolkninger. I atmosfæren reagerer svovldioxid videre og bindes til vand, hvorved der dannes svovlsyre. Dette giver anledning til syreregn, som er årsag til skovdød og forsurening af vandmiljøer. I de senere år er der derfor indført regulering af svovlindholdet i brændstof, der bruges i de såkaldte SECA zoner, som omfatter Østersøen og en del af Nordsøen. Fra 1. januar 2015 er der indført en grænse på maksimalt 0,1 % svovl i brændstoffet. Alternativt skal røggassen renses for svovl, hvilket foregår i en skrubber, der er indbygget i skibets skorsten.

Til sammenligning må diesel på landjorden maksimalt indeholde 0,001% (10mg/kg). Dieselbrændstof til skibe må altså efter den seneste regulering indeholde 100 gange så meget svovl som diesel i køretøjer på landjorden.

De øvrige emissioner fra skibe i alle farvande reguleres gennem direktivet MARPOL 73/78, som er udarbejdet af den internationale maritime organisation, IMO. I direktivets punkt 13 reguleres NO_x fra nye skibes motorer. Den seneste stramning (Tier III) medfører at skibe som bygges fra 1. januar 2021 skal reducere udledningen af NO_x med 75 % i forhold til tidligere.

¹ Oplysningerne stammer fra rapporten: *Renere Skibsfart - Fokus på luftforurening, tekniske løsninger, regulering og erhvervspotentialer*. Det økologiske Råd, 2. udgave 2018.

De strammede reguleringer har haft stor betydning for skibsfarten i form af øgede brændstofudgifter og dyre ombygninger, især indenfor SECA-zonerne. Kravet om reduktion af svovludledninger er hovedsageligt blevet opfyldt ved at skifte til brændstof med lavt svovlindhold, men nogle rederier har i stedet valgt at installere SO_x skrubbere i skorstenen på flere af deres skibe.

Målet for reduktion af NO_x fra nye skibe kan i praksis kun opfyldes ved at installere SCR-katalysatorer i skibenes udstødningssystemer, så længe skibene anvender dieselmotorer. Der er dog også mulighed for at bruge naturgas eller dual fuel motorer, som kan opfylde IMO Tier III kravene.

1.1.1 Udledningen fra krydstogtskibe

Nyere undersøgelser og analyser har afsløret at krydstogtbranchen har særdeles høje udledninger. European Federation for Transport and Environment² har i 2019 gennemført en analyse af krydstogtskibenes udledning af skadelige stoffer i Europa. Dette har ført til bemærkelsesværdige resultater, som også har medført krav om regulering fra politikere og miljøorganisationer.

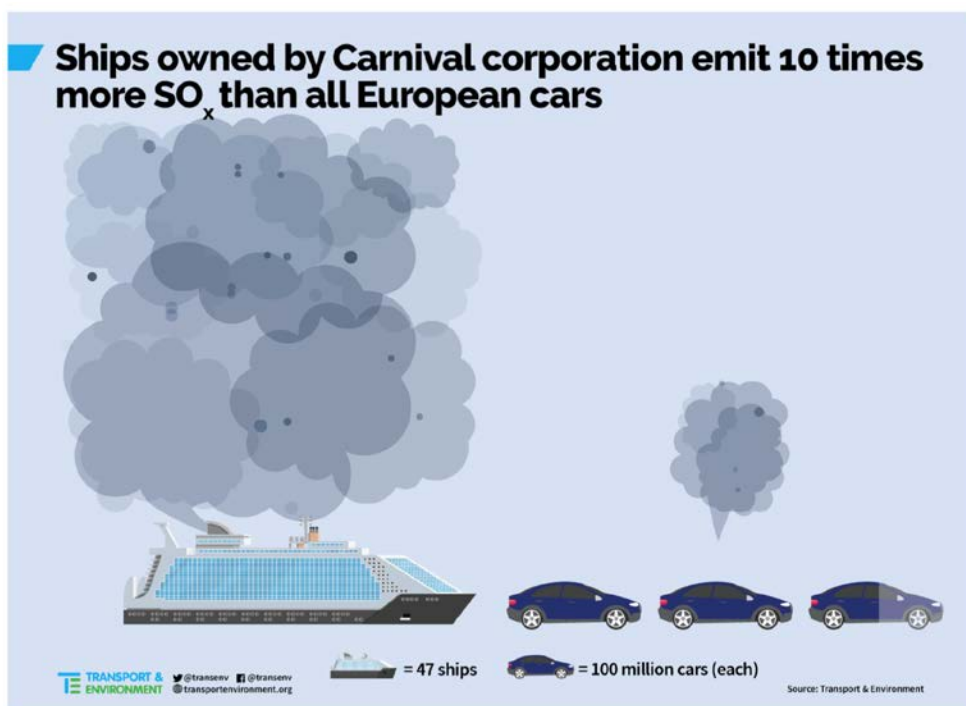


Figure 4: Comparison of SO_x emissions in 2017 by Carnival-owned ships with all European passenger cars, T&E.

Som det ses på skitsen på foregående side, udledte skibene fra verdens største krydstogtrederi Carnival Corporation & PLC (47 skibe) i 2017 **ti gange** så meget kræftfremkaldende svovldioxid (SO₂) i europæiske farvande som alle Europas mere end 260 mio. biler til sammen.

² *One Corporation to Pollute Them All - Luxury cruise air emissions in Europe*. European Federation for Transport and Environment, June 2019.

Danmark indgår også i analysen og selvom Danmark ligger i den såkaldte SECA-zone, hvor svovlindholdet i brændstof højst må ligge på 0,1 pct., er forureningen fra de gæstende krydstogtskibe også voldsom her, viser rapporten. I 2017 udledte krydstogtskibene i danske farvande **atten gange** mere svovldioxid end alle landets ca. 2,5 mio. registrerede personbiler. NOx-udledningen fra krydstogtskibene er også meget stor. Her viser undersøgelsen, at 107 analyserede krydstogtskibe i de danske farvande (EEZ-området) udledte lige så meget NOx forurening på et år som halvdelen af alle Danmarks personbiler.

Især efter Parisaftalen³ er der opstået betydelig politisk opmærksomhed omkring skibsfartens udledning af drivhusgasser. Ifølge IMO (International Maritime Organization) udleder skibsfarten i hele verden ca. 2,5% af den samlede CO₂-udledning. Dette svarer til Tysklands samlede CO₂-aftryk og udgør et større udslip end fly-branchens. Til gengæld transporteres en meget stor del af verdens godsmængder med skib (ca. 80%).

Hvis man ser på et enkelt stort rederi som Mærsk, så udleder man her lige så meget CO₂ som hele Danmark. Samtidig skal det nævnes, at A.P.Møller Mærsk er verdens største containerrederi og er førende i verden i forhold til at reducere rederiets emissioner pr. transporteret godsmængde.

I EU er der også ved at være stor interesse for at reducere udledningerne fra skibsfarten. Miljøkommissær Frans Timmermans arbejder på at få både skibsfarten og luftfarten ind i EU's CO₂-kvotesystem. Derudover skal bl.a. krydstogtskibe pålægges at slukke for dieselmotorerne i havnene og i stedet at blive forsynet med landstrøm. Den franske præsident Macron ønsker desuden at lægge CO₂-afgifter på fossilt brændstof til skibe, og Shell ser også dette som en relevant mulighed. I dag er der ikke lige konkurrence mellem de gamle fossile brændstoffer og de nye, der skal være med til at sikre, at skibsfarten kan nedbringe udledningen af CO₂. En afgift kunne ifølge Shell derfor være en mulighed for at udligne en del af denne forskel⁴.

I april 2018 vedtog IMO (International Maritime Organization) en global strategi for reduktion af udledningen af drivhusgasser i skibsfarten i tråd med ambitionerne i Parisaftalen. Målene er en 40 pct. relativ reduktion i 2030 ift. 2008, samt en 50 pct. absolut reduktion i 2050.

Opsummerende har Parisaftalen og en række internationale undersøgelser og analyser omkring skibsfartens markante udledninger i løbet af meget kort tid skabt et stort politisk pres på skibsfarten med henblik på en kraftig reduktion af udledningerne. Samtidig er der også ved at opstå betydelige krav fra kunderne fx de store internationale logistikfirmaer om CO₂-neutral transport. Især de store rederier er allerede i gang med at udvikle løsninger, der indskrives dem i en bæredygtig udvikling, så hurtigt som det overhovedet er muligt. Dette skal behandles i næste hovedkapitel.

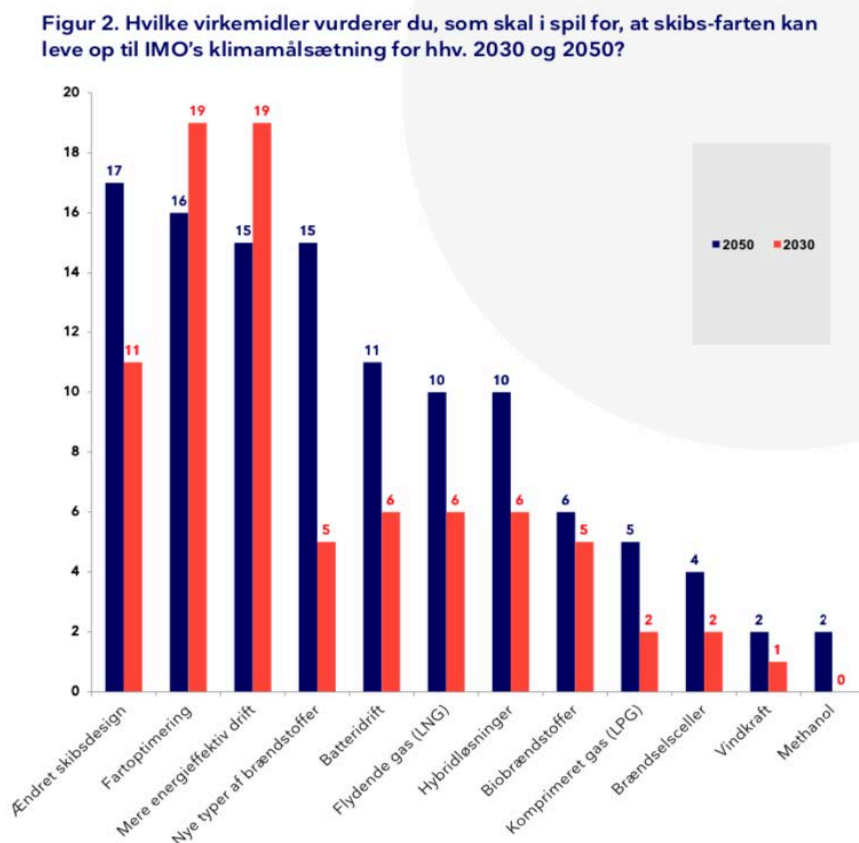
³ Parisaftalen er en international aftale inden for FN's Klimakonvention UNFCCC, som drejer sig om begrænsning af udledning af drivhusgasser gennem grøn omstilling, klimatilpasning og finansiering heraf. Aftalen blev indgået på COP21-klimakonferencen i Paris i december 2015, og den træder i kraft i 2020.

⁴ Kilde: Tidsskriftet *Maritime Danmark* fra 23. oktober 2019

2 Virkemidler til reduktion af skibsfartens emissioner

Organisationen Danske Rederier har i 2018 spurgt 35 rederiers topchefer om deres syn på skibsfarten i de kommende år⁵. 26 topchefer har svaret, hvilket giver en svarprocent på ca. 74 pct. De 26 rederier tegner sig for godt 80 pct. af den danskflagede handelsflåde. Analysen er interessant, blandt andet fordi den indplacerer batteridrift og hybridløsninger i sammenhæng med en række andre tiltag, der skal reducere skibsfartens emissioner. Resultatet af denne del af Danske Rederiers analyse ses på grafen herunder.

Hele 81pct. af topcheferne svarer, at det enten bliver udfordrende eller meget udfordrende at nå målet for IMO's reduktion i 2030, som er den første milepæl for rederierne i aftalen. Topcheferne peger samtidigt på, at en bred palette af teknologier og metoder skal i brug, hvis skibsfarten skal kunne indfri de ambitiøse mål. Rederierne har forskellige teknologiske prioriteringer i forhold til at nå målene i 2030 og i 2050.



⁵ Danske Rederier: Rederipanelet juni 2018

Som grafen viser, så vurderes fartoptimering og mere energieffektiv drift til at kunne levere de største resultater i den korte tidshorisont. Samtidig er det interessant at se, hvordan rederierne spreder sig over en bred vifte af teknologier i bestræbelsen på at nå målene i både 2030 og i 2050.

Udviklingen inden for mere teknisk optimering af driften af skibene vil afspejle sig i arbejdet på de danske værfter og hos de danske maritime udstyrsleverandører i de kommende år. At der er meget at hente i disse bestræbelser har især A.P. Møller Mærsk erfaringer med.

Som det ses af følgende video https://youtu.be/2XBO_ZULmAk har Mærsk reduceret CO₂-udledningen med 41% siden 2008 målt i forhold til transporteret godsmængde. Mængden af gods transporteret med Mærsk's skibe er imidlertid steget tilsvarende med det resultat, at rederiets udledning er ca. den samme som i 2008. Dette afspejler, hvor stor en udfordring branchen står overfor, da verdenshandlen ventes at stige med ca. 3% om året i gennemsnit frem til 2050.

Det fremgår også af rederipanelets besvarelser at batteridrift og hybridløsninger vil spille en væsentlig rolle allerede for opnåelsen af 2030-målene, men endnu flere ser et behov for batteridrift og hybridløsninger i forbindelse med at opnå målene i 2050.

OECD⁶ har beregnet et såkaldt "baseline scenario" med de nuværende regler og politiske målsætninger og er nået frem til, at CO₂-udledningen fra skibsfarten vil være steget med 23% i 2035 sammenlignet med 2015. Der er tale om meget komplekse beregninger, og man anvender her en såkaldt *ITF international freight model*, som tager højde for en mængde forhold, der kan påvirke godstransporten og den deraf følgende udledning. Analysen er meget interessant, da den også fremskriver scenarier for "decarbonising" med forskellige teknologier. De danske erfaringer med HH-Ferries el-færger mellem Helsingør og Helsingborg inddrages også.

A.P. Møller Mærsk har sat et bemærkelsesværdigt mål om at være CO₂-neutral i 2050 og satser derfor på at opnå en ledende rolle i både udvikling og skalling af de teknologier, der skal sikre en CO₂-neutral skibsfart i fremtiden. Hele branchen ser derfor med stor interesse på, hvilke udviklingstiltag Mærsk involverer sig i, og hvilke teknologier man vælger at arbejde med. Her er der ikke helt overensstemmelse med rederipanelet. I en pressemeddelelse fra den 24. oktober 2019 er Mærsk i et samarbejde med Loyds forskningscenter nået frem til tre brændstoftyper, som man vil satse på i de kommende år i forbindelse med fremdrift af containerskibe og andre store fartøjer. De tre brændstoftyper er alkohol (etanol og methanol), biogas og ammoniak. Det betyder som udgangspunkt, at andre muligheder, som batterier eller brændselsceller, vil få mindre opmærksomhed fra Mærsk. Samtidig tager man det forbehold, at det er for tidligt at lukke ned for såkaldte "dark horses", som måske kan ændre prioriteringerne i fremtiden.

⁶ International Transport Forum/OECD: *Decarbonising Maritime Transport - Pathways to zero-carbon shipping by 2035*. OECD 2018

Vind har også vist sig at kunne levere et tilskud til fremdriften af store skibe. Maersk Tankers har testet et såkaldt rotorsejl fra august 2018 og et år frem og opnåede i denne periode en brændstofbesparelse på 8,2% og dermed en reduktion af CO₂-udledningen med 1400 tons. Maersk Tankers overvejer installation af flere rotorsejl på deres tankskibe. Sejlene består af to ca. 30 meter høje mekaniske cylindre, der roterer for at skabe fremdrift. Andre rederier laver lignende forsøg med vind.

2.1 LNG (Liquified Natural Gas)

I forhold til eksisterende dieseldrevne skibe i samme størrelse kan LNG-drevne skibe reducere udledningen af svovloxid (SO_x) med 90 pct., nitrogenoxid (NO_x) med 80 pct., partikler med 90 pct. og CO₂ med 20 pct. LNG (Liquified Natural Gas) er naturgas i flydende form. LNG opstår ved at nedkøle naturgas i en LNG-kondensator til omkring minus 160 graders celsius. Nedkølingen er temmelig energikrævende, men der er væsentlige miljømæssige gevinster (SO_x og NO_x) ved at anvende LNG som brændstof i skibe.

I et projekt, støttet af Innovationsfonden, har forskere fra DTU Mekanik sammen med udviklere fra Kosan Crisplant søgt at finde nye veje til at gøre nedkølingen mere effektiv, og det er lykkedes. Det er på denne baggrund muligt at bygge LNG-fabrikker, som anvender 40 % mindre strøm, fylder mindre, er billigere at bygge og drive, og som kan bygges i små moduler. Der er dog flere problemer, som stiller sig i vejen for LNG som det oplagte bæredygtige brændstofvalg.

Et brændstofsifte til LNG på eksisterende skibe er meget dyrt. Nye motorer og brændstoftanke er nødvendige, og de vakuumisolerede tanke er ofte svære at placere på eksisterende skibe. Derudover stilles der i stigende grad spørgsmålstejn ved den reduktion af skibsfartens klimagasser, som LNG hævdes at kunne levere. Motorernes udslip af uforbrændt metan, der er en meget kraftig drivhusgas, har en tendens til at neutralisere CO₂-gevinsten. Det har chief scientist dr. Elizabeth Lindstad fra SINTEF Ocean AS påvist i et forskningsstudie i 2019⁷:

Citat: "The results from my own calculations (Lindstad 2019) indicate that the only LNG option which contributes to reducing GHG emissions, is the 2-stroke high pressure dual fuel option (HP-DF-LNG). For all other LNG options, the GHG emissions increases or are equal to using MGO or HFO."

SINTEF er en meget anerkendt norsk forskningsinstitution med afdelinger i flere lande bl.a. Danmark. Lindstad nævner ikke, om LPG som brændstof i skibsmotorer udgør et tilsvarende problem. Metanudslippet kan reduceres til næsten nul ved anvendelse af motorer, der kun kan forbrænde gas, men mange rederier foretrækker dual fuel motorer for at opnå en tilstrækkelig brændstofmæssig fleksibilitet. A.P. Møller Mærsk har valgt ikke at satse på LNG som brændstof i fremtiden. Miljøchef John Kornerup-Bang understregede i et interview med ShippingWatch i marts i år: "Vi vil ikke tillade os selv at brænde fossile brændsler af, som f.eks. LNG, og så opveje for emissionerne ved at købe kvoter i eksempelvis skovrejsningsprojekter".

⁷ Elizabeth Lindstad: *Increased use of LNG might not reduce maritime GHG emissions at all* – June 2019

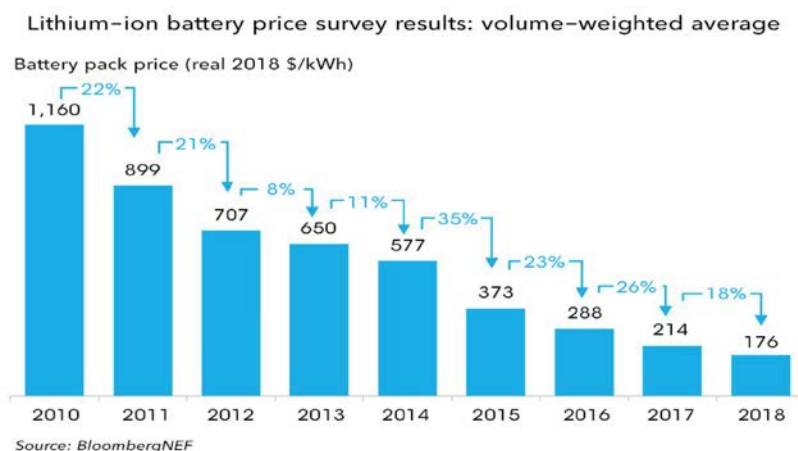
I Norge er en del skibe siden år 2000 blevet bygget til at anvende flydende naturgas. Senest har det store franske containerrederi CMA CGM bygget ni store containerskibe, der bruger LNG som brændstof. I Danmark er Samsøfærgeren indtil videre den eneste færge, som sejler på naturgas.

