



MULIGHETSSTUDIE

# Sirkulær økonomi for batterier i maritim næring

# INNHold

|     |                                          |    |
|-----|------------------------------------------|----|
| 1   | Innledning                               | 6  |
| 2   | Bakgrunn                                 | 8  |
| 2.1 | Batteri og miljøutfordringer             | 8  |
| 2.2 | Sirkulær økonomi                         | 10 |
| 2.3 | Livssyklusvurdering (LCA)                | 11 |
| 2.4 | Regelverk                                | 12 |
| 3   | Kartlegging og intervjuer                | 16 |
| 3.1 | Metodikk                                 | 16 |
| 3.2 | Presentasjon av intervjuobjekter/aktører | 16 |
| 4   | Funn fra intervjuene                     | 19 |
| 4.1 | Generelle spørsmål                       | 19 |
| 4.2 | Batteriets første liv                    | 20 |
| 4.3 | Batterier etter endt levetid             | 20 |
| 4.4 | Gjenbruk av batterier                    | 22 |
| 4.5 | Resirkulering                            | 23 |
| 4.6 | Sirkulær økonomi                         | 24 |
| 5   | Diskusjon                                | 28 |
| 6   | Konklusjon                               | 31 |
| 7   | Referanser                               | 32 |

## Sammendrag

Denne rapporten er en mulighetsstudie innen temaet "Sirkulær økonomi for batterier i maritim sektor", utarbeidet av COWI AS på vegne av næringsklyngen Maritime CleanTech. Formålet med denne mulighetsstudien var å utarbeide et kunnskapsgrunnlag for den maritime klyngen for etablering av en mer sirkulær verdikjede. Kunnskapsgrunnlaget er basert på intervjuer av ulike aktører i verdikjeden samt faglitteratur.

Det ble funnet at sirkulær økonomi per i dag ikke er blitt implementert i stor grad for batterier i den maritime verdikjeden. Det er flere utfordringer som må løses for at omstillingen til sirkulær økonomi skal være mulig. De viktigste av disse er:

- Manglende lønnsomhet knyttet til bærekraftige valg
- Behov for regelverk som fremmer bærekraftige valg
- Behov for kompetanseløft og samarbeid i verdikjeden

Det er også viktig å nevne at volumet av batterier i maritime fartøy som er ferdig med endt levetid er per i dag veldig lavt. Det er forventet at omstillingen til sirkulær økonomi vil skyte fart samtidig som at andelen brukte batterier vil øke markant i årene fremover. I tillegg er det en rekke andre faktorer som vil bidra til omstillingen fremover. Batteriforordningen som er ventet å komme i 2022 vil legge føringer som sikter på å sikre en sirkulær og bærekraftig verdikjede. Her vil det komme krav til å ta i bruk gjenvunnet eller brukte råmaterialer i batterier, dokumentere klimagassutslipp, tydeliggjøring av produsentansvar, etc. Disse kravene vil gjøre det lettere og lønnsommere å ta bærekraftige valg. Samtidig er samarbeid og kunnskapsdeling i bransjen en nøkkelfaktor for å få til en vellykket omstilling til sirkulær økonomi. Næringsklyngen Maritime CleanTech er i denne sammenheng et godt utgangspunkt, og en god arena for å møtes. I tillegg, et første skritt på veien er kartleggingen og funnene fra denne rapporten som kan brukes som et kunnskapsgrunnlag og bygges videre på.

Studien er del av Maritime CleanTechs prosjekt *Batteri i maritime operasjoner - sirkulærøkonomisk studie*, støttet av Innovasjon Norge.

## Ordliste

I alfabetisk rekkefølge

**Anode** – En elektrode som tar opp frie elektroner. Anoden representerer motparten til en katode som avgir elektroner.

**Batteri/Batterisystem** – Et elektrisk batteri har lagret energi i kjemisk form, og kan avgi den i elektrisk form.

**Battericelle** – En battericelle er den minste funksjonelle og selvstendige enheten i et batteri. Et batteri består dermed av en eller flere battericeller.

**Batterimodul** – En batterimodul består av flere battericeller og noen ganger et styringssystem som balanserer cellene, overvåker spenning og temperatur.

**BMS, Batteristyringssystem** – Systemet som overvåker systemets temperatur, spenning, oppladning og utladning. BMS sitt mål er å beskytte batteriet fra skade, forlenge levetiden og operere batteriet innenfor trygge rammer.

**Elektrolytt:** I en battericelle er katoden og anoden skilt fra hverandre med en elektrolytt og separator. Elektrolytten leder ionene mellom elektrodene mens elektronene overføres gjennom en ytre krets. Elektrolytten brukt i dagens litium ione-batterier er i væskeform.

**Fast stoff batterier** – Fast stoff batterier har en elektrolytt i fast stoff, fremfor flytende som er brukt i dagens typisk LIB. Fast stoff batteri er forventet å inntre markedet om noen år. Batteriene er forventet å ha en høyere energitetthet, lavere mengder skadelige og giftige stoffer, høyere oppladningshastighet og lengre levetid. Varmeutvikling vil være langt lavere enn standard LIB i dag og brannfaren er forventet å være så godt som eliminert.

**Katode** – En elektrode som avgir frie elektroner. Katoden representerer motparten til en anode som tar opp elektroner.

**LCA, Livssyklusvurdering** – Et verktøy for en omfattende og helhetlig vurdering av miljøpåvirkninger av produkter, prosesser og tjenester. En LCA vil kunne gi innsikt om verdikjeder og mulige miljøeffekter, identifisere kilder og årsaker til utslipp, identifisere forbedringsmuligheter, m.m.

**LIB** – Litium ion-batteri. Litium ion-batteri er et oppladbart batteri som en finner i små elektroniske apparater som mobiler og PCer, men også i elbiler og skip.

**LIC** – Litium-ion kapasitator. Litium kondensatoren er en hybrid energilagringseenhet som kombinerer energilagringmekanismene til LIB og den elektriske dobbellag kondensatoren (EDLC), som tilbyr noen av fordelene med begge teknologiene og eliminerer deres ulemper (Mahdi Soltani, 2021).

**Separator** – Separatoren er en av hovedkomponentene i battericellen. Den er plassert i elektrolytten mellom elektrodene. Den tillater ionisk transport mellom elektrodene, men skiller dem fysisk for å hindre elektrisk kortslutning.

**SoC, State of charge** – Dette er ladetilstanden til batteriet i forhold til sin kapasitet. SoC oppgis i prosent.

**SoH, State of health** – Ved omtaling av batteriets tilstand brukes begrepet SoH. Batteriet starter med 100 %, men reduseres over tid og bruk. Store faktorer som bidrar til degradering og dermed reduksjon i SoC er bruksmønster, bruksintensitet, klimatiske forhold og temperatur.

**Sirkulær økonomi** – Sirkulær økonomi, også kalt kretsløp økonomi, har som mål å beholde ressurser i kretsløpet så lenge som mulig. Sirkulær økonomi i denne studien er begrenset til å omfatte gjenbruk og resirkulering av batterier.

**Syklus(ladesyklus)** – En ladesyklus skjer når all strømmen i batteriet er brukt og batteriet blir ladet opp igjen. Ved å bruke halvparten av strømmen i batteriet for deretter å lade opp igjen har det gått en halv syklus.

**Thermal Runaway** – Thermal Runaway er en kjede reaksjon inni battericellen som kan være vanskelig å stoppe når den først har startet. Den forekommer når temperaturen øker i battericellen som igjen fører til kjemiske reaksjoner. De kjemiske reaksjonene er gjerne eksoterme (avgir varme), som igjen øker reaksjonshastigheten som ytterligere øker temperaturen.

## 1 Innledning

NCE Maritime CleanTech har engasjert COWI AS til utførelse av en mulighetsstudie innen temaet "Sirkulær økonomi for batterier i maritim sektor". Formålet med denne mulighetsstudien er å utarbeide et kunnskapsgrunnlag for den maritime klyngen for etablering av en mer sirkulær verdikjede.

Kunnskapsgrunnlaget er basert på en kartlegging av den norske maritime verdikjeden, fra produksjon, bruk, og avfallshåndtering av batterier. Kartleggingen er basert på informasjon fra semistrukturerte intervjuer av sentrale klyngeaktører innen produksjon, batterileveranser, systemintegratorer, brukere, avfallsaktører, forskningsinstitutt, mm. Informasjon er også hentet ut fra grenseliggende prosjekter som BATMAN- og LIBRES prosjektene, samt relevante forskningsartikler (BATMAN, Eydecluster, 2020) (BATMAN, Eydecluster, 2020) (IFE, 2022) (Mission-innovation, 2022) (Norway, 2022).

Utfordringer knyttet til sirkulær økonomi med tanke på kostnad, teknologi, regelverk, politisk rammeverk, gjennomføring og marked har vært sentrale tema i intervjuene.

Funnene fra kartleggingen/intervjuene er presentert i denne rapporten, som er kunnskapsgrunnlaget for Maritime CleanTech og klyngen. Et slikt grunnlag vil kunne gjøre bransjen bedre rustet til å ta klimavennlige og bærekraftige valg, samt gi klyngemedlemmene et konkurransefortrinn i en sirkulær framtid.

### Introduksjon av verdikjeden maritim næring

Maritim næring består av mange aktører fordelt innen flere ulike virksomhetstyper og industrier. I denne rapporten er det tatt utgangspunkt i virksomheter som er aktive innenfor maritime batteriapplikasjoner. Dvs. virksomheter som produserer, leverer, vedlikeholder/modifiserer, eier/opererer batterielektriske installasjoner samt de som tar imot og håndterer batteriavfall. Nedenfor er en presentasjon av selskapene og deres primære plass i verdikjeden, men noen av dem kan ha flere roller. En kort introduksjon/beskrivelse av hvert selskap er gitt i kapittel 6.1. En forenklet fremstilling av en sirkulær verdikjede er vist i Figur 1.

Følgende selskap og personer har stilt på intervju:

#### Battericelle- og system produsenter

- Beyonder – Geir Voster, salgsdirektør.
- Corvus – Lars Ole Valøen, CTO.

#### System integratorer

- ZEM Energy – Egil Mollestad, daglig leder.
- Wärtsilä – Ingve Sørffonn, leder innovasjon, forskning og utvikling innen elektrifisering og hybridisering.
- Seam – Pål Gunnar Eide, R&D Manager.

#### Bruker

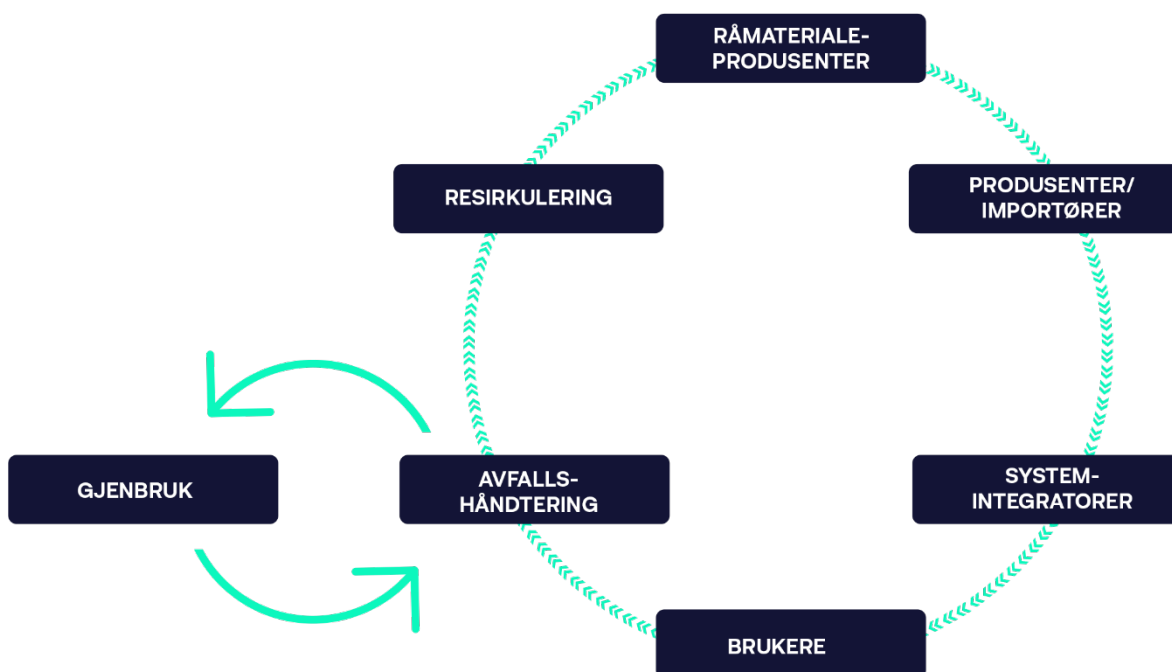
- Norled – Karolina Adolfsson, leder teknisk innovasjon og Hilde-Kristin Sæter, prosjektleder.