2.2 Batteridrift og hybridløsninger

Hvis man lægger rederipanelets vurderinger af batteridrift, hybridløsninger og brændselsceller sammen, så kommer el-drift til at spille en markant rolle i fremtidens skibe. Meget tyder imidlertid på, at fremtiden allerede er begyndt.

- Verdens kraftigste el-færge "Ellen" sejler nu fra Søby på Ærø til Fynshav på Als. Ellen er bygget med hjælp fra EU-midler og skal erstatte færgerne M/F Skjoldnæs, der er bygget i 1979.
- Rederiet ForSea, tidligere HH Ferries har ombygget de to Øresundsfærger, Tycho Brahe og Aurora til hel-elektrisk og udledningsfri drift. Arbejdet er udført på Oresund Dry Docks.
- Om få år vil rederiet Scandlines sejle 100% elektrisk på overfarten mellem Rødby og Puttgarden. Rederiet satser stærkt på el-drift.
- Thyborøn-Agger overfarten betjenes i dag af en ny hybridfærge.
- 18 ø-kommuner er gennem Færgesekretariatet gået sammen om udviklingen af en ny hybridfærge, der skal være første skridt i retning af en standardisering af færgerne til småøerne. Projektet har opbakning fra regeringen.
- Hybridfærgerne, Ærøexpressen, skal efter planen sættes i drift den 1. december 2019 mellem Marstal og Rudkøbing. Færgerne bygges af Hvide Sande Shipyard
- Venøfærgeren har siden 2016 været i drift som hybridfærge.
- Siemens har i en analyse i 2017 vist,⁸ at elfærger med batterier om bord i stedet for diesel og forbrændingsmotorer vil være den økonomisk bedste løsning for 39 ud af 52 eksisterende danske færger. Dertil kommer en række færger, som vil få bedre økonomi ved at gå over til hybriddrift.

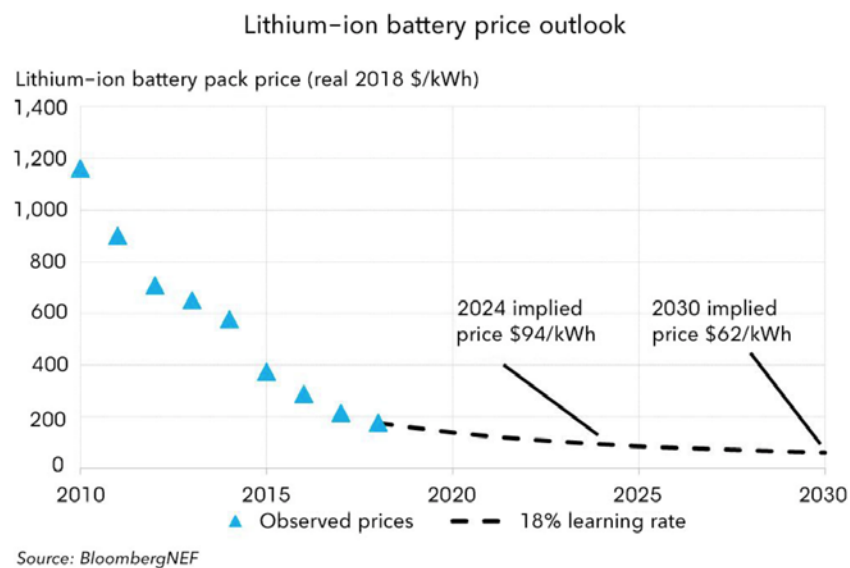
Udviklingen forstærkes af, at prisen på batterier er faldet markant i de senere år, og dette prisfald ser ud til at fortsætte. Bloomberg Energy Finance⁹ følger udviklingen tæt, og nedenstående grafer illustrerer tendensen.



⁸ Elektrificering af Danmarks færgefart, Siemens 2017

⁹ Bloomberg Energy Finance: *Electric Vehicle Outlook 2019*

Prisfaldet flader ud, men er dog alligevel betydelig frem til 2030, som det fremgår af grafen på næste side. Blandt andet Tesla har estimeret, at det store gennembrud for Lithium-batterier vil opstå ved en pris på 100 dollar pr. kilowattime, og den er opnåelig inden for et par år, hvad nedenstående graf viser.



Prisfaldet kan forstærkes af, at der kommer flere batterier på markedet, og her er der flere fabrikker i støbeskeen i Skandinavien.

I Trondheim i Norge har Siemens investeret 100 millioner kroner i en batterifabrik, der skal sikre fortsat udvikling af batterier til den maritime branche. Produktionen af batterier er startet op.

Omfattende ordrer på el-færger til den norske infrastruktur og en stigende efterspørgsel på batterier til retrofit af hybride skibsmaskinerier i offshore industrien har fået en af verdens største batteriproducenter, canadiske Corvus Energy, til at bygge en fabrik i nærheden af Bergen.

I Skellefteå, 800 km nord for Stockholm, er den tidligere "Tesla-mand" Peter Carlsson med støtte fra EU og partnere som Vattenfall, ABB og Siemens ved at skabe en pendant til Teslas Gigafactory i Nevadas ørken med fabrikken

'Northvolt Ett'. Den svenske fabrik har naturressourcer lige ved hånden i form af billig grøn energi fra vandkraft samt adgang til nødvendige metaller fx lithium og kobolt.

De toneangivende motorfabrikanter MAN Energy Solutions, Wärtilä og Rolls Royce satser alle på hybridløsninger, der i et større eller mindre omfang involverer el-drift med batteripakker i kombination med forbrændingsmotorer.

Rolls-Royce Marine har i foråret 2018 aftalt et samarbejde med rederiet Hurtigruten i Norge om at ombygge ni skibe, så de kan sejle på gas- og batteridrift. Aftalen lyder på én mia. norske kroner, svarende til ca. 775 mio. danske kroner.

Ifølge klaseselskabet DNV GL er antallet offshore-skibe inden for de seneste ti år, som anvender batteri-baserede hybride maskinerier steget fra en lille håndfuld til 123. Regnes antallet af skibe under enten bygning eller planlagt til retrofit med, så stiger antallet i år til 240. Med de nuværende planlagte projekter vil tallet med udgangen af 2021 være på 262 offshore-skibe, der anvender batteribaserede hybride maskinerier. Væksten er til at få øje på!

Udviklingen inden for el-drift i skibsfarten går især stærkt i Norge. De første kystfiskefartøjer er allerede nu elektriske og flere er på vej. En analyse er kommet frem til, at det med de norske priser og støtteordninger kan betale sig at elektrificere 3000 af Norges 5000 fiskefartøjer over de næste 10 år¹⁰. Der er tilsvarende initiativer i gang i Sverige og Finland.

Hybridløsninger ses typisk som et samspil mellem diesel- eller gasdrift og større eller mindre batteripakker. Forbrændingsmotorerne er dermed stadig en komponent i den samlede løsning. Hybridløsninger med brændselsceller og batteripakker ser imidlertid ud til at kunne blive fremtidens løsning i selv meget store skibe. Dermed kan forbrændingsmotorerne blive helt udfaset på længere sigt.

2.2.1 Brændselsceller

Brændselsceller kan blive en "game changer" i forhold til el-drift af køretøjer og skibe inden for en kort årrække. Danmark er førende i verden på dette område både i forhold til forskning og produktionserfaring. Inden for de sidste par år er der taget nogle afgørende initiativer, som kan booste el-drift under anvendelse af brændselsceller og bæredygtige brændsler som fx metanol.

Brændselsceller er en gammel teknologi, som i mange omgange siden energikrisen i 1970'erne er spået store fremtidsmuligheder. De materialeteknologiske udfordringer har imidlertid vist sig at være ganske store. Det gælder nemlig om at kunne styre materialernes struktur og egenskaber helt ned på nanoskala, hvis man skal kunne fremstille langtidsholdbare brændselsceller i stor skala til en pris, der er konkurrencedygtig med andre energiteknologier. Meget tyder på, at brændselscelleteknologien nu er ved at blive kommercielt moden på en række anvendelsesområder herunder skibsfarten. Flere virksomheder i Danmark er i gang med at opbygge produktioner af brændselsceller i stor skala.

På Aalborg havn er Blue World Technologies i gang med at bygge verdens største brændselscellefabrik, der skal kunne producere 50.000 brændselsceller om året svarende til 750 MW. Blue World Technologies vil skabe et reelt, grønt alternativ til den traditionelle forbrændingsmotor og har fået investorer, der stiller et trecifret millionbeløb til rådighed. Derudover har virksomheden i oktober 2019 ordrebe-

¹⁰ Bellona, Siemens, Elektroforeningen og Nelfo: *Elektrifisering av kystfiskeflåten – Slik kan 3000 båter halvere sine utslipp. En mulighetsstudie om en grønnere sjømatnæring med reduserte kostnader og bedre inntjening*

kræftelser på et større trecifret millionbeløb i danske kroner. Blue World Technologies direktør civilingeniør Anders Korsgaard har tidligere være medstifter og medejer af brændselscelle-virksomheden Serenergy, som nu er solgt til den tyske industrikoncern Fischer.

Serenergy har i en længere årrække leveret brændselscelleløsninger til flere brancher herunder det maritime område. Et eksempel på dette er en brændselscelle løsning i 2017 til passagerbåden MS Innogy, der sejler på Baldeneysee i Hessen i Tyskland. Den methanoldrevne brændselscellebåd er CO₂-neutral, udleder ingen partikler og fremdrives af en hybrid konstellation bestående af et brændselscellesystem og en batteripakke. Udover at være emissionsfri, er båden også støjsvag og har ingen vibrationer, hvilket er den perfekte kombination for at nyde den omkringliggende natur.



📷 Efter at have arbejdet fem måneder på at udvikle en dieseldrevet båd til en elektrisk båd drevet af miljøvenlige methanol brændselsceller kunne innogy og SerEnergy søsætte MS innogy den 24. august. Foto: SerEnergy

Brændselscellesystemet er opbygget i moduler, så man let kan øge effekten ved blot at installere ekstra moduler. På MS Innogy er der syv moduler, der hver yder 5 kW. Derudover er der installeret en batteripakke, så brændselscellerne reelt fungerer som en slags rækkeviddeforlænger, der gør det muligt for båden at sejle en hel dag uden at tanke op. En hybridløsning mellem batteridrift og brændselscelledrift kan allerede i dag være attraktiv i mindre skibe af økonomiske og pladsmæssige grunde.



📷 Brændselscellerne har en samlet kapacitet på 35 kW og sørger for at MS innogy kan sejle såvel CO₂-neutralt som uden at udlede partikler. Foto: SerEnergy

Det er vurderingen i Blue World Technologies, at de senere års fremskridt er ved at gøre brændselscelleteknologien konkurrencedygtig med forbrændingsmotoren i både indkøb, drift og vedligehold. Ved at introducere en 4. generations teknologi af et allerede etableret koncept, vil dette blive taget til et fuldt kommercielt niveau med de produktionsfaciliteter, som Blue World Technologies bygger i Aalborg. Produktet er baseret på højtemperatur PEM-teknologi med integreret metanol-reformer - et teknologiområde hvor Danmark på globalt plan ligger helt i front. Metanol er et bæredygtigt brændstof uden sundhedsskadelige emissioner og er en fremragende energibærer med en høj energitæthed. Metanol kan fremstilles ud fra vindmøllestrøm og en kulstofkilde i form af fx CO₂ fra luften. Når man brænder metanolen af i en brændselscelle, er restproduktet fra brændselscellen kun vand. Derudover er det en tilgængelig energikilde, der allerede produceres i store mængder verden over. Metanol er også et af de bæredygtige brændstoffer, som Mærsk satser på i fremtiden.

I Hobro har man taget det første spadestik til en produktion af brændselsceller til maritimt brug. Den canadiske virksomhed, Ballard Power Systems Europe, er i gang med at bygge design- og produktionsfacilitet til brændselsceller i Hobro til det maritime marked. Virksomheden har haft adresse i Hobro siden 2008.

I 2018 indgik Ballard Power Systems et partnerskab med ABB om udvikling af brændselscelleløsninger til den maritime branche. Man er nu klar til at producere brændselscelleløsninger i et moduleret design fra 100 kW til 3MW (4000 HK), som kan anvendes til erstatning af generatorsæt og til fremdrift af større skibe. Brændselscelleløsningen tager ikke mere plads i skibet end en tilsvarende dieselmotor og kan bruges som stand alone eller i hybridløsning sammen med batterier.

Ifølge Ballard Power Systems har deres brændselsceller, sammenlignet med den nuværende generation af væskeafkølet brændselsceller, væsentligt lavere livscyklusomkostninger, ultra lang holdbarhed, højere effektdensitet, frysestartevne, høj tolerance overfor driftsforhold, forenklet systemintegration og bæredygtighed. Det er planen at fabrikken allerede det første år skal have en produktionskapacitet på mere end 15 MW. Man har i et stykke tid været involveret i flere maritime projekter og prototyper rundt omkring i verden og har flere ordrer allerede.

For at danne tilstrækkeligt med strøm har brændselscellerne brug for en relativ stor mængde, ren, komprimeret luft. Brændselsceller har et meget anderledes brugsmønster end en forbrændingsmotor, og det betyder, at kompressoren, der tilfører luften, har været en af de største akilleshæle i brændselscelle-systemet. Nu har den danske virksomhed Rotrex med støtte fra innovationsfonden udviklet en ny kompressor som har hævet virkningsgraden for brændselsceller med hele 15%. Dette kan blive en "game changer" for brændselscelleteknologien og de store brændselscellefabrikanter er særdeles interesseret i kompressorerne fra Rotrex, som allerede er i gang med produktionen.

2.3 Øvrige udviklingstendenser

Den generelle og stigende tendens til at produkter og ydelser skal kunne dokumentere deres klimabelastning betyder, at det markeds-mæssige pres på skibsfarten kan overstige de politiske krav om regulering, både hvad niveau og omstillingshastighed angår. Det udviklingspres, der ligger fra markedsaktører

er ofte væsentlig mere kontant end de krav, der kommer ud af politiske forhandlinger. Her skal blot nævnes nogle af de mest betydelige markedsaktører:

- Hennes & Mouritz efterspørger allerede i dag CO2 neutral skibstransport og har aftaler med A.P. Møller Mærsk i denne forbindelse.
- Ikea udmeldte allerede i sommeren 2018, at koncernen vil være "klimapositiv" fra 2030 og vil desuden arbejde med deres over 1.000 leverandører om, at deres fabrikker skal køre på 100 procent grøn energi. Dette vil også omfatte transport af deres råvarer og produkter.
- En af verdens største logistikvirksomheder Kuehne+Nagel vil introducere CO2-neutrale transporter på udvalgte områder fra 2020. Virksomheden vil benytte big data og nye digitale platforme til at udvælge de ruter og transportformer, der minimerer CO2 udledningen. De operatører, der ikke arbejder målbevidst med at reducere deres CO2 udledning, vil blive valgt fra. Målet er at sikre CO2-neutral transport i netværket af transportleverandører fra 2030.

Havnene i hele Europa arbejder stærkt på at blive CO2 neutrale. Her bliver der i stigende grad også stillet krav om el-drift ved ind og udsejling samt under ophold i havnene. International Transport Forum (ITF), der arbejder under OECD, anbefaler i en ny rapport¹¹, at havnene igennem væsentligt højere grønne afgifter øger skibsfartens incitamenter til CO2 neutral drift.

Et nyt nordisk samarbejde skal arbejde på at sætte dagsordenen i den internationale omstilling til mere bæredygtig drift. Havnene i Skagen, Hirtshals og Frederikshavn bliver sammen med havne i Norge og Sverige elektrificeret. Målet er at fremme overgangen fra diesel til el og dele erfaringerne med resten af verden.

En ny international koalition af aktører med relation til shipping har sat sig for at skabe et CO2-neutralt skib inden 2030. Koalitionen, der kalder sig Getting To Zero Coalition, er blevet til i regi af Global Maritime Forum, og i øjeblikket har omtrent 70 aktører tilsluttet sig målet. Iblandt dem er de danske rederier Mærsk, DFDS, Torm, Maersk Tankers og Norden.

Blandt koalitionspartnerne er ikke blot rederier, men også brændstofleverandører som Shell, havne som Aarhus og Antwerpen, motorproducenter som MAN Energy Solutions og Wärtsilä foruden energiselskaber som Ørsted og Vestas.

En del af det udviklingspres, der ligger på den maritime branche, skal også ses i lyset af, at skibsfarten har et teknologisk efterslæb set i forhold til de tilsvarende teknologier på landjorden. Miljøkravene til landtransport har været større og er implementeret langt tidligere, end det er tilfældet for skibsfarten. Det teknologiske efterslæb har også, som flere af de besøgte virksomheder peger på, afspejlet sig i de maritime uddannelser og den manglende efteruddannelse. Den nylige revision af uddannelsen til skibsmontør har til sammenligning fundet sted for mere end 10 år siden i mekanikeruddannelsen (person- og lastvogne).

¹¹ International Transport Forum/OECD: *Reducing Shipping Greenhouse Gas Emissions - Lessons From Port-Based Incentives*, OECD 2018

Det teknologiske efterslæb betyder, at de fleste af de teknologier, der tages i anvendelse med henblik på at gøre skibsfarten mere effektiv og bæredygtig, ikke er nye. Dette vil medvirke til en hurtigere implementering i skibene og dermed et øget pres på de maritime uddannelser og den maritime efteruddannelse.

2.4 Tidshorisont for ny maritim efteruddannelse

I begyndelsen af rapporten blev der rejst et spørgsmål om, hvor hurtigt udviklingen vil gå i retning mod en bæredygtig skibsfart, hvor el-drift spiller en afgørende rolle. Hvad er tidshorisonten, og skal man uddannelsesmæssigt vente og se, hvad der sker i praksis?

Som et resultat af analysearbejdet dokumenteret i de to foregående kapitler er det ERAs vurdering, at udviklingen inden for el-drift herunder hybriddrift af skibe vil komme til at gå væsentligt hurtigere, end mange i dag forestiller sig. Efterspørgslen efter en mere bæredygtig skibsfart tager til i styrke næsten måned for måned. Hvis man følger med i de forskellige maritime tidsskrifter, så er der konstant artikler om nye initiativer rettet mod reduktion af skibsfartens udledninger. Det CO₂-neutrale skib er ikke en fjern fremtidsvision, men skal tværtimod være en realitet om 10 år. Mærsk vil være motor for denne udvikling og vil samtidig sætte standarder for hele den professionelle skibsfart. I de kommende år vil der derfor ske et udskilningsløb i den maritime branche, som vil betyde, at de virksomheder, der ikke byder ind på en bæredygtig dagsorden, vil forsvinde. Innovation og vedvarende implementering af nye teknologier i skibene vil være grundlaget for at kunne overleve i den globale konkurrence, og det kræver nye kompetencer hos værfters og udstyrsleverandørers medarbejdere herunder skibsmontører og skibsmekanikere. Mårettet maritim efteruddannelse på et højt fagligt og teknologisk niveau vil være en del af grundlaget for at styrke virksomhedernes udviklingspotentiale. Det er samtidig vigtigt at efteruddanne medarbejderne på forkant, inden de nye og mere avancerede el- og hybridrevne skibe dukker op til eftersyn, reparation og ombygning. Det er langt de fleste af de besøgte virksomheder meget opmærksomme på:

Citat: "Skibsmontøruddannelsen har stået stille i mange år. Hvis automekanikerne havde stået lige så stille som skibsmontørerne, så var der ikke ret mange biler, der kunne køre i dag. Det er jo nærmest helt grotesk. Jeg mener, at der skal gang i noget efteruddannelse hurtigst muligt. Inden for el og styring har vi et efterslæb, og hvis det bliver større, så bliver det virkelig en stor mundfuld at få rettet op på. Det skal jo ske samtidig med, at alt det nye vælter ind over os."

Citatet afspejler, at tiden ikke er til at afvente flere signaler om, hvor udviklingen går hen. I stedet skal der hurtigst muligt tages konkrete initiativer til at udvikle et maritimt efteruddannelsesudbud, der både kan rette op på det kompetencemæssige efterslæb, som findes i virksomhederne inden for især det elektiske område og samtidig sikre skibsmontører og skibsmekanikere efteruddannelse inden for de nye områder. Dette er en stor udfordring for skolerne at løfte.