#### Avfallshåndteringsselskap

- › Ragn-Sells – Trond Leganger, Regionsjef.
- › Batteriretur – Fredrik Andresen, daglig leder og Per Magnus Karlsson, kommunikasjons- og markeds leder.

#### Forskning og utvikling

- › IFE – Preben Joakim Svela Vie, forsker med doktorgrad innen fysikalsk kjemi med fokus på elektrokjemi og brenselceller.



**Figur 1:** Forenklet fremstilling av sirkulær verdikjede.

## 2 Bakgrunn

Dette kapitlet gir en innføring i flere tema relevante for maritime batteriapplikasjoner og sirkulær økonomi. Mye av dette er viktig bakgrunnskunnskap for å kunne forstå både utfordringer og muligheter for å oppnå en fremtidig sirkulær verdikjede.

En innledning til batterier i et miljøperspektiv blir først omtalt, etterfulgt av en generell beskrivelse av batteriprinsipper og batterier i skip, samt en innføring i den mest vanlige batteritypen, litium-ion batterier. Deretter kommer en introduksjon av sirkulær økonomi, inkludert resirkulering av batterier, batteridesign, m.m. Til sist er en beskrivelse av gjeldende og kommende regelverk gitt, inkludert den mye omtalte batteriforordningen.

### 2.1 Batteri og miljøutfordringer

Befolkningsvekst, økonomisk fremgang og teknologisk utvikling har forårsaket et raskt økende energibehov. Den massive bruken av fossilt brensel med sine utslipp av klimagasser og forurensninger har resultert i klimaendringer og andre miljømessige utfordringer. Jakten på alternative energikilder har vært omfattende de siste 20 årene. Utfordringen med energi fra de fleste fornybare kilder er derimot at tilgangen gjerne avhenger av ukontrollerbare faktorer som nedbør-, vind- og solmengde. Ved bruk av disse energikildene er lagringssystemer avgjørende for en kontinuerlig tilførsel av energi. Batterisystemer er et av de vanligste anvendte energilagringssystemene.

I dag inkluderer batteriene på markedet primære batterier og oppladbare (sekundær) batterier. Litium ion-batterier (LIB) har blitt den dominerende andelen av oppladbare batterier og er mye brukt innen maritim virksomhet grunnet sin høye spesifikke kapasitet, høye energitetthet og gode sykliske stabilitet. I tillegg har Norge sammen med mange andre land vedtatt retningslinjer for å oppmuntre salg av elektriske biler som ytterligere vil øke markedsandelen av LIB (Yue Yang, 2021). Det globale LIB-markedet nådde verdien av 39,4 milliarder amerikanske dollar i 2021, og er anslått å nå 83,6 milliarder amerikanske dollar innen 2027 (Markets, 2022).

Den enorme utviklingen av LIB-industrien har resultert i betydelig etterspørsel etter mineralressurser. Begrensende ressurser og økning i råvarepriser har dermed blitt et flaskehalsproblem og truer den bærekraftige utviklingen av LIB-industrien.

Det internasjonale energibyrået (IEA) rapporterer at elektriske kjøretøy produserte i år 2019 hele 500 000 tonn med LIB avfall, og at den totale mengden avfall generert i 2040 er estimert til 8 millioner tonn (Baum, 2022).

Grunnet mange brennbare og giftige substanser vil enkel deponering av brukte batterier utgjøre en trussel mot miljøet og menneskers helse. Samtidig inneholder brukte LIB mange verdifulle metaller som kobolt, kobber, aluminium, nikkel og litium. Resirkulering av brukte LIB vil ikke bare redusere forurensning, men også supplere metallkilden som igjen reduserer ressursbegrensningene og mineraluthenting. Resirkulering av LIB-er er avgjørende for en bærekraftig utvikling av LIB-industrien (Yue Yang, 2021) (Ma, 2021).

For å redusere miljøkonsekvensene ytterligere burde en også forlenge levetiden til LIB-ene så mye som mulig. Dette oppnås ved å gjenbruke batteriene fra krevende bruksmiljø til mindre krevende. En kombinasjon av forlenget levetid og resirkulering er den mest bærekraftige utnyttelsen av litium ion-batterier (Yue Yang, 2021).



### 2.1.1 Batteri i skip

Mange skip har installert energilager i form av batterier. De kan enten alene eller sammen med generatorer koblet på forbrenningsmotorer, sørge for stabil og sikker strømforsyning. Hvorfor en velger å installere batterier vil variere med type fartøy og operasjon. Typisk motivasjon er faktorer som utslipp, drivstoff, kost, vedlikehold, akustisk støy og risiko. Videre kan en motivasjon fremover være at det er en praktisk løsning for å møte økende omfang av lokale reguleringer som setter begrensninger på utslipp og støy (Mo, 2022).

### 2.1.2 Batteriets grunnleggende prinsipp

Batteri ser enkle ut på utsiden, og folk flest ser på en batteripakke som et lukket system som leverer energi ved behov. Likevel er det et avansert system inne i batteriet – det er en kompleks pakke med multifunksjonelle komponenter og reaksjoner med sporadiske mystiske utfall.

Batterier kan bli klassifisert etter en rekke faktorer som reversibilitet til reaksjonen, type elektrolytt, prinsippet i operasjonen eller bruksområdet. Vi deler typisk batteri inn i primære og sekundære, hvor sekundære ofte omtales som oppladbare batterier.

Primære, ikke-oppladbare utnytter elektrokjemiske reaksjoner ved utladning, men kan ikke effektivt reversere reaksjonen ved å sette spenning på battericellen. Disse utgjør omtrent 20 % av markedet. Sammenlignet med oppladbare batterier har de som regel høyere energitetthet (både vekt og volum), kan ligge lenger ubrukt og har full kapasitet ved behov (Petroviccoty, 2021).

Ved sekundære, oppladbare batterier, så setter man spenning på battericellen som reverserer reaksjonene som tar sted gjennom utlading og omgjør batteriet til oppladet tilstand slik at det kan levere energi igjen. De mest kjente oppladbare batteriene er litium ion-(LIB), blysyre- og nikkel-baserte batterier (Petroviccoty, 2021).

### 2.1.3 Litium ion-battericelle til batterisystem

Et typisk litium ion-batterisystem, også omtalt som batteripakke, består av moduler koblet i serie- og parallellkretser med et batterisystem (BMS) som overvåker lade-utladningsatferden til hver modul og et kjølesystem som kontrollerer temperaturen.

Hver modul inneholder en rekke battericeller som er satt sammen til en mekanisk struktur som demper eventuelle støt. En battericelle er den minste enheten i systemet og inneholder fire hovedkomponenter; katode, anode, separator og elektrolytt. Et ytre deksel setter sammen battericellene til en funksjonell modul enhet.

I battericellen vil de elektrokjemiske komponentene produsere strøm gjennom en spontan reaksjon når elektrodene (katode og anode) er koblet gjennom en motstand og er i kontakt med en elektrolytt. En separator som tillater ionisk transport, som litium ioner, er plassert i elektrolytten og skiller elektrodene fysisk for å hindre elektrisk kortslutning.

Battericeller produseres i tre formater; sylindriske, prismatiske og poseceller. I tillegg til forskjellige form, dimensjoner og batterikjemi, er pakkingen av de aktive materialene i cellene veldig forskjellig; spiralviklet i sylindriske celler, elliptisk viklet i de prismatiske cellene og stablet i poseceller. Sylindriske og prismatiske celler er pakket i et metallhus, vanligvis av aluminium eller stål, mens poseceller bruker en metallisk plastpakke eller aluminiumsfolie. Sylindriske celler benytter en veletablert fabrikkasjonsteknologi og dermed lettere å masseprodusere til lavere priser.

## 2.2 Sirkulær økonomi

I en sirkulær økonomi må produktene vare så lenge som mulig, repareres, oppgraderes og i større grad brukes om igjen. Når produktene ikke kan brukes om igjen, kan avfallet resirkuleres og brukes som råvarer i ny produksjon. Slik utnytter vi de samme ressursene flere ganger og minst mulig går tapt.

Omstillingen til sirkulær økonomi innebærer endringer i produktdesign (design for gjenbruk og resirkulering), produksjonsprosesser, og forbruksmønstre. Forbrukere må få mulighet til å ta miljøriktige valg, og bevissthet rundt å ta miljøriktige valg må øke. Digitalisering, bruk av tjenester og delingsøkonomi er sentralt (Miljødirektoratet, 2022).

Den mest bærekraftige tilnærmingen til utnyttelse av LIB er en kombinasjon av forlenget levetid samt resirkulering av materialene (Yue Yang, 2021). Det vil si at i tillegg til å resirkulere batteriene ved endt levetid, bør levetiden forlenges så mye som mulig med minimal prosessering.

### 2.2.1 Gjenbruk av batterier og "second life"

Batterier brukt i maritim sektor har ofte et krevende bruksmiljø, og da kan det gjenbrukes i et mindre krevende bruksmiljø. Men, hvor en kan gjenbruke et batteri avhenger av tilstanden til batteriet. Når kapasiteten er redusert til 80 % av nominell kapasitet anses LIB som uegnet for gjenbruk og bør trekkes ut av langdistanse elektriske kjøretøy-applikasjoner. Da kan de overføres til mindre krevende forhold, og dette blir ofte referert til som "second life" applikasjon, som ikke bare sparer ressurser, men også reduserer den negative påvirkningen per syklus i batteriet.

Second life applikasjoner vi nå ser på som de mest sannsynlige er mindre krevende elektriske kjøretøy og stasjonære lagringssystemer. Stasjonære lagringssystemer kan f.eks. være lagring av overskuddsenergi fra solkraft- eller vindkraftanlegg eller lagring og stabilisering av nettet.

### 2.2.2 Batteri resirkulering

De siste årene har resirkulering av brukte LIB blitt en økende bekymring med den enorme økningen i LIB produksjon. Hvor høy andel av materialet som kan resirkuleres er komplisert da batterikjemien består av flere komplekse metalliske materialkomponenter. LIB er en felles term for batterier hvor litium ioner beveger seg mellom elektrodene ved bruk og oppladning. Det er store material-variasjoner både på krystallstruktur og kjemisk sammensetning. Hvor høy resirkuleringsgrad batteriet har er avhengig av batterikjemien og resirkuleringsmetoden valgt.

Dagens resirkuleringsprosesser kan deles opp i tre prosesser; forbehandlingsprosesser, metall-ekstraksjonsprosesser og produktforberedelsesprosesser. I litteraturen er det rapportert stor forskjell i resirkulerbarhet. Andelen resirkulert materiale for de ulike grunnstoffene som litium, nikkel, kobolt, mangan, jern og kobber varierer fra 0-100 %. Dette kommer av stor variasjon innen batterikjemi og hvordan resirkuleringsprosessene evner å trekke ut de ulike materialene som inngår i batteriene. Likevel var det i litteraturen totalt sett rapportert høy resirkuleringsgrad, dvs. 90-98 % (Yue Yang, 2021) (Xiaohong Zheng, 2018). Per i dag er mange av resirkuleringsmetodene kun vært utprøvd på lab-skala. Den høye resirkuleringsgraden som er funnet på labnivå er lovende og noe industrien kan bygge videre på. Det gjenstår likevel å se resultater på kommersiell skala.

En viktig motivasjon for resirkulering er å redusere de negative miljøpåvirkningene fra deponering av avfallet. For strategisk viktige materialer er resirkulering også for å sikre deres kontinuerlige tilførsel og lindre prissvingninger. Frem til nå har utvikling av resirkuleringsmetoder, grunnet økonomiske interesser, fokusert på å hente ut verdifulle materialer som kobolt, litium og nikkel fra katode materialet. Uthenting av rimelige stoffer som jern, aluminium, fosfor og av anodematerialer og elektrolytt er derimot sjeldent rapportert, og

interessen har vært lav. For å etablere resirkulering i kommersiell skala, må imidlertid driften til syvende og sist være økonomisk forsvarlig. Resirkulering involverer en rekke operasjoner, inkludert innsamling av avfall fra et bredt spekter av steder før det transporteres til avfallshåndteringsanlegg. Dette er totalt sett veldig kostbart.

I en kostnadsanalyse ved LIB-resirkulering ble det funnet at lønnsomheten til en resirkuleringsprosess er avhengig LIB kjemien og utvinningsteknologien. Den generelle trenden var at kjemier som inneholdt mest verdifulle metaller som kobolt og nikkel, var mest lønnsomt. Videre var avstand mellom resirkulering og produksjonslokasjoner noe som spilte inn, jo kortere jo mer lønnsomt (Yue Yang, 2021). Her er det viktig å huske at den økonomiske vurderingen gjort er sterkt avhengig av materialpriser, og med et økt behov og begrenset råvareuthenting vil dette kunne gjøre resirkuleringen mer økonomisk gunstig.

### 2.2.3 Batteridesign sin rolle

Design avgjør hvordan produktet oppnår sine tiltenkte funksjoner. Det har også en stor påvirkning på pris, kvalitet og gjenbruksapplikasjon for produktet.

Fra et bærekraftperspektiv må et godt design fremme effektivitet innen gjenbruk, reparasjon, og resirkulering. Imidlertid er kompleksitet i designene til batteripakken en anerkjent utfordring i gjenbruk og resirkulering av brukte LIB-er for elektriske kjøretøy til dags dato. Batteripakker i dag er imidlertid ikke designet for andre eller tredje liv applikasjoner. Det er derfor behov for batteriprodusenter å revurdere utformingen av celler, pakker og moduler som forenkler bruk av "flere liv" (Yue Yang, 2021).

Det må imidlertid erkjennes at gjenbruk av batterier gir tekniske utfordringer (f.eks. vurdering av State of charge (SOC) og State of health (SOH)), økonomiske utfordringer (kostnader for nye versus brukte batterier, kostnadene ved gjenbruk sammenlignet med inntekter fra gjenvunnet materiale) og utfordringer knyttet til regelverk. Gjenbruk krever både regulatoriske endringer og nært samarbeid mellom myndigheter, batteriprodusenter og sluttbrukere.

## 2.3 Livssyklusvurdering (LCA)

I en sirkulær økonomi er effektiv og redusert bruk av ressurser sentralt. Dette er positivt ikke bare for å lette trykket på uttak av verdifulle naturressurser, men også for å redusere klimagassutslipp, som er en viktig del av å oppnå en bærekraftig fremtid. I den sammenheng er livssyklusanalyser (LCA) et viktig verktøy. Gjennom en LCA kan helhetlig vurdering av miljøpåvirkninger av produkter, prosesser og tjenester gjøres. En LCA vil kunne gi innsikt om verdikjeder og mulige miljøeffekter (ikke bare klimagassutslipp), identifisere kilder og årsaker til utslipp, identifisere forbedringsmuligheter, m.m.

For et produkt som LIB kan det utføres LCA fra vugge til port, vugge til grav og grav til vugge. Flertallet av dagens LCA-studier er i dag utført på produksjonen, altså begrenset fra vugge til port. I en omfattende LCA studie vurderes påvirkningsbidragene fra materialutnyttelse, materialbehandling, batteriproduksjon og batteristyringssystem (BMS), batteri monterings- og pakkeprosessen.

### 2.3.1 LCA på LIB produksjon og bruk

Blant LIB-relaterte LCA analyser er Globalt oppvaringspotensiale (GWP) den hyppigst vurderte kategorien. Ved sammenligning av LCA resultater for produksjon av  $\text{LiFePO}_4$  (LFP) og  $\text{LiNi}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.4}\text{O}_2$  (NMC) ble det funnet at batteristyringssystemet (BMS) stod for en markant andel av utslippene. Både for LFP og NMC hvor GWP bidragene var delt inn etter batteriets komponenter stod BMS systemet for underkant av 15 %. Her bør det ses på virkemidler for å redusere miljøpåvirkningene fra produksjon av BMS.

Et viktig og kanskje mer åpenbart funn er at klimagassutslippene fra LIB-produksjonen varierer stort mellom produsenter og geografisk lokasjon de er produsert. Forskjellene skyldes i hovedsak hvor energikrevende materialprosesseringen er og hvilket brennstoff som er brukt for elektrisitetsgenereringen i området (Yue Yang, 2021).

Det er viktig ved vurdering av LCA av ulike batteriteknologier å ha et bevisst forhold til hvorvidt en ser fra vugge til port eller f.eks. vugge til grav. Noen batterikjemier vil kreve energitunge prosesseteknologier, men kan ha langt høyere syklisk stabilitet som gjennom levetiden fører til lavere utslipp per syklus og gjerne forlenger levetiden.

### 2.3.2 LCA på LIB resirkulering

Det er utviklet mange metoder og teknologier for materialresirkulering for brukte LIB, men det er et begrenset antall prosesser som har vært i kommersiell drift. Per nå er det grunnet mangel på data begrenset antall LCA-studier på LIB resirkulering. Den generelle oppfatningen er at gjennom resirkulering av LIB vil verdifulle metaller gjenvinnes og farlig avfall vil elimineres eller reduseres.

Når det gjelder energiforbruk vil resirkulering være mindre energiintensivt sammenlignet med å bruke jomfruelige materialer (dvs. nytt råmateriale som ikke har vært brukt i noe produkt tidligere), da uttak og prosessering av jomfruelig råmateriale er energiintensivt. For eksempel, ble energiforbruket ved å produsere det aktive katodemateriale  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  fra jomfruelig og resirkulert materiale sammenlignet i 2012. Her ble alle resirkuleringsteknologiene funnet å forbruke mindre energi enn ved bruk av jomfruelig materiale.

Redusert energiforbruk betyr en reduksjon i klimagassutslipp. I 2015 ble GHG- og  $\text{SO}_x$ -utslippene for forskjellige katodematerialer produsert fra resirkulert og jomfruelige materialer sammenlignet. Resultatene viste at klimagassutslippene fra produksjon ble redusert fra 11-92 % når Co og  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  resirkuleres med den mellomliggende resirkuleringsprosessen og er integrert i forsyningskjeder for katodematerialer.

Til dags dato har de fleste rapporterte LCA-studier om LIB resirkulering fokusert på virkningene forårsaket av resirkulering av verdifulle metaller. Vurderingen av miljøkonsekvensene for prosesstrinnene innsamling, sortering og demontering av brukte LIB-er, samt transport mellom prosesseringssentrene, er derimot fortsatt knappe (Yue Yang, 2021). Virkningene fra disse trinnene kan være betydelige, og viser at initiativ som Batteriretur hvor vi kan resirkulere batterier som allerede er i Norge er et veldig viktig tiltak.

## 2.4 Regelverk

Batterier inneholder materialer som kan ha en negativ innvirkning på miljøet hvis de ikke håndteres riktig etter levetiden. Nylig rask vekst i både forbrukerelektronikk- og elbilindustrien har ført til at økende mengder brukte batterier kommer inn i avfallsstrømmen, og har skapt en betydelig utfordring med hensyn på innsamling, sortering og prosessering av avfallet. Over hele verden er det utviklet ulike retningslinjer for håndteringen av batteriavfallet. På europeisk nivå har batterier og brukte batterier siden 2006 blitt regulert under Batteridirektivet.

En politikk som har tiltrukket høy popularitet i mange land, er utvidet produsentansvar (EPR) hvor produsenter og importører av produkter blir gjort ansvarlige for slutten av levetiden til sine produkter. Dette ansvaret ivaretas imidlertid stort sett gjennom produsentansvarsorganisasjoner finansiert av produsentene og importørene.

Det er verdt å merke seg at selv om retningslinjer og regler er utviklet med den hensikt å legge til rette for bedre håndtering av brukte batterier, er det uunngåelig at de inneholder uklarheter på grunn av det store

spekteret av avfall som skal dekkes av dem. Her vil den nye batteriforordningen og tydeliggjøring av produsentansvaret bli svært nyttig.

### 2.4.1 EU og sirkulær økonomi

I forbindelse med lanseringen av European Green Deal forpliktet EU-kommisjonen seg å legge fram en ny Europeisk handlingsplan med tiltak som skal fremme sirkulær økonomi. Handlingsplanen ble lagt frem 11. mars 2020, "EUs handlingsplan for sirkulærøkonomi 2020". EU-kommisjonen varsler at de skal lage et nytt rammeverk med krav om at produkter er designet og produsert slik at de skal vare lengst mulig og materialresirkuleres. Ifølge EU bestemmes så mye som 80 % av den totale miljøbelastningen til et produkt i designfasen.

De varslede initiativene og endringene i regelverket vil i første omgang komme innenfor produktområder med stor miljøbelastning over livsløpet og liten grad av sirkularitet i dag. Prioriterte områder er særlig EE-produkter, batterier, emballasje, plast, tekstiler og bygg og anlegg. Batterier skal bli mer bærekraftig, og dette skal sikres gjennom en ny og ambisiøs batteriforordning (Miljødirektoratet, 2022).

### 2.4.2 Batteriforordningen

Batteriforordningen er en ny forordning om batterier og kasserte batterier (miljødepartementet, 2022). Den vil være en viktig brikke i elektrifiseringen av Europa, senke miljøbelastningen ved produksjon av nye batterier og bidra til en sirkulær økonomi for batterier. Forordningen vil erstatte dagens batteridirektiv.

EU-kommisjonen la 10. desember 2020 frem et forslag til batteriforordning, som en del av oppfølging av EU-kommisjonens handlingsplan for sirkulærøkonomi fra mars 2020. Forordningen endrer EUs forordning om markedstilsyn og produktsamsvar (Forordning 2019/1020/EF). Forslaget ligger nå til behandling i Rådet og Europaparlamentet.

Regelverksforslaget er svært omfattende. De overordnede endringene som er viktigst og mest relevante for Norge blir beskrevet nedenfor.

EU-kommisjonens ambisjon er at det nye batteriregelverket skal legge rammene for europeisk batterisatsing som samtidig skaper en sirkulær økonomi, nye arbeidsplasser, og sikrer anstendige vilkår knyttet til utvinning av mineraler. Det er spesielt tre problemområder som søker løst:

- Manglende rammevilkår for å stimulere til investeringer i produksjonskapasitet for batterier.
- Suboptimale systemer for ombruk og materialresirkulering av ressursene i batterier og manglende lukking av materialkretsløpet.
- Problemer knyttet til sosiale og miljømessige risikoer som ikke dekkes i dagens regelverk, herunder manglende transparens for råvareproduksjon og bruk av farlige stoffer i batterier.

Flere faktorer vil være viktige fremover, blant annet produksjonssikkerhet, produktgodkjenning og produsentansvar. I tillegg, det vil bli krav til å utføre aktsomhetsvurdering (due diligence) i hele verdikjeden, for å sørge for bærekraftig produksjon av råvarer (som for eksempel kobolt).