Både skolerne og virksomhederne betoner, at den nuværende revision af skibsmontøruddannelsen er ganske krævende for alle parter. Dette skal bl.a. ses i lyset af, at den faglige spændvidde, som er en af skibsmontørens stærke fortrin, skal opretholdes i fremtiden. Derfor skal en væsentlig del af de nye

kompetencekrav sikres igennem efteruddannelse. Derudover skal efteruddannelsen også kunne bidrage til at sikre erfarne skibsmontører i virksomhederne et kompetenceniveau inden for styring og regulering, digitalteknik mv, der svarer til de nyuddannede.

Efteruddannelseskurser kan udbydes under den forudsætning, at skolerne har de fornødne teknologier og installationer til at kunne gennemføre undervisningen. EUC-Nord og Svendborg Erhvervsskole er på forskellige områder godt på vej i kraft af midler fra virksomheder og fonde, men de nye teknologier vil kræve endnu flere investeringer og mere udviklingsarbejde. Etablering af fælles udviklingsprojekter med virksomheder, organisationer og netværk fra den maritime branche kan skabe et godt grundlag for fx et kompetencecenter for maritim efteruddannelse. Set i lyset af de uddannelsesmæssige udfordringer, der vil skærpes i de kommende år, kan fx to kompetencecentre være en passende ambition at arbejde videre med. Et stærkt samarbejde med virksomhederne kan også bidrage til efteruddannelse af lærere inden for de nye teknologier.

Samlet vurderet er situationen derfor den, at det er på høje tid at få gang i nye initiativer og udviklet en maritim efteruddannelse for skibsmontører, skibsmekanikere og andre lignende faglærte. Dette skal udbygges mere præcist senere i rapporten.

3 Teknologier til elektrisk fremdrift af skibe

På baggrund af de to foregående kapitlers belysning af de mere overordnede udviklingstendenser skal dette hovedkapitel belyse mere konkret hvilke specifikke teknologier og teknologikonstellationer, der vil være de mest fremtrædende i de kommende år inden for el-drift af skibe. De teknologiske udredninger i kapitlet tænkes anvendt som et indspil til udvikling af undervisningsmidler og indhold i de efteruddannelseskurser/pakker, der er behov for at udvikle til faglærte skibsmontører, skibsmekanikere og andre, der arbejder med tilsvarende opgaver.

3.1 Batteridrift

Med udgangspunkt i bl.a. el-færgen "Ellen" skal teknologierne bag 100% batteridrift behandles mere indgående. Her er Lithium-batterierne den mest centrale teknologi, som kræver en særlig efteruddannelsesindsats bl.a. på grund af sikkerhed. Flere af de besøgte virksomheder har allerede været involveret i installation af lithium-batteripakker i skibe.

Citat: "Jeg synes ikke vi er særlig godt forberedt på den udvikling med batteridrift, der kommer, som branche og heller ikke uddannelsesmæssigt. Det går væsentlig stærkere nu, end vi havde forestillet os for bare et par år siden. Det kommer altså ikke bare snigende. Vi har allerede opbygget rack og monteret batteripakker til Stena. Vi har det med i virksomhedens strategi, så vi lukker bestemt ikke øjnene for udviklingen. Her mangler vi noget efteruddannelse."

I det følgende underkapitel skal lithiumbatterier og styring af op- og afladning beskrives nærmere.

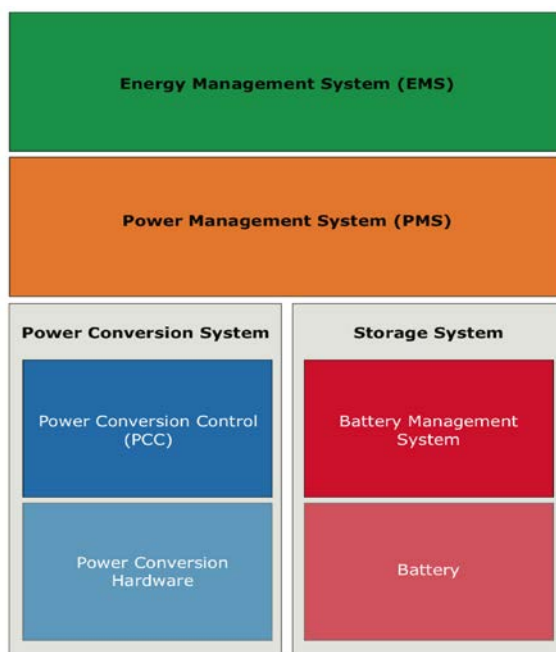
3.1.1 Lithiumbatterier og batteripakker

Lithiumbatterier er en familie af batterier, som har lithium som anode. De er genopladelige batterier og har en høj energidensitet samt en lang levetid. De mest udbredte til batteripakker i mindre fartøjer er Lithium-jern-Fosfat (LiFePo4). Disse batterier reagerer ikke kemisk med luftens ilt og er derfor ikke eksplosive i samme grad, som andre Lithiumbatterityper kan være det. Et LiFePo4 batteri kan holde til mange dybdeafloadninger - typisk omkring 3000.

Det er mest oplagt at bruge denne batteritype til undervisning, da de er meget tilgængelige på markedet og relativt billige i indkøb i både 12 volts, 24 volts og 48 volts udgaver (100-200 ah). Større spændinger kan opnås ved at seriekoble batterierne. I større fartøjer vil spændingen fra batteripakken typisk ligge på 800-1000V. Der er ikke afgørende forskelle mellem de forskellige lithiumbatteriers virkemåde og krav til ladning og afladning.

Elfærgen "Ellen" har installeret en anden lithiumbatteritype nemlig lithium-ion Graphite/NMC fra schweiziske Leclanché med en samlet effekt på 4,3 MWh og en vægt på 56 ton. Denne type har en lidt højere celledspænding end LiFePo4. Der er nogle gode beskrivelser på Leclanchés hjemmeside desangående.

Generelt er styring af op- og afladning meget afgørende for lithiumbatteriers optimale funktion og levetid, og her er der generelt tre niveauer af styring, man skal være opmærksom på. De tre styringsniveauer fremgår af modellen herunder.



Kilde: Danfoss¹²

¹² Danfoss: *Vacon nx ac drives – design guide hybridization*

Den helt obligatoriske styringsenhed i ethvert lithiumbatteri er Battery Management System (BMS). BMS er den teknologi og elektronik, der styrer og overvåger de mange enkelte battericeller, som batteriet er sammensat af. Ingen celler i batteriet er helt ens, og de kan derfor ikke oplades og aflades på samme måde, hvis batteriets maksimale kapacitet og levetid skal kunne udnyttes fuldt ud. Et lithiumbatteri er meget følsomt overfor overskridelse af den maksimale spænding ved opladning, og den mindste spænding ved afladning. For et LiFePo4 batteri må celledspændingen ikke overskride 3,65 volt og ikke komme under 2,5 volt, og det skal ladeanlægget og BMS'en kunne sikre. Cellerne må heller ikke blive for varme, og derfor indgår der typisk en temperaturføler i systemet.

I større systemer i skibe vil der være et energi-management og power-management system. Power-management systemet opsamler relevante data og distribuerer den nødvendige effekt for fremdrift og manøvrering. Dette involverer Power Conversion Systemet til venstre i modellen med frekvensomformere, elmotorer m.m.

Energi management systemet (EMS) optimerer effektiviteten af det samlede energisystem fx igennem måling, registrering og analyse af energiforbruget under forskellige driftsformer. Dette involverer en større mængde dataopsamling – også fra batteripakken. Der findes en række forskellige systemer på markedet inden for både PMS og EMS.

Sikkerhed

Søfartsstyrelsen har udgivet en vejledning med retningslinjer for batteriinstallationer til drift af skibe. Formålet med disse retningslinjer er at sikre, at batteriinstallationer i skibe, til hybrid eller elektrisk drift, har samme sikkerhed som installationer i skibe med konventionel drift. Heri er der regler for indretning af batterirum, brandsikkerhed, ventilation m.m.

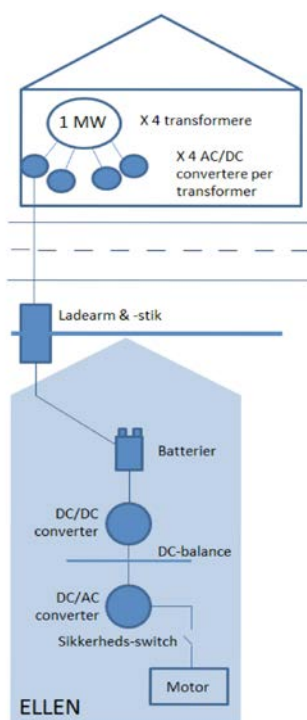
Ud over vejledningen har Søfartsstyrelsen udgivet "Eksempler på risici (hazards), der bør overvejes i en risikoanalyse for batteriinstallationer". Disse eksempler kan passende indgå og uddybes i et undervisningsindhold ligesom vejledningen. Både vejledningen og eksempler på risici kan findes på Søfartsstyrelsens hjemmeside.

I 2014 blev der på initiativ af classeselskabet DNV GL oprettet et maritimt batteriforum, der udforsker udviklingen inden for batteridrift af skibe herunder hybriddrift. Der er meget viden om batteriinstallationer og el-drift at hente på deres hjemmeside www.maritimebatteryforum.com

3.1.2 Elfærgen Ellen

Ellen er det største skib i Danmark, der drives frem alene ved hjælp af batterier. Færgerne Auroa og Thygo Brahe er hybridfartøjer og er væsentligt anderledes opbygget. Hybridfartøjer (plug in) er mere komplekse og indeholder ud over hjælpemotoren også de samme teknologier som et 100% el-drevet skib. I læringsmæssig henseende er hybridfartøjer derfor mere krævende, da flere systemer skal spille sammen end i et fartøj, der drives frem kun ved batterier og elmotorer. Dette skal uddybes i et senere kapitel.

Ladesystemet



Danfoss Editron står bag skibets elektriske motorer og fremdriftssystemet samt ladesystemet inklusive AC/DC-konvertere i transformatorhuset på havnen.

Der kan lades på batterierne med op til 4000 kW, hvilket er rekord for jævnstrøms-opladning af skibsbatterier. Samtidig bruges automatiske forløjninger, der ved hjælp af store vakuum-plader hurtigt og effektivt suger færgen fast, når den er på plads i færgelejet. Dette sikrer en præcis kobling til ladestikket i færgen.

Til sammenligning kobles der 10 KV vekselspænding på el-færgerne over Øresund og det betyder at AC/DC-konverterne sidder inde i de to færger. Ladearmen er her en særlig robotinstallation. Ladesystemerne i de to færger er dermed meget forskellige.

El-færgens batterier

Batterisystemet er særligt udviklet til Ellen, og det er det første batterisystem til maritimt brug, som er typegodkendt under classeselskabet DNV-GLs nye retningslinjer. Batterierne er vandkølede for at holde driftstemperaturen stabil.

Temperaturen i batteriet er meget vigtig for såvel sikkerheden som batteriets levetid og ydeevne. Der er fire lag af kontrolsystemer knyttet til styring og overvågning af batteriet.

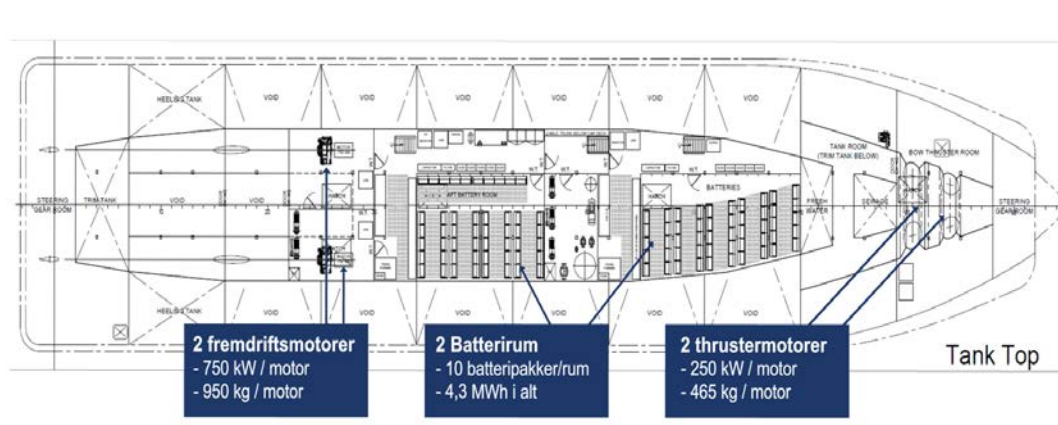
På celleniveau er hver lille battericelle sikret med en fysisk sikring. Samtidig er hver batteripakke sikret med såvel fysiske sikringer som elektronisk styret temperaturkontrol af batteripakken via en række sensorer. Hver batteristreng forsynes gennem en konverter, der hele tiden kan tilpasse den individuelle strøm til og fra denne streng. Endelig har elfærgen et overordnet batteri- og el-styringsystem, som aktivt forsøger at forudsige behov og temperaturudviklinger i alle undersystemer via kendskab til arbejdsdagens operationsprofil. Dette power management system (PMS) er udviklet af Danfoss specielt til "Ellen".



Batterisystemet er designet i moduler, så man nemt kan udskifte en del af det. Efter godt et par måneder skulle 168 ud af skibets i alt 840 batterimoduler udskiftes, fordi de ikke ydede optimalt. Power management systemet skulle også optimeres for at gøre det muligt for de tyve batteristrengte at køre mere uafhængigt af hinanden og dermed ikke holde hinanden tilbage i forhold til ladning og forbrug. Endelig blev softwaren til ladesystemet også optimeret, så det sikres, at alle fire ladelinjer altid kobles til hver gang, der skal lades.

Det elektriske fremdrivningssystem

På næste side ses en skitse som giver et billede af, hvor de enkelte enheder til fremdriftssystemet er placeret i færgen.



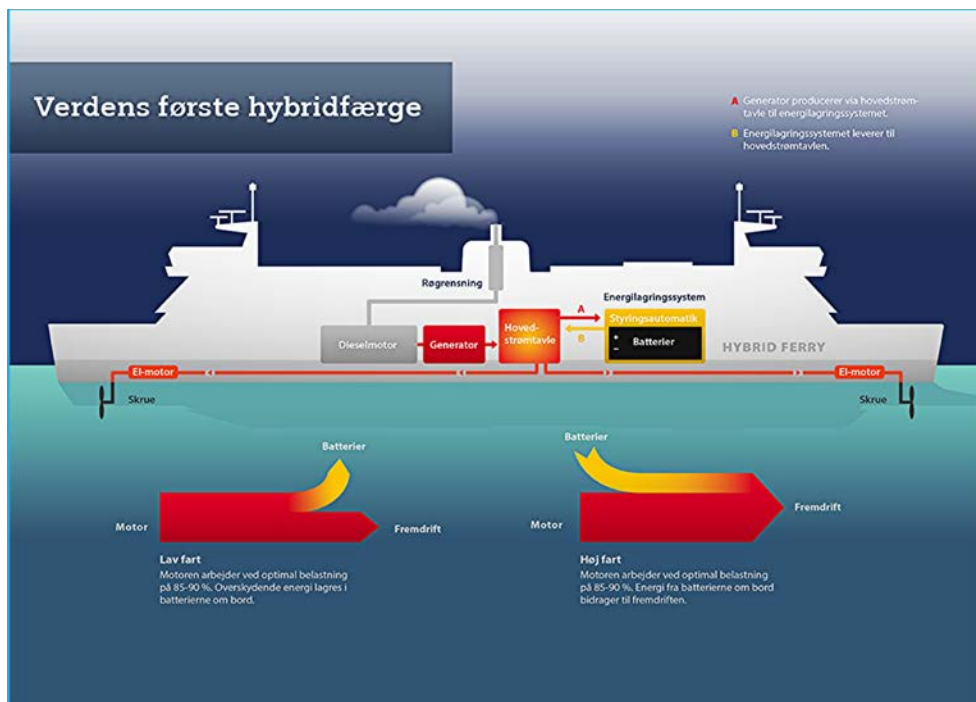
Opbygningen, set i et grundlæggende el-teknisk systemperspektiv, er forholdsvis ukompliceret. Firkan- tet udtrykt er der blot tale om to batteripakker, der forsyner 2 elmotorer til fremdrift og 2 thrustermoto- rer til manøvrering. Fremdriftsmotorerne yder hver ca. 1000 Hk og vejer ca. en femtedel af en tilsva- rende dieselmotor. For skibsmontører og skibsmekanikere er der imidlertid tale om et regulært paradig- meskifte. Alt mekanisk ombord er søgt gjort så elektrisk som muligt. Selv færgeklappen er elektrisk. Der er selvfølgelig også hydraulik og pneumatik om bord, men det er elektrisk styret. Det særligt nye og krævende er imidlertid, at fremdrivningssystemet er indlejret i en omfattende styring, regulering og overvågning, som alt sammen bygger på elektronik og digitalteknik. Kontrol og fejlfinding på fremdriv- ningssystemet involverer, at skibsmontører og skibsmekanikere har indsigt i styring og regulering samt forstår betydningen af den dataopsamling, der finder sted i systemet.



Montage og demontage af motorerne er på mange måder enklere, end det er tilfældet med dieselmoto- rer, men det kræver andre kompetencer nemlig elektromekaniske kompetencer, som billederne af ar- bejdet med Ellens motorer her viser. De mekaniske kompetencer er ikke blevet mindre vigtige, men de skal udfoldes i en markant anden teknologisk kontekst, end det er tilfældet i et traditionelt dieseldrevet skib.

3.2 Hybriddrift

Hybriddrift dækker over flere forskellige løsninger, som alle involverer batteripakker og elmotorer i et større eller mindre omfang. Allerede i 2013 byggede Scandlines en af færgerne på Rødby-Puttgarden- ruten om til en hybridfærge, og i 2014 blev de tre øvrige passagerfærger på ruten ombygget tilsva- rende. Da Scandlines skulle indsætte nye færger på ruten Gedser-Rostock i 2016, valgte man også at gøre disse færger til hybridfærger. Scandlines ejer dermed verdens største hybridflåde. Der er ikke tale om plug-in hybridfærger, og man er dermed ikke afhængig af landstrøm. Det, man udnytter, er at holde dieselmotorerne på det omdrejningstal, hvor de har den højeste virkningsgrad, og dette kan spare op til halvdelen af brændstoffet. Det væsentligste bidrag til færgernes fremdrift kommer dog stadig fra diesel- motorerne. Skitsen herunder viser hovedprincipperne for denne form for hybridløsning.



Kilde: Scandlines

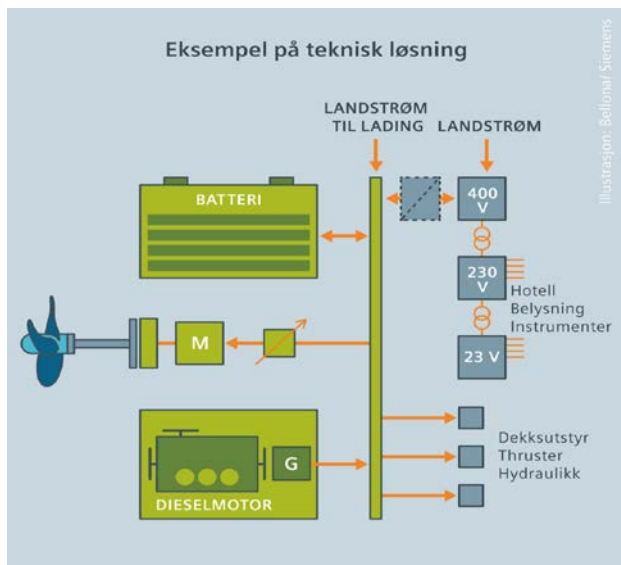
Under ombygningen er én af de fem dieselgeneratorer erstattet med en batteripakke på 1,6 MWh. Ved at samkøre batteripakken med dieselgeneratorerne kan der opnås en konstant, optimal belastning på 85-90% af generatorerne. Derved spares brændstof, og miljøet skånes. Scandlines arbejder på at få alle færger ombygget til 100% batteridrift. Hybridløsningen er dermed et overgangsfænomen for færgerederiet.

Mærsk afprøver et lignende system til brug i containerskibet Maersk Cape Town¹³. Batterisystemet er indbygget i to 40 fodscontainere og har en samlet kapacitet på 600 kWh. Skibets Power Management-System behandler batteripakken, stort set som var det en eksisterende hjælpemotor, og den kobles blandt andet ind under ind- og udsejling, hvor der er et særligt stort behov for øget effekt til skibets thrusterne ved sidelæns manøvrering. Generelt skal batteripakken bidrage til at øge effektiviteten hos de dieselgeneratorer, der er ombord på Maersk Cape Town. Ved at anvende generatorerne mere optimalt og slukke for dem, når der ikke er brug for dem, kan skibets forbrug af brændstof blive reduceret væsentligt. Forventningen er en besparelse på ca. 230 tons brændstof, hvilket svarer til 830 tons CO₂. Forsøget skal hjælpe Mærsk med at rykke hen mod en øget elektrificering af den samlede flåde og terminaler, og derved reducere CO₂-udledningen væsentligt. Mærsk afprøver altså også hybridløsninger!

Plug-in hybridløsninger vurderes til at få en fremtrædende plads i fremtiden ved siden af 100% batteriløsninger. Fordelen er, at man kan kombinere flere energiformer til fremdrift af skibe herunder også store skibe. Brændselsceller kan erstatte dieselgeneratoren i eksemplet fra Scandlines, og solenergi kan også indgå. I det omfang man udvikler CO₂-neutrale brændstoffer i de kommende år, kan plug-in-hy-

¹³ Kilde: Ingeniøren nr. 45 - 8. november 2019

bridløsninger dimensioneres som en økonomisk og miljømæssig optimal kombination af batterier, landstrøm og en CO2-neutral forbrændingsmotor (metanol fx) eller en brændselscelle. En principskitse af en plug-in hybridløsning ses herunder:



Kilde: Bellona/Siemens

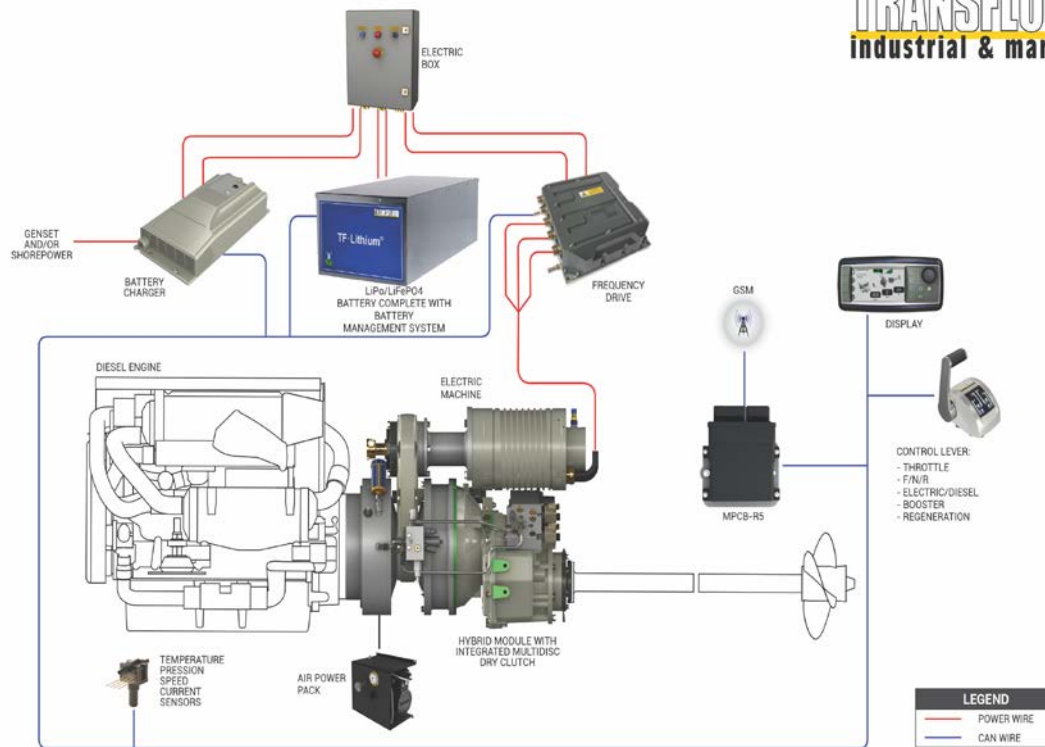
Her kan batteripakken lades ved hjælp af landstrøm eller via dieselgeneratoren i skibet. Fremdrift kan ske alene ved hjælp af batteripakken eller af dieselgeneratoren. Det er også muligt at sikre fremdriften igennem en kombination af dieselgeneratoren og batteripakken.

Færgerne Auroa og Tycho Brahe, der sejler mellem Helsingør og Helsingborg, er plug-in hybridfærger, men de har begge så stor en batteripakke, at de normalt afvikler sejladsen på el. Dieselmotoren er her tænkt til nødsituationer, og hvis tilkoblingen til landstrømmen svigter. Følgende video giver et godt billede af dette. Læg også her mærke til den avancerede styring, regulering og overvågning af fremdriftssystemet (EMS, PMS fra DEIF) samt ladesystemet med robotarmen https://youtu.be/dgg_pohK-q8 Videoen giver et godt billede af, at den tekniske kompleksitet stiger betydeligt ved hybriddrift.

3.2.1 Hybriddrift i undervisningen

I forbindelse med besøget på Svendborg Erhvervsskole & Gymnasier viste det sig, at skolen er ved at opbygge en hybridløsning til brug i undervisningen af skibsmontører. Ved hjælp af fondsmidler har man anskaffet sig alle komponenter til et hybrid anlæg fra Transfluid Industrial & Marine med dieselmotor (Volvo), Lithium batteri, elmotor, transmission og CAN-bus styring. Hybridløsningen er typegodkendt af klassifikationsselskabet DNV GL.

Dette udviklingsprojekt er også meget interessant i relation til efteruddannelse af skibsmontører og skibsmekanikere, men også bådmekanikere og bådebyggere kan her opnå en relevant efteruddannelse i forhold til hybrid fremdrift af større fritidsfartøjer. Anlægget har en passende kompleksitet, så faglærte fra målgruppen kan opnå brede teoretiske og praktiske kompetencer i arbejdet med hybrid anlæg. Dette skal uddybes i det følgende.



Transfluid Industrial & Marine er en italiensk virksomhed, der udvikler og fremstiller hybridløsninger til lastbiler, landbrugsmaskiner og skibe. Det er for en stor del det samme koncept, der anvendes i de forskellige sammenhænge. Denne hybridløsning er særligt udviklet til at kunne bygges sammen med stort set alle marinedieselmotorer med SAE standard svinghjul og SAE standard transmission og kan derfor også bruges ved ombygning af eksisterende fartøjer til hybriddrift. Hybridløsningen kan monteres på dieselmotorer op til 1500 HK og den maksimale ydelse, der kan opnås ved ren el-drift, er 400 HK. Hybridløsningen fra Transfluid Industrial & Marine anvendes derfor i mindre fiskerbåde, passagerbåde, arbejdsbåde og større lystfartøjer. Det er muligt at anvende tre forskellige fremdriftsformer:

- Elektrisk fremdrift uden støj og emissioner.
- Dieselfremdrift/drift, hvor elektromotoren kan fungere som generator, der oplader batteripakken.
- Booster-funktion, som kombinerer kraften fra både elektromotoren og dieselmotoren.

Det er også muligt at oplade batteriet via en kobling til landstrøm.

Hybridanlæggets opbygning

Her skal gives en kort beskrivelse af hybridanlæggets opbygning med henblik på uddannelsesmæssige vurderinger ved beskrivelse af AMU-mål og evt. uddannelsesstrukturer samt undervisningsmaterialer til skibsmontørers, skibsmekanikeres, bådmekanikeres og bådebyggeres efteruddannelse. I beskrivelsen trækkes der både på ovenstående systemdiagram og nedenstående skitse over installationen i fartøjet.

Hybridmodulet

Som det ses herunder, udgør hybridmodulet en forholdsvis klassisk opbygning med en kobling, en transmissionsenhed med udtag til elektromotor/generator og et marinegear. Koblingen anvendes til ind- og udkobling af dieselmotoren og kan styres via en el-hydraulisk eller en el-pneumatisk løsning. Elektromotoren er en tre-faset, permanent magnet, synkronmotor (PMSM) der styres af en motorcontroller, som også gør det muligt, at motoren kan fungere som generator til opladning af batteriet. Pilene i modellen på næste side angiver hvilke komponenter, der er involveret under de tre forskellige driftsformer.

Batteri og lader

Batteriet er et LiFePo4 Lithiumbatteri med indbygget BMS (Battery Management System). Batteriet kan lades fra flere kilder fx landstrøm, solenergipaneler og ekstern generator samt generatoren fra hybridmodulet.

DC til AC inverter (Frequency drive)

Den effektelektroniske enhed, der styrer elektromotoren til fremdrift af fartøjet benævnes ind imellem som en frekvensomformer. Det er imidlertid en lidt upræcis betegnelse. En frekvensomformer omdanner typisk vekselstrømmen fra elnettet til jævnstrøm og derefter tilbage til en vekselstrøm med en frekvens og en spænding, der igennem regulering får elektromotoren til at køre med det ønskede moment og omdrejningstal. Ved batteridrift er der imidlertid kun en jævnspænding til rådighed som input til motorstyringsenheden. Danfoss betegner deres motorstyringsenhed som en DC-AC inverter, og det er fagligt set mere korrekt. Hvis man vil fordybe sig i dette er følgende video interessant:

<https://youtu.be/GI-I1PrPh8Y>

DC-AC invertere har imidlertid meget til fælles med frekvensomformere i forhold til regulering af omdrejningstal, moment, dataopsamling m.m.

I mindre både betegnes DC-AC inverterende ofte som en motorcontroller.

Power Management Systemet (PMS)

Power Management systemet (MPCB) er udviklet af TRANSFLUID – både hvad hardware og software angår. Det varetager hybridanlæggets forskellige funktioner og driftsformer samt dataopsamling fra andre komponenter bl.a. med henblik på fejlfinding. MPCB kan også tilgås og betjenes via en mobiltelefon.

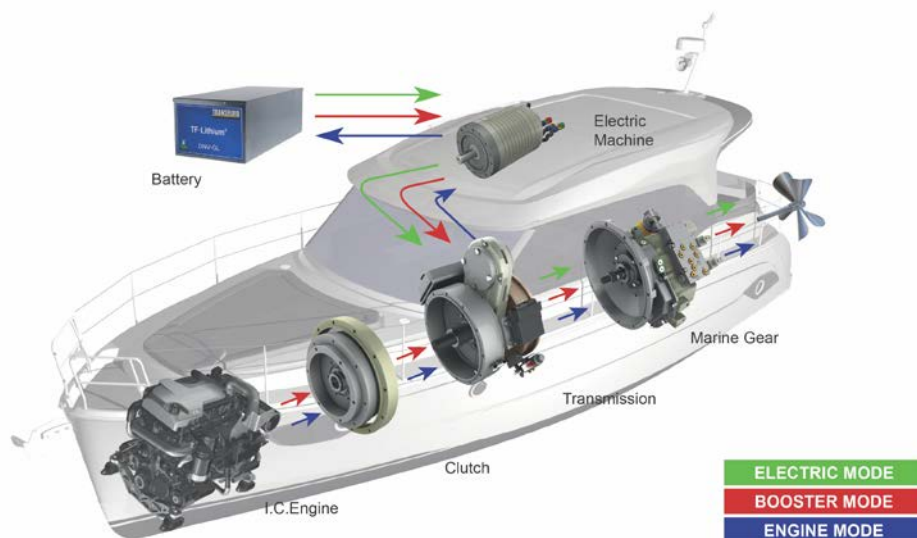
CAN-bus

Integreret i MPCB ligger desuden en CAN-Bus 2.0 enhed. CAN er en forkortelse af: **C**ontroller **A**rea **N**etwork. CAN er udviklet af Bosch og Intel til brug i autobranchen, og man startede helt tilbage i 1981 med udvikling af et netværk til køretøjer, og i 1986 introduceres CAN-protokollen.

I dag bruges CAN-Bus i tog, industrianlæg, på person- og lastbiler, entreprenør- og landbrugsredskaber, kraner, skibe m.m. En af grundene til den store udbredelse er høj sikkerhed, fejldetekteringsmekanismer og en lav kostpris. Fordelen ved CAN-BUS er bl.a., at flere styresystemer kan benytte de samme sensorer til styring og regulering af systemet. Endvidere kan der kræves et signal, en hastighed eller en temperatur, inden et system kan aktiveres, og derved undgår man fejlbetjening eller tilstande, der kan forårsage havari af anlægget. Man kan koble flere enheder på CAN-bussen ved almindeligt plug-

and-play, hvis disse enheder er forberedt til det. På denne måde kan man gradvis koble flere styreenheder, sensorer og displays i skibet/båden, når behovet opstår. CAN-bus er dermed meget fleksibel i forhold til ombygninger og ændringer i skibets drivlinje fx fra dieseldrift til el-drift.

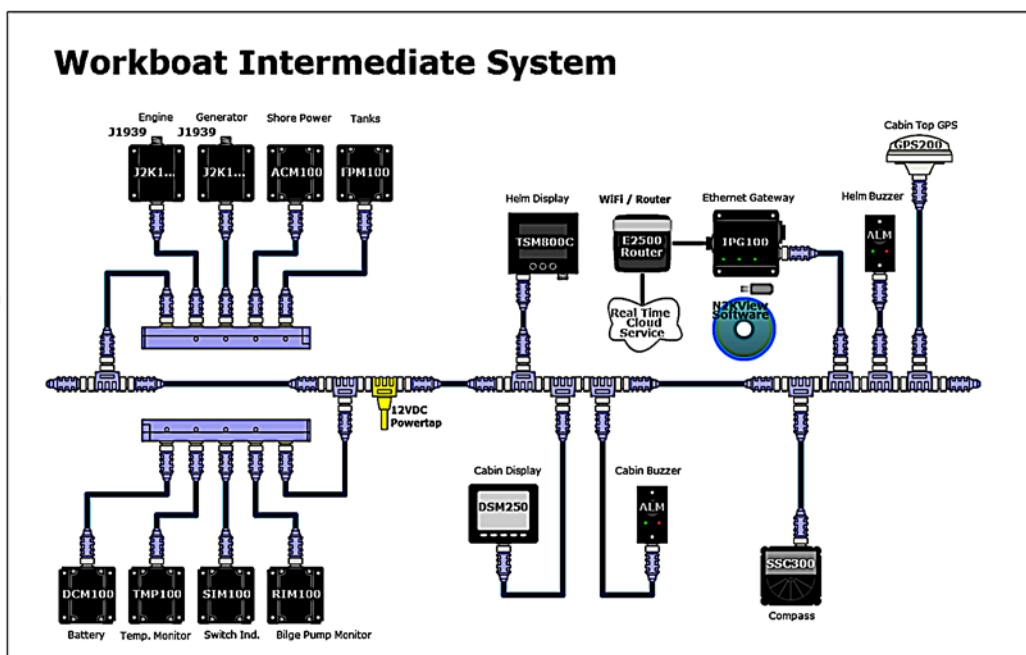
TRANSFLUID
industrial & marine



Ved ændringer i skibets/bådens opbygning, kabelføring mv er det meget vigtigt at tage højde for de problemer, der kan opstå via CAN-bussen. Fx er CAN-bussen meget følsom overfor elektrisk støj, og her udgør store elektromotorer og effektelektronik en særlig udfordring. En korrekt kabelføring bliver derfor meget vigtig i en båd med CAN-Bus. Derudover er der også regler for, hvor meget elektrisk støj en given installation må udsende. Her bør skibsmontører være i besiddelse af en grundlæggende viden om, hvordan elektrisk støj genereres og fænomenet EMC (Electro Magnetic Capability) samt de regler, der er knyttet hertil. Der findes allerede AMU-kurser om EMC på et grundlæggende niveau.

3.2.2 NMEA 2000-netværk

Det er vigtigt at skibsmontører, skibsmekanikere, bådmekanikere og bådebyggere ud over CAN også har viden om datakommunikation efter NMEA 2000®. NMEA står for National Marine Electronics Association, og standarden NMEA 2000® specificerer krav til et serielt datakommunikationsnetværk, der forbinder elektronisk marineudstyr i skibe/både. Standarden bygger på CAN, og er derfor også kompatibel med CAN-enheder. Hensigten med den særligt maritime NMEA 2000-standard er at samle alle elektroniske enheder på skibet i det samme netværk, uanset om der er tale om sensorer i maskinrummet, alarmer på dæk eller navigationsinstrumenter på broen. Et eksempel på anvendelse af NMEA 2000-netværk ses herunder.



Kilde: Maretron – Vessel Monitoring & Control

Med en stigende digitalisering af skibene bliver det nødvendigt at samle al dataopsamling og styring/regulering i ét netværk. Alle informationer/data om skibets tilstand og drift kan dermed findes her og observeres fra en hvilken som helst destination med adgang til den pågældende cloud-løsning. Samtidig er netværket grundlaget for autonom drift, der betyder, at skibet kan sejle helt eller delvist automatisk, lige som det ses inden for den professionelle luftfart.

NMEA 2000-standarden har vundet indpas i fartøjer op til coaster-størrelser. I store skibe er der imidlertid en tendens til, at det centrale netværk svarer til dem, der findes i industrien. NMEA 2000-enheder har ligesom CAN-enheder nogle begrænsninger i hastighed og en arkitektur, der ikke er på højde med de krav, der stilles til udviklingen inden for "smart ship" fx i relation til opsamling og transmission af meget store datamængder. Tilsvarende kræver autonom drift af skibe også behandling af meget store datamængder.

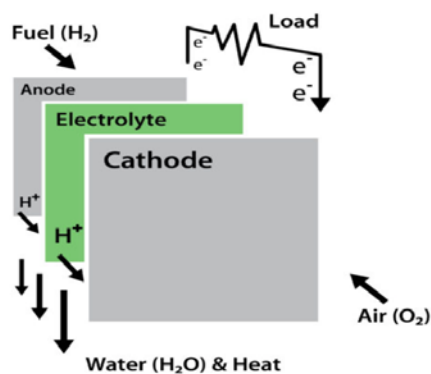
3.3 Brændselsceller til fremdrift af skibe

Det er som allerede nævnt sandsynligt at brændselsceller bliver en teknologi, der afgørende vil forme de valgte løsninger inden for el-drift af skibe i de kommende år. Det er en velafprøvet og etableret teknologi, og fx Serenergy har haft en kommercielt bæredygtig og profitabel produktion af brændselscelleløsninger siden 2013 til en række brancher herunder den maritime. Salget til Fisher peger på, at teknologien for alvor er ved at bryde igennem kommercielt. Uddannelsesmæssigt er det et område, der bør følges tæt ikke mindst set i lyset af den særlige position Danmark har i udviklingen af denne teknologi. Måske ligger der et industrieventyr her, der kommer på højde med vindmøllerne?

Der findes flere typer brændselsceller, og et fælles træk for dem alle er, at de med meget høj effektivitet kan omsætte brændstoffer direkte til elektricitet uden miljøbelastning. Brændselsceller er meget fleksible og kan laves i alle størrelser fra en lille celle, der kan give strøm til en mobiltelefon over brændselscelleanlæg til biler, parcelhuse og endelig brændselscelleanlæg til kraftværker og skibe i megawatt-størrelsen. De mest almindelige typer, der for tiden fremstilles i Danmark, er følgende:

- Lavtemperatur PEM-brændselsceller arbejder ved under 100 °C. De skal have ren brint og har virkningsgrader på 40-60 pct. En variant af lavtemperatur-cellen er direkte methanol-cellen (DMFC), som kan bruge methanol. Fremstilles f.eks. hos IRD Fuel Cells.
- Højtemperatur PEM-brændselsceller arbejder ved cirka 200 °C og kan anvende naturgas samt methanol, hvor der internt i systemet skal ske en lettere reformering af brændstoffet. Fremstilles f.eks. hos Serenergy, Blue World Technologies og Ballard Power Systems.
- SOFC-brændselsceller arbejder ved op til 850 °C og kan anvende naturgas, diesel og biobrændstoffer. El-virkningsgraden ligger på omkring 65 procent. Topsoe Fuel Cell A/S har forsøgt at udvikle denne type frem til et kommercielt stadium, men opgav og lukkede virksomheden i 2014. DTU og Haldor Topsøe forsker dog videre i denne teknologi, som har et stort potentiale, da den har en høj virkningsgrad, indeholder ikke dyre metaller og kan både levere varme og strøm.