#### Produktkrav

Forslaget stiller en rekke produktkrav til batterier som skal settes på markedet i EØS – området. Tematisk er kriteriene knyttet til;

- Karbonfotavtrykk i produksjonsfasen for industribatterier og el-kjøretøy batterier, målt i CO<sub>2</sub> - ekvivalenter. Foreslått krav om dokumentering av livssyklusutslipp for batterier i elektriske kjøretøy og oppladbare industribatterier fra juni 2024.
- Restriksjoner på innhold av helse- og miljøfarlige stoffer.
- Innhold av materialgjenvunnet materiale (sekundære råvarer). Krav om minimum andel materialgjenvunnet materiale i batterier fra 1. januar 2027, som vil styrke markeder for sekundære råvarer og hjelpe holde materialressursene i omløp.
- Ytelse og varighetskrav. Batteriene må kunne fjernes og oppgraderes/erstattes av standardbatterier blant annet, for å bidra til økt levetid for batteriene.
- Merking og digitalisert informasjon. Skal gi informasjon om forventet levetid, kapasitet, innholdet av farlige stoffer og mulighetene for ombruk. Hvert batteri skal følges av sitt eget digitale produktpass.
- Sikkerhet.

### **Produsentansvar**

Virksomheter må selv sørge for å overholde alle krav til produsentansvar eller delta i et godkjent returselskap. Informasjon om alle produsenter og importører skal samles i et nasjonalt register. Produsentansvaret skal også inkludere netthandel og salg utenfor butikk, og skal finansiere innsamling, behandling, rapportering og informasjon til publikum, avfallsbehandlere og ombruksaktører. Kravene til innsamling av batterier skjerpes betydelig for å sikre tilgangen på sekundære råvarer i det europeiske markedet. Kasserte batterier skal forberedes til ombruk eller materialresirkulering og separat innsamlede batterier skal ikke deponeres eller energi-utnyttes.

### **Ombruk av batterier**

Forslaget legger opp til at EU-kommisjonen skal utarbeide utfyllende regler for ombruk av batterier til samme formål eller sekundære formål, som f.eks. stasjonær lagring av energi.

### **Offentlige anskaffelser**

Forslaget stiller krav om at batteriers miljøprestasjon skal hensyntas ved offentlige innkjøp av batterier eller produkter med batterier, og det skal innføres obligatoriske krav knyttet til batteriers kvalitet ved innkjøp av batterielektriske transportmidler.

### **Økonomiske og administrative konsekvenser**

Regelverket skal nå forhandles mellom EUs institusjoner, og det er for tidlig å si noe endelig om de økonomiske og administrative konsekvensene av rettsakten.

Forordningen stiller en rekke nye krav til produsenter av batterier. Det er liten battericelleproduksjon i Norge i dag, men det planlegges framtidig produksjon av battericeller i Norge, som vil måtte følge forordningens krav.

Aktører innen innsamling og resirkulering av batterier i Norge vil måtte følge nye krav til innsamling og materialresirkulering.

Videre vil importører av batterier i Norge få skjerpede krav til produsentansvar, samvæserklæring og teknisk dokumentasjon. Det må etableres kontaktnmyndigheter for produktsikkerhet og produktkontroll. Det er sannsynlig at disse oppgavene kan legges til myndigheter som har tilsvarende oppgaver for andre produktområder.

Forslaget for ny forordning ble forelagt den 13. januar 2021, for innspill fra sakkyndige instanser. Batteriforordningen vil trolig gjelde fra sensommer/høst 2022, avhengig av når godkjenning av siste instans skjer. Videre må EU-landene godkjenne forordningen før den formelt gjelder innad i Norge. Men, den vil gjelde ved samhandling med EU-landene slik at maritim bransje i praksis må forvente å forholde seg til den allerede fra sensommer/høst. Videre er det flere elementer i batteriforordningen som vil ha ulike datoer knyttet til seg, og disse er gjerne fordelt utover en femårs periode, slik at det er flere år før batteriforordningen er komplett.

### 3 Kartlegging og intervjuer

Målet med intervjuene var å kartlegge den maritime verdikjeden i Norge med hensyn på resirkulering og gjenbruk av batterier for de mest utbredte batteriteknologiene. Utfordringer knyttet til sirkulær økonomi med tanke på kostnad, teknologi, regelverk, politisk rammeverk, gjennomføring og marked ble forsøkt identifisert. I dette kapitlet er metodikken for intervjuene og intervjuobjektene presentert, etterfulgt av funnene fra intervjuene.

#### 3.1 Metodikk

Ni aktører i verdikjeden til maritime batterier ble intervjuet. Det ble utformet en intervjuguide som videre ble tilpasset selskapenes rolle. Denne intervjuguiden følger som vedlegg i tillegg til denne rapporten (Vedlegg A – Intervjuguide). Formålet med intervjuguiden var å sørge for struktur under intervjurundene og at aktørene innen samme del av kjeden ble spurt om tilnærmet det samme.

LIBRES og BATMAN studiene ble vurdert under utarbeidelsen av intervjuguiden. Eventuelle forskning og utviklingsområder som kommer frem i intervjuene har blitt inkludert i denne sluttrapporten.

##### **Rammene rundt intervjuene**

Hvert intervju hadde en tidsramme på én time. Helle Hofstad Trapnes og Ranvei Dahl Isaksen fra COWI utførte intervjuene sammen, for å sørge for best mulig dekning av informasjonsutvekslingen under intervjuet. Det ble gjort opptak av intervjuene som ble slettet 3 virkedager etter fullført intervju slik at svarene kunne renskrives/transkriberes. Intervjuobjektene fikk mulighet til å lese gjennom sine svar og godkjenne disse i etterkant for å sikre at ingen ble feilrepresentert på noen måte. Spørsmålene ble ikke gitt på forhånd da tidligere erfaring tilsa at dette kunne skape en mer kunstig samtale. De fikk imidlertid vite hvilke temaer som skulle bli diskutert under intervjuene.

##### **Intervjuspørsmål**

Det ble utarbeidet et sett med spørsmål. Disse varierte avhengig av hvilken del av verdikjeden aktørene operer i. Det vil si at et sett av spørsmålene var rettet mot produsentene, et annet mot brukerne, et tredje mot systemintegratorer og et fjerde mot avfallsmottakene.

#### 3.2 Presentasjon av intervjuobjekter/aktører

Aktørene og deres rolle i den maritime bransjen er beskrevet i dette underkapitlet.

##### **Corvus:**

Corvus er den største leverandøren av energilagringsløsninger i maritim næring, ikke bare i Norge, men også globalt. Corvus kjøper vi inn battericeller og integrerer de inn i egne utviklede/designet batterisystem-løsninger. De leverer til ferger og hurtigbåter, offshore supply-skip, havnekraner, cruiseskip, etc.

##### **Beyonder:**

Beyonder er et batteriteknologiselskap som startet i 2016. De designer og produserer battericeller ved å utnytte sagmugg fra gran, og unngår dermed bruk av knappe ressurser som kobolt og nikkel. Beyonder har utviklet/designet tre ulike produkter; 1) aktivt karbon, basert på sagflis som er restprodukt fra skogsindustrien, 2) superkondensator, og 3) litiumion kondensator (lic) battericeller, som er deres hovedsegment (produseres foreløpig på prototype-nivå). Beyonder sine battericeller er høy effekt batteriløsninger. Dvs. at cellene er ikke for å lagre energien, men for å håndtere de store kortvarige "peakene".



**Seam:**

Seam er det som kalles en systemintegrator, dvs. at de kjøper ferdige produkter fra leverandører (som ABB, Siemens, Danfoss, etc.), integrerer det i eget-designet system og kan dermed levere en ferdig pakke til deres kunder, som typisk er verft og redere. Deres portefølje består av komplette systemer og produkter inkludert energibærere/batteri, kraftelektronikk, tavler, sentralbord, automasjonssystemer, m.m.

I forbindelse med elektrifisering av skipsfarten har Seam tatt rollen i å integrere batteripakker tilpasset profilen/behovet til fartøyet det er snakk om. Ferger er hovedsegmentet de leverer systemene sine til, både hybrid-løsninger og helelektriske løsninger. I 2021 har de også levert hybrid-systemer til offshore båter og supply-båter.

**Wärtsilä:**

Wärtsilä er en systemintegrator som leverer komplette kraftforsyningssystemer og smarte teknologiløsninger til marin- og energimarkedene. Grovt fortalt leverer de alt av teknologi og utstyr som er på en båt bortsett fra det som verftene tradisjonelt gjør selv. Dvs. alt som skal på bro, maskinrom, propell, ulike energieffektiviseringstiltak, kontrollsystemer, kraft elektroniske systemer, roterende systemer, renseteknologier og brennstoffsystemer.

Wärtsilä har nettopp tatt deres første batteripakke på land, så prosessen med avfallshåndtering og gjenbruk/gjenvinning er så vidt påbegynt. Batteripakken har vært i drift i 10 år, og ble tatt på land fordi batteriene er degradert.

**ZEM Energy:**

ZEM Energy er en systemintegrator med hovedvekt på batteri. De leverer batterisystemer og elektriske drivlinjer til skip og ferger. Firmaet ble etablert i 2009 med basis i den norske elbilprodusenten "Think". De har mye kunnskap om batteri, batterikjemi, sikkerhet, ulike type batterier og hvordan disse skal installeres på en sikker måte på fartøy.

**Norled:**

Norled er Norges tredje største ferjerederi og største hurtigbåtrederi. De drifter hurtigbåter langs hele kysten fra Oslofjorden og opp til Troms. Norled lever av offentlig anbud og litt på charter. Dvs. inntektene kommer gjennom å vinne anbud og drifte i kontrakt med kunder som f.eks. statens veivesen eller fylkeskommuner. Hurtigbåter og ferger har begynt å gå mer over til å bli lav- eller nullutslippsfartøy, og Norled har blant annet vært først med helelektrisk ferge, Amper.

**Ragn-Sells:**

Ragn-Sells er en familiebedrift som holder til i Norge, Sverige, Danmark og Estland, og driver med det meste innenfor avfallshåndtering. Trond Leganger var med å starte Ragn-Sells havbruk og jobber i dag med forretningsutvikling og konsepter i Ragn-Sells AS. Blant annet jobber han med litium-ion batterier for ombruksmarkedet. Dette er foreløpig i startfasen.

**Batteriretur:**

Batteriretur samler inn og resirkulerer batterier. Selskapet ble etablert i 1993 og siden da har batterimengden økt betraktelig, blant annet med litium-ion batteri sin inntreden i verden. Batteriretur håndterer batterier og

sørger for at de blir resirkulert etter relevant regelverk. Det kan være batterier som har vært på test-fartøy eller på lab o.l.

Batteriretur har vært veldig aktiv i den maritime sektoren de siste 5 årene og brukt mye tid de siste årene på å finne løsninger for å lukke kretsløpet for litium batterier her i Norge. Det er Hydrovolt et resultat av. Hydrovolt er et felles selskap mellom Hydro og batteriprodusenten Northvolt som skal resirkulere batterier, også fra maritim sektor i Norge.

#### **IFE:**

IFE er et forskningsinstitutt som begynte å jobbe med batteriforskning i 2008. Innen maritim batteriforskning forsker de nå mye på maritime battericeller blant annet. De har testet en rekke forskjellige batterikjemier som jernfosfat, NMC, NCA, LTO, etc.

Generelt for batterier har IFE forsket på levetid og degradering, i tillegg til nye materialer. De arbeider blant annet med å se på om silisium kan bli et relevant materiale for nye batteriteknologier. Det kan godt tenkes at silisium kan brukes maritimt også om de er stabile nok og bruksområde. Enn så lenge er forskningen for det meste på cellenivå da langtidstesting på modulnivå er kostbart.

## 4 Funn fra intervjuene

De viktigste funnene fra intervjuene er presentert i dette delkapitlet. Spørsmål og svar fra aktørene er forsøkt sortert etter rekkefølgen i verdikjeden. Gjennom intervjuene var det mange fellestrekk og derfor er svarene sammenfattet i en tekst. Målet har vært å presentere intervju-funnene slik at svarene kommer tydelig fram, men uten å trekke frem enkeltaktører for mye.