Som funktionsdiagrammet herunder viser, så er en brændselscelle grundlæggende simpel i opbygningen. Den fungerer nærmest som et omvendt batteri.

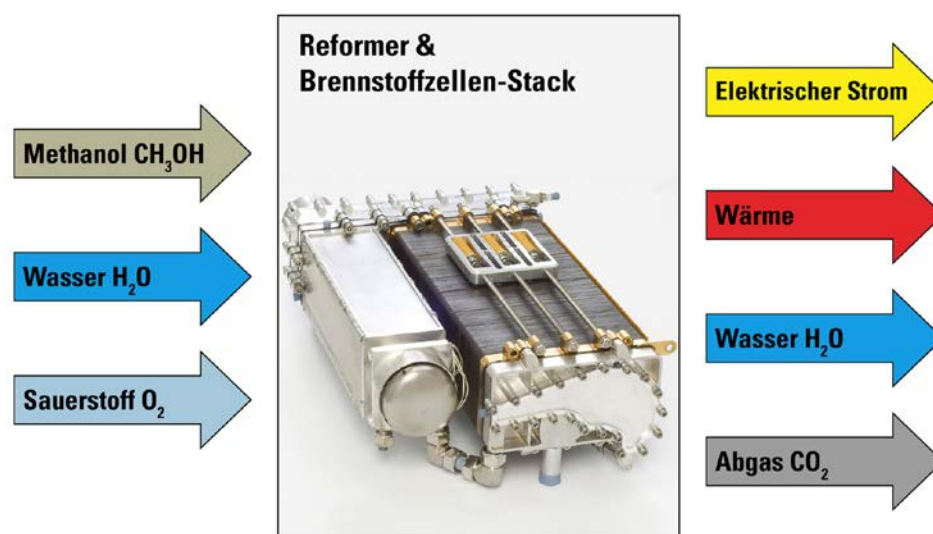


Kilde Serenergy

Serenergy anvender methanol som brændsel, og den ledes igennem en reformer og omdannes til brint. Denne proces er CO₂ neutral under den forudsætning, at methanolen produceres ved anvendelse af alternative energikilder uden CO₂ udledning fx vind. Selv hvis methanolen fremstilles af naturgas, som i dag er det mest almindelige, vil en brændselscelle sikre en betydelig reduktion af CO₂-udslippet, da den har en væsentlig bedre virkningsgrad (ca. 65%) end de forbrændingsmotorer, den erstatter. Samtidig er der ingen udledning af partikler og NOX. Kun CO₂ og rent vand.

Fysisk ser brændselscellen ud som det ses på billedet herunder:

Funktionsprinzip



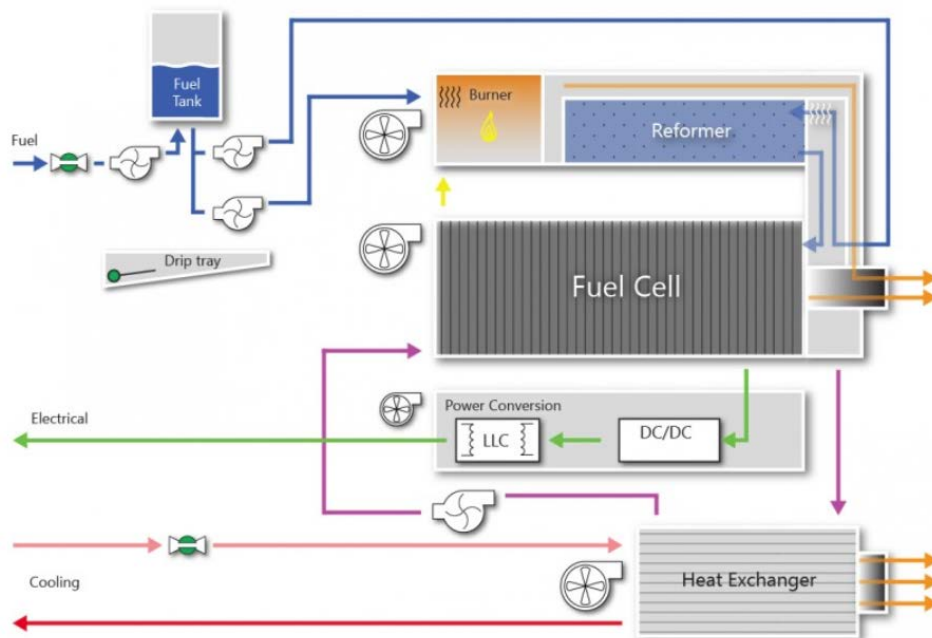
Som det vist, producerer selve brændselscellen strøm, når den tilføres ilt og brint, men for at danne tilstrækkeligt med strøm har brændselscellerne brug for en relativ stor mængde ren, komprimeret luft. Her har den danske virksomhed Rotrex med støtte fra Innovationsfonden udviklet en luftpumpe, der øger brændselscellens effektivitet med hele 15%¹⁴.

Pumpen er den første af sin art på markedet og ventes at øge virksomhedens omsætning med flere hundrede procent inden for kort tid. Mange brændselscelleproducenter står på spring for at inddrage Rotrex's pumpe i deres brændselscelleløsninger herunder Ballard Power Systems. Dette er endnu et eksempel på, hvor langt fremme danske virksomheder er inden for brændselscelleteknologien.

Hvis brændselsceller bliver den "game changer", som det ser ud til, så vil der inden for en 5 års periode opstå efteruddannelsesbehov hos skibsmontører og skibsmekanikere inden for dette område. Hvis det bliver almindeligt, at erstatte genset og hovedmotor med brændselscelleløsninger, så skal skibsmontører og skibsmekanikere også kunne montere, servicere og reparere disse installationer.

¹⁴ Kilde: Biopress.dk: *Nyhedsbrev om forskning i bioenergi, brint & brændselsceller nr. 86*, oktober 2019

Her er der mere end selve brændselscellen at forholde sig til, som nedenstående skitse viser. Ud over selve brændselscellen og reformeren er det imidlertid kendte teknologier, der går i igen i det viste anlæg.



NO NEED FOR HUMIDIFICATION

Kilde: Serenergy

Power konverteringen fra brændselscellens DC-spænding til en AC-spænding på de sædvanlige 230V sker her på en genkendelig måde. Først sørger en DC/DC konverter for at skabe en stabil spænding på et passende niveau til DC/AC inverterens input. DC/AC inverteren konverterer DC-spændingen på dens inputterminaler til en AC-spænding på typisk 230V med en fast frekvens på 50 Hertz på inverterens udgang. LLC henviser til den principielle kredsløbsmæssige opbygning af inverteren.

Serenergy i Aalborg har i flere år leveret denne type brændselscelleløsninger til sekundær elforsyning i større skibe herunder krydstogtskibe. Anlæggene fylder ikke ret meget, og de larmer ikke.

I forhold til spørgsmålet på side 7 om hvilke teknologier og teknologikonstellationer der vil være mest fremtrædende i de kommende år i forhold til eldrift af professionelle fartøjer så vil brændselsceller efter alt at dømme få en fremtrædende plads. De foregående sider viser imidlertid, at der er ingen af de omtalte teknologier, der bliver enerådende. Det er i sig selv en udfordring uddannelsesmæssigt, da man i en længere periode stadig skal kunne arbejde med forbrændingsmotorer samtidig med, at der ikke bare føjes én ny teknologi til, men flere. Det er dog situationen inden for de fleste uddannelser i disse år. På fritidsområdet er det knap så kompliceret som helhed.

Del 2: Fritidsbåde og mindre erhvervsfartøjer

Bådebyggere og bådmekanikere arbejder typisk med fritidsbåde, men en del, er også beskæftiget med servicering, reparation og bygning/ombygning af mindre erhvervsfartøjer. Tucoværftet i Fåborg uddanner bådebyggere, og her er bådebyggerne også den centrale faggruppe ved bygning af værftets forskellige erhvervsfartøjer i komposit. Bådebyggerne er også involveret i installation af motorer og andre tekniske komponenter og enheder i skibene. Det samme gælder i det væsentlige på Hvide Sande Shipyard og på Jobi værftet i Strandby, hvor bådebyggerne også udfolder en betydelig variation i opgaverne på værftet. Nogle bådmekanikere arbejder også med motorinstallationer i mindre erhvervsfartøjer. Derudover er fritidsbådende vokset væsentligt i størrelse i de sidste 20 år, og derfor er der ofte et betydeligt teknologisk overlap mellem større fritidsbåde og mindre erhvervsfartøjer. Dette overlap lader til at blive mere udtalt med stigende anvendelse af eldrift – både i forhold til ren batteridrift og hybriddrift.

Flere interviewpersoner, der arbejder med fritidsbåde, fortæller, at flere og flere kunder ønsker elmotorer i stedet for diesel. Man er også parat til at betale ekstra for den komfort, det giver at sejle på el. Prisforskellen indsnævres dog i takt med, at både batterier og motorer falder i pris. Især kunder med sejlbåde efterspørger eldrift, når dieselmotoren skal repareres. Elmotoren og batteripakken tager noget mindre plads end en dieselmotor, og det vægter sejlerfolket højt. Samtidig er det at sejle lydløst for motor noget, der særligt tiltaler sejlere.

Citat: "Før har jeg skullet forklare folk, at el-løsningen godt nok er dyrere, men den er også billigere i drift og vedligehold. Nu er jeg ofte ude i, at når jeg giver et tilbud på en ombygning af en sejlbåd til eldrift, så siger folk, at det er billigere end en tilsvarende dieselmotor. Prismæssigt begynder det at hænge sammen helt fra starten. Når folk så har prøvet at sejle med el, så sætter de aldrig en dieselmotor i båden igen."

Det seneste års prislejlfald på lithiumbatterier kan betyde, at el-løsninger vil erstatte forbrændingsmotorer i de fleste sejlbåde. Et 12 Volt 100Ah LiFePo4 batteri er faldet til omtrent det halve af, hvad det kostede for godt et år siden – fra ca. 8000 kr. til ca. 4000 kr. Den samme udvikling ses også for 24V og 48V batterierne. Derudover har el-motorer været anvendt i væsentlig længere tid i fritidsbåde end i professionelle fartøjer og er dermed mere afprøvet og etableret. Torqeedo har fx mere end 80.000 el-motorinstallationer i drift verden over, og langt de fleste sidder i fritidsbåde. Derudover anvender Torqeedo bilbatterier fra BMW som masseproduceres i en helt anden skala end batterier til både. Derfor vil man også se større motorbåde gå over til eldrift i de kommende år med modificerede bilbatterier om bord. Flere el-motorbådsfabrikanter markedsfører ofte deres både som havets Teslaer.

Umiddelbart skulle man tro, at emissioner fra fritidsbåde er beskeden, og at en politisk bestemt regulering derfor ikke bliver en driver for implementeringen af elmotorer og batteripakker i fritidsbåde, sådan som det ses inden for den professionelle skibsfart. Den nuværende regulering af fritidssejlsads har været knyttet til særligt sårbare områder i søer, åer og kanaler, hvor der er nedlagt forbud imod at sejle med forbrændingsmotorer. Denne regulering tager til i styrke i hele Europa, men emissioner fra fritidsbåde vil også komme til at spille en rolle for valg af eldrift.

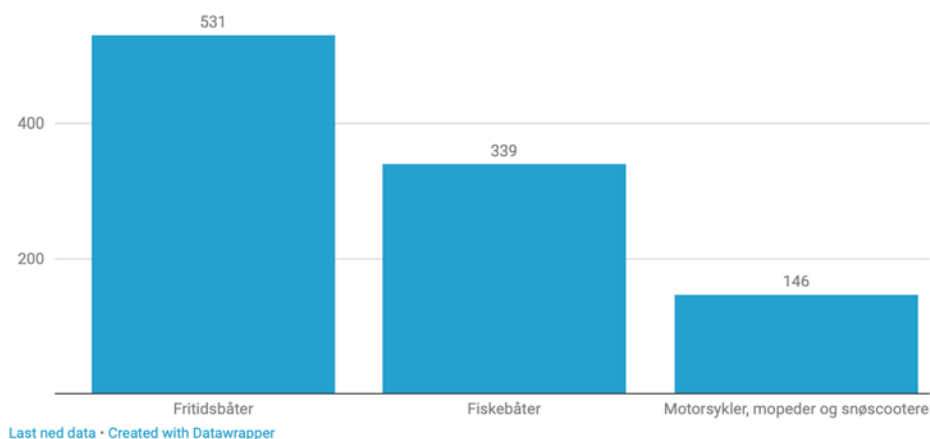
1 Emissioner fra fritidsbåde

Emissionerne fra fritidsbåde hænger naturligvis sammen med antallet, men der findes ingen præcise opgørelser over hvor mange fritidsbåde, der findes i Danmark. Miljøstyrelsen har i en kortlægning af de danske lystbådehavne nået frem til ca. 60.000 havnepladser. Der er imidlertid mange små bådelaug, der ikke er organiseret, og en del småbåde, der ligger for svaj i de danske fjorde samt trailerbåde på land og i garager. Ud fra de tal, der er tilgængelige, er det ERAs vurdering, at det samlede antal fritidsbåde i Danmark antageligt er tæt på 100.000. Under workshoppen på U/Nord i Hillerød blev dette tal diskuteret, og her var deltagerne af den opfattelse, at 100.000 må være i underkanten set i lyset af antallet af fritidsbåde i Norge. Her estimerer den årlige "Båtlivsundersøgelse" i 2018 antallet af fritidsbåde til mere end 900.000. Denne undersøgelse har sammen med tal fra "Statistisk Sentralbyrå" skabt en meget stor opmærksomhed om emissionerne fra fritidsbåde.

Cirka 60% af alle fritidsbåde i Norge er motorbåde og de går på fossilt brændstof, viser "Båtlivsundersøgelsen" for 2018. I 2017 var den samlede udledning fra fritidsbåde i Norge 531.000 tons CO₂-ekvivalenter, viser tal fra "Statistisk Sentralbyrå". Som grafen herunder viser så er udledningen meget højere end alle landets fiskebåde til sammen.

Utslipp av klimagasser fra ulike kilder

Målt i CO₂-ekvivalenter



Kilde: Norsk Elbåtforening

Undersøgelsen har skabt stor debat i Norge og krav om lovgivningsinitiativer med henblik på at reducere den høje udledning fra fritidsbådene. Den norske "elbåtforening" udfører et større lobbyarbejde med henblik på fx at få opsat kraftige ladestandere til elektrisk drevne fritidsbåde i havnene. Når man længe har haft fokus på at konvertere den norske fiskerflåde til el- og hybriddrift, så virker det paradoksalt ikke at gøre det samme med fritidsbådene, som jo udleder langt mere.

Der er ingen undersøgelser, der omhandler emissioner fra danske fritidsbåde, men set i lyset af de norske tal, så må den være betydelig.

2 Udviklingen inden for mindre eldrevne fartøjer

På grund af de stærk faldende priser på almindelige standard lithiumbatterier på 12V-24V og 48V og i området 50-200Ah, sælges der nu mange batterier og elektriske påhængsmotorer til joller og lignende båd størrelser via almindelig nethandel, hos bådforhandlere og i Biltema samt andre varehuse. Køberne installerer selv batteriet i båden og hægter motoren på og tager ud at fiske eller nyder bare sejladserne. Elmotorens pris fra ny (fra under 1000 kr.) og forbrug viser, at alle elektriske modeller er væsentlig billigere end en forbrændingsmotor på stort set alle parametre. El-motorerne er næsten vedligeholdelsesfrie, dog anbefales det at tjekke dem typisk hver femte år, men der vil være sjældent behov for at udskifte noget. Med et 100Ah Lithiumbatteri vil rækkevidden for en mindre ikke planende jolle nemt kunne komme op på 8 timer for halv kraft.

Når båden skal plane, så kræver det enten en forbrændingsmotor eller en stor batteripakke til at forsyne en tilsvarende kraftig elmotor, og dette er der også en del eksempler på allerede, men det er stadig en temmelig dyr løsning set i forhold til en speedbåd med forbrændingsmotor. En svensk virksomhed har imidlertid udviklet en eldrevne hydrofoilbåd kaldet Candela, som har skabt stor opmærksomhed verden over. Længden er 7,5 m og bredden er 2,5 m. Elmotoren yder 43 kW og lithium ion-batteriet er på 40 kWh. Rækkevidden er så stor som 60 sømil (ca. 110 km). Konceptet bygger på den nyeste viden inden for avanceret højhastighedssejlads med hydrofoil-/flyvebåde, og kombinationen af flyvebådsteknikken med 'vinger' under vandlinjen og en konstruktion i kulfiber mindsker energibehovet markant. Candela er omkring 95 procent billigere i energiforbrug end tilsvarende konventionelle benzindrevne speedbåde. En video af båden i drift kan ses her:

https://youtu.be/1mNOGuMCV_I

Et andet udviklingsprojekt, som har skabt stor opmærksomhed, er en el-dreven redningsbåd til 32 personer, der kastes ud fra bølgeplatforme i tilfælde af en nødsituation. Båden kaldes "Electric Lifeboat" og er monteret med en 50KW motor fra Torqeedo, svarende til 80 HK, og et modificeret BMW I3 batteri. En video, der viser båden, ses på følgende adresse: <https://youtu.be/cA8sXKccUNY>

Båden er kommercielt fordelagtig set i forhold til diesel, da man løbende kan fjernkontrollere redningsbåden og dermed sikre, at den hele tiden er klar til at fungere i en nødsituation. Det har vist sig, at vedligeholdelsesomkostningerne er reduceret med 90-95% set i forhold til en dieselredningsbåd.

Ovenstående eksempler viser, at der også er gang i udviklingen af el-drift inden for fritidsbåde og mindre erhvervsfartøjer. Der er selvfølgelig tale om lidt specielle eksempler, der viser, hvilken kreativitet der også udfoldes her. Det store volumen ligger dog i de mere almindelige både og fartøjer. Udviklingen kan hurtigt nå derhen, hvor helt særlige forhold må gøre sig gældende, hvis man ønsker en forbrændingsmotor, når en bådmotor skal skiftes eller reoveres. I løbet af få år vil nyinstallerede forbrændingsmotorer i sejlbåde være en sjældenhed, fordi el-drift vil være den billigste løsning. Det samme vil gælde for ikke planende joller. Store planende motorbåde vil stadig have forbrændingsmotorer om bord, men i fremtiden som en hybridløsning sammen med en større batteripakke og en el-motor. Hvis fritidsfartøjer ved ombygning kan opnå skrotningspræmier for forbrændingsmotorer, ligesom i Sverige,

kan udviklingen accelerere ganske voldsomt. Udviklingen vil helt sikkert nedsætte efterspørgslen efter bådmechanikere, da behovet for reparation og vedligehold på fritidsbådenes motorer vil falde meget.

3 Teknologier til elektrisk fremdrift af mindre fartøjer

I dette kapitel skal det belyses ved nogle eksempler hvor stort et teknisk og fagligt overlap, der er i de kompetencer, der skal til for at arbejde med el-tekniske løsninger i mindre erhvervsfartøjer og fritidsfartøjer. Fokus ligger på at kunne vurdere, om målgruppen, altså skibsmontører, skibsmekanikere, bådme- kanikere og bådebyggere, på nogle områder har de samme efteruddannelsesbehov set i forhold til el- drift og el-tekniske løsninger i skibene/bådene. Hvis dette er tilfældet, kan man udvikle i det mindste nogle fælles efteruddannelseskurser for hele den nævnte målgruppe. Dette kræver en nærmere analyse af de anvendte teknologiske løsninger i mindre erhvervsfartøjer og fritidsfartøjer.

3.1 Batterier, batteripakker og ladeanlæg

Til små el-motorer i mindre joller anvender man typisk Lithiumbatterier på 12V eller 24V. De svarer i størrelse og form til de batterier, man ser i almindelige biler, men vejer væsentligt mindre. I nogle til- fælde kan man seriekoble batterierne og dermed opnå en højere spænding fx 48V, men i andre er BMSen (Battery Management System) i batteriet, ikke beregnet til det. Det skal man være opmærksom på. Mange bygger batteripakker op i motorbåde og sejlbåde på basis af disse standardbatterier, og det fungerer godt, hvis man bruger de rigtige kabler, stik og tilslutninger m.m. I modsat fald kan man starte en farlig brand i båden. Der er altså en række eltekniske og sikkerhedsmæssige forhold, der skal tages højde for allerede ved disse forholdsvis simple lavspændingsinstallationer. Derudover skal man også have styr på, hvor meget man lader med og om de terminaler og kabler, der indgår i dette kreds- løb, også kan klare ladestrømmen, og om laderen også er beregnet til lithiumbatterier.

3.1.1 Batteripakker fra bilbranchen

Det er oplagt at bruge bilindustriens massefremstillede batteripakker i fritidsbåde og mindre erhvervs- fartøjer. Der skal dog typisk bygges om på BMS'en og evt. ændres på indkapslingen, sådan at batteriet



› Deep Blue Battery BMW i3
Nominal voltage: 360 V
Capacity: 40.0 kWh
Weight: 278 kg
Dimensions: 1660 x 964 x 174 mm

fungerer optimalt i et maritimt miljø. Torqeedo og BMW har et tæt samarbejde. Batteriet her- under sidder i både den svenske speedbåd Can- dela og den elektriske redningsbåd, som begge er omtalt på foregående side.

Torqeedo kræver i dag, at installation af disse batterier skal udføres af deres egne teknikere. Batterispændingen er på 360V, og det udgør en sikkerhedsrisiko i sig selv. Derudover koster batteriet ca. 200.000 danske kroner.

I fremtiden vil dette antageligt ændre sig. I au- tobranchens værksteder er der fx ingen, der fo- restiller sig, at en mekaniker ikke skal kunne

skifte et batteri i en elbil, når dette på et tidspunkt bliver nødvendigt.

De mest almindelige motorinstallationer i fritidsbåde ligger på 48V, og batteriinstallationer i dette spændingsniveau udgør ingen berøringsfare.

3.1.2 Uddannelsesmæssige overvejelser

Den viden om batterier og batteripakker, som skibsmontører og skibsmekanikere skal være i besiddelse af i forhold til el-drift af skibe, svarer grundlæggende til den viden, som bådebyggere og bådmekanikere skal kunne betjene sig af ved arbejdet med batterier til fremdrift af fritidsbåde og mindre professionelle fartøjer. Batteripakken på el-færgen "Ellen" er opbygget af battericeller og moduler af celler ligesom dem, der sidder i fritidsfartøjer. Cellerne virker på samme måde og BMS'en har samme funktion. PMS og evt. EMS kan også findes i mindre fartøjer. De sikkerhedsmæssige forhold er selvfølgelig skaleret anderledes i store batteripakker på 50 tons, men netop sammenhængen mellem batteripakkernes størrelse og de foranstaltninger, der skal tages i forhold til sikkerhed, er meget vigtig at kunne overveje og vurdere. Se evt. på s. 21-23 for at sammenligne.

Senere i rapporten leveres et udspil til indhold i et grundlæggende kursus i lithium-batteripakker for skibsmontører, skibsmekanikere, bådmekanikere og bådebyggere.

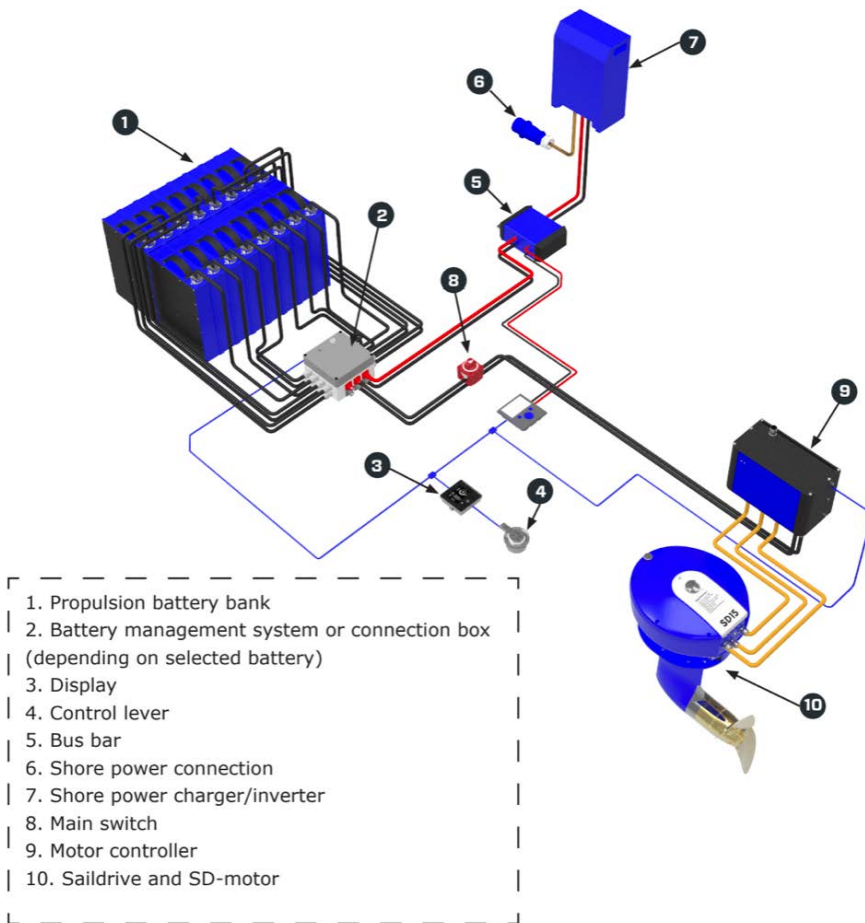
3.2 El-motorinstallationer og hybridløsninger

Installation af elmotorer i både nye og eksisterende fartøjer er væsentligt enklere end det gælder for dieselmotorer. Hvis man i det daglige arbejder med både, så er det ganske overkommeligt at lære:

Citat: "Jeg har været 10 dage på kursus hos Torqeedo i Sydtykland, og det er nok til, at jeg er certificeret servicepartner op til 48 volts motorinstallationer. Det dækker langt de fleste fritidsbåde. Så er der løbende noget opfølgning, og noget af det foregår som videokurser, så man ikke skal til Tyskland for et kursus på en enkelt dag. Jeg har ikke haft nogle opgaver, jeg ikke kan løse endnu. Det handler fx om udskiftning af elektronik – det er meget simplere at reparere end en dieselmotor. Det hele er jo moduler. Der er ingen reparationer og vedligehold af lejer, pumper, filtre, brændstofs-systemer og alt muligt. Det er nemt at skille ad og samle igen. Jeg tænker, at det er 10 gange nemmere at servicere end de nuværende forbrændingsmotorer."

Service og reparationer er langt mindre på el-både end både drevet af dieselmotorer. Det er der flere udlejningsfirmaer, som har erfaret i praksis. Her udnytter man, at der er muligt at få vejledning og fejlfinding på hele bådens el-system af en kyndig fagmand remote. I kraft af at hele styring og reguleringssystemet til el-motoren, batteriernes BMS, ladesystemet samt alle instrumenter, sensorer mv kører på en CAN-bus, er det muligt at tilgå hele bådens elektriske installation via internettet. Den samme komplette fejlfinding er ikke muligt at gennemføre remote på en dieselmotor. Dette er beskrevet nærmere på Oceanvolts hjemmeside www.oceanvolt.com

Oceanvolt er en finsk virksomhed, der udvikler og fremstiller elektriske fremdriftssystemer til fritidsbåde og mindre erhvervsfartøjer. Lige som Torqeedo er Oceanvolt en af de større spillere på markedet for eldrift. Herunder ses en model for et fremdrivningssystem til et mindre fartøj.



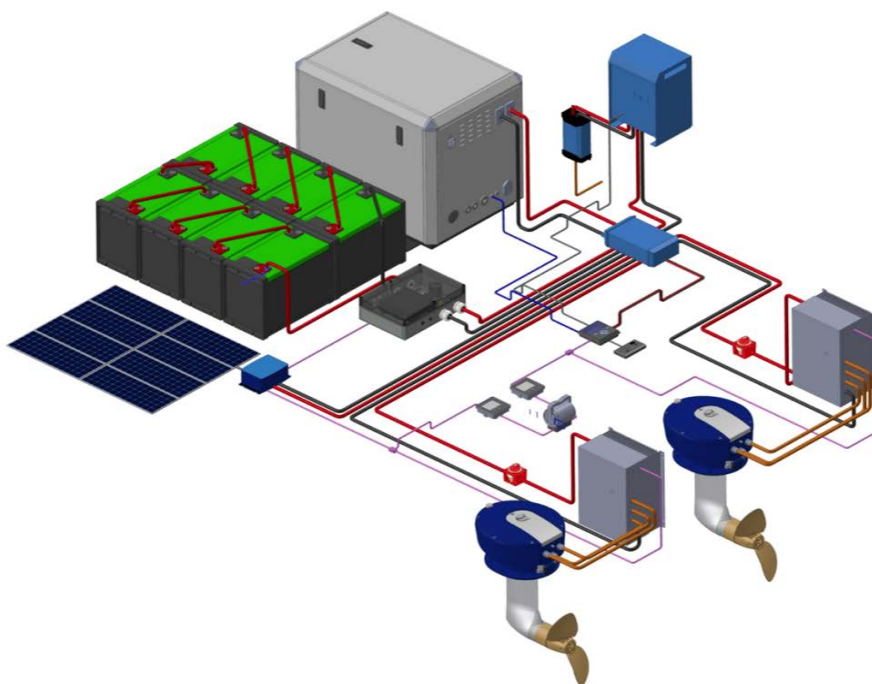
Der er tale om et lavvoltsanlæg, som kører på 48V og derfor ikke er berøringsfarlig. Anlægget kan arbejde med motorer på den anden side af 20KW og med en ekstra motorcontroller kan anlægget også fungere med to motorer. Opbygningen er den sædvanlige, som man ser inden for andre fabrikater fx Torqeedo. Hvis bådebyggere, bådmekanikere, skibsmontører og skibsmekanikere kan forstå og arbejde med dette anlæg, så har de rigtig gode forudsætninger for at kunne forstå og arbejde med tilsvarende anlæg i større skibe. Opbygningen er grundlæggende den samme: En batteripakke, BMS, el-motor til fremdrift, motorcontroller (DC-AC inverter), CAN-bus, diverse instrumenter, afbrydere og sensorer. I større skibe og i forbindelse med mere avancerede løsninger (fx remote kontrol) bygger man videre/ovenpå dette system. Batteripakken i "Ellen" virker på samme måde som ovenstående, men den er meget større og seriekoblet op til en høj spænding, er vandkølet, brandsikret og udbygget med et mere avanceret overvågningssystem.

På næste side ses et diagram over det mest enkle CAN-bussystem, der så kan udbygges med et antal af enheder.

Udskiftning af en dieselmotor til en elmotor i en sejlbåd er også ganske overkommeligt for en bådebygger eller en bådmekaniker, som følgende video viser: <https://youtu.be/ncnwydOJ0gU>

Hybridanlæg

Herunder ses et hybridanlæg med to motorer til et mindre fartøj fx en lystbåd, havnefærge, fiskerbåd mv. Læg mærke til at hybridanlægget er en udbygning af anlægget på foregående side. Anlægget er udvidet med en dieselgenerator (den grå kasse) og et solpanel samt en ekstra motor inkl. controller. Derudover er der også tilføjet flere instrumenter til anlægget. Anlægget er meget fleksibelt opbygget, og dieselgeneratoren kan erstattes med fx en brændselscelleløsning.

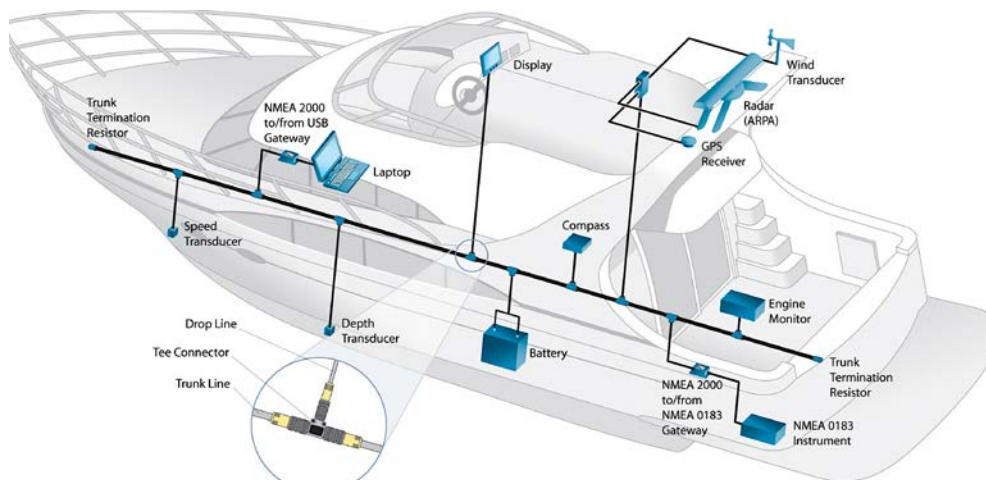


I en sejlbåd er det som regel mest effektivt at generere strøm fra bådens fart, altså via motorens propeller. Motoren fungerer i denne situation som generator (hydrogenerator). Det viste anlæg er også beregnet til dette. Oceanvolts særligt udviklede propel "Servoprop" kan dreje propelbladene mere end 180 grader og kan derved generere mere end en 1KW ved en fart på 6-8 knob. I kombination med et passende solenergianlæg om bord kan en sejlbåd stort set klare fremdrift og forsyning om bord uden landstrøm.

3.3 NMEA 2000-netværk i fritidsbåde og mindre fartøjer

NMEA-2000 standarden er tidligere omtalt i rapporten (s.31). NMEA-2000 er et åbent netværk, som tillader kommunikation mellem marineinstrumenter, transducere, følere mv af forskellige fabrikater og er ganske udbredt i moderne fritidsbåde. Standarden bygger på CAN og er derfor kompatibel med CAN-enheder.

På workshopen på U/Nord i HBillerød blev NMEA-2000 netværk nævnt flere gange, og deltagerne gav udtryk for et efteruddannelsesbehov på dette område.



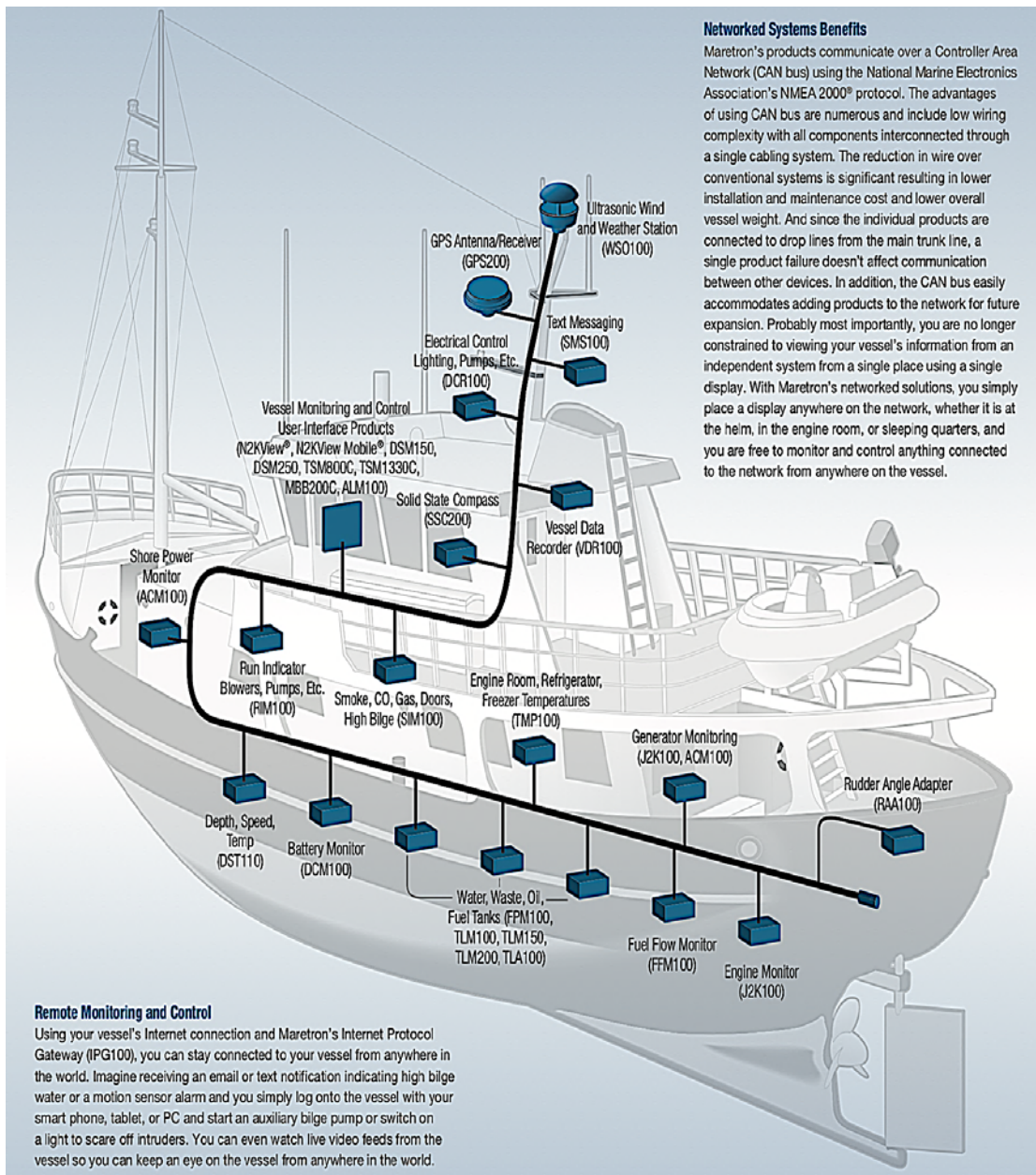
Kilde: Maretron

Et grundlæggende NMEA-2000 netværk består af et "backbone" kabel, der kan løbe på langs af båden, som illustreret på ovenstående billede. Instrumenterne tilsluttes netværket via drop-kabler og T-stykker. Det bliver på denne måde meget enkelt at udbygge netværket med nye instrumenter via "plug-and-play".

Når kablerne er trukket og netværket er etableret, så er det temmelig ukompliceret at udbygge det med flere instrumenter, transducere, følere mv, især hvis man kender noget til NMEA-2000 netværk og dets typiske virkemåde og opbygning.

Da CAN-bus og NMEA-2000 netværk efterhånden er udbredt i hele fartøjet, som billedet viser, så vil man ofte komme i berøring med enheder, der er tilsluttet netværket. Ved reparationer og ombygninger kan bådebyggere og bådmekanikere nemt komme til at skulle udskifte en føler eller transducer, og så er det nødvendigt, at man ved noget om netværket. Derudover skal begge faggrupper kunne rådgive kunder om fx udbygning af netværket og de fordele, man opnår igennem dette. Muligheden for at skabe mersalg og samtidig løse et problem for kunden hører med til at være en moderne fagmand. En faglig betonet kommunikation med leverandører af instrumenter og netværk er også noget man som kunde må forvente, at bådebyggere og bådmekanikere kan.

Herunder ses et eksempel på et større fartøj med NMEA-2000 netværk. Læg her mærke til hvor mange enheder fra maskinrummet, der er koblet på netværket. Der er efterhånden ikke meget, man kan arbejde med uden at komme i berøring med netværket.