### 4.1 Generelle spørsmål

#### 4.1.1 Hvilke batterier brukes i maritim sektor i dag?

Batteriene brukt i maritim sektor i dag er primært litium ion-teknologier og en minimal andel er litium-ion kapasitator (LIC).

#### 4.1.2 Hvilke føringer settes ved kjøp av batterier?

Føringer for kjøp av batterier og tilhørende systemer er som regel satt i anbudet. Sentrale elementer er da lengde på kontrakttype, rutetabell og tilgjengelig energi på kaien der fartøyet skal lade, effekt og energi, som igjen bestemmer pris. Det er i dag begrenset antall godkjente batterileverandører, som igjen begrenser valgfriheten. Valg av batteriløsning til fartøyet er i stor grad bestemt av kostnaden. Men dersom ytelsesgarantier foreligger (for eksempel garanti på levert effekt etter 10 år), vil dette være et insentiv for å betale en høyere pris for batterisystemet.

#### 4.1.3 Hvor kommer materialet brukt i battericellene og batterisystemene fra?

Materialet i battericellene produsert av Beyonder kommer primært fra Asia, foruten sagflisen. Sagflisen kommer fra Norge. Batterisystemene kommer også stort sett fra Asia.

Beyonder håper at de sammen med Freyr og Morrow vil generere tilstrekkelig volum av aluminium til bruk i batterier, slik at aluminiumsprodusenter finner det interessant å tilpasse seg dette markedet. Beyonder trekker også frem at de med tiden ser for seg at å benytte seg av resirkulert materiale inn i deres celleproduksjon.

Corvus er tydelig rundt deres ønske om å kjøpe battericeller produsert lokalt. Det finnes ingen lokal produksjon i dag. Da er transportdistansen markant lavere, og energimiksen benyttet under produksjon har langt lavere klimagassutslipp.

#### 4.1.4 Er dagens batteripakker spesialtilpasset forventet driftsprofil for fartøyet?

I dag er det flere som gjør dette, dvs. at løsninger blir designet etter hvordan kunden kommer til å operere fartøyet. En utfordring i bransjen er likevel at det ikke alltid vites på forhånd hvordan fartøyet skal opereres eller at man ikke får hele driftsprofilen til kunden.

#### 4.1.5 Hvilke batterier er det forventet at maritim sektor vil ha i fremtiden?

Maritim sektor vil nok primært forholde seg til litium-baserte batterier i mange år fremover. Det er forventet av mange at maritim sektor ville være de første til å gå over til faststoff elektrolytt batterier når teknologien er klar, grunnet lavere risiko relatert til bruk av batteriene.

I tillegg er det mange som ser for seg at bransjen fremover vil se et mer bevisst forhold til valg av batterikjemi. Det er gjerne ikke nødvendig å bruke litium-baserte teknologier så mye som vi gjør i dag. Her må man være tydelig og bevisst i ønsket funksjonalitet hos batteriet. Ved mulighet for å velge batterier med f.eks. en lavere mengde kritiske materialer så er det å foretrekke.

## 4.2 Batteriets første liv

### 4.2.1 Monitorering og vedlikehold av batterier

I dag kan batterisystemet være koblet opp mot nettet slik at man kan vurdere helsetilstanden og degraderingen til batteriet kontinuerlig. Dette gir en enorm kontroll på batteripakken. Med dagens situasjon er det ikke mengde og kvalitet, men heller dataens sikkerhet og eierskap til dataene som er utfordringen.

Det er svært lite arbeid relatert til vedlikehold. Batteriet er robust og består av ikke-bevegelige deler. Ved feil oppstår en alarm og man må handle deretter. Utover dette er arbeid med batterier stort sett knyttet til installering, oppfølging av helsetilstand, utføring av teknisk status og håndtering av batteriet ved endt levetid.

### 4.2.2 Er det mulig å øke levetiden hos batterisystemene ytterligere?

Det var en gjennomgående enighet fra intervjuobjektene om at dette er mulig. Det ble likevel påpekt av flere at per i dag blir ofte den billigste løsningen valgt, noe som etterlater lite handlingsrom for å utføre slike tiltak. Her trengs det regelverk som tilrettelegger for bærekraftige beslutninger, og disse må gå på flere plan.

Ved etablering av slike regelverk er det viktig å forstå forventet operasjon til batteriet. Batterikjemi og design må tilpasses forventet operasjon. Her er det sentralt å ikke holde fast på dagens teknologier og løsninger. Flere aktører mener at det er ekstremt viktig å være åpen for nye batterikjemier.

## 4.3 Batterier etter endt levetid

### 4.3.1 Hva skjer med batteriene etter endt levetid?

Bruk av batterier i maritime fartøy er forholdsvis nytt, og få av aktørene som ble intervjuet har kommet til det punktet hvor batteripakkene har nådd slutten av levetiden. Det er derfor mindre erfaring og kunnskap knyttet til dette temaet, men selskapet Batteriretur og deres rolle opp mot dette er godt kjent blant aktørene.

I dag er volum av brukte batterier sammenlignet med forventede mengder, svært lav. Majoriteten av batterier tatt ut av drift er fra f.eks. el-biler som gjerne er blitt utsatt for kollisjon, eventuelt at det har oppstått feil. ZEM Energy informerte om at deres eldste system er 6 år, og er designet for å holde i 10 år. Selv etter 6 år har batteripakken en State of health (SoH) på over 90 %, slik at det er tenkelig at denne kan holde i mer enn 10 år. Så lenge SoH er over 70 % kan en gjøre en økonomisk vurdering hvorvidt det er riktig å bytte ut batteriet.

### 4.3.2 Hvem er ansvarlig for å ta inn igjen batteriene når de er ferdig?

Ved import av batterier er man etter norsk lov ansvarlig for å innhente dem etter endt levetid og sørge for et system for resirkulering. Den mest utbredte måten å sørge for resirkulering er i dag å benytte seg av Batteriretur. Batteriretur tar inn både større og mindre maritime batterier. Returordningen for batterier kategoriseres ut fra tre returorganisasjoner; portable batterier, start- og industribatterier og høyenergibatterier. Portable batterier samles inn via 350 partnere i Norge som sender de videre til Batteriretur. Deretter sorteres de etter kjemi, kvalitetssikres, pakkes iht. ADR (avtale om veitransport av farlig

gods) og sendes til materialgjenvinning. Det samme gjelder for start- og industribatterier. Høyenergibatterier blir samlet inn med et utvalg partnere og blir deretter diagnostisert, testet og vurdert for reparasjon, gjenbruk eller gjenvinning. De som gjenvinnes leveres primært til anlegget til Hydrovolt i Fredrikstad.

Det var en gjennomgående positivitet og god kjennskap til Batteriretur og deres arbeid, men enkelte mente også at det kunne være noe dyrt.

Ragn-Sells, som kan hente inn batterier på vegne av Batteriretur, mente at det var et stort behov for tydelige rutiner og et kunnskapsløft rundt håndtering av brukte og skadede batterier og generelt gjenbruk. Per nå er kunnskapen rundt håndtering av skadede batterier for lav, og kompetanseheving bør være sentralt fremover. Både Batteriretur og Ragn-Sells var svært tydelig på at produsentansvaret, hvem som står ansvarlig for batteriet etter endt levetid, per nå ikke er tydelig nok og at dette skaper utfordringer.

### 4.3.3 Hvordan foregår innsamling av batterier i dag?

Batteriretur har utviklet en portal for innsamling av batterier som sikrer sporbarheten på dem. Her kan selskaper som er ansvarlig for batteriene som skal hentes, logge inn selv og registrere mengde batterier som skal hentes og hvor. Ved henting av batterier blir de fraktet til Sandefjord hvor de blir demontert. Ofte kommer batteriene modulvis. I enkelte tilfeller kan de resirkuleres som hele moduler, mens andre ganger må de demonteres ned i mindre enheter.

Den nye batteriforordningen forventes å sette sterke krav til sporbarhet, helt nede på materialnivå. Portalen for innsamling av batterier utviklet av Batteriretur, er ifølge Batteriretur første steget til å oppnå sporbarhet. Her produseres et unikt ID som tilhører hvert enkelt batteri, modul eller celle – avhengig av formen på hva som hentes. ID-en følger helt ut til resirkuleringsfasen, til og med når det er laget nye batcher med black mass etter at aluminium, kobber, etc. er hentet ut. Ved å spore batteriet hele veien sørges det for at ingen råvarer går tapt.

Etter dette går batteriene til Hydrovolt. Aluminiumet fra batteriene vil bli resirkulert og gjenbrukt av Hydro, mens den såkalte sorte massen (som blant annet inneholder litium, magnesium, nikkel og kobolt), går videre til hydrometallurgisk prosessering. Dette skjer hos Northvolt eller blir solgt til andre aktører. Northvolt er imidlertid foretrukket da de har en prosess hvor de også tar ut litium karbonatet, som det er veldig få aktører i verden som gjør. Denne prosessen starter opp nå parallelt med Hydrovolt sin operasjon. Dette lukker kretsløpet, og nye batterier produseres med råvarer hentet fra gamle batterier.

### 4.3.4 Hvem er det i dag som rapporterer inn sporbarheten til batteriene?

I dag er det Batteriretur og returselskapene som tar seg av rapporteringen til myndighetene. I Norge er det miljødirektoratet som forvalter avfallsforskriften. Det blir det også fremover, men nå går det fra å være en forskrift i Europa, til å bli en regulering. Dette ser Batteriretur frem til, og mener dette blir en tydeligere regulering som alle må forholde seg til.

### 4.3.5 Hvem har eierskap til batteriene Batteriretur henter inn?

I forkant av innhenting av batteriene blir dette avklart mellom produsenter og Batteriretur. Noen produsenter ønsker at dette går tilbake til deres systemer, men i utgangspunktet overtar Batteriretur ansvaret fra øyeblikket batteriet er hentet.

## 4.4 Gjenbruk av batterier

### 4.4.1 Gjenbruk av batterier, "second life"

Maritime batterier er normalt dimensjonert for en operasjonstid på 10 år. Når disse 10 årene er over, må tilstandsparameterne i batteriet vurderes opp mot egnethet for et "nytt liv".

Tilstanden til batteriet avhenger gjerne av antall sykluser og alder. Batteriretur legger til at hvis et litium ion-batteri ligger ubrukt kan dette føre til dendritt-dannelse som kan ødelegge separatoren. Dette fører gjerne til kortslutninger og "thermal runaway" som kan resultere i brann. En annen sentral faktor er hvordan batteriet blir håndtert etter det er fjernet fra applikasjonen.

Når Batteriretur har mottatt batteriet og sporbarheten er sikret, utfører de en diagnostisering. Her henter de ut nødvendig informasjon fra batteriet slik at de kan sikkerhets-vurdere batteriet og bestemme hvorvidt batteriet er egnet for gjenbruk eller resirkulering.

Wärtsilä mener at ved tap av 20-30 % av kapasiteten, er det ikke noe som står i veien for å bruke restkapasiteten på andre markeder. Spesielt ikke om tapt kapasitet er lavere enn dette, da kan de i mindre krevende miljø ha mange gode år igjen.

Applikasjonsområder for brukte batterier som ble nevnt flere ganger var til energilagring i f.eks. bygg, lagring av overskuddsenergi fra sol og stabilisering av nettet. Videre kom Batteriretur med en rekke mer detaljerte eksempler:

- **2.0 versjonen av bensinkanne**  
Ved bruk av bil ved lange strekninger, spesielt ved lengre avstander mellom påfyll av drivstoff, er det ikke unormalt å ta med en 5L tank med drivstoff i tilfelle man går tom. Ved bruk av el-bil, spesielt i nord hvor det typisk er lengre mellom ladestasjoner, kan det være nyttig med et lite nødlager med energi. Ved å lage små batteripakker med brukte batterier kan denne lades opp i forkant av turen og ved behov kan denne energien brukes til å lade opp el-bil batteriet.
- **Nødsystemer for aggregater**  
Hos sorteringsanlegg på forbrenningsanlegg er det ofte 40-50 aggregater plassert utover anlegget. Disse kan erstattes med batteripakker av brukte batterier som er koblet på strømsystemet, som tar ujevnheter og ved strømbrydd overtar driften.
- **Store energilagre**  
Man kan bygge store energilagere som kan lades opp og tas med for å f.eks. lyssette et utendørs idrettsanlegg på kvelden.
- **Nødstrøm for feltskyehus**  
Dette kan gjøres ved å koble brukte batteripakker eller moduler som fylles med solkraft gjennom dagen. Et fellestrekk med mange katastrofeområder er at det stort sett er sol der.

Når det kommer til gjenbruk mener Batteriretur at "The sky is the limit!". Så lenge det gjøres på en ordentlig måte, og ikke minst at produsentansvaret er definert.

Videre legger Ragn-Sells til at 1/3 av havoppdrettsanleggene i Norge ikke har landstrøm. De bruker dieselaggregater som med fordel kan erstattes av brukte batterier kombinert med sol- og vindkraft. Skoler, sykehus og idrettshaller har også et stort potensial for brukte batterier som del av energiforsyningen.

Flere av aktørene som ble intervjuet er nå involvert i prosjekter for gjenbruk av batterier fra maritime operasjoner. Corvus legger til at fordelene med maritime batterier er at de oppfyller de tøffeste sikkerhetskravene, mye tøffere enn batteriene på land innenfor el-bil og lignende.

Interessant funn fra IFE som arbeider mye med sikkerhet, er at de samarbeider med Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) hvor de har utført en rekke branntester og andre sikkerhetstester på litium ion-battericeller. Der ser de fra tidligere prosjekter at brannsikkerheten både kan bli bedre og dårligere med aldring.

Det var stor enighet om at ved håndtering av brukte batterier, bør minst mulig gjøres/endres med dem for å minimere kostnader. Det vil være best å bruke dem som de er. Det vil være viktig at brukte batterier er rimeligere enn nye batterier. Samtidig må de være pålitelig, sikker, og det bør følge god dokumentasjon og garanti. En klar utfordring er at ved brukte batterier kan det være vanskelig å finne reservedeler, så her er det nødvendig med regelverk.

En utfordring med dagens forskrift er at dersom batteriet blir solgt videre til andre for second life, vil den opprinnelige batteriprodusenten beholde produsentansvaret. Dette mener Batteriretur må endres, da de mener at det for eksempel ikke er riktig at en marin batteriprodusent skal sitte på risikoen og ansvaret for å resirkulere batteriet om 15 år. I dag løses dette med kontrakter, men dette er forventet å bli så stort at man må regulere med lovverk og gjøre det mer tydelig.

## 4.5 Resirkulering

### 4.5.1 Resirkulering

ZEM Energy har gjort en rekke tester hvor de fant at når kapasiteten er redusert med 30-35 % begynner batteriene å bryte sammen. De har derfor konkludert med at det mest bærekraftige for batteriet brukt i maritime applikasjoner i over 10 år med en restkapasitet på under 70 %, vil være å sende batteriene til en tilfredsstillende resirkuleringsfasilitet.

Det er viktig å vekte gjenbruk, resirkulering og uttak av jomfruelige råvarer. Denne vektingen er sentral fordi en del batterier som kan gjenbrukes i en annen applikasjon, burde noen ganger heller gå tilbake til resirkulering for å redusere trykket på uttaket av jomfruelige råvarer. Dette er både med tanke på miljø og sirkulær økonomi. I dag er det ikke nok brukte batterier på markedet som kan gå til resirkulering for å dekke batteribehovet. Samtidig er ikke råvaretilgangen ubegrenset. Med det økte energilagringsbehovet må nok jomfruelige materialer hentes ut i all overskuelig fremtid, men dette bør dempes så mye som mulig ved å resirkulere.

LIB industrien har gjennomgått en enorm teknologisk utvikling, og en positiv følge av dette er nedgang i kritiske materialer per battericelle. Batteriretur ser at ved resirkulering av et batteri fra 2013 og helt opp til 2016 kan man lage fire nye batteri av mengden kobolt og litium hentet ut fra resirkuleringen.

Samtidig må flere verdier vurderes enn kun materialene. Batteriretur ser for seg at om 10 år kan karbon fotavtrykk være den største verdien. Ved å bruke resirkulert materiale i nye batterier kan karbon fotavtrykket hos det resirkulerte batteriet bli redusert betraktelig, kanskje så mye som med over 90 % mener Batteriretur. Beyond forventer også at det vil bli satt krav fra myndighetene rundt bruk av resirkulert materiale inn i nye batterier. Batteriretur legger til at ved resirkulering av batterier, er dette verdier som burde komme produsenten til gode. De forventer at LCA analyser vil bli en stor del av råvareprisen i fremtiden.

Samtidig vil den nye batteriforordningen sette krav til resirkulering. Ikke bare på vekt, men helt ned til sjeldne jordarter.

Når Batteriretur får inn batterier er de gjerne 70-80 % oppladet, og noen ganger 100 %. Da henter de ut denne energien og bruker den. Dette er også gjenbruk, dvs. energigjenbruk.

Spesielt interessant for den maritime bransjen er at batterier brukt i biler er veldig spesialdesignet, mens i skip står de gjerne i containere eller svære rom. Batteriretur opplever at disse batteriene er bedre designet for resirkulering.

#### 4.5.2 Utføres det LCA analyser av litium ion-batteri verdikjeden i dag?

Batteriretur sier at det blir utført alt for få LCA analyser i dag, men at de er blant dem som gjør dette i samarbeid med store industriaktører. Dette tror de kommer til å bli en stor verdi fremover.

#### 4.5.3 Hvor høy andel av et batteri kan resirkuleres og hvor mye av dette kan brukes i nytt batteri?

I dag er det krav om 50 % på cellenivå, dette mener Batteriretur er for lavt. Hydrovolt starter ved 80 % på cellenivå. I dag er resirkulering av elektrolytten utfordrende, men når dette er løst forventer de at resirkuleringsmengden vil ligge på 95-98 % av materialene på cellenivå. Alt som er av innpakning, blir 100 % resirkulert. Elektrolytten er utfordrende å resirkulere fordi den er brennbar. Batteriretur jobber med en løsning for å se på brennbargraden og muligheten for å bruke det som drivstoff, som alternativ til diesel og olje.

Målet er at alt av det resirkulerte materialet skal gå inn i nye batterier. Slik er det ikke i dag, men om 3-4 år vil nesten alt gå til nye batterier. Dette er Batteriretur veldig sikre på.

#### 4.5.4 Vil det være stor forskjell på å resirkulere LiC sammenlignet med LIB?

Her sier Beyonder at de er veldig optimistiske på at en stor andel av materialet kan gjenbrukes i nye batterier, men kan i dag ikke sette noen tall på hvor mye av battericellen de vil klare å resirkulere til nye battericeller. Her ønsker de å lære av litium-ion bransjen fremover samt forske på gjenbruk av komponentene i batteriene deres. Det er viktig for Beyonder å være billigere og ta hensyn til miljøet.

### 4.6 Sirkulær økonomi

#### 4.6.1 Generell sirkulær økonomi

Alle aktørene som ble intervjuet er tydelige på at sirkulær økonomi og bærekraftig er viktig for dem. Det er per i dag mange utfordringer som trenger gode løsninger. Samtidig er det en stor variasjon i hvor langt de har kommet i gang med konkrete tiltak for å møte utfordringene. Det kommer frem at mange i bransjen er usikker på hvordan de bør gå frem, og belysning av denne problemstillingen er i seg selv viktig.

#### 4.6.2 Veien mot sirkulær økonomi

Positivt for veien mot sirkulær økonomien er at aktørene sammen sitter på en enorm kompetanse og villighet til å endre sine prosesser for å bli mer sirkulær. Mange påpeker at samarbeid er nødvendig for å bli mer bærekraftig, og tørr bransjen dette, er det mye nyttig å hente.



Beyonder forventer at deres battericeller vil ha et lavere klimagassutslipp sammenlignet med konvensjonelle battericeller. Dette kommer av at battericelleproduksjon er svært energikrevende, men i motsetning til produsenter lokalisert i Asia vil Beyonder kunne benytte seg av norsk strømmiks med langt lavere klimagassutslipp. I tillegg vil transporten av battericellene til norske aktører bli langt kortere, som igjen vil kunne redusere klimagassutslippene.

Implementering av Beyonder sitt produkt vil også kunne gi positive bidrag. Levetiden til et typisk litium ion-batteri er rundt fem tusen ladesykluser gjennom levetiden, mens Beyonder kan garantere hundre tusen. Deres battericelle er en hybrid mellom superkondensator og litium ion-battericelle. Dette gir en ekstremt høy effekt og gir et stort vindu å operere i, men det går på bekostningen av energitettheten og vil derfor være mer brukt innen effektkrevende applikasjoner. Disse battericellene kan ha flere antall år ut på markedet før de går tilbake til resirkulering og reproduksjon.

Corvus sitter på en enorm batterikompetanse, og har allerede startet å engasjere seg i prosjekter for gjenbruk av batterier. Mens Wärtsilä har erfaring og kompetanse på en rekke type utstyr brukt i maritime fartøy. Ved økt fokus på sirkulær økonomi vil det nok komme flere kontrakter hvor aktører som Wärtsilä håndterer hele levetidsprosessen, og dette er en vei de allerede har startet på.

Mye av bakgrunnen til at ZEM Energy ble opprettet var for å se på gjenbruk av batterier. Innledningsvis hadde de en del forskningsprosjekter for å vurdere batterilevetid og hadde en god del komplekse levetid- og degraderingsmodeller hvor man kunne kjøre lasteprofiler og vurdere. De har tidligere sett på second life på vegne av både Nissan og Volvo og nå arbeider de igjen med slike problemstillinger, og ser på resirkulering og second life.

Seam nevner at temaet sirkulær økonomi er ekstremt aktuelt nå og fremover, da bransjen nå snart vil begynne å se innsamling av batteriene som ble satt inn i båter fra 10-15 år tilbake i tid. En båt seiler typisk 10-15 år og bransjen har ikke tatt inn disse batteriene enda, men dette nærmer seg nå. Det er snakk om store volum også, da Seam leverer hundre tonn batteri årlig gjennom deres virksomhet.

Videre har Norge et sterkt forskningsmiljø innen batterier hos IFE som fokuserer mye på sikkerhet, levetid, diagnostisering og second life. IFE utvikler nye materialer som kan brukes i batterier og som kan bli et konkurransefortrinn. De ser også på gjenbruk av batterier i nye applikasjoner og har begynt å se på resirkulering av materialer fra brukte batterier.

Det er verdt å nevne at forskning og utvikling gjort på batterier ikke er spesielt rettet mot maritim virksomhet. Her tenker IFE at man må se på batteriene opp mot bruksmønster. Nødvendig kunnskapsgrunnlag for batterier i maritim næring med hensyn på sirkulær økonomi er det samme som for andre batterier, men noe mer vektet på hardt bruksmønster og sikkerhet. Videre arbeider IFE med gjenbruk av batterier i nye applikasjoner og har begynt å se på resirkulering av materialer fra brukte batterier. I tillegg utvikler de også nye materialer som kan brukes i batterier og som kan bli et konkurransefortrinn.

#### 4.6.3 Hvilke utfordringer ser dere knyttet til å komme i gang med sirkulær økonomi?

Utfordringer som ble nevnt var manglende bevissthet, kunnskap, økonomi, regelverk og behov for mer samarbeid.