Networked Systems Benefits

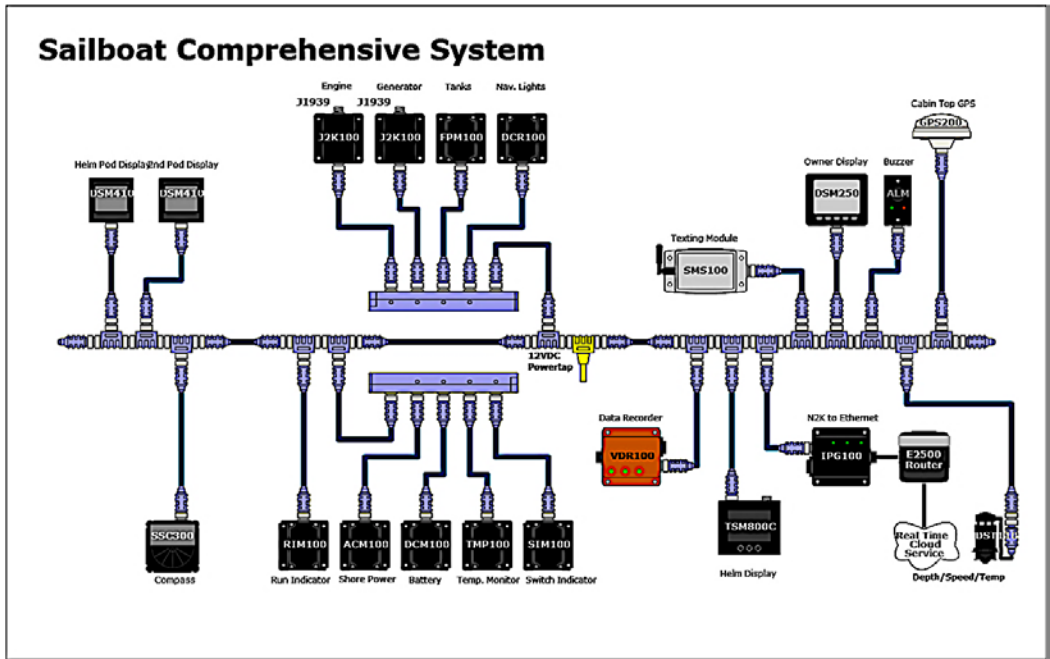
Maretron's products communicate over a Controller Area Network (CAN bus) using the National Marine Electronics Association's NMEA 2000® protocol. The advantages of using CAN bus are numerous and include low wiring complexity with all components interconnected through a single cabling system. The reduction in wire over conventional systems is significant resulting in lower installation and maintenance cost and lower overall vessel weight. And since the individual products are connected to drop lines from the main trunk line, a single product failure doesn't affect communication between other devices. In addition, the CAN bus easily accommodates adding products to the network for future expansion. Probably most importantly, you are no longer constrained to viewing your vessel's information from an independent system from a single place using a single display. With Maretron's networked solutions, you simply place a display anywhere on the network, whether it is at the helm, in the engine room, or sleeping quarters, and you are free to monitor and control anything connected to the network from anywhere on the vessel.

Remote Monitoring and Control

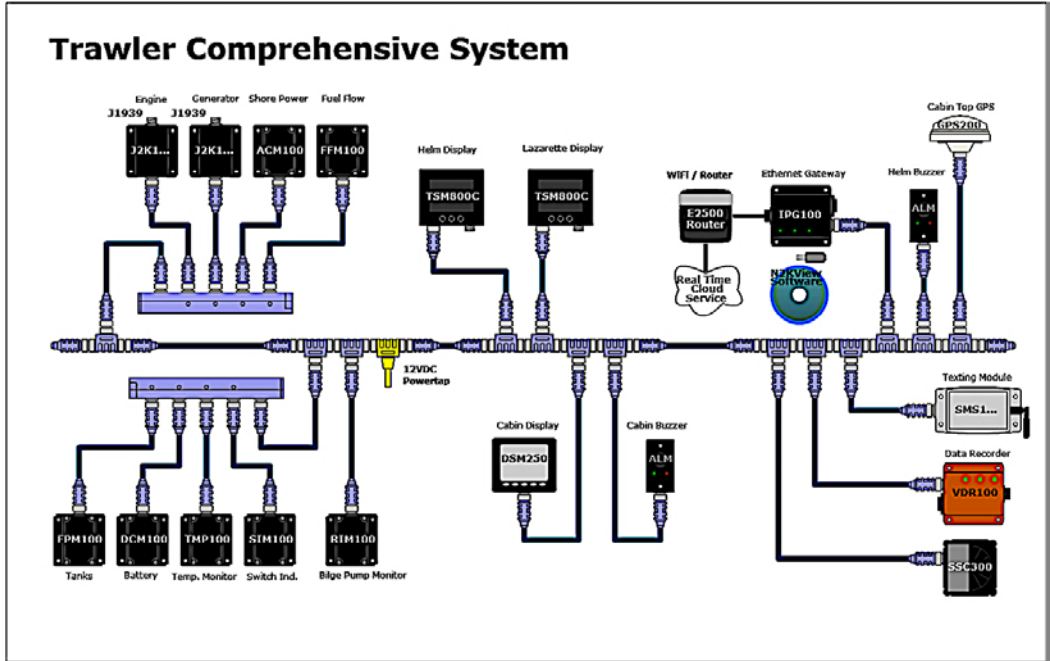
Using your vessel's Internet connection and Maretron's Internet Protocol Gateway (IPG100), you can stay connected to your vessel from anywhere in the world. Imagine receiving an email or text notification indicating high bilge water or a motion sensor alarm and you simply log onto the vessel with your smart phone, tablet, or PC and start an auxiliary bilge pump or switch on a light to scare off intruders. You can even watch live video feeds from the vessel so you can keep an eye on the vessel from anywhere in the world.

Det ser måske lidt voldsomt ud med alle de elektronikenheder, der føler, transformerer og udlæser en eller anden tilstand, men det er nærmest kun begyndelsen. I de kommende år vil digitaliseringen af både erhvervsfartøjer og større fritidsbåde betyde, at detektering og dataopsamling vil stige voldsomt. Der vil stort set ikke findes nogen elektrisk eller mekanisk enhed om bord, der ikke er koblet på netværket.

Afslutningsvis ses herunder skitser fra Maretron over NMEA-2000 netværk i både en sejlbåd og en trawler. Pointen er at vise, hvor ensartet i opbygningen disse to meget forskellige fartøjers netværk er.



Der er tale om en større sejlbåd, hvor der ikke er sparet på noget. Der er adgang til en cloud-løsning via et Ethernet og en router, som betyder, at ejeren kan overvåge bådens tilstand fra en hvilken som helst destination med internetadgang. Data-recorderen optager de signaler, den er programmeret til, og man kan på denne måde efterfølgende se, om der har været særlige hændelser eller fejl på systemet. Alarmer er suppleret med en enhed, der sender en SMS til ejeren, hvis der sker noget usædvanligt om bord, fx når båden ligger i havn. Trawlerens netværk er opbygget på næsten samme måde.



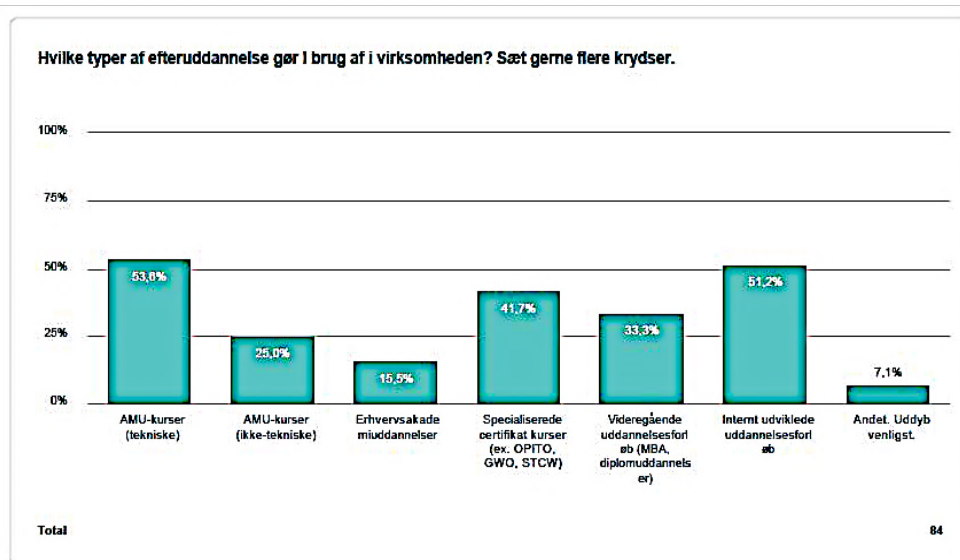
Del 3: Behovet for efteruddannelse

Som beskrevet i indledningen til rapporten så har analysens fokus været el-tekniske løsninger til fremdrift af skibe og fritidsfartøjer herunder batteridrift og hybridløsninger. Samtidig inddrages også andre væsentlige el-tekniske udviklingstræk inden for det maritime område, som har betydning for efteruddannelse af faglærte inden for målgruppen. Den sidste del har fyldt relativt meget under virksomhedsinterviewene, så derfor skal denne del af rapporten belyse efteruddannelsesbehovene bredere end el- og hybriddrift ville give anledning til.

De besøgte virksomheder giver udtryk for, at de har behov for efteruddannelse til skibsmontørerne og lignende medarbejdere, der arbejder som skibsmontører. Der er en generel utilfredshed med, at der ikke findes et egentligt maritimt efteruddannelsesudbud.

Citat: " Vi har bestemt behov for noget maritimt efteruddannelse til vores skibsmontører. Efteruddannelse er en tilbagevendende udfordring. Vores folk vil meget gerne på efteruddannelse, og så handler det jo om at finde noget, der er relevant for dem, og som skolerne udbyder. Hvis vi bare kunne have et efteruddannelsesprogram med nogle moduler, vi kan tage ned af hylderne og på den måde få et overblik over de muligheder, der er. Vi er ikke særligt tilfredse med, at vi i det maritime område skal gå på jagt i industriens kurser og prøve at se, om vi kan bruge noget af det."

MARCOD har undersøgt hvilke typer af efteruddannelse de maritime virksomheder i Nordjylland gør brug af og det bekræfter virksomhedernes input til denne analyse. Som det ses af grafen herunder, så udgør internt udviklede kurser en lige så stor andel af efteruddannelsesindsatsen som tekniske AMU-kurser.



De internt udviklede kurser er ofte leverandørkurser eller kurser, der gennemføres under inddragelse af leverandører. Disse tiltag kan imidlertid ikke erstatte et maritimt efteruddannelsesudbud i AMU. Ud over at denne form for efteruddannelse generelt er meget dyr, så er udbyttet ikke højt nok, især hvis kurserne er meget mærkespecifikke. Leverandørkurser er nødvendige, men de skal ses som et supplement til den øvrige efteruddannelse.

Citat: *"Jeg synes, at det kan være problematisk med leverandørkurser, blandt andet fordi vi skal samle en masse på samme tid her i virksomheden, og det kan være svært. Der kommer jo ikke en instruktør for at undervise 4 mand. Der kunne jeg godt tænke mig, at vi kunne sende folk på noget maritim efteruddannelse løbende – nogle få stykker ad gangen."*

Der er en generel forundring over, at der ikke findes efteruddannelse målrettet til den maritime branche, og nogle mener, at skolerne nok ikke kan løfte opgaven, fordi det kræver mange investeringer, og at branchen er for lille.

Selvom der er et markant behov for efteruddannelse på et brancheområde, er det ikke givet, at det kan efterkommes i praksis. Her spiller volumen i antallet af potentielle deltagere ind. Skolerne kan ikke investere flere millioner i udstyr og opretholde kompetente lærerkræfter med baggrund i en sporadisk efteruddannelsesaktivitet. Derfor har ERA i det efterfølgende kapitel estimeret et antal potentielle faglærte deltagere i efteruddannelse på det maritime område.

1 Den maritime branche i tal

I dette kapitel skal der ses nærmere på de kvantitative og volumenmæssige forhold der kan bidrage til at tegne et billede af den maritime branche som et særskilt job- og uddannelsesområde for faglærte. ERA har i denne forbindelse gennemført en større research i rapporter, artikler, statistisk materiale mv. Formålet med denne del af analysen er at estimere målgruppens størrelse og vurdere hvor omfattende en efteruddannelsesindsats, der er behov for.

1.1 Estimat af målgruppens størrelse

En vanskelighed ved at analysere udviklingen i den maritime branche kvantitativt er, at der ikke er defineret en maritim branche i Danmarks Statistik. Mange udstyrsfabrikanter, man normalt ikke vil forbinde med det maritime område, tælles med, fordi der findes mange komponenter på et skib, som også anvendes i installationer på landjorden. Grundfos og Danfoss tælles fx med som maritime virksomheder, og bl.a. dette forhold afspejler en række problemer med kategoriseringer af ansatte inden for den maritime branche.

For at løse dette problem har MARCOD gennemført en særskilt kvantitativ kortlægning og analyse af de maritime virksomheder i Nordjylland. De mere detaljerede resultater må dog ikke offentliggøres, da nogle af kategorierne er så små, at det er muligt at identificere tal for enkeltvirksomheder. Alligevel er analysen¹⁵ fra MARCOD meget interessant blandt andet i forhold til fordelingen af opgaver på forskellige typer af fartøjer, efteruddannelsesindsats m.m. Dette vil blive behandlet senere i rapporten.

¹⁵ Viden til Vækst - detaljeret og konkret undersøgelse af Det Blå Nordjylland. MARCOD 2017, Charlotte Grøndahl

COWI har for Søfartsstyrelsen gennemført en kvantitativ analyse af beskæftigelse og produktion i Det Blå Danmark i 2018¹⁶. Dette analysearbejde citeres ofte i indlæg og artikler om den maritime branche. Brancheforeningen Danske Maritime anvender fx tallene her fra i brancheforeningens årsberetning for 2018-2019.

I dette analysearbejde anvendes COWI's arbejde til nærmere at belyse omfanget af de fagområder, der skal sikre og udvikle målgruppens uddannelse og beskæftigelse i fremtiden. I forhold til udvikling af nye AMU-kurser og en evt. ny FKB inden for det maritime område er det vigtigt at kunne estimere antallet af faglærte, der hører med til målgruppen, så pålideligt som muligt.

I forhold til faglærte arbejder COWI med nogle temmelig grove kategorier, og det er derfor kun muligt at tegne et overordnet billede af det volumen skibsmontører, skibsmekanikere og bådebyggere udgør i det Blå Danmark.

Det Blå Danmark defineres meget generelt som virksomheder, der direkte eller indirekte er beskæftiget med sejlads. Det dækker over en omfattende mængde af meget forskellige virksomhedstyper fx rederier, værfter, udstyrsproducenter, service- & reparationsvirksomheder, skibsdesignere, shippingvirksomheder, skibsmæglere, havne og logistikvirksomheder. Hvis man ser på den regionale beskæftigelse i Det Blå Danmark, så har Region Hovedstaden 25,9 % af den samlede beskæftigelse – mere end det dobbelte af Region Nordjylland (11,1%). Region Midtjylland har næsten dobbelt så stor en andel af beskæftigede som Region Nordjylland dvs. 21,8%. Disse procenttal afviger stærkt fra den regionale fordeling af værfter og tilknyttede underleverandører. Her har Nordjylland en betydelig større tyngde end COWI's tal angiver. Problemstillingen skyldes bl.a. ifølge MARCOD, at større industrivirksomheder tæller med fx Grundfos.

COWI's analyse bygger på branchekoder fra Danmarks Statistik og er tilnærmet den maritime branche igennem en række kategoriseringer. Det Blå Danmark opdeles i rapporten i fem underbrancher:

- **Olie og gas.** Virksomhederne, der er beskæftiget med udvinding af olie og naturgas i Nordsøen eller globalt, eksempelvis virksomheder som Mærsk Oil & Gas A/S.
- **Udstyr.** Underleverandører til bygning og udrustning af skibe, eksempelvis DESMI A/S.
- **Skibsbygning.** Nybygnings- og reparationsværfter, eksempelvis Karstensen Skibsværft A/S.
- **Skibsfart.** Rederier, som er baseret i Danmark, og som udfører transport af varer eller passagerer til søs. Det kan være til og fra Danmark eller typisk mellem kontinenterne, eksempelvis Norden A/S, Torm Plc, DFDS A/S, Maersk Line m.fl.
- **Hjælpevirksomhed.** Hjælpevirksomhed i forbindelse med transport, der omfatter havne, stevedorer mv., eksempelvis Aarhus Havn samt Anden transportformidling, der omfatter skibsmæglere og speditører, som eksempelvis Frederikshavn Shipping A/S.

¹⁶ COWI: *Beskæftigelse og produktion i det blå Danmark 2018*. Søfartsstyrelsen, februar 2019

Tabel 1 Direkte beskæftigelse i Det Blå Danmark, 2017

| | Antal | Andel af Det Blå Danmark | Andel af alle beskæftigede |
|------------------|----------|--------------------------|----------------------------|
| | Personer | Pct. | Pct. |
| Olie og gas | 3.053 | 5,1 | 0,1 |
| Skibsbygning | 4.078 | 6,8 | 0,1 |
| Skibsfart | 12.231 | 20,5 | 0,4 |
| Udstyr | 16.789 | 28,1 | 0,6 |
| Hjælpevirksomhed | 23.620 | 39,5 | 0,8 |
| Det Blå Danmark | 59.771 | 100,0 | 2,1 |

Kilde: COWI på baggrund af data fra Danmarks Statistik

De relevante kategorier for denne analyse er udstyr og skibsbygning. Det vurderes, at man ud fra disse kategorier kan estimere målgruppens antal pålideligt.

I branchen Skibsbygning dominerer erhvervsfagligt uddannede med 57,1 procent af beskæftigelsen. Heraf bidrager den mest hyppige uddannelse 'Smedeuddannelser' med 12,4 procent og uddannelserne 'Cykel-, auto- og skibsmekanikere mv.', 'Skibsteknik og skibsmontage', 'Industritekniker og cnc-tekniker' og 'Maritime Håndværksfag' hver med mellem 5-6 procent af beskæftigelsen.

Omregnet til antal beskæftigede ser det således ud:

- Smedeuddannelserne 12,4% svarende til 506 personer
- Cykel-, auto- og skibsmekanikere mv. 5,5% svarende til 225 personer
- Skibsteknik og skibsmontage 5,5% svarende til 225 personer
- Industritekniker og cnc-tekniker 5,5% svarende til 225 personer
- Maritime Håndværksfag 5,5% svarende til 225 personer

Målgruppens størrelse inden for skibsbygning i alt: 1406 personer.

I branchen Udstyr er den hyppigste uddannelse 'Industritekniker og cnc-tekniker' med 10,5 procent som efterfølges af andre erhvervsfaglige og tekniske uddannelser 'Cykel-, auto- og skibsmekanikere mv.' og "Smedeuddannelser" med hhv. 8,0 procent og 3,4 procent af beskæftigelsen i branchen, mens 'Kontoruddannelser' udgør 4,2 procent. Omregning til antal beskæftigede giver følgende:

- Smedeuddannelserne 3,4% svarende til 571 personer
- Cykel-, auto- og skibsmekanikere mv. 8% svarende til 1343 personer
- Industritekniker og cnc-tekniker 10,5% svarende til 1763 personer

Produktion af udstyr indgår også i denne kategori og industritekniker samt cnc-tekniker er produktionsuddannelser. Derfor vil det være oplagt at lade denne uddannelseskategori udgå, når fokus ligger på montage af udstyr i skibe. Tilsvarende vil en del af smedene også medvirke ved produktion uden nogensinde at montere udstyr på et skib. Ud fra disse betragtninger skal denne uddannelseskategori også reduceres i antal. Der er næppe helt forkert at anslå målgruppen inden for udstyr til i alt: 1600 personer.

Samlet set vurderes målgruppen af faglærte smede, skibsmontører, skibsmekanikere og bådebyggere inden for kategorierne "skibsbygning" og "udstyr" at udgøre i alt ca. 3000 personer. I relation til denne målgruppe er det samtidig muligt at definere et jobområde med skibsbygning/bådebygning, reparationer og ombygning af fartøjer samt montage af udstyr som omdrejningspunkt. Det er også inden for denne målgruppe, at der vil opstå et efteruddannelsesbehov i relation til el- og hybriddrift af skibe. Uddannelseskategorierne skal tages med forbehold, da værfterne ansætter mekanikere, lastvognsmekanikere og andre tekniske faglærte i mangel af skibsmontører. Der er også bådebyggere, som har stærke kompetencer i installation af motorer og andre tekniske installationer. Faggrænserne er i nogen grad flydende og tilpasser sig de aktuelle opgaver.

De maritime virksomheder er præget af stor travlhed og fremgang. Alle virksomheder giver udtryk for, at de mangler kvalificeret arbejdskraft i forhold til de faggrupper, der er i fokus for dette analysearbejde. I et perspektiv på fem år tegner interviewpersonerne et lyst billede af fremtiden både i forhold til indtjening og beskæftigelse.

2 Skibsmontøruddannelsens teknologiske efterslæb

En væsentlig del af de efteruddannelsesbehov, der aktuelt findes inden for det maritime område, skyldes, at erhvervsuddannelsen ikke har fulgt med udviklingen væsentligst inden for el og automatik. Der kommer her en række interviewcitater, der belyser dette:

Citat: "Skibsmontørerne trænger til et gevaldigt løft på el-siden. De kan generelt ikke arbejde selvstændigt med el. De rører ikke el, før der står en elektriker ved siden af. De aner nærmest ingenting om el, når de kommer ud af skolen. De er gode til det mekaniske – de kan det samme, som man skulle kunne for 30 år siden, men uddannelsen er slet ikke fulgt med den teknologiske udvikling. Så derfor har de et efterslæb. En stor del af alt ombord er jo el og elstyring og ikke kun på motorerne, men det gælder nærmest det hele. Pumpestyringer og alt automation om bord, det skal de altså kunne arbejde med, hvis man skal kunne sende dem ud som montører på et skib. De skal ikke være elektrikere, men de skal have så meget kendskab til tingene, at de kan fejlfinde på det – også elektrisk. Det er de slet ikke stærke nok til."

Hos en større underleverandør til værfterne udtrykker man situationen på følgende måde:

Citat: "Det jeg kan være bange for, hvis man skal tænke længere frem, det er, om man til en række el- og styringstekniske opgaver overhovedet kan bruge en skibsmontør. Hvis ikke skibsmontørerne bliver en del af den udvikling, så kan vi ikke bruge dem til ret meget i fremtiden, fordi der kommer til at sidde el og elektronik på det hele."

I en anden virksomhed ser man samspillet mellem underleverandører og skibsmontører som værende ikke optimalt:

Citat: "Vi hyrer elfolk ind fra underleverandører, som så løser opgaverne sammen med skibsmontørerne, men det fungerer ikke optimalt. Det går ikke i fremtiden, at vi har skibsmontører, der kun kan

arbejde med det mekaniske, når der kommer el på det meste i skibene. Somme tider er vi nødt til både at sende en elektriker og skibsmontør afsted for at løse en opgave. Den kløvning, vi traditionelt har haft mellem det mekaniske og elektriske, den holder ikke en meter mere. Det skal gøres bedre."

Det er tydeligt, at de besøgte virksomheder ikke blot ønsker efteruddannelseskurser, der kan udbygge skibsmontørernes nuværende kompetenceprofil. Der er et stort behov for at dreje profilen over mod el og automatik samtidig med, at de mekaniske kompetencer opretholdes og udvikles sideløbende med de el-tekniske. Det er derfor ikke en elektriker eller en automatiktekniker, man ønsker at gå i retning af. Det er der flere, der eksplicit giver udtryk for samtidig med, at de peger på mekanikere og lastvognsmekanikere som inspirationsgrundlag.

Citat: "Jeg tror, at skibsmontøruddannelsen kan lære noget af lastvognsmekanikeruddannelsen. Det er lidt den samme profil, hvor vi så bare arbejder med noget større teknik."

2.1 Mekanikerprofilen som inspiration

Under interviewene er det et helt gennemgående træk, at man ofte henviser til mekanikere og lastvognsmekanikere, når man skal svare på hvilken profil, efteruddannelsen skal kunne bidrage til at udvikle.

Citat: "Hvis man sammenligner med mekanikeruddannelsen, så har den jo fulgt med udviklingen inden for elektronik og el i mange år. I dag kan du jo ikke udskifte noget i en moderne bil uden at komme i berøring med noget elektronik. Hvis man ser på det efteruddannelsescenter for mekanikere, de har i Frederikshavn, så virker det rigtig godt, men det findes jo ikke for skibsmontører. Hvis vi skal opgradere skibsmontørerne i noget, der er relevant for os, så skal vi selv betale nogle private for at gøre det – der findes ingen efteruddannelse."

En del af virksomhederne ansætter lastvognsmekaniker som et alternativ til skibsmontører, når disse er svære at rekruttere. Det er der generelt gode erfaringer med.

Citat: "Hvis vi tager en lastvognsmekaniker, så er han meget bedre kørende med elektronik og styring, end skibsmontørerne typisk er. Det ved jeg, fordi vi selv har nogle lastvognsmekanikere ansat. De er stærke i fejlfinding på el og styring. Jeg ved godt, at det er helt uholdbart at regne med, at vi kan ansætte lastvognsmekanikere i fremtiden – vi skal selv uddanne vores folk til det maritime område. Men vores lastvognsmekanikere har altså også brug for maritim efteruddannelse – de er bare grundlæggende bedre kørende omkring el."

De sammenligninger med mekanikerprofilen, som man i virksomhederne gentagne gange vender tilbage til, giver rigtig god mening set i et mere generelt teknologisk perspektiv. Mekanikernes teknologiske kontekst er for personvognsmekanikerens vedkommende indrammet af 4 hjul og lastvognsmekanikerens af lidt flere. Skibsmontørens teknologiske kontekst er firkantet sagt indrammet af et skibsskrog og dermed også afgrænset.

For elektrikere og automatikteknikere ser verden anderledes ud. Her arbejder man med strøm og automatik i alle mulige sammenhænge – fra skibe til hospitaler, fabrikker, bygninger, elevatorer, robotter og meget mere. Derfor skal elektrikere og automatikteknikere uddannes og efteruddannes anderledes. Deres faglighed er forankret i en dybere viden inden for nogle teknologiske kerneområder, som de er i stand til at bruge i mange forskellige sammenhænge. Hvor en mekaniker har indsigt i CAN-bus og de typiske enheder, der er forbundet hertil i en bil, så skal elektrikere og automatikteknikere have indsigt i flere forskellige netværk, som kan stå i forbindelse med en meget stor mængde af enheder afhængig af, om netværket sidder i en bygning eller i en fabrik.

Elektrikere og automatikteknikere må nødvendigvis anvende andre læringsstrategier for at kunne håndtere arbejdet i de mange forskellige kontekster end mekanikere og skibsmontører. Det handler ikke om at elektrikere og automatikteknikere skal være dygtigere og mere intelligente end mekanikere og skibsmontører. Mekanikere og skibsmontører skal teknologisk varetage en væsentlig større del af den kontekst, de befinder sig i, end de to øvrige faglærte. Mekanikere skal kunne fejlfinde og reparere hele køretøjet, og det kræver ud over el-tekniske og digitale kompetencer også stærke mekaniske kompetencer. Forbrændingsmotorerne forsvinder næppe foreløbig og gear, pneumatik, hydraulik og meget andet vil fortsætte ind i den digitale tidsalder. Derfor understreger de besøgte virksomheder gang på gang, at de mekaniske kompetencer er meget vigtige.

Skibsmontørerne skal selvfølgelig ikke kunne reparere alt på skibet, men det er alligevel skibet, der afgrænser arbejdsopgaverne – også når man arbejder hos en underleverandør. Det er naturligvis korrekt, når de besøgte virksomheder gør opmærksom på, at skibsmontørerne mangler eltekniske og automatiktekniske kompetencer, og at efteruddannelsen skal rette op på dette sammen med den seneste revision af uddannelsen. Men samtidig med udviklingen af eltekniske kompetencer skal skibsmontørerne også opnå et andet mindset.

Den klassiske tilgang til teknologi i de tekniske erhvervsuddannelser har været en stand-alone tænkning, som har bygget på en relativ snæver faglighed og en veldefineret arbejdsdeling. Mekanikfolk og elfolk laver hver sit. De skal selvfølgelig samarbejde, men der er noget, der hedder faggrænser. Den faggruppe, der først bliver udfordret på denne tænkning, var netop mekanikerne igennem indførelse af elektronisk indsprøjtning, computere og CAN-bus i bilerne. Udviklingen blev faktisk autoelektrikeruddannelsens død. Det gav ingen mening på værkstederne, at have to faggrupper til at reparere en bil. Mekanikerne skal kunne klare både det mekaniske, elektriske og digitale i bilen. Efterhånden bliver stort set alle mekaniske enheder i bilen koblet på netværket (CAN) via en række forskellige transducere og sensorer. Ingen mekaniske enheder kan nu ses isoleret (stand-alone), men skal fejlfindes, repareres og forstås i en elektrisk og digital kontekst. Den samme udvikling ser vi i industrien, hvor alle maskiner m.m. kobles sammen under det koncept, der kaldes Industri 4.0.

I fremtiden bliver situationen den, at alt mekanik er indlejret i elektriske og digitale systemer, og som beskrevet i de foregående kapitler sker dette også i skibene herunder også i større fritidsbåde. Som et

af citaterne i starten af dette kapitel påpeger, så vil man i fremtiden typisk ikke kunne bruge en skibsmontør, der alene kan arbejde med mekanik.

2.2 Efteruddannelse rettet mod det teknologiske efterslæb

Der er generel enighed om at den nye revision af skibsmontøruddannelsen retter op på det teknologiske efterslæb, som uddannelsen har haft i en del år. Samtidig skaber revisionen også et nyt behov for at efteruddanne de erfarne skibsmontører, sådan at de kommer på højde med de nyuddannede.

Under de tre workshops på skolerne var det tydeligt, at den nye uddannelse stiller store krav til skolerne i form af udstyr og efteruddannelse af lærere. Flere interviewpersoner nævner, at deres første prioritet er at få den nye uddannelse indfaset og få knyttet efteruddannelse til denne indsats. Samtidig er det at rette op på efterslæbet ikke en tilstrækkelig ambition – selv på kort sigt. Efteruddannelsen skal også kunne give et kompetenceløft, der rækker ud over den nye uddannelse.

Citat: "Mit ønskescenarie er, at når en af mine lærlinge er færdig med uddannelsen, så kan han starte på et nyt niveau i en række efteruddannelseskurser - det kan vi ikke i dag. En nyuddannet kan altså ikke igennem efteruddannelse opnå et højere niveau inden for styring, el-drift, hybriddrift og hvad nyt, der ellers vælter ind over os."

Det handler altså ikke om først at indhente efterslæbet via efteruddannelse og så dernæst begynde at se nærmere på el-drift, hybriddrift, netværk og digitalisering. Så har man bare fået oparbejdet et nyt efterslæb. Udviklingsinitiativerne skal foregå parallelt og gensidigt understøtte hinanden. Dette er en krævende proces og vil kræve store investeringer på skolerne. Et samarbejde med den maritime branche om efteruddannelse af lærerne vil der også være behov for.

2.2.1 Udspil til efteruddannelseskurser

Indholdet i dette underkapitel skal ses som et indspil til et videre udviklingsarbejde. Afsættet her er hvad dette analysearbejde kan pege på i forhold til virksomhedernes udsagn og undersøgelserne i de foregående kapitler.

Erfaringerne fra interne kurser i virksomhederne viser, at der er en betydelig spredning inden for viden om el. Nogle skal begynde nærmest helt forfra hvor andre har det grundlæggende på plads.

Citat: "Vi startede med noget grundlæggende om el for lige at finde ud af niveauet. Vores folk er meget interesseret i at efteruddanne sig på el-området – de ved godt, at det er den vej, det går. Det er vigtigt, at kurserne er målrettet det maritime område."

Der findes AMU-kurser inden for grundlæggende el på industriens område. Følgende to kurser, der både omhandler AC og DC og måleteknik er et godt sted at starte, hvis ikke man ved noget videre om el i forvejen. Kursusbeskrivelserne kan læses på www.amukurs.dk :

| |
|---|
| Grundlæggende el-lære for operatører - AC (48403) Varighed: 3 dage |
| Grundlæggende el-lære for operatører - DC (48427) Varighed: 3 dage |

Grundlæggende el er det samme uanset branche, så målretning mod det maritime skal ske i selve undervisningen fx igennem inddragelse af maritime eksempler. Hvis indholdet i disse kurser virker fremmedartet for den potentielle deltager, så skal man starte her.

| |
|---|
| Automatiske anlæg, basis elektrisk kendskab (48118) Varighed: 3 dage |
| Automatiske anlæg, basis hydrauliske kredsløb (48119) Varighed: 3 dage |

Hvor de to første kurser er helt grundlæggende el, så er 48118 mere rettet mod en sikker omgang med automatiske anlæg på basis af et elektrisk kendskab. Her er også lidt fejlfinding og dokumentation. I forlængelse af 48118 kan der udvikles maritime efteruddannelseskurser under inspiration af de maritime automatikfag i den nye uddannelse.

Omtrent alle efterspørger kurser i hydraulik og pneumatik. Hydraulik har højeste prioritet:

Citat: *"Vi efterspørger efteruddannelse inden for hydraulik dvs. alt lige fra tegningslæsning til elhydrauliske anlæg. Her burde der være en hel pakke, der er sammensat, så det er rettet mod hydraulik i skibe."*

Et sted at starte er 48119 som handler om grundlæggende, men praksisrettet hydraulik og også begyndende fejlfinding. Man kan bygge videre på dette kursus med følgende to hydraulikkurser:

| |
|--|
| Montage/idsætning af hydrauliksys., offshore (45711) Varighed: 5 dage |
| Indregulering af hydrauliktekn. systemer, offshore (45712) Varighed: 5 dage |

Med disse to kurser er skibsmontørerne antageligt godt dækket ind. Der er derudover et behov for udvikling af et eller flere kurser målrettet hydrauliske anlæg i skibe. Det vil være en god ide at tage afsæt i de uddannelsesspecifikke hydraulikfag i den nye uddannelse. De vil dog næppe fungere som efteruddannelseskurser med en varighed på 2 uger.

I forhold til pneumatik så findes der et helt grundlæggende kursus i dette.

| |
|--|
| Grundlæggende pneumatik for operatører (48428) Varighed: 3 dage |
|--|

De øvrige kurser er rettet mod automation i industrielle produktioner og er næppe hensigtsmæssige for skibsmontører. Der kan være behov for at udvikle et pneumatikkursus rettet mod det maritime område og inkludere det grundlæggende i dette.

Citat: *"Så mangler vi også et kursus i tankmålinger – gastest af tanke og teste arbejdsmiljøet omkring det. Det er relevant både i forhold til nybygninger, men også ved ombygninger. Det er et kursus på en dag, men vi har svært ved at få det indhold ind i kurset, vi har behov for. Det må være et behov alle værfter har."*

Der er flere, der nævner dette. Med hensyn til eksplosionsfare så må et ATEX-kursus være på sin plads i tilknytning til et nyudviklet kursus i tankmåling.

| |
|--|
| ATEX, anvendelse (40191) Varighed: 2 dage |
|--|

Hvis man tænker i det uddannelsesefterslæb, som den nye uddannelse giver anledning til hos de uddannede erfarne skibsmontører, så er det vigtigt med kurser i motorstyring på moderne skibsmotorer med en introduktion til CAN-bus mv. Afsætte kan her være noget af indholdet i skibsteknik 2 i den nye uddannelse.

2.3 Efteruddannelse rettet mod eldrift og digitalisering

De uddannelsesudfordringer, som opstår i forbindelse med den efteruddannelse, der skal indhente efterslæbet, svarer nogenlunde til dem, skolerne har i forbindelse med implementering af den reviderede uddannelse.

I forhold til el- og hybriddrift samt digitalisering, brændselsceller mv. er uddannelsesudfordringer rykket op i en anden liga. Som del 1 og 2 i rapporten viser så er det på høje tid at reagere med udviklingsinitiativer, der temmelig hurtigt kan bringe uddannelserne på omgangshøjde med den udvikling, skibsfarten er på vej ind i. Det læringsmiljø, der skal være til rådighed for at målgruppen kan tilegne sig de nye kompetencer, findes ikke i dag, og det kræver en stor udviklingsindsats og mange investeringer at etablere det.

Et lyspunkt er, at EUC-Nord og Svendborg Erhvervsskole og gymnasium er i gang. Den indkøbte hybridløsning i Svendborg er en god begyndelse, og "skibet" i Frederikshavn viser et flot samarbejde mellem skolen og den Nordjyske maritime branche. Der er rigtig gode muligheder for at udvikle videre på dette initiativ ikke mindst i forhold til efteruddannelse:

Citat: "Det er helt klart, at "skibet" (på EUC-Nord i Frederikshavn) også skal bruges til efteruddannelse. Der er en unik mulighed for, at man løbende kan bygge nye installationer ind i det fx batterier og gøre det eldreven og dermed gøre alt det nye bliver hands-on. Det kan bruges til at give vores folk nye kompetencer i takt med at teknologien udvikler sig i skibene. Det ser jeg som en kæmpe fordel."

En af de erfaringer, man har med "skibet" i Frederikshavn, er, at udvikling tager tid. Det er en ganske imponerende indsats, men som citatet ovenover antyder, så skal der bygges meget på skibet, inden det repræsenterer et godt læringsmiljø i forhold til batteridrift og hybriddrift mv. Det næste udspil til nye kurser sætter i nogen grad dette i perspektiv.

2.3.1 Udspil til efteruddannelseskurser

Det efteruddannelseskursus, der haster mest med at få udviklet, er et grundlæggende kursus i lithium-batterier/batteripakker. Ingen bør skrue på noget som helst i et motorrum eller batterirum i et eldrevet fartøj uden at have en grundlæggende viden om batteriinstallationen og de sikkerhedsmæssige problemstillinger, der knytter sig her til. Nedenstående udspil i punktform skal ses som et forslag, der bygger på den gennemførte desk research og de input, der er givet under virksomhedsbesøgene og workshops/møder på de fire skoler.

Grundlæggende kursus i lithiumbatteripakker

- Lithiumbatteriets egenskaber og opbygning i hovedtræk herunder indre modstand i forhold til andre batterityper.
- Ladeanlæg og styring af op og afladning (BMS), ladecyklus, levetid m.m.
- Overblik over overordnede styresystemer, som batteripakken er/kan være involveret i (PMS og EMS)
- El-sikkerhed i forhold til montage af batterier og målinger af spændinger og strømme i forbindelse med kontrol og fejlfinding.
- I øvrigt om sikkerhed herunder Søfartsstyrelsens vejledning, klasseregler, brandsikkerhed, køling af batterier, ventilation mv.

Man kan se det grundlæggende kursus i lithiumbatteripakker som "kørekortet" for hele målgruppen til at gå videre i forhold til el-drift. Herefter kan man tage fat på følgende:

- Kursuspakke i eldrift og hybriddrift. Her vil der være tale om en større pakke af kurser, der dækker hele drivlinjen fra batterierne til propellen og inkl. thrustere.

Det skal et udviklingsarbejde kaste mere lys over. Snittet imellem kurserne indholdsmæssigt kan blive bestemt af hvilket læringsmiljø, det er muligt at opbygge på skolerne. Måske skal man satse på at bygge en fleksibel løsning, der både kan vise 100% eldrift og forskellige hybridløsninger med både solpaneler og brændselsceller. Der er næppe nogen grund til at satse på at bygge meget store anlæg. Læringsudbyttet er det samme på mindre anlæg, og man bør her tænke på, om nogle af kurserne kan være fælles for skibsmontører, skibsmekaniker, bådebygger og bådmekanikere.

- Kursus i NMEA 2000 (maritimt netværk) og CAN-bus.

Dette kursus kan opbygges sådan, at det henvender sig til hele målgruppen.

- Kursus/kursuspakke i brændselscelleløsninger.

Et grundlæggende kursus kan være fælles for hele målgruppen, og da de mindre anlæg allerede er godt på vej ind i skibene, så bliver dette kursus snart relevant. Brændselscelleløsninger i MW-klassen til fremdrift af større skibe vil kun henvende sig til skibsmontører og skibsmekanikere. Det er dog nok ikke lige med det første, at man støder på disse installationer i skibene, men det kommer.

Afsluttende bemærkninger

Udviklingen i de kommende år frem mod en bæredygtig skibsfart vil fordre en transformation af den maritime branche på flere niveauer og således også på uddannelserne. Udviklingspresset er betydeligt og vil efter alt at dømme tiltage voldsomt inden for en periode på 5 år. Ingen, der ønsker at være en del af udviklingen, kan læne sig tilbage og håbe på, at det nok går over af sig selv. Den del af skibsfarten, der ikke køber overbevisende ind på miljø- og klimadagsordenen, vil ophøre med at eksistere, og det kommer til at gå hurtigt.

Uddannelsesmæssigt bliver det en udfordring at følge med denne udvikling for målgruppen, og et element i dette er, at ting tager tid. Det kræver udviklingsarbejde at udvikle og opbygge de læringsmiljøer, der er nødvendig for at sikre en relevant og tidssvarende efteruddannelse til målgruppen.