Det ble nevnt at flere aktører at økt bevissthet og kunnskap er nødvendig slik at bransjen kan finne de mest bærekraftige og økonomiske løsningene på utfordringene de står ovenfor. Det ble sagt at bransjen trenger ytterligere innsikt og forståelse for gjennomføring av gjenbruk- og resirkuleringsrutiner, hvor det er sentralt at kostnaden holdes nede. Innen batteriproduksjon er Norge nybegynnere. Her ligger det klart mye skjult

kunnskap innen industrien, så industrien må være flinke til å dra med seg academia. Noe solo-løp vil ikke fungere. Batteriprodusentene som kommer nå, er flinke på dette og ser et stort behov for kompetanseutvikling i Norge. Samtidig må Norge hente kunnskap fra resten av verden, og dette er noe som også gjøres. Norge trenger å få litt hjelp så vi kan få en liten "head start".

Det ble også nevnt at det er behov for å finne nye marked på land for de maritime batteriene, og etablere en prosess som koster minimalt. Mange trakk frem at kostnadene ved å gjenbruke og resirkulere var noe høy. Det ble nevnt at for å redusere kostnadene bør produsentene designe batterier for gjenbruk og/eller resirkulering samt at dette burde være et krav ved kjøp av batterisystemer. LCA-analyser var også nevnt med stor hyppighet, og her bør bransjen legge ned en stor innsats da dette forventes å bli viktig i tiden fremover.

Økonomien er noe som begrenser alle og under intervjuene ble det gjentatt at den generelle trenden i dag er at økonomien styrer ved valg av løsninger/produkter. Bærekraft må veies opp mot fortjeneste. Det hjelper ikke å være bærekraftig dersom man ikke får solgt løsningen eller produktet sitt. Her vil flere være prisgitt av oppdragsgiver som setter strenge og tydelige rammer, og et samarbeid innad i bransjen kan bære frukter ved å lære opp kunder i hvordan de best mulig kan utføre bærekraftige anskaffelser. Mange trekker også frem at krav og regler er nødvendig for en rettferdig og bærekraftig prosess og kan sørge for økt sirkulær økonomi. Her må regelverkene komme på et internasjonalt nivå, men dette er det fokus på allerede.

Det er ikke mulig å møte utfordringene alene. Bransjen er avhengig av økt samarbeid for best mulig gjennomføring. Her trakk mange frem hvordan den maritime bransjen har lite samarbeid sammenlignet med bilindustrien. Her ligger det nok et stort potensial. Harmonisering av industristandarder mellom ulike bransjer vil nok også kunne være nyttig for å kunne gjenbruke og benytte batterier mellom ulike markedsområder.

#### 4.6.4 Hvem burde ta ansvaret for å akselerere sirkulær økonomien?

Akselerering av sirkulær økonomien er et bransjeansvar og er avhengig av at alle samarbeider. Her må bransjen ha tydeligere prosedyrer og myndighetene bør lage tydelige retningslinjer for hvordan dette bør gjøres. Samtidig trekkes det frem at for at politikerne virkelig skal kunne gjøre noe med dette, må det først etableres en bevissthet i befolkningen og bransjen og da vil nok kundene kjenne presset og ta stilling til dette.

Avslutningsvis påpeker særlig Beyonder at det skjer mye på resirkulering og gjenbruks fronten nå. De ser for seg at EU kommer til å stille ganske rigide krav. Både i forhold til arbeidsmiljø, helse, sikkerhet og måten bransjen gjør ting på. Og de ser for seg at det nok blir et dokumentasjonskrav på 90 % + i resirkulerbarhet, og kanskje lenger levetid.

#### 4.6.5 Hvordan tenker dere sirkulær økonomien vil være i tiden fremover for bransjen og dere selv?

Corvus mener at om forventet batteribehov skal møtes, må noe skje. Nå er det slik at "one size fits all" på batterier, men dette er bare å glemme om 5 år. Da vil det nok bli mye mer spissede batteriegenskaper til forventet bruk. F.eks. til bruksområder hvor vekt ikke betyr noe, så vil tynne batterier som er rimeligere å lage samt inneholder færre kritiske materialer bli brukt.

Ragn-Sells håper at det vil bli et tettere samarbeid mellom deres kontorer i Norge, Sverige og Danmark for en mer helhetlig prosess for innsamling av batterier. De håper også at de kan benytte brukte friske batterier i havbruksnæringen og i store offentlige bygg. Videre legges det til at de sitter på et stort engasjement for å løse utfordringene de står ovenfor med batterier og sirkulær økonomi, og ønsker å bidra sterkt inn for økt sirkulær økonomi.

ZEM Energy ser for seg å bygge opp en testlinje med brukte batterier hvor de kan utføre standardiserte sykluser så man kan bestemme gjenværende levetid og klassifisere batteriene etter batteriets state of health (SoH). De med for lav SoH går til resirkulering, og resten til gjenbruk. Eventuelt starte teste ulike submoduler, og enkelt bytte dem ut. ZEM Energy er veldig opptatt av at gode resirkuleringsprosesser blir etablert som henter ut så mye som mulig hvor mest mulig kan gjenbrukes i ny battericelleproduksjon. Dette er viktig for å unngå å være avhengig av gruveindustrien, særlig med tanke på det økende behovet for batterier. Det må resirkuleres til en kvalitet som kan gjenbrukes.

Norled mener at det vil bli svært viktig å tenke helhetlig. Dvs. at i tillegg til å gjøre vurderinger for optimal ytelse gjennom bruksfasen må også det som skjer etter bruksfasen være i fokus. I Norled gjøres en helhetsvurdering ved alle innkjøp basert på informasjonen tilgjengelig. I likhet med de fleste andre aktørene er økonomi en begrensende faktor for å akselerere sirkulær økonomien. Derfor ønsker Norled regelverk som muliggjør bærekraftige valg som også er økonomisk gunstige i tiden fremover. Videre legger de til at bransjen som helhet må bli mer bevisst på miljø- og klimakonsekvensene rundt valgene som blir tatt. Her ser de allerede store endringer og er optimistiske for fremtiden.

Batteriretur ser for seg at de først og fremst vil være et kompetansesenter og kjennetegnes for å være innovative. De skal bygge en ny fasilitet i Vestfold, et kompetansesenter som kommer til å jobbe tett opp mot de store laboratoriene og de nye batteriinitiativene i Arendal og oppe i nord. De kommer til å være veldig tett integrert opp mot slike aktører for å sørge for en unik liten batteriklynge i Norge. De har ambisjoner om å være en akselerator og bidra til å bygge ny industri.

Aktørene som ble intervjuet finner det vanskelig å spå hvor bransjen er om 5 år. Batteriretur tror og håper at selskaper som Beyonder, Morrow, Freyr, Repack, Ecotore, etc. ser nytteverdien i å ha Battery Norway og bruker det som kompetanseklunge og deler informasjon. Dette mener de kan skape nye grønne arbeidsplasser her i Norge. Aktørene i bransjen kan ikke sitte på hvert sitt og tviholde, da kommer man ikke noe sted. Det er ikke slik at toget kommer, det har vært her for lenge siden. Nå må bransjen forsøke å ta igjen. Videre er Norge nødt til å få på plass utdanningssystemet, og det må investeres i. Dette innebærer ikke bare studieretninger ved høyskoler og universiteter, men det burde vært et valgfag på videregående. Vi bør også ha et veldig godt samarbeid mellom Norge og Sverige, noe som er et ønske fra begge sider.

Videre mener Batteriretur at samarbeid på tvers av industrien, selskaper og landegrenser er svært sentralt. Det trengs regulatoriske forhold som er forståelige. Det er ingen som tørr å investere om de ikke forstår det. Og så må tilgang på kapital være der. Her ligger vi nok etter mange europeisk land når det kommer til grønne finansieringsmuligheter. Det er faktisk så ille at eksterne Europeiske banker finansierer i Norge. Her burde norske banker ta tak mener Batteriretur.

Produsentansvaret vil være viktig. Det må tydelig frem hvem som har ansvaret, per nå er det alt for mye usikkerhet. Batteriretur avslutter med at mange av utfordringene rundt sirkulær økonomi kommer til å løse seg selv når Norge får noen flere års erfaring og kunnskap.

IFE sitt mål er å fortsette å bidra for at maritim næring skal fortsette å være ledende. Både for økt forståelse, diagnostikk, sikkerhet og ikke minst nye materialer. IFE ser for seg og etter hvert kunne dekke hele spekteret i Norge for materialuthenting, via celleproduksjon, pakke, batteri og deretter resirkulering.

## 5 Diskusjon

Prosjektets hensikt var å kartlegge verdikjeden for maritime batteriapplikasjoner med hensyn på sirkulær økonomi. Hovedessensen var å se på dagens situasjon samt identifisere utfordringer og muligheter knyttet til å akselerere overgangen til en sirkulær økonomi. Ved å innhente informasjon fra aktører i kjeden samt se på relevant litteratur, har vi kommet frem til noen hovedfunn.

Disse hovedfunnene er diskutert i dette kapitlet etterfulgt av en konklusjon og anbefaling til videre arbeid.

Barrierene som blir trukket frem som er til størst hinder for omstillingen til sirkulær økonomi er mangelfulle politiske føringer og regelverk, manglende kunnskap og samarbeid, og dårlig lønnsomhet. Dette samt muligheter som kommer frem som løsninger på utfordringene er diskutert nedenfor.

### **Politiske føringer og regelverk:**

Det er per i dag manglende regelverk som gir insentiver til å omstille batteriverdikjeden til sirkulær økonomi. Det er nødvendig med et regelverk som er likt for alle og harmonisert på et internasjonalt nivå. Dette ble nevnt gjentatte ganger av flere av intervjuobjektene som en vesentlig brikke som mangler for å kunne ta mer bærekraftige valg.

Allerede fra sommeren 2022 kan den nye Europeiske batteriforordningen komme (dato er per nå ukjent). Med den nye batteriforordningen vil bransjen måtte bli mye bedre rustet til å håndtere den enorme veksten i batteriforbruk (ikke bare fra maritim bransje, men også fra annen transport). Batteriforordningen har som formål å sikre bærekraft i hele verdikjeden. Det er forventet at dette initiativet vil gjøre mye for å sikre en sirkulær økonomisk fremtid for batterier og det er knyttet store forventninger til reglementet som kommer.

Flere faktorer vil være viktige i sammenheng med dette regelverket, blant annet produksjonssikkerhet, produktgodkjenning og produsentansvar. Produsentansvar må tydeliggjøres. Det vil si at det må være tydelig hvem som har ansvaret for et batteri etter endt levetid, samt videre i prosessen med resirkulering og nye produkter som har fått et "second life".

Videre vil kravet til sporbarhet og ID-dokumentasjon ved batteriene som kommer med batteriforordningen, være et viktig bidrag mot sirkulær økonomi. Batteriretur mener bransjen allerede er godt rustet med deres portal som sikrer sporbarhet.

### **Kunnskap og samarbeid:**

Først og fremst er det viktig at man begynner med å øke bevisstheten og kunnskapen rundt temaet sirkulær økonomi. De fleste vi snakket med har et forhold til begrepet og et ønske om å bidra. Det er flere faktorer som gjør omstillingen utfordrende, men bevisstgjøring og kunnskapsdeling er likevel det første og viktigste steget for å oppnå en omstilling til sirkulær økonomi. Det er viktig å dele kunnskap om hva sirkulær økonomi innebærer, og hvilke konkrete verktøy som kan bidra til omstillingen, samt hvordan det kan gi økt lønnsomhet.

Videre er samarbeid mellom aktørene i verdikjeden en nøkkelfaktor for å raskt og suksessfullt omstille seg til en sirkulær verdikjede. Dette har også vært nevnt av flere av intervjuobjektene. Det å "sitte på sin egen tue" er ikke bærekraftig. Bransjen burde også se mot el-bilindustrien som er kommet lengre enn den maritime næringen. Samarbeid er viktig for å kunne oppdage mulighetene som ligger i å utnytte hverandres ressurser. Det har kommet frem fra intervjuene at aktørene hver for seg sitter på mye nyttig kunnskap. Ved samarbeid kan bransjen som helhet oppleve et enormt kunnskapsløft, og da er nok mange av dagens og fremtidens spørsmål og utfordringer nærmere en løsning. Næringsklynger slik som Maritime CleanTech og Battery Norway er viktige knutepunkter for samarbeid og kunnskapsdeling. Workshop, kursing, nyhetsbrev, etc. som deles gjennom klyngen kan hjelpe til med både bevisstgjøring, kunnskapsdeling og samarbeid. Et annet viktig initiativ er Nordic Innovation som er en katalysator for samarbeid i Norden for å finne bærekraftige løsninger for fremtiden.

Samtidig er det også behov for mer kunnskap, og med tiden vil Norge nok se flere studieretninger ved universiteter og høyskoler, samt et høyere fokus på dette på videregående nivå. Dette arbeidet burde industrien være bidragsytere til. Et slikt kunnskapsløft blant det norske folk vil produsere gode ressurser for den maritime bransjen, samt øke kunnskapsnivået i befolkningen som igjen kan føre til økt politisk press for nødvendige regler og rutiner for økt sirkulær økonomi.

### **Dårlig lønnsomhet:**

Det oppleves dyrt å være bærekraftig i dagens samfunn, og på kort sikt kan det være ulønnsomt å endre forretningsmodell eller satse på brukte ressurser som råmateriale i nye produkter. Omstillingen tar tid og har ofte store investeringskostnader knyttet til seg. Slike investeringer vil kunne gi besparelser både økonomisk og for miljøet på lengre sikt, men det er foreløpig ikke "mulig" for mange å gjennomføre denne omleggingen slik det er nå. Det krever hjelp/insentiver fra politisk hold. I tillegg må det skapes et marked for resirkulert materiale eller for å gjenbruke materialer for at det skal lønne seg å benytte seg av slikt råstoff fremfor jomfruelig råstoff. Også her kan insentiver eller avgifter fra myndighetene være til ekstra drahjelp.

I tillegg vil det hjelpe når volumet av brukte batterier på markedet øker i årene som kommer. Batterier inneholder sjeldne jordmetaller og andre nyttige bestanddeler som med fordel kan gjenbrukes, med tanke på økt batteriproduksjon og begrenset tilgang til disse råmaterialene. Ikke bare av miljømessige og økonomiske grunner, men kobolt for eksempel er også belemt med et dårlig rykte når det gjelder forholdene det utvinnes under. I tillegg gir det større tilgangssikkerhet med tanke på usikkerheten som hersker angående fremtidig tilgang og pris på råstoffene. Nye metoder for resirkulering av metaller og elektrolytt som forskes på vil i fremtiden også gjøre det mer lønnsomt å resirkulere. Hydrovolt er blitt nevnt som et viktig initiativ her i Norge på dette og viser gode muligheter for fremtiden.

### **Flere muligheter og verktøy i omstillingen til sirkulær økonomi:**

I tillegg til de viktigste barrierene og mulighetene som nevnt innledningsvis, er det også andre muligheter/verktøy som vil bidra til å gjøre bransjen i stand til å omstille seg til en sirkulær økonomi.

Ett viktig verktøy er livssyklusanalyser (LCA). LCA studier for hele verdikjeden, dvs. fra produksjon til og med resirkulering, er noe bransjen bør gjøre mer av. Det vil gi viktig informasjon om de største miljøpåvirkningene i kjeden og hvor i kjeden det er mest å hente på å gjøre endringer som er mer bærekraftige. Det vil også gjøre det enklere for kjøpere og vurdere bærekraft ved anskaffelser. Det kan også være et stort konkurransefortrinn å kunne vise til slik dokumentasjon da dette blir etterspurt fra kunder i større og større grad. Ikke minst vil det bli et krav i den nye batteriforordningen.

For å kunne utføre LCA studier på hele verdikjeden, er det nødvendig å bygge en mer omfattende og pålitelig databank for miljøpåvirkninger i bruksfasen i tillegg til produksjonsfasen, for å få mer realistiske LCA resultater. Samtidig er det viktig å vite at dette tar tid, og i mellomtiden anbefales det derfor en god dialog i hele næringskjeden for hvordan kunder best mulig kan utføre bærekraftige anskaffelser på en transparent og rettferdig måte.

For å kunne øke gjenbruk og resirkulering av batterier er også design av batteriet en viktig faktor. Her er det viktig at produsenter i samarbeid med avfallshåndteringsbedrifter finner gode løsninger på batterier som er egnet for bruksfasen så vel som resirkulering eller gjenbruksfasen. Batteriene i maritim sektor møter de tøffeste sikkerhetskravene, noe som også gir gode muligheter for gjenbruk. Her er det viktig med en god prosess rundt vurdering av om batteriet burde gjenbrukes eller resirkuleres, og vekte dette opp mot behov for nytt batterimateriale, konsekvens ved uthenting av jomfruelige materialer, andre miljøkonsekvenser og kostnader.

Når det kommer til økt levetid for batterier, så kom det frem i intervjuene at det er muligheter for optimalisering av batteristyringssystemer som vil bidra til dette. Dette er forventet å gi verdi ved second life også. Her er det kompetanse allerede innad i klyngen og hos IFE man kan benytte seg av.

Til sist, bilindustrien vil oppleve å raskere få inn store volum med brukte batterier, og her er vil det være mye lærdom å hente. Samtidig vil flere år med erfaring og økt kunnskapsgrunnlag besvare mange av dagens utfordringer.

#### **Begrensninger på rapporten/arbeidet**

Ved utførelse av intervjuene ble det laget en semistrukturert intervjumanual, med spørsmål spesifikt rettet mot hvor i verdikjeden de ulike aktørene befinner seg. Dette ga intervjuobjektene/informantene stor frihet til å snakke fritt og samtalen hadde rom for flere interessante digresjoner. Gjennom et slikt intervju vil personlighet, faglig interesse, kompetanse og engasjement og ikke minst kjemien mellom intervjuer og informant spille inn og i stor grad farge intervjuet. I etterkant av intervjuene fikk informantene endre og/eller fjerne tekst. Alle disse elementene gjorde at det var stor variasjon i informasjonstype og mengde fra aktørene. Vi opplevde likevel at vi på denne måten innhentet mye interessant og nyttig informasjon fra bransjen og fikk et godt grunnlag for rapporten.

En annen viktig begrensning å nevne er at vi intervjuet kun 9 virksomheter fra den maritime bransjen med 1-2 informanter fra hver virksomhet. Det betyr at informasjonen i denne rapporten er begrenset til kunnskapen/informasjonen vi fikk fra disse. Vi har likevel med hjelp fra Maritime CleanTech plukket ut intervjuobjekter med hensyn på å dekke bransjen på best mulig måte innenfor prosjektets kostnads- og tidsramme.

Arbeidet med kunnskapsgrunnlaget og denne rapporten har også vært begrenset av en tidsramme og kostnadsramme.

## 6 Konklusjon

Sirkulær økonomi er per i dag ikke blitt implementert i stor grad for batterier i den maritime verdikjeden. En del av forklaringen ligger i at det i dag er kun et fåtall av batterier som er ferdig med endt levetid i maritime fartøy. I tillegg er det en rekke barrierer som hindrer omstillingen til sirkulær økonomi og de viktigste av disse er politiske føringer og mangelfullt regelverk, mangel på kunnskap og samarbeid i kjeden, og dårlig lønnsomhet.

Samtidig er det flere muligheter og lovende initiativ fremover som er veldig positive med hensyn på en omstilling til sirkulær økonomi. Batteriforordningen kommer om kort tid, og denne har som mål å sikre bærekraft i hele verdikjeden og legge rammer for sirkulær økonomien. Den er også forventet å stimulere til høyere lønnsomhet ved bærekraftige valg, siden dette blir et krav for alle aktørene i bransjen. Sist, men ikke minst, enkeltaktører og selskaper sitter på en betydelig kunnskap, og med samarbeid og kunnskapsdeling på tvers av verdikjeden er det gode muligheter for at omstillingen skal kunne skje raskt og vellykket. Klynger som Maritime CleanTech er en god arena for dette.

## 7 Referanser

- BATMAN. (2020, 05). *Eydecluster*. Hentet fra Eydecluster.com:  
[https://www.eydecluster.com/media/23950/vehicle-scrappage-brief-toei\\_052020.pdf](https://www.eydecluster.com/media/23950/vehicle-scrappage-brief-toei_052020.pdf)
- BATMAN. (2020, 05). *Eydecluster*. Hentet fra Eydecluster.com:  
[https://www.eydecluster.com/media/23949/policy-brief-batman\\_24.pdf](https://www.eydecluster.com/media/23949/policy-brief-batman_24.pdf)
- BATMAN. (2020, 05). *Eydecluster*. Hentet fra Eydecluster.com:  
[https://www.eydecluster.com/media/23950/vehicle-scrappage-brief-toei\\_052020.pdf](https://www.eydecluster.com/media/23950/vehicle-scrappage-brief-toei_052020.pdf)
- Baum, Z. B. (2022). Lithium-Ion Battery Recycling—Overview of Techniques and Trends. *ACS Energy Letters* 7, 712-719.
- Chen, Y. K. (2021). A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards. *Journal of Energy Chemistry* 59, 83-99.
- Eydecluster. (2022, 05 04). *Eydecluster*. Hentet fra Eydecluster.com:  
[https://www.eydecluster.com/media/23949/policy-brief-batman\\_24.pdf](https://www.eydecluster.com/media/23949/policy-brief-batman_24.pdf)
- IFE. (2022, 05 04). *IFE*. Hentet fra IFE.no: <https://ife.no/en/project/batman/>
- Ma, J. L.-A. (2021). The 2021 battery technology roadmap. *Journal of Physics D: Applied Physics* 54, 38-40.
- Mahdi Soltani, S. H. (2021). A comprehensive review of lithium ion capacitor: development, modelling, thermal management and applications. *Journal of Energy Storage, volum 34*.  
 doi:<https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102019>
- Markets, R. a. (2022, 03 23). *globeNewswire*. Hentet fra Global Lithium-ion Battery Market (2022 to 2027) - Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecasts:  
<https://www.globenewswire.com/news-release/2022/02/10/2382729/28124/en/Global-Lithium-ion-Battery-Market-2022-to-2027-Industry-Trends-Share-Size-Growth-Opportunity-and-Forecasts.html>
- miljødepartementet, K. o. (2022, 03 23). *regjeringen*. Hentet fra Batteriforordningen:  
<https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2021/jan/batteriforordningen/id2828700/>
- Miljødirektoratet. (2022, 03 23). Hentet fra Sirkulær økonomi:  
<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/>
- Mission-innovation. (2022, 05 04). *Mission-innovation.net*. Hentet fra LIBRES: BATTERY RECYCLING IN A CIRCULAR ECONOMY: <http://mission-innovation.net/our-work/mission-innovation-breakthroughs/libres-battery-recycling-in-a-circular-economy/>
- Mo, O. (2022, 03 23). *#SINTEFblogg - teknologi for et bedre samfunn*. Hentet fra Sintef.blogg: Hvorfor installere batterier på skip? (Mange produserer jo uansett all strøm fra egne dieselgeneratorer.) - #SINTEFblogg
- Norway, R. C. (2022, 05 04). *Prosjektbanken.forskningsrådet*. Hentet fra Project Bank:  
<https://prosjektbanken.forskningsradet.no/en/project/FORISS/282328?Kilde=FORISS&distributioon=Ar&chart=bar&calcType=funding&Sprak=no&sortBy=date&sortOrder=desc&resultCount=30&offset=0&TemaEmne.2=B%C3%A6rekraftig+energi>
- Petrovicoty, S. (2021). *Battery Technology Crash Course: A Concise Introduction 1st ed. 2021 Edition*. Happy Valley, OR, USA: Springer; 1st ed. 2021 edition (October 30, 2020).
- Xiaohong Zheng, Z. Z. (2018). A Mini-Review on Metal Recycling from Spent Lithium Ion Batteries. *Engineering, Volume 4, Issue 3*, 361-370. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.018>
- Yue Yang, E. G. (2021, 03 22). On the sustainability of lithium ion battery industry – A review and perspective. *Energy Storage Materials, Volume 36*, 186-212. Hentet fra  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405829720304827